UNIVERSITATEA DE ŞTIINŢE AGRICOLE ŞI MEDICINĂ VETERINARĂ DIN CLUJ-NAPOCA

DEPARTAMENTUL ÎNVĂŢĂMÂNT LA DISTANŢĂ

Prof. dr. MARILENA MĂRGHITAŞ

AGROCHIMIE ECOLOGICĂ

CUPRINS

		Pag.
Cap. 1.	**DEFINIŢIE, OBIECT, SCURT ISTORIC A TEORIEI ŞI PRACTICII AGROCHIMICE, PRINCIPII ŞI LEGITĂŢI ALE AGROCHIMIEI**	**2**
Cap. 2.	**BAZELE AGROCHIMICE ALE FERTILIZĂRII ÎN RAPORT CU ROLUL NUTRIENŢILOR ŞI CERINŢELE PLANTELOR ÎN ELEMENTE NUTRITIVE**	**13**
Cap. 3.	**SOLUL CA MEDIU DE NUTRIŢIE PENTRU PLANTE ŞI DE APLICARE A ÎNGRĂŞĂMINTELOR ŞI AMENDAMENTELOR**	**26**
Cap. 4.	**CORECTAREA REACŢIEI EXTREME A SOLURILOR PRIN AMENDAMENTE**	**65**
Cap. 5.	**CONTROLUL STĂRII DE FERTILITATE A SOLURILOR PRIN METODE AGROCHIMICE**	**82**

Editura AcademicPres USAMV Cluj
Cluj-Napoca, 2020/2021

Capitolul 1. DEFINIŢIE, OBIECT, SCURT ISTORIC A TEORIEI ŞI PRACTICII AGROCHIMICE, PRINCIPII ŞI LEGITĂŢI ALE AGROCHIMIEI

Cuprins

1.1. Definiţia şi obiectul agrochimiei
1.2. Factorii obiectivi ai chimizării agriculturii
1.3. Concepţii şi teorii în decursul dezvoltării agrochimiei
1.3.1. Concepţii agrochimice în etapa ştiinţei moderne contemporane
1.3.1.1. Principii şi legităţi ale agrochimiei
1.4. Întrebări recapitulative
1.5. Teste de autoevaluare
1.6. Rezumat
1.7. Bibliografie

Introducere

Acest capitol prezintă rolul agrochimiei ecologice în dezvoltarea agriculturii, menținerii și sporirii fertilității solului şi a protecţiei mediului înconjurător. Cuprinde generalităţi, definiţii, conceptii și teorii în decursul dezvoltării agrochimiei legate în principal de capacitatea plantelor de utilizare a nutrienţilor din sol și din fertilizanți pentru o agricultură durabilă. Abordează problemele care fac obiectul agrochimiei în special pentru fertilizarea plantelor, protecţia şi ameliorarea fertilităţii solului şi a creşterii siguranţei şi securităţii producţiei agricole şi alimentare. Capitolul se încheie cu prezentarea unei bibliografii selective, a unor teste de autoevaluare şi întrebări recapitulative referitoare la problematica prezentată în cuprinsul capitolului.

Obiectivele capitolului

La sfârşitul acestui capitol vei fi capabil:

- să defineşti Agrochimia ca disciplină de bază pentru domeniul agronomic în realizarea cantitaivă și calitativă a recoltelor;
- să cunoşti problemele care fac obiectul Agrochimiei ecologice pentru o agricultură durabilă cu menținerea şi refacerea fertilității solului şi o protecţie reală a agroecosistemelor;
- să descri principii și legități ale agrochimiei.

medie de studiu individual – 4 ore

Capitolul 1. DEFINIŢIE, OBIECT, SCURT ISTORIC A TEORIEI ŞI PRACTICII AGROCHIMICE, PRINCIPII ŞI LEGITĂŢI ALE AGROCHIMIEI

GENERALITĂŢI

Datorită importanţei deosebite a agriculturii, care este considerată una din ramurile de bază ale economiei fiecărei ţări şi despre care s-a scris cel mai vechi manual de agricultură, în sanscrită, încă din antichitate,.

Marele climatolog şi meteorolog american William Kellogg, în 1938 sublinia legătura strânsă dintre sol şi civilizaţie, încât arăta că societăţile stabile îşi au rădăcinile lor în terenurile pe care le-au cultivat din generaţii imbogăţindu-şi în timp cunoştinţele în diverse domenii. Agricultura, comerţul, ştiinţa şi arta s-au dezvoltat impreună bazate pe fertilitatea solului şi producţiile ce au putut fi obţinute pe acesta (pe sol).

Naşterea agriculturii, susţine Kellogg, a însemnat naşterea civilizaţiei.

De-a lungul timpului, lumea contemporană s-a confruntat cu numeroase contradicţii politice, economice şi sociale, dar a fost animată permanent şi de ideea de progres în scopul asigurării unei vieţi normale membrilor societăţii. Tendinţa de progres se manifestă în toate planurile activităţii umane, inclusiv în cel al ştiinţelor şi practicii agronomice.

Primele elemente de management agricol se întâlnesc în opera lui Francois Quesnay (1698-1778), economist francez, care a devenit celebru prin lucările: „Tabloul Economic" (1748) şi „Analiza Tabloului Economic" (1766).

Francois Quesnay şi adepţii săi susţineau că singura ramură economică în care se creează venit net, în care omul obţine mai mult decît învesteşte, este **agricultura.**

Studiind comparativ sistemul de agricultură engleză, bazată pe producţia fermieră şi agricultura franceză, bazată pe relaţii de dependenţă, de tip feudal, a ajuns la concluzia că superioritatea era de partea sistemului de agricultură englez. De asemenea în interiorul sistemului bazat pe producţia fermieră, superioritatea aparţine marii agriculturi, comparativ cu mica producţie.

Fermierul, lucrând cu colectivităţi umane, trebuie să aibă aptitudini de conducător şi de bun organizator al activităţii fermelor.

Se apreciază că rolul fermierului este foarte important şi merită cea mai mare atenţie din partea guvernului, deoarece asigură ţăranilor ocupaţie şi cele necesare existenţei pentru întreaga societate.

În vederea rentabilizării producţiei agricole, economistul francez propunea ca fermierii să întreprindă următoarele măsurii:

- sporirea investiţiilor de capital pe unitatea de suprafaţă, creându-se prin aceasta posibilităţi de creştere a fertilităţii solului;
- fixarea unor preţuri la produsele agricole care să depăşească cheltuielile pentru obţinerea lor;
- promovarea şi încurajarea exportului de produse agricole;
- diversificarea producţiei de produse prin diversificarea activităţilor agricole realizate de aceeaşi fermieri;
- concentrarea suprafeţelor de pământ în ferme mari, lucrate de muncitori salariaţi;
- îmbinarea producţiei cerealiere (vegetale) cu creşterea animalelor (zootehnia).

Multe din ideile lui Francois Quesnay şi ale şcolii sale fiziocrate (*Fiziocraţie – doctrină economică din secolul al XVIII-lea care susţine că munca agricolă constituie unica sursă de bogăţie*) au fost aplicate în timpul marii revoluţii franceze din 1789, cînd s-a desăvârşit trecerea de la agricultura nobiliară, feudală, la agricultura capitalistă a micilor producători.

Influenţe fiziocratice se vor întâlni şi în gândirea economică-agrară din România după reformele agrare începute în anul 1864.

1.1. DEFINIŢIA ŞI OBIECTUL AGROCHIMIEI

Agrochimia este o ştiinţă interdisciplinară la graniţa dintre agricultură şi chimie care se ocupă cu problemele de bază ale chimizării agriculturii. Aceasta studiază dirijarea nutriţiei plantelor în strânsă interdependenţă cu factorii de mediu şi cu aplicarea diverselor substanţe în agricultură, stabilind principiile acţiunii reciproce dintre substanţele folosite în agricultură, sol, plantă şi microorganisme, în vederea obţinerii unor producţii agricole superioare atât cantitativ cât şi calitativ. De asemenea, agrochimia se ocupă cu controlul stării de fertilitate prin analiza plantei şi a solului în vederea stabilirii necesarului de amendamente şi îngrăşăminte, precum şi controlul poluării mediului ca urmare a efectului chimizării intensive şi neraţionale. Este o disciplină teoretică dar şi o ştiinţă practică specială care face un riguros control agrochimic asupra dirijării nutriţiei plantelor în legătură cu aplicarea diverselor substanţe în agricultură. Agrochimia stabileşte legi şi principii ale acţiunii reciproce dintre substanţele utilizate în agricultură, sol, plantă şi microorganisme cu multiple intercondiţionări ale componentelor ecosistemelor, în vederea delimitării unor metode adecvate de sporire cantitativă şi calitativă a producţiilor agricole.

Agrochimia este ştiinţa interdisciplinară care se ocupă cu controlul şi diagnoza stării de fertilitate a solului şi a stării de nutriţie, prin analiza chimică a solului şi a plantei; are ca mijloace de intervenţie pentru ridicarea şi menţinerea fertilităţii utilizarea îngrăşămintelor şi amendamentelor, a căror folosire trebuie să ducă la sporirea cantitativă şi calitativă a producţiei vegetale, fără degradarea mediului înconjurător, iar ca mijloace de investigaţie utilizează analizele şi testele chimice de laborator şi teren. Tratează problemele într-un sistem integrat cu mediul ambiental, care include sistemul plantă - sol - microorganisme. (D. Davidescu şi Velicica Davidescu, 1992).

Pentru evitarea confuziei dintre definiţia termenului de **Agrochimiei** ca ştiinţă şi definiţia domeniului **„Agronomie”**, Alexe S. POTLOG, 1979, defineşte termenul de **Agronomia** **“** ca un complex, de ştiinţe teoretice şi practice, care stau la baza cultivării plantelor şi creşterii animalelor. Şi-a conturat domeniile de activitate paralel cu dezvoltarea chimiei, biologiei, ştiinţelor tehnice şi economice. Componentele principale ale **Agronomiei** fiind agricultura, horticultura, zootehnia, medicina veterinară, economia agrară, pedologia agricolă, ameliorarea şi genetica, ştiinţe care stau la baza producerii de bunuri alimentare şi materii prime” în contextul conservării şi protecţiei mediului înconjurător.

In practica agronomică pentru obţinerea unor producţii cantitativ şi calitativ superioare este necesară punerea în valoare a principalei însuşiri a solurilor, **fertilitatea.** De multe ori intervenţia necontrolată şi fără fundamentare ştiinţifică a omului în ecosisteme determină o dereglare a acestora, poluarea. În ceea ce priveşte fertilitatea, intervenţia omului este necesară în contextul în care populaţia globului sporeşte, cerinţele asupra calităţii produselor agricole care trebuie
să fie ridicate iar datorită diverselor accidente încadrate ca poluante s-a ajuns la scăderea suprafeţelor agricole cultivate (fenomenele de alunecare a terenurilor, deşertificarea, poluarea cu produse petroliere, poluare cu metale grele etc.). Pentru creşterea fertilităţii solurilor este necesară intervenţia omului pentru îmbunătăţirea condiţiilor de creştere şi dezvoltare ale plantelor.

Disciplina care se ocupă cu sporirea stării de fertilitate a solurilor şi obţinerea unor recolte cantitativ şi calitativ ridicate este agrochimia.

Obţinerea recoltelor agricole şi horticole este rezultatul interacţiunii complexe dintre sol, plantă şi îngrăşăminte în corelaţie directă cu factorii climatici (temperatură, precipitaţii, variaţia diurnă şi sezonală a luminii), factori genetici (soi, specie), factori edafici (pH-ul solului, textura, structura, conţinutul de materie organică a solului etc.) cât şi cu factorii tehnologici (utilizarea produselor fitosanitare, tehnologia de cultură etc.).

Toţi aceşti factori contribuie în mod direct la obţinerea recoltelor şi nu pot fi înlocuiţi, iar lipsa totală sau parţială reduce sau stânjeneşte dezvoltarea vegetativă şi recolta.

Recolta este direct influenţată de factorii de vegetaţie care cuprind atât factori climatici cât şi factori de nutriţie.

Factorii climatici sunt temperatura, luminozitatea, respectiv variaţia diurnă şi sezonală a luminii, regimul pluviometric respectiv cantitatea de precipitaţii. Aceşti factori depind de la o ţară la alta şi de la o zonă geografică la alta şi chiar de la o regiune la alta în cadrul aceluiaşi teritoriu.

Factorii nutritivi sunt elementele care au roluri directe în legătură cu creşterea şi dezvoltarea plantelor, iar aerul şi apa au roluri indirecte. Fiecare factor nutritiv are un rol distinct în creşterea şi dezvoltarea plantelor.

Apa este principala sursă de hidrogen, asigură aprovizionarea cu elemente nutritive, asigură schimburile vitale din plantă, turgescenţa, echilibrul termic şi mecanic.

Aerul este o sursă principală de oxigen şi de bioxid de carbon, mediu pentru respiraţie legat de metabolismul plantei.

Nutriţia este reprezentată în general de ionii minerali NO_3^- NH_4^+, Ca^{2+}, SO_4^{2-}, Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+} etc. din sol.

Agrochimia stabileşte nevoia cantitativă şi calitativă de îngrăşăminte şi alte substanţe utilizate în agricultură pentru realizarea recoltei finale, fără neglijarea metodelor de prevenire şi combatere a poluării şi a celor de ameliorare a stării de fertilitate a solului, determinând o garanţie pentru producţiile viitoare.

În afară de îngrăşăminte şi amendamente, agrochimia abordează principalele grupe mari de substanţe fitofarmaceutice (pesticidele) folosite pentru protecţia plantelor şi a recoltelor.

Problemele care fac obiectul agrochimiei sunt:

- nutriţia plantelor în raport cu sistemul de aplicare a îngrăşămintelor, în care se stabileşte nivelul intervenţiilor agrochimice după rolul şi cerinţele plantelor în elemente nutritive;
- solul ca mediu de nutriţie pentru plante, în care se studiază proprietăţile şi însuşirile de bază ale solului, care influenţează capacitatea plantelor de utilizare a elementelor nutritive din sol, cât şi factorii care controlează mobilitatea şi accesibilitatea acestora pentru plante; aici se apreciază şi aportul efectiv al solului în nutrienţi;
- ameliorarea agrochimică a reacţiei acide şi alcaline a solurilor, în scopul ridicării nivelului scăzut de fetilitate a acestor soluri;
- agrochimia îngrăşămintelor cu macro şi microelemente necesare în nutriţia plantelor, în care pe baza cunoaşterii mobilităţii şi accesibilităţii unor elemente din sol şi a rolului complex în creşterea şi dezvoltarea plantelor, se stabilesc condiţiile de eficienţă a acestora;
- controlul fertilităţii solurilor prin analizele de sol, plante, experienţe cu îngrăşăminte şi cartarea agrochimică, prin care se realizează o analiză riguroasă a fertilităţii solurilor şi elaborarea mijloacelor şi metodelor agrochimice de intervenţie pentru optimizarea agrochimică a solurilor şi realizarea producţiilor agricole ridicate în condiţii de economicitate adecvate;
- pesticidele utilizate în agricultură, pentru protecţia culturilor, în combaterea bolilor, dăunătorilor şi buruienilor, fiind incluse fungicide, insecticide, acaricide, nematocide, erbicide şi regulatori de creştere;
- poluarea mediului înconjurător, care este abordată în contextul complex al chimizării agriculturii, urmărindu-se evitarea degradării ecosistemelor şi măsuri adecvate de depoluare şi reconstrucţie ecologică prin măsuri agrochimice (amendare, fertilizare organică şi minerală complexă etc.).

Agrochimia, prin caracterul său interdisciplinar, primeşte cunoştinţe de la fiziologia plantelor (mai ales cele privind nutriţia minerală), de la pedologie (cu privire la însuşirile şi proprietăţile solurilor ca medii de creştere şi dezvoltare a plantelor), de la chimie (metodele de cercetare şi cunoştinţe despre substanţele chimice folosite în agricultură) şi de la biochimie (cunoştinţe despre influenţa produselor chimice din agricultură asupra metabolismului plantelor).

În schimb, agrochimia oferă cunoştinţe importante disciplinelor cu caracter tehnologic din agricultură şi horticultură (fitotehnie, agrotehnică, cultura plantelor furajere, pomicultură, viticultură, floricultură, legumicultură, arhitectura peisageră) care în realizarea obiectivelor specifice, folosesc ca verigă tehnologică de bază aplicarea eficientă a amendamentelor şi îngrăşămintelor cât şi a altor substanţe chimice, iar fitopatologiei şi entomologiei, oferă informaţii sub aspectul cunoaşterii şi folosirii pesticidelor.

1.2. FACTORII OBIECTIVI AI CHIMIZĂRII AGRICULTURII

Problematica complexă a găsirii de noi mijloace pentru sporirea cantitativă şi calitativă a

producţiei agricole derivă din factorii obiectivi ai dezvoltării societăţii, ce frământă omenirea în permanenţă:

- presiunea demografică datorată dublării şi triplării populaţiei globului în ultima jumătate de secol, care determină sporirea continuă a necesarului de hrană;
- ritmul intens de urbanizare şi scădere a populaţiei active din agricultură;
- criza de energie şi materii prime;
- structura de proprietate în agricultură;
- diversificarea comerţului şi schimbul mondial de bunuri de consum în contextul geo-politic actual;
- progresul tehnico-ştiinţific.

Necesitatea sporirii producţiei agricole prin chimizarea agriculturii este determinată de explozia demografică şi capacitatea asigurării cantitative şi calitative a hranei umane.

Pe glob, din suprafaţa de teren, de l,4 miliarde ha, aflată în cultură, se estimează ca la o populaţie de 6,5 miliarde, să revină 0,22 ha pe cap de locuitor. Din totalul terenului agricol de pe glob, 27,8% aparţine ţărilor dezvoltate, 47,7% ţărilor în curs de dezvoltare şi 24,8% fostelor ţări cu economie planificată.

Există o mare diferenţă între ţări în ceea ce priveşte populaţia ocupată în agricultură şi producţia globului, 44,7% se ocupă cu agricultura, din care 8,1% în ţările dezvoltate şi 57,9 - 80% în cele în curs de dezvoltare. Ţările industrializate cu o populaţie scăzută ocupată în agricultură, comparativ cu cele în curs de dezvoltare, realizează producţii mari la unitatea de suprafaţă ca urmare a introducerii progresului tehnic.

În prezent lipsa cantitativă şi calitativă a hranei este problema majoră a omenirii. Mai mult de jumătate din populaţia globului este subalimentată dar nu numai sub raport cantitativ (cal/zi/persoană) cât şi din punct de vedere al calităţii hranei.

1.3. CONCEPŢII ŞI TEORII ÎN DECURSUL DEZVOLTĂRII AGROCHIMIEI

Istoricul concepţiilor şi teoriilor agrochimice se structurează în trei perioade distincte: antică, clasică şi modernă.

În **perioada antică**, popoarele nu aveau o teorie clară asupra nutriţiei plantelor şi a fertilizării solului. Ele se bazau mai ales pe observaţie, uneori pe raţionamente simple. Romanii foloseau pentru sporirea recoltei dejecţiile animalelor şi păsărilor, cenuşa, gipsul, varul şi puneau preţ pe îngrăşământul verde.

În cel mai vechi manual de agricultură scris în sanscrită datând de acum 3000 de ani se dau indicaţii asupra pregătirii şi folosirii gunoiului de grajd. Aristotel în scrierile sale arată că plantele ar extrage din pământ hrana în aceleaşi componente ce se găsesc şi în corpul acestora. La fel şi romanii, arabii, chinezii, indienii, vechii locuitori ai Americii foloseau pentru sporirea producţiei agricole gunoiul, fecalele, compostul, ş.a.

În **Evul Mediu**, nu se înregistrează progrese faţă de teoriile anticilor, iar în lucrările apărute în această perioadă se adaugă doar păreri proprii ale autorilor referitoare la epocile de aplicare a îngrăşămintelor în raport cu fazele lunii sau cu alte observaţii ale lor.

Începând cu sfârşitul secolului al XVIII-lea şi începutul secolului al XIX-lea teoriile şi interpretările anterioare suferă modificări. Apar concepţii noi, iar **ştiinţa clasică** se bazează pe observaţii, experienţe şi introducerea matematicii care dau posibilitatea stabilirii unor idei despre nutriţie şi fertilitate.

Teoriile apărute în această perioadă se referă mai mult la aspecte privind nutriţia plantelor, dar şi la schimburile minerale dintre plante şi mediul înconjurător. Astfel, ALBRECHT THAER (1752-1828) elaborează teoria nutriţiei plantelor cu humus conform căreia resturile organice introduse în sol, măresc fertilitatea acestuia, iar substanţele minerale au rolul doar de descompunere a humusului. Substanţele minerale din plante erau considerate de THAER ca având o origine întâmplătoare. Această teorie care a neglijat totodată aportul azotului din materia organică a gunoiului de grajd, a stat la baza teoriei "istovirii solului" şi a refacerii fertilităţii prin asolament, elaborată de BOUSSINGAULT (1802-1887). Prin această teorie, se conchide că substanţele cele mai

hrănitoare pentru plante sunt acelea care conţin azot, iar plantele care extrag azotul din sol îl istovesc cel mai mult.

O altă teorie din perioada clasică este cea a lui JUSTUS VON LEIBIG (1803-1873) care se referă la nutriţia minerală a plantelor. În această teorie, se arată că plantele odată cu recoltele sărăcesc solul în elemente minerale şi se propune introducerea în sol a acestor substanţe în care este deficitar. Cu această teorie de reglare conştientă de către om a echilibrului de substanţe în natură, începe perioada folosirii îngrăşămintelor chimice în agricultură, ca unul din factorii de bază ai sporirii sau menţinerii recoltei cu implicaţii semnificative în creşterea producţiei vegetale.

MITSCHERLICH (1874-1956) elaborează teoria privind acţiunea factorilor de vegetaţie încercând să dea o nouă formulare legilor care guvernează raporturile dintre plantă şi factorii ei de creştere şi dezvoltare. Conform acestei teorii, recolta este rezultatul acţiunii independente a mai multor factori de vegetaţie, ea creşte odată cu factorul asupra căruia s-a acţionat, dar sporurile de recoltă nu sunt proporţionale cu creşterile acestui factor ci cu diferenţa dintre recolta maximă posibilă şi recolta actuală. Această teorie a lui MITSCHERLICH a suferit în anii următori o serie de corecţii şi reformulări, iar alţi oameni de ştiinţă au elaborat noi relaţii matematice care să exprime creşterea producţiei în funcţie de variaţia factorilor fertilităţii.

Începând cu deceniul al patrulea al secolului XX, agrochimia se conturează cu noi moduri de investigaţie şi interpretare pentru înţelegerea şi explicarea unor fenomene de interferenţă dintre plantă, sol şi îngrăşăminte.

D. DAVIDESCU şi VELICICA DAVIDESCU (1981) apreciază că în această perioadă nu numai modul de interpretare şi investigaţie diferă de perioadele premergătoare ci mai ales studiul problemelor chimizării agriculturii în cadrul teoriei sistemelor, ca şi aprecierea eficienţei utilizării substanţelor din agricultură prin prisma valorii energetice şi a raportului de bioconversie în modul de organizare a structurii vegetale (concept eficient pentru agrochimia modernă).

Analizând concepţiile şi teoriile agrochimice de la începuturi la cele moderne, se poate conchide că bazele ştiinţifice ale chimizării agriculturii au fost puse încă din secolul al XIX-lea începând cu teoria nutriţiei minerale când s-a conturat ideea reglării conştiente de om a echilibrului de substanţe în natură şi practic a început folosirea acestora în agricultură ca factori de bază atât ai creşterii cantitative şi calitative a producţiei vegetale cât şi în sporirea fertilităţii solurilor. Ulterior, odată cu îmbogăţirea cunoştinţelor despre sol şi plante, a diversificării intervenţiilor agrochimice controlate, ştiinţa agrochimică dobândeşte un tărâm relevant şi specific cu implicaţii majore şi finalitate în asigurarea calităţii vieţii.

1.3.1. Concepţii agrochimice în etapa ştiinţei moderne contemporane

În etapa ştiinţei moderne contemporane, se relevă existenţa unor fenomene în totalitate noi pe care omul nu le-a cunoscut până la sfârşitul secolului trecut, fiind vorba de lumea cuantelor, a mecanicii ondulatorii, a structurii electronice a elementelor, a spectrelor de rezonanţă electronică, a potenţialului chimic, lumea organitelor intracelulare, a codului genetic şi a unor sisteme enzimatice complexe care catalizează toate procesele de sinteză, transport şi depunere din organismele vegetale.

Pe baza acestor noi descoperiri, se structurează agrochimia ca ştiinţă de sinteză, dar şi de analiză ce se ocupă cu aplicarea în practică, asupra sistemului sol - plantă - îngrăşământ, a unor metode chimice şi tehnologice moderne fundamentate ştiinţific de legi şi principii pentru creşterea cantitativă şi calitativă a producţiei agricole. Aceste legi şi principii specifice agrochimiei, urmăresc de fapt, menţinerea şi creşterea fertilităţii solului.

După D. DAVIDESCU şi VELICICA DAVIDESCU (1981), fertilitatea solurilor, este capacitatea acestora de a pune la dispoziţia plantelor, în toată perioada de vegetaţie, permanent şi simultan, substanţele nutritive şi apa în cantităţi suficiente pentru nevoile acestora şi de a asigura condiţii fizice, fizico-chimice şi biochimice necesare creşterii şi dezvoltării plantelor, în strânsă dependenţă cu satisfacerea tuturor factorilor de vegetaţie.

Actual agrochimia sintetizează problemele de bază ale agriculturii moderne intensive,

agricultură bazată pe folosirea în mod ştiinţific a îngrăşămintelor cu o atenţie deosebită la protecţia mediului.

În **ţara noastră** apariţia şi dezvoltarea studiilor agrochimice se evidenţiază în lucrări importante ce prezintă unele cunoştinţe despre agricultură şi care include unele date referitoare la metode şi tehnici rudimentare de sporire a fertilităţii solului cum sunt:

- Dimitrie Cantemir, 1716 – "*Descriptio Moldaviae*";
- Dimitrie Tipografu Rîmniceanu, 1796 – "*Oarecare secreturi ale lucrării pământului şi ale meşteşugului sădirii*";
- Gheorghe Şincai, 1806 – "*Povăţuiri către economia de câmp*";
- Ion Ionescu de la Brad, (1818-1891) – Personalitate complexă, pedolog, agrotehnician şi sociolog a avut o mare contribuţie la punerea bazelor unei agriculturi moderne. A publicat cartea "*Lecţiuni elementare de agricultură*". A înfiinţat ferma şi şcoala de agricultură de la Brad unde a iniţiat primele cercetări ştiinţifice experimentale în câmp;
- Vlad Cîrnu Munteanu, înfiinţează staţiunea agronomică centrală de la Herăstrău, unde se încep primele cercetări chimice ale solului;
- Bunescu Pană (1833-1904) care a expus Lecţiile sale elementare de chimie agricolă la Şcoala Superioară de Agricultură de la Herăstrău;
- Teodor Saidel (1874-1967) la Bucureşti şi Haralambie Vasiliu (1880-1953) la Iaşi au pus bazele "chimiei agricole" şi au fost organizatorii învăţământului agronomic românesc;
- Gheorghe Pavlovschi a adus importante contribuţii la legile solubilizării componentelor solului şi aplicarea acestora în studiile de chimia solului;
- Gheorghe Ionescu-Şişeşti a publicat numeroase studii legate de agricultură, dintre care putem aminti pe cea care se ocupa de domeniul agrochimiei: "Despre îngrăşăminte".

Se înfiinţează o serie de institute şi staţiuni de cercetări pe lângă Ministerul Agriculturii care au făcut numeroase experienţe privitoare la eficienţa îngrăşămintelor şi amendamentelor.

- David Davidescu care a scris primul tratat de "Agrochimie" de la noi din ţară în anul 1956, cât şi multe studii referitoare la testarea stării de fertilitate prin plantă şi sol, rolul diferitelor elemente în viaţa plantelor, rolul şi folosirea îngrăşămintelor etc.

În decursul timpului şi-au mai adus contribuţii însemnate în cercetarea agrochimică şi în învăţământul agricol: D. Davidescu, C. Pantea, P. L. Mureşan, Gr. Coculescu, Z. Borlan, C. Hera, Gh. Lixandru, Velicica Davidescu, I. Avarvarei, M. Rusu, R. Mocanu, M. Goian şi o pleiadă de cercetători ce au experimentat efectele multiple ale îngrăşămintelor în reglarea componentelor ecosistemelor.

În perioada dezvoltării agrochimiei ca ştiinţă s-au conturat şi sintetizat mai multe **legi**, **principii** şi **reguli** specifice.

1.3.1.1.Principii şi legităţi ale agrochimiei

-Legea ierarhizării factorilor de vegetaţie

Se referă la egala importanţă a tuturor factorilor de vegetaţie pentru realizarea producţiei vegetale, iar în caz de restricţie a unora dintre ei (lumină, căldură, apă, hrană) se creează o anumită ierarhizare a importanţei lor pentru creşterea şi dezvoltarea plantelor, corespunzător evoluţiei filogenetice şi a condiţiilor mediului ambiant (D. DAVIDESCU şi VELICICA DAVIDESCU, 1984).

În caz de restricţii a unor factori de vegetaţie se creează o anumită ierarhizare a rolului şi importanţei acestora pentru creşterea şi dezvoltarea plantelor.

Ierarhizarea sau priorităţile avute în vedere în practica agricolă, în legătură şi cu factorii nutriţiei se referă la: temperatura şi intensitatea luminoasă care în general nu pot fi influenţate de om, apoi apa, hrana (fertilizarea), factorii sol (pH-ul, textura, structura), relieful în cazul lucrărilor pe curbe de nivel (pomi, viţă de vie etc.), soiul cu potenţialul său genetic, protecţia plantelor (erbicidarea, tratarea împotriva bolilor şi dăunătorilor) şi producţia ce este influenţată de toţi factorii enumeraţi anterior.

- Principiul restituirii elementelor nutritive exportate din sol odată cu recolta

A fost formulat în secolul trecut de BOUSSINGAULT şi fundamentat de LIEBIG, prin care se enunţă necesitatea menţinerii unei stări de fertilitate prin completare în sol prin fertilizare a formelor uşor accesibile plantelor exportate odată cu recolta.

Acest principiu trebuie înţeles în sensul că se urmăreşte menţinerea unei stări de fertilitate corespunzătoare potenţialului productiv al solurilor şi al factorilor ecologici. Folosirea necorespunzătoare a îngrăşămintelor şi amendamentelor poate produce un dezechilibru în soluţia solului prin accelerarea proceselor de epuizare a nutrienţilor, de levigare, precipitare, insolubilizare şi antagonism ionic.

Acest principiu are la bază consumul ionilor nutritivi de către plantele de cultură şi exportul lor din sol odată cu recoltele, conducând treptat la epuizarea şi scăderea fertilităţii solului în aceste elemente. Intervenţia omului prin îngrăşăminte organice şi chimice, asigură completarea elementelor nutritive exportate şi refacerea echilibrului nutritiv al solului.

- Legea minimului, maximului şi a optimului

Legea minimului a fost enunţată şi generalizată de HELLRIGEL (1831-1895) prin enunţul că dacă unul din factorii de vegetaţie se află în cantitate minimă sau lipseşte, înţelegând de fapt carenţă sau insuficienţă şi nu lipsă totală, dezvoltarea plantelor şi implicit nivelul recoltelor este dependent de starea acestui factor în minim.

WOLNY a formulat legea maximului, considerând că prezenţa unuia din factorii de vegetaţie, dacă se află în cantităţi maxime sau prea mari, acesta influenţează nefavorabil creşterea plantelor, scade recolta sau produce chiar moartea lor. Aşa se întâmplă, de exemplu, când solul are exces de umiditate sau când un element nutritiv se află în concentraţii atât de ridicate în soluţia solului încât devine toxic pentru plante.

Legea minimului este asociată cu cea a maximului întrucât cele două nivele (aici de nutrienţi) se intercondiţionează reciproc iar în practică nici una din aceste stări (carenţă şi exces) nu sunt favorabile creşterii şi dezvoltării plantelor.

Această lege este o rezultantă a legii lui Justus von Liebig ("Teoria nutriţiei minerale") care a afirmat că "sporurile de recoltă sunt proporţionale cu cantitatea de elemente nutritive care se găsesc în sol în minim faţă de nevoile plantelor".

Din legea minimului trebuie să reţinem faptul că recolta este stânjenită pe de o parte de elementul care se găseşte în cantitate mică sub formă asimilabilă în raport cu nevoile plantei, iar pe de altă parte şi de faptul că prezenţa în cantităţi insuficiente a unui element reduce eficacitatea altor elemente nutritive ceea ce face ca recolta să scadă.

Legea maximului se referă la faptul că dacă una din condiţiile de viaţă a plantelor există în exces, recolta poate fi la nivel zero.

Între nivelurile minime şi maxime ale unui factor de vegetaţie (element nutritiv, de exemplu) din sol există un nivel optim care asigură cele mai bune condiţii pentru creşterea şi dezvoltarea plantelor şi a cărui mărime se controlează şi se urmăreşte prin metode agrochimice cu obiectivul optimizării prin îngrăşăminte a sistemului sol - plantă.

- Legea echivalenţei sau egalei importanţe a factorilor de vegetaţie

Această lege a fost formulată de Ion Ionescu de la Brad (la noi) şi V. R. Viliams şi constă în aceea că nici unul din factorii de vegetaţie nu poate fi substituit prin prezenţa altuia. Se cunosc numai substituţii parţiale sau efecte de interacţiune referitoare la funcţiile biochimice ale elementelor nutritive, însă substituţii totale nu pot avea loc (nu se poate înlocui azotul cu fosforul, nici calciul cu potasiul ş.a.). De asemenea, factorii climatici: condiţiile de umiditate, de temperatură şi intensitatea luminii îşi au semnificaţia lor bine definită în manifestarea şi efectele acestei legi.

In concluzie toţi factorii de vegetaţie sunt la fel de necesari şi prin aceasta egal de importanţi, indiferent de aportul cantitativ cu care fiecare intervine în procesul de creştere şi dezvoltare a plantelor.

Nici unul din factorii de viaţă ai plantelor nu poate fi înlocuit prin alt factor. Nu putem înlocui fertilizarea plantelor cu asigurarea unei cantităţi sporite de apă deoarece planta ar fi lipsită de un element necesar creşterii şi dezvoltării ei. Astfel, cu cât intervenim simultan asupra mai multor factori de vegetaţie cu atât recolta sporeşte.

Aplicarea legii poate fi dificilă deoarece între factorii de vegetaţie există apa şi factorii climatici care sunt mai greu de satisfăcut în condiţiile unui an secetos sau răcoros.

- Legea interdependenţei şi condiţionării reciproce a factorilor de vegetaţie

Între factorii de vegetaţie, prezenţi în dezvoltarea organismelor vegetale, există o interdependenţă şi condiţionare reciprocă, încât insuficienţa unuia, duce la slaba utilizare a altuia. Astfel nu se poate renunţa la prezenţa sau efectul unuia şi nu se poate acţiona numai asupra unuia dintre aceşti factori fără a avea efecte nefavorabile asupra plantelor.

Această lege are o semnificaţie bine definită în practica agrochimică în privinţa intercondiţionării ionilor (elementelor nutritive) din soluţia solului, unde carenţa (insuficienţa) respectiv excesul (surplusul) unuia dintre ei, duce la slaba utilizare a altuia. Aşa se explică cum pe solurile slab aprovizionate cu fosfor mobil apare insuficienţa formelor ionice de azot uşor accesibile rădăcinilor plantelor, sau pe cele cu exces de calciu sub formă de $CaCO_3$ (carbonat de calciu) are loc o slabă utilizare a fierului şi manganului de către unele specii de plante. În consecinţă realizarea unor raporturi dezechilibrate între diversele specii de ioni din soluţia solului, provoacă grave dereglări de nutriţie, ce se manifestă prin semne (simptome) evidente la plante cu efecte semnificative în scăderea recoltelor şi uneori chiar cu moartea plantelor.

- Legea echilibrului nutritiv

Este enunţată de G. Liebscher şi apoi reluată de D. Davidescu şi Velicica Davidescu, 1974, 1992.

Această lege derivă din legile şi principiile susmenţionate, iar esenţa acesteia constă în realizarea în sol a unui raport echilibrat între elementele nutritive (azot, fosfor, potasiu, calciu, magneziu etc.) conform cerinţele specifice ale speciilor de plante şi a potenţialului lor genetic productiv în vederea obţinerii de recolte mari şi stabile, a menţinerii şi sporirii fertilităţii solului.

Pentru obţinerea unor recolte mari este necesar ca în sol între elementele nutritive să existe un anumit raport şi o anumită concentraţie a lor care să corespundă cerinţelor biologice specifice fiecărei plante.

D. Davidescu şi Velicica Davidescu (1981) precizează că: “echilibrul nutritiv este rezultatul diferitelor reacţii competitive la care participă elementele nutritive şi care în sol se petrec într-o strânsă interdependenţă şi oarecum simultan sau succesiv”.

Echilibrul nutritiv depinde de o serie de factori ca: pH-ul solului, prezenţa altor ioni în soluţia solului, a altor componente etc.

În soluţia solului se găsesc atât cationi cât şi anioni în diferite proporţii în funcţie de tipul de sol şi de pH-ul acestuia. Fiecare ion aflat în soluţia solului are o anumită solubilitate şi formează diferite combinaţii solubile sau precipitate. Aplicarea îngrăşămintelor necesită cunoaşterea combinaţiilor ce pot avea loc în soluţia solului şi care depind de starea elementelor din sol şi de echilibrul nutritiv ce se realizează între faza solidă, lichidă şi gazoasă a acestuia.

- Legea autoreglării biologice a culturilor agricole

Procesul de autoreglare biologică a speciilor de plante agricole la condiţiile existente, apare atunci când prin tehnologia de cultură aplicată nu i se asigură unei comunităţi de plante cerinţele faţă de factorii de vegetaţie, înscrise în codul genetic. În acest caz această comunitate de plante, prin senzori biologici proprii, sesizează condiţiile ce le are la dispoziţie prin tehnologia de cultură practicată şi îşi autoreglează dezvoltarea ulterioară prin procese ireversibile de conexiune proprii la condiţiile minime existente a unuia sau mai multor factori de vegetaţie, pentru a-şi asigura perpetuarea speciei (DAVID DAVIDESCU, VELICICA DAVIDESCU, 1988).

- Legea echilibrului dintre diferitele organe vegetative ale plantei

Formularea acestei legi de către D. Davidescu şi Velicica Davidescu (1974, 1992), constă în existenţa unor raporturi volumetrice şi ponderale bine determinate între diferitele organe ale unei plante, pentru a obţine o recoltă maximă din punct de vedere cantitativ şi calitativ. Astfel prin tehnologia de cultură practicată (densităţi, distanţe între rânduri şi pe rând, tăieri, ciupiri, răriri, fertilizări etc.) se urmăreşte crearea unui echilibru între diferitele părţi sau organe vegetative ale plantelor, prin realizarea condiţiilor optime de temperatură, lumină, aer, spaţiu de nutriţie, care să asigure formarea acestora şi obţinerea producţiilor scontate.

Valoarea economică a recoltei este dată de diferitele organe ale acesteia inclusiv calitatea producţiei dată de conţinutul de proteine, zahăr, hidraţi de carbon etc. Prin aplicarea îngrăşămintelor se poate realiza un echilibru favorabil părţilor plantelor ce se valorifică.

În cazul aplicării raţionale a îngrăşămintelor şi în contextul satisfacerii celorlalţi factori de vegetaţie, eficienţa îngrăşămintelor creşte continuu pe măsura creşterii dozelor.

- Legea moderării acţiunii factorilor de vegetaţie

A fost formulată de Le Chatelier şi Van't Hoff şi enunţată la noi de D. Davidescu şi Velicica Davidescu, 1974. Această lege stabileşte că toate modificările în intensitate ale unui factor, favorizează o reacţie ce se opune la această modificare. Astfel, dacă într-o cultură se insistă pe un factor de vegetaţie poate interveni fie o reacţie sinergică, de întărire a acţiunii, fie un răspuns antagonic de scădere a producţiei. Pentru a interveni în creşterea şi dezvoltarea plantelor în mod eficient specialistul trebuie să aleagă şi să îmbine în mod corect variantele cele mai favorabile.

- Unitatea legilor ştiinţifice, specifice agrochimiei

Este relevant de menţionat că toate aceste legi şi principii specifice agrochimiei, formează un tot unitar care se intercondiţionează în folosul dirijării menţinerii şi sporirii fertilităţii solului. Această fertilitate a solurilor nu se poate realiza prin măsuri unilaterale şi fragmentate ci numai întreprinse în toată complexitatea lor.

1.4. ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Care este definiţia şi obiectul Agrochimiei?

.....

2. Care sunt problemele care fac obiectul agrochimiei?

.....

3. Care sunt factorii obiectivi ai chimizării agriculturii?

.....

4. Enumeraţi principii şi legităţi ale agrochimiei?

.....

1.5. TESTE DE AUTOEVALUARE

1. Care este definiţia AGROCHIMIEI ?

a. Agrochimia este o ştiinţă interdisciplinară la graniţa dintre agricultură şi chimie care se ocupă cu problemele de bază ale chimizării agriculturii. Ea studiază dirijarea nutriţiei plantelor în strânsă interdependenţă cu factorii de mediu şi cu aplicarea diverselor substanţe în agricultură, stabilind principiile acţiunii reciproce dintre substanţele folosite în agricultură, sol, plantă şi microorganisme, în vederea obţinerii unor producţii agricole superioare atât cantitativ cât şi calitativ. De asemenea, agrochimia se ocupă cu controlul stării de fertilitate prin analiza plantei şi a solului în vederea stabilirii necesarului de amendamente şi îngrăşăminte, precum şi controlul poluării mediului ca urmare a efectului chimizării intensive şi neraţionale. Este o disciplină teoretică dar şi o ştiinţă practică specială care face un riguros control agrochimic asupra dirijării nutriţiei plantelor în legătură cu aplicarea diverselor substanţe în agricultură. Ea stabileşte legi şi principii ale acţiunii reciproce dintre substanţele utilizate în agricultură, sol, plantă şi microorganisme cu multiple intercondiţionări ale componentelor ecosistemelor, în vederea delimitării unor metode adecvate de sporire cantitativă şi calitativă a producţiilor agricole;

b. Agrochimia este un complex, de ştiinţe teoretice şi practice, care stă la baza cultivării plantelor şi creşterii animalelor. Şi-a conturat domeniile de activitate paralel cu dezvoltarea chimiei, biologiei, ştiinţelor tehnice şi economice. Componentele principale ale Agronomiei fiind agricultura, zootehnia, pedologia agricolă, medicina veterinară, economia agrară, ameliorarea şi genetica, ştiinţe care stau la baza producerii de bunuri alimentare şi materii prime" în contextul conservării şi protecţiei mediului înconjurător;

c. Agrochimia este ştiinţa care studiază proprietăţile şi însuşirile de bază ale solului ce influenţează procesele chimice şi biochimice din sol şi capacitatea plantelor de utilizare a elementelor nutritive din sol cât şi factorii ce controlează mobilitatea şi accesibilitatea

acestora pentru plante atât prin aportul efectiv al solului în nutrienţi cât şi în urma aplicării fertilizanţilor minerali şi organici.

2. Cum se defineşte termenul de AGRONOMIE după, Alexe S. POTLOG, 1979 ?

a. Pentru evitarea confuziei dintre definiţia termenului de **Agrochimiei** ca ştiinţă şi definiţia domeniului **„Agronomie”** Alexe S. POTLOG, 1979, defineşte termenul de **Agronomie** ca un complex, de ştiinţe teoretice şi practice, care stau la baza cultivării plantelor şi creşterii animalelor. Şi-a conturat domeniile de activitate paralel cu dezvoltarea chimiei, biologiei, ştiinţelor tehnice şi economice. Componentele principale ale **Agronomiei** fiind agricultura, horticultura, zootehnia, medicina veterinară, economia agrară, pedologia agricolă, ameliorarea şi genetica, ştiinţe care stau la baza producerii de bunuri alimentare şi materii prime” în contextul conservării şi protecţiei mediului înconjurător;

b. **Agronomia** este ştiinţa care studiază proprietăţile şi însuşirile de bază ale solului ce influenţează procesele chimice şi biochimice din sol şi capacitatea plantelor de utilizare a elementelor nutritive din sol cât şi factorii ce controlează mobilitatea şi accesibilitatea acestora pentru plante atât prin aportul efectiv al solului în nutrienţi cât şi în urma aplicării fertilizanţilor minerali şi organici;

c. **Agronomia** reprezintă o ramură fundamentală a economiei mondiale, suferă modificări sistematice, se transformă şi ia aspectul unei industrii, tot mai mult dependentă de capriciile factorilor de mediu, cu o capacitate productivă ce trebuie să satisfacă cerinţele de consum ale populaţiei, din ce în ce mai mari

2. Ce are la bază principiul restituirii elementelor nutritive exportate din sol odată cu recolta?

a. Are la bază consumul ionilor nutritivi de către plantele de cultură şi exportul lor din sol odată cu recoltele, conducând treptat la epuizarea şi scăderea fertilităţii solului în aceste elemente;

b. Are la bază consumul ionilor nutritivi de către plantele de cultură şi exportul lor din sol odată cu recoltele, fără să ducă la epuizarea şi scăderea fertilităţii solului în aceste elemente;

c. Are la bază consumul ionilor nutritivi de către plantele de cultură şi exportul lor din sol odată cu recoltele, conducând treptat la menţinerea şi sporirea fertilităţii solului în aceste elemente;

1.6. REZUMAT

Agrochimia este o ştiinţă interdisciplinară fundamentală pentru domeniul agronomic, la graniţa dintre agricultură şi chimie care se ocupă cu problemele de bază ale chimizării agriculturii. Ea studiază dirijarea nutriţiei plantelor în strânsă interdependenţă cu factorii de mediu şi cu aplicarea diverselor substanţe în agricultură, stabilind principiile acţiunii reciproce dintre substanţele folosite în agricultură, sol, plantă şi microorganisme, în vederea obţinerii unor producţii agricole superioare atât cantitativ cât şi calitativ. De asemenea, agrochimia se ocupă cu controlul stării de fertilitate prin analiza plantei şi a solului în vederea stabilirii necesarului de amendamente şi îngrăşăminte, precum şi controlul poluării mediului ca urmare a efectului chimizării intensive şi neraţionale. Este o disciplină teoretică dar şi o ştiinţă practică specială care face un riguros control agrochimic asupra dirijării nutriţiei plantelor în legătură cu aplicarea

1.7. BIBLIOGRAFIE

1.7. BIBLIOGRAFIE

1. Rusu Mihai, Marilena Mărghitaş, Tania Mihăiescu, I.Oroian, Adelina Dumitraş, 2005, Tratat de Agrochimie, Ed. Ceres, Bucureşti ;
2. Marilena Mărghitaş şi colab., 2011, Manual de bune practici în tehnologia fertilizării plantelor agricole, Ed. AcademicPres, Cluj-Napoca ;

Capitolul 2. BAZELE AGROCHIMICE ALE FERTILIZĂRII ÎN RAPORT CU ROLUL NUTRIENŢILOR ŞI CERINŢELE PLANTELOR ÎN ELEMENTE NUTRITIVE

Cuprins

2.1. Compoziţia chimică a plantelor .....
2.2. Compoziţia elementară a plantelor şi clasificarea lor.....
2.3. Rolul elementelor nutritive (nutrienţilor) în viaţa plantelor.....
2.4. Conţinutul plantelor în principalii nutrienţi sau elemente nutritive.....
2.5. Consumul specific de nutrienţi al culturilor agricole şi horticole .....
2.6. Dereglări de nutriţie în regimul elementelor cu caracter fertilizant şi nutritiv la plante .....
2.7. Întrebări recapitulative .....
2.8. Teste de autoevaluare .....
2.9. Rezumat .....
2.10. Bibliografie .....

