

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
FAKULTA AGROBIOLÓGIE A POTRAVINOVÝCH
ZDROJOV**

1129030

**REGULÁCIA STRESU RASTLÍN MINERÁLNOU
VÝŽIVOU: ÚLOHA DRASLÍKA.**

2010

Soňa Šédová

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
FAKULTA AGROBIOLÓGIE A POTRAVINOVÝCH
ZDROJOV**

**REGULÁCIA STRESU RASTLÍN MINERÁLNOU
VÝŽIVOU: ÚLOHA DRASLÍKA.**

Bakalárska práca

Študijný program :	Bakalársky študijný program
Študijný odbor :	6.1.1 Všeobecné poľnohospodárstvo
Školiace pracovisko:	Katedra fyziológie rastlín
Školiteľ :	Ing. Marek Kovár, PhD.

Nitra, 2010

Soňa Šédová

Čestné vyhlásenie

Podpísaná Soňa Šédová vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Regulácia stresu rastlín minerálnou výživou: úloha draslíka“ vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry .

Som si vedomá zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 6. mája 2010

Soňa Šédová

Pod'akovanie

Touto cestou si dovoľujem poďakovať vedúcemu bakalárskej práce Ing. Marekovi Kovárovi PhD. za poskytnuté informácie a vytvorenie priaznivých podmienok pri vypracovaní záverečnej práce na Katedre fyziológie rastlín.

Abstrakt

Rastlinná produkcia je nevyhnutná pre zachovanie života na Zemi avšak rastliny sú počas svojho vývoja vystavené klimatickým zmenám ktoré často veľmi nepriaznivo ovplyvňujú množstvo a kvalitu úrody. Agroklimatické analýzy potvrdzujú vzrastajúci vplyv počasia na poľnohospodárstvo vplyvom klimatických zmien, hlavne energetického a vodného režimu. Tieto zmeny môžu mať mnohostranné, niekedy kladné inokedy negatívne dôsledky. Takisto neustále sa zvyšujúci počet obyvateľov na Zemi nás núti hľadať spôsob, ako zabezpečiť dostatok kvalitných, zdravotne nezávadných potravín s vysokou nutričnou hodnotou.

Z tohto dôvodu je dôležité poznať metódy, ktoré by mohli pozitívne ovplyvniť úrodu poľnohospodárskych plodín. Keďže rastliny prijímajú živiny vo forme anorganických látok z pôdneho roztoku, vhodnou minerálnou výživou sa dá udržať prípadne zvýšiť ich produkčná výkonnosť. Na využitie týchto poznatkov je potrebné poznať fyziologické procesy prebiehajúce v rastlinách pôsobením environmentálneho stresu a mechanizmy prispôsobenia sa rastlín nepriaznivým faktorom.

Kľúčové slová: Vodný režim, sucho, osmoregulácia, fotosyntéza, minerálna výživa, draslík

Summary

Crop production is necessary to preserve life on Earth, but the plants are during its development exposed to climatic changes, which often adversely affect the quantity and quality of crops. Agroclimatic analysis confirms the growing influence of weather on agriculture in effect of climatic changes, especially energy and water regime. These changes may have multilateral, sometimes positive another time negative consequences. Also constantly increasing population of the Earth is forcing us to find a way to ensure high-quality, safe food of high nutritional value.

Therefore it is important to know the methods that could positively affect crop yield. Forasmuch plants receive the nutrients in the form of inorganic compound from soil solution, an appropriate mineral nutrition can maintain or increase their production efficiency. To use this knowledge it is necessary to know physiological processes happening in plants by the instrumentality of environmental stress and mechanisms of plant adaptation to adverse factors.