Introducere

Acest capitol prezintă compoziţia chimică a plantelor şi clasificarea nutrienţilor după criteriul cantitativ care oferă posibilitatea acordării unor roluri şi efecte cu caracter general macroelementelor şi microelementelor dar şi fiecăruia în parte.

Conţinutul plantelor în elemente nutritive (nutrienţi) este privit din punct de vedere practic, nu numai ca un indicator al nutriţiei sau calităţii plantelor, ci şi ca un element ce se pune în legătură cu rolul lor, cu necesarul intervenţiei cantitative prin îngrăşăminte (fertilizanţi) şi evident cu nivelul implicării lor metabolice, fiziologice şi biochimice.

Obiectivele capitolului

La sfârşitul acestui capitol vei fi capabil:
- să cunoşti compoziţia chimică şi elementară a plantelor;
- să clasifici elementele nutritive necesare plantelor după criteriul cantitativ şi cel metabolic;
- să identifici factorii limitativi care duc la dereglări serioase în nutriţia plantelor şi măsurile de fertilizare raţională pentru optimizarea agrochimică a sistemului sol – plantă- îngrăşăminte.

Durata medie de studiu individual – 6 ore

2.1. COMPOZIŢIA PLANTELOR

Pentru a înţelege mecanismul absorbt r nutritive (nutrienţilor) de către plante din sol şi din fertilizanţii aplicaţi , cerinţele plantelor în elemente nutritive, respectiv consumul specific şi global al plantelor, este foarte important de ştiut compoziţia chimică şi elementară a plantelor, clasificarea şi rolul elementelor nutritive, necesarul plantelor în nutrienţi, dereglări de nutriţie naturale şi induse.

Compoziţia chimică a plantelor este în principal rezultanta interdependenţei acestora cu mediul înconjurător, reflectând caracterele biologice ale lor ce s-au format de-a lungul timpului.

Plantele verzi sunt organisme autotrofe, care îşi produc singure, din mediul în care trăiesc, substanţele necesare creşterii şi dezvolării lor. Mai sunt şi excepţii, plantele hemiparazite care îşi asigură hrana brută pe seama altor specii (cazul speciilor *Viscum, Melampirum* etc.)

În evoluţia lor plantele au dobândit o anumită compoziţie chimică dependentă în primul rând de codul genetic, dar şi cu variaţii evidente determinate de acţiunea unor factori trofici. Interacţiunea dintre plante şi mediul înconjurător, a dus la o adaptabilitate a acestora la condiţiile stabile de sol, dar şi la o plasticitate remarcabilă atunci când condiţiile de sol nu sunt constante, ci variabile din punct de vedere al însuşirilor fizice (apă, conţinut de argilă, porozitate etc.) şi fizico-chimice (pH , humus, V %, N, P, K, etc.).

Plantele verzi conţin 75-95 % apă şi 5-25 % substanţă uscată.

- ***Apa*** este un component de bază al tuturor organismelor vii, viaţa acestora nu este posibilă fără apă.

Concepţia biostructurală despre natură şi structura materiei vii (MACOVSCHI, 1972, 1981) apreciază că apa există în ţesuturi sub 3 forme principale: *ca soluţie intracelulară,* deci apă liberă, solvent al substanţelor şi ionilor; *apă integrată în materia biostructurată* care nu mai are calitatea de solvent şi devine liberă după moartea celulelor ca suc plasmatic ş*i apă legată de coloizi şi materia biostructurată* lipsită de însuşirea de a fi solvent dar se adaugă apei libere după moartea ţesutului vegetal.

Apa în plante are roluri multiple: este solvent, mediu de reacţie şi transport al elementelor nutritive şi al diverselor substanţe sintetizate; reglează temperatura ţesuturilor şi organismului vegetal; controlează şi reglează presiunea osmotică a sucului celular.

Conţinutul în apă al plantelor este variabil cu vârsta (plantele tinere conţin mai multă apă 80-95 % iar cele mature şi seminţele 5-25 %) şi cu momentele zilei (noaptea şi dimineaţa plantele conţin mai multă apă decât ziua când transpiraţia este mai mare).

- ***Substanţa uscată*** este reprezentată de: substanţe organice împreună cu cele minerale astfel sunt:

Substanţe organice fără azot: glucide (glucoză, fructoză, zaharoză, amidon, celuloză, hemiceluloză) substanţe pectice, lignine, acizi organici (acetic, oxalic, lactic, malic, tartric, citric, succinic), lipide (gliceride, ceride, steride, fosfatide), lipoide (terpene, steroli), acizi graşi (linoleic, oleic, palmitic, stearic), etc.

Substanţe organice cu azot: proteine simple (alcătuite din aminoacizi), proteine complexe (protide) formate din proteine simple şi diverse grupări neproteice (lipoproteide, nucleoproteide, glicoproteide etc.).

Pigmenţii: sunt substanţe care au capacitatea de a capta radiaţiie solare şi le utilizează în procesul de fotosinteză cum sunt: clorofila, carotenoidele etc.

Enzimele: sunt biocatalizatori ai reacţiilor biochimice care au loc în plantă.

Hormonii vegetali: sunt substanţele cu rol specific în procesele de creştere şi de maturare (auxine, gibereline, chinetine).

Vitamine : vitamine (A, B_l, B_2, B_6, C, D etc.)

Săruri anorganice: nitraţi, nitriţi, cloruri, sulfaţi, silicaţi sau ioni liberi anorganici: K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}, Cl^- etc.

Substanţele minerale din plante influenţează direct sinteza substanţelor ce alcătuiesc

substanţa uscată, modificând astfel cantitatea şi calitatea recoltei.

Tabel 1

Conţinutul plantelor în apă şi principalii compuşi organici în % (după diverşi autori)

Specia	Produsul	Apă	Substanţa uscată			
			Substanţe proteice	Extractibile fără N (amidon, zahăr)	Grăsimi	Celuloză
Grâu	Seminţe	12-13	10-12	66-75	2	2,5
	Paie	16-20	5	33-38	1,6-1,8	25
Soia	Seminţe	8-11	61	29	18-20	4-5
Floarea soarelui	Seminţe	8-10	26-29	5-14	33-50	1,7-3,8
Cartof	Tuberculi	77	2,1	19	0,1	0,6
Lucernă	Frunze	80	3,1	9,8	0,7	3,6
	Fân	15	16	34	2,5	24
	Masă verde	74	5,4	10	0,7	6,7
Tomate	Fructe	94	0,95[x]	4,1[xx]	0,28	1,0

[x] – proteină brută; [xx] – zahăr şi glucide insolubile

2.2. COMPOZIŢIA ELEMENTARĂ A PLANTELOR ŞI CLASIFICAREA LOR

2.2.1. Compoziţia elementară a plantelor

Cele peste 60 de elemente ce intră în alcătuirea plantelor au un rol complex, participând singure sau împreună cu altele, sub formă de grupări anionice sau acide (C, N, S, P), de cationi bazici cu valenţă fixă (K, Ca, Mg), de cationi cu valenţă variabilă (Mn, Fe, Cu Zn) la multiple procese de sinteză, transport, depunere de substanţe, activarea sau catalizarea altor procese, la schimbul şi transferul (transportul) de energie.

Carbonul, hidrogenul, oxigenul au o pondere în compoziţia plantei de aproximnativ 90%; azotul, fosforul, sulful, potasiul au un conţinut de 4,4%; calciu, magneziu, sodiu, siliciu, clorul care au un conţinut de 2,7% (Tabelul 2).

Unele elemente precum; Fe, Mn, Mo, B, Cu, Zn, etc. se regăsesc în cantităţi mici în compoziţia plantelor, de ordinul ppm[18]. Acestea sunt la fel de importante ca şi cele existente în cantităţi mari în plante şi conţinutul lor total ajunge între 0,3-0,4% din substanţa uscată.

Valoarea fiziologică a acestor elemente în ecosistem este egală, însă cantitativ se consumă în mod diferit. Revenirea lor în ecosistem se realizează prin descompunerea resturilor vegetale, dejecţiilor animale şi organismelor moarte sub acţiunea bacteriilor, ciupercilor, microorganismelor cât şi organismelor mari în simplii componenţi care pot fi preluaţi de materia organică, respectiv de către plantele verzi.

Tabel 2

Compoziţia medie elementară a plantelor (după Javillier)

Elementul	Concentraţia	Elementul	Concentraţia
Carbon	40-50%	Molibden	2,4-4,3 ppm

Oxigen	42-44%	Nichel	0,15-2,3 ppm
Hidrogen	6-7%	Cobalt	0,01-0,8 ppm
Azot	1-3%	Litiu	0,09-9,0 ppm
Fosfor	0,05-1	Rubidiu	15,0-30,0 ppm
Sulf	0,1-0,5%	Cesiu	22 ppm
Potasiu	0,3-3,0% (până la 8%)	Aluminiu	1,00-200 ppm
Sodiu	0,001-3,5%	Titan	0,9-30 ppm
Calciu	0,5-3,5%	Crom	0,04-10 ppm
Magneziu	0,03-0,8%	Fluor	2,00-80 ppm
Clor	0,2%	Brom, Iod	în plante marine
Siliciu	0,005-1,35%	Arsen	0,1-0,6 ppm
Fier	40-1300 ppm	Seleniu, Vanadiu	
Mangan	25-63 ppm	Plumb, Beriliu	urme
Bor	2-80 ppm	Staniu, Argint	
Cupru	18-36 ppm	Bariu, Stronţiu	
Zinc	12-83 ppm		

2.2.2. Clasificarea elementelor necesare nutriţiei plantelor

Elementele ce alcătuiesc corpul plantelor, se pot clasifica cel puţin după două criterii:

a. după rolul lor metabolic

b. după criteriul cantitativ

a. după **rolul lor metabolic**, elementele sunt: esenţiale, neesenţiale, întâmplătoare.

- *Elemente esenţiale*: indispensabile creşerii şi dezvoltăii plantelor, care sunt în număr de 16 (C, O, H, N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo şi Cl). Aceste elemente participă la alcătuirea unor substanţe organice şi iau parte la desfăşurarea proceselor fiziologice vitale din plante.

- *Elemente neesenţiale*: a căror prezenţă poate favoriza creşterea şi dezvoltarea plantelor, dar absenţa lor nu are un efect sesizabil, semnificativ. Acestea sunt următoarele: Pb, Na, Si, Br, F, I, Ni, Se, Co, ş.a.

- *Elemente întâmplătoare:* care există în plante dar nu exercită un rol în procesele biologice (poate unele încă necunoscute), cum ar fi: Ba, Bi, Li, ş.a.

b. după **criteriul cantitativ**, elementele sunt:

- **macroelemente:** *primare* (C, H, O, N, P, K), *secundare* (S, Ca, Mg);
- **microelemente** *primare* (Fe, Cu, Zn, Mo, B, Mn), *secundare* (Co, Ni) şi
- **ultramicroelemente (**Rb, Li, etc.**).**

- **Macroelementele**: ce se găsesc în plante în concentraţii de $n.10^{1}$ - $n.\ 10^{-2}$ %, considerate ca esenţiale şi au un rol direct în procesele de nutriţie, de creştere şi dezvoltare, iar absenţa lor împiedică dezvoltarea părţilor vegetative, a organelor de reproducere şi încheierea ciclului vital. Lipsa lor (carenţa), poate fi corectată prin introducerea în mediul nutritiv a unor săruri (îngrăşăminte) ce conţin elementul (lipsă din sol sau mediul nutritiv) aplicând zeci şi sute de kilograme s.a./ha (s.a. - substanţă activă).

Carenţa accentuată şi îndelungată a macroelementelor din mediul nutritiv, provoacă tulburări metabolice, citologice, histologice, anatomo-patologice.

În funcţie de modul de aplicare la plante a macroelementelor, acestea sunt **primare** (N, P, K) ce se aplică anual în cantităţi mari sub formă de îngrăşăminte şi **secundare** (S, Ca, Mg) care de regulă se află în sol în cantităţi aproximativ suficiente pentru o recoltă normală, dar la anumite culturi, se aplică prin fertilizări cu îngrăşăminte.

- **Microelementele**: al căror conţinut în plante este de $n.10^{-2}$ - $n.10^{-5}$ % fiind următoarele: Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo şi Co. Au roluri catalitice în toate procesele metabolice şi se folosesc în cantităţi mici de plante, deci nu depăşesc 0,01 % din S.U. (substanţă uscată). Lipsa sau insuficienţa lor, împiedică realizarea ciclului vital, determinând tulburări metabolice, citologice şi histologice ce duc la scăderea recoltei. În general, carenţa se corectează prin aplicarea fertilizanţilor

(îngrăşămintelor) chimice ce nu depăşesc 10 kg s.a./ha. Excesul de microelemente, se manifestă asupra plantelor prin acţiune toxică.

- **Ultramicroelementele**: sunt conţinute în plante la nivelurile de $n.10^{-6}$ - $n.10^{-12}$. În această categorie intră elementele radioactive (U, Th, Ac, Rb, Li) a căror prezenţă stimulează dezvoltarea plantelor.

Conţinutul plantelor în principalele elemente nutritive sau nutrienţi este un indicator agrochimic esenţial care exprimă concentraţia procentuală în oxid sau element al nutrienţilor (raportare care se face la substanţă uscată organică sau la produsul proaspăt, respectiv substanţă proaspătă).

Valoarea cantitativă a acestui indicator exprimă nivelul nutriţiei minerale a plantelor, uneori diferenţiat în fiecare organ cât şi adaptarea speciilor la reprezentarea în sol sau substratul nutritiv a elementelor respective.

Există o mare diferenţiere a concentraţiilor în elementele nutritive din corpul plantelor, valori particulare şi caracteristice fiecărei specii în parte şi a organului vegetativ analizat.

Concentraţiile cele mai mari de elemente nutritive (nutrienţi) din plante, se regăsesc în primul rând în frunze, care de fapt sunt organele active ale fotosintezei, apoi în fructe, rădăcini şi seminţe.

Valorile medii ale conţinuturilor nutrienţilor în plante, caracterizează o nutriţie şi o stare de asigurare normală, orice abatere în minus sau în plus declanşează fenomenele negative ale carenţei sau toxicităţii.

2.3. ROLUL ELEMENTELOR NUTRITIVE (NUTRIENŢILOR) ÎN VIAŢA PLANTELOR

Conţinutul plantelor în elemente nutritive (nutrienţi) este privit din punct de vedere practic, nu numai ca un indicator al nutriţiei sau calităţii plantelor, ci ca un element ce se pune în legătură cu rolul lor, cu necesarul intervenţiei cantitative prin îngrăşăminte şi evident cu nivelul implicării lor metabolice, fiziologice şi biochimice.

Clasificarea nutrienţilor după criteriul cantitativ oferă posibilitatea acordării unor roluri şi efecte cu caracter general macroelementelor şi respectiv microelementelor dar şi fiecăruia în parte, unele roluri particulare specifice.

- Astfel **macroelementelor** *primare şi secundare*: N, P, K, S, Ca, Mg li se atribuie roluri plastice, constitutive ale materiilor organice de sinteză din lumea vegetală, implicării în sinteza proteinelor şi glucidelor, în fotosinteză şi alte procese metabolice esenţiale. De aceea au în principal roluri în delimitarea cantitativă a producţiilor, la unele esenţiale fiind şi implicarea în calitatea recoltelor (fosforul şi potasiul) sau cel puţin secundare din acest ultim punct de vedere (cazul azotului).

Azotul: este macroelement primar, cu roluri metabolice esenţiale fiind după carbon, oxigen şi hidrogen, elementul cu cea mai mare şi diversificată răspândire în compuşii organici ai lumii vegetale şi are roluri plastice cantitative importante. Este prezent în aminoacizi, proteine, are rol în fotosinteză fiind element al compoziţiei clorofilei, cu roluri în creştere şi dezvoltare, fiind determinant esenţial al mărimii recoltelor, respectiv al biomasei.

Fosforul: este indispensabil unor compuşi organici din plante de tipul acizilor nucleici, al unor compuşi macroergici şi al celor organici ce înmagazinează şi transferă energie metabolică. Stimulează germinarea, răsărirea, înflorirea, fructificarea şi coacerea plantelor. Este un element esenţial şi factor al calităţii recoltelor ce echilibrează şi condiţionează efectul azotului.

Potasiul: deşi nu intră în compoziţia unor substanţe organice din plante, acest element acţionând în exclusivitate sub formă ionică (K^+), contribuie la stabilirea echilibrului acido-bazic al celulelor, activează sistemele enzimatice, are un rol esenţial în fotosinteză (activând absorbţia dioxidului de carbon), în sinteza şi depunerea glucidelor, în reducerea nitraţilor şi sinteza proteinelor, asigură rezistenţa plantelor la cădere şi la atacul de boli şi dăunători. Echilibrează funcţiile de creştere ale azotului, prezenţa lui alături de azot şi fosfor în sistemele de fertilizare completează rolurile celorlalte două macroelemente fiind un determinant al calităţii producţiilor.

Sulful: considerat un macroelement de ordin secundar, se leagă ca roluri şi efecte de cele ale azotului, participă la sinteza unor aminoacizi esenţiali cu sulf şi în sinteza proteinelor. Este activ în sinteza şi activitatea unor enzime, în reacţiile oxidoreducătoare din celule. I se atribuie atât roluri plastice cât şi de implicare în calitatea recoltelor.

Calciul: este un element de structură a pereţilor celulari şi a membranelor plasmatice, cu efecte în diviziunea celulară. Alături de potasiu este un element determinant al echilibrului acido-bazic din celula vegetală. Prezenţa lui în pulpa fructelor asigură rezistenţă la păstrare şi transport a acestora.

Magneziul: fiind prezent în compoziţia clorofilei este factorul determinant al fotosintezei şi activator al unor sisteme enzimatice. Participă la circuitul fosforului activând procesele de fosforilare din plante. Alături de calciu şi potasiu este un stabilizator al echilibrului acido-bazic al celulei vegetale. Este implicat ca şi potasiul în sinteza şi depunerea glucidelor în organele de rezervă ale plantelor.

- **Microelementele:** au unele însuşiri comune întrucât se implică, fără excepţie, în compoziţia enzimelor şi activarea unor sisteme enzimatice. Dintre cele legate de lumea vegetală numai borului i se recunosc şi roluri plastice, constitutive. Sunt în general determinante ale calităţii producţiilor, decât a cantităţii acestora şi se leagă specific de circuitul macroelementelor (Mo de N, Zn de P, B de K etc.).

Fierul: este un microelement care deşi nu intră în compoziţia clorofilei este necesar biosintezei acesteia. Dar inactivarea prin $CaCO_3$ activ din sol, a „fierului fiziologic activ" determină o severă carenţă de fier la plantele sensibile la insuficienţa sa, cunoscută sub denumirea de „cloroză ferocalcică". Fiind un element cu stări de valenţă variabile (în funcţie de factori chimici, fizici şi trofici, în general) este un factor determinant al potenţialului redox al celulelor.

Influenţează pozitiv, prin prezenţă optimă, formarea cloroplastelor, sinteza proteinelor şi fixarea azotului atmosferic, enzimatic, prin proteinele transportoare de electroni.

Manganul: este un alt element care alături de magneziu şi fier se implică pozitiv în fotosinteză, favorizând înglobarea dioxidului de carbon în hidraţii de carbon. Activează sinteza proteinelor şi asigură alături de alte elemente, o anumită rezistenţă a plantelor la condiţiile de vegetaţie negative (îngheţ, concentraţii mari de săruri în soluţia solului, temperaturi înalte etc.). Variabilitatea valenţelor îi asigură un efect important (la fel ca şi fierului) în sistemele redox celulare.

Cuprul: prin compuşii cu proteinele (de tip enzimatic) se implică în activitatea cloroplastelor, în sinteza hidraţilor de carbon şi a proteinelor. Este eficient, în concentraţii normale, în legarea florilor şi fertilitatea polenului favorizând reproducerea şi fructificarea plantelor.

Zincul: este implicat în compoziţia şi activarea enzimelor, în sinteza hidraţilor de carbon şi a proteinelor fiind determinant al activităţii unor hormoni de creştere de tipul auxinei.

Borul: este un microelement căruia, pe lângă rolurile enzimatice, i se recunosc şi altele, de natură plastică, regăsindu-se anumite concentraţii din acesta în pereţii celulari, alături de calciu. Influenţează pozitiv procesele reproducerii vegetale prin asigurarea fertilităţii şi viabilităţii polenului florilor. Asigură funcţionalitate prin permeabilitate membranelor celulare, iar enzimatic participă la sinteza şi metabolismul glucidelor, proteinelor, la transportul şi depunerea acestora.

Molibdenul: este cel mai implicat dintre microelemente în compoziţia şi activarea unor enzime determinante în circuitul azotului – nitratreductaza şi nitrogenaza, specifice reducerii nitraţilor şi respectiv fixării azotului molecular. Prezenţa acestuia asigură un anumit randament proceselor importante legate de circuitul azotului şi sinteza aminoacizilor şi proteinelor.

2.4. CONŢINUTUL PLANTELOR ÎN PRINCIPALII NUTRIENŢI SAU ELEMENTE NUTRITIVE

Este un indicator agrochimic esenţial care exprimă concentraţia procentuală în oxid sau element al nutrienţilor, raportare care se face la substanţa uscată organică (s.u.) sau la produsul proaspăt, respectiv substanţă proaspătă. Valoarea cantitativă a acestui indicator exprimă nivelul

nutriţiei minerale a plantelor uneori diferenţiat în fiecare organ cât şi adaptarea speciilor la reprezentarea în sol sau substratul nutritiv a elementelor respective (tabelul 3).

Tabel 3

Conţinutul mediu al plantelor agricole în macroelemente
(după Velicica Davidescu şi D. Davidescu, 1999)

Planta	Elemente minerale %				
	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
A. Culturi de câmp:					
Grâu - boabe	1,90	0,85	0,90	0,07	0,02
Porumb - boabe	1,91	0,57	0,37	0,30	0,19
Mazăre - boabe	4,50	1,00	1,25	0,09	0,13
- vreji	1,40	0,35	0,50	1,82	0,27
Fasole – boabe	3,68	1,38	1,72	0,24	0,29
Soia – boabe	5,80	1,04	1,27	0,17	0,25
Cânepă – seminţe	3,50	1,69	0,94	1,09	0,26
- tulpini	0,27	0,21	0,55	1,68	0,21
Tutun – frunze	2,34	0,66	5,09	5,07	1,04
Sfeclă de zahăr – rădăcini	0,24	0,08	0,25	0,06	0,05
- frunze	0,35	0,10	0,50	0,17	0,11
Cartof – tuberculi	0,32	0,14	0,56	0,03	0,06
Trifoi – frunze	0,30	0,16	0,86	0,80	0,21
- fân	1,97	0,56	1,50	2,35	0,76
Lucernă – fân	2,60	0,65	1,50	2,52	0,71
B. Legume:					
Tomate – fructe	0,26	0,07	0,32	0,04	0,06
Castraveţi – fructe	0,22	0,05	0,22	0,03	0,02
Salată – frunze	0,26	0,08	0,39	0,15	0,06
Varză – căpăţâni	0,33	0,11	0,40	0,07	0,03
Ceapă – bulbi	0,30	0,11	0,34	0,16	0,06
Morcov – rădăcini	0,23	0,13	0,38	0,12	0,09
C. Pomi fructiferi – viţă de vie:					
Măr – frunze	2,50	0,45	1,60	3,00	0,51
Păr – frunze	2,25	0,32	1,50	2,00	0,90
Prun – frunze	2,32	0,38	1,90	2,70	0,70
Piersic – frunze	2,2-3,8	0,2-0,4	1-3,9	1,7-4,9	0,5-1,8
Viţă de vie – frunze	1,5-2,6	0,7	0,9	4- 6,7	0,6-1,5

Din exemplificările de mai sus se reţin ca esenţiale următoarele observaţii:

- există o mare diferenţiere a concentraţiilor în elementele nutritive din corpul plantelor, valori particulare şi caracteristice fiecărei specii în parte;
- diferenţierea concentraţiilor în principalii nutrienţi se face în funcţie de specia plantei dar şi după organul vegetativ analizat. Concentraţiile cele mai mari se regăsesc în primul rând în frunze, care sunt organele active ale fotosintezei, apoi în fructe, rădăcini şi seminţe;
- dinamica nutriţiei şi parcurgerea fenofazelor din ciclul vegetativ, conferă o dinamică şi acestor concentraţii de nutrienţi. Aceasta se poate controla şi dirija prin urmărirea nivelului de acumulare a nutrienţilor în legătură cu acumularea substanţei uscate şi orice dereglare a acestui paralelism constituie potenţial o dereglare a nutriţiei;
- ca o regulă a diversităţii conţinutului elementelor se reţin valori mai mari ale concentraţiilor azotului şi potasiului, comparativ cu ale fosforului. Sunt situaţii şi plante, cum este cazul plantelor

tehnice sau cele care acumulează zaharuri, la care concentraţiile de acumulare ale potasiului depăşesc pe cele ale azotului;

- de o reală importanţă este şi momentul, respectiv, fenofaza la care se fac analizele elementelor nutritive din plante, cunoscându-se că prezenţa şi necesarul consumului de azot este preponderent în primele două treimi ale ciclului vegetativ după care rolul şi efectul fosforului şi potasiului este mai activ;
- valorile medii ale conţinuturilor nutrienţilor în plante caracterizează o nutriţie şi o stare de asigurare normală, orice abatere în minus sau în plus declanşează fenomenele negative ale carenţei sau toxicităţii.

2.5. CONSUMUL SPECIFIC DE NUTRIENŢI AL CULTURILOR AGRICOLE ŞI HORTICOLE

Consumul de elemente nutritive pentru formarea recoltei biologice este un criteriu de diferenţiere a dozelor de nutrienţi necesare plantelor şi de restituit solurilor, fiind exportate odată cu recoltele (prin producţia principală şi secundară a acestora).

Însuşirile ce caracterizează necesarul de nutrienţi (elemente nutritive) se realizează prin cel puţin doi indicatori:

- **Consum specific de nutrienţi (Cs):** exprimat în kg necesar la o unitate (tonă sau qintal) din produsul principal sau secundar şi care se regăseşte în recolta prelevată (kg oxid sau element N, P, K), necesar formării unei tone de produs principal şi secundar vegetal);

O definiţie mai practică şi mai uşor de reţinut, arată că: **prin consum specific (Cs)** se înţelege cantitatea de N,P,K, exprimată în Kg s.a. necesară realizării unei tone de produs (principal şi secundar).

- **Consum global de nutrienţi (Cg):** ce revine la unitatea de suprafaţă şi se obţine din produsul recoltei obţinute la hectar (Ra – t/ha) cu valoarea consumului specific al plantei respective (Cs – kg/t produs) şi se calculează cu expresia: Cg kg/ha = Ra . Cs, pentru fiecare element în parte. Adică, mai pe înţelesul tuturor celor care lucrează în domeniul agronomic, **prin consum global de nutrienţi (Cg)** se înţelege cantitatea de N,P,K, exprimată în Kg s.a. necesară pe un hectar la specia de plantă cultivată.

În diferenţierea dozelor de N, P, K şi alte elemente, se utilizează mai frecvent valorile consumului specific, care au specificitate şi particularităţi pentru toate plantele agricole şi horticole (tabelul 4).

Tabel 4

Consumurile specifice ca valori ale necesarului de elemente nutritive şi fertilizante la plante agricole şi horticole (Cs=kg/t produs vegetal) (prelucrare după diferiţi autori [x)])

Planta	Cs (kg/t)				
	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
A. Culturi de câmp					
1. Grâu	25 – 35	13 – 18	16 – 37	7 – 10	3,5 – 4,2
2. Orz de toamnă	23 – 30	10 – 15	20 – 32	6 – 8	3,2 – 4,0
3. Secară	20 – 28	8 – 10	18 – 28	8 – 11	3,5 – 4,5
4. Ovăz	22 – 28	10 – 12	25 – 35	9 – 12	3,8 – 5,5
5. Porumb boabe	20 – 30	8 – 14	20 – 30	10 – 14	3,5 – 4,5
6. Soia	70 – 75*	20 – 25	30 – 35	30 – 36	8 – 12
7.Mazăre	60 – 65*	15 – 20	28 – 32	25 – 30	8 – 10
8.Fasole	60 – 65*	12 – 18	25 – 30	20 – 25	8 – 12
9.In ulei	50 – 60	14 – 20	60 – 70	20 – 25	15 – 18
10.Sfeclă de zahăr	4 – 8	1,5 – 3	6 – 8	2 – 4	1 – 3
11.Cartof	5 – 8	2 – 4	7 – 9	4 – 6	2 – 4
12.Floarea soarelui	35 – 45	17 – 22	45 – 55	25 – 30	16 – 20
B. Culturi furajere					
1. Porumb – masă verde	6 – 10	2 – 3	4 – 8	2 – 4	1 – 3
2. Lucernă – fân	25 – 35	6 – 10	22 – 30	20 – 30	6 – 8
3. Lucernă – masă verde	8 – 10	2 – 4	6 – 8	6 – 8	4 – 6

4. Trifoi – fân	26 – 30	6 – 8	20 – 28	20 – 25	2 – 4
5. Trifoi – masă verde	6 – 8	2 – 4	5 – 8	4 – 6	4 – 5
6. Borceag – fân	25 – 28	8 – 10	20 – 24	8 – 10	2 – 4
7. Borceag – masă verde	6 – 8	3 – 6	4 – 6	3 – 6	1 – 3
8. Golomăţ - fân	20 – 24	6 – 8	26 – 28	8 – 10	1 – 3
9. Golomăţ - masă verde	6 – 8	2 – 4	8 – 10	6 – 8	1 – 2
10. Sfeclă furajeră	3 – 6	2 – 4	6 – 8	2 – 4	1 – 3
11. Pajişti naturale – fân	24 – 26	6 – 8	18 – 22	10 – 14	4 – 6
C. Plante legumicole					
1. Ardei – seră	1,5 – 3,0	0,5 – 1,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,5	0,4 – 0,6
2. Ardei gras – câmp	6 – 8	1,2 – 1,5	5 – 7	1,5 – 2,0	0,8 – 1,2
3. Castraveţi – seră (lungi)	2,5 – 3,0	1,0 – 1,5	3,8 – 4,5	1,5 – 2,2	0,6 – 1,0
4. Castraveţi – seră (scurţi)	1,8 – 2,5	1,2 – 1,8	2,8 – 3,2	1,8 – 2,5	0,8 – 1,2
5. Castraveţi – câmp	2,0 – 2,5	1,0 – 1,5	2,5 – 3,5	1,2 – 1,8	0,5 – 0,8
6. Ceapă din sămânţă	2,4 – 3,2	1,2 – 1,4	3,5 – 4,2	1,4 – 2,0	1,2 – 1,4
7. Conopidă – timpurie	6 – 8	3 – 4	8 – 10	4 – 6	1,0 – 1,5
8. Conopidă – toamnă	10 – 12	4 – 6	14 – 16	6 – 8	1,5 – 2,2
9. Fasole verde – câmp	14 – 18[x)]	5 – 10	18 – 22	6 – 8	0,6 – 1,0
10.Mazăre verde – câmp	10 – 12[x)]	4 – 8	8 – 10	6 – 8	0,4 – 0,6
11. Morcov	3,2 – 3,6	1,0 – 1,5	6 – 8	1,2 – 1,6	0,6 – 0,8
12. Pătrunjel	2,2 – 2,8	1,0 – 1,2	2,8 – 3,8	1,0 – 1,2	0,4 – 0,6
13. Ridichi de lună – solar	3,6 – 5,0	1,8 – 2,0	4,2 – 5,2	1,8 – 2,2	0,8 – 1,2
14. Rididichi de iarnă	4,0 – 8,5	2,5 – 3,2	4,2 – 6,0	2,4 – 3,0	0,4 – 0,6
15. Salată – câmp	2,0 – 3,0	1,0 – 1,5	4,0 – 5,0	1,0 – 1,6	0,2 – 0,4
16. Salată – seră	2,2 – 3,2	1,2 – 1,6	4,2 – 5,2	1,2 – 1,6	0,4 – 0,6
17. Salată – solar	2,2 – 3,4	1,0 – 1,4	4,0 – 5,2	1,0 – 1,6	0,3 – 0,5
18. Spanac – câmp	3,5 – 4,2	1,8 – 2,0	5,5 – 7,0	1,8 – 2,2	0,8 – 1,2
19. Tomate – câmp	2,5 – 3,0	0,8 – 1,2	3,2 – 4,0	1,2 – 1,4	1,0 – 1,2
20. Tomate – solar	4,2 – 5,0	1,8 – 2,2	5,2 – 6,2	1,1 – 1,6	1,2 – 1,4
21. Tomate – seră	2,8 – 4,8	1,6 – 2,0	5,4 – 6,4	1,4 – 1,6	1,2 – 1,6
22. Ţelină	6,5 – 7,2	1,7 – 3,2	8 – 11	4,8 – 8,4	1,2 – 1,4
23. Varză timpurie	3,2 – 3,8	1,4 – 1,6	4,8 – 5,2	2,8 – 4,2	0,8 – 1,2
24. Varză de vară	2,9 – 3,2	1,7 – 2,0	4,2 – 5,4	2,2 – 2,8	0,8 – 1,4
25. Varză de toamnă	3,0 – 3,8	1,2 – 2,0	5,3 – 5,6	2,2 – 2,8	0,8 – 1,0
26. Vinete – câmp	3,5 – 3,8	1,2 – 1,4	4,2 – 5,0	1,2 – 1,8	0,8 – 1,2
27. Vinete – seră	6 – 8	1,8 – 2,2	7,2 – 9,5	1,8 – 2,4	1,0 – 1,4
28. Vinete - solar	4 – 6	1,6 – 2,0	6 – 8	1,4 – 1,8	0,8 – 1,3
D. Culturi pomicole					
1. Măr	2,3 – 3,0	0,7 – 0,9	3,2 – 3,4	1,8 – 2,8	0,7 – 0,8
2. Păr	2,4 – 3,2	0,8 – 1,0	3,3 – 3,7	1,4 – 2,0	0,8 – 1,0
3. Prun	3,5 – 4,0	1,0 – 1,2	5,5 – 6,0	2,8 – 3,0	0,8 – 1,0
4. Cais	3,5	1,0 – 1,5	5,4 – 6,2	2,3 – 2,8	1,0 – 1,2
5. Cireş	3,0	1,5 – 1,8	5,5 – 6,0	1,7 – 2,4	1,0 – 1,2
6. Piersic	6 – 8	2 – 3	8 – 10	4 – 6	1 – 2
E. Viţă de vie					
1. Struguri pentru vin	6 – 14,8	1,2 – 3,8	4,4 – 15,5	4 – 8	1,2 – 1,8
2. Struguri de masă	8 – 10	2 – 3	10 – 12	2 – 4	1,0 – 1,6

[x)] Azotul provine în consum nutritiv la plantele menţionate în proporţie de 60-70% prin fixare simbiotică.
[x)] Autori din bibliografie: Borlan, Hera şi colab., 1994; Davidescu D., Velicica Davidescu, 1981; Davidescu Velicica şi D. Davidescu, 1999; Fink, 1982; Lăcătuş, Luminiţa Nicoleta Cârstea, 2008; Mărghitaş Marilena şi M. Rusu, 2003; Rusu şi colab., 2005; Tomma şi colab., 1970.

Din analiza valorilor cantitative ale consumurilor specifice pentru culturile agricole şi horticole se deduc următoarele precizări:

- se observă o mare diferenţiere între specii privind consumurile specifice aferente unei unităţi (tonă) de biomasă;
- unele dintre culturi sunt mari consumatoare în privinţa tuturor nutrienţilor: cazul conopidei, ţelinei şi chiar a tomatelor, dintre legume, piersicul dintre pomii fructiferi ş.a.;

culturi ca leguminoasele în general (soia, mazărea), sunt mari consumatoare de azot, dar din care o cotă parte provine prin fixare simbiotică, floarea soarelui este mai mare consumatoare de azot şi potasiu, legumele în general, pomii fructiferi şi viţa de vie au valorile cantitative ale consumului specific mai mari la potasiu, faţă de azot şi apoi faţă de fosfor;

- este distinct fenomenul ce arată că plantele ce sintetizează, vehiculează şi depun proteine au o preponderenţă a azotului între valorile consumurilor specifice, iar cele ce sintetizează şi depun prioritar glucide (legumele, pomii fructiferi şi viţa de vie) determină o preponderenţă a potasiului între valorile consumurilor specifice;
- la toate culturile valorile consumului specific de fosfor sunt cele mai reduse (comparativ cu azotul şi potasiul) situaţie ce poate fi o expresie a mobilităţii mai slabe ca ion nutritiv în soluri a acestuia, retrogradării sale în diferite medii agrochimice şi evident a adaptării plantelor la conţinuturile sale mai scăzute din soluri (faţă de azot şi potasiu ce deţin o reprezentare mai bună ca resurse şi rezerve în soluri);
- având în vedere rolurile diferenţiate ale elementelor nutritive şi valorile consumurilor specifice, este evidentă cerinţa ca prin programele de fertilizare „să se restituie" solului cantitatea de nutrienţi „exportată" prin recolte în valori dependente de cele ale consumului specific al culturii respective (Cs) şi de recolta obţinută. Aplicarea în programul de fertilizare a acestui principiu de dependenţă a dozelor de îngrăşăminte de „bilanţul" nutrienţilor în sistemul sol – plantă determină, un criteriu al diferenţierii dozelor şi a îngrăşămintelor după cerinţele cantitative şi sortimentale ale plantelor în nutrienţi sau elemente nutritive.

2.6. DEREGLĂRI DE NUTRIŢIE ÎN REGIMUL ELEMENTELOR CU CARACTER FERTILIZANT ŞI NUTRITIV LA PLANTE

Prin sistemele de fertilizare raţionale şi controlate se urmăreşte optimizarea agrochimică a sistemului sol – plantă în vederea obţinerii unor producţii agricole superioare din punct de vedere cantitativ şi calitativ. În condiţiile optimului agrochimic realizat prin fertilizare, în plante se instaurează **echilibrul nutritiv** controlabil atât prin valorile absolute ale concentraţiei şi acumulării nutrienţilor cât şi prin raporturile echilibrate dintre acestea. Dereglarea echilibrului nutritiv determină la culturi în privinţa absorbţiei şi acumulării nutrienţilor, stări extreme ale acestor procese:

Insuficienţa, carenţa sau lipsa unui element nutritiv: care se declanşează la anumite nivele ale insuficienţei nutrienţilor sau la rapoarte dezechilibrate. Aceste cauze au provenienţă **naturală** sau **antropică – indusă** prin tehnologii şi activităţi necontrolate (tabelul sintetic).
Aceste stări prezintă simptome caracteristice şi parametrii analitici specifici.

Excesul de elemente nutritive şi toxicitatea: are la bază efectul concentraţiilor prea mari, excesive asupra vegetaţiei. Ca şi stările de insuficienţă, cauzele pot fi **naturale** sau **antropice – induse** prin tehnologii şi activităţi necontrolate. Simptomele sunt specifice ca şi parametrii analitici de control.

2.6.1.Dereglări de nutriţie ale macro şi microelementelor

- **Deficienţa de azot:** prezintă simptomul unor decolorări şi în special îngălbeniri ale frunzelor de la etajele inferioare spre vârfurile de creştere. Se reduce conţinutul de clorofilă şi de azot proteic. La culturile de câmp în organele vegetative concentraţiile de azot sunt < 50 ppm, iar la speciile de pomi şi viţă de vie, în frunze se regăsesc concentraţii de azot total < 1,5 – 2,0% din s.u.

Fenomenul apare frecvent la plante ce cresc pe soluri cu conţinut redus de humus (H<1,5 - 2,0%) şi de azot mineral (NH_4, NO_3 <20-30 ppm), cu stări extreme ale reacţiei, astructurate, erodate şi cu textură fie prea nisipoasă fie prea fină (argiloasă).

Preventiv, fenomenul se rezolvă prin fertilizări organice periodice şi minerale bine dozate, aplicate uniform, prin fertilizări de bază şi fazial.

- **Excesul de azot:** afectează serios creşterea şi producţia, are un simptom ce se exteriorizează prin creşteri ale foliajului foarte mari, cu o coloraţie verde – intens, metalic. Organele vegetative se

dezvoltă în detrimentul celor de reproducere. În frunze regăsim concentraţii mari ale azotului nitric – „exces nitric” – (chiar la nivelul de toxicitate), la culturi de câmp concentraţii ale nitraţilor mai mari de 1500-2500 ppm, iar la culturi multianuale (pomi, viţă de vie), azotul total depăşeşte concentraţiile de 3,5-4,0% din s.u. In solurile pe care cresc plante cu simptome clare ale excesului de azot, regăsim concentraţii ale nitraţilor mai mari de 100 ppm, ceea ce arată că în profilul solului respectiv se regăsesc doze de azot mineral > 100-150 kg/ha.

Fenomenul se previne prin fertilizări corecte, echilibrate, fracţionate cu azot, prin amendarea solurilor şi asigurarea prioritară a nivelului optim de fosfor prin fertilizări.

- **Deficienţa de fosfor:** se prezintă pe vegetaţie prin antocianare roşie violacee a peţiolului şi frunzelor plantelor şi este regăsită nativ dar şi pentru că nu s-au aplicat anterior îngrăşăminte cu fosfor. Este mai des întâlnită pe soluri cu reacţie extremă (pH <5,8 sau > 8,4) datorită imobilizării şi insolubilizării fosfaţilor prin „retrogradare” dar şi la soluri fertilizate excesiv cu azot.

  În plantele afectate de acest fenomen negativ regăsim în frunzele cerealelor concentraţii < 0,15% P_2O_5 din s.u., iar la pomi şi viţă de vie <0,15-0,20% P_2O_5 din s.u.

  În solurile ce declanşează potenţial insuficienţa sau carenţa de fosfor se regăsesc conţinuturi mai mici de 10-15 ppm P-AL (fosfor extras în soluţie AL), pentru culturile de câmp şi <36 ppm P-AL pentru culturile horticole.

- **Deficienţa de potasiu:** apare pe solurile ce deţin formele mobile ale acestui element sub 60 ppm K pentru culturile de câmp şi < 130 ppm K pentru culturile horticole. Plantele afectate prezintă un simptom specific de necroză marginală a limbului frunzelor din etajul inferior apoi la cele spre vârful plantei. În ţesuturile afectate de această dereglare regăsim concentraţii ale formelor totale ale potasiului <1,2-1,5% din s.u. la cereale, <1-1,2% din s.u. la leguminoase şi <1-1,5% din s.u. la pomi şi viţă de vie.

- **Deficienţa de calciu:** se evidenţiază în special pe terenurile acide la un conţinut al solului în Ca –schimbabil <2,0 me/100 g sol sau în condiţiile în care este dezavantajat de prezenţa în excess a altor cationi (K, Na, Mg). Simptomul insuficienţei calciului la plante constă în: cloroza marginală a frunzelor, înegrirea şi clorozarea frunzelor la varză şi salată, marmorarea frunzelor şi putregaiul fructelor în partea opusă pedunculului la tomate, avortarea florilor şi putrezirea vârfului apical la ardei, boala petelor amare la măr (*Bitter pit*) etc. Se previne şi corectează prin amendarea solurilor acide cu amendamente pe bază de $CaCO_3$ şi fertilizarea cu îngrăşăminte pe bază de calciu.

- **Deficienţa de magneziu:** se manifestă pe soluri ce deţin acest element în forme solubile în cantităţi <1,5-2,0 me/100 g sol sau în condiţii în care este dezavantajat din partea altor cationi (K^+, Ca^{2+}) prin antagonism ionic şi rapoarte necorespunzătoare. Simptomul vizibil al deficienţei de magneziu este cel al clorozei “marmorate” sau “tigrate” internervurale la frunze, care prezintă concentraţii <0,1% Mg din s.u. Apare pe soluri acide debazificate sau amendate şi reamendate cu calcar pe bază de $CaCO_3$ şi fără $MgCO_3$ care este conţinut în dolomit.

  Se previne şi corectează prin amendarea solurilor acide cu dolomit ($CaCO_3.MgCO_3$) şi/sau prin stropiri extraradiculare cu îngrăşăminte foliare sau soluţii de $MgSO_4$.

- **Deficienţa de fier:** se mai numeşte “cloroză ferocalcică” şi de regulă este indusă de nivelurile ridicate de carbonatare ale solurilor ($CaCO_3$–total >10-12%; $CaCO_3$ activ >6-7%). Simptomul este de clorozare a frunzelor, cu nuanţări de verde – gălbui până la galben intens sau necroza frunzelor şi dispariţia butucilor la viţa de vie şi a pomilor în plantaţiile pomicole.

  Pentru prevenirea fenomenului des întâlnit în plantaţiile viticole şi pomicole amplasate pe soluri iniţial erodate şi apoi amenajate (terasate) se recomandă amplasarea acestor culturi după indicii puterii clorozante (IPC) şi folosirea la plantare a soiurilor şi portaltoilor toleranţi la carbonat de calciu. În cazul plantaţiilor pe rod, unele tratamente se fac prin chelaţi cu fier (la sol şi extraradicular) sau prin îngrăşăminte foliare ce deţin tot compuşii chelatici în compoziţia lor.

- **Deficienţa de zinc**: poate fi întâlnită la unele cereale (şi în special la porumb) şi la alte culturi (hamei, lămâi, viţă de vie şi pomi tineri) sensibile la insuficienţa sa în sol. Simptomul este cel al “benzilor” albicioase dispuse faţă de nervura principală, iar la pomi, de creşteri anormale mici, cu frunze dispuse “în rozetă” pe lăstari. La plantele ce prezintă acest simptom regăsim

conţinutul de zinc < 10-15 ppm, iar în soluri < 1,5 ppm zinc extractibil. Fenomenul are o incidenţă mai mare pe solurile carbonatate, cu reacţie alcalină şi suprafosfatate.

Se previne prin aplicarea corectă a amendamentelor şi îngrăşămintelor cu fosfor, prin stropiri foliare cu îngrăşăminte pe bază de zinc.

- **Deficienţa de bor:** frecventă pe soluri nisipoase, pe soluri acide (pH < 5,5) şi alcaline (pH >7,0), cu conţinuturi de bor – hidrosolubil mai mici de 0,5 ppm. Are simptome diferite, recunoscute prin îngălbenirile vârfurilor de creştere, slabă fertilitate a polenului şi înfloririi, ”putrezirea inimii” la sfecla de zahăr, pătarea cafenie a fructelor.

În organele plantelor afectate de această deficienţă regăsim concentraţii de bor <8-10 ppmB.

Se previne şi se corectează prin fertilizări organo-minerale şi stropiri cu soluţii de acid boric şi borax.

- **Deficienţa de molibden:** este prezentă la culturi sensibile (din familia Cruciferelor şi Leguminoaselor), pe soluri acide cu conţinuturi de molibden accesibil mai reduse de 0,2-0,3 ppm Mo.

Simptomul este specific la leguminoase prin cloroză şi dereglarea formării nodozităţilor, la crucifere prin încolăcirea frunzelor (“coada biciului”) şi este des întâlnit nu numai pe soluri acide ca şi pe cele acidifiate sau fertilizate excesiv cu azot. În frunze se regăsesc concentraţii <0,1 ppm Mo.

Se previne şi se corectează această dereglare prin fertilizări corecte cu azot, amendare calcică a solurilor acide şi stropiri extraradiculare cu îngrăşăminte foliare.

În manifestarea simptomelor de deficienţă (insuficienţă sau carenţă) a elementelor nutritive (nutrienţilor) în plante, trebuie cunoscute şi alte fenomene cu caracter general şi manifestarea unitară a acestora astfel:

- când intervin situaţiile de insuficienţă la elementele nutritive mobile în plante (N, P, K, Mg, Mo) exteriorizarea acestora pe plante începe de jos în sus (de la baza plantei spre vârful acesteia), acropetal, începând cu primele frunze;
- la manifestarea deficienţei (insuficienţei sau carenţei) elementelor cu translocare slabă sau inexistenţă în plante (Ca, Fe, Mn, Zn, Cu, B) exteriorizarea acestora începe de sus în jos, bazipetal, începând cu frunzele tinere din etajul superior şi cu inflorescenţele.

În situaţiile în care se pune problema unui tratament curativ a stărilor negative de vegetaţie se procedează astfel:

- metodologic şi analitic se procedează la identificarea simptomelor şi la determinarea unor teste (de laborator) de analiza plantei, respectiv diagnoza foliară la plante ce exprimă vizual starea negativă respectivă comparativ cu plante ce au o creştere şi dezvoltare normală concomitent cu analizele de sol;
- după decizia de interpretare analitică se procedează la aplicarea unui tratament curativ relevant prin:
  - fertilizări foliare repetate cu soluţii diluate ale unor compuşi ai elementelor implicate, cu recomandarea aplicării şi a unor soluţii cu chelaţi ai acestora ce s-au dovedit foarte eficiente;
  - aplicarea în sol a sărurilor solubile a elementelor ce au o bună mobilitate şi bioaccesibilitate în sol şi care necesită doze mai mari şi mai eficiente decât la aplicarea foliară;
  - înlăturarea altor factori ce pot implica în manifestarea deficienţelor de nutriţie: excesul de apă, eroziunea, tasarea şi compactarea terenului, dezvoltarea exagerată a buruienilor, atacul bolilor şi dăunătorilor, lucrarea necorespunzătoare a solului.

Intervenţia agrochimică ce este mai costisitoare se face de regulă numai atunci când în urma analizelor de laborator şi câmp s-a făcut dovada cauzelor dereglărilor nutriţionale.

2.7. ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Care este compoziţia chimică a plantelor?

.....

2. Clasificaţi elementele necesare nutriţiei plantelor după rolul lor metabolic şi după criteriul cantitativ?

.....

3. Care sunt rolurile cu caracter general ale macroelementelor şi microelementelor?

.....

4. Ce înţelegeţi prin consum specific de nutrienţi (C_s) la plante şi consum global de nutrienţi (C_g)?

.....

5. Care sunt stările extreme ale dereglării echilibrului nutritiv la plante?

.....

2.8. TESTE DE AUTOEVALUARE

1. **Realizaţi o clasificare a elementelor din ţesuturile vegetale după criteriul rolului metabolic:**
   a. - esenţiale (C, O, H, N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo şi Cl);
      - neesenţiale (Pb, Na, Si Br, F, I, Ni, Se, Co, ş.a.);
   b. - esenţiale (C, O, H, N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo şi Cl);
      - neesenţiale (Pb, Na, Si, Br, F, I, Ni, Se, Co, ş.a.);
      - întâmplătoare (Ba, Bi, Li, ş.a.);
   c. - esenţiale (C, O, H, N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo şi Cl);
      - întâmplătoare (Ba, Bi, Li, ş.a.);
2. **Alcătuiţi clasificarea elementelor nutritive din corpul plantelor după criteriul cantitativ:**
   a. - macroelemente: (C, H, O, N, P, K, S, Ca, Mg);
      - primare (C, H, O, N, P, K);
      - secundare (S, Ca, Mg);
      - microelemente (Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mb, Co);
      - ultramicroelemente (U, Ti, Rb, Li, ...);
   b. - macroelemente;
      - microelemente;
   c. - macroelemente primare;
      - macroelemente secundare;
      - microelemente;
3. **Definiţi stările de carenţă şi insuficienţă în aprovizionarea plantelor cu elemente nutritive:**
   a. Carenţa este starea în care datorită scăderii concentraţiei uneia sau mai multor elemente se manifestă simptome vizibile şi scăderea producţiei. Insuficienţa arată o creştere a plantei sub potenţialul genetic pe baza reducerii conţinutului unui element şi nu totdeuna se manifestă un simptom vizibil;
   b. Carenţa şi insuficienţa alcătuiesc o singură stare de aprovizionare cu elemente nutritive;
   c. Carenţa este starea de aprovizionare cu elemente ce se manifestă prin simptomele vizuale şi de reducere a producţiei. Insuficienţa nu se recunoaşte ca stare de aprovizionare cu elemente nutritive.

4. Stabiliţi stările de aprovizionare cu elemente nutritive peste starea normală:

   d. - abundenţa;
      - excesul;
      - toxicitatea;
   e. - excesul;
      - toxicitatea;
   f. - abundenţa;
      - toxicitatea.

2.9. REZUMAT

Cunoaşterea compoziţiei chimice a plantelor precum şi dinamica acumulării nutrienţilor în organele acestora prezintă un interes teoretic şi practic deosebit, deoarece servesc delimitării unor principii ale dirijării nutriţiei minerale şi fertilizării în scopul optimizării agrochimice a sistemului sol-plantă.

Elementele nutritive implicate în hrana plantelor şi fertilizare au de regulă roluri specifice, de aceea nu se pot înlocui reciproc şi au efecte pozitive în creşterea şi dezvoltarea plantelor numai în prezenţa şi asigurarea optimă a altor factori de vegetaţie.

În procesul absorbţiei, translocării şi efectului ionilor implicaţi în nutriţia plantelor au loc fenomene complexe de intercondiţionare. Interacţiunile ionice pozitive trebuie promovate, susţinute prin fertilizări, iar cele negative prevenite tot prin măsuri de dirijare a nutriţiei şi

2.10. BIBLIOGRAFIE

1. Marilena Mărghitaş, Cătălin Băluţiu, 1996, Agrochimie – Lucrări practice, Tipo Agronomia, Cluj-Napoca ;
2. Marilena Mărghitaş, 2003, Agrochimie, Ed. AcademicPres, Cluj-Napoca ;
3. Rusu Mihai, Marilena Mărghitaş, Tania Mihăiescu, I.Oroian, Adelina Dumitraş, 2005, Tratat de Agrochimie, Ed. Ceres, Bucureşti ;
4. Marilena Mărghitaş, M. Rusu, Tania Mihăiescu, 2005, Fertilizarea plantelor agricole şi horticole, Ed. AcademicPres, Cluj-Napoca ;
5. Mihai Rusu, Marilena Mărghitaş şi colab., 2010, Cartarea agrochimică - Studiu agrochimic al solurilor - Ed. AcademicPres, Cluj-Napoca ;
6. Marilena Mărghitaş şi colab., 2011, Manual de bune practici în tehnologia fertilizării plantelor agricole, Ed. AcademicPres, Cluj-Napoca ;

Capitolul 3. SOLUL CA MEDIU DE NUTRIŢIE PENTRU PLANTE ŞI DE APLICARE A ÎNGRĂŞĂMINTELOR ŞI AMENDAMENTELOR

Cuprins

3.1. Definiţia şi caracteristicile generale ale solului…….
3.2. Principii de abordare a solului şi funcţiile sale…….
3.3. Alcătuirea generală a solului ……
3.4. Influenţa însuşirilor agrochimice asupra mobilităţii şi bioaccesibilităţii formelor elementelor nutritive din sol şi aplicate …….....
3.5. Influenţa unor factori fizici asupra mobilităţii şi accesibilităţii elementelor nutritive pentru plante . …….
3.6. Influenţa unor factori fizico-chimici şi chimici din sol asupra accesibilităţii elementelor nutritive (nutrienţilor) pentru plante. Procesele de reţinere (adsorbţie) a elementelor nutritive…….
3.7. Întrebări recapitulative……...
3.8. Teste de autoevaluare……
3.9. Rezumat…….
3.10. Bibliografie……

Introducere

Acest capitol prezintă solul ca mediu de nutriţie pentru plante şi de aplicare a îngrăşămintelor şi amendamentelor cât şi principalele sale caracteristici, funcţii şi însuşiri ce influenţează mobilitatea şi bioaccesibilitatea formelor elementelor nutritive din sol şi aplicate. Capitolul se încheie cu procesele de reţinere (adsorbţie) a elementelor nutritive, întrebări recapitulative, teste de autoevaluare, rezumat şi prezentarea unei bibliografii selective.

Obiectivele capitolului

La sfârşitul acestui capitol vei fi capabil:

- să defineşti şi să descri caracteristicile generale ale solului;
- să descrii însuşirile agrochimice, factorii fizici, fizico-chimici şi chimici din sol ce influenţează mobilitatea şi bioaccesibilitatea formelor elementelor nutritive din sol şi aplicate cât şi procesele de reţinere (adsorbţie) a nutrienţilor (elementelor nutritive) ce au loc în sol.

Durata medie de studiu individual –14 ore

3.1. DEFINIŢIA ŞI CARACTERISTICILE GENERALE ALE SOLULUI

Este ştiut faptul că, solul este rezultanta interacţiunii dintre rocă, relief, climă şi vegetaţie, format prin acţiunea permanentă şi simultană a biosferei (învelişul pământului), atmosferei, hidrosferei (învelişul de apă al pământului) asupra litosferei (învelişul solid a scoarţei terestre) cât şi a activităţii umane, reprezentând o resursă naturală deosebit de importantă ca şi apa şi aerul. Aşa cum omul nu poate trăi fără aer şi apă, la fel nu poate trăi fără hrană care şi-o procură în cea mai mare parte din vegetaţia dezvoltată pe sol.

Solul este considerat ca fiind resursa naturală de bază a sistemului agricol reprezentând în acelaş timp suportul esenţial al vieţii. Se ştie că peste 90% din hrana oamenilor şi a animalelor este produsă în sol sau pe sol şi originea tuturor organismelor vii de pe „Pământ” este direct sau indirect legată de sol. Spre deosebire de alte mijloace de producţie, învelişul de sol al globului, al unei ţări, al unei zone s-au al unei unităţi de producţie este cantitativ limitat şi ca urmare obţinerea de producţii în cantităţi din ce în ce mai mari , nu se pot rezolva printr-o agricultură extensivă, ci numai prin creşterea producţiei la unitatea de suprafaţă. Solul este principala sursă de elemente nutritive pentru plante încât producţia agricolă este legată nemijlocit de particularităţile lui.

Ca resursă naturală şi indicator al calităţii mediului, solul se deosebeşte esenţial de resursele de apă şi de aer care se pot reânoi relativ uşor. Solul, în schimb, îşi poate doar regenera fertilitatea şi în acelaşi timp, potenţialul productiv dacă este utilizat şi exploatat, controlat de către om, cu anumite precauţiuni pentru a nu fi deteriorat. Dacă este distrus fizic într-un fel sau altul, refacerea lui necesită poate zeci şi sute de ani, iar costurile sunt enorme. Totodată solul, ca rezultantă a interacţiunii tuturor factorilor de mediu la suprafaţa scoarţei terestre, evidenţiază starea sau calitatea

mediului ambiental. În acest caz solul apare ca un indicator concret al calităţii şi evoluţiei mediului înconjurător.

La ora actuală ameninţările cele mai agresive asupra solurilor din România sunt: schimbările climatice, pierderea de materie organică, conţinut redus în elemente nutritive (nutrienţi) pentru hrana plantelor, acidifiere şi eutrofizare, contaminare cu metale grele, eroziunea solului, poluarea cu pesticide, compactarea şi destructurarea solului, salinizarea, care toate cumulate duc la pierderi serioase de biodiversitate.

Din punct de vedere pedologic solul se defineşte ca fiind formaţiunea naturală de la suprafaţa litosferei, reprezentată de o succesiune de straturi (orizonturi) care se află într-o permanentă dinamică şi schimbare, prin transformarea rocilor şi materialelor organice, sub acţiunea conjugată a factorilor fizici, chimici şi biologici, în zona de contact a atmosferei cu litosfera.

Din punct de vedere agrochimic, solul poate fi definit, ca un corp natural deosebit de important da la suprafaţa uscatului, cu o serie de însuşiri fizice, chimice şi biologice în continuă schimbare, care constituie un suport pentru plante, o sursă de elemente nutritive şi un intermediar prin care se aplică îngrăşămintele şi amendamentele, de fapt conţine materia vie şi asigură viaţa plantelor.

Caracteristica fundamentală a solului, care-l deosebeşte de roca mamă, din care a provenit, este aceea de a fi mediu de viaţă al plantelor şi de a face posibilă obţinerea de producţii agricole şi horticole, adică **fertilitatea**.

Fertilitatea soului este o însuşire complexă ce îl detaşează esenţial de materialul parental iniţial şi îi dă o funcţionalitate deplină ecosistemului în care acesta este parte componentă şi un factor determinant fundamental. Fertilitatea solului poate fi definită şi din alte puncte de vedere şi exprimată prin intermediul factorilor determinanţi (fizici, chimici şi biologici). „*Fertilitatea este însuşirea fundamentală a solului, care rezultă din activitatea vitală a micropopulaţiei, a rădăcinilor plantelor, a enzimelor accumulate şi a proceselor chimice, generatoare de biomasă, humus, săruri inerale şi a substanţelor biologic active. Nivelul fertilităţii depinde de nivelul potenţial al proceselor de bioacumulare şi mineralizare, acestea depinzând de programul şi condiţiile evoluţiei subsistemului ecologic şi de influenţele antropice*" **(Ş**TEFANIC, 1994). Pentru creşterea fertilităţii solurilor, este absolut necesară intervenţia controlată a omului prin măsuri agrochimice pentru îmbunătăţirea condiţiilor de creştere şi dezvoltare a plantelor.

Reglarea fertilităţii solului prin măsuri agrochimice se poate realiză pe baza cunoaşterii constituienţilor solului şi a proceselor fizice, chimice şi biologice ce se desfăşoară în mod permanent în sol.

Obţinerea cantitativă şi calitativă a recoltelor agricole şi horticole se datorează interacţiunii complexe dintre sol, plantă şi îngrăşăminte în corelaţie directă cu factorii climatici (temperatură, precipitaţii, variaţia diurnă şi sezonală a lumini), factorii genetici (soi, specie), factorii edafici (pH-ul soului, textura, structura, conţinutul de materie organică a solului etc.).

Pentru înţelegerea proceselor de mobilitate şi bioaccesibilitate a elementelor nutritive din sol şi aplicate este imperios necesar cunoaşterea complexului coloidal al solului.

3.1.1. Complexul coloidal al solului

Coloizii solului sub raport fizic, cuprind particule a căror mărime se situează între particulele vizibile la microscopul optic şi particulele invizibile, denumite micele coloidale. Ei pot să fie de natură minerală (argilă, hidroxizi de fier sau aluminiu, silice coloidală etc.), organică (acizi şi alte materii humice) şi organo-minerală (humaţi, argilohumine, fero şi aluminohumaţi). In mediul de dispersie reprezentat prin apa din sol, ei pot trece sub formă de particule având o anumită alcătuire şi cunoscute sub denumirea de **micelă coloidală.** Micela coloidală **(figura A. şi figura B.)** este alcătuită dintr-un nucleu înconjurat de ioni dispuşi sub formă de straturi. Nucleul la rândul lui poate fi format dintr-o moleculă (cazul substanţelor macromoleculare), fie dintr-un agregat de molecule strâns legate între ele sau dintr-un fragment al reţelei cristaline ajuns în stare de dispersie coloidală printr-o mărunţire înaintată. Stratul de ioni de la suprafaţa nucleului se numeşte strat intern *determinant de potenţial*. Dacă ionii din acest strat sunt pozitivi, coloidul acţionează în

mediul de dispersie ca electropozitiv, iar dacă ionii sunt negativi, coloidul acţionează ca electronegativ.

Menţinerea particulelor coloidale în stare de dispersie are loc sub acţiunea forţelor de respingere, datorită potenţialului electrocinetic.

Atunci când potenţialul electrocinetic ajunge la zero (punct izoelectric), particulele colidale nu se mai resping ci se atrag şi formează agregate care se separă de lichid şi se depun trecând într-o stare de gel. Fenomenul acesta de trecere a unui coloid din stare dispersă în stare de gel poartă numele de **coagulare**. Coagularea are loc sub acţiunea cationilor din soluţia solului astfel că puterea de coagulare a diferiţilor cationi este variată. In general ea creşte odată cu mărirea valenţei şi micşorarea gradului de hidratare a cationilor respectivi. Referitor la cationii frecvent întâlniţi în sol capacitatea de coagulare creşte în următoarea ordine: $Na^+ > K^+ > NH^+_4 > Mg^{2+} > Ca^{2+} > H^+ > Fe^{2+} > Al^{3+}$.

Modul de coagulare reversibilă sau ireversibilă este determinat de natura cationilor adsorbiţi. Astfel o coagulare ireversibilă o produc în sol cationii de Ca^{2+} şi Mg^{2+} şi reversibilă cei de Na^+ şi H^+. Unul şi acelaşi coloid poate coagula reversibil sau ireversibil în funcţie de cationii adsorbiţi.

Datorită varietăţii foarte mari, în ceea ce priveşte cationii adsorbiţi şi stabilitatea stării coagulate a argilei şi humusului, care este foarte diferită. Alcătuirea şi proprietăţile solului sunt influenţate pozitiv cu cât stabilitatea stării coagulate este mai ridicată. Sub acest aspect influenţa coloizilor este mai favorabilă cu cât în rândul cationilor adsorbiţi proporţia calciului este mai mare. Creşterea proporţiei de hidrogen sau de sodiu este însoţită de diminuarea influenţei pozitive şi exercitarea unei influenţe negative asupra stării de coagulare a solului.

Coloizii din sol se asociază unii cu alţii alcătuind aşa numitele **complexe coloidale**. Spre exemplu hidroxizii de fier care se comportă în general ca substanţe coloidale electropozitive, se asociază prin reacţii de neutralizare cu coloizii electronegativi (argilă, humus şi silice) formând complexele respective (argilo-humice sau fero-humice şi respectiv silico-ferice).

Unirea coloizilor din sol este posibilă chiar şi în cazul în care aceştia au sarcină electrică de acelaşi semn, cum este cazul principalilor coloizi ai solului (argila şi humusul) deşi sunt coloizi electronegativi se găsesc totuşi în sol sub formă de complexe denumite **argilo-humice.**

Asocierea particulelor coloidale de argilă şi humus se pare că are loc prin intermediul cationilor adsorbiţi de calciu, magneziu şi fier.

Principala însuşire a coloizilor solului fiind **adsorbţia complexul coloidal** sau **argilo-humic** care a primit şi denumirea de **complex adsorbtiv al solului (CAS)**.

Proprietatea coloizilor de a adsorbi la suprafaţa particulelor respective diferiţi ioni poartă denumirea de **adsorbţie ionică**. Coloizii principali din sol (argila şi humusul) având sarcini electrice negative, adsorb cationi, adică ioni cu sarcină pozitivă. Cationii adsorbiţi pot fi schimbaţi de către alţi cationi din soluţia solului datorită posibilităţii de trecere a cationilor din complexul coloidal în soluţia solului şi a celor din soluţie în complex, fenomenul fiind întâlnit sub denumirea de **schimb de cationi.**

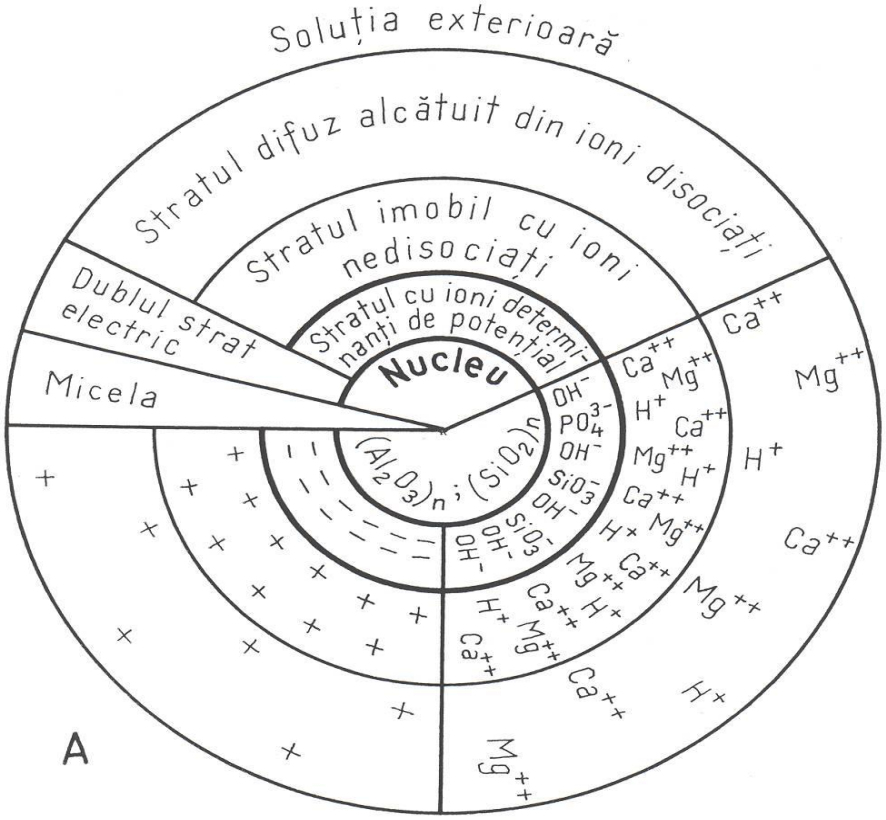
In stare adsorbită şi schimbabilă, se pot găsi cationi de Ca, Mg, Na, K, H, NH_4, Al, Fe, Mn, Zn, Cu etc. Dacă fenomenul se referă numai la Ca, Mg, Na, K, cunoscut sub numele generic de baze, fenomenul de schimb poartă denumirea de **schimb de baze.** In fenomenele de schimb alături de cationii aflaţi între foiţele elementare ale mineralelor argiloase, participă şi cationii ajunşi la suprafaţa particulelor rezultate în urma proceselor de dezagregare şi alterare.

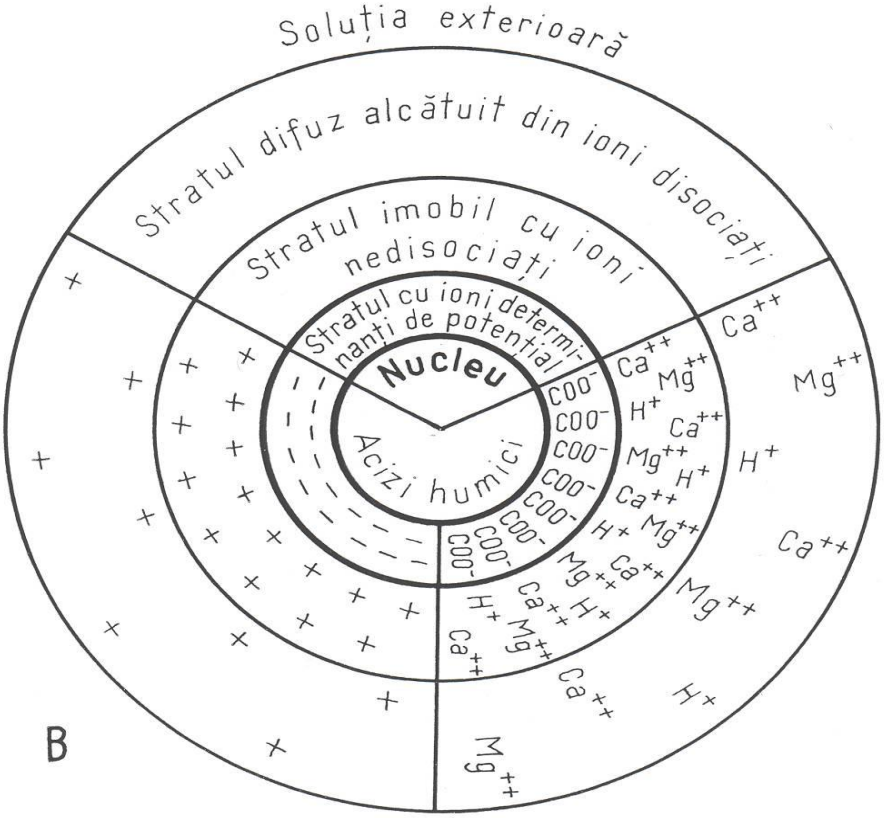
Studierea fenomenelor de adsorbţie cationică a scos în evidenţă faptul că schimbul cationic se petrece după anumite reguli sau legi (echivalenţă, reversibilitate, echilibru, energie de adsorbţie).

Adsorbţia cationilor este una dintre cele mai importante proprietăţi ale solului, astfel că din acest punct de vedere pentru caracterizarea solului se folosesc următorii **indici de caracterizarea capacităţii de schimb cationic**: capacitatea de schimb pentru baze, capacitatea de schimb pentru hidrogen, capacitatea totală de schimb cationic şi gradul de saturaţie în baze.

Structura unei micele coloidale:

A - micelă coloidală de argilă; B – micelă coloidală de acid humic;





Capacitatea de schimb pentru baze.

In complexul coloidal al solului se pot găsi adsorbiţi numai cationi bazici sau aşa cum se întâmplă de cele mai multe ori, atât cationi bazici cât şi cationi de hidrogen.

Suma cationilor bazici (Ca + Mg + K + Na) adsorbiţi în complex poartă denumirea de *capacitate de schimb pentru baze* sau *sumă a bazelor de schimb* şi se notează fie cu S sau S_B şi se exprimă în me la 100 g sol uscat la 105^0C.

La unele soluri în complexul coloidal se găsesc adsorbiţi numai cationi bazici, adică sunt soluri saturate numai cu baze. In astfel de situaţii proporţia cea mai bună între cationi este următoarea: 80% Ca, 15% Mg, 2,5% K şi 2,5% Na.

Capacitatea de schimb pentru hidrogen

In general, proporţia de hidrogen adsorbit faţă de cationii bazici este cu atât mai mare cu cât levigarea a fost mai accentuată şi roca de formare a solului mai săracă în elemente bazice, ajungându-se în situaţii extreme ca ionii de hidrogen să predomine. Se poate observa, cu cât proporţia de ioni de hidrogen creşte, cu atât aceştia exercită o influenţă mai nefavorabilă asupra mobilităţii şi bioaccesibilităţii elementelor nutritive pentru plante, respectiv asupra stării de fertilitate a solului.

Capacitatea totală de schimb cationic este reprezentată de totalitatea cationilor adsorbiţi în complex şi care se notează cu T şi se exprimă în me la 100 g sol uscat la 105^0C. La solurile saturate cu cationi bazici capacitatea totală de schimb cationic este egală cu suma bazelor de schimb ($T = S_B$). La solurile care au adsorbiţi cationi bazici şi de hidrogen, capacitatea totală de schimb cationic este egală cu suma bazelor de schimb plus hidrogenul adsorbit ($T = S_B + H$). Cunoaşterea capacităţii de schimb cationic (T) şi a gradului de saturaţie în cationi bazici (S_B), a naturii cationilor din complexul coloidal are o deosebită importanţă nu numai pentru aplicarea îngrăşămintelor şi amendamentelor, dar şi pentru faptul că cele mai multe dintre proprietăţile fizice şi chimice, dar mai ales cele fizico-mecanice ale solului sunt strâns legate de natura cationilor. Se ştie cât de negativă este influenţa sodiului adsorbit în cantităţi prea mari în complexul coloidal. Deoarece sodiul dispersează coloizii şi din această cauză în perioadele umede solul, se transformă într-o pastă cleioasă, impermeabilă pentru apă şi aer, iar în perioadele uscate acesta crapă puternic formând bulgări mari întăriţi. Saturaţia accentuată cu sodiu determină şi migrarea argilei, solubilizarea şi deplasarea pe profil a humusului, alcalinizarea puternică a soluţiei solului şi implicit distrugerea structurii solului.

In concluzie, capacitatea de reţinere a cationilor de către complexul coloidal al solului este una dintre cele mai importante proprietăţi ale solului, iar cunoaşterea sub diverse aspecte ale acestei însuşiri ajută la aprecierea stării de fertilitate naturală a solului şi la stabilirea celor mai adecvate măsuri ameliorative ce trebuiesc aplicate.

3.2. PRINCIPII DE ABORDARE A SOLULUI ŞI FUNCŢIILE SALE

3.2.1. Principii de abordare a solului

Pe lângă importanţa deosebită a Ştiinţei Solului şi a obiectului său de studiu solul, din studiile şi cercetările realizate de-a lungul timpului i s-a atribuit o triplă abordare solului: a)corp natural; b)resursă naturală; c)spaţiu terestru sau loc de aşezare şi convieţuire a comunităţilor umane şi de amplasare a construcţiilor şi desfăşurarea activităţilor. (Prof. dr. Nicolae Florea, 2000, Revista SNRSS, Seria a III-a, Nr. 2, vol.XXXIV, la al XVI-lea Congres Mondial de Ştiinţa Solului,1998,).

a) Solul ca şi corp natural aparţinând peisajului sau mediului înconjurător, conţine materia vie, susţine vegetaţia direct sub cerul liber şi este considerat de o importanţă majoră pentru existenţa şi perpetuarea vieţii pe pământ şi conservarea biodiversităţii;

b) Solul ca resursă naturală, constituie baza economică, respectiv, principalul mijloc de producţie în domeniul agronomic ce cuprinde ramuri esenţiale ale economiei naţionale din care omul îşi asigură hrana, unele materii prime etc.;

c) Solul ca spaţiu terestru sau loc de aşezare şi convieţuire a comunităţilor umane şi de amplasare a construcţiilor necesare acestora şi pentru desfăşurarea unor activităţii. Solul nu numai

că susţine orice categorie de vieţuitoare, este un element al producerii tuturor valorilor, care nu pot fi înlocuite sau produse.

Cele trei abordări presupun tipuri diferite de studii. **În cazul abordării solului ca un corp natural**, component al peisajului geografic, cercetarea este orientată spre cunoaşterea aprofundată şi intimă a solurilor cu proprietăţile lor, a proceselor pedogenetice, a corelaţiei cu factorii de mediu, a distribuţiei solurilor în spaţiu şi timp, a legităţii care guvernează această distribuţie etc. Această abordare se bazează pe cercetări complexe de teren (în câmp) ale unităţilor de sol şi cercetări de laborator ale unor probe de sol recoltate din profile de sol reprezentative.

Abordarea solului ca resursă naturală, care are ca obiectiv principal creşterea producţiei agricole şi silvice pentru asigurarea cerinţelor populaţiei şi a principalelor ramuri ale economiei . Această abordare presupune orientarea cercetărilor, în primul rând asupra relaţiilor solului cu planta, având în vedere: regimul de apă şi aer, regimul termic, regimul trofic, potenţialul acido-bazic al solului de care depinde dezvoltarea plantelor; comportarea solului la diferite procese fizice, tratamente chimice (cu fertilizanţi, amendamente, pesticide etc.), la diferiţi poluanţi, la diferite măsuri de ameliorare; restaurarea şi refacerea terenurilor degradate etc. Multe dintre aceste măsuri, necesită cercetări aprofundate ce pot să fie considerate cercetări fundamentale. Diferenţa dintre aceste cercetări constă doar în faptul că unele răspund direct unei cerinţe sociale, în timp ce altele răspund unei dezvoltări ştiinţifice sau tehnologice.

Este foarte important ca cercetarea să se facă în cadrul ecosistemului din care face parte solul (Sposito, 1998), fapt care asigură înţelegerea solului şi a funcţiilor acestuia în interdependenţă cu atmosfera, litosfera, hidrosfera, biosfera şi intervenţiile umane.

Solul este deci studiat atât ca un „întreg" distinct, cât şi ca un component al unui „întreg" mai mare, respectiv ecosistem (Swift, 1998). Această abordare, crează premizele necesare pentru integrarea studiilor despre sol cu alte studii despre mediu, foarte importantă în soluţionarea optimă a unor probleme ale dezvoltării rurale durabile, atât de mult discutată în prezent (Cârstea, 1996).

Cea de-a treia abordare a solului, **ca spaţiu terestru sau loc de aşezare şi convieţuire a comunităţilor umane şi de amplasare a construcţiilor necesare acestora şi pentru desfăşurarea unor activităţii,** este cu totul diferită de celelalte două abordări, care de altfel se completează una pe alta în studiul solurilor.Această din urmă abordare, aparţine geologiei inginereşti (geotehnice) sau urbanisticii. În acest caz, solul este privit ca „pământ" şi este studiat fie din punct de vedere al calităţii lui de rezistenţă, comportare şi stabilitate pentru alte utilizări decât cele agricole sau silvice, ca de exemplu pentru construcţii, escavări, foraje, canalizări, drumuri, aerodrumuri, stadioane, amenajări de bazine de retenţie (baraje de apă), gropi ecologice, parcuri sau locuri de recreaţie şi agrementetc., fie din punct de vedere al acţiunii corozive asupra conductelor şi cablurilor îngropate sau a altor instalaţii etc.

Geologia inginerească şi mecanica pământurilor (geotehnica) şi-au creat în acest sens noţiuni şi terminologie specifică, precum şi clasificări adecvate, uneori diferite de cele din ştiinţa solului (Queiroz Neto, 1998). În acest caz, ar fi imperios necesar, să se realizeze o unificare a conceptelor, metodelor şi terminologiei din cele două ştinţe sau măcar o corelare a acestora.

3.2.2. Funcţiile importante ale solului

Importanţa deosebită a invelişului de sol constă în funcţiile pe care le îndeplineşte în natură şi societate. Unele dintre acestea au o extindere generală la nivelul globului, iar altele în raport cu mediul înconjurător şi societate, sunt foarte variate (Dobrovolschi şi Nikitin, 1986, Filip, 1989, Florea, 1994). Dupa aceste criterii, funcţiile solului se pot sistematiza astfel: funcţii globale; funcţii ecologice; funcţii energetice; funcţii economice; funcţii informatice; funcţii tehnico-industriale.

1. **Funcţiile globale ale solului:**

Funcţiile globale ale solului, mai ales sub aspect geologico-geochimic şi ecologic, după (Kovda şi Rozanov, 1998, Kovda, 1985)sunt următoarele: **asigurarea existenţei** vieţii pe Tera; **asigurarea acţiunii** neîntrerupte dintre marele circuit geologic şi micul circuit biologic al

substanţelor la suprafaţa scoarţei terestre; **reglarea compoziţiei** atmosferei şi hidrosferei; **reglarea proceselor** din biosferă; **acumularea de energie** solară în sol.

a. **Asigurarea existenţei vieţii pe Tera.** Plantele, şi prin ele înţelegem şi animalele şi omul, obţin din sol elementele necesare nutriţiei şi apa, pe care le utilizează la sinteza biomasei proprii. Fără sol în care este concentrată o mare masă de vieţuitoare, existenţa asociaţiilor de organisme nu ar fi posibilă. Este de subliniat faptul că deşi solul este un rezultat al acţiunii vieţuitoarelor, el este în acelaş timp un condiţionator al existenţei vieţuitoarelor şi respectiv al perpetuării vieţii pe Terra, fiind considerat ca un acumulator (rezervor) de nutrienţi, apă şi aer, oferind condiţii prielnice de dezvoltare a plantelor.

b. Asigurarea acţiunii neîntrerupte dintre marele circuit geologic şi micul circuit biologic al substanţelor la suprafaţa scoarţei terestre.

Rocile primare ajunse la suprafaţa scoarţei terestre, sunt supuse proceselor alterării şi dezagregării. În partea superioară a scoarţei terestre unde procesul de alterare este mai intens, se formează în timp fracţiunea organică a solului, respectiv orizontul de la suprafaţa litosferei (denumit pe înţelesul tuturor „sol”) în care se acumulează elementele chimice sau nutriţionale implicate în nutriţia organismelor. Această acumulare în sol, se realizează prin intermediul plantelor care preiau elementele chimice sau nutriţionale din sol şi printr-o serie de transformări şi circuite biologice respectiv cicluri trofice (plantă-animal-microorganisme sau plantă- microorganisme), acestea se întorc înapoi în partea superioară a solului, realizându-se micul circuit biologic. În acelaş timp, din sol, particulele fine din masa acestuia sau elementele chimice respectiv elementele nutritionale din soluţia solului, sunt parţial îndepărtate de apa din precipitaţii şi prin reţeaua hidrografică, ajung în mări şi oceane unde participă la formarea de roci sedimentare şi chiar metamorfice, care în evoluţia Terrei, pot să ajumngă în timp la suprafaţă şi să fie supuse din nou procesului alterării sub acţiunea factorilor de mediu. Acesta este, de fapt, marele circuit geologic al substanţelor. Solul apare ca verigă de legătură şi regulator al interacţiunii acestor două circuite ale substanţelor la suprafaţa scoarţei terestre, conducând la acumularea selectivă de nutrienţi în sol.

c. Reglarea compoziţiei atmosferei şi hidrosferei. Respiraţia solului împreună cu fotosinteza joacă un rol important în formarea şi menţinerea compoziţiei chimice a aerului atmosferic, de deasupra solului şi prin aceasta asupra compoziţiei atmosferei în ansamblul ei. Comparativ cu aerul atmosferic (21 % O; 72% N; 0,03% CO_2) aerul din sol este mai bogat în CO_2 şi N_2 (19% O; 79% N şi 0,9% CO_2).

Gazele din sol sunt într-un permanent schimb cu atmosfera, în lipsa acestui schimb, se crează condiţii nefavorabile activităţii microbiologice şi proceselor de mobilizare a elementelor nutritive în forme asimilabile.

De asemenea, învelişul de sol joacă un rol asemănător asupra hidrosferei şi prin substanţele pe care le eliberează şi ajung în apa reţelei hidrografice şi oceane (prin marele circuit geologic menţionat anterior). Din studiile şi cercetările effectuate, se pare că în istoria Terrei la scară geologică, solul a contribuit în mod apreciabil la formarea compoziţiei actuale a atmosferei şi hidrosferei.

d. Reglarea proceselor din biosferă.

Solul condiţionează în mare măsură densitatea vieţuitoarelor la suprafaţa scoarţei prin fertilitatea lui. Neuniformitatea spaţială a solurilor (şi implicit a fertilităţii lor) şi a factorilor climatici, determină în mare parte răspândirea organismelor vii şi densitatea acestora. Totodată, solul împreună cu vegetaţia, contribuie la menţinerea unor condiţii de echilibru dinamic în mediul înconjurător, asigurând o dezvoltare normală biocenozelor caracteristice diferitelor ecosisteme terestre.

e. Acumularea de energie solară în sol.

Aceasta are loc prin acumularea de substanţă organică activă în sol în care este condensată o parte din energia solară ajunsă la suprafaţa solului, respectiv energia care a fost convertită în fitomasă în procesul de fotosinteză.

2. Funcţii ecologice:

- contribuie la reglarea compoziţiei atmosferei şi hidrosferei prin participarea solului la

circuitul şi bilanţul elementelor chimice (nutrienţilor) şi respective al apei în natură;

- contribuie la stabilitatea reliefului, protejând stratele adânci ale scoarţei terestre, solul constituind o zonă protectoare;
- acţiunea de atenuare (tamponare) a variaţiilor bruşte ale unor caracteristici ale solului, reglând astfel condiţiile de dezvoltare a plantelor;
- acţiunea de filtru de protecţie, prevenind contaminarea apelor freatice cu diferite siubstanţe poluante;
- epurarea (autocurăţirea) solului de substanţe organice străine sau de diferite microorganisme ajunse în sol;
- asigurarea de condiţii pentru protecţia, funcţionarea şi evoluţia normală a biosferei;
- protecţia genetică a unor specii şi implicit a biodiversităţii;
- habitat pentru organismele din sol.

3. Funcţii energetice:

- acumularea de energie chimică (funcţie bioenergetică) rezultată prin convertirea energiei solare prin procesul de fotosinteză în substanţe organice şi acumularea parţială a acestora în sol sub formă de humus. Energia astfel acumulată, se poate elibera în sol prin procesul de descompunere (mineralizare) a substanţelor organice. Această acumulare de enrgie conferă solului caracter antientropic specific lumii vii. *(entropie – mărime de stare termică a sistemelor fizice, care creşte în cursul unei transformări ireversibile a lor şi rămâne constantă în cursul unei transformări reversibile).*
- intermedierea schimbului de substanţe şi energie între geosfere (*fiecare dintre învelişurile concentrice, cu formă aproximativ sferică, care, după ipotezele actuale, ar intra în alcătuirea globului terestru;*
- absorbţia de căldură (radiaţie solară) şi transferul de căldură în atmosferă.

4. Funcţii economice:

- contribuţia la producerea de fitomasă (funcţia bioproductivă), care serveşte ca materie primă de bază pentru obţinberea de alimente, îmbrăcăminte, combustibili etc., prin funcţiile solului de rezervor şi furnizor continuu de apă şi nutrienţi care-i conferă proprietatea generală de fertilitate a solului;
- regenerarea capacităţii de producţie a ecosistemelor prin contribuţia esenţială la recircularea elementelor chimice în natură (prin procesele de mineralizare a materie organice).

5. Funcţii informatice:

- semnal pentru declanşarea unor procese sezoniere biologice;
- înregistrarea sau reflectarea evoluţiei istorice (funcţia de "memorie") prin păstrarea unor caractere relicte sau a unor relicve arheologice.

6. Funcţii tehnico-industriale:

- infrastructură pentru diferite construcţii şi instalaţii, drumuri, autostrăzi, aerodromuri etc., sau mediu de instalare de cabluri şi conducte subterane;
- materie primă în industrie, cum ar fi argila, nisipul, lutul etc.

Datorită funcţiilor sale deosebit de importante pentru economia fiecărei ţări, solul joacă un rol esenţial pentru menţinerea vieţii pe Pământ în intercondiţionare reciprocă cu ceilalţi componenţi ai mediului, respectiv atmosfera, hidrosfera, biosfera şi litosfera.

Având în vedere riscurile tot mai mari de poluare şi degradare a solului din ultima perioadă, se impune necesitatea realizării unor studii riguroase de specialitate în legătură cu schimbările climatice alarmante şi folosirea terenurilor, protecţia mediului ambiental, serviciile pentru ecosisteme, securitatea alimentară şi producţia de energie care trebuie protejate pentru generaţiile actuale şi viitoare.

Se poate concluziona faptul că solul are, deci, un rol esenţial în funcţionarea normală a ecosistemelor terestre şi acvaterestre şi geosistemelor continentale, reprezentând o uzină imensă, la scară mondială, permanent producătoare prin procese autotrofe, de fitomasă care constituie baza dezvoltării organismelor heterotrofe, inclusiv a omului. Fără asigurare de către fitomasă a nutriţiei cu hidraţi de carbon, proteine şi alţi compuşi, ca şi a energiei necesare, viaţa pe uscat nu s-ar putea

derula. În acest sens factorii de decizie a fiecărei ţări trebuie să fie conştienţi că fără sol nu există viaţă şi trebuie să existe relaţii interprofesionale cu organizaţiile ştiinţifice din domeniul Ştiinţei Solului şi cu cele de Protecţia Mediului pentru folosirea corectă a solului şi protecţia mediului înconjurător.

3.3. ALCĂTUIREA GENERALĂ A SOLULUI

Este ştiut faptul că solul este format prin acţiunea permanentă şi simultană a biosferei (învelişul pământului), atmosferei, hidrosferei (învelişul de apă a pământului) asupra litosferei (învelişul solid a scoarţei terestre) cât şi a activităţii umane.

Solul este termenul generic prin care se defineşte întregul ansamblu de corpuri naturale ce acoperă o mare parte din suprafaţa uscatului, constituite din materiale minerale şi organice, uneori modificate prin intervenţiile umane, care conţin materie vie şi pot susţine vegetaţia directă sub cerul liber.

Din punct de vedere fizic, solul este un sistem polidispers, structurat şi poros alcătuit din trei faze: **A. faza solidă** (constituienţii minerali şi organici); **B. faza lichidă** (soluţia solului); **C. faza gazoasă** (aerul şi alte gaze din sol). Fiecare dintre faze influenţează în mod specific mobilitatea şi bioaccesibilitatea elementelor nutritive (nutrienţilor) din sol şi aplicate, pentru plante.

Proprietatea de bază ce deosebeşte solul de roca formării sale este **fertilitatea.**

A. Faza solidă a solului

Este alcătuită din două fracţiuni esenţiale legate fizic, fizico-chimic şi chimic:

a. **Fracţiunea minerală –** reprezintă gravimetric 90 – 95% din faza solidă
b. **Fracţiunea organică –** reprezintă gravimetric 5 –10% din faza solidă

a. Fracţiunea minerală – reprezintă cca. 40% din volumul solui şi peste 90% din masa sa şi este formată din fragmente de rocă (epiclaste). Este formată din fragmente cu diverse dimensiuni variind de la o milionime de mm în diametru până la mai mult de 1 mm. Particulele minerale sunt formate prin fenomene de alterare fizică sau chimică, prin procese simple de transformare a rocilor compacte (alterare) sau prin procese complexe de transformare (alterare şi sinteză) ale rocilor şi mineralelor primare (compacte sau afânate).

Proporţia de minerale nou formate depinde de:

- *zona bioclimatică* (adică de viteza cu care se defăşoară transformările mineralelor primare),
- *de modalitatea de contact* a acestora cu agenţii implicaţi în acţiunea de transport,
- precum şi de *timpul scurs* de la debutul acestor fenomene.

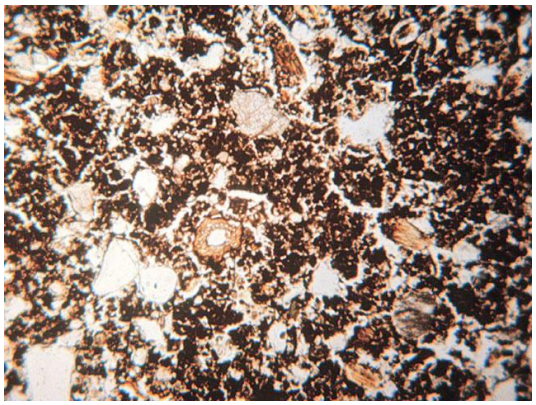


Figura 1. Componenta minerală a solului

Fracţiunea minerală a solului dispune de componente ce se clasifică după 2 criterii importante, **provenienţă** şi **compoziţia chimică** astfel:

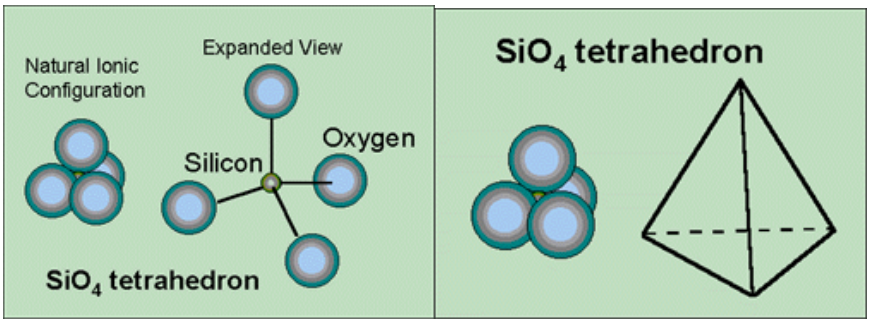
- ***Provenienţă:*** (conţine minerale primare şi minerale secundare);

➢ Minerale primare: provin din roci eruptive sau metamorfice dezagregate sub acţiunea agenţilor atmosferici, cu o compoziţie chimică neschimbată după dezagregare.