Key words: Water regime, drought, osmotic adjustment, photosynthesis, mineral nutrition, potassium

Obsah

Obsah	6
Zoznam ilustrácií	8
Zoznam tabuliek	9
Zoznam skratiek a značiek	10
Úvod	11
1 Cieľ práce	13
2 Metodika práce	14
3 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky	15
3.1 Vodný režim	15
3.1.1 Zmeny vodnej bilancie rastlín	16
3.1.2 Adaptácia rastlín na stresové podmienky	18
3.1.3 Prenos signálu o suchu	19
3.1.4 Význam prieduchového aparátu	19
3.2 Fotosyntéza	21
3.2.1 Pigmenty fotosyntézy	22
3.2.2 Tmavá fáza fotosyntézy	23
3.2.3 Faktory ovplyvňujúce fotosyntézu	24
3.2.4 Vplyv deficitu minerálnych prvkov na fotosyntézu	25
3.3 Fyziologické aspekty minerálnej výživy	27
3.3.1 Príjem živín a transportné procesy v rastlinách	27
3.3.2 Jednotlivé typy prenášačov v rastline	29
3.3.3 Úloha kanálov v iniciácii a prenose signálu v rastlinách	31
3.3.4 Prehľad minerálnych prvkov	32
3.3.5 Význam jednotlivých prvkov pre rastliny	33
3.4 Význam draslíka vo výžive rastlín	38
3.4.1 Draslík v pôde	40
3.4.2 Význam draslíka v osmoregulácii rastlín	41
3.4.3 Význam draslíka pre akumuláciu a skladbu bielkovín v zrne	42
3.5 Podiel výživy na zvyšovaní úrod obilnín	43
3.5.1 Vplyv deficitu makroprvkov na rast a fotosyntézu	46
3.5.2 Hnojenie obilnín	47
3.5.3 Jesenné hnojenie pšenice a jačmeňa	48

3.5.4 Výživa a hnojenie kukurice satej	52
4 Návrh na využitie poznatkov v praxi	55
5 Záver	57
6 Zoznam použitej literatúry	59

Zoznam ilustrácií

Obr. 1 Zatváranie a otváranie prieduchov

Obr. 2 Schéma chloroplastu

Obr. 3 Fotosystém I. a II.

Obr. 4 Sodno - draselná pumpa

Obr. 5 Pohyb molekúl cez bunkové membrány

Obr. 6 Príznaky deficitu draslíka

Zoznam tabuliek

Tab. 1 Vplyv deficitu makroprvkov na hmotnosť nadzemných častí kukurice, rýchlosť čistej fotosyntézy (P_N), obsah chlorofylu v porovnaní s úplným živným roztokom

Tab. 2 Prehľad základných minerálnych živín (podľa Fageria a kol., 1997)

Tab. 3 Prvkové zloženie popola niektorých poľných plodín (podľa údajov Grodzinskeho A.M. a Grodzinskeho D.M., 1973)

Tab. 4 Formy draslíka v pôde (Baier-Baierová, 1985)

Tab. 5 Vplyv draslíka na výnos a akosť jarnej pšenice (Schafer, Siebold, 1972)

Tab. 6 Prehľad aplikácie živín v poľnohospodárstve SR za obdobie rokov 1950- 1995

Tab. 7 Vplyv aplikovaných hnojív NPK na úrody jednotlivých plodín na Slovensku v porovnaní s rokmi 1986-1990 (roky 1986-1990=100%)

Tab. 8 Vplyv deficitu prvkov na rastliny

Tab. 9 Odporúčané ročné dávky draslíka pre ornú pôdu v priemyselných a organických hnojivách v rozdelení na podkategórie zásobenosti.