➢ Minerale secundare: provin din roci sedimentare sau din alterarea pe loc a mineralelor primare. Se regăsesc în fracţiunea fină a solului (argilă), de unde au primit numele de minerale argiloase. Pot fi cristalizate sau amorfe. Termenul de argilă sau mineral argilos este diferit acceptat de specialiştii din domeniu. Geologii desemnează roca „argilă" ca un material natural alcătuit în principal din minerale fin granulate, plastic, cu un conţinut potrivit de apă. Mineralogii asociază mineralele argiloase cu cele filosilicatice hidratate, cu dimensiuni mai mici de 0,002 mm. Pedologii definesc argila ca un material parental fin divizat, cu dimensiuni sub 0,002 mm.

- ***Compoziţia chimică:*** (alcătuită din silicaţi şi aluminosilicaţi);

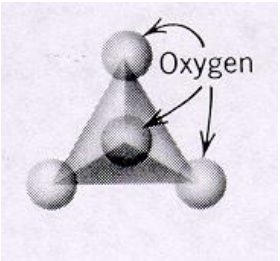
➢ ***Silicaţi***: sunt prezenţi în toate solurile, mai ales sub formă de particule de mărimea nisipului sau a prafului reprezentând 50 –90% din totalul componentelor acestora. Cel mai răspânduit fiind cuarţul (SiO_2). Sunt compuşi minerali cu o structură complexă, organizată în reţele ionice. Au elemente structurale în compoziţia cărora intră fie atomi de Si şi O, fie atomi de Si, O şi H. Structura generală a silicaţilor [$(SiO_4)^{4-}$] se bazează pe o reţea formată din patru atomi de oxigen dispuşi în jurul unui atom de siliciu (Si^{4+} - rază ionică –0,39Å) ca şi când atomul de siliciu ar fi în centrul unui tetraedru (poliedru cu patru feţe şi patru colţuri), iar atomii de oxigen ar fi în vârful tetraedrului. Deci în silicaţi atomii de Si (tetravalenţi) se unesc cu 4 atomi de O prin legături covalente orientate, formând elemente structurale stabile de SiO_4, numite **tetraedre.**



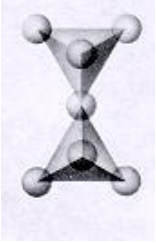
Prin unirea mai multor lanţuri de tetraedre, se formează anioni macromoleculari sub forma unor foiţe cu formula empirică $Si_2O_5^{2-}$.

Silicaţii după *structură* pot fi împărţiţi în următoarele subclase:

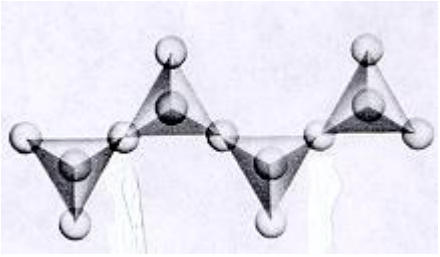
- **Ortosilicaţii sau nezosilicaţii** *(silicaţi cu grupări anionice izolate, tetraedre singulare)*

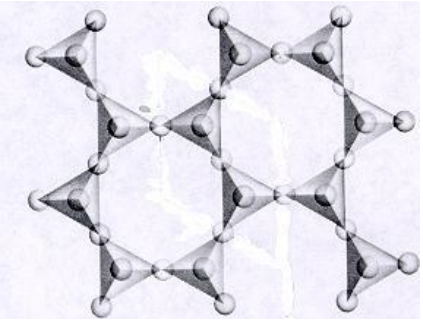


- **Sorosilicaţii (pirosilicaţii)** *(tetraedre duble)*

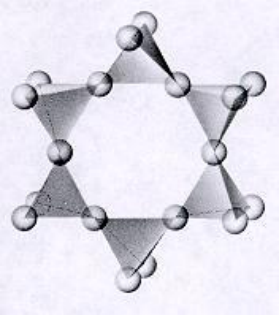


- **Inosilicaţii** *(lanţuri multiple simple sau duble)*

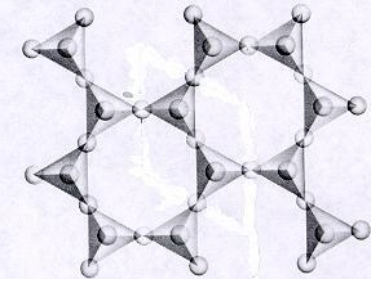




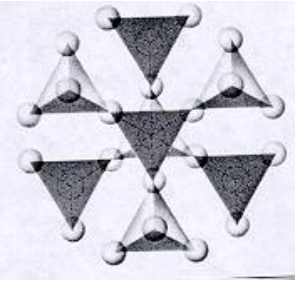
- **Ciclosilicaţii** *(cicluri)*



- **Filosilicaţii** *(foiţe)*



- **Tectosilicaţii** *(reţele macromoleculare tridimensionale)*



  - Cel mai răspândit este cuarţul (SiO_2).

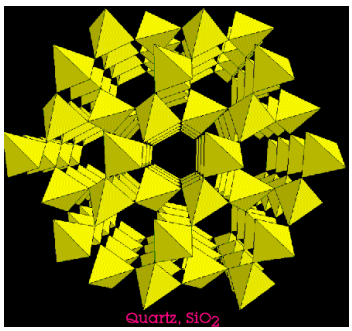


Figura 2. Reprezentarea schematică a cuarţului

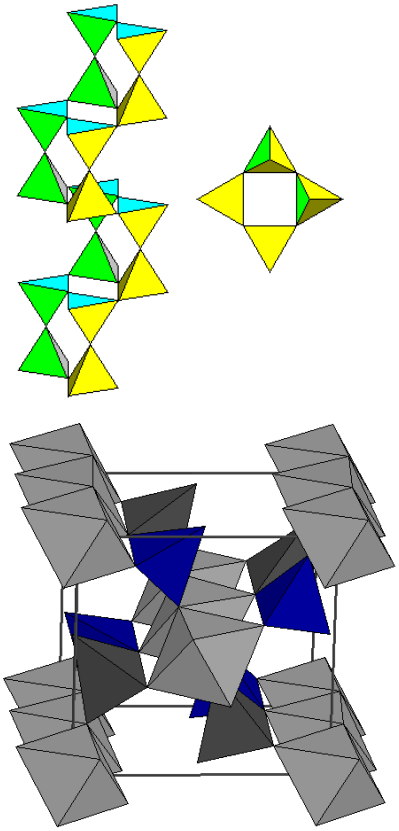


Figura 3. Structura cristalină a sillimanitului

Aluminosilicaţi: sunt particule de origine primară sau secundară ce conţin şi Al pe lângă Si şi O. Sunt alcătuiţi din tetraedre de Si şi octaedre de Al, structura acestora rezultând din suprapuneri de foiţe de tetraedre de Si peste foiţe de octaedre de aluminiu, legătura între acestea făcându-se prin punerea în comun a unui atom de O care leagă astfel atomii de Si şi Al, cu realizarea unor adevărate „***punţi de legătură***" între cele două foiţe. Aluminosilicaţii cei mai răspândiţi fac parte din grupa feldspaţilor care pot fi de potasiu cu formula generală $K[AlSi_3O_8]$ (ortoclas) şi de sodiu sau de calciu purtând numele de plagioclazi, cu formula $Na[AlSi_3O_8]$ (albit) şi respectiv $Ca[Al_2\ Si_2O_8]$ (anortit).

După diversele combinaţii dintre foiţele de tetraedre de Si şi octaedre de Al se disting trei grupe de minerale: ***Grupa caolinitului; Grupa montmorilonitului; Grupa micelor hidratate.***

Grupa caolinitului – cu pachete de câte 2 foiţe, una de tetraedre de Si şi alta de octaedre de Al, unite prin atomi comuni de O. Pachetele învecinate sunt unite prin legături de H care împiedică extinderea reţelei. Acest tip de structură este de tipul 1 : 1 (într-un pachet sunt 2 foiţe, una de tetraedre şi alta de octaedre).

Principalele minerale din această grupă sunt: caolinitul şi haloisitul.

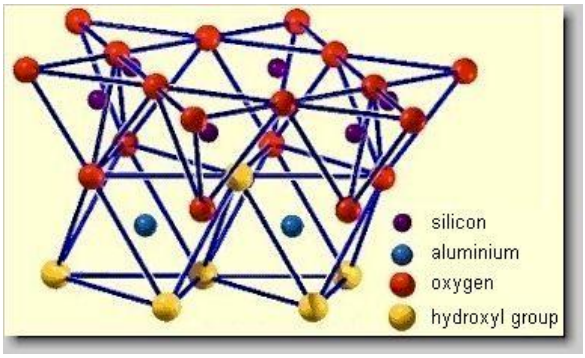


Fig. 3. Structura cristalină a caolinitului.

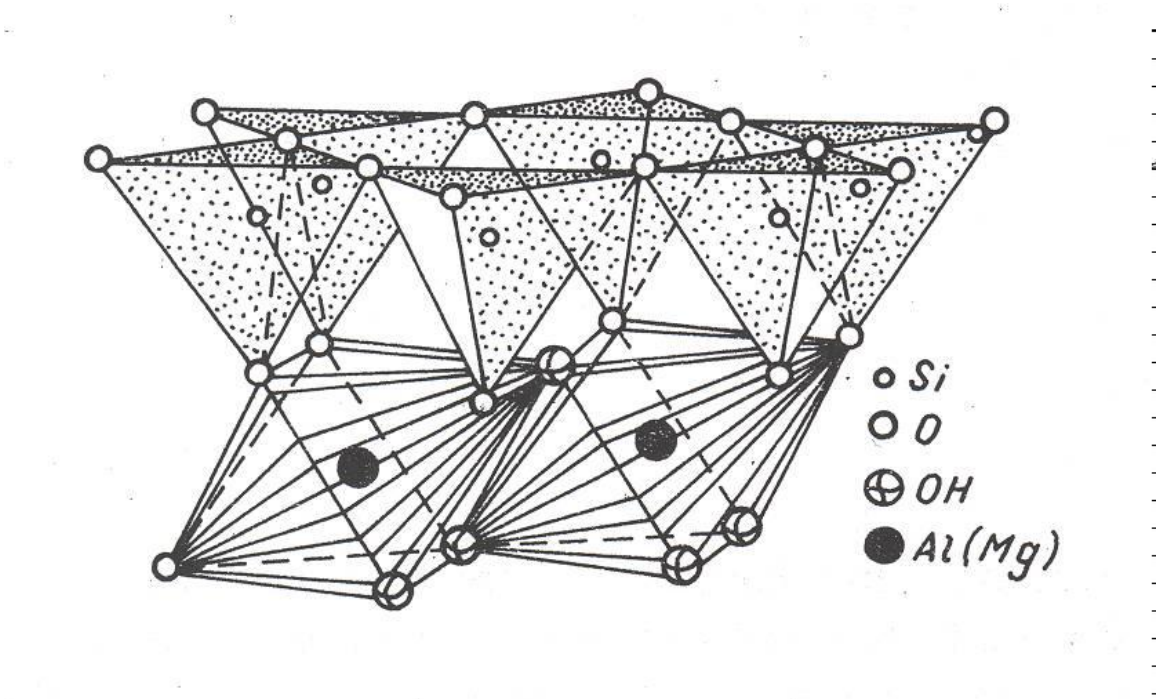


Fig. 4. Schema reţelei cristaline a mineralelor argiloase din grupa caolinitului

Grupa montmorilonitului – la care pachetele sunt formate din 3 foiţe: 2 de tetraedre de Si între care se află o foiţă de octaedre de Al. Acest tip de structură este de tipul 2 : 1, distanţa între 2 pachete fiind mai mare ca la caolinit, este posibilă pătrunderea apei, având ca rezultat realizarea unei reţele expandabile.
Principalele minerale din această grupă sunt: montmorilonitul, beidelitul şi nontronitul.

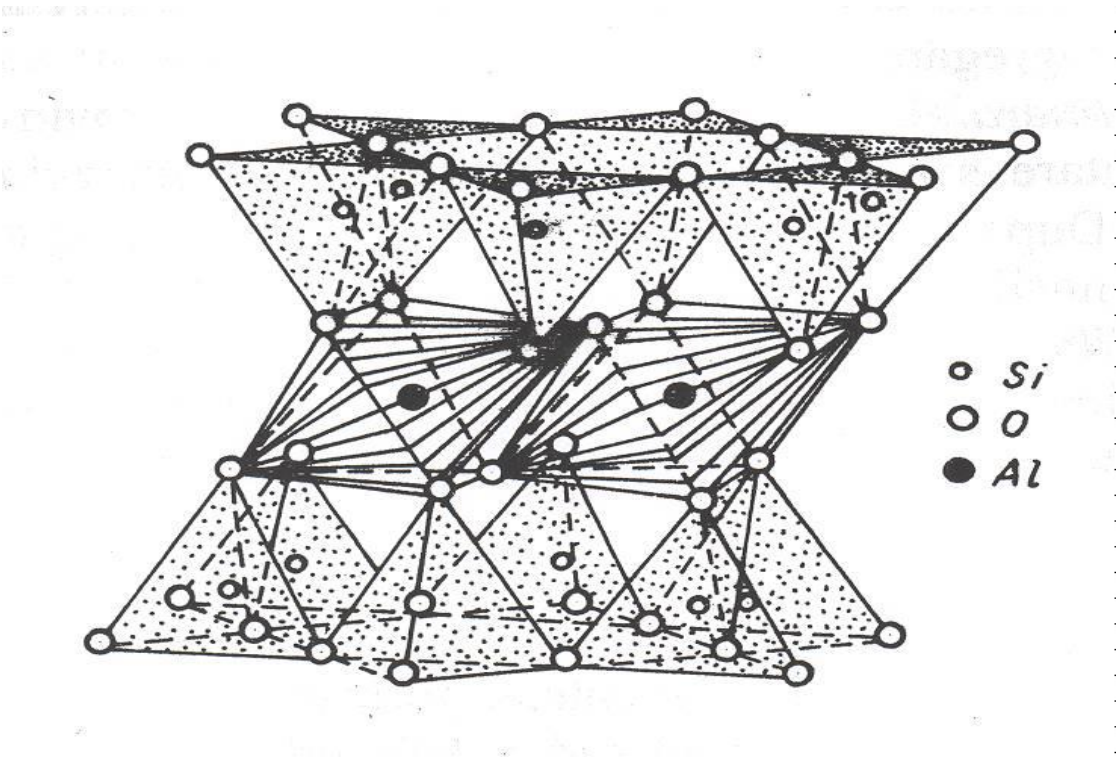


Fig. 5. Schema reţelei cristaline a mineralelor argiloase din grupa montmorilonitului

Grupa micelor hidratate – este tot cu reţea de tipul 2 : 1, cu deosebirea că legătura dintre pachete se face prin diverse specii de cationi. La illit legătura între pachete se face prin cationi de K^+.

Mineralele argiloase cristaline mai sus menţionate precum şi alţi compuşi minerali în stare amorfă, de ex. $Fe(OH)_3$ şi $Al(OH)_3$, alcătuiesc ***coloizii minerali*** ai solului, implicaţi direct în procesele de adsorbţie şi schimb de cationi datorită sarcinilor negative rezultate pe două căi:

- de la ionii de oxigen situaţi la exteriorul particulelor care se leagă numai cu o valenţă de atomii de Si şi Al, cealaltă valenţă rămâne liberă şi leagă cationii;
- prin substituţia izomorfă neechivalentă a unor ioni de Si din foiţele de tetraedre cu ioni de Al sau cu înlocuirea ionilor de Al din foiţele de octaedre cu Mg^{2+} sau cu alţi ioni cu raze ionice apropiate. Sarcinile negative care apar se compensează cu alţi cationi: H^+; Na^+; Ca^{2+}; Mg^{2+}; Al^{3+} ş.a.

Capacitatea de schimb a mineralelor argiloase este mai mare la cele cu reţea expandabilă:

- montmorilonitul: 80 – 120 m.e./100 g sol
- vermiculitul: 100 – 150 m.e./100 g sol
- beidelitul: 55 – 65 m.e./100 g sol.

La cele din grupa caolinitului se constată că aceasta scade foarte mult:

- caolinitul: 3 – 15 m.e./100 g sol
- haloisitul: 5 - 10 m.e./100 g sol.

Micele hidratate au valori intermediare ale capacităţii de schimb:

- illitul: 10 – 40 m.e.100 g sol.

Coloizii minerali cu structură amorfă din sol, $Fe(OH)_3$ şi $Al(OH)_3$, primesc sarcini electrice de adsorbţie şi schimb, pozitive sau negative, datorită caracterului amfoter al acestora:

- *în mediu acid*: moleculele de $Fe(OH)_3$ şi $Al(OH)_3$ se comportă ca baze, disociind un hidroxil şi se încarcă cu sarcină electropozitivă:

$$[\,Fe(OH)_3]_n \leftrightarrow [\,Fe(OH)_{3n-1}]^+ + OH^-$$

$$[\,Al(OH)_3]_n \leftrightarrow [\,Al(OH)_{3n-1}]^+ + OH^-$$

- *în mediu bazic*: aceşti compuşi se comportă ca acizi, disociind în soluţie ioni de H^+ şi se încarcă electronegativ:

$$[\ Fe(OH)_3]_n \leftrightarrow [\ FeO(OH)_{3n\ -1}]^- + H^+$$

$$[\ Al(OH)_3]_n \leftrightarrow [\ AlO(OH)_{3n\ -1}]^- + H^+$$

În consecinţă, coloizii minerali (argila coloidală şi sescvioxizii hidrataţi) şi coloizii organici (substanţele humice) formează prin ***interacţiuni fizice*** (adsorbţie, coprecipitare) şi ***chimice*** (neutralizare, punţi de hidrogen, legături de tip chelat etc.) complexul argilo-humic de adsorbţie pentru cationi.

Tabel 5

Grupa mineralelor argiloase (Adaptat din Sposito, 1989. The Chemistry of Soils. Oxford University Press)

Grupa	Tipul reţelei	Sarcina (x)	Formula chimică
Caolinitului	1:1	<0,01	$[Si_4]Al_4O_{10}(OH)_8.nH_2O$ (n= 0 or 4)
Illitului	2:1	1,4-2,0	$M_x[Si_{6.8}Al_{1.2}]Al_3Fe.025Mg_{0.7}5O20(OH)_4$
Vermiculitului	2:1	1,2-1,8	$M_x[Si_7Al]AlFe.05Mg0.5O_20(OH)_4$
Smectitului	2:1	0,5-1,2	$M_x[Si_8]Al_{3.2}Fe_{0.2}Mg_{0.6}O_20(OH)_4$
Cloritului	2:1:1	Variabilă	$(Al(OH)_{2.55})4[Si_{6.8}Al0_{1.2}\}Al_{3.4}Mg_{0.6})20(OH)_4$

x– sarcina pe celula elementară

b. Fracţiunea organică a solului

Reprezintă o parte relativ mică, doar 5 – 10% din faza solidă a solului, dar îndeplinește un rol foarte important prin funcţiile majore fizico-chimice și biologice pe care le deține:
- biologice: sursă energetică pentru flora microbiană;
- fizico-chimice: componenta complexului adsorbtiv împreună cu coloizii minerali;
- sursă deosebit de importantă de elemente nutritive sau nutrienți pentru plante.

Materia organică a solului s-a format în timp, ca rezultat al acmulării din resturi vegetale și animale aflate în diferite grade de descompunere sau dispersie coloidală, sub acțiunea complexă a activității microorganismelor (ciuperci, bacterii, actinomicete).

În raport cu proveniența și funcțiile ei materia organică se împarte în materie organică moartă (humus) și materie organică vie (edafon). La randul ei, materia organică moartă se poate clasifica după anumite criterii: *chimic* – substanțe humice, substanțe nehumice, acizi fulvici, hematomelanici și humici și respectiv humine; *funcțional* – humus stabil, humus nutritiv; *morfogenetic* – humus brut, moder, mull, forme terestre, forme semiterestre și forme acvatice.

În concluzie **constituenţii organici ai solului pot fi grupaţi în:**
- substanţe organice nehumificate;
- substanţe organice humificate, specifice solului (humusul);
- substanţe organice intermediare de descompunere a resturilor vegetale şi animale din sol;

1. Substanţele organice nehumificate

Sunt formate din: glucide, proteine (se descompune enzimatic repede), celuloză, hemiceluloză, lignine, lipide, ceruri, tanini şi alte substanţe ce se descompun enzimatic, rezultând produşi finali de descompunere cu moleculă simplă.

Concomitent cu aceste procese de descompunere, au loc procese de natură microbiologică cu caracter de sinteză, prin care rezultă substanţe specifice solului incolore sau de culoare închisă, ce formează ***humusul***.

Acest proces complicat, denumit proces de ***humificare***, este un proces biochimic prin care se trece de la substanţe organice sărace în N la altele cu conţinut ridicat de C şi N, caracterizate prin numeroase grupări ***carboxilice*** (-COOH) şi ***carbonilice*** (- C=O).

Humificarea se desfăşoară în trei etape:

1. formarea unităţilor structurale ale substanţelor humice;
2. condensarea unităţilor structurale cu diverşi compuşi organici care conţin N;
3. polimerizarea produşilor de condensare.

Principala substanţă implicată în formarea humusului este ***lignina***. Lignina este o substanţă ternară, polimerizată, care se găseşte în majoritatea ţesuturilor minerale şi cimentează fibrele de celuloză. Descompunerea enzimatică a ligninei are loc în produşi intermediari, de la care prin procese de oxidare, hidroxilare, decarboxilare şi complexare, se ajunge în final la substanţe humice care sunt polimeri tridimensionali cu grad diferit de polimerizare, alcătuiţi din nuclee aromatice (fenolice sau chinonice).

2. Substanţele organice humificat, specifice solului (humusul)

Au o compoziţie complexă care se separă prin precipitare (cu soluţii alcaline, acide sau pe baza diferenţei de solubilitate în solvenţi organici) în 3 grupe principale de substanţe humice: acizi huminici; acizi fulvici; humine

Acizi huminici: au un grad avansat de polimerizare, cu o masă moleculară foarte mare (10000 – 100000) de culoare închisă care imprimă solului nuanţa brună. Sunt bogaţi în grupări carboxilice (-COOH) şi fenolice (-OH). Au caracter acid.

Compoziţia elementară a acizilor humici este următoarea:

- C = 52 – 62%;
- O = 31 – 33%;
- H = 2,8 – 6,6%;
- N = 3,5 – 5,1%;

Conţin 3 – 4 grupări carboxilice (-COOH), 3 – 6 grupări fenolice (-OH), grupări metoxil ($-O-CH_3$) şi grupări carbonil (=C=O).

Grupările carboxilice reacţionează cu diverşi cationi rezultând humaţi după următoarea reacţie:

$$R\text{-}COOH + NaHCO_3 \rightarrow R\text{–}COONa + CO_2 + H_2O$$

Humaţii cationilor monovalenţi (Na^+, K^+ şi NH_4^+) sunt solubili în apă, iar cei cu cationi bivalenţi (Ca^{2+}, Mg^{2+}) sau cei trivalenţi (Al^{3+}, Fe^{3+}) precipită sub formă coloidală.

În acizii humici se află 15 – 30% din totalul N-ului din soluri.

Acizii fulvici conţin polimeri cu masă inferioară acizilor huminici (200 – 9000), de culoare galbenă.

Compoziţia elementară a acizilor humici este următoarea:

- C = 45 – 48%; (mai puţin ca la acizii huminici)
- N = 1,5 – 3,0%.

Sărurile lor cu cationii mono- şi bivalenţi sunt solubili iar complecşii formaţi cu hidroxizii de Fe şi Al precipită fiind prezenţi în majoritatea solurilor. În acizii fulvici se află 20 – 40% din totalul N-ului din sol. Acizii fulvici sunt preponderenţi în solurile acide. Aciditatea totală a acestora este mai mare (900 – 1400 m.e./100 g sol) comparativ cu cea a acizilor huminici (500 – 700 m.e./100 g sol).

Humina este fracţiunea cea mai stabilă a humusului, insolubilă în solvenţii folosiţi la fracţionarea humusului. Este heterogenă din punct de vedere a compoziţiei şi are în alcătuire resturi de lignină nehumificată, polizaharide şi glucide simple rezultate din descompunerea celulozei. Este fracţiunea organică a solului cu vârsta cea mai mare. Conţine 20 – 30% din totalul N-ului din sol şi este foarte rezistentă la acţiunea microorganismelor.

Pentru înţelegerea rolului principalelor minerale argiloase din fracţiunea minerală a solului, se poate observa din schema de mai jos mecanismul fixării cationilor în sol.

3.3.1. Principalele însuşiri fizico-chimice ale humusului

Substanţele organice nehumificate şi substanţele organice intermediare (rezultate din descompunerea resturilor vegetale şi animale din sol), sunt formate din: glucide, proteine (acestea se descompun enzimatic repede), celuloză, hemiceluloză, lignine, lipide, ceruri, tanini şi alte substanţe ce se descompun enzimatic, rezultând produşi finali de descompunere cu moleculă simplă.

Concomitent cu aceste **procese de descompunere**, au loc **procese** de natură microbiologică cu caracter **de sinteză**, prin care rezultă substanţe specifice solului incolore sau de culoare închisă, ce formează ***humusul***. Acesta reprezintă cea mai importantă componentă a fracţiunii organice a solului deoarece conferă însuşiri pozitive şi determinante fertilităţii solurilor, calităţii nutritive pentru plante şi fundamentează multilateral capacitatea de producţie a acestora astfel:

1. Întrucât grupările carboxilice (-COOH) şi fenolice (-OH), pot ioniza eliberând ioni de H^+, humusul se încarcă cu sarcini electronegative pentru adsorbţia cationilor, iar când la grupările amidice ($-NH_2$) aderă un ion de H^+ se încarcă electropozitiv pentru anioni. Deci humusul are sarcini cu dublu sens (+) şi (-) având o mare capacitate de schimb ionic a solului.

Întrucât humusul contribuie decisiv la individualizarea şi dimensionarea capacităţii de schimb cationic a solului (CSC), trebuie **să fie un important principiu agronomic, prezenţa şi sporirea conţinutului de materia organică din sol şi creşterea conţinutului de humus.**

2. În formarea complexului adsorbtiv (de structură organo-minerală), humusul joacă un rol esenţial.

În complexele argilo-humice se includ peste 50 % din substanţele organice ale solului.

Datorită complecşilor organo-minerali (cu hidroxizii de Fe şi Al şi cu acizii silicici) humusul capătă o altă însuşire de fond ca agent stabilizator, liant al agregatelor acestuia, agent de formare şi menţinere a CAS (complex adsorbtiv al solului), agent de structură a particulelor de sol. Nu numai că cimentează particulele ci le aranjează într-o arhitectură în care favorizează raporturi normale între fazele solurilor, mai ales un raport normal între aer şi apă, determinând favorabil regimul de apă din sol.

3. Incluzând în molecula sa N, precum şi datorită sărurilor acizilor humici cu cationi liberi din soluţia solului (humaţi şi fulvaţi), humusul este o sursă esenţială de N, S şi cationi pe care prin procesul de **mineralizare** a **humusului** îi pune la dispoziţia plantelor.

Substanţa organică a solului este o sursă esenţială de elemente necesare nutriţiei plantelor. Cea mai mare parte din azotul şi sulful solului se află în constituţia humusului sau a resturilor organice nedescompuse sau pe cale de descompunere. Tot în substanţa organică se află 30-40% din fosforul solului şi cantităţi mai mici de cationi (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ etc.). Trecerea acestora în forme accesibile plantelor se face cu participarea a numeroase enzime (fenolaze, peroxidaze) secretate de bazidiomicete.

Rezultatele experimentale (Russell şi colab., 1961; Welte şi Timmermann, 1967 etc.) au demonstrat că anual se mineralizează biochimic 600-1000 kg humus/ha, ceea ce reprezintă 0,4-1% din rezerva totală de humus din sol. Dacă humusul conţine 5% N, înseamnă că din acest process rezultă 30-50 kg N/ha în forme minerale, utilizabile de către plante. Cantităţi mai mari rezultă în cernoziomuri şi mai mici în podzoluri. In solurile ocupate de prăşitoare sau de ogor negru, procesul mineralizării este mai intens, rezultând azot mineral în cantităţi mai mari decât cele menţionate. In privinţa efectului pe care-l au îngrăşămintele chimice asupra mineralizării humusului, rezultatele cercetărilor sunt contradictorii. Unele susţin că îngrăşămintele chimice măresc viteza de descompunere a materiei organice, de aceea aplicarea îngrăşămintelor organice naturale concomitent cu cele chimice este de mare importanţă pentru menţinerea fertilităţii solului la nivel ridicat. Alte cercetări (Welte şi Timmermann, 1976; Eliade, 1983) arată că valorile individuale privind conţinutul solului în carbon şi azot sunt mai mari la solul fertilizat cu îngrăşăminte chimice sau organice, raportul C/N menţinându-se aproximativ în jurul aceleiaşi valori (tabelele 6 şi 7). Prin

resturile organice acumulate în cantităţi mai mari la solul fertilizat cu îngrăşăminte chimice este posibilă menţinerea sau chiar sporirea conţinutului de materie organică din sol. Gunoiul de graj, îngrăşămintele verzi etc., constituie mijlocul cel mai important de reglare a substanţei organice a solului. S-a demonstrat că anumiţi compuşi organici (aminoacizii, alanina, glicina, valina) pot fi absorbţi direct în plantă, având un efect pozitiv (Stanchev, 1977). Un efect similar exercită diverse enzime şi vitamine. Alte substanţe pot exercita un efect nefavorabil asupra dezvoltării plantelor. Acidul benzoic, vanilina, diverşi compuşi fenolic etc., sunt nocivi plantelor superioare, unii provocând fenomenul numit "oboseala solului". Prezenţa lor în sol este legată de condiţii speciale, cum ar fi excesul de umiditate, aciditatea sau alcalinitatea ridicată (Calancea, 1972). Aplicarea de măsuri ameliorative elimină apariţia compuşilor toxici.

Tabel 6

Efectul îngrăşămintelor asupra conţinutului de C şi N din cernoziomul de la Fundulea

Varianta	C (%)	N (%)	C/N
Nefertilizat	1,3064	0,1362	9,58
Ingrăşăminte chimice	1,4204	0,1478	9,61
Ingrăşăminte organice	1,4949	0,1553	9,62

Tabel 7

Modificarea conţinutului de carbon organic sub acţiunea îngrăşămintelor minerale şi organice, în experienţe de lungă durată la Halle (sinteză, după Sauerbeck, 1980)

Anul	Autorul	% de C în sol		
		Martor	NPK	Gunoi de grajd
1978	Kohn	1,24	1,24	1,24
1912	Weinaug	-	-	1,48
1922	Calculat	1,12	1,20	1,61
1929	Scheffer	1,15	1,24	1,64
1949	Schmalfuss	1,12	1,22	1,66
1953	Merker	1,12	1,26	1,68
1958	Schmalfuss	1,14	1,26	1,69
Modificări* % Ct extractibil		-0,10 32,2	+0,02 35,5	+0,45 39,5
Gunoi aplicat (1978-1953)				900 t/ha
Carbon organic aplicat				90 t/ha
Carbon din gunoi reţinut (1978-1953)				14,7%
Carbon din gunoi reţinut (1929-1953)				4,0%

* Aprovizionarea solului cu cantităţi ridicate de resturi organice la parcelele fertilizate cu NPK menţine C organic din sol la nivelul iniţial, iar la parcela fertilizată cu gunoi de grajd acesta a crescut cu 30%. Schimbările sunt mari la început; după 50 de ani se stabileşte un anumit echilibru.

Procesul de mineralizare este contrar celui de humificare, de aceea în soluri trebuie menţinut un echilibru al materiei organice, prin aplicarea de îngrăşăminte organice şi chimice.

4. A patra însuşire importantă decurge din fenomenul prin care în procesul de humificare se individualizează anumite substanţe mai ales acizi organici (acetic, lactic, formic etc), mai ales cei di- şi tricarboxilici care formează cu unii ioni metalici (Fe^{2+}, Mn^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}) complecşi stabili - chelaţii solului, în care ionii metalici sunt legaţi pe de o parte prin forţe electrostatice la grupările - COOH ionizate, iar pe de altă parte formează cu grupările - NH_2 ale aceleaşi molecule, grupări coordinative. Aceşti compuşi chelatici sunt o sursă de elemente nutritive, care se eliberează progresiv, deci în timp, pentru nutriţia plantelor. Prin contribuţia chelaţilor la nutriţie, humusul îşi întregeşte rolul de rezervor permanent şi stabil al solului în elemente nutritive.

5. Acest component de bază al solului humusul, este hrana şi fondul energetic pentru microflora solului.

6. Humusul, reglează regimul termic al solului, reducând amplitudinile variaţiilor de temperatură din sol. Poate înmagazina şi retroceda ulterior căldura. Prin această însuşire, influenţează implicit mobilitatea unor elemente nutritive sensibile la modificările de temperatură (K^+ sau $H_2PO_4^-$) prin difuzia ionilor.

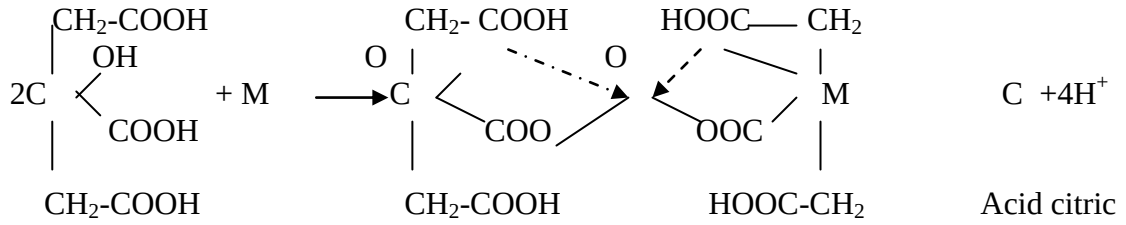
În solurile din ţara noastră în orizontul arabil (0-20 cm) rezerva de humus este de 60-90 t/ha în luvisoluri şi de 120-300 t/ha în cernoziomuri.

3. *Substanţe organice intermediare* de descompunere a resturilor vegetale şi animale din sol: rezultate din descompunerea acestor resturi vegetale şi animale din sol.

La descompunerea resturilor organice din sol se formează, în afară de humus, anumite substanţe individualizate, unele din aceastea având însuşirea de a forma compuşi de tip chelat cu ionii metalelor. Aceasta înseamnă că agentul de chelatare posedă una sau mai multe grupări funcţionale donatoare de electroni,
care permit legarea ionilor metalici sub forma unor complecşi, cu stabilitate ridicată, solubili în apă. Formarea unor asemenea compuşi complecşi prezintă avantajul trecerii ionilor metalici din forme insolubile greu accesibile plantelor, în altele solubile şi uşor accesibile. Substanţe cu asemenea însuşiri sunt acizii organici, aminoacizii, acizii huminici şi cei fulvici etc.

Acizii organici pot să provină din descompunerea materiei organice sau ca excreţii radiculare. Au o existenţă efemeră, în soluţia solului menţinându-se un echilibru între ceea ce se produce prin sinteză şi ceea ce se degradează biochimic. Cantităţi mai mari se întâlnesc în zona rizosferei radiculare, unde-şi au sediul anumite microorganisme. Asemenea substanţe contribuie la alterarea mineralelor din sol, la asigurarea nutriţiei plantelor şi la levigarea anumitor cationi. Plantele cultivate pe soluri calcaroase solubilizează microelementele prin secreţiile lor radiculare.

In sol s-au pus în evidenţă acizi organici alifatici şi aromatici. Dintre acizii organici alifatici (formic, acetic, lactic, propionic, butiric etc.) puşi în evidenţă, cei care posedă însuşirea de a forma complecşi stabili cu ionii metalici sunt cei di- şi tricarboxilici. Ca exemplu, poate fi dat acidul citric:



Citrat

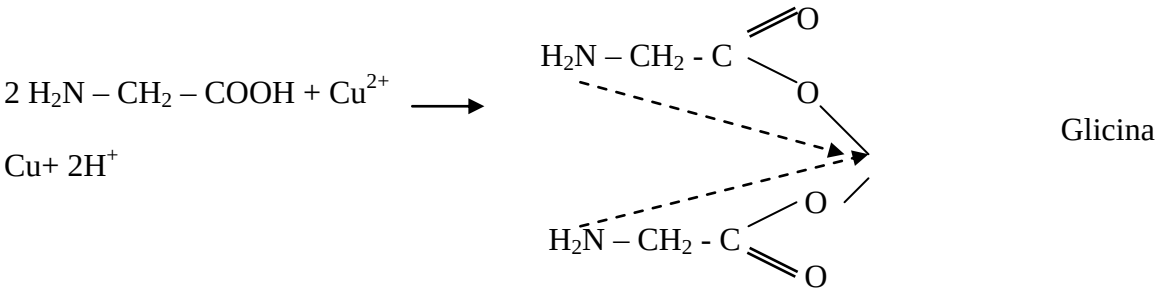
M=Fe, Mn, Zn, Cu

Condiţiile aerobe favorizează sinteza acizilor organici. Se acumulează în special acid acetic şi acid butiric.

Acizii aromatici (vanilic, cumaric, ferulic) se întâlnesc în soluri dar nu posedă însuşirea de a forma complecşi stabili cu ionii metalici.

Deplasarea ionilor metalici (Fe^{2+}, Mn^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}) în jos pe profilul de sol sub formă de chelaţi poartă numele de cheluviere.

Ionul de cupru se leagă de glicină pe de o parte prin gruparea carboxil, pe de altă parte prin gruparea aminică (azotul are o pereche de electroni neparticipanţi).



Sare complexă internă, insolubilă

B (beta) - aminoacizii formează complecşi similari dar mai puţin stabili; γ (gama) şi δ (delta) – aminoacizii nu formează asemenea combinaţii.

Acizii huminici şi cei fulvici pot, de asemenea, să formeze compuşi chelaţi. Ionii metalici sunt legaţi pe de o parte prin forţe electrostatice la grupările - COOH ionizate, pe de altă parte ei formează legături coordinative cu grupările $–NH_2$ ale aceleiaşi molecule. Un rol esenţial au acizii fulvici, care formând complecşi stabili cu diverse metale, în special cu cuprul, contribuie la levigarea acestora din profilul solului acid.

Principalele caracteristici ale materie organice în legătură cu nutriţia plantelor:

- constituie sursă permanentă de elemente nutritive, în special de azot;
- participă la procesele de adsorbţie a ionilor rezultaţi din îngrăşămintele aplicate solului sau din diverse procese biochimice sau fizico-chimice. Deşi constituie circa 5% din masa fazei solide a solului, aportul ei la capacitatea totală de schimb de cationi este de 30-40%. Capacitatea de schimb cationic a argilei variază între 8-150 me/100 g, iar aceea a humusului bine format este între 150-300 me/100g;
- formează complecşi organo-minerali cu particulele colidale şi precoloidale, îmbunătăţind însuşirile fizice ale solului prin legarea particulelor în agregate structurale stabile ce permit circulaţia apei şi a aerului;
- favorizează creşterea capacităţii de reţinere a apei.

Humusul poate adsorbi dintr-o atmosferă saturată, o cantitate de apă echivalentă cu 80-90% din greutatea sa, în timp ce argila poate să reţină doar 15-20% din propria greutate;

- prin capacitatea de a forma complecşi chelatici, de a stimula creşterea plantelor, de a servi drept sursă de energie pentru microorganisme, materia organică a solului îndeplineşte un rol fundamental în satisfacerea stării de fertilitate a solului.

B. Faza lichidă (soluţia) solului. Importanţa ei agrochimică

Este a doua componentă a solului şi este alcătuită din apă încărcată cu ioni şi gaze, cu săruri disociate sau nedisociate sau în stare coloidală, motiv pentru care soluţia solului are o compoziţie foarte complexă. Este principala sursă din care plantele îşi iau ionii nutritivi.

Apa, prin acţiunea reciprocă cu celelalte două faze ale solului (solidă şi gazoasă) se îmbogăţeşte cu ionii minerali, acizi, baze şi substanţe organice uşor solubile.

Soluţia solului poate fi analizată sub două aspecte: chimic şi fizic.

a. **Sub aspect chimic**, este alcătuită din: componenta minerală, componenta organică, gazele.

- *Componenta minerală* - conţinând cationi (H^+, K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+, mai rar Fe^{2+}, Si, Al^{3+}) şi anioni (NO_3^-, $H_2PO_4^-$, Cl^-, HCO_3^-, SO_4^{2-}, ş.a.). Concentraţia medie a fazei lichide în ioni minerali e variabilă, de la 20-40 me la 100-120 me/l.

Microelementele (cationi sau anioni) sunt reprezentate în cantităţi scăzute în soluţia solului (cu excepţia unor soluri poluate).

- *Componenta organică* reprezentată din părţile solubile ale acizilor humici, produse de metabolismul microorganismelor, unele secreţii radiculare, substanţe organice rezultate din procesul de humificare.

- *Gazele* dizolvate în soluţia solului CO_2 şi O_2 cu rol mai ales în solubilizarea substanţelor minerale. Dioxidul de carbon provine din descompunerea materiei organice şi respiraţie.

b. **Sub aspect fizic**, soluţia solului are 2 părţi componente:

- *partea extractibilă* sau soluţia liberă a solului care poate fi extrasă;
- *partea neextractibilă* sau soluţia solului legată, reţinută de foiţele moleculare ale mineralelor argiloase.

Din punct de vedere agrochimic, soluţia solului este evidenţiată de concentraţia chimică a acesteia în ioni nutritivi, în săruri, concentraţie ce exprimă proporţional prezenţa lor în forma solidă a solului.

Ionii soluţiei solului sunt luaţi de plante prin intercepţie radiculară (aproximativ 10% din necesarul plantei în ioni) şi prin scurgere şi difuziune (90% din necesarul de ioni al plantelor).

In solurile bine aerisite $N\text{-}NO_3$ este cel mai important ion deplasat prin scurgere spre rădăcinile plantelor, ca şi ionii de Cl^- şi SO^{2-}_4. In solurile cu exces de apă NH_4^+ este principalul ion al azotului. Dacă solul se aerişeşte acesta se oxidează în NO_3^- şi tot acesta rămâne principala formă a N-ului accesibilă plantelor.

In privinţa ionilor $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-} ca şi în cazul celor de NH_4^+ şi K^+, aceştia se deplasează spre rădăcini prin difuziune.

Absorbţia radiculară sărăceşte solul în ionul respective, de aceea acest proces este continuu. Umiditatea solului şi concentraţia ionului respective în soluţia solului influenţează procesul de difuziune.

Cunoaşterea compoziţiei chimice a soluţiei solului are un rol important în optimizarea acesteia la nivelurile cerute de plante. De aceea, în agrochimie se practică la scară mare analiza extractului apos care caracterizează faza lichidă a solului.

C. Faza gazoasă a solului şi importanţa ei agrochimică

Este reprezentată de aerul existent în spaţiile libere ale solului în care se află N_2 molecular, O_2, CO_2, amoniac (NH_3) iar în solurile neaerate şi înmlăştinite SH_2, H, CH_4, ş.a. Aceste gaze ocupă spaţiul poros al solului (al fazei solide).

Comparativ cu aerul atmosferic (21 % O; 72% N; 0,03% CO_2) aerul din sol este mai bogat în CO_2 şi N_2 (19% O; 79% N şi 0,9% CO_2).

Gazele din sol sunt într-un permanent schimb cu atmosfera, în lipsa acestui schimb, se crează condiţii nefavorabile activităţii microbiologice şi proceselor de mobilizare a elementelor nutritive în forme asimilabile.

Cantitatea de gaze din sol reprezintă, în medie, 5-40% (în volume) în raport de textură (de alcătuirea granulometrică) 5-15% la solurile argiloase, 10-25% la solurile lutoase şi 30-40% în solurile nisipoase. Optimul capacităţii de aer a solului este 10-12%, în funcţie de textură (Chiriţă, 1974).

In general aerul şi nivelul proceselor biologice din sol se poate aprecia după cantitatea de CO_2 eliberată în 24 de ore.

Intre cantitatea de CO_2 degajată în sol în unitatea de timp şi fertilitate s-a stabilit o relaţie care se interpretează după următoarele limite:

Starea de fertilitate	**CO_2 mg degajat de 1 kg sol/24 ore**
Ridicată	> 61
Mijlocie	31-60
Scăzută	< 30

Solurile cu conţinut ridicat în substanţe organice humificate (humus) conţin mai mult CO_2 şi îl eliberează în atomosferă în cantităţi mai mari, îl degajă în atmosferă şi primesc în schimb aer bogat în O_2.

Datorită presiunii parţiale mari a CO_2 în aerul solului şi a O_2 în atmosfera deasupra solului, se produce un curent de deplasare a CO_2 din sol în atmosferă şi a O_2 din atmosferă în sol. Prin curgere liberă acest curent e datorat diferenţelor de temperatură, umezirii şi uscării solului, curenţilor de aer.

Mecanismul principal al schimbului de gaze dintre aerul din sol şi cel atmosferic este cel al difuziei.

Important de reţinut este faptul că există un echilibru între concentraţia gazelor din atmosferă şi cele din sol. In menţinerea acestui echilibru şi care de fapt reduce excesul de CO_2 din sol are un rol esenţial procesul de dizolvare a CO_2 în apa solului şi reţinerii acestuia sub formă de bicarbonaţi, după relaţia:

$$CO_2 + H_2O + CaCO_3 \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2.$$

3.4. INFLUENŢA ÎNSUŞIRILOR AGROCHIMICE ASUPRA MOBILITĂŢII ŞI BIOACCESIBILITĂŢII FORMELOR ELEMENTELOR NUTRITIVE DIN SOL ŞI

APLICATE

In funcţie de mobilitatea şi accesibilitatea elementelor nutritive din sol şi aplicate, depinde creşterea şi dezvoltarea plantelor şi implicit obţinerea unor producţii agricole şi horticole cantitativ şi calitativ superioare.

Specialiştii din domeniul agronomic şi al protecţiei mediului trebuie să aibă o bază solidă de cunoştinţe, încât pe baza unui studiu pedo-agrochimic foarte riguros, să ştie cum să lucreze solul şi ce măsuri de reconstrucţie şi refacere a fertilităţii solului trebuie luate, încât să-l pună în valoare şi implicit să-l aducă la parametrii optimi nutritivi pentru plante, menţinând un raport relativ stabil al echilibrului ecologic.

3.4.1. Formele elementelor nutritive din sol şi accesibilitatea lor pentru plante

Elementele nutritive se află în soluri în 4 stări:

a. **în stare nativă în mineralele primare** (cristalizate şi amorfe). In această stare elementele nutritive sunt sub forme greu solubile în apă, şi greu accesibile pentru plante. De studiul acestor forme se ocupă geochimia. Din punct de vedere agrochimic prezintă importanţă în măsura în care acestea furnizează cantităţi de elemente solubile;

b. **în forme fixate, neschimbabile**, în compuşi şi minerali cu solubilitate diferită şi accesibilitate redusă pentru plante;

c. **în forme adsorbite**, reţinute la suprafaţa particulelor coloidale ale solului de unde pot trece prin schimb în soluţia solului şi devin accesibile plantelor;

d. **în forme dizolvate** în soluţia solului, unde se află în dispersia ionică, moleculară sau coloidală şi de unde pot fi luate de plante.