Zoznam skratiek a značiek

ABA	kyselina abscisová
ADP	adenozíndifosfát, látka transportujúca chemickú energiu
AMK	aminokyselina
ATP	adenozíntrifosfát, látka transportujúca chemickú energiu
CAM	Crassulacean acid metabolism, typ fotosyntézy rastlín
$C_6H_{12}O_6$	chemický vzorec glukózy
CO_2	oxid uhličitý
DNA	kyselina deoxyribonukleová
FS ₁	Fotosystém I
FS ₂	Fotosystém II
H ⁺	katión vodíka
hν	svetelná energia
H ₂ O	chemický vzorec vody
HCO ³⁻	uhličitanový anión
MPa	jednotka tlaku, 10 ⁶ Pa
NADPH	nikotínamidadenínindinukleotidfosfát redukovaný
N _{an}	obsah anorganického dusíka v pôde
O ₂	molekula kyslíka
OA	osmotická adjustácia
P ₇₀₀	Pigment fotosystému I
P ₆₈₀	Pigment fotosystému II
PEP	fosfoenolpyruvátcarboxyláza
RNA	kyselina ribonukleová
RWC	relatívny obsah vody
VSD	vodný sýtoštný deficit
ψ _w	vodný potenciál
ψ _s	osmotický potenciál

Úvod

Výživa a zdravie človeka jednoznačne závisia na rastlinných produktoch, v ktorých sa nachádzajú takmer všetky minerálne a organické látky potrebné pre zdravý vývoj jedinca. Pritom výživu ľudstva zaisťuje relatívne malý počet kultúrnych rastlín, medzi nimi rozhodujúcu úlohu hrajú obilniny- pšenica, kukurica a ryža.

Počet obyvateľov na Zemi sa v priebehu uplynulých rokov zvyšoval, pričom mimoriadny nárast obyvateľstva sa sústredil do posledných storočí. V súčasnej dobe je potrebné počítať s priemerným ročným prírastkom 60 až 80 miliónov ľudí, pričom tento prírastkoch sa koncentruje do rozvojových krajín, čiže do najchudobnejších regiónov. Naproti tomu hlavný zdroj výživy, orná pôda, má rozlohu ktorú dosiahla v 50. rokoch minulého storočia. To znamená, že priemerná plocha ornej pôdy pripadajúca na jedného obyvateľa klesla z 0,28 ha v roku 1986 na 0,21- 0,22 v roku 2006.

V súčasnej dobe hladuje okolo 800 miliónov ľudí, z toho ročne zomrie asi 30 000 detí od hladu. Ak sa nestane nejaká významná zmena, dá sa očakávať, že 85% všetkých obyvateľov bude žiť v dnešných rozvojových krajinách. Z globálneho hľadiska platí, že sme stále viac závislí na prírodných zdrojoch- voda, pôda, vegetácia, biodiverzita, fosílna palivá. Tieto zdroje využívame omnoho viac ako kedykoľvek predtým a zanechávame budúcim generáciám omnoho chudobnejšiu planétu.

Ľudstvo si priamo alebo nepriamo privlastňuje asi 40% ročnej čistej fotosyntetickej produkcie rastlín. Toto množstvo samozrejme chýba ostatným druhom organizmov z ktorých mnohé sú odsúdené na vyhynutie. Mnohé intenzívne využívané poľnohospodárske pôdy sú vyčerpané a nedokážu poskytnúť dostatočnú úrodu, dochádza k erózii pôdy následkom výrubu veľkých plôch lesov, púšte sa rozširujú a dochádza k úbytku vodných zdrojov. Na jednej strane teda máme zvyšujúcu sa potrebu nakŕmiť viac a viac ľudí a na strane druhej privysoký životný štandard v ekonomicky rozvinutých krajinách, ktorý nie je z dlhodobého hľadiska udržateľný. Zvyšovanie výnosov obilnín sa stáva obtiažne, účinok vyšších dávok hnojív klesá a závlahy na mnohých miestach sú obmedzené.

V minulom storočí rástla poľnohospodárska produkcia predovšetkým zväčšovaním výmerov ornej pôdy, kým v súčasnosti je táto možnosť vyčerpaná a musíme počítať len so zvyšujúcou sa produktivitou. Používanie hnojív a pesticídov v intenzívnom poľnohospodárstve čiastočne kompenzujú degradáciu pôdy. Je evidentné, že bez dodania minimálne rovnakého obsahu živín, ako z pôdy odčerpáme

dôjde k poklesu úrodnosti pôdy prípadne jej trvalému poškodeniu. Toto dodanie však nemusí byť len vo forme priemyselných hnojív, pestovaním bôbôvitých rastlín alebo rastlín na zelené hnojenie obohatíme pôdu o dusík a navyše vplývajú priaznivo na pôdnu štruktúru.

Okrem zásahov človeka do procesu tvorby biomasy významnú úlohu zohrávajú klimatické zmeny a ich dopady na poľnohospodárstvo. Agroklimatické analýzy potvrdzujú vplyv počasia na poľnohospodárstvo hlavne zmenami energetického a vodného režimu. K týmto zmenám patria nasledovné: zmeny koncentrácie CO₂, zmeny teplotnej zabezpečenia, zmeny fenologických pomerov, zmeny agroklimatického produkčného potenciálu, zmeny vlhovej zabezpečenia, zmeny podmienok prezimovania, chemických a fyzikálnych vlastností pôdy, zmeny vo výskyte chorôb, škodcov a burín.

1 Cieľ práce

Všeobecným cieľom práce bolo popísať možnosti minimalizácie účinku stresových situácií, ktoré počas vegetačného obdobia limitujú produkčnú výkonnosť plodín optimalizáciou výživového režimu. Medzi parciálne ciele patrí:

- charakterizovať stres a stresové odpovede rastlín;
- popísať možnosti regulácie stresového stavu rastliny minerálnou výživou;
- charakterizovať úlohy draslíka v minimalizácii účinku vodného stresu a udržiavaní produkčnej výkonnosti plodín.

2 Metodika práce

Bakalárska práca je teoretického charakteru. Vychádza z prevzatia a nového zostavenia dosiahnutých vedeckých poznatkov v problematike regulácie stresového stavu rastlín minerálnou výživou, s využitím štúdia domácej a zahraničnej literatúry, ako aj materiálov dostupných na serveroch siete internet.

Spracovávanie a zostavenie poznatkov sa uskutočnilo v troch základných fázach v tesnej súčinnosti s vedúcim práce. Etapy boli zostavené nasledovne:

1. štúdium domácich literárnych zdrojov a prienik do riešenej problematiky;
2. štúdium a spracovanie nových literárnych údajov, publikovaných v zahraničných periodikách;
3. logické a kritické zostavenie zhromaždených poznatkov na základe naformulovaných cieľov.

3 Výsledky štúdia o súčasnom stave riešenej problematiky

3.1 Vodný režim

Suchozemská vegetácia, ktorá má nezastupiteľnú úlohu v ekosystémoch vo výmene plynov, v produkcii kyslíka, biomasy a komponentov nevyhnutných v kolobehu látok a energie ako aj v poľnohospodárskej produkcii, je v priebehu aktívnej produkčnej činnosti vystavená celému komplexu abiotických a biotických faktorov. Negatívne vonkajšie vplyvy - stresory rastliny zachytávajú prostredníctvom receptorov, ktoré sú zvyčajne rozmiestnené po celej rastline.

Bunka po vystavení stresovému faktoru reaguje fázou poplachu, kedy prebieha príjem signálu, jeho vedenie a adekvátna odpoveď na úrovni aktivácie génov. Po nej nastupuje fáza rezistencie, kedy sa bunka zdanlivo vyrovnáva so stresom, navonok funguje normálne, ale vnútorne je to sprevádzané vysokou funkčnou aktivitou a syntézou stresových proteínov. Po tejto fáze zdanlivej adaptácie nastupuje fáza vyčerpania a nakoniec pri dlhodobom pôsobení stresového faktora vysokej účinnosti aj smrť bunky. Biologická charakteristika stresu a podmienky vzniku stresu v prirodzených podmienkach pestovania rastlín nie sú jednoducho definovateľné. Jedným zo zdrojov stresu rastlín je deficit vody.