Elementele nutritive nu se găsesc distribuite în egală măsură în cele patru stări. Cl^- şi NO^-_3 se află în cea mai mare măsură în faza lichidă pe când K^+ în cea mai mare parte se află în mineralele primare apoi în stare fixă şi mai puţin în stare dizolvată.

In general majoritatea elementelor nutritive se găsesc în forme neschimbabile în mineralele primare şi secundare, stare din care nu pot fi absorbite direct de plante ci după trecerea lor în forme solubile în soluţia solului. De asemenea, trebuie reţinut faptul că din substratul mineral şi organic, elementele nutritive, până ajung să fie luate de plante, parcurg anumite căi ce trebuie facilitate prin diverse măsuri agrochimice, în sensul desfăşurării lor optimale:

Mecanismul trecerii ionilor din mineralele primare şi secundare în soluţia solului şi apoi în rădăcina plantelor , se poate realiza după următoarea schemă:

Minerale primare şi secundare	→	ioni neschimbabili "fixaţi"	→	ioni schimbabili	→	ioni în faza lichidă → rădăcină

La K, trecerea elementelor nutritive în forme solubile, în soluţia solului, se poate explica astfel:

- K nativ ↔K fixat neschimbabil ↔ K schimbabil ↔ K solubil;
  (1) (2) (3) (4)

Schimburile între formele 1 şi 2 sunt lente, iar între formele 3 şi 4 sunt permanente şi rapide, cu o dinamică mai uşor sesizabilă.

- feldspaţi cu K	→	la minerale cu structura 2:1 expandabile (în spaţiile interlamelare)*	→	la minerale cu structură 1:1:2:1 ** la suprafaţa foiţelor pachetelor - humaţi de K	→	K^+ în soluţia solului → rădăcină

* Structură specifică mineralelor de tipul montmorilonitului, reţeaua este formată din suprapuneri de pachete alcătuite, fiecare din câte trei foiţe, două de tetraedre de Si, între care se află o foiţă de octaedre de Al. Această structură conferă montmorilonitului proprietatea de a se îmbiba cu apă, fiind un aluminosilicat cu reţea expandabilă, ceea ce înseamnă că în stare uscată spaţiul dintre pachete scade la 9,6Å, iar când argila este umedă, spaţiul creşte până la 21,4Å.
** Minerale cu o structură rezultată dintr-o suprapunere succesivă de foiţe de tetraedre de Si peste foiţe de octaedre de Al, legătura dintre foiţe făcându-se prin punerea în comun a unui atom de oxigen de la fiecare tetraedru, care înlocuieşte un hidroxil de la octaedru.

3.4.2. Influenţa reacţiei solului asupra absorbţiei elementelor nutritive

Pentru toate plantele de cultură, reacţia mediului are o importanţă mare în absorbţia elementelor nutritive. Astfel, fiecare specie de plantă are nevoie de anumite condiţii de reacţie, de un interval optim al acesteia, în care are loc o absorbţie bună a elementelor nutritive, cu efecte semnificative în formarea cantitativă şi calitativă a recoltelor.

Reacţia solului, noţiune similară cu aciditatea actuală sau liberă şi este capacitatea solului de a disocia ioni de H^+ (de hidroniu (H_3O^+) şi de hidroxil (OH^-) în contact cu apa şi se măsoară prin valori pH. Convenţional pH-ul solului se defineşte ca fiind logaritmul cu semn schimbat al activităţii ionilor de hidrogen: $pH = - \log aH^+$, în care:

aH^+ - activitatea ionilor de hidrogen în suspensia apoasă de sol, exprimată în mol-gram ioni H^+/l şi include ionii de hidrogen disociaţi de acizii solubili, cei disociaţi la echilibru de particulele coloidale de sol şi ionii de H^+ rezultaţi din hidroliza unor alţi ioni (Al^{3+}) sau a unor săruri.

Reacţia solului este în strânsă legătură cu compoziţia soluţiei solului fiind determinată de raportul dintre concentraţia în ioni de H^+ şi OH^-. Când în soluţie predomină ionii de H^+ **reacţia este acidă**, când predomină ionii OH^-, **reacţia este alcalină**, iar dacă aceştia se găsesc în echilibru, **reacţia este neutră.**

3.4.2.1. Provenienţa ionilor de H^+ şi OH^- din soluri

In mod curent aciditatea solurilor apare când în locul cationilor de Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+, adsorbiţi la fracţiunea coloidală trec ionii acidităţii: H^+ şi Al^{3+}. Cu cât acest fenomen este mai intens, deci debazificarea complexului adsorbitv este mai puternică, cu atât solul este mai acid.

Alcalizarea însă, apare la soluri care au un complex adsorbtiv cu grad avansat de saturaţie cu baze, în care sunt prezentate săruri solubile sub formă de carbonaţi de Ca, Mg şi K care hidrolizează alcalin, sporind concentraţia solului în ioni de hidroxil. Când este prezent carbonatul de sodiu (Na_2CO_3) în aceste soluri, pH-ul lor poate atinge valori mai mari de 10.

Sarcinile negative ale componentelor coloidale (minerale şi organice) din soluri sunt compensate de cationi bazici (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+) în solurile bazice, saturate sau de cationii acidităţii (H^+ şi Al^{3+}) în solurile acide. Aceste sarcini electronegative disponibile adsorbţiei cu schimb a cationilor sunt de două categorii:

- **sarcini permanente** determinate de substituţiile izomorfe ce au loc la mineralele argiloase, de la atomii de O marginali ai particulelor minerale şi de la grupările –COOH ale substanţelor organice humificate cu valoare mare a constantei de disociere. Aceste sarcini rămân nemodificate, constante, în condiţii de pH variabile.

- **sarcini dependente de pH** care apar din disocierea grupărilor funcţionale –COOH şi –OH ale substanţelor humice cu constantă mică de disociere şi care disociază pe diverse trepte crescătoare numai la pH-uri ridicate. De asemenea, aceste sarcini pot proveni şi din disocierea ionilor de H^+ de la grupările funcţionale –OH (Si – OH şi Al – OH) care disociază cantitatativ mai mult odată cu modificarea pH-ului de la valori 5,6 până la 11. In fine, aceste sarcini dependente de pH pot proveni şi de la alţi compuşi ai solului (mai ales complecşi humico-feri-aluminici) cu caracter amfoter.

- **în solurile cu aciditate avansată,** cu reacţie puternic acidă, în soluţia solului apar ionii de aluminiu în stare liber (Al^{3+}) sau cationi ai hidroxidului de aluminiu [$Al(OH^{2+})$].

Hidroliza puternică a ionilor de aluminiu în condiţiile solurilor puternic acide, concomitent cu activitatea ridicată a ionilor de H^+, determină o scădere a pH-ului ca urmare a reacţiilor:

$$\text{Complex adsorbtiv}\,]Al^{3+} \rightleftarrows Al^{3+}\text{ în soluţie};\quad Al^{3+} + H_2O \rightleftarrows Al(OH)^{2+} + H^+$$

In aceste condiţii ionii de H^+ disociaţi în soluţia din ionii de Al^{3+} hidrolizaţi, cauzează aciditatea puternică a solului.

In solurile slab şi moderat acide ionii de H^+ care disociază provin de la sarcina permanentă a coloizilor precum şi de la grupările funcţionale ale compuşilor minerali şi organici. Datorită creşterii pH-ului, tăria de legătură a ionilor de H^+ scade şi aceştia pot trece, prin schimb, în soluţia solului:

$$\text{Complex adsorbtiv}\,]\begin{matrix}H^+\\ \\ H^+\end{matrix} + Ca^{2+} \rightleftarrows \text{Complex adsorbtiv}\,]Ca^{2+} + 2\,H^+$$

In aceste condiţii scade cantitatea de ioni de Al^{3+} mobil crescând cei mon- şi di – ai hidroxialuminiului:

$$Al^{3+} + OH^- \longrightarrow Al(OH)^{2+} + OH^-$$

$$Al(OH)^{2+} + OH^- \longrightarrow Al\,(OH)_3$$

Aceşti “cationi” ai hidroxidului de aluminiu pot fi adsorbiţi de coloizii solului şi pot deveni mobili şi disociaţi cu un sens invers al reacţiilor de mai sus când aciditatea solului creşte ca urmare a unor intervenţii cu îngrăşăminte ce au un potenţial real de acidifiere. De aceea în asemenea condiţii se pot desorbi din nou ioni liberi de Al^{3+}.

In solurile neutre sau alcaline sarcinile permanente sunt compensate de cationii bazici mono şi bivalenţi (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) iar hidroxizii de aluminiu precipită sub formă de gibsit - $Al(OH)_3$. In aceste condiţii şi sarcina dependentă de pH este satisfăcută parţial sau total de cationii bazici.

Importanţa practică, agronomică şi agrochimică a cunoaşterii reacţiei (pH-ului) solului constă în următoarele:

- permite o clasificare agrochimică a solurilor din punct de vedere al pH-ului, cu delimitare a oportunităţii măsurilor de amendare pentru clasele extreme de pH, după cum urmează:

Limitele pH H_2O	Reacţia solului
< 5,00	Puternic acidă
5,01-5,80	Moderat acidă
5,81-6,80	Slab acidă
6,81-7,20	Neutră
7,21-8,40	Slab alcalină
> 8,40	Moderat, puternic alcalină

La pH_{H2O} < 5,80 activitatea mare a ionilor de H^+ determină o solubilitate puternică a ionilor de Al^{3+} şi de aici, pentru aceste categorii de soluri, necesitatea cercetării şi ameliorării agrochimice a reacţiei prin amendamente.

La pH $_{H2O}$ > 8,40 este prezent, de regulă în soluţia solului Na_2CO_3 ("soda") şi cationii de Na^+ sunt preponderent adsorbiţi în complex, de aceea şi în aceste cazuri este necesară o metodă de ameliorare agrochimică.

- aceste măsuri de ameliorare agrochimică sunt cerute nu numai de necesitatea cercetării pH-ului ci, în final, pentru motivul că majoritatea plantelor de cultură preferă un pH de 6-7,2, care la solurile cu pH extrem (de ameliorat) se pot obţine numai prin corectarea reacţiei prin amendamente, respective prin **reconstrucţie ecologică.**

Influenţa reacţiei mediului asupra absorbţiei ionilor nutritivi se explică prin două procese:

- primul, datorat ionilor de H^+ care micşorează absorbţia cationilor în rădăcină datorită unei activităţi ionice mai ridicate şi ca urmare a capacităţii de a ocupa mai repede poziţiile ionizate. Raza ionică mică alături de activitatea ionică mare a acestora (H^+) explică mobilitatea mare şi perturbarea absorbţiei cationilor din partea ionilor de H^+. Deci aceşti ioni sunt mai "rapizi" în ocuparea poziţiilor de schimb;

- al doilea proces determinat tot de ioni de H^+ care perturbă mecanismul absorbţiei prin favorizarea proceselor de schimb în sens ireversibil sau parţial reversibil.

În contrast cu ionii de H^+, ionii de Ca^{2+} au un rol esenţial în menţinerea capacităţii de schimb a membranei citoplasmatice.

Absorbţia de către plante a cationilor este favorizată de un pH neutru sau slab alcalin, pe când absorbţia anionilor este favorizată la valori ale pH-ului din domeniul acid (pH sub 7). Microelementele în majoritate, cu excepţia molibdenului, se absorb mai uşor în mediul acid.

Referitor la absorbţia selectivă a ionilor în funcţie de reacţie, respectiv valori pH, se cunosc următoarele: ionul NH_4^+ se absoarbe preferenţial la un pH 7-8; pe când ionul NO_3^- se absoarbe mai bine la un pH < 6; ionii de Ca^{2+} şi Mg^{2+} sunt absorbioţi mai bine la pH = 7, ionii SO_4^{2-} sunt absorbiţi preferenţial la pH 5 iar $H_2PO^-_4$ (fosfatul primar) la pH = 6,5.

Din această influenţă a reacţiei asupra absorbţiei elementelor nutritive s-a determinat preferinţa plantelor pentru anumite limite (domenii) optime de pH criteriu ce stă la baza clasificării plantelor privind adaptabilitatea lor la reacţia mediului:

- plante tolerante la aciditate (preferă pH 4,5-5,5): ovăz, secară, cartof, lupin, pomi fructiferi;

- plante mijlociu tolerante la aciditate (preferă pH 5,5-6,6): grâu, porumb, tutun, in, cânepă, tomate, ardei, castraveţi;

- plante tolerante la alcalinitate (preferă pH 6,5-8): orz, sfeclă, floarea-soarelui, trifoi, lucernă, varză, conopidă.

Clasificarea de mai sus, are mai multe implicaţii:

1. În amplasarea culturilor agricole în funcţie de pH-ul solurilor;
2. În corectarea reacţiei solurilor prin programul de amendare şi asolamentul practicat pe solele amendate, **respective reconstrucţia ecologică a solurilor.**
3. În stabilirea cantitativă a dozelor de amendamente şi îngrăşăminte în funcţie de reacţia solului şi exigenţele plantelor agricole faţa de aceasta.

3.5. INFLUENŢA UNOR FACTORI FIZICI ASUPRA MOBILITĂŢII ŞI CCESIBILITĂŢII ELEMENTELOR NUTRITIVE PENTRU PLANTE

Accesibilitatea elementelor nutritive pentru plante şi corelarea acesteia cu recolta este condiţionată de unii factori fizici ca: temperatura, umiditatea, textura (alcătuirea granulometrică), structura solului.

- **Temperatura solului** influenţează regimul nutritiv al elementelor, mobilitatea acestora, această problemă prezintă interes pentru zonele cu climat excesiv ca şi pentru cele ce se caracterizează la începutul perioadei de vegetaţie prin temperaturi instabile.

In general, în primăverile calde şi uscate, peste normala zonei, are loc o intensificare a proceselor de nitrificare, o eliberare excesivă a $N\text{-}NO^-_3$, condiţii ce perturbă ritmul de absorbţie al N-ului mineral faţă de alte elemente cum ar fi P şi K. Frecvent apare, în asemenea situaţii, la

plantule, fenomenul "intoxicaţiei nitrice". In contrast cu temperaturile ridicate, în primăverile reci are loc o creştere în sol a $N\text{-}NH^+_4$ şi o lipsă a $N\text{-}NO^-_3$. Aplicarea îngrăşămintelor cu $N\text{-}NH^+_4$ în asemenea condiţii deteriorează nutriţia cu N, produce şi o perturbare a raportului NH_4^+ cu alţi cationi (K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}), avansând la nivele critice unele fenomene de antagonism ionic faţă de $NH_4^{+.}$ De aici, în practică devine necesară diversificarea aplicării formelor de N: în primăverile calde se aplică îngrăşăminte cu $N\text{-}NH_4^+$, iar în cele reci, îngrăşăminte cu $N\text{-}NO^-_3$.

In privinţa mobilităţii şi accesibilităţii fosforului în funcţie de temperatură, în ultimul timp mai ales, s-a stabilit că acest factor fizic, în anumite limite, influenţează pozitiv desorbţia şi difuzia fosforului din sol (solubilizarea acestuia), ca şi nutriţia plantelor cu acest element. Explicaţiile acestui fenomen din punct de vedere agrochimic ar fi două: prima se bazează pe efectul temperaturii în scăderea vâscozităţii apei şi a soluţiei solului, pe efectul de mărire a fluidităţii acesteia, a capacităţii soluţiei de a primi anionul $H_2PO_4^-$; a doua ipoteză are la bază efectul pozitiv al temperaturii asupra desorbţiei fosfatului de pe particulele coloidale; energia standard, tendinţa de scăpare, de eliberare a fosfaţilor de pe coloizi este mai mare cu creşterea temperaturii.

In privinţa potasiului, modificarea mobilităţii acestuia în funcţie de temperatură este legată de schimbările de volum ale mineralelor argiloase expandabile care în timp cald şi excesiv de cald, prind ca într-un cleşte, mult mai ferm ionii de K^+. De aceea în sezonul cald şi excesiv de cald fenomenul carenţei de K este mai frecvent.

- **Umiditatea solului** influenţează complex mobilitatea şi accesibilitatea elementelor nutritive din soluri legat de dublul rol al apei în sol – de solvent şi mediu de difuzie pentru elemente.

Caracterul de solvent este datorat mai ales CO_2 solubilizat în soluţia solului, unde se formează H_2CO_3 care măreşte capacitatea acesteia de solubilizare a substanţelor nutritrive.

Ca mediu de difuzie apa şi umiditatea determină deplasarea elementelor nutritive în soluţia solului de la un gradient ridicat la unul mai coborât şi în final, o migrare, o translaţie mai mare a elementelor odată cu soluţia solului.

Un caz particular îl constituie mobilizarea fosforului ca şi a potasiului pe măsura creşterii umezirii solului până la o anumită limită optimă, excluzând efectele excesului de umiditate.

La fosfor creşterea difuziei, a dizolvării fosforului este datorată apei ca solvent al fosfaţilor minerali neocluşi aglomeraţi la suprafaţa particulelor de sol. Apoi, deşi mobilitatea P-ului în faza solidă este inexistentă datorită unor fenomene de fixare şi retrogradare, cantitatea difuzabilă şi solubilizată de $H_2PO_4^-$ este direct proporţională şi cu concentraţia iniţială a solului în fosfor.

Tot un caz particular îl prezintă şi efectul umidităţii şi umezirii solului asupra ionului de K^+; gonflarea şi umezirea argilelor duce la o disponibilitate mai mare a ionilor de K^+ pentru soluţia solului, se activează procesele de schimb în favoarea mobilităţii K-ului.

Este deosebit de interesantă mobilizarea ionilor de Mn^{2+} şi Fe^{2+} la umeziri mari, mai ales excessive. Elemente cu valenţă variabilă, Mn (2-4), Fe (2-3), suferă următoarele transformări:

$$Mn^{4+} + 2\,e^- \rightleftarrows Mn^{2+}$$

$$Fe^{3+} + e^- \rightleftarrows Fe^{2+}$$

Deci, devin susceptibile fenomenele de reducere. Odată cu excesul de umiditate aceste elemente îşi măresc mobilitatea (ionii de valenţă inferioară, aici bivalenţi, sunt mai mobili în sol şi mai accesibili pentru plante) şi în acelaşi sens cresc şi condiţiile de incidenţă a stărilor de toxicitate pentru plante cu aceste elemente. Trebuie reţinut şi un alt fapt practic, pe fondul umezirii excesive, îngrăşămintele cu azot măresc potenţialul de reducere ionică şi de creştere a toxicităţii acestor două elemente în condiţiile excesului de umiditate.

- **Textura solului** sau alcătuirea granulometrică care indică proporţia în care diferite fracţiuni granulometrice intră în alcătuirea solului . Textura constituie o proprietate relative stabilă, caracteristică diferitelor tipuri de sol, care la rândul ei influenţează în mare măsură celelalte proprietăţi fizice precum şi proprietăţile hidrofizice.

În mod current, textura unui sol este exprimată prin conţinutul procentual al masei solului în argilă, praf, nisip, pietriş, şi bolovăniş.

În ţara noastră, pentru definirea texturii se folosesc 10 clase texturale, care într-o formă simplificată (după Kacinski) pot fi grupate în 5 categorii. Încadrarea solurilor într-o clasă sau alta se face în funcţie de cantitatea de argilă fizică (<0,01mm), argilă (< 0,002 mm) şi praf.

Clasele texturale ale solului

Denumirea		Argilă (%)		Praf (%)
		<0,01 mm	<0,002 mm	0,002 – 0,02 mm
Textură grosieră	Nisipoasă	≤10	≤5	≤32
Textură grosieră – mijlocie	Nisipo – lutoasă	11 – 20	6 – 12	≤32
Textură mijlocie	Luto – nisipoasă	≤20	≤12	≥33
	Luto – nisipo – argiloasă	31 – 45	21 – 32	≤14
	Lutoasă	31 – 45	21 – 32	15 – 32
	Luto – prăfoasă	31 – 45	21 – 32	≥33
Textură mijlocie – fină	Luto – argiloasă	46 – 60	33 – 45	≤32
	Luto – argilo – prăfoasă	46 – 60	33 – 45	≥33
Textură fină	Argilo – lutoasă	61 – 70	46 – 60	–
	Argiloasă	≥71	≥61	–

Variaţia texturii pe profilul solurilor este determinată de aceea a materialului parental şi de caracteristicile procesului de solificare. Pe suprafeţele cu materiale parentale uniforme, atunci când în cadrul solificării nu au loc procese evidente de migrare a argilei sau argilizare, pe toată adâncimea profilului de sol se păstrează aceeaşi textură, adică solul este nediferenţiat din punct de vedere textural. Acestă situaţie se întâlneşte, în mod frecvent, la solurile din zona de stepă, unde fracţiunea argiloasă pe profil are aproximativ aceeaşi valoare cu cea existentă în materialul parental.

În zonele mai umede, unde în cadrul solificării au loc procese mai intense de argilizare şi de migrare a argilei, se realizează profile de sol cu diferenţiere texturală pe adâncime, unde în general este prezent orizontul de acumulare a argilei (B_t).

Referitor la mobilitatea şi accesibilitatea nutrienţilor sau elementelor nutritive pentru plante, textura solului influenţează indirect, după cum urmează:

- *în solurile cu textură argiloasă* (grele, cu aeraţie slabă) nitrificarea e lentă, dar de regulă celelalte elemente sunt bine reprezentate datorită capacităţii de schimb totale şi cationice a solurilor mult mai mari. Aceste soluri datorită capacităţii de reţinere suportă cantităţi mari de îngrăşăminte.
- *în solurile cu textură lutoasă* aeraţia, nitrificarea sunt puternice, iar capacitatea de reţinere şi schimb este medie. Aceste soluri cer doze medii de îngrăşăminte.
- *în solurile cu textură nisipoasă* aeraţia este foarte puternică, permeabilitatea şi condiţiile de nitrificare sunt excesive, capacitatea de reţinere ionică este mică. Aceste soluri necesită doze mici de îngrăşăminte dar aplicate repetat.

- Structura solului:

Particulele solide din masa solului se găsesc în cea mai mare parte legate între ele, formând aggregate de diferite forme şi mărimi. Proprietatea solului de a se prezenta sub formă de agregate poartă denumirea de **structură.** Mărimea şi forma agregatelor structurale ale solului sunt influenţate de condiţiile de mediu, procesele de solificare şi intervenţiile antropice asupra solului.

Principalele tipuri de structură, după forma pe care o prezintă agregatele din masa solului sunt: glomerulară, grăunţoasă, poliedrică, angulară, poliedrică subangulară, prismatică, columnoid-prismatică (este asemănătoare cu aceea prismatică, dar cu feţe curbe şi muchii rotunjite), columnară, lamelară etc. În funcţie de gradul de dezvoltare, structura solului poate fi: slab dezvoltată (elementele structurale se observă relative greu, cea mai mare parte a solului fiind nestructurată),

moderat dezvoltată (elementele structurale se obsrevă uşor, la sfărâmare apar multe aggregate), bine dezvoltată (la sfărâmare, întreaga masă de material se desface în aggregate).

Structura solului influenţează pozitiv mobilitatea şi disponibilitatea elementelor nutritive din sol pentru plante. Toate însuşirile de bază ale fertilităţii solurilor sunt mai bine exprimate pe solurile cu structură. In aceste soluri procesele aerobe şi anaerobe au loc concomitent, adică în echilibru.

Trebuie precizat numai că introducerea unor ioni sau substanţe purtătoare a anumitor ioni influenţează diferit coagularea sau dispersia coloizilor, deci structurarea sau astructurarea particulelor de sol.

Acizii huminici măresc gradul de coagularea, iar Na^+ măreşte dispersia coloizilor solului, iar calciul şi magneziul au un rol intermediar. Ordinea de coagulare după valenţă la cationi este următoarea: $Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$, iar la anioni: $SO_4^{2-} > H_2PO_4^- > Cl^- > NO_3^- > OH^-$.

3.6. INFLUENŢA UNOR FACTORI FIZICO-CHIMICI ŞI CHIMICI DIN SOL ASUPRA ACCESIBILITĂŢII ELEMENTELOR NUTRITIVE (NUTRIENŢILOR) PENTRU PLANTE. PROCESELE DE REŢINERE (ADSORBŢIE) A ELEMENTELOR NUTRITIVE

Dintre multiplele proprietăţi ale solului unele au caracter mai stabil (textura, conţinutul total în elemente nutritive), iar altele au caracter instabil, dinamic chiar în cursul unei perioade de vegetaţie (reacţia solului, conţinutul elementelor uşor accesibile). Aceste modificări cu caracter dinamic sunt posibile datorită unor relaţii fizice, fizico-chimice şi chimice între componentele solului, care de fapt funcţionează ca un sistem coloidal polidispers.

După D. Davidescu şi Velicica Davidescu, 1981, capacitatea solului de a reţine anumite substanţe din soluţia solului (cu sau fără schimb) este una din însuşirile de bază ale solului, mai ales în privinţa modului în care solul se comportă faţă de anumiţi ioni nutritivi din sol sau introduşi prin îngrăşăminte. Această însuşire fundamentală este datorată componentelor coloidale (argiloase şi humice) ale solului ca şi pH-ului.

După modul de reţinere (adsorbţie) a ionilor de către componentele coloidale organo-minerale ale solului, se disting următoarele **tipuri de reţinere:** mecanică, fizică, biologică, chimică, fizico-chimică (sau adsorbţia cu schimb şi adsorbţia fără schimb a cationilor şi a anionilor).

- *Adsorbţia mecanică* este însuşirea similară cu a unui corp poros de a reţine apa de infiltraţie cu particulele aflate în suspensie dar care au dimensiuni mult mai mari decât deschiderea porilor. Această însuşire este o funcţie variabilă a alcătuirii granulometrice a solului, a structurii şi porozităţii acestuia. Ca efect a acestui proces, în orizonturile superioare ale solului se reţin substanţe fin dispersate şi semidescompunse, mai ales substanţe organice care măresc substanţial fertilitatea solului şi în primul rând a orizonturilor superioare.

- *Adsorbţia fizică* are la bază o adsorbţie apolară prin fenomene fizice datorate energiei de suprafaţă (tensiunii superficiale) a unor substanţe gazoase sau a celor dispersate molecular în apă. Această însuşire se manifestă la limitele de separaţie dintre faze şi tinde să micşoreze suprafeţele de separare dintre acestea. Acest fenomen este caracteristic acelor substanţe dispersate ce micşorează tensiunea superficială ca şi unor combinaţii ce îşi micşorează solubilitatea la creşterea presiunii. Dintre îngrăşăminte, la aplicarea sărurilor acidului azotic (deci cu $N\text{-}NO_3^-$) apare acest fenomen sus menţionat.

- *Adsorbţia biologică* este capacitatea de reţinere a solului pentru anumite substanţe din soluţie prin organismele cu şi fără clorofilă, preponderent fiind conţinutul microbiologic al acestui proces.

Dacă în sol se introduc în exclusivitate numai îngrăşăminte chimice minerale multianual, microorganismele folosesc pentru ele elementele minerale cuprinse în acestea, iar ca material organic energetic humusul din sol. De aceea se preferă azi fertilizarea organo-minerală ce determină microflora solului să utilizeze ca substrat energetic nu humusul ci materia organică introdusă prin îngrăşămintele organice. Acest fenomen al reţinerii biologice se întâlneşte mai frecvent în circuitul azotului a căror ioni sunt blocaţi de la spălare şi de la alte procese de pierderea lor prin această reţinere biologică la nivelul stratului arat al solurilor.

- *Adsorbţia chimică* este caracteristică tuturor ionilor cu excepţia NO_3^- şi Na^+. Prin acest proces are loc de fapt o trecere a unor forme schimbabile, mobile, în forme neschimbabile imobile pe calea unor procese chimice.

Acest proces este cel care determină imobilizarea ionului fosforic introdus prin îngrăşămintele cu fosfor. Anionul monofosfat introdus în sol prin îngrăşămintele cu fosfor solubile în apă, este reţinut datorită formării compuşilor de echilibru cu solubilitatea cea mai mică şi stabilitatea cea mai mare (fosfaţi de calciu în solurile saturate şi fosfaţi de fier şi aluminiu în solurile acide).

Procesul de trecere a unei sări solubile în alta mai greu solubilă se numeşte **retrogradarea** şi duce în final la sărăcirea solului în elementul respectiv.

In solurile saturate cu baze acest proces caracteristic fosforului are loc după următoarea reacţie:

$$\text{Complex adsorbtiv}\left]\begin{matrix} = Ca \\ = Ca \end{matrix}\right. + \underset{\text{uşor solubil}}{Ca(H_2PO_4)_2} \longrightarrow \text{Complex adsorbtiv}\left]\begin{matrix} = Ca \\ - H \\ - H \end{matrix}\right. + \underset{\text{solubilitate mai scăzută}}{2CaHPO_4}$$

In solurile nesaturate, **acide** în prima fază datorită prezenţei ionilor de H^+ în jurul granulei de superfosfat, se solubilizează acidul fosforic (H_3PO_4), iar retrogradarea are loc astfel:

$$Fe(OH)_3 + H_3PO_4 \longrightarrow FePO_4 + 3\,H_2O$$
$$Al(OH)_3 + H_3PO_4 \longrightarrow AlPO_4 + 3\,H_2O$$

$FePO_4$ şi $AlPO_4$ rezultaţi, sunt compuşi cu solubilitate scăzută.

Aceste procese au şi un sens pozitiv pentru că parţial protejează anumiţi ioni de la fenomene de pierdere, asigurând plantele continu cu anumite specii de ioni ale elementelor nutritive.

- *Adsorbţia fizico-chimică* (sau cu schimb) a cationilor: este însuşirea solului de a reţine şi schimba cationi din faza solidă cu o cantitate echivalentă de cationi din soluţia solului.

Această însuşire aparţine coloizilor organo-minerali ai solului, aparţine respectiv după Ghedroiţ complexului adsorbtiv al solului. Procesul de reţinere şi schimb decurge rapid şi se realizează după următoarele legităţi:

a. Este reversibilă

$$\text{Complex Adsorbtiv}\left]\begin{matrix} Ca^{2+} \\ Mg^{2+} \\ K^+ \\ H^+ \end{matrix}\right. + 2\,K^+ \rightleftharpoons \text{Complex adsorbtiv}\left]\begin{matrix} K^+ \\ K^+ \\ Mg^{2+} \\ K^+ \\ H^+ \end{matrix}\right. + Ca^{2+}$$

Reversibilitatea schimbului are mare importanţă pentru mobilitatea cationilor şi nutriţia plantelor.

b. **Schimbul are loc în cantităţi echivalente** ca şi în reacţia de mai sus când în locul unui cation bivalent deplasat au trecut doi cationic monovalenţi sau ar fi putut trece tot unul bivalent (schimb stoichiometric).

c. S**chimbul de cationi depinde de energia de reţinere a acestora** la micelele coloizilor. Toţii cationii pot participa la schimb, dar facilitatea sau dificultatea schimbului depinde de forţa de adsorbţie a cationului la complexul adsorbtiv.

Energia de adsorbţie creşte cu masa atomică şi cu valenţa, astfel cationii polivalenţi (cum sunt cei trivalenţi) sunt mai puternic reţinuţi decât cei monovalenţi. Fac excepţie de la această regulă ionii de H^+ care sunt reţinuţi de patru ori mai puternic decât cei de Ca^{2+} şi de 17 ori mai puternic decât cei de K^+.

d. **Schimbul ionic depinde şi de gradul de hidratare a ionilor:** întrucât cationii au mărimi diferite, câmpurile electrostatice ale ionilor cu rază mică sunt mai mari decât ale celor cu rază mare.

Cu cât un cation este mai puţin hidratat cu atât este mai puternic reţinut de coloizii solului. Ionul de H^+ este cel mai puternic reţinut şi în această situaţie.

e. **Schimbul de cationi depinde de concentraţia acestora în soluţia solului,** deci de activitatea chimică a acestora. După această regulă mai puternic reţinuţi (Al^{3+}, Ca^{2+}) pot fi schimbaţi cu alţii mai slab reţinuţi (Na^+) dacă aceştia din urmă îşi măresc concentraţia în soluţia solului.

f. **Schimbul de cationi este supus legii acţiunii maselor,** după care concentraţia a două specii de cationi adsorbiţi (a) este proporţională cu raportul concentraţiilor aceloraşi cationi din soluţia solului (s):

$$\frac{K_a^+}{\sqrt{Ca^{2+}a}} = k\frac{K_s^+}{\sqrt{Ca^{2+}s}}$$

In final trebuie să reţinem ordinea puterii de adsorbţie a cationilor: $H^+ > Al^{3+} > Zn^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > NH_4^+ > Na^+ > Li^+$.

3.6.1. Indicii agrochimici utilizaţi pentru caracterizarea însuşirilor de adsorbţie cu schimb a solurilor pentru cationi

Principalii indici agrochimici utilizaţi pentru utilizarea însuşirilor de adsorbţie cu schimb a solurilor pentru cationi sunt următorii:

- *suma bazelor de schimb* (S_B, S_{BS}) şi se exprimă în me (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+, NH_4^+) la 100 g sol, determinată prin însumarea cationilor îndepărtaţi din sol prin percolarea de epuizare cu o soluţie neutră de acetat de amoniu 1 N.
- *suma protonilor* (H^+) *adsorbiţi* (SH), exprimată în me ioni de H^+ la 100 g sol, determinată prin percolarea de epuizare cu o soluţie 1N de acetat de potasiu cu pH-ul 8,3 până ce pH-ul acestei soluţii nu se mai schimbă la trecerea prin sol.
- *aciditatea hidrolitică* (Ah), exprimată în me la 100 g sol, determinată prin titrarea acidului format la tratarea solului cu o soluţie 1 N de acetat de sodiu cu pH-ul iniţial de 8,3.
- *capacitatea totală de schimb cationic* (CSC sau valoarea T), care reprezintă totalitatea cationilor adsorbiţi în complex, exprimată în me cationi (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+, NH_4^+, H^+) la 100 g sol. Rezultă prin însumarea S_B cu S_H sau cu Ah. (T_{SH}; T_{Ah}).
- *gradul de saturaţie al solului cu baze de schimb* (V%), care arată cât (în % din CSC sau valoarea T) este saturată cu baze (cationi) de schimb. Se calculează cu formulele:

$$V_{SH}\% = \frac{S_B}{S_B + S_H}.100;$$

$$V_{Ah}\% = \frac{S_B}{S_B + A_h}.100;$$

Valorile T_{Ah} şi V_{Ah} (calculate cu Ah) se utilizează mai ales la stabilirea solurilor amendabile (ca actualitate a amendării), şi la stabilirea dozei de $CaCO_3$ pentru solurile acide amendabile, pe când T_{SH} şi V_{SH} se utilizează mai mult pentru caracterizarea pedologică şi clasificarea solurilor.

- *gradele individuale de saturaţie a complexului adsorbtiv cu cationi bazici*:

$$Ca(V_{Ca}) = \frac{Ca}{T}.100;$$

$$Mg(V_{Mg}) = \frac{Mg}{T}.100;$$

$$K(V_K) = \frac{K}{T}.100; \qquad Na(V_{Na}) = \frac{Na}{T}100;$$

toate arată în % cât reprezintă aceşti cationi adsorbiţi din capacitatea de schimb cationic a solului (CSC sau T).

Adsorbţia (reţinerea) fără schimb a cationilor, prin care cationii pot fi reţinuţi în forme neschimbabile, fixaţi în spaţiile interlamelare ale mineralelor argiloase cu reţea cristalină expandabilă.

Unii ioni cu rază ionică relativ mare (K^+ = 1,33 Å; NH_4^+ = 1,43 Å) în stare nehidratată (faţă de Ca^{2+} = 0,94 Å; Mg^{2+} = 0,65 Å), dar în stare hidratată au rază ionică mică faţă de ceilalţi (K^+ = 3,8-4,0 Å; NH_4^+ = 3,8-4,4 Å, pe când Ca^{2+} = 9,6-10 Å; Mg^{2+} = 10,8 – 13,2 Å) pătrund mai uşor în spaţiile interlamelare ale mineralelor argiloase. Aceşti ioni (K^+, NH_4^+) când apa se retrage şi solul se usucă rămân în captivitate, adică fixaţi în sol şi sunt greu accesibili plantelor. Ei pot trece în forme schimbabile în timp, mai ales când se aplică îngrăşăminte cu aceste elemente (K^+, NH_4^+), care micşorează capacitatea de fixare a solului. De aceea se apreciază că pe aceste soluri îngrăşămintele cu K^+ sau cele cu NH_4^+ au efect redus pentru că solurile conţin aceşti ioni fixaţi şi care în timp pot trece în forme schimbabile în soluţia solului.

Se consideră că şi materia organică (humusul) poate avea implicaţii în acest proces, dar mult mai mici decât mineralele argiloase cu reţea şi structură expandabilă (figura 9).

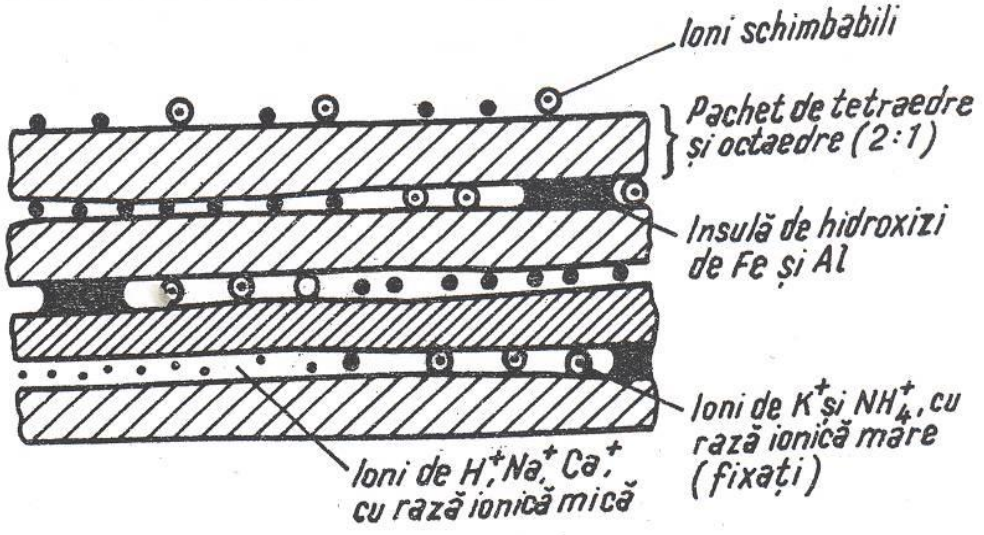


Fig. 9. Fixarea cationilor în sol

Adsorbţia anionilor, deoarece în soluri predomină substanţele coloidale (minerale şi organice) cu sarcină electronegativă având loc adsorbţia şi schimbul cationilor.

S-a dovedit însă că în soluri are loc şi o adsorbţie a anionilor, mai ales în mediul solurilor acide în care unele substanţe coloidale preponderente: $Fe(OH)_3$ şi $Al(OH)_3$ au caracter amfoter şi în acest sens grupările bazice pot accepta protoni. Ionul de H^+ se fixează la o grupare OH^- şi dă naştere ionului de hidroniu (H_3O^+) care reţine anioni.

Dintre anionii adsorbiţi cu mare interes agrochimic este cel monofosfat ($H_2PO_4^-$) considerat cel mai solubil al H_3PO_4. Poate fi reţinut prin câteva procese: prin substituţie izomorfă în reţeaua cristalină a mineralelor argiloase, prin schimb anionic cu ionii OH^- ai hidroxizilor de fier şi aluminiu fixaţi pe mineralele argiloase, prin intermediul cationilor polivalenţi fixaţi de coloizii orgaici, etc.

Adsorbţia anionilor este influenţată de: pH-ul solului (în mediu acid adsorbţia anionilor este mai mare), de natura adsorbanţilor (mineralele argiloase expandabile adsorb o cantitate mai mare de anioni decât cele fixe) şi de natura anionilor (unii reţinuţi slab: NO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, CH_3COO^-; alţii puternic reţinuţi $H_2PO_4^-$, citratul etc.).

3.6.2. Activitatea ionilor. Potenţialul chimic. Factori de intensitate şi capacitate ai elementelor nutritive

Activitatea ionilor, ca urmare a unor relaţii directe cu caracter dinamic şi de intercondiţionare între ionii adsorbiţi şi cei din soluţia solului, există un echilibru permanent care explică în majoritatea situaţiilor prezenţa unei compoziţii ionice complexe în soluţia solului, cât şi cantităţile accesibile pentru plante a acestor elemente.

Sunt şi situaţii în care, datorită unor reacţii de schimb multiple şi complexe, ca şi a unor componente ce interferă alte procese să fie o diferenţă între concentraţiile reale şi cele aparente, iar măsurarea soluţiei solului prin metode convenţionale să nu exprime o situaţie reală. Din acest motiv s-a introdus şi în chimia solului noţiunea de **activitate ionică** (a) şi se măsoară prin produsul dintre concentraţia (c) şi un coeficient de activitate (f) a electrolitului (a = f x c).

Pe baza teoriei lui Helmholz privind structura dublului strat electronic a micelei coloidale şi a teoriei de membrană Donnan, raportul dintre activităţile a două specii de ioni din soluţie, aflaţi în echilibru cu cei reţinuţi în complexul coloidal al solului este egal cu raportul dintre activitatea aceloraşi specii de ioni aflaţi în faza solidă.

Potenţialul chimic este o tendinţă de ieşire a substanţelor din sistem, iar în cazul soluţiei solului poate exprima sensul şi mărimea transformărilor pe care le suferă un ion din faza solidă, intensitatea trecerii sale în faza lichidă şi mobilitatea ionului în condiţiile date.

Potenţialele folosite cel mai frecvent în agrochimia unor cationi şi anioni, exprimă de fapt acele transformări şi tendinţe de ieşire a ionilor respectivi din faza solidă în soluţia solului în raport cu alte elemente, deoarece fenomenul în sine depinde şi de prezenţa altor ioni. Astfel sunt uzuale următoarele potenţiale:

- *potenţialul de calciu* (“ var”):

pH = 0,5 p(Ca + Mg) - folosit pentru definirea şi caracterizarea deficitului de saturaţie cu baze a solului;

- *potenţialul fosfatic:*

$pH_2PO_4 = [H_3PO_4] + p\frac{H}{H+K} + \int H_2PO_4$ - ce caracterizează regimul fosfaţilor din sol în privinţa intensităţii de trecere a ionilor $H_2PO_4^-$ în soluţia solului;

- *potenţialul potasic*:

pK = p[K] + p*f* K şi pK = 0,5 pCa – caracterizează regimul potasiului în soluri în privinţa intensităţii de trecere a acestor cationi în soluţie.

Tabel 8

Potenţialul unor ioni în soluri (după Rusu şi colab. 1968)

Solul	Variantele de fertilizare	Potenţialul de “var”		Potenţialul fosfatic		Potenţialul potasic	
		Nea-men-dat	Amendat	Nea-men-dat	Amendat	Nea-men-dat	Amendat
Luvisol	Martor*	3,01	3,76	6,546	6,452	3,981	4,098
	$N_{100}P_{70}K_{60}$	2,95	3,82	6,376	6,346	3,941	4,058
Livada	20 t/ha gunoi	3,14	4,07	6,450	6,135	3,625	3,751
Brun luvic	Martor*	3,24	3,96	6,229	6,215	3,677	3,807
	$N_{100}P_{70}K_{60}$	3,09	3,74	6,184	6,037	3,695	3,699
Livada	20 t/ha gunoi	3,37	4,12	6,115	6,035	3,422	3,500

*Nefertilizat

Extinderea acestor mărimi la caracterizarea agrochimică a mobilităţii şi accesibilităţii elementelor nutritive, va avea loc în măsura în care se stabileşte o relaţie între energia de fixare a acestor ioni la coloizii solului şi trecerea acestora în soluţia solului pe de o parte şi disponibilitatea lor pentru plante, pe de altă parte. Pentru întregirea semnificaţiei agrochimice a mobilităţii elementelor nutritive, a legării noţiunilor şi mărimilor cantitative de procese şi fenomene ce măsoară intensitatea mobilizării unor rezerve convenţionale determinante, s-au introdus concepţiile referitoare la **factorii de capacitate** şi de **intensitate** care exprimă în fond relaţiile dintre faza solidă şi lichidă a solului, mobilitatea şi accesibilitatea elementelor nutritive.
Deşi sunt două laturi ale aceluiaşi fenomen, factorii de capacitate dau o imagine cantitativă a unui element nutritiv, iar cei de intensitate dau o imagine calitativă a nivelului de mobilizare, disponibilitate şi accesibilitate.

In cazul fosforului, indicatori ai capacităţii (Q) sunt mărimile P-total (organic şi mineral), P-mobil, accesibil, P – izotopic, schimbabil, pe când factori ai intensităţii (I) sunt formele de P solubil în soluţie 0,01 M de $CaCl_2$ şi potenţialele fosfatice.

Din aceşti indici se formulează un altul cu caracter sintetic, de caracterizare complexă a regimului fosfatic din sol, exprimat prin raportul dintre Q şi I, ca o expresie a gradului (nivelului) intensităţii mobilizării, solubilizării rezervelor de fosfor din sol.

3.6.3. Capacitatea de tamponare a solului şi semnificaţia ei agrochimică

Prin capacitatea de tamponare a unui sol se înţelege însuşirea pe care o are acesta de a se opune oricărei tendinţe de modificare a concentraţiei unui ion (H^+, OH^-, $H_2PO_4^-$, K^+, NH_4^+, NO_3^-) din soluţia solului printr-o influenţare reciprocă din fazele solului.

Până în ultimii ani capacitatea de tamponare a solului s-a referit numai la însuşirea acestuia de a se opune la modificarea reacţiei (pH-ului) ceea ce a limitat această însuşire numai la pH, adică la eventualele modificări ale activităţii ionilor de H^+ şi OH^-. Dar prin amendamente, îngrăşăminte şi pesticide se introduc în sol şi alţi ioni ce pot influenţa atât ionii din soluţia solului, cât şi pe cei adsorbiţi.

- *capacitatea de tamponare a pH-ului* este însuşirea solului de a se opune tendinţei de modificare a reacţiei prin intermediul unor substanţe ce hidrolizează acid sau bazic.

După D. Davidescu şi Velicica Davidescu (1981) capacitatea de tamponare a solului pentru pH se poate măsura şi este egală cu raportul pentru cantitatea de acid sau bază exprimată în echivalenţi gram/l, adăugată în soluţie şi variaţia pH-ului ce se produce prin această tratare.

$$C_t = \frac{\text{Cant. de acid sau bază adăugată (echiv.gram/l)}}{\text{Modificarea pH-ului (valori pH)}}$$

Capacitatea de tamponare a solului pentru pH se datorează în principal la două sisteme tampon importante: complexul adsorbtiv al solului şi amestecuri tampon din acizi slabi şi sărurile lor cu baze tari.

a. *Complexul adsorbtiv al solului* ca sistem tampon în eventualele modificări de pH are rol esenţial mai cu seamă în două situaţii semnificative:

- când se introduc în sol săruri (îngrăşăminte) ce hidrolizează acid şi pun în libertate diverşi acizi (H_2SO_4, HNO_3, HCl).

$$\text{Complex adsorbtiv}\left]\begin{matrix}Ca\\Ca\\Mg\end{matrix}\right. + H_2SO_4 \rightleftharpoons \text{Complex adsorbtiv}\left]\begin{matrix}H\\H\\Ca\\Mg\end{matrix}\right. + Ca\,SO_4$$

($CaSO_4$ este o sare neutră greu solubilă, reacţia nu se mai deplasează spre mediu acid)

- când se folosesc săruri (îngrăşăminte) cu reacţie fiziologică bazică are loc un schimb de următoarea natură:

$$\text{Complex adsorbtiv}\left]\begin{matrix}Ca\\Ca\\H\\H\end{matrix}\right. + NaOH \rightleftharpoons \text{Complex adsorbtiv}\left]\begin{matrix}Ca\\Ca\\Na\\H\end{matrix}\right. + H_2O$$

în locul NaOH se formează apă cu pH =7,0 şi nu modifică racţia solului

Un rol important în capacitatea de tamponare a solului revine şi componentei organice a acestuia, humusului – care influenţează această calitate a solului prin conţinutul său în substanţe protidice care pot avea un caracter amfotere, să reacţioneze atât cu bazele cât şi cu acizii. Sărurile acizilor humici (humaţi şi fulvaţi) eliberează bazele şi reţin prin schimb ionii de H^+, dând stabilitate pH-ului după reacţia:

$$\underset{\text{Acid humic}}{R-\underset{\underset{COOH}{|}}{\overset{\overset{NH_2}{|}}{C}}-H} + K_2CO_3 \rightleftharpoons 2R-\underset{\underset{COOK}{|}}{\overset{\overset{NH_2}{|}}{C}}-H + H_2O + CO_2$$

Pe măsură ce complexul adsorbtiv este mai bine reprezentat (de componenta minerală şi organică) şi capacitatea de schimb totală (CST) şi cea pentru cationi (T) sunt mai mari, cu atât va fi mai mare capacitatea de tamponare pentru pH a solului.