Vzniká ak požiadavka rastlín na vodu presahuje jej fyziologicky prístupný obsah v pôde. Deficit pôdnej vody vedie k deficitu vody v rastline, ktorá vyvoláva vodný stres. Vplyvom pôdneho sucha prebiehajú v rastline rôzne biochemické zmeny. Narušuje sa výdaj vody, zatvárajú sa prieduchy čo má za následok zamedzenie fotosyntézy a zvýšenie intenzity dýchania. Podľa Žolkieviča (1958) sa znižuje množstvo fosforylovaných látok v bunkách čo má za následok zníženie obsahu ATP, čím sa zoslabuje akumulácia a transformácia energie.

Vzhľadom na silu a dĺžku pôsobenia sucha rastlina redukuje rast nadzemných častí čo v konečnom dôsledku vedie k redukcii úrody (Olšovská, 2008). Vodný stres rastlín spôsobený suchom je v mnohých krajinách kľúčovým problémom. Zatiaľ čo u nás je zavlažovaných 5% poľnohospodárskych pôd, napr. v Izraeli a v iných krajinách je pod závlahou až 95% pôdy.

Zaujímavá je súvislosť medzi minerálnou výživou a ovplyvňovaním vodného režimu rastlín. Uvádza sa (Bízík, 1978), že draslík zohráva pozitívnu úlohu v hospodárení s vodou a tak isto sa podieľa aj na translokácii asimilátov.

V pokusoch s kultivarmi jačmeňa jarného, ktoré boli vystavené vodnému stresu bolo potvrdené, že vyššie dávky draslíka do značnej miery eliminujú vodný stres, zvyšujú príjem vody aj v sťažených podmienkach, zlepšujú sa hydratačné vlastnosti rastliny a zvyšuje akumulácia asimilátov. Najvyššia hmotnosť sušiny stebiel pokusných rastlín bola zistená pri nadmernom draselnom hnojení. Dusíkaté hnojenie posilňuje tvorbu listového aparátu na úkor stebiel. V deficitných podmienkach zásobenia vodou zvyšuje ekostabilitu podpora mohutnosti vertikálnych orgánov alebo zvýšenie pomeru stebelá: listy (Brestič, 1988). Potvrdili sa predpoklady, že existujú spojitosti medzi faktormi prostredia a konštrukciou rastliny, jej produkčnými vlastnosťami.

Vodný stres spôsobuje v V.- VII. etape organogenézy 23- 35% redukciiu zŕn. Dusíkaté hnojenie v interakcii s vodným stresom znižuje efekt akumulácie asimilátov. Draselné hnojenie pozitívne ovplyvňuje schopnosti tolerancie voči vodnému stresu (Brestič, 1988).

3.1.1 Zmeny vodnej bilancie rastlín

Voda je súčasťou všetkých rastlinných buniek a je pre život rastliny nevyhnutná. V rastlinnom tele je dôležitým rozpúšťadlom, látky sa v rastline dopravujú vo forme vodných roztokov. Je tiež zdrojom vodíka a kyslíka, zúčastňuje sa asimilácie a disimilácie i ďalších fyziologických procesov. Úroveň zabezpečenia rastlín vodou významne ovplyvňuje produkciu. Miestom príjmu vody je najmä koreň a miestom výdaja prevažnej časti prijatej vody je listová čepeľ.

Najväčšiu zložku z celkového obsahu vody v rastlinách tvorí transpiračná voda, ktorá predstavuje prostriedok na udržanie rovnovážnej vodnej bilancie. Optimalizácia vodného režimu rastlín, potrebného pre normálny priebeh fyziologických procesov je základným predpokladom zníženia dopadu extrémnych podmienok na funkčný stav rastlín. Základné informácie o vodnom stave rastlín poznáme z hodnôt vodného sýtosťového deficitu, vodného potenciálu a ďalších.