De fapt, între pH şi saturaţia cu baze (V%) este o strânsă legătură ce poate fi exprimată prin ecuaţia de tamponare a lui Pavlevschi şi Mavrodineanu (1938).

$$pH = K + \log\frac{S_B}{S_H}$$ în care:

K = constanta de disociere a acidoidului din sol

Aceeaşi relaţie va fi reluată de Cernescu (1942) şi de Florea (1970).

b. *Al doilea sistem tampon* este format din diverse *amestecuri tampon* din care fac parte acizi slabi ca: humici, carbonic, silicici ş.a., şi sărurile lor cu baze tari ca: bicarbonaţi, carbonaţi, humaţi, silicaţi etc. Modul cum funcţionează un asemenea amestec tampon se poate exemplifica prin efectul acidului carbonic care este un acid slab (nedisociat) şi sarea lui cu o bază tare, $Ca(HCO_3)_2$, care este puternic disociabilă.

1. dacă se introduc în sol săruri (îngrăşăminte) ce hidrolizează acid, are loc următoarea reacţie:

$$Ca(HCO_3)_2 + H_2SO_4 \rightleftharpoons CaSO_4 + 2H_2O + 2CO_2$$

Rezultatul reacţiei (în primul rând, $CaSO_4$) nu modifică pH-ul.

2. dacă se introduc săruri (îngrăşăminte) ce hidrolizează alcalin, iau naştere carbonaţii metalelor alcalino-pământoase şi pH-ul nu se modifică.

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightleftharpoons 2\,CaCO_3 + 2H_2O$$

- *Capacitatea de tamponare pentru anionii acidului fosforic:* sistemele tampon pentru fosfor sunt variate şi complicate la care participă următoarele procese şi compuşi:

1. precipitarea ionului fosforic aflat în echilibru cu faza lichidă;
2. adsorbţia ionului fosforic la mineralele argiloase (hidroxizii de Al şi Fe).

3. compuşii anionilor acidului ortofosforic ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}) cu alţi cationi (Ca, Al, Fe).

4. reţinerea anionilor fosforului de către coloizii organici.

Intrucât fosforul participă la multiple procese de retrogradare, solubilitatea pentru anionul monofosfat în condiţii de pH diferit a compuşilor de echilibru şi de mare stabilitate influenţează mărimea fracţiunii mobile şi menţinerea în rezervă a fosforului total.

- *Capacitatea de tamponare pentru ionul potasic* se pune în activitate prin următoarele sisteme şi procese:

1. adsorbţia diferită a ionului de K^+ (în poziţii plane sau în spaţiile interlamelare) la mineralele argiloase. În funcţie de aceste poziţii de fixare şi schimb apare o mare variabilitate a indicelului $V_K = \frac{K^+}{T}.100$, la care cantitatea şi felul mineralelor argiloase influenţează semnificativ.

2. reţinerea ionilor de K^+ de către coloizii organici. Această tărie de adsorbţie a K^+-ului la coloizii organici este apropiată de cea de pe poziţiile plane ale mineralelor argiloase.

Dar mult mai important este sistemul tampon dat de mineralele argiloase care menţin un rezervor şi un stoc dinamic al acestui element.

- *Capacitatea de tamponare pentru ionii azotului.* Având în vedere specificul şi comportarea diferită a celor doi ioni în sol (NO_3^- şi NH_4^+), sistemele tampon ce menţin aceşti ioni şi se opun unor schimbări mari sunt:

1. la NH_4^+ , ion ce se comportă asemănător K^+-ului în privinţa adsorbţiei şi fixării, numai că ionul NH_4^+ are ca sursă de provenienţă principală materia organică a solului, totuşi şi în cazul amoniului mineralele argiloase dau un echilibru permanent şi dinamic între formele fixate, adsorbite şi cele mobile.

2. NO_3^- provine din materia organică humificată prin mineralizare. Este mai mobil, mai fluctuant în soluri pentru că adsorbţia acestuia la coloizieste nesemnificativă. Materia organică îl menţine dar sărurile minerale îi conferă dinamică.

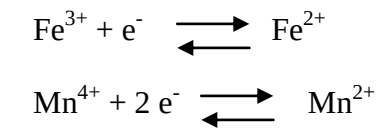
3.6.4. Fenomenele de oxidoreducere din sol şi implicaţiile agrochimice

In soluri au loc în permanent reacţii de oxidoreducere cu caracter multiplu şi complex. Aceste reacţii care constituie multiple sisteme oxidoreducătoare au o mare importanţă în reglarea nivelului nutritiv al plantelor.

Se ştie că în procesele de oxidare are loc o cedare de electroni, deci sarcina electropozitivă (+) creşte şi elementul respectiv trece la o valenţă superioară. In procesele de reducere are loc o primire de electroni, deci sarcina (+) scade şi elementul trece la o valenţă inferioară.

Fenomenele de oxido-reducere din sol sunt datorate în principal activităţii microorganismelor care folosesc materia organică din sol ca sursă de energie, o descompun şi realizează procesul de oxidare prin transferul de electroni de la suprafeţele organice către substanţele acceptoare de electroni.

In asemenea reacţii sunt implicate elementele cu valenţă variabilă:



$$Fe^{3+} + e^- \rightleftharpoons Fe^{2+}$$

$$Mn^{4+} + 2\,e^- \rightleftharpoons Mn^{2+}$$

Pentru fiecare element cei doi ioni (componenţi) alcătuiesc un sistem de oxidoreducere sau un sistem redox.

Când solurile sunt cu exces de umiditate, deci sunt condiţii de reducere a elementelor, reacţiile au loc de la stânga la dreapta, iar când solurile sunt aerisite, reacţiile au loc de la dreapta la stânga.

In mod analog, cu potenţialul ionilor de hidrogen, deci cu pH-ul, potenţialul de oxidoreducere se notează cu rH.

Aceste procese de oxidoreducere au implicaţii mari în procesele agrochimice ale nutriţiei:
- în primul rând, în condiţiile de oxidare şi reducere, prezenţa ionilor cu valenţă variabilă are semnificaţii diferite: ionii cu valenţe reduse (valenţa 2 de la Mn şi Fe 2) sunt mult mai mobili şi accesibili, condiţii în care apar frecvent situaţii de toxicitate a acestora pentru plante. Când predomină condiţiile de aerobioză (oxidare) există situaţii de carenţă datorită unei solubilităţi şi accesibilităţi mai mici a ionilor cu valenţă superioară (Mn^{4+} şi Fe^{3+}).
- aceste procese de reducere ale manganului şi fierului pe solurile acide au un efect de "autoamendare" ca urmare a disponibilizării unor ioni de OH^- pe când la un proces aerob se disponibilizează ionii de H^+ şi solul se acidifică.

- aceste fenomene implică şi unele procese legate de mobilitatea unor elemente nutritive; accesibilitatea lor pentru plante este influenţată de prezenţa sau absenţa unor alţi ioni în forme oxidate sau reduse. Prezenţa sau absenţa ionilor hidroxi –Al şi hidroxi –Fe (la diverse valenţe) influenţează mobilitatea P-ului, fixarea anionilor fosforici la nivelul componentelor minerale ale solului.

- existenţa condiţiilor de oxidoreducere şi de alternanţă a acestora influenţează regimul de activitate a microorganismelor din sol implicate în mobilitatea elementelor (N, S, P a circuitului biologic al acestora).

3.6.5. Procese fundamentale fizico-chimice, biochimice şi biologice care determină evoluţia însuşirilor de adsorbţie cu schimb şi reacţia solului (după Borlan şi Rusu, 1991)

Unele procese de intercondiţionare dintre sol – plante – îngrăşăminte influenţează însuşirile de adsorbţie cu schimb şi reacţia solurilor, de aceea cunoaşterea acestora determină din acestea măsuri şi mijloace de influenţare.

- *Sinteza microbiană de substanţe humice acidoide:* din resturi vegetale şi din îngrăşăminte naturale (organice) influenţează însuşirile de adsorbţie şi schimb a solurilor. Capacitatea de schimb creşte cu circa 1,5 me/100 g sol la fiecare % de humus acumulat în sol.

- *Debazificarea ($-\Delta S_B$)şi protonarea ($+\Delta S_H$ sau $+\Delta A_h$)a complexului coloidal argilohumic ca urmare a consumlui de baze în recolte şi a îndepărtării prin levigare a bazelor* (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+) împreună cu anionii care nu se adsorb sau se adsorb slab în sol (Cl^-, NO_3^-, HCO_3^-, SO_4^{2-} ş.a.).

Debazificarea complexului argilo-humic se intensifică în condiţiile fertilizării solurilor cu îngrăşăminte cu N şi cu fosfaţi de amoniu şi uree. Acest proces se calculează după coeficienţii de debazificare specifică care depind de conţinutul în elementul respectiv al îngrăşământuluui (% element) şi de raportul Ca/N din îngrăşămintele folosite ca surse de N.

Pentru a aprecia debazificarea în timp a solului se înmulţesc coeficienţii de debazificare cu numărul de ani de aplicare a îngrăşămintelor.

- *Bazificarea complexului coloidal argilo-humic în solurile acide prin aplicarea amendamentelor calcaroase*: această modificare favorabilă S_B ($+\Delta S_B$) este o funcţie a dozei de amendament calcaros (DAC, t/ha) şi a puterii de neutralizare (PNA = % $CaCO_3$) a amendamentului.

- *Debazificarea complexului adsorbtiv argilo-humic în solurile în care s-au aplicat amendamente calcaroase.* In această situaţie pierderile de calciu din stratul arat al solurilor calcarizate şi reacalcarizate se estimează (recalculează) după doza de amendament aplicată (DAC, t/ha), după puterea de neutralizare a acestuia (PNA, %$CaCO_3$) şi Ca^{2+} remanent în sol după aplicările anterioare de amendamente calcaroase.

- *Aducţia de baze alcalino-pământoase sub formă de bicarbonaţi cu apa de irigaţie:* o normă de irigare de 50 mm cu apă conţinând 1 me Ca^{2+} sub formă de bicarbonat/l [$Ca(HCO_3)_2$] are un aport de Ca^{2+} echivalent cu 25 kg $CaCO_3$/ha.

In timp, dacă apa conţine ioni de bicarbonat şi carbonat (HCO_3^- şi CO_3^{2-}) în exces faţă de conţinutul însumat al ionilor de Ca^{2+} şi Mg^{2+} (Ca^{2+} + Mg^{2+}) astfel încât la evaporarea apei şi depunerea carbonaţilor alcalino-pământoşi să se formeze Na_2CO_3 ("rezidual") care poate alcaliza puternic solurile.

- *Mineralizarea substanţelor humice*: şi formarea de săruri ale acizilor carbonic, fosforic şi sulfuric fac să crească activitatea ionilor de H^+ în soluţia solului şi să se micşoreze astfel pH-ul. In decursul unui sezon de vegetaţie se pot elibera din rezerva de humus a solului: 20-80 kg N, 2,5-10 kg S, 4-16 kg P şi 250-1000 kg/Ca/ha. Acestor cantităţi de substanţe nutritive (N, S, P) le sunt echivalente 1,5-5,0 kg ioni de H^+/ha, respectiv 75-250 kg $CaCO_3$/ha.

- *Mineralizarea resturilor vegetale şi a materiei organice încorporate cu îngrăşămintele naturale şi sinteza din acestea a substanţelor humice.* Efectul acidifiant al CO_2 ce se degajă prin procesul de humificare şi mineralizare este compensat de bazele conţinute de materia organică introdusă. Cantităţile de humus sintetizate din resturile vegetale şi din îngrăşămintele naturale diferă cu raportul C/N din acestea şi gradul de transformare microbiană a lor.

Dintr-o tonă de paie de grâu, cu 15% umiditate şi un raport C:N de 85, se sintetizează în sol circa 80 kg humus, în timp ce dintr-o tonă de gunoi de grajd semifermentat, cu 75% umiditate şi un raport C:N de 25 în s.u., rămâne în sol circa 30 kg de humus.

- *Nitrificarea azotului amoniacal* cu generarea în sol a protonilor (H^+) determină acidifierea solurilor după reacţia:

$$NH_4^+ + 2O_2 \xrightarrow{\text{nitrificare}} NO_3^- + 2H^+ + H_2O$$

Acest fenomen se petrece la aplicarea îngrăşămintelor cu $N\text{-}NH_4$ sau cu $N\text{-}NH_4$ şi $N\text{-}NO_3$.

- *Oxidarea în acid sulfuric a formelor reduse de S din tioaminoacizi*: în procesul de mineralizare a substanţelor humice care generează 2 protoni activi (H^+) de fiecare atom de S oxidat, după reacţia:

$$H_2S + 2O_2 \longrightarrow SO_4^{2-} + 2H^+$$

Acest proces ca şi altele determină acidifierea solurilor.

- *Reducerea manganului şi fierului* din compuşi aflaţi în stare superioară de valenţă (compupşi manganici şi ferici) în condiţii de reducere (la exces de umiditate) pe solurile acide are efect de "autoamendare", după reacţia:

$$\left.\begin{matrix}\text{Sol}\\ \text{acid}\end{matrix}\right] \begin{matrix}H^+\\ H^+\end{matrix} + 2\,e^- + Mn(OH)_4 \xrightarrow[\text{anaerob}]{\text{proces}} \left.\begin{matrix}\text{Sol}\\ \text{neutru}\end{matrix}\right] Mn + 2H_2O + 2OH^-$$

In solurile cu procese aerobe preponderente, determinate prin desecare, prin oxidarea constituenţilor anteriori desecării ce existau în forme reduse, reacţia se acidifică astfel:

$$Mn(OH)_2 - 2e^- \xrightarrow[\text{aerob}]{\text{proces}} MnO_2 + 2H^+ + \text{energie}$$

$$2Fe(OH)_2 - 2e^- \xrightarrow[\text{aerob}]{\text{proces}} Fe_2O_3 + 2H^+ + \text{energie}$$

3.7. ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Precizaţi definiţia solul din punct de vedere pedologic şi agrochimic:

.....

2. Care este caracteristica fundamentală a solului care-l deosebeşte de roca mamă din care a provenit şi ce presupune ea:

.....

3. Care sunt indicii de caracterizare a capacităţii de schimb cationic în funcţie de cea mai importantă proprietate a solului adsorbţia cationilor:

.....

4. Care sunt principiile de abordare a solului:

.....

5. După importanţa deosebită a învelişului de sol, care sunt principalele funcţii ale solului în raport cu mediul înconjurător şi societate:

.....

6. Alcătuirea generală a solului cu accent pe cele trei faze şi cum influenţează în mod specific mobilitatea şi bioaccesibilitatea elementelor nutritive (nutrienţilor) din sol şi aplicate, pentru plante:

.....

Răspuns: Din punct de vedere fizic, solul este un sistem polidispers, structurat şi poros alcătuit din trei faze: **A. faza solidă** (constituienţii minerali şi organici); **B. faza lichidă** (soluţia solului); **C. faza gazoasă** (aerul şi alte gaze din sol). Fiecare dintre faze influenţează în mod specific mobilitatea şi bioaccesibilitatea elementelor nutritive (nutrienţilor) din sol şi aplicate, pentru plante.

7. Care sunt principalele caracteristici ale materie organice în legătură cu nutriţia plantelor?

.....

8. Cum sunt influenţate însuşirilor agrochimice asupra mobilităţii şi bioaccesibilităţii elementelor nutritive (nutrienţilor) din sol şi aplicate?

.....

9. Cum influenţează factorii fizici ai solului asupra mobilităţii şi accesibilităţi elemntelor nutritive (nutrienţilor) pentru plante:

.....

10. Cum influenţează factori fizico-chimici din sol asupra accesibilităţii elementelor nutritive (nutrienţilor) pentru plante:

.....

3.8. TESTE DE AUTOEVALUARE

1. Reglarea fertilităţii solului prin măsuri agrochimice se poate realiza pe baza cunoaşterii:

(a) constituenţilor solului;
(b) constituienţilor solului şi a proceselor fizice;
(c) constituienţilor solului, a proceselor fizice, chimice şi biologice ce se desfăşoară în mod permanent în sol.

2. Datorită importanţei deosebite a solului, din studiile şi cercetările realizate de-a lungul timpului i s-a atribuit:

(a) o unică abordare;
(b) o dublă abordare;
(c) o triplă abordare.

3. Fracţiunea minerală a solului reprezintă gravimetric din faza solidă:

(a) 5 – 10% din faza solidă;
(b) 40 – 50 % din faza solidă;
(c) 90 – 95 % din faza solidă.

4. Soluţia solului sub aspect chimic este alcătuită din:

(a) din componenta minerală;
(b) din componenta organică;

(c) din componenta minerală, componenta organică şi gazele.

3.9. REZUMAT

Solul este considerat ca fiind resursa naturală de bază a sistemului agricol reprezentând în acelaş timp suportul esenţial al vieţii pe Pământ. Din punct de vedere al genezei, solul este rezultanta interacţiunii dintre rocă, relief, climă şi vegetaţie, format prin acţiunea permanentă şi simultană a biosferei (învelişul pământului), atmosferei, hidrosferei (învelişul de apă al pământului) asupra litosferei (învelişul solid a scoarţei terestre) cât şi a activităţii umane, reprezentând o resursă naturală deosebit de importantă ca şi apa şi aerul. Aşa cum omul nu poate trăi fără aer şi apă, la fel nu poate trăi fără hrană care şi-o procură în cea mai mare parte din vegetaţia dezvoltată pe sol. Solul este principala sursă de elemente nutritive pentru plante încât producţia agricolă este legată nemijlocit de particularităţile lui.

Spre deosebire de alte mijloace de producţie, învelişul de sol al globului, al unei ţări,

2.6. BIBLIOGRAFIE

1. Rusu,T., 2005. *Agrotehnică*. Editura Risoprint Cluj-Napoca.

3.10. BIBLIOGRAFIE

1. Marilena Mărghitaş, Cătălin Băluţiu, 1996, Agrochimie – Lucrări practice, Tipo Agronomia, Cluj-Napoca ;
2. Marilena Mărghitaş, 2003, Agrochimie, Ed. AcademicPres, Cluj-Napoca;
3. Marilena Mărghitaş şi colab., 2011, Manual de bune practici în tehnologia fertilizării plantelor agricole, Ed. AcademicPres, Cluj-Napoca

Capitolul 4. CORECTAREA REACŢIEI EXTREME A SOLURILOR PRIN AMENDAMENTE

Cuprins

4.1. Situaţia solurilor cu fertilitate scăzută din România ……. 50
4.2. Corectarea reacţiei acide a solurilor ……. 50
4.3. Corectarea reacţiei şi a conţinutului de săruri din solurile saline şi alcaline.. 57
4.4. Întrebări recapitulative 64
4.5. Teste de autoevaluare 64
4.6. Rezumat 65
4.7. Bibliografie 65

Introducere

Acest capitol prezintă situaţia solurilor cu reacţie extremă acide şi saline - alcaline, cu fertilitate scăzută din România. Aceste soluri ocupă suprafeţe mari din totalul arabil al ţării care pot fi redate circuitului agricol prin măsuri de ameliorare.

Datorită însuşirilor chimice şi biologice specifice solurilor acide şi a celor saline alcaline care de obicei nu prezintă valori optime pentru majoritatea plantelor de cultură, cât şi a reacţiei pronunţat acide (cazul solurilor acide), respectiv bazice (solurile saline alcaline) care influenţează negativ activitatea biologică din sol şi procesele de nutriţie şi prin aceasta creşterea şi dezvoltarea plantelor.

Ca urmare a acestor caracteristici, în agricultura modernă a apărut ca strict necesară, corectarea stării de aciditate a solulurilor prin amendamente calcaroase şi a stării de salinitate – alcalinitate prin amendamente pe bază de gips, pe baza unui studiu agrochimic riguros.

Obiectivele capitolului

La sfârşitul acestui capitol vei fi capabil:
- să identifici principalii indici agrochimici ai solului caracteristici solurilor acide interesate la amendarea calcică cu amendamente calcaroase;
- să identifici principalii indici agrochimici ai solului caracteristici solurilor saline - alcaline interesate la amendarea calcică cu amendamente pe bază de gips ($CaSO_4 . 2H_2O$);
- să stabileşti corect măsurile agrochimice şi tehnologice de ameliorare şi fertilizare a solurilor cu reacţie extremă respective solurile acide şi cele saline-alcaline.

Durata medie de studiu individual – 4 ore

4.1. SITUAŢIA SOLURILOR CU FERTILITATE SCĂZUTĂ DIN ROMÂNIA

În ţara noastră, datorită diversităţii factorilor pedogenetici, învelişul de sol este foarte variat şi complex întâlnindu-se de la soluri cernoziomice (molice) care ocupă doar 37 % din suprafaţa arabilă până la soluri slab productive sau chiar neproductive reprezentate prin soluri acide, saline şi alcaline, cu exces de umiditate etc. Din studiile pedologice şi agrochimice efectuate, reiese că multe soluri chiar fertile, printr-o exploatare neraţională sunt afectate de procese de degradare secundară. Astfel după notele de bonitare, solurile din România se încadrează în clasele de fertilitate foarte ridicată (I şi II) doar circa 4 %; fertilitate mijlocie (III - IV) 57-66 %, iar suprafeţe însemnate de 30-39 % se situează în clasele de fertilitate foarte scăzută (VII-X). În acest context, ridicarea potenţialului productiv al solurilor cât şi menţinerea şi sporirea fertilităţii acestora, a devenit un obiectiv central pentru o agricultură modernă intensivă.

Suprafeţele de teren ce pot fi ameliorate şi redate circuitului agricol, la noi în ţară, sunt reprezentate îndeosebi de solurile acide şi de cele saline şi alcaline.

Solurile acide ale căror însuşiri fizice, fizico-chimice şi biologice trebuie ameliorate, ocupă o suprafaţă de aproximativ 2 milioane ha ceea ce reprezintă 20 % din suprafaţa arabilă a ţării (VINTILĂ şi colab, 1984). Cele mai întinse suprafeţe ocupate cu soluri acide se găsesc în judeţele: Satu Mare, Bihor, Timiş, Olt, Argeş, Braşov, Arad, Caraş Severin, Suceava, Maramureş, Sălaj, Hunedoara, Vâlcea şi Dâmboviţa.

Solurile saline şi alcaline cu conţinut ridicat de săruri (peste 900-1000 ppm săruri solubile în apă) ocupă o suprafaţa de 510 mii hectare (după Sandu, 1979) din care 265 mii hectare sunt soluri saline şi alcaline (halomorfe) şi 245 mii hectare sunt soluri salinizate şi alcalinizate. Prima categorie e datorată dintr-o evoluţie naturală iar a doua categorie a rezultat din soluri "salinizate secundar" (afectate de sărăturare) în urma intervenţiei neraţionale a omului mai ales prin irigarea cu ape mineralizate fără asigurarea unor condiţii corespunzătoare de drenaj. Acestea din urmă cu potenţial de degradare a fertilităţii prin fenomene de salinizare secundară, au o răspândire mult mai mare de circa 1,5 milioane hectare.

Indicele agrochimic de bază care defineşte reacţia solului, adică proprietăţile acido-bazice ale sistemului sol-apă şi arată cum se comportă solul - ca un acid care donează protoni sau ca o bază care acceptă protoni, este valoarea pH determinată în suspensie apoasă de sol. Pentru stabilirea reacţiei solurilor mai întâi se determină pH-ul solului. Convenţional pH-ul solului este logaritmul cu semn negativ al activităţii ionilor de hidrogen în suspensie apoasă de sol.

$pH = - \log a H^+$, în care:

a H^+ - activitatea ionilor de hidrogen în suspensie apoasă de sol, exprimată în mol-gram ioni H^+/l şi include ioni de H^+ disociaţi de acizii solubili, cei disociaţi la echilibru de particulele coloidale de sol şi ionii de H^+ rezultaţi din hidroliza unor alţi ioni (Al^{3+}) sau a unor săruri.

Reacţia solului, care este considerată o însuşire agrochimică importantă şi este determinată de activitatea ionilor de H^+ şi OH^- din soluţia solului, poate fi acidă, bazică sau alcalină şi neutră. Când în soluţia solului predomină ionii de H^+ reacţia este **acidă,** iar când predomină ionii de OH^- reacţia este **bazică** sau **alcalină** şi atunci când ionii de H^+ sunt în echilibru cu ionii OH^-, reacţia este **neutră.**

4.2. CORECTAREA REACŢIEI ACIDE A SOLURILOR

4.2.1. Noţiuni generale asupra formării solurilor cu reacţie acidă

Aciditatea este o însuşire fizico-chimică caracteristică solurilor din zonele umede şi în special din arealele montane la noi în ţară, deoarece apa din precipitaţii datorită CO_2 dizolvat în ea, are capacitate de dizolvare destul de mare (solubilitatea $CaCO_3$ creşte de aproape 100 de ori în prezenţa CO_2, iar solubilitatea CO_2 creşte odată cu scăderea temperaturii apei).

În zonele cu precipitaţii abundente, sărurile uşor solubile din profilul de sol sunt total îndepărtate, iar într-o oarecare măsură şi cele greu solubile, ca de exemplu $CaCO_3$. În general prin soluri acide se înţelege solurile care au valori pH în suspensie de apă distilată mai mici de 6,8, iar valori pH în suspensie salină mai mici de 6,5. Ca tip de sol, se includ în categoria solurilor acide cele brune acide sau Districambosoluri (din zona montană), brunele luvice sau Luvosol, luvisolurile sau Luvosolurile şi brunele argilo-iluviale sau Preluvosolurile tipice (din zona agricolă).

Solurile acide, în ţara noastră, s-au format în zona pădurilor de foioase sub acţiunea factorilor ce au determinat procesul de bioacumulare acidă de pădure cu formarea şi migraţia de argilă (CHIRIŢĂ, 1974). Această zonă are o climă
temperată, cu precipitaţii de 600-900 mm anual, din care 30 % sunt repartizate în lunile mai-iunie, cu o temperatură medie anuală de 6-10 °C, cu mari amplitudini între minime şi maxime. Soluri s-au format mai ales pe roci sedimentare depuse sub forma unor luturi şi argile de acoperire peste pietrişuri. În nord - vestul ţării s-au format şi soluri acide pe aluviuni de textură şi stratificaţie variată, precum şi pe luturi şi argile marnoase. Aceste roci conţin cantităţi apreciabile de minerale

argiloase (vermiculit, illit, montmorilonit şi puţin caolinit în solurile de la Albota, vermiculit, illit, montmorilonit şi urme de caolinit la Horodnicu şi illit, caolinit şi vermiculit în solurile acide de la Livada).

Terenurile arabile cu soluri acide din România, sunt dispuse mai ales pe forme de relief plane formate din terase şi platouri fragmentate de râuri. În nord - vestul ţării (jud. Satu Mare) şi depresiunea Făgăraşului, solurile acide ocupă suprafeţe însemnate chiar pe şesurile joase de origine aluvială şi pe câmpiile depresionare.

Aciditatea solului este datorată ionilor de H^+ respectiv de hidroniu (H_3O^+) rezultaţi în urma proceselor de hidroliză, disociere şi schimb ce au loc în sol. La solurile sau orizonturile minerale cu pH <5,8, o sursă importantă de ioni de hidrogen o constituie ionii de Al^{3+} care hidrolizează în apă după următoarele reacţii:

$$Al^{3+} + HOH \rightleftarrows Al(OH)^{2+} + H^+$$

$$Al^{3+} + 3\,HOH \rightleftarrows Al(OH)_3 + 3H^+$$

Procesele care au dus în timp la transformarea rocilor parentale, uneori carbonatice, în soluri acide, se pot sintetiza astfel:

- datorită permanenţei debazificării şi spălării în profunzime a acestora, cu depunerea unora dintre ionii bazici în straturi mai de adâncime;
- mineralele primare din stratul de la suprafaţă al rocii parentale, s-au descompus fizic şi chimic dând naştare sesqvioxizilor hidrataţi şi mineralelor argiloase aflate în stare coloidală;
- descompunerea şi depunerea în adâncime a sesqvioxizilor hidrataţi (hidroxizi de Fe şi Al);
- deplasarea în adâncime a particulelor coloidale a mineralelor argiloase şi formarea orizontului iluvial B care în timp s-a impermeabilizat pentru apă,

realizându-se astfel o gleizare falsă (o pseudogleizare) a orizonturilor A şi B sau numai a orizontului B.

Ca urmare a unor stadii diferite a proceselor ce se includ în evoluţia acestor soluri, ele apar divers îmbogăţite în ioni ceea ce imprimă un anumit caracter fizico-chimic prin existenţa în primul rând a unui anumit raport între ionii de H^+ (H_3O^+) şi OH^-. Pentru aceste soluri, procesul de debazificare este continu şi permanent ca o rezultantă a celorlalte fenomene, iar în final, are loc o debazificare a complexului adsorbtiv şi o substituire a cationilor bazici cu ioni de H^+ şi Al^{3+}.

Formele de aciditate, întâlnite la solurile acide, la care este necesară corectarea compoziţiei ionice sunt:

- aciditatea actuală, liberă sau activă, datorată ionilor de H^+ (H_3O^+) aflaţi liberi în soluţia solului şi care nu sunt reţinuţi şi care se caracterizează prin pH;
- aciditatea potenţială care este datorată ionilor de H^+ (H_3O^+) şi de Al^{3+} adsorbiţi în complexul coloidal. În funcţie de modul de disociere a ionilor de H^+(H_3O^+) în anumite condiţii şi trecerea lor în soluţia solului, aciditatea potenţială poate fi aciditate schimbabilă (A.s.) şi aciditate hidrolitică (Ah).

Aciditatea schimbabilă este determinată de ionii de H^+ (H_3O^+) puşi în libertate de complexul adsorbtiv prin tratarea solului cu o soluţie normală a unei sări neutre (KCl).

Aciditatea hidrolitică este determinată de ionii de H^+ (H^3O^+) eliberaţi în soluţia solului din complexul coloidal al solului, în urma tratării solului cu o soluţie normală a unei sări ce hidrolizează alcalin Ca $(CH_3COO)_2$ sau Na $(CH_3COO)_2$.

Deoarece aciditatea potenţială include şi ioni de Al^{3+} adsorbiţi pe coloizi care pot avea efect fitotoxic, denumită în sens larg agronomic şi agrochimic "aciditate vătămătoare", trebuie neutralizată prin aplicarea amendamentelor (BORLAN şi HERA, 1984).

Indicii agrochimici, care stau la baza delimitării solurilor acide interesate la amendare, sunt pH-ul şi gradul saturaţiei cu baze a solurilor (V %). Gradul saturaţiei cu baze a solurilor (V %) se utilizează atât în caracterizarea solurilor acide în privinţa nevoii principale de amendare cât şi la calculul dozei de amendamente. Acest indice agrochimic, se calculează astfel:

$$V\% = \frac{S_B}{S_B + A_h}.100$$ în care:

S_B = suma bazelor în me la 100 g sol determinată după metoda Kappen;
Ah = aciditatea hidrolitică în me la 100 g sol.;
100 = raportarea procentuală.

Surse mai importante de ioni de H^+ şi Al^{3+} în sol sunt: apa din sol, compuşii solubili sau dispersaţi coloidal, secreţiile rădăcinilor plantelor şi microorganismelor, substanţele fertilizante etc.

- Apa din sol este o sursă importantă de ioni de H^+ deoarece se găseşte în cantitate relativ mare şi se înoieşte continu, deşi este extrem de puţin disociată în ioni de H^+ şi OH^-.

- Compuşii solubili sau dispersaţi coloidal (minerali, organo-minerali şi organici) prin disociere eliberează în soluţia solului atât ioni de H^+ cât şi OH^-. Ionii de H^+ sunt eliberaţi de următorii acizi: carbonic, azotic, fosforic, humici (în cantităţi mai mari), de complexul argilo-humic cu caracter acid (debazificat) şi în cantităţi mai reduse de aminoacizi şi alţi acizi (acetic; clorhidric; oxalic; tartric; sulfuric, etc).

- Rădăcinile plantelor, determină îmbogăţirea relativă a soluţiei solului în ioni de H^+ , datorită absorbţiei în cantitate mai mare a cationilor bazici.

- Substanţele fertilizante, prin folosirea timp îndelungat a substanţelor fertilizante fiziologic acide, lipsite de cationi bazici (alcalini şi alcalino-pământoşi) precum şi a celor din care plantele folosesc mai ales cationii şi mai puţin anionii, determină îmbogăţirea solului în ioni de H^+ şi Al^{3+}.

De exemplu NH_4Cl (clorură de amoniu) şi $(NH_4)_2SO_4$ (sulfatul de amoniu) sunt îngrăşăminte chimice cu azot amoniacal care au un potenţial acidifiant puternic fiind recomandate în exclusivitate pe solurile alcaline.

Prin fertilizarea solurilor cu astfel de îngrăşăminte, procesul de acidifiere a solului are loc în felul următor:

- în urma nitrificării amoniului din sulfatul de amoniu rezultă acid azotic şi acid sulfuric, ce sunt neutralizaţi de către cationi bazici schimbaţi din complexul coloidal. Astfel complexul coloidal se îmbogăţeşte în ioni de H^+ conform reacţiilor:

$$(NH_4)_2\,SO_4 + 4\,O_2 \longrightarrow 2HNO_3 + H_2SO_4 + H_2O$$

$$\begin{array}{c|l} \text{Complex coloidal sau C.A.S.} & \begin{array}{l} = Ca \\ = Ca \\ \\ \text{etc} \end{array} \end{array} + 2HNO_3 + H_2SO_4 = \begin{array}{c|l} \text{Complex coloidal sau C.A.S.} & \begin{array}{l} -H \\ -H \\ \\ -H \\ \text{etc.} \end{array} \end{array} + Ca(NO_3)_2 + CaSO_4$$

Uneori o mare parte din ionii de H^+ sunt înlocuiţi în complexul coloidal cu ioni de Al^{3+} eliberaţi din reţeaua cristalină a mineralelor argiloase.

În cazul folosirii superfosfatului, care are o reacţie pronunţat acidă, soluţia ce se scurge din particulele de îngrăşământ are pH-ul foarte mic (1,0-2,0) şi în acest fel solul este temporar puternic acidifiat în jurul particulelor de îngrăşământ. Această soluţie puternic acidă dizolvă oxizii de Al şi Fe ca şi carbonaţii de Ca şi Mg s.a., rezultantele acestor procese fiind în funcţie de reacţia solului :

- în solurile acide:

$$Al(OH)_3 + H_3PO_4 \longrightarrow AlPO_4 + 3\,H_2O$$
$$Fe(OH)_3 + H_3PO_4 \longrightarrow FePO_4 + 3\,H_2O$$

În general pe solurile acide, bogate în sesqvioxzi, se pot forma fosfaţi de fier şi aluminiu greu solubil şi astfel fosforul devine inaccesibil plantelor.

- în solurile alcaline fosfatul secundar de calciu rezultat din solubilizarea granulei de superfosfat trece în hidroxilapatită, în trei etape:

1. $3CaHPO_4 + 2\,OH^- + Ca^{2+} + H_2O \longrightarrow Ca_4H(PO_4)_3 + 3\,H_2O$

fosfat tetracalcic

2. $2CaHPO_4 + 2OH^- + Ca^{2+} \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2O$

fosfat tricalcic

3. $3Ca\ HPO_4 + 4\ OH^- + 2\ Ca^{2+} \longrightarrow Ca_5(PO_4)_3\ OH + 3\ H_2O$

hidroxilapatită

Aceste transformări ale fosfatului monocalcic (indiferent de sol) nu influenţează semnificativ şi pe timp îndelungat reacţia solurilor, care după formarea fosfaţilor complecşi susmenţionaţi, îşi revine la valorile iniţiale. Întrucât pe solurile cu reacţie extremă, fenomenele de fixare (adsorbţie, retrogradare) a fosforului sunt deosebit de puternice, iar eficienţa aplicării sale redusă, se impune amendarea şi corectarea reacţiei prin metodele cunoscute.

4.2.2. Exigenţa şi sensibilitatea plantelor de cultură faţa de aciditatea solului

Aşa cum se ştie până-n prezent, atât plantele din biocenozele naturale cât şi cele cultivate, care se dezvoltă normal în anumite domenii ale pH-ului, mai restrânse sau mai largi, optimul de vegetaţie fiind cuprins într-un interval restrâns de domenii. În general domeniul optim de pH al unui sol în legătură cu creşterea şi dezvoltarea plantelor, este variabil în funcţie în primul rând de textură, conţinutul în humus şi microelemente, precum şi de felul plantelor cultivate.

Astfel majoritatea plantelor de cultură studiate realizează cele mai bogate recolte în domeniul slab acid – neutru - slab alcalin (pH_{H2O} = 6,8-7,5) (tabelul 9).

În funcţie de exigenţa şi preferinţa plantelor faţă de reacţia solului, acestea se pot grupa astfel:

- *foarte sensibile la aciditate*, sfecla de zahăr şi cea furajeră, cânepa, floarea soarelui, lucerna, varza, conopida, fasolea şi mazărea de grădină;
- *sensibile la aciditate,* grâul, porumbul, tutunul, sorgul, rapiţa, mazărea, fasolea, castraveţii, guliile, dovleceii, morcovii, ţelina, spanacul, ceapa, etc.;
- *puţin sensibile la aciditate*, secara, ovăzul, tomatele, ridichea ş.a.;
- *plante care preferă solurile acide*, cartoful, lupinul galben şi albastru, ovăzul, secara, pomii fructiferi etc.

Tabel 9

Recoltele culturilor în asolament, obţinute la diferite valori ale solului, la Staţiunea experimentală agricolă din Ohio (după C. CHIRIŢĂ, 1974)

Cultura	Recolte relativ medii la pH				
	4,7	5,0	5,7	6,8	7,5
Porumb	34	73	83	100	85
Grâu	68	76	83	100	99
Ovăz	77	93	99	98	100
Orz	0	23	80	95	100
Lucernă	2	9	42	100	100
Trifoi roşu	12	21	53	98	100
Soia	65	79	80	100	93

4.2.3. Metode de ameliorare a solurilor acide

Corectarea acidităţii se face prin aplicarea amendamentelor calcaroase. Amendarea constituie principala metodă de ameliorare a solurilor acide deoarece are efecte imediate asupra acidităţii (actuale şi potenţiale) a solului, contribuind la îmbunătăţirea însuşirilor solului (fizice,

chimice şi biologice). Efectul amendării se menţine un timp destul de îndelungat, ceea ce în condiţiile unei agrotehnici corespunzătoare, favorizează creşterea fertilităţii solului, mai ales când este susţinută şi prin fertilizări corecte.

Specificitatea solurilor acide, este determinată şi de conţinutul redus de elemente nutritive, mai ales forme de azot asimilabil şi fosfor mobil, fiind de asemenea frecvente solurile acide slab şi mijlociu aprovizionate cu potasiu mobil.

Solurile acide sunt puţin active din punct de vedere biologic, iar mobilizarea substanţelor nutritive pentru plante este foarte redusă, datorită tasării rapide şi a gradului de structurare şi afânare redus.

Pentru ameliorarea acestor soluri, pe lângă corectarea acidităţii solului, mai sunt necesare şi alte măsuri, cum sunt cele hidrotehnice şi cele biologice.

4.2.3.1. Corectarea propriu-zisă a acidităţii solului

Datorită însuşirilor chimice şi biologice specifice solurilor acide, care de obicei, nu prezintă valori optime pentru majoritatea plantelor de cultură, cât şi a reacţiei pronunţat acide, influenţează negativ activitatea biologică din sol şi procesele de nutriţie şi prin aceasta creşterea şi dezvoltarea plantelor, chiar şi a celor "acidofile".

Ca urmare a acestor caracteristici, în agricultura modernă a apărut ca strict necesară, corectarea stării de aciditate a solului prin amendamente calcaroase.

În cazul solurilor acide, măsura de amendare se mai numeşte calcarizare, deoarece pentru neutralizarea acidităţii se folosesc amendamente cu calciu (amendamente calcaroase).

Tratarea solului cu diverşi compuşi ai calciului, nu se face ca sursă de ioni nutritivi, ci pentru îmbunătăţirea compoziţiei ionice a soluţiei solului şi a condiţiilor fizice, chimice şi biologice din sol, cu efecte privind creşterea formelor uşor accesibile pentru plante a unor elemente nutritive şi chiar asupra înlăturărrii efectului nociv al unor componente din soluţia solului (Al^{+3}, Mn^{2+} ş.a.).

Amendarea prin calcarizare nu urmăreşte numai creşterea conţinutului de Ca^{2+} în soluţia solului sau absorbţia acestui ion de către plante, cât mai ales neutralizarea acidităţii generale de ioni de H^+ şi Al^{3+} şi o rearanjare a cationilor şi raportul acestora în complexul adsorbtiv.

După cum s-a mai arătat, aciditatea vătămătoare, mai ales aceea generată de ioni de Al^{3+} adsorbiţi cu schimb de complexul coloidal, precum şi prezenţa formelor mobile de Mn^{2+}, impun limitări severe asupra creşterii, dezvoltării şi fructificării plantelor cultivate. Ca urmare, aceste soluri apar divers îmbogăţite în ioni ceea ce le imprimă un anumit caracter fizico-chimic, prin existenţa în primul rând a unui anumit raport între ionii de H^+ (H_3O^+) şi OH^-. Pentru aceste soluri procesul de debazificare este continuu şi permanent ca o rezultantă a celorlalte fenomene, iar în final, are loc o debazificare a complexului adsorbtiv şi o substituire a cationilor bazici cu ioni de H^+ şi Al^{3+}.

Forme mobile de aluminiu şi mangan pot să mai apară în plus, mai ales în perioada de vegetaţie a culturilor, ca urmare a fertilizării cu îngrăşăminte chimice (minerale).

Necesitatea amendării, se stabileşte prin analiza agrochimică a solurilor, care trebuie făcută periodic, odată la fiecare 3-5 ani de către OJSPA (Oficiile Judeţene de Studii Pedologice şi Agrochimice) şi laboratoarele agrochimice din cadrul Universităţilor de Stiinţe Agricole.

După cum se ştie, aciditatea apare în urma tendinţei complexului coloidal de a se încărca cu ioni de H^+ în detrimentul cationilor bazici. Deoarece cationul de Ca^{2+} este cel mai bine reprezentat dintre cationii bazici (indiferent de tipul genetic de sol), schimbarea sa în complexul coloidal cu ioni de H^+, adică procesul de decalcifiere, apare ca o fază preliminară a procesului de acidifiere.

Se consideră că sunt în limitele domeniului optim, atunci când gradele individuale de saturaţie de calciu ($V_{Ca} = \frac{Ca}{T}.100$), magneziu, potasiu şi sodiu ale complexului coloidal (argilo-humic) din stratul Ap au valori în jur de 72%, 14%, 3% şi 1% din T_{SH} şi aproximativ 10 % din T_{SH} pentru H^+ (hidrogenul absorbit).

Gradul de saturaţie a solului cu baze de schimb (V %) arată cât la sută din capacitatea solului pentru adsorbţia de schimb a cationilor (T) este saturată cu baze de schimb. Se calculează cu următoarele formule:

$$V_{SH}\% = \frac{S_{BS}}{S_{BS} + S_H}.100; \quad V_{Ah}\% = \frac{S_{BS}}{S_{BS} + Ah}.100 \quad \text{în care:}$$

S_{BS} = suma bazelor de schimb (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+, NH_4^+) exprimată în miliechivalenţi la 100 g sol uscat, determinată prin însumarea cationilor îndepărtaţi din sol prin percolarea de epuizare cu o soluţie neutră de acetat de amoniu 1 n;

S_H = suma protonilor (H^+) adsorbiţi exprimată în me/100 g sol uscat, determinată prin precolarea de epuizare cu o soluţie de acetat de potasiu 1 n cu pH 8,3, până ce pH-ul acestei soluţii nu se mai schimbă la trecerea prin sol;

Ah = aciditatea hidrolitică (Ah me/100 g sol), determinată prin tratarea solului cu săruri ce hidrolizează alcalin (considerându-se că solul complet saturat cu baze, este lipsit de aciditate hidrolitică şi are pH-ul 7,00);

T_{SH}= S_{BS} + S_H;

T_{Ah} = S_{BS} + Ah;

Valorile T_{Ah} şi V_{Ah} stabilite cu Ah (aciditatea hidrolitică) sunt folosite mai ales la stabilirea dozei de amendamente calcaoase, iar valorile T_{SH} şi V_{SH} sunt folosite mai mult pentru caracterizarea genetică şi clasificarea solurilor. In concepţia modernă potrivit că solul este saturat cu baze când conţine calcit şi se află în echilibru cu apa încărcată cu CO_2 (la presiune parţial normală a acestuia în aer) şi are reacţia slab alcalină (pH 8,3).

Amendarea prin calcarizare se face în funcţie de modul de folosinţă astfel:

- la solurile cultivate cu plante de câmp, când pH-ul suspensiei apoase are valori sub 6,0 şi gradul de saturaţie în baze sub 85 % (solurile cu textură fină); la aceste valori pH şi V %, formele mobile de aluminiu şi mangan, pot să apară în cantităţi toxice;
- la solurile cu folosinţă pomicolă (pomi şi arbuşti fructiferi) amendarea prin calcarizare este necesară când valorile pH sunt sub 5,5 şi V% sub 65 (valori medii pentru adâncimea 0-40 cm);
- la solurile sub pajişti naturale, amendarea prin calcarizare este necesară la valori pH sub 5,3 şi V% sub 55 (în stratul superficial 0-10 cm).

Aplicarea amendamentelor calcaroase se face într-o anumită ordine în funcţie de valorile pH şi V%, precum şi textura, astfel:

- urgenţa I-a - solurile acide cu pH_{H2O} < 5 şi V % < 50;
- urgenţa II-a - solurile acide cu pH_{H2O} 5,01-5,6 şi V% 51-70 (soluri uşoare) şi 75 % (soluri grele);
- urgenţa III-a - soluri acide cu pH_{H2O} 5,61-5,8 şi V% 71-80 % (cu textură luto-argiloasă) şi cu pH 5,6 - 6,0 şi V% 75-85 % (cu textură lutoasă şi luto-nisipoasă).

4.2.3.2. Amendamente utilizate în ameliorarea solurilor acide

Ameliorarea agrochimică (amendarea) a solurilor acide are la bază în luarea deceziei, următorii indici agrochimici, reacţia (după pH); gradul de saturaţie cu baze (V_{Ah} %) şi conţinutul solului în Al mobil me/100 g sol. În general solurile acide interesate la măsura de ameliorare agrochimică prin amendare sunt acele categorii pedo-agrochimice, cu pH_{H2O}< 5,8-6,0; V_{Ah}% < 75-80 şi conţinutul solului în Al mobil > 0,5 me/100 g sol.

După încadrarea solurilor acide în suprafeţe interesate sau neinteresate la amendarea cu amendamente pe bază de $CaCO_3$, se stabileşte ordinea (urgenţa) în care se aplică această măsură de ameliorare agrochimică ţinând cont de indicii agrochimici susmenţionaţi.

Pentru corectarea reacţiei acide a solurilor, se folosesc diverse materiale care conţin Ca sau Mg sau Ca şi Mg, sub formă de carbonaţi, oxizi, hidroxizi sau sub formă de silicaţi ai acestor elemente.

După provenienţă, principalele amendamente pentru solurile acide sunt: materiale provenite din roci naturale şi deşeuri industriale.

a. **Materiale provenite din roci naturale** (piatra de var măcinată - Ca CO_3 , dolomita - $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ varul nestins - CaO, marnele reziduale)

b. **Materiale provenite din deşeuri industriale** ($CaCO_3$ cu N utilizabil, $CaCO_3$ precipitat din industria sodei, spuma (nămolul) de defecare de la fabricile de zahăr, zgura de furnale (de la oţelării), praful de clincher (din industria cimentului).

Calitatea amendamentelor calcaroase, este determinată de puterea de neutralizare (PNA), de gradul de fineţe (se cer particule cu diametrul mai mic de 0,5 mm şi să treacă în proporţie de 80 % prin sita cu ochiuri de 0,3 mm) şi de conţinutul lor şi în alte elemente ce pot corecta slaba fertilitate (P, Mg, microelemente).

Dozele de amendamente calcaroase se stabilesc în funcţie de indicatori specificii solurilor acide şi ai amendamentelor:

1. capacitatea pentru schimbul de cationic a solului, T, în me/100 g sol;
2. conţinutul iniţial de baze schimbabile S_B al solului în me/100 g sol;
3. gradul de saturaţie cu baze iniţial, V_{Ahi}, în %;
4. gradul de saturaţie dorit a fi atins prin calcarizare, V_{Ahd}, în %;
5. grosimea (h) în cm şi densitatea aparentă (d) în g/cm^3 pentru stratul de sol care necesită să fie ameliorat prin calcarizare;
6. puterea de neutralizare (PNA) în % $CaCO_3$ etc. (în funcţie şi de tipul amendamentului).

Formula de bază pentru stabilirea dozelor de amendamente calcaroase, este următoarea:

DAC (t/ha) = $S_B \left(\frac{VAhd}{VAhi} - 1\right).h.d.0{,}05.\frac{100}{PNA}$ în care:

DAC (t/ha) - doza de amendament calcaros, exprimată în t/ha;

0,05 - cantitatea de $CaCO_3$ (g) necesară pentru neutralizarea unui miliechivalent de H^+ conţinută în 100 g sol.

În legătură cu amendarea solurilor acide, se mai fac următoarele precizări:

- în anul amendării, nu se face fertilizarea organică, numai în anul următor sau al doilea , ori al treilea an, deoarece şi îngrăşămintele organice reduc efectul negativ al acidităţii, având un însemnat aport de cationi;
- culturile sensibile la schimbarea bruscă a reacţiei solului (ex. cartoful) se vor cultiva la 2-3 ani după amendare şi nu în anul corectării reacţiei;
- sporurile de recoltă pe care le determină calcarizarea, sunt cu atât mai mari cu cât aciditatea solului a fost mai accentuată;
- în adâncime, mai ales la solurile cu orizontul Bt specifice zonelor umede şi reci, efectul amendamentului este foarte lent, de aceea se însoţeşte măsura de amendare cu lucrări adânci specifice zonelor;
- datorită condiţiilor climatice în care s-au format şi evoluează solurile acide, procesul de debazificare a stratului arat (orizontul de la suprafaţă) continuă cu intensitate sporită şi după amendare;
- îndepărtarea bazelor din complexul argilo-humic al stratului arat are loc, pe de o parte, prin consumul recoltelor mai mari ce se obţin pe solurile amendate, iar pe de altă parte prin levigarea în profunzimea profilului de sol, a bazelor aplicate (cationilor în principal);
- în funcţie de regimul precipitaţiilor, de permeabilitatea şi aciditatea solului precum şi de agrotehnica aplicată, pierderile de Ca^{2+} şi Mg^{2+} din stratul arat al solurilor amendate, variază între 70-250 kg/ha Ca^{2+} şi Mg^{2+}, anual;
- odată cu îndepărtarea Ca^{2+} şi Mg^{2+}, are loc şi refacerea acidităţii şi concomitent se constată înrăutăţirea însuşirilor solului (fizice, chimice, biologice) şi scade capacitatea lui de producţie.

În concluzie, amendarea solurilor acide prin calcarizare, este o măsură care se aplică periodic (în general după 6 ani de la ultima amendare), dar măsura de corectare a reacţiei, trebuie însoţită de cea a fertilizării corecte.

Pe lângă amendamentele sus menţionate, folosite în ameliorarea agrochimică a solurilor, o resursă ieftină şi importantă în corectarea reacţiei solurilor şi ameliorarea acestora şi în special a acidităţii, o constituie gunoiul de grajd din categoria îngrăşămintelor organice naturale.

Fertilizarea organică precum şi cea organo-minerală, au un loc bine definit şi deosebit de important, în sporirea randamentelor cantitative şi calitative la unitatea de suprafaţă şi mai ales în tehnologia plantelor de cultură, agricole şi horticole, ce cunosc nivelurile cele mai ridicate de intensivizare a chimizării. Cu toate acestea nici un alt îngrăşământ din cele compuse, nu poate suplini efectele deosebite asupra solurilor şi plantelor a fertilizanţilor organici.

Fertilizarea chimică nu limitează pe cea organică sau organo-minerală, ci este posibil ca în anumite situaţii să o determine fiindcă îngrăşămintele organice previn sau chiar înlătură unele din efectele negative ale celei chimice atunci când aceasta se realizează unilateral sau multianual sau în situaţiile în care la culturile intensive (sere, plantaţii pomicole, viticole, culturi de legume) nivelurile ridicate de fertilizanţi chimici presupun şi un substrat organic tampon şi bun determinant în evoluţia multianuală favorabilă a solurilor şi recoltelor.

Avantajele câştigate în timp prin îngrăşămintele organice (a gunoiului de grajd în special) asupra solurilor şi plantelor sunt:

- au un aport substanţial în materie organică pentru procesul de sinteză a humusului;
- sunt o sursă ieftină şi economică de elemente nutritive (macro- şi microelemente) puse la dispoziţia plantelor în timp (treptat);
- prin conţinuturi în constituienţi organici şi chimici au efecte benefice nu numai asupra stării fizico-chimice a solurilor ci şi asupra unor însuşiri fizice şi microbiologice ale acestora. Reglează regimul aerohidric şi temperatura solurilor, structurează solurile, defineşte calitativ unele însuşiri esenţiale ale solurilor cum ar fi capacitatea de schimb cationic, reacţia acestora şi regimul fertilităţii lor în ansamblu;
- pentru că sunt în general reziduuri ale altor activităţi considerate esenţiale şi de bază, îngrăşămintele organice naturale şi în mod special gunoiul de grajd rezultat de la creşterea animalelor, sunt resurse utilizate în agricultură cu efecte mari asupra solurilor şi plantelor obţinute cu eforturi economice mici.

4.3. CORECTAREA REACŢIEI ŞI A CONŢINUTULUI DE SĂRURI DIN SOLURILE SALINE ŞI ALCALINE

4.3.1. Noţiuni generale cu privire la solurile saline şi alcalice

Solurile saline şi alcalice, în scop ameliorativ sunt numite frecvent şi ca "soluri saline şi alcaline" sau "soluri sărăturate" sau chiar "sărături" şi reprezintă o grupă complexă de soluri intrazonale, caracterizate fie printr-un conţinut excesiv de săruri solubile (solonceacuri), fie printr-o cantitate mare de Na - schimbabil (soloneţuri), fie prin cantităţi mari de săruri solubile şi Na - schimbabil (solonceacuri - soloneţuri). Tot în grupa solurilor saline şi alcaline intră şi solodiile care se caracterizează prin îndepărtarea din orizontul superficial a sărurilor solubile şi înlocuirea Na - schimbabil prin ioni de H^+.

Formarea şi evoluţia acestor soluri rezidă în conlucrarea unor *factori naturali* geomorfologici, hidrogeologici, climatici (strat litologic bogat în săruri, ape freatice mineralizate, etc.) cu *factori antropici* necontrolaţi (irigaţi cu ape freatice mineralizate fără drenaj etc.) care în final au dus la individualizarea unor soluri cu conţinut mare de săruri.

Însuşirea de bază a acestor soluri este conţinutul ridicat în săruri uşor solubile cum sunt: $NaCl$; Na_2SO_4; $MgCl_2$; Na_2CO_3; $MgSO_4$; $NaHCO_3$; $Mg(HCO_3)_2$; $CaCl_2$, $CaCO_3$; $CaSO_4$ ş.a. Din acestea cele mai dăunătoare sunt : Na_2CO_3; $NaCl$; Na_2SO_4; $MgCl$; $MgSO_4$ care în cantităţile existente în sol, nu pot fi suportate decât de un număr restrâns de plante adaptate acestor condiţii.

Alcalinitatea solurilor este datorată carbonaţilor şi bicarbonaţilor metalelor alcaline şi alcalino-pământoase, mai ales a carbonaţilor şi bicarbonaţilor de sodiu, care, prin hidroliză imprimă solului o reacţie alcalină, după reacţiile:

$$Na_2CO_3 + 2H_2O \longrightarrow 2\,NaOH + CO_2 + H_2O$$

$$NaHCO_3 + H_2O \longrightarrow NaOH + CO_2 + H_2O$$

Pentru chimismul şi practica agricolă, efectele negative ale acestor soluri sunt determinate în primul rând de nivelul reprezentării Na^+ - schimbabil în complex şi formarea "sodei" (Na_2CO_3).

GHEDROIŢ susţine formarea sodei prin unele reacţii de schimb cationic:

$$\text{Complex adsorbtiv}\left|\begin{array}{l}-Na^+\\-Na^+\\-\text{ etc.}\end{array}\right. + H_2CO_3 \longrightarrow \text{Complex adsorbtiv}\left|\begin{array}{l}-H^+\\-H^+\\-\text{ etc}\end{array}\right. + Na_2CO_3$$

$$\text{Complex adsorbtiv}\left|\begin{array}{l}-Na^+\\-Na^+\\-\text{ etc}\end{array}\right. + CaCO_3 \longrightarrow \text{Complex adsorbtiv}\left|\begin{array}{l}\\=Ca^{2+}\end{array}\right. Na_2CO_3$$

Se poate conchide că solurile sărăturate s-au format ca rezultat al alterării componenţilor solului în condiţii de climă secetoasă, în prezenţa unui substrat litologic sărăturat şi a apelor freatice mineralizate.

Din punct de vedere agrochimic ameliorativ, solurile saline şi alcaline se pot clasifica astfel:

- **soluri saline**, numite de GHEDROIŢ şi **solonceacuri** cu un conţinut ridicat de săruri solubile în soluţia solului, acumularea acestora fiind mai mare în orizontul de la suprafaţă şi scade spre adâncime. Sărurile sunt reprezentate de cloruri şi sulfaţi de sodiu (Na) şi mai puţin cloruri şi sulfaţi de Ca şi Mg. Geneza lor este legată de prezenţa unor ape freatice puternic mineralizate situate deasupra zonei critice;

- **solurile alcalice sau sodice** sau alcaline numite şi **soloneţuri** care au cea mai mare răspândire din categoria solurilor saline şi alcaline; au un conţinut ridicat de Na- schimbabil (> de 15 % din T) , reacţie puternic alcalină ($pH_{H2O} > 8,4$) datorită prezenţei sodei (Na_2CO_3) în soluţia solului.

Reacţiile de schimb cationic la care participă Na^+ din complexul adsorbtiv dau naştere la carbonat şi bicarbonat de Na care hidrolizează alcalin , mărind pH-ul soluţiei solului la 9 sau chiar mai mult.

a. $$\text{Complex adsorbtiv}\left|\begin{array}{l}-Na^+\\-Na^+\end{array}\right. + H_2CO_3 \longrightarrow \text{Complex adsorbtiv}\ \begin{array}{l}-H^+\\-Na^+\end{array} + NaHCO_3$$

$$2\,NaHCO_3 \longrightarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$$

b. $$\text{Complex adsorbtiv}\left|\begin{array}{l}-Na^+\\-Na^+\end{array}\right. + Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow \text{Complex adsorbtiv}\left|\begin{array}{l}\\=Ca\end{array}\right. + 2\,NaHCO_3$$

$$2NaHCO_3 + 2\,H_2O \longrightarrow 2Na^+ + 2OH^- + 2\,H_2CO_3$$

- **solurile salino-alcaline** sunt forme de trecere de la solonceac la soloneţ cu cantităţi mari de săruri solubile cât şi cu Na - schimbabil mult (> 15 % din T), sau pH > 8,4;

- **solodiile** se formează din primele categorii prin desalinizarea accentuată sub acţiunea apelor stagnante rezultate din precipitaţii care determină o degradare a complexului coloidal bogat în Na^+ şi înlocuirea acestui cation cu ioni de H^+. Astfel solul devine acid şi conţine silice coloidală în stratul superficial. În general, aceste soluri sunt incluse ca petice în restul sărăturilor.

4.3.1.1. Indici de caracterizare a gradului de salinitate

Stabilirea gradului de salinitate şi sărăturare a solurilor, ca şi caracterizarea în general a solurilor saline şi alcaline se face după următorii indici mai importanţi:

- *conductivitatea electrică* (CE): care este inversul rezistivităţii electrice (r); se exprimă în mmhos/cm sau milisiemens/cm al cărei unitate este echivalentă cu aproximativ 700 ppm săruri solubile totale rezultate din media măsurării CE a unei diversităţi de săruri solubile singure. Conductivitatea electrică corelează direct cu conţinutul de săruri solubile şi cu presiunea osmotică.

- *procentul de sodiu adsorbit* sau schimbabil (PSA):

$$PSA = \frac{meNa^{+}sch.}{meT}100$$ în care: me – miliechivalenţi;

Din acest punct de vedere, cu cât % de Na - schimbabil este mai ridicat, conductivitatea electrică a extractului apos al solului este mai mare şi implicit salinitatea solurilor. Aceşti ioni au efecte nefavorabile asupra însuşirilor fizice, chimice şi biologice ale solurilor: tendinţe de astructurare, de formare a crustei la suprafaţă, deteriorarea infiltrării apei pe profil, cu influenţe negative asupra creşterii şi dezvoltării plantelor. Ca urmare se impune ca prin măsuri ameliorative să se înlocuiască parţial ionii de Na^{+} - schimbabil prin Ca^{2+} schimbabil, provenit din amendamente.

- *raportul de adsorbţie a sodiului* (RAS sau SAR): care reprezintă activitatea relativă a ionului de Na^{+} în reacţia de schimb cu solul, comparativ cu Ca^{2+} şi Mg^{2+} însumate şi se exprimă prin raportul:

$$RAS(SAR) = \frac{meNa+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})^{2}}}$$ (me - miliechivalenţi)

Valorile acestui indicator agrochimic se folosesc mai ales la prognozarea proceselor de salinizare secundară a solului ca efect al apelor de irigaţie mineralizate. Valorile de 12 ale acestui raport se consideră ca o limită medie;

- *raportul de sodiu adsorbit* (RSA): ce rezultă din raportul dintre Na - schimbabil şi gradul de saturaţie cu ceilalţi cationi, în afară de sodiu:

$$RSA = \frac{meNa^{+}}{meT - meNa^{+}}$$ (me - miliechivalenţi)

În vederea ameliorării acestor soluri trebuie să se cunoască pH-ul, conductivitatea electrică (CE), capacitatea totală de schimb cationic (T), suma bazelor schimbabile (S_B), conţinutul de Na- schimbabil şi raportul acestuia cu T şi conţinutul altor cationi. Acestor date le sunt necesare şi altele referitoare la natura şi preponderenţa sărurilor, astfel că din aceste puncte de vedere solurile saline pot fi:

- clorurice (predomină clorurile);
- sulfatice (predomină sulfaţii;
- sulfato-clorurice şi cloruro-sulfatice (predomină clorurile şi sulfaţi);
- sodo-sulfatice (conţin Na_2CO_3);
- carbonatice (conţin $NaHCO_3$ şi Na_2CO_3).

Această clasificare are mare importanţă în stabilirea măsurilor ameliorative eficiente asupra acestor soluri.

4.3.2. Toleranţa plantelor la salinitate

Acest mediu al solurilor saline influenţează negativ şi nu constituie un suport bun din punct de vedere agricol pentru plante: însuşiri fizice slabe, conţinut ridicat de Na-schimbabil şi în soluţie, cu efecte de dispersie coloidală (peptizare) şi distrugerea structurii. Regimul apei şi aerului este nefavorabil. Salinitatea măreşte presiunea osmotică a soluţiei solului peste limitele accesibilităţii apei pentru plante. Chimic se perturbă absorbţia ionilor şi mai ales a altor cationi decât a sodiului.

Astfel acest mediu degradant fizic şi chimic perturbă serios creşterea şi dezvoltarea plantelor de cultură.

Totuşi plantele au însuşirea de a se adapta la stări diferite de salinitate, însuşire ce se numeşte *toleranţă la salinitate* noţiune introdusă în ştiinţa solului de la noi de prof, N.BUCUR (1954). Această toleranţă la salinitate este legată de capacitatea unor plante de a menţine aproximativ constantă presiunea osmotică a sucului celular la fluctuaţii ale conţinutului de săruri solubile în sol.

Momentul în care plantele încep să sufere din cauza concentraţiilor ridicate de săruri se numeşte *prag de toleranţă* la salinitate iar concentraţia la care plantele suferă extrem sau pier sau se dezvoltă foarte puţin, *limită de toleranţă* la salinitate. Intervalul dintre aceste două momente - pragul şi limita de toleranţă - constituie *intervalul de toleranţă* la salinitate.

Sensibilitatea plantelor la salinitate depinde de specie, soi şi vârstă. Plantele tinere după germinare sunt mai sensibile la concentraţiile ridicate de săruri.

Din punct de vedere al toleranţei plantelor la salinitate acestea se clasifică astfel:

- *cu toleranţă foarte ridicată*: orz, sfeclă de zahăr, rapiţă, ghizdei, mei, orez, iarbă de Sudan, conopidă, varză;
- *cu toleranţă moderată*: grâu, trifoi alb, floarea-soarelui, porumb, sorg, lucernă, festuca, golomăţ, mazăre, castraveţi, tomate, morcov;
- *cu toleranţă scăzută*: bob, trifoi roşu, tutun , soia, secară, cartof, fasole, ţelină, căpşuni, viţă de vie şi pomi fructiferi.

4.3.3. Ameliorarea solurilor saline şi alcalice

Capacitatea solului de a menţine în soluţie o anumită activitate (concentraţie) a ionilor de hidrogen (H^+) şi de hidroxil (OH^-), definită prin termenul de „reacţie” şi măsurată (determinată) prin pH este o însuşire de bază a solului faţă de care plantele au o anumită exigenţă (preferinţă). Aceste însuşiri de compatibilitate a plantelor cu starea de reacţie a solurilor decurge din efectele mai ales secundare dar determinante pe care unele domenii ale reacţiei le determină în soluri, în chimismul acestora şi în regimul nutrienţilor importanţi pentru plante.

Această interrelaţie sol – plantă este atât de importantă şi esenţială încât, prin adaptare şi convertire a unor însuşiri, plantele au dobândit şi au devenit tolerante, în anumite grade, la stările extreme ale reacţiei .

- **Toleranţa plantelor la aciditate:** este o caracteristică a celor **acidofile şi calcifuge**, adică a celor care preferă ca mediu de creştere şi dezvoltare solurile şi substraturile nutritive acide. Această însuşire a plantelor şi acţiune agrochimică s-a completat în timp cu **toleranţa plantelor la aluminiu** care se percepe ca fiind capacitatea unor plante de a acumula acest ion (Al^{3+}) în rădăcini, la niveluri mai ridicate decât alte specii şi a-i bloca translocarea în alte organe vegetative.

Între plantele tolerante la aciditate regăsim: secara, lupinul, ovăzul, cartoful, coacăzul şi speciile de festuca.

- **Toleranţa plantelor la salinitate – alcalinitate:** este o însuşire a speciilor „**calcifile şi acidofuge”**, a celor ce preferă ca substrat de creştere solul salin-alcalin. Toleranţa la salinitate – alcalinitate a plantelor se percepe ca o capacitate a acestor specii de a menţine aproximativ constantă presiunea sucului celular la fluctuaţii ale conţinutului de săruri solubile în soluţia solului. Printre aceste plante regăsim: orzul, sfecla de zahăr, varza, conopida ş.a.

Stabilirea nevoii principiale de amendamente, a pretabilităţii solurilor din această categorie la ameliorarea agrochimică se face, în ultimul timp, după procentul de sodiu adsorbit sau schimbabil (PSA).

$$PSA = \frac{meNa^{+}sch.}{meT}100$$ în care: me – miliechivalenţi;

Acest indice agrochimic, accesibil determinărilor curente, serveşte la aprecierea gradului de alcalinizare a solurilor şi la stabilirea necesităţii administrării amendamentelor cu gips.

Gradul de alcalinizare în funcţie de PSA se apreciază după următoarea scară de

interpretare:

PSA %	Intensitatea de alcalinizare a solului
< 5	sol nealcalinizat
5-10	sol slab alcalinizat
10-15	sol moderat alcalinizat
>15	sol puternic alcalinizat

Se apreciază că solurile cu PSA > 10 % iar suma carbonaţilor şi bicarbonaţilor (CO_3^{2-} + HCO_3^-) alcalini solubili este mai mare de 1 me/100 g sol, necesită amendamente pe bază de gips.

Calculul dozelor de amendamente pe bază de gips se face ţinând seama de tipul de sol salin şi alcalin, astfel:

- **pentru solurile saline**, calcului dozei de amendamente cu gips (DAG), se face după relaţia:

DAG t/ha = 0,086 (Na^+ ads - 0,1 T) h · Gv în care:

0,086 - coeficientul de transformare a me de Na^+ schimbabil în g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (gips);

Na^+ads - conţinutul de sodiu schimbabil din sol, me/100 g sol;

0,1 - % din Na^+ schimbabil din sol care nu este nociv pentru plante (10 % din T) ;

T - capacitatea totală de schimb cationic a solului me/100 g sol;

h - adâncimea stratului de sol ce se ameliorează în cm;

Gv - greutatea volumetrică a solului (g/cm^3) (1,2-1,7);

- **pentru solurile alcalice** la care conţinutul de (CO_3^{2-} + HCO_3^-) este > de 1 me/100 g sol, stabilirea DAG se face după aceeaşi relaţie ca mai sus, modificată prin includerea sumei acestor anioni, în me/100 g sol astfel relaţia devine:

DAG t/ha = 0,086 [(Na^+ads - 0,1 T)+ (CO_3^{2-} + HCO_3^-)] · h · Gv

Urgenţa şi ordinea de aplicare a amendamentelor pe bază de gips (UG) pe solurile saline şi alcalice, pentru toate culturile de câmp, se evaluează după relaţia: UG = 4 - 0,1 PSA

Solurile prioritare pentru amendare sunt acelea ce au valorile UG cele mai mici. Pentru valori ale UG = 4, amendarea solurilor cu amendamente pe bază de gips nu mai este necesară.

Pentru solodii şi soluri solodizate, la care ionii de Na^+ sunt înlocuiţi cu ioni de H^+ şi au reacţie acidă la suprafaţă, calculul dozei de amendament calcaros se face ca şi în cazul solurilor acide ce necesită amendamente.

4.3.3.1. Amendamente utilizate în ameliorarea solurilor saline şi alcalice

Materialele utilizate în corectarea reacţiei alcaline şi a conţinutului excesiv de săruri solubile se numesc „amendamente" pentru solurile saline-alcaline" şi au la bază $CaSO_4$ **(gipsul)** ce oferă cationii de Ca cu valoare ameliorativă şi de schimb al celor de Na^+ din aceste soluri sau anumite substanţe (compoziţii) acidifiante.

După provenienţă amendamentele pe bază de gips sunt: **amendamente native** (gipsul, sulful, praful de lignit); **amendamente de provenienţă chimică** (acid sulfuric, sulfatul de aluminiu, sulfatul feros şi feric); **amendamente din deşeuri industriale** (fosfogips, spumă de defecare, deşeuri industriale conţinând sulfat de fier şi aluminiu, ape reziduale de la fabricarea acidului sulfuric, reziduuri de la fabricarea furfurolului).

Amendamente pentru solurile saline-alcaline

Denumire Provenienţă	Preparare	Aspect însuşiri	Conţinut în kg/100 kg amendament	Substanţa activă ameliorativă

		fizice	$CaSO_4$	Sulf	Valoare de acidifiere compara-tiv cu gipsul =100	
A. Native:						
Gips	Zăcăminte naturale	Alb-gălbui, 80% prin site de 2 mm	70	18,6	100	$CaSO_4.2H_2O$
Sulf activ	Zăcăminte naturale	Galben, pulbere	-	100	550	S
Praf de lignit	Zăcăminte naturale exploatate	Negru, pulbere	-	-	-	S
B. Rezidii industriale chimice:						
Fosfogips	Reziduuri fabricarea fosfaţilor	Cenuşiu -gălbui, aspect amorf	60-70	14-15	80	$CaSO_4.2H_2O$ $Ca_3(PO_4)_2$
Acifer (sulfat de Fe şi Al, cu acid sulfuric)	Reziduuri chimice	Cenuşiu, amorf	-	20-30	260	H_2SO_4
Acid sulfuric rezidual	Rezidii chimice	Incolor-gălbui, uleios	-	32	260	H_2SO_4
Sulfat feros	Produs chimic	Cristale verzui-deschis	57	11,5	57	$FeSO_4$
Sulfat de aluminiu	Produs chimic	Alb, pulbere	-	14,6	72	$Al_2(SO_4)_2$

4.3.4. Măsuri agrochimice şi tehnologice de ameliorare şi fertilizare a solurilor saline şi alcalice

Aceste măsuri se încadrează într-un complex de măsuri agrochimice, unele cu caracter **preventiv**, altele cu caracter **curativ**.

a**. Măsuri preventive**:

- micşorarea evaporaţiei apei la suprafaţa solurilor prin amendamente de protecţie a solurilor. O evaporaţie intensă diurnă în sezonul cald, duce la o circulaţie ascendentă prin capilaritate,a apelor freatice mineralizate care influenţează negativ profilul solului, îmbogăţindu-l (concentrându-l) în săruri;
- împiedicarea creşterii nivelului apelor freatice prin asigurarea unui drenaj corespunzător, prin lucrări de eliminarea excesului de umiditate;
- lucrări profunde ale solului, ce contribuie la un drenaj bun al solului şi îmbunătăţirea raportului apă/aer din sol;
- cultivarea de plante tolerante la salinitate (alcalinitate) mai ales leguminoase şi graminee perene, care ameliorează drenajul şi conţinutul în materie organică a solului;

- fertilizarea chimică (minerală) cu îngrăşăminte cu efect acidifiant cum sunt $(NH_4)_2SO_4$ - sulfatul de amoniu, NH_4Cl - clorură de amoniu ş.a.

- fertilizarea organică periodică cu efect foarte bun asupra chimismului şi însuşirilor fizice ale solurilor saline şi alcaline.

b. **Măsuri curative**:

- amendarea (aplicarea amendamentelor) pe bază de gips, care înlocuieşte ionii de Na^+ adsorbiţi în complexul adsorbtiv al solului (complexul coloidal) cu ionii de Ca^{2+} din amendamente, după următoarele reacţii:

$$\text{Complex adsorbtiv}\left|\begin{array}{l}-Na\\ -Na + CaSO_4\\ -\text{etc.}\end{array}\right. \longrightarrow \text{Complex adsorbtiv}\left|\begin{array}{l}= Ca\\ \qquad + Na_2SO_4\\ -\text{etc.}\end{array}\right.$$

Când în soluri există şi sodă, are loc următoarea reacţie:

$$Na_2CO_3 + CaSO_4 \longrightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4$$

- spălarea periodică a sărurilor, în general amendarea solurilor saline şi alcaline cu amendamente pe bază de gips, nu este suficientă, dacă nu se combină şi cu lucrări hidroameliorative, adică de spălare a sărurilor. Acest lucru se poate realiza prin irigarea periodică într-un sistem funcţional de eliminare a apelor prin drenaje, astfel ca în câţiva ani, să se spele din orizotul de la suprafaţă a solului sărurile solubile.

Amendarea solurilor saline şi alcalice îmbinată judicios cu fertilizarea organică şi chimică rezolvă unele probleme în sporirea fertilităţii acestor soluri.

Fertilizarea organică este necesară pentru îmbunătăţirea conţinutului în materie organică şi respectiv în macro şi microelemente, elimină CO_2 care contribuie la solubilizarea amendamentului şi favorizarea schimbului de cationi. De asemenea, îmbunătăţeşte unele însuşiri fizice defectuoase ale acestor soluri.

Fertilizarea chimică trebuie să se aplice în doze optime economice în funcţie de necesarul din sol şi cerinţele plantelor. Se recomandă aplicarea îngrăşămintelor cu efect acidifiant, astfel îngrăşămintele cu azot amoniacal (clorura de amoniu, sulfatul de amoniu şi azotatul de amoniu) au dat rezultate bune datorită aportului în azot, dar şi potenţialului şi efectului lor acidifiant. Sunt necesare şi îngrăşăminte cu fosfor şi potasiu mai ales că pe aceste soluri se cultivă unele specii de plante tolerante la salinitate (sfecla şi lucerna) care sunt şi mari consumatoare în aceste elemente.

Ca urmare a mobilităţii şi accesibilităţii reduse pentru plante a unor microelemente pe aceste soluri, este necesară şi aplicarea lor.

4.4. ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Care sunt suprafeţele aproximative de teren ocupate cu soluri cu reacţie extremă din România care pot fi ameliorate şi redate circuitului agricol?

.....

2. Care este indicele agrochimic de baza care defineşte reacţia solului şi cum se defineşte el?

.....

3. Care sunt procesele care au dus în timp la transformarea rocilor parentale, uneori carbonatice, în soluri acide?

.....

4. Să se precizeze valorile indicilor agrochimici care stau la baza amendării solurilor acide şi amendamentele utilizate?

.....

5. Să se precizeze valorile indicilor agrochimici care stau la baza amendării solurilor saline - alcaline şi amendamentele utilizate?

.....

4.5. TESTE DE AUTOEVALUARE

1. Suprafeţele de teren din România ocupate cu soluri cu reacţie extremă sunt de :

(a) aproximativ 5,0 milioane ha;
(b) aproximativ 2,6 milioane ha;
(c) aproximativ 4,0 milioane ha.

2. Solurile acide interesate la ameliorarea agrochimică cu amendamente calcaroase sunt cu :

(a) pH < 5,8 – 6,0; V%< 75 – 80%; Al^{3+}> 0,5 me/100 g sol;
(b) pH > 5,8 – 6,0; V%>75 – 80%; Al^{3+}< 0,5 me/100 g sol;
(c) pH > 6,8 – 7,0; V%>75 – 80%; Al^{3+}< 0,5 me/100 g sol;

3. Principalii indici agrochimici ai solurilor saline-alcaline care stau la baza luării deciziei de amendare pe bază de gips sunt:

(a) pH > 8,4; PSA> de 10%; CTSS > 1,0 -1,5%;
(b) pH < 8,4; PSA< de 5%; CTSS < 1,0 -1,5%;
(c) pH < 8,4; PSA de 5 - 10%; CTSS < 1,0 -1,5%;

4.6. REZUMAT

În ţara noastră, datorită diversităţii factorilor pedogenetici, învelişul de sol este foarte variat şi complex întâlnindu-se de la soluri cernoziomice (molice) care ocupă doar 37 % din suprafaţa arabilă până la soluri slab productive sau chiar neproductive reprezentate prin soluri acide, saline şi alcaline, cu exces de umiditate etc. Din studiile pedologice şi agrochimice efectuate, reiese că multe soluri chiar fertile, printr-o exploatare neraţională sunt afectate de procese de degradare secundară.

Capacitatea solului de a menţine în soluţie o anumită activitate (concentraţie) a ionilor de hidrogen (H^+) şi de hidroxil (OH^-), definită prin termenul de „reacţie” şi măsurată (determinată) prin pH este o însuşire de bază a solului faţă de care plantele au o anumită exigenţă (preferinţă). Aceste însuşiri de compatibilitate a plantelor cu starea de reacţie a solurilor decurge din efectele mai ales secundare dar determinante pe care unele domenii ale reacţiei le determină în soluri, în chimismul acestora şi în regimul nutrienţilor importanţi pentru plante.

Această interrelaţie sol – plantă este atât de importantă şi esenţială încât, prin adaptare şi convertire a unor însuşiri, plantele au dobândit şi au devenit tolerante, în anumite grade, la stările extreme ale reacţiei .

- **Toleranţa plantelor la aciditate:** este o caracteristică a celor **acidofile şi calcifuge**, adică a celor care preferă ca mediu de creştere şi dezvoltare solurile şi substraturile nutritive acide. Această însuşire a plantelor şi acţiune agrochimică s-a completat în timp cu **toleranţa plantelor la aluminiu** care se percepe ca fiind capacitatea unor plante de a acumula acest ion (Al^{3+}) în rădăcini, la niveluri mai ridicate decât alte specii şi a-i bloca translocarea în alte organe vegetative.

Între plantele tolerante la aciditate regăsim: secara, lupinul, ovăzul, cartoful, coacăzul şi speciile de festuca.

- **Toleranţa plantelor la salinitate – alcalinitate:** este o însuşire a speciilor „**calcifile şi acidofuge”**, a celor ce preferă ca substrat de creştere solul salin-alcalin. Toleranţa la salinitate – alcalinitate a plantelor se percepe ca o capacitate a acestor specii de a menţine aproximativ constantă presiunea sucului celular la fluctuaţii ale conţinutului de săruri solubile în soluţia solului. Printre aceste plante regăsim: orzul, sfecla de zahăr, varza, conopida ş.a.

4.7. BIBLIOGRAFIE

1. Marilena Mărghitaş, Cătălin Băluţiu, 1996, Agrochimie – Lucrări practice, Tipo Agronomia, Cluj-Napoca ;
2. Marilena Mărghitaş, 2003, Agrochimie, Ed. AcademicPres, Cluj-Napoca;
3. Rusu Mihai, Marilena Mărghitaş, Tania Mihăiescu, I.Oroian, Adelina Dumitraş, 2005, Tratat de Agrochimie, Ed. Ceres, Bucureşti ;
4. Marilena Mărghitaş şi colab., 2011, Manual de bune practici în tehnologia fertilizării plantelor agricole, Ed. AcademicPres, Cluj-Napoca ;

Capitolul 5. CONTROLUL STĂRII DE FERTILITATE A SOLURILOR PRIN METODE AGROCHIMICE

Cuprins

5.1. Generalităţi;
5.2. Analiza solului;
5.3. Analiza plantei;
5.4. Experienţele cu îngrăşăminte şi amendamente;
5.5. Curbele producţiei de biomasă şi nomogramele agrochimice;
5.6. Cartarea agrochimică;
5.7. Bibliografie

5.1. GENERALITĂŢI

Odată cu instaurarea percepţiei că fertilitatea solului este o rezultantă a unor interacţiuni complexe între factori chimici, biologici şi fizici ai solului, evaluarea acestor indicatori în parte şi în paralel sau în comun reuşeşte să definească în bună măsură această însuşire de bază a solului.

Privind analitic şi retrospectiv metodele agrochimice de evaluare a fertilităţii solurilor care au cunoscut o evoluţie şi eficienţă în sporirea fertilităţii, acestea au răspuns iniţial în valorificarea potenţialului de fertilitate şi obţinerea unui surplus cantitativ de produse consumabile şi hrană, ulterior s-a trecut la interpretarea şi valorificarea acestei însuşiri şi în obţinerea unor avantaje calitative şi de valorificare a produselor vegetale. În ultimii ani fertilitatea se leagă tot mai mult şi de calitatea mediului, de caracterul durabil şi/sau sustenabil al acesteia şi de determinarea unor efecte cât mai reduse de degradare a mediului. În aceste context producţia vegetală obţinută în condiţiile sporirii fertilităţii este cantitativ şi calitativ superioară, asigură siguranţă alimentară consumatorilor şi o optimizare a componentelor agrosistemelor (REUTER şi ROBINSON, 1997; DALAL şi RAO, 2002; SINGH, 2002).

În concept modern sistemele actuale de evaluare şi control a fertilităţii solurilor trebuie să determine realizarea unui management al fertilităţii pe termen lung în care se implică regimul şi disponibilitatea nutrienţilor cu procesele determinante ale utilizării lor productive şi reducerea pierderilor din sistem, în condiţii de eficienţă economică şi minimalizarea efectelor de degradare a mediului. Adiacent acestui management se realizează o calitate a solului, apei şi aerului (HODGKIN şi HAMILTON, 1993; SAHRAWAT şi KEENY, 1986; SIMS, 1999; VELICICA şi DAVID DAVIDESCU, 1999; BLACK, 1993; HAVLIN şi colab., 1999; BORLAN, HERA, 1984, MOCANU şi ANA MARIA MOCANU, 2003; RUSU şi colab., 2005).

În prezent starea de fertilitate a solurilor este evaluată, controlată şi monitorizată, printr-un sistem unitar de metode grupate în:

- analiza solului;
- analiza plantei;
- experienţele cu plante şi îngrăşăminte în vase de vegetaţie şi câmp;

- curbele de răspuns ale producţiei de biomasă la cantitatea de nutrienţi din/sau aplicaţi solului;
- cartarea agrochimică (sau studiul agrochimic).

Sistemul sus menţionat de evaluare, control şi monitorizare a fertilităţii solului poate realiza unitar, prin metodele de mai sus, sisteme de măsuri şi practici de menţinere şi creştere a fertilităţii solului. Interpretarea concomitentă a rezultatelor ce provin din această activitate are un caracter integrat şi profund practicist pe lângă nivelul ştiinţific determinant ce cuantifică măsurile după circuitul şi regimul nutrienţilor. Această interpretare - analize de sol, de plantă şi rezultatele de efect al aplicării îngrăşămintelor se face în foarte multe ţări după Sistemul Integrat de Diagnoză şi Recomandări (DRIS = *The Diagnosis and recommendation Integrated System*), conceput în timp pentru dirijarea aplicării şi balanţei nutrienţilor în scopuri productive (BLACK, 1993; DALAL şi RAO, 2002; la noi BORLAN şi HERA, 1984; HERA şi BORLAN, 1981; ICPA, 1981; DAVID şi VELICICA DAVIDESCU, 1992; RUSU şi colab., 2005).

Uneori pentru practici expeditive în controlul şi evaluarea fertilităţii se apelează unilateral la una sau două metode ale sistemului şi se consideră că metoda cartării agrochimice este cea mai uzuală şi poate avea caracter ciclic sau repetabil. Evident că interpretarea în cadrul acestor sisteme trebuie să aibă la bază experimentele de staţionare cu îngrăşăminte ce cuantifică efectul aplicării nutrienţilor şi se poate corela cu analizele de sol şi cu cele de plantă.

5.2. ANALIZA SOLULUI

În sistemele de evaluare a fertilităţii solului prin analizele de sol se determină starea reacţiei, conţinutul de humus, în macro- şi microelemente, precum şi alţi indicatori de caracterizare agrochimică a solului în legătură cu starea de fertilitate şi cu instituirea unor sisteme de fertilizare eficiente în obţinerea unor cantităţi mari şi de calitate de produse vegetale.

Analizele de sol calibrate corect exprimă gradul de suficienţă a nutrienţilor (cu delimitarea domeniilor de insuficienţă şi exces) şi sunt eficiente în evaluarea fertilităţii solurilor în măsura în care rezultatele acestor determinări se pot corela ca răspunsul plantelor exprimat prin producţia vegetală (sau de substanţă uscată) şi prin concentraţia elementelor determinate în plantă (BLACK, 1993; BORLAN şi HERA, 1982, 1994; DAVID şi VELICICA DAVIDESCU, 1981; RUSU şi colab., 2005).

Obiectivele analizelor de sol. Prin realizarea şi interpretarea analizelor de sol se propun următoarele obiective specifice:

- după determinarea reacţiei solului (prin pH) se apreciază nivelul acestui indicator şi se stabilesc categoriile de soluri şi suprafeţe agricole interesate la măsuri de ameliorare-optimizare sub aspectul corectării acidităţii-alcalinităţii şi salinităţii;
- prin analizele de elemente nutritive se urmăreşte stabilirea claselor de aprovizionare şi reprezentare cantitativă a formelor mobile, accesibile, schimbabile şi solubile ale elementelor esenţiale cu caracter nutritiv pentru plante;
- să se evalueze cantitativ aportul de nutrienţi esenţiali din sol la realizarea producţiilor vegetale prognozate pentru diferenţierea dozelor de fertilizanţi;
- să se delimiteze domeniile de risc agrochimic legate de prevenirea şi controlul unor stări de insuficienţă (carenţă) şi de exces (toxicitate) pentru menţinerea unui echilibru specific stărilor de optim agrochimic în sistemul sol-plantă. În acest context se controlează prin analize de sol delimitarea şi efectul altor factori de degradare agrochimică (excesul de nitraţi, contaminarea cu metale grele etc.);
- pe baza analizelor de sol se realizează cartările (studiile) agrochimice prin care se caracterizează agrochimic solurile cercetate, fertilitatea acestora inclusiv evoluţia acesteia şi se recomandă măsurile de fertilizare-amendare şi de refacere a fertilităţii.

Specificitatea analizelor de sol. Analizele de sol caracterizează prin proceduri de extracţie cu caracter convenţional formele mobile sau potenţial accesibile ale elementelor nutritive esenţiale care reprezintă un cuantum cantitativ dintr-un element „susceptibil a fi absorbit de plante” (BLACK, 1992, 2000). În această activitate analitică se utilizează o multitudine de soluţii extractante pentru elementele în cauză care se dozează ulterior (în aceşti sol-venţi specifici) prin metode fizico-chimice

consacrate - potenţiometric, gravimetric, volumetric (titrimetric), colorimetric, fotometric şi prin spectrofotometrie cu absorbţie atomică (tabelul 2.1.).

Metodele analitice de extracţie reproduc particularităţile de solubilizare a soluţiei respective pentru combinaţiile de echilibru ale elementelor nutritive din sol şi exprimă astfel convenţional nivelul de bioaccesibilitate a nutrientului respectiv pentru plante (care trebuie să fie cât mai apropiat cantităţii absorbite efectiv de culturi sau vegetaţie).

Pentru solvenţii utilizaţi la extracţia formelor mobile, accesibile sau bioaccesibile se apreciază un echivalent cantitativ şi calitativ al extracţiei, ca formă ionică sau combinaţie a elementului cercetat, difuzabilă sau potenţial solubilă pentru sol, schimb ionic şi nutriţie a elementului respectiv. În chimia solului şi agrochimie este posibilă o mai bună definire a stării de accesibilitate a ionilor din sol pentru plante pe baza caracterizării regimului acestora prin indicii de cantitate (Q) şi calitate-intensitate a acestora (I).

Tabel 10

Metode de extracţie din sol a elementelor nutritive
(după LIXANDRU şi colab., 1990, prelucrare RUSU şi colab., 1991; 2005)

Extractantul	Elementul (ionii) extraşi, determinarea analitică
1. Apă distilată	- pH; NO_3^- + NH_4^+ în sere şi solarii; B-hidrosolubil; Mn-hidrosolubil; cationi în extract apos (pentru solurile saline);
2. Soluţii diluate ale unor săruri	- capacitatea totală de schimb cationic (CEC, T, CTSC) prin percolare cu soluţii de acetat de amoniu 1N (în care se dozează Ca^{2+}; Mg^{2+}; K^+; Na^+);
	- Mg în $CaCl_2$ 0,025M (după SCHACHTSCHABEL);
3. Acizi anorganici diluaţi	- P-solubil în H_2SO_4 0,02N + $(NH_4)_2SO_4$ la pH 3,0 (după TROUG); - K-schimbabil (potenţial accesibil) cu HCl 0,1N sau 0,2N; - K-schimbabil în soluţie 0,4N de NH_4Cl sau $CaCl_2$ 0,01N - Cu-accesibil, în HNO_3 0,43N (după WESTERHOFF) sau în HCl 0,1N (valabilă şi pentru extracţia de Zn);
4. Acizi organici diluaţi	- P-mobil (accesibil), solubil în acid citric 1% (după ARRHENIUS); - P-mobil (accesibil), solubil în acetat de sodiu + acid acetic; - P şi K în forme accesibile, solubile în lactat de Ca 0,02M şi HCl, la pH 3,6 sau în acetat-lactat de amoniu, la pH 3,7 (după EGNER - Riehm - DOMINGO) (metoda AL); - P şi K în forme accesibile şi solubile în soluţii de lactat de Ca 0,01M + acetat de Ca 0,01M (metoda CaL);
5. Soluţii alcaline	- P-accesibil în soluri cu $CaCO_3$ liber, prin solubilizare în soluţie 0,5M de $NaHCO_3$ (metoda Olsen)
6. Soluţii cu agenţi reducători	- Mn activ, solubil în $MgSO_4$ 1N + sulfit de sodiu (Na_2SO_3) ca agent reducător (după SCHACHTSCHABEL) sau $NaHSO_3$ (după LEEPER);
7. Soluţii cu complexoni	- Zn-solubil în carbonat de amoniu + EDTA, la pH 8,6 (după TREIWEILER-LINDSAY); - Cu accesibil solubil în Na_2EDTA 0,05M (după MITCHEL)

Orientările recente în domeniul analizelor de sol tind spre folosirea unor extractanţi cu spectru larg de solubilizare şi extracţie, determinându-se astfel în acelaşi extract mai mulţi nutrienţi şi alţi extractanţi specifici numai pentru un ion sau element. Tot pe linia perfecţionării metodelor de

analiză a solului se manifestă mai multe tendinţe de abordare ce urmăresc evident creşterea probităţii şi reproductibilităţii rezultatelor şi atenuarea caracterului convenţional al extractanţilor în raport cu procesele de difuzie - solubilizare - absorbţie în sistemul sol-plantă. Aici se pot menţiona metodele ce introduc izotopii stabili ai unor elemente în cercetarea fertilităţii şi evaluarea acesteia (pentru N şi P) şi folosirea unor „modele" din argile artificiale şi răşini schimbătoare de ioni pentru cercetarea unor procese determinante ale adsorbţiei-desorbţiei ionilor nutritivi în soluri (LARSEN, 1952; BORLAN şi HERA, 1984; SPOSITO, 1989; TISDALE, 1993; PARKER şi PEDLER, 1997; KRISHNA, 2002; DALAL, 2002).

În raportarea conţinutului formelor mobile, accesibile şi biodisponibile sau solubile, se adoptă exprimarea în ppm (mg la 1 kg de sol) sau ca mg la 100 g sol. Pentru formele totale rămâne suficient de stabilă exprimarea procentuală (% N_t, P_t, K_t).