Vodný sýtosťový deficit (VSD) udáva percento vody, ktorá chýba rastline do úplného nasýtenia. Doplnkom VSD na hodnotu úplného maximálneho nasýtenia pletív je relatívny obsah vody RWC (%). RWC pod úroveň 90% znamená spravidla iniciovanie zatvárania prieduchov, akumulácie ABA v listoch, zníženie intenzity predlžovacieho rastu. Hodnoty 80% a menej sú sprevádzané zmenami v štruktúre pletív, metabolickými zmenami, akumuláciou prolínu a ďalších osmoticky aktívnych látok.

Hodnoty pod 70% už predstavujú zásah do priebehu základných fyziologických procesov.

Vodný potenciál (ψ_w) je považovaný za veličinu, ktorá je ukazovateľom fyziologického stavu rastliny. Hodnota vodného potenciálu nás informuje o tom, do akej miery rastlina trpí stresom z nedostatku vody. U zdravých, dobre zavlažovaných rastlín sa pohybuje ψ_w od $-0,2$ do $-0,6$ MPa, rastliny trpiace suchom majú ψ_w od -2 do -5 MPa (Švihra, 1989).

Osmotický potenciál (ψ_s) predstavuje potenciálnu energiu pre pohyb molekúl vody osmoticky cez semipermeabilnú membránu buniek z hypotonického roztoku do hypertonického. Má vždy zápornú hodnotu, teda čím je hodnota negatívnejšia, tým je roztok koncentrovanejší.

Vzťah medzi vodným, osmotickým potenciálom, turgorom a RWC sa mení v závislosti od druhu rastlín a aj typu buniek. Kým pri miernom strese rastlina aktivuje regulačné a adaptačné mechanizmy s cieľom obnoviť homeostázu, pri silnom vodnom strese už dochádza k metabolickým poruchám, inhibovaniu základných procesov príjmu a výdaja vody, poškodeniu fotosyntetického aparátu a pod.

V ontogenéze rastlín sú obdobia, kedy sú rastliny mimoriadne citlivé na nedostatok vody. Tieto obdobia nazývame kritickými a pre hlavné poľnohospodárske plodiny (Šebánek a kol., 1983; ex Švihra, 1989) spadajú do nasledujúcich fenologických fáz:

- Ozimné obilniny -steblovanie a klasenie
- Jarné obilniny -tesne pred klasením
- Proso -klasenie a nalievanie zrna
- Kukurica -kvitnutie a mliečna zrelosť

Poruchy z nedostatku vody majú nevratný vplyv na rast sušiny jednotlivých častí klasov i hmotnosť zrna. Ak je stres silný, rastlina nie je schopná regenerácie a môže znížiť celkový obsah živín (Brestič, 1988). V prípade dlhodobého vodného deficitu po kvitnutí môže byť konečná úroda kontrolovaná aj mobilizáciou asimilátov v stebloch a osmotickou úpravou funkčných fotosyntetizujúcich pletív, nakoľko obidva mechanizmy zabezpečujú dlhšiu životnosť a funkčnosť najmladších listov (zástavkového a podzástavkového) a súčasne retranslokujú fotoasimiláty a minerálne látky zo starších, rýchlo starnúcich listov do vyvíjajúcich sa zrn (Voltas et al., 1998; ex Olšovská, 2002). Ako bolo zistené, rastliny vystavené dlhodobej dehydratácii sú tiež

náchylnejšie na fotoinhibíciu, avšak genotypy s vyššou kapacitou pre osmotickú adjustáciu, spojenou s akumuláciou osmolytov v bunkách a poklesom osmotického potenciálu listov, môžu mať veľmi efektívny pohyb listov (skrúcanie, stáčanie), čím chránia fotosyntetický aparát pred účinkami silného žiarenia a prehrievania (Olšovská, 2002).

Z