Interpretarea rezultatelor analizelor de sol se perfecţionează constant prin corelarea acestora cu starea de reprezentare a elementelor în plantă şi cu răspunsul culturilor agricole şi horticole la aplicarea nutrienţilor esenţiali din experienţele cu îngrăşăminte şi amendamente.

5.3. ANALIZA PLANTEI

Face parte din sistemul de evaluare şi control al fertilităţii solurilor cu mai multe etape de referinţă şi dezvoltare:

- iniţial a existat (şi încă parţial se poate aprecia) diagnoza deficienţelor de nutriţie şi chiar a fertilităţii solurilor după simptomele exterioare ale plantelor, percepute vizual, subiectiv şi dificil de graduat ca impact de manifestare. Din motivele subiectivismului existent în aceste alternative analitice recomandările cantitative de intervenţie - pentru prevenire, corectare sau optimizare, nu se pot face raţional;

- ulterior s-au impus procedurile analitice de dezvoltare prin analizele de plantă prin *teste parţiale* (ale unor ţesuturi sau organe vegetale) şi prin *ale plantei în întregul ei* (sistem radicular, tulpini, lăstari, frunze, seminţe etc.). Rezultatele acestor proceduri se pun în legătură cu cantitatea de biomasă (s.u. sau proaspătă), cu concentraţiile de substanţe organice sintetizate (proteine, glucide, lipide etc.) şi se corelează cu conţinutul nutrienţilor din sol;

- concomitent cu evoluţia abordărilor analitice în legătură cu utilizarea analizelor de plantă în evaluarea fertilităţii solurilor se pot aprecia ca etape evolutive perfecţionarea sistemelor de interpretare a acestor analize în fertilizare-nutriţie-fertilitate. Astfel s-au enunţat principii care fundamentează legăturile cauzale între concentraţia aceloraşi elemente în sol şi plantă (ATTERBERG, 1901), s-au propus diagrame schematice de reprezentare şi interpretare a concentraţiilor nutrienţilor în plantă (KRAUSS, 1965), s-au definit veritabile „chei de identificare" a dereglărilor de nutriţie (BERGMAN, 1992; TISDALE şi colab., 1995; BORLAN şi colab., 1992) etc.

Din stadiile enunţate ca etape ale dezvoltării şi implementării analizei plantei în evaluarea fertilităţii solurilor în prezent se pot defini mai multe variante ale acestei metode cu obiective specifice:

a) ***Diagnoza foliară după simptome exterioare***: este cea dintâi metodă folosită dintre cele ce se referă la analiza plantei, are caracter subiectiv şi fără o intervenţie analitică nu deţine însuşirile de precizie şi probitate. În această diagnoză se au în vedere aprecieri ale mai multor simptome (semne) exterioare:

- raportul dintre sistemul radicular şi partea aeriană a plantei exprimă fenomene legate de nutriţia cu macroelemente: carenţa de N manifestă o reducere a organelor vegetative aeriene, la carenţa de P se reduce sistemul radicular, dezvoltat disproporţional faţă de cel vegetativ iar la carenţa de K se manifestă tot o creştere slabă a sistemului radicular cu număr redus de perişori absorbanţi;

- poziţia pe plante a frunzelor şi uneori a lăstarilor: când simptomele apar pe frunzele de la vârf sunt carenţe ale unor elemente cu slabă mobilitate în plante (Ca, B) şi cu roluri în alcătuirea membranelor celulare, iar când simptoamele apar pe frunzele mature de la baza plantei se manifestă o carenţă a unor elemente cu mare mobilitate în plante (K, Mg). Când simptomele apar atât pe

frunzele tinere cât şi pe cele mature simptomul reflectă carenţa unui element implicat în procese metabolice majore prin componenţii săi de bază (la N prin aminoacizi şi proteine, la P prin acizii nucleici, la S prin aminoacizii esenţiali etc.) (DAVID şi VELICICA DAVIDESCU, 1981, 1992);

- poziţia frunzelor faţă de axul vertical se compară cu o stare normală a acestora - poate fi erectă faţă de axul vertical (la carenţa de N) şi mai îndepărtată de axul vertical (la carenţe de K);

- culoarea şi antocianarea frunzelor faţă de o stare normală de verde specific a organismelor vegetale - nuanţa de verde-pal-gălbui indică apartenenţa la carenţe de N, S, Mg, verde-albăstrui-violacee la carenţa de P, necroza marginală a frunzelor la carenţa de K, decolorarea internervurală cu menţinerea verde a nervurii mediane la carenţa de Mg, decolorarea verde-albicioasă şi piticirea plantelor arată carenţă de Zn, cloroza extinsă a frunzelor cu necrozări la carenţa de Fe etc. După majoritatea semnelor exterioare ale nutriţiei s-au alcătuit „chei de identificare" a dereglărilor de nutriţie şi determinare care constituie pentru toate elementele şi pentru fiecare în parte un „ghid" de identificare eficient în catalogarea corectă a acestor stări extreme ale nutriţiei şi chiar de abordare analitică apoi de luare a măsurilor preven-tive şi corective (BELOUSOV şi MAGNIȚKI, citaţi de D. şi VELICICA DAVIDESCU, 1981; BORLAN, HERA şi colab., 1994; BERGMAN, 1992; TISDALE şi colab., 1995; MĂRGHITAŞ MARILENA şi RUSU, 2003 ş.a.).

b) ***Diagnoza foliară prin analizele chimice***: este activitatea analitică realizată la un moment dat al unei fenofaze sau în situaţii succesive când se analizează unele organe vegetative (mai ales frunzele dar şi peţiolul acestora, lăstarii tineri sau ramurile de un an). Determinarea stării de aprovizionare cu nutrienţi (de regulă N, P, K, NO_3 ş.a) în aceste alternative analitice se face cu următoarele obiective ale controlului nutriţiei şi fertilităţii solurilor:

- urmărirea nivelului nutriţiei cu macro- şi microelemente la culturile agricole şi horticole;

- pentru confirmarea analitică a stărilor de insuficienţă-carenţă depistate prin diagnoza vizuală a simptomelor sau a celor de exces-toxicitate şi luarea deciziilor de prevenire şi corectare a acestor stări negative de vegetaţie;

- prin corelarea rezultatelor analizelor ce se obţin prin diagnoza foliară cu cele ale unor indici agrochimici ai solului se fac recomandări utile nu numai în legătură cu prevenirea şi corectarea unor dereglări de nutriţie dar se pot dimensiona măsuri agrochimice prin fertilizări suplimentare ce intervin fazial în vegetaţia plantelor.

Interpretarea stării de nutriţie a plantelor şi oportunitatea unor intervenţii fertilizante suplimentare se face în legătură cu mai multe criterii sau stări de referinţă:

- în primul rând se procedează frecvent la compararea şi raportarea rezultatelor analitice ale diagnozei foliare cu „valorile standard" sau „ale conţinuturilor normale" considerate că acestea caracterizează stările normale ale nutriţiei şi optimul agrochimic în sistemul sol-plantă (vezi FINCK, 1968; D. şi VELICICA DAVIDESCU, 1981, 1992; RUSU şi colab., 2005);

- prognozarea şi confirmarea insuficienţelor - carenţelor şi a altor stări perturbatorii de la nutriţie se face prin interpretarea şi raportarea analizelor de diagnoză foliară la „concentraţia nivelului critic" care exprimă valoric şi analitic reducerea conţinutului unui element din plante sub o concentraţie normală, de referinţă, ce constituie limita de departajare a stării de insuficienţă de cea normală. Această valoare analitică limită se numeşte frecvent şi „prag critic" al stării de aprovizionare identic cu conţinutul inferior al domeniului (intervalului) de suficienţă. Acest indicator al nutriţiei exprimă în sens negativ începutul domeniului insuficienţei aprovizionării cu un nutrient similar cu starea de „foame ascunsă" (sau „carenţă ascunsă") iar accentuarea acesteia declanşează starea de carenţă vizibilă prin simptoame exterioare caracteristice şi relevantă prin nivele analitice reduse sub concentraţia nivelului critic;

- creşterea concentraţiei unui element în plante peste nivelul critic până la cel al unui „consum de lux" care corespunde unui nivel al nutriţiei ce nu determină modificări cantitative în plante (eventual calitative), delimitează „domeniul sau intervalul de suficienţă" al nutriţiei. Acest interval al suficienţei nutriţiei sau aprovizionării cu nutrienţi este dorit la plante şi posibil de determinat prin măsuri complexe de optimizare agrochimică a sistemului sol-plantă (BOULD, 1968, 1984; SPENCER şi CHAN, 1981; RAYMENT, 1983; ATKINSON şi colab., 1980; RANDALL şi colab., 1980; LIXANDRU şi colab., 1990; RUSU şi colab. 2005);

- în prognozarea dezechilibrelor de nutriţie la plantele cultivate se utilizează cu succes interpretarea alături de rezultatele individuale şi analitice şi „rapoartele concentraţiilor elementelor” implicate în nutriţie atât al celor cu relaţii de antagonism ionic cât şi al celor sinergice (K/Ca; K/Mg; K/Ca + Mg; N/N+P+K etc.). Interpretarea rapoartelor nutrienţilor este extrem de eficientă la apariţia unor fenomene induse în nutriţie sau în fertilizarea şi amendarea solurilor (JONES, 1981; HOCKMAN şi colab., 1989; HALLMARK şi colab, 1990; BLACK, 1992, 2000 ş.a.). Evident că acest concept implementează cerinţa optimizării nu numai a reprezentării nutrienţilor în sol şi plantă ci şi a rapoartelor acestora pentru determinarea unei nutriţii normale şi fertilităţi stabile;

- nivelul de precizie şi probitate al interpretărilor analizelor de diagnoză foliară ca şi eficienţa intervenţiilor de prevenire şi corectare a dezechilibrelor sporesc dacă între aceste analize se cuprind şi altele care caracterizează metabolic plantele (conţinut de proteine, conţinut de glucide, inclusiv al celor cu greutate moleculară mică, conţinut de acizi organici ş.a.);

- cazuri particulare ale diagnozei foliare permit şi alte interpretări sau aplicaţii: stabilirea „alimentaţiei globale” („nutriţiei globale” Ng = %N + %P + %K) şi a „echilibrului nutritiv” (En = %N/Ng · 100; P/Ng · 100; K/Ng · 100) la o anumită fenofază mai ales la culturi horticole (viţă de vie, pomi fructiferi, legume în seră); testele colorimetrice ale nervurii mediane la unele culturi (castraveţi, mazăre, sfeclă, tomate, viţă de vie); testarea sucului celular prin presarea vaselor conducătoare şi ţesuturilor vegetale; analiza concentraţiei de $N\text{-}NO_3$ în frunzele unor culturi la desprimăvărare pentru dozarea aplicării suplimentare de N etc.

Aprofundarea condiţiilor de determinare prin diagnoză foliară a stărilor deficienţei nutriţiei a impus conceptul raportării acestor date la „conţinutul critic” iar cele ale conţinutului şi nivelului nutriţiei pe cel al „intervalului sau domeniului de suficienţă” care fac parte din ansamblul Sistemului Integrat al Diagnozei şi Recomandărilor (DRIS), îndreptar analitic de evaluare şi control al fertilităţii solurilor şi nutriţiei plantelor (BLACK, 1993, 2000; DALAL, 2002; BHARGAWA şi RAGHUPATHI, 1999, 2002; BORLAN, HERA şi colab., 1994 ş.a.).

c) ***Analiza plantei în toate organele componente***: Acest demers analitic se realizează de regulă în fenofazele în care s-a atins *consumul maxim* sau *definitiv de elemente nutritive* necesar formării recoltei biologice (la coacerea deplină a plantei).

În această variantă de control al stării de fertilitate a solului se analizează chimic toate organele componente ale plantei - sistem radicular, tulpini, produs principal (seminţe, rădăcini, tuberculi, fructe) iar rezultatele se folosesc în evaluarea cantităţilor de nutrienţi prelevate din sol cu producţiile vegetale şi de regulă permit calculul ***consumului specific (Cs)*** de elemente (kg N, P, K, S, Ca, Mg ş.a.) raportate la o unitate de biomasă (1 t; 1 q sau 1 kg de produs principal şi secundar, **în practica agricola se defineste ca fiind kg NPK/tona de produs principal şi secundar**) ca şi ***consumul global*** sau ***total (Cg)*** de nutrienţi necesar formării recoltei biologice. Această ultimă mărime provine din produsul recoltei actuale (Ra) ce s-a realizat cu valoarea consumului specific (Cs) (Cg = Ra · Cs, în kg element sau oxid al elementului la ha). Valorile consumului specific (Cs) şi ale consumului global (total) (Cg) constituie indicatori necesari sistemelor de diferenţiere a dozelor de îngrăşăminte care în ansamblul lor sunt expresia diferenţierii sau bilanţului elementului în cauză de la aportul solului (determinat prin analize de sol) la consumul sau necesarul plantei (evaluat prin analiza plantei şi prin indicatorii menţionaţi - Cs şi Cg). În acelaşi timp consumul nutritiv de elemente cu recoltele permite analize şi prognoze în evoluţia fertilităţii solurilor.

Tot prin analiza plantei în toate organele componente (mai ales ce prezintă interes de consum, industrializare, păstrare, deci valorificare) se determină analitic conţinutul substanţelor organice utile - proteine, glucide, lipide, vitamine, elemente minerale - după care se măsoară şi se apreciază ***cantitativ*** randamentele substanţelor organice şi minerale la unitatea de suprafaţă ca şi ***indicii de calitate*** ai produselor agricole şi horticole. Evident că aceşti din urmă indicatori (cantitatea şi calitatea produselor) permit aprecieri în legătură cu calitatea alimentaţiei umane şi animale ca o latură esenţială a securităţii alimentare.

Din prezentarea specificului şi obiectivelor analizei plantei (în toate variantele) se desprinde remarca potrivit căreia numai analizele de plantă (sau numai cele de sol) dau răspunsuri unilaterale şi incomplete privind evaluarea stării de fertilitate a solurilor în legătură cu nutriţia plantelor şi

devine tot mai pregnantă utilitatea implementării unui ***concept şi sistem integrat*** în acest domeniu care să includă atât analizele de sol cât şi cele de plantă în modele de interpretare intercondiţională de mare utilitate practică.

5.4. EXPERIENŢELE CU ÎNGRĂŞĂMINTE ŞI AMENDAMENTE

Activitatea experimentală cu îngrăşăminte şi amendamente testează situaţia agrochimică a unui sol ca nivel al fertilităţii, efectul unor sortimente de îngrăşăminte şi metode de fertilizare şi nu în ultimul rând, evoluţia fertilităţii solurilor sub influenţa măsurilor diferenţiate de aplicare a substanţelor şi resurselor fertilizante. Experimentele stau la baza elaborării dar şi a verificării multiplelor interpretări ale indicilor agrochimici şi ale fertilizării şi fertilităţii solurilor.

Pentru domeniul agrochimiei şi al studiului fertilităţii solurilor prezintă interes ştiinţific şi practic următoarele tipuri de experienţe:

a) Experienţele în câmp: cercetează în condiţii agrochimice şi de fertilitate diferenţiată sortimentele şi dozele de îngrăşăminte şi amendamente la plante agricole şi horticole. Rezultatele obţinute în aceste experienţe conferă teoriei şi practicii agrochimice efectul acestor măsuri asupra solurilor şi plantelor ca şi dozele (optime agrochimic, tehnic şi economic) necesare obţinerii unor producţii vegetale cantitativ şi calitativ superioare.

Dacă experienţele de câmp îşi menţin un caracter staţionar, invariabil în spaţiu, rezultatele lor oferă date privind evoluţia agrochimică şi a fertilităţii solurilor, cu posibilităţi de a stabili coeficienţii (ratele) de modificare anuală sau ciclică în legătură cu nivelul intervenţiilor pentru indicii agrochimici relevanţi ai domeniului (ΔpH; ΔN; ΔP; ΔK; Δhumus etc.).

În special pentru domeniul agrochimiei şi în primul rând pentru evaluarea şi controlul fertilităţii solurilor, ***experienţele staţionare polifactoriale şi de lungă durată*** permit interpretări complexe şi esenţiale pentru dirijarea fertilităţii solurilor.

Modelul experimental de lungă durată iniţiat la Rothamsted (Anglia) de JOHN BENNET LAWES (în anii 1843-1850) continuat de discipolul său GILBERT şi alţii, cu o abordare a efectului îngrăşămintelor cu P şi al celor organice, s-a extins şi în alte ţări, instituindu-se „reţeaua experienţelor de lungă durată”. Alături de experienţele de la Rothamsted se consemnează peste 600 de asemenea staţionare experimentale în întreaga lume, pe toate continentele, remarcând ca foarte vechi şi cunoscute pe cele de la Grignon, 1875; pe cele de la Morrow - Universitatea Urbana - Illinois, 1876; Askow, 1894; Halle - Lanchstädt, 1902; Groeningen - Haren, 1910; Moystad şi As, 1922 ş.a. iar din ţara noastră experienţele amplasate în anii 1959-1961 (Ileanda - Fundulea, 1959; Războieni - Iaşi, 1961; Livada - Satu Mare, 1961; Albota - Argeş, 1961; Şimnic - Craiova, 1961) şi reţeaua experienţelor de lungă durată menţinută în prezent în 13 câmpuri şi centre experimentale ale ASAS - ICCPT Fundulea din anii 1966-1967 (HERA şi BORLAN, 1966).

Rezultatele obţinute în aceste staţionare experimentale de lungă durată au permis cu cea mai mare exigenţă ştiinţifică nu numai dimensionarea cantitativă a dozelor de nutrienţi în legătură cu influenţa factorilor de sol-plantă şi ecologici existenţi ci şi formularea unor reguli şi principii ale evo-luţiei fertilităţii solurilor în legătură cu sistemele de agricultură şi fertilizare practicate.

b) Experienţe în vase de vegetaţie şi fitotron: se realizează cu sol agricol şi soluţii nutritive, pe care cresc plantele, în condiţii parţial sau total controlabile. De regulă aceste experienţe cercetează *cu scop de aprofundare* probleme şi aspecte legate de nutriţia plantelor şi fertilitatea solurilor. Întrucât condiţiile acestor experimente sunt de cele mai multe ori artificiale iar factorii controlaţi (nu ca şi în alternativa experienţelor din câmp), cantitatea de sol limitată şi scoasă de sub efectul unor condiţii externe sau intrinseci solului, datele şi rezultatele obţinute au o folosire limitată:

- la testări anterioare amplasării experienţelor din câmp;
- la detalierea unor aspecte, condiţii şi factori de nutriţie, relaţii inter-ionice şi alte obiective ce trebuie aprofundate concomitent sau după experienţele de câmp;
- la interpretarea unor procese ale fertilizării şi fertilităţii pentru care nu s-au prevăzut sau nu sunt necesare variante ale experimentelor în câmp (efectul umidităţii sau temperaturilor excesive

asupra mobilităţii şi accesibilităţii unor ioni nutritivi la nivele ce nu se pot reproduce în câmp, relaţiile solubilizare - difuzie - imobilizare - bioaccesibilitate sub efectul unor parametri altfel graduaţi etc.).

Faţă de rezultatele obţinute în experimentele cu îngrăşăminte din câmp, cele realizate în vase amplasate în case de vegetaţie sau fitotron au un caracter complementar şi pot aprofunda obiectivele propuse la experienţele amplasate în câmpuri experimentale.

5.5. CURBELE PRODUCŢIEI DE BIOMASĂ ŞI NOMOGRAMELE AGROCHIMICE

În sistemul integrat de diagnoză, interpretare şi interpolare a analizelor de sol şi plantă un caz particular extrem de util şi în plin progres este cel de evaluare şi control al fertilităţii solurilor după „răspunsul biologic" sau „curbele de răspuns" ale producţiilor, calităţii acestora sau conţinuturilor nutrienţilor din plante şi produse vegetale faţă de nivelul de reprezentare a acestora în sol sau în raport cu dozele aplicate solului. Fiind vorba de un răspuns „biologic" (prin plante şi producţiile lor) această cale de studiu al fertilităţii solurilor a fost numită şi „a evaluării biologice" (DALAL, RAO, 2002).

Pe baza „legii minimului" enunţată de LIEBIG (1843) şi a conceptelor interacţiunii „factorilor de vegetaţie", Mitscherlich (1923, 1939) leagă „răspunsurile plantei" de cantitatea de nutrient în minim sau esenţial (x) asupra căruia s-a acţionat:

$y = A\left(1 - e^{-C_{x_t}}\right)$ sau $y = A\left(1 - e^{-C_{(x+b)}}\right)$; în care: A – recoltat maxima posibilă; 1- coeficient;

y - recolta ca răspuns la acţiunea factorului x; e- baza logaritmilor naturali =2,718; c- coeficienţi de acţiune ai elementului nutritiv din îngrăşământul aplicat; x_t- cantitatea totală de nutrienţi; x - cantitatea de nutrient aplicată; (x + b) - cantitatea totală a nutrientului şi b - cantitatea nutrientului disponibilă din sol pentru plantă.

Se apreciază că pe baza unor date concrete, în primul rând din experienţe, aceste „curbe de răspuns" se pot descrie cu mai multe tipuri de ecuaţii (MEAD şi PIKE, 1975; DALAL şi RAO, 2002; KRISHNA, 2002; BLACK, 1993, 2002): liniare, $y = a + bx$ sau $y = a + mx$; pătratice, $y = a + bx + cx^2$; cubice, $y = a + bx + cx^2 + dx^3$

Această dependenţă a „răspunsului" plantelor (ca nivel de recoltă, conţinut de elemente sau substanţe organice sintetizate) faţă de cantitatea unui element din sol sau aplicat acestuia, se reprezintă frecvent şi grafic (fig. 2.1.).

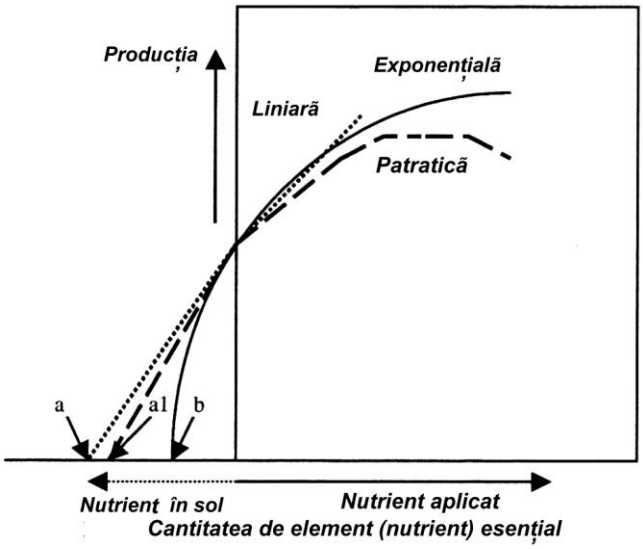


Fig. 2.1. Descrierea curbelor de răspuns ale recoltelor sau producţiilor de biomasă faţă de nutrientul existent sau adăugat solului (DALAL şi RAO, 2002)

În dezvoltarea acestor dependenţe între răspunsul plantei de elemen-tul sau raportul unor elemente din sol au apărut şi alte reprezentări (chiar exponenţiale şi sigmoide) valabile şi pentru

unele incidenţe cu totul particulare ale recoltelor faţă de unii indicatori analitici din soluri sau ai plantelor (COCHIRAME, 1988; BARROW şi MENDOZA, 1990; BLACK, 1999, 2002 ş.a.) (fig. 2.2. şi fig. 2.3.).

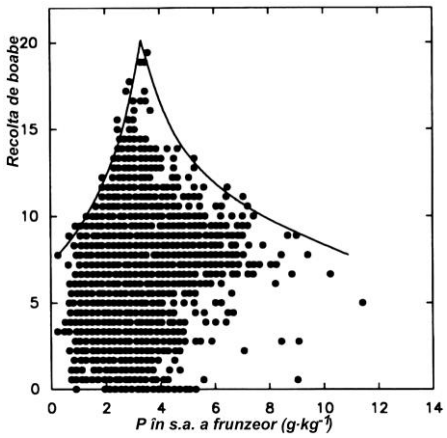


Fig. 2.2. Incidenţa recoltelor de porumb faţă de concentraţia fosforului din frunze (după WALWORTH, LETZSCH şi colab., 1986, citaţ după BLACK, 1992, 2000)

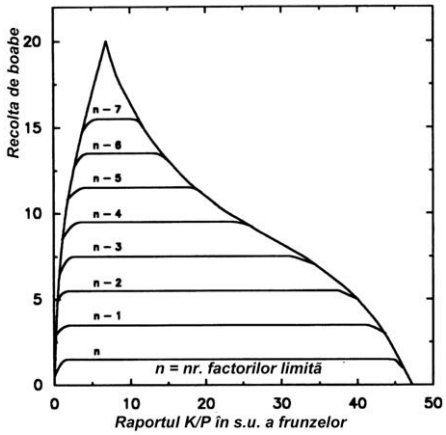


Fig. 2.3. Curbele ipotetice de răspuns ale recoltelor după raportul K/P din frunze (după SUMNER şi FARINA, 1986, citaţi după BLACK, 1992, 2000)

a c denţele menţionate reiese că interpretarea integrată - analize de sol - analize de plantă - răspuns al plantelor, permite o prognoză suficient de confidentă a mărimii şi calităţii recoltei, a efectului aplicării unor nutrienţi după parametrii analitici ai solului şi plantei în final, o evaluare reală a fertilităţii şi productivităţii solurilor (fig. 2.4.).

Perfecţionarea evaluării nutriţiei şi fertilităţii solurilor pe baza „curbelor de răspuns" a cunoscut realizări deosebite în ultimii 30 de ani întrucât s-a obţinut o mare diversitate a „modelelor" de legături de acest gen şi implementarea calculatoarelor şi programelor informatice atât cu caracter perfecţionist cât şi în exploatarea rezultatelor prin simulare şi modelare (DUNCAN şi colab., 1978; MONTEITH, 1977; WILLIAMS, 1991; THORNBY şi JOHNSON, 1990). Aceste „modele" se bazează pe măsurători cantitative ca răspuns la diferiţi factori (nutrienţi) dar se pot realiza şi prin folosirea uneori arbitrară a unor funcţii matematice adecvate parametrilor realizaţi în câmp sau laborator şi apoi prin simulare, modelele pot deţine algoritmi şi constante determinate (aceste modele au fost numite - mecaniciste, empirice şi de simulare) (KRISHNA, 2002; MONTEITH, 1996).

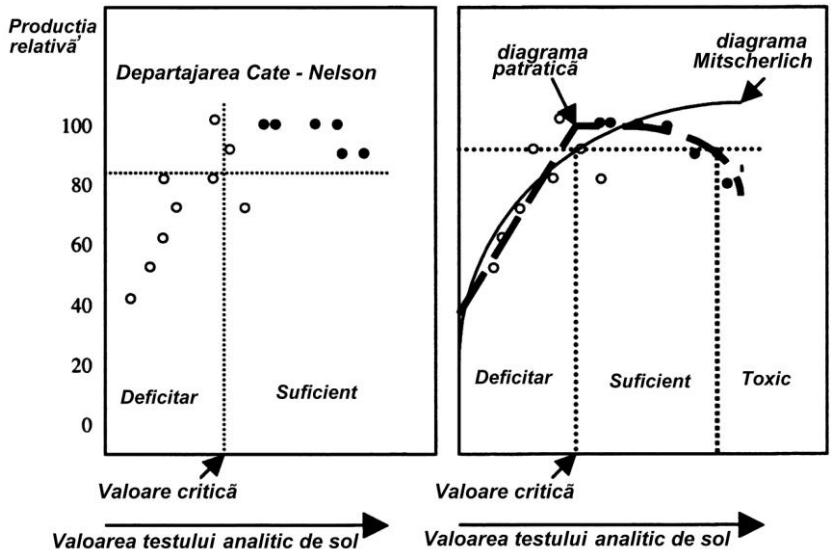


Fig. 2.4. Diagrama evaluării fertilităţii solurilor după corelaţia dintre testele analitice de sol şi răspunsul plantelor (după DALAL şi RAO, 2002)

Modelele realizate au ca obiective înţelegerea interacţiunii şi dependenţei factorilor determinanţi nutriţiei şi fertilităţii, furnizează recomandări şi consiliere practicienilor pentru managementul producţiilor vegetale concomitent cu cel al nutrienţilor şi fertilităţii, prognozează eficienţă de producţie şi economică, asigură protecţie reală agroecosistemelor (PASSIONRA, 1996). Trebuie însă considerată ca obligatorie verificarea experimentală şi analitică a modelelor recomandate (BOOTE şi colab., 1996).

5.6. CARTAREA AGROCHIMICĂ

Cartarea agrochimică (<u>ca titlu informativ</u>: trebuie ştiut de catre studenții care se pregătesc în domeniul agronomic, că această disciplină a fost obligatorie pentru studenții de la specializarea de Agricultură din cadrul Facultății de Agricultură și a fost prinsă în planul de învătământ din anul IV de studiu, până în 2016, după care a fost trecută la opționale, fără a fi consultați titularii acestei discipline de la Facultatea de Agricultură).

IMPORTANȚA PRACTICĂ A LUCRĂRII DE CARTARE AGROCHIMICĂ

Cunoaşterea potenţialului de fertilitate a solurilor, dirijarea evoluţiei agrochimice a acestora spre nivelurile şi domeniile optimale în ceea ce priveşte reacţia (pH-ul) şi aprovizionarea cu materie organică şi cu principalele elemente nutritive sau nutrienți în interdependenţă cu mediul înconjurător, sunt cerinţele unei agriculturi moderne intensive și durabile, respectiv al unui sistem în care fiecare factor trebuie să aibă un aport substanţial în obţinerea unor **RECOLTE agricole și horticole superioare cantitativ şi calitativ**. În acest sens sistemul de intervenţie, asupra solului şi plantelor, prin mijloace de fertilizare (amendamente, îngrăşăminte, pesticide) trebuie să aibă la bază cunoaşterea amănunţită a însuşirilor iniţiale ale acestora şi a modului de evoluţie a solului sub impactul lor. Astfel, aplicarea măsurilor agrochimice în scopul sporirii şi menţinerii fertilităţii solurilor şi a asigurării nutriţiei plantelor la niveluri optime, conform cu cerinţele de consum specifice și global în nutrienți al fiecărei specii de plantă, nu se pot realiza fără un **control agrochimic riguros şi permanent asupra solului prin complexa lucrare de CARTARE AGROCHIMICĂ.**

Această amplă lucrare de Cartare agrochimică se realizează în țara noastră în cadrul Oficiilor pentru Studii Pedologice și Agrochimice de la nivelul fiecărui județ și se studiază în cadrul specializării de Agricultură din universitățile agricole.

Este important de reținut că până la Revolutie se realiza Cartarea agrochimică periodic (odata, la 3-4 ani) pe întreaga suprafață arabilă a țării prin Oficiile de Studii Pedologice și Agrochimice județene, din subordinea Institutul de Cercetări pentru Pedologie și Agrochimie București (ICPA-Bucuresti).

Până în 1995, rezultatele ANALIZELOR DIN CARTAREA AGROCHIMICĂ realizată de OSPA județene, au stat la baza MONITORINGULUI STĂRII DE FERTILITATE A SOLURILOR din țara noastră, a unor ANCHETE DE MEDIU în cazul poluării solurilor cu diverse substanțe și A STABILIRII CORECTE A DOZELOR DE FERTILIZANȚI SAU ÎNGRĂȘĂMINTE ORGANO-MINERALE în realizarea tehnologiilor raționale de fertilizare a culturilor agricole și horticole.

La ora actuală aceste oficii se autofinanțează și sunt în subordinea Ministerului Agriculturii, dovadă că realizarea lucrării de Cartare agrochimică este obligatorie pentru propunerile de proiecte în vederea accesării fondurilor europene în domeniul agriculturii și horticulturii. Fără aceste rezultate ale Cartării agrochimice, proiectele nu sunt eligibile.

De asemenea specialiști agronomi care au afaceri agricole și horticole și cei care se ocupă cu lucrarea pământului pentru cultura plantelor sau coordonează activități agronomice, au nevoie de această lucrare importantă de Cartare agrochimică pentru a realiza o tehnologie corectă de cultivare a plantelor agricole și horticole, printr-o fertilizare rațională și echilibrată a suprafețelor de teren, conform cu rezervele de elemente nutritive din sol și consumul specific și global al plantelor în nutrienți.

Lucrare de Cartare agrochimică cuprinde practic două categorii complexe de analize agrochimice specifice:

a. Controlul stării de fertilitate a solurilor prin analiza solului (care sunt obligatoriu de realizat);
b. Analiza plantei - mijloc de control al fertilităţii solului (la cererea beneficiarului).

DEFINIŢIE, FAZE DE EXECUŢIE ŞI CONŢINUT AL CARTĂRII AGROCHIMICE

CARTAREA AGROCHIMICĂ care constă în executarea analizelor agrochimice de soluri în cicluri, cu stabilirea de măsuri de fertilizare şi amendare pentru obţinerea unor producţii agricole şi horticole cantitativ şi calitativ superioare, în condiţiile de dezvoltare optimală a principalilor indici agrochimici, ca o măsură deosebit de importantă a conservării şi sporirii fertilităţii solurilor.

Metodele de control al fertilităţii solurilor cuprinse în lucrarea de Cartare agrochimică vizează, pe lângă analizele de sol şi plantă în privinţa stării de consum specific şi global al plantelor în nutrienţi şi o amplă testare a fertilităţii prin teste agrochimice de soluri şi plante, în mod periodic şi sistematic, ce oferă ştiinţei şi practicii informaţii şi date suficiente privind starea fertilităţii momentane a solului cât şi evoluţia în timp a indicatorilor agrochimici de calitate a acestora.

CARTAREA AGROCHIMICĂ, denumită tehnic şi studiul agrochimic complet al solurilor este o activitate specifică domeniului agronomic, care prin analize de sol, efectuate şi repetate ciclic, evidenţiază starea reacţiei şi aprovizionarea momentană în N, P, K. În baza acestor date analitice se întocmesc **piesele desenate ale cartării (CARTOGRAMELE), planurile şi programele de amendare şi fertilizare, precum şi aprecierile legate de evoluţia stării de fertilitate a solurilor.**

În funcție de scopul lucrării, specia de plantă cultivată și specificul terenului luat în cultură Studiul agrochimic complet (sau **cartarea agrochimică**) se execută în România de către Oficiile pentru Studii Pedologice şi Agrochimice, cu următoarea periodicitate,

- la 4 - 5 ani pentru soluri cultivate cu plante de câmp în sistem neirigat, pajişti semănate şi naturale;
- la 3 - 4 ani pentru plantaţiile pomicole şi viticole intensive;
- la 2 - 3 ani pentru culturile de legume cultivate în câmp şi alte culturi de câmp irigate;
- de 3 - 4 ori/an, pentru solurile din sere, înaintea şi în timpul ciclurilor de producţie;
- anual pentru solurile din solarii.

DESFĂŞURAREA CARTĂRII AGROCHIMICE presupune următoarele faze de lucru cu conţinut metodologic distinct: Faza pregătitoare; Faza de teren; Faza de laborator; Faza de cartografiere şi birou.

Sintetic fiecare fază a cartării agrochimice constă în următoarele:

- **Faza pregătitoare**: în care se pregăteşte baza topo-pedologică printr-un plan de situaţie (Sc. 1:10.000, 1:5000 sau 1:2000) pe care se trasează unităţile de sol.

- se pregătesc materialele de recoltare a probelor: sondele agrochimice, cutii, pungi, rulete, panglici, jaloane.

- **Faza de teren:** în această fază se execută următoarele lucrări şi acţiuni:

- se confruntă în teren planul de situaţie topo-pedologic cu realitatea şi modificările din teren;
- se delimitează şi se notează pe plan modul de folosinţă al terenului şi amplasarea culturilor cu detalii şi asupra plantelor premergătoare şi fertilizării acestora;
- se delimitează parcelele agrochimice de recoltare a probelor urmărindu-se gradul de omogenitate din punct de vedere agricol, al culturilor şi învelişului de sol.

Mărimea parcelelor agrochimice de recoltare a probei medii de sol este variabilă cu modul de folosinţă, cultura, nivelul de intensivizare şi tehnologia agricolă, după cum urmează:

- 2 - 5 ha pentru culturile de câmp situate pe terenuri plane sau slab înclinate;
- 5 - 10 ha pentru pajişti şi fâneţe naturale;
- 2 ha pentru culturi de câmp situate pe terenuri erodate;

- 0,5 - 2 ha pentru culturi irigate, legume în câmp, plantaţii pomicole şi viticole;
- 0,01 - 0,2 ha pentru solurile din sere şi solarii;
- poate avea şi alte mărimi, după comanda beneficiarului sau aprecierea din partea specialistului a gradului de neuniformitate a terenului studiat.

Recoltarea probelor se face cu sondele agrochimice, la următoarele adâncimi de prelevare:

- 0 - 20 cm pentru culturi de câmp;
- 0 - 10 cm pentru păşuni şi fâneţe naturale;
- 0 - 40 cm şi chiar 0 - 60 cm pentru plantaţiile viticole şi pomicole cu teren desfundat (după adâncimea de desfundare a terenului şi de încorporare a îngrăşămintelor);

Lucrarea propriu-zisă de recoltare se face prin prelevări de probe individuale parţiale, parcurgând în zig-zag sau în diagonala parcela, realizând proba medie agrochimică din 20 - 30 sondaje sau probe parţiale.

Probele medii agrochimice prelevate şi trecute în cutii sau pungi se numerotează pe planul de situaţie şi pe cutie sau pungă. Pentru toate probele se întocmeşte un borderou de probe de sol recoltate ce însoţeşte probele în laborator.

- **Faza de laborator**: în care se analizează probele uscate, mărunţite (măcinate), prin următorii indici agrochimici:

- *pH-ul în suspensie apoasă,* iar la solurile cu pH <5,8-6,0 (amendabile) se determină şi *suma bazelor, aciditatea hidrolitică*, valori utilizate în calculul gradului de saturaţie în baze (V%) şi a necesarului de amendamente;

La solurile saline-alcaline, amendabile (cu pH >8,4) se determină *conţinutul total de săruri solubile (CTSS), capacitatea totală de schimb cationic (T)* şi *conţinutul de Na – schimbabil,* valori ce servesc la calculul procentului de sodiu adsorbit (PSA).

- *conţinutul de fosfor – mobil, potasiu mobil,* iar la probe reprezentative (aproximativ 10%) se determină *humusul* şi se calculează *indicele de azot (IN).* Dacă beneficiarul comandă detalierea acestui indicator, humusul şi IN se determină pentru toate probele agrochimice;
- pentru legumele şi alte specii cultivate în sere, analizele au următoarea specificitate: se determină pH-ul, conţinutul de N mineral, P şi K, solubile, ca valori şi rezerve hidrosolubile;
- dacă sunt şi alte probleme agrochimice de elucidat – carenţe sau excese de nutriţie – analizele se detaliază la alte macroelemente (S, Ca, Mg), la microelementele esenţiale pentru plante (Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo), ca şi prin alte sortimente şi metodologii analitice.

Rezultatele analizelor de sol se înscriu, după ordinea din plan şi borderou, într-un buletin de analiză.

- **Faza de cartografiere şi birou**: cuprinde următoarele activităţi tehnice:

- anterior întocmirii planului şi programelor de amendare şi fertilizare se întocmesc *cartogramele agrochimice: a pH-ului* cu delimitarea suprafeţelor amendabile, *a azotului, fosforului, potasiului şi una sintetică* ce cuprinde amplasarea culturilor pe planul de situaţie, cu valorile medii agrochimice şi eventual formulele de fertilizare (kg s.a. N, P, K) şi amendare (doze t/ha);
- buletinele de analiză conţin o interpretare a valorilor agrochimice după limitele cunoscute şi stabilite anterior (ICPA, 1979, 1981);
- întocmirea cartogramelor, grafica şi culorile de reprezentare a indicilor agrochimice se face după următoarele criterii: (tabelele 11, 12, 13, 14).

Tabel 11

Scara de interpretare şi reprezentare a reacţiei (după pH_{H2O})

Interval pH_{H2O}	Starea de reacţie a solului	Culoarea de reprezentare pe cartogramă
<5,0	Puternic acidă	Roşu închis (aprins)
5,01-5,80	Moderat acidă	Roşu deschis
5,81-6,80	Slab acidă	Galben
6,81-7,20	Neutră	Verde
7,21-8,40	Slab alcalină	Albastru deschis
>8,41	Moderat, puternic alcalină	Albastru închis

Tabel 12

Limitele şi scara de interpretare şi reprezentare a conţinutului de azot al solului (după IN)

Limite IN	Starea de asigurare cu N a solului	Culoarea de reprezentare pe cartogramă
≤2,0	Slabă	Roşu
2,1-4,0	Medie	Galben
4,1-6,0	Bună	Albastru deschis
≥6,1	Foarte bună	Albastru închis

Tabel 13

Scara de interpretare şi reprezentare a conţinutului de fosfor mobil (după P-AL, ppm)

Culturi de câmp, pajişti, fâneţe, plantaţii horticole clasice	Legume de câmp, plantaţii pomicole şi viticole intensive, hamei	Starea de aprovizionare cu P-mobil	Culoarea de reprezentare pe cartogramă
≤8,0	≤36,0	Foarte slabă	Roşu închis
8,1-18,0	36,1-72,0	Slabă	Roşu deschis
18,1-36,0	72,1-108,0	Medie	Galben
36,1-72,0	108,1-144,0	Bună	Albastru deschis
≥72,1	≥144,1	Foarte bună	Albastru închis

Tabel 14

Scara de interpretare şi reprezentare a conţinutului de potasiu mobil (după K-AL, ppm)

Culturi de câmp, pajişti, fâneţe, plantaţii horticole clasice	Legume de câmp, plantaţii pomicole şi viticole intensive, hamei	Starea de aprovizionare cu K-mobil	Culoarea de reprezentare pe cartogramă
≤66,0	≤132,0	Slabă	Roşu
66,1-132,0	132,1-265,0	Medie	Galben
132,1-200,0	265,1-400,0	Bună	Albastru deschis
≥200,1	≥400,1	Foarte bună	Albastru închis

Dosarul agrochimic final al cartarii agrochimice cuprinde următoarele piese desenate şi scrise:

- buletinele de analiză (ataşate ca anexă);
- cartogramele agrochimice (sunt hărţi simplificate) în număr de 5 (***Cartograma reacţiei solului (după valorile pH-ului)***, ***Cartograma azotului (după I_N), Cartograma fosforului (după P-AL), Cartograma potasiului (după K-AL), Cartograma agrochimică sintetică***);
- planul de fertilizare şi amendare;
- interpretarea şi caracterizarea agrochimică a solurilor;
- recomandări privind aplicarea îngrăşămintelor şi amendamentelor.

De menţionat cu privire la ***Cartograma agrochimică sintetică***: Conţinutul acestei cartograme deţine *delimitarea parcelelor de fertilizare şi amendare* care pe baza datelor analitice

formează suprafeţele omogene agrochimic din punct de vedere al stării reacţiei şi asigurării cu elemente nutritive (fig. 3.3.).

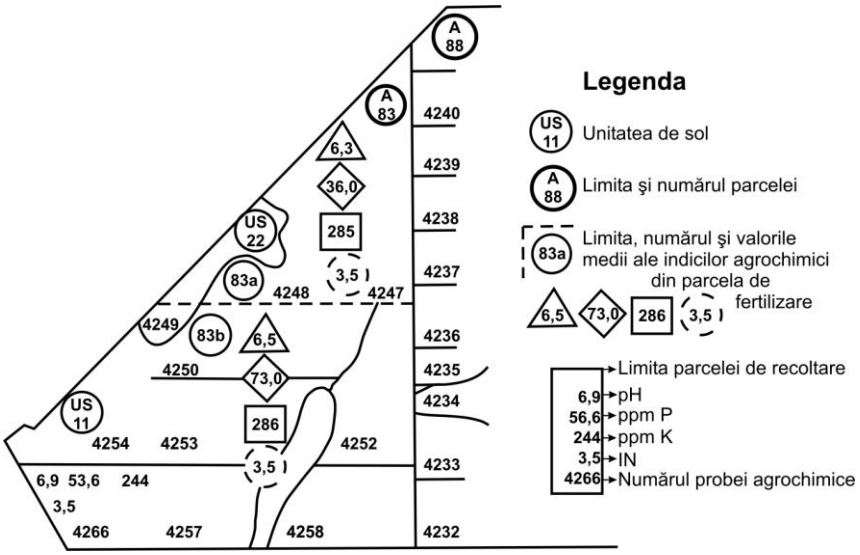


Fig. 3.3. Datele înscrise pe cartograma agrochimică sintetică
(după VINTILĂ IRINA şi colab., 1984).

În fiecare parcelă agrochimică sunt înscrise în primul rând numerele cadastrale (topografice) iar dacă aceasta suferă o subîmpărţire, se adaugă în mod explicit o cifră romană (de recunoaştere, de delimitare în cadrul aceleiaşi parcele). Întrucât parcelele agrochimice şi de fertilizare se delimitează pe baza valorilor (însuşirilor) agrochimice ale solurilor, fiecare parcelă are înscrise valorile medii ale indicatorilor pH, I_N, P-AL şi K-AL.

Pentru a spori valoarea practică a cartogramei sintetice, inclusiv a cartării, aici se poate face o amplasare a culturilor pe anul următor lucrării (prin legendă a culorilor pentru fiecare plantă) şi alături de valorile medii agrochimice să se înscrie dozele $CaCO_3$ sau $CaSO_4$ (după caz), de N, P şi K la unitatea de suprafaţă, calculate în această fază.

În concluzie trebuie ştiut că această amplă lucrare de Cartare agrochimică **e**ste metoda cea mai uzuală, accesibilă şi răspândită ca studiu periodic complex al solurilor cu obiective şi atribuţii curente în recomandarea sistemelor de fertilizare pentru soluri şi culturi agricole şi horticole dar şi pentru menţinerea şi ridicarea fertilităţii solului pe termen durabil. Din caracterul complex se defineşte şi eficienţa ca metodă de evaluare şi control al fertilităţii solurilor.

Aprofundarea metodologică şi analitică a cartării agrochimice i-au adus în ultimele 2-3 decenii mai mult caracterul unui studiu agrochimic aprofundat fundamentat ştiinţific şi extrem de util producţiei vegetale şi managementului fertilităţii solurilor.

5.7. BIBLIOGRAFIE

1. Marilena Mărghitaş, Cătălin Băluţiu, 1996, Agrochimie – Lucrări practice, Tipo Agronomia, Cluj-Napoca ;
2. Marilena Mărghitaş, 2003, Agrochimie, Ed. AcademicPres, Cluj-Napoca;
3. Rusu Mihai, Marilena Mărghitaş, Tania Mihăiescu, I.Oroian, Adelina Dumitraş, 2005, Tratat de Agrochimie, Ed. Ceres, Bucureşti ;
4. Mihai Rusu, Marilena Mărghitaş, Constantin Toader, Mihaela Mihai, 2010, Cartarea Agrochimică -Studiul Agrochimic al Solurilor- Editura AcademicPres, Cluj-Napoca;
5. Marilena Mărghitaş şi colab., 2011, Manual de bune practici în tehnologia fertilizării plantelor agricole, Ed. AcademicPres, Cluj-Napoca ;
6. **Marilena Mărghitaş, 2020-2021, Agrochimie ecologică, Notiţe curs.**

Data: **Realizat,**

Cluj-Napoca, la 31.01.2021 **Prof. dr. Marilena Mărghitaş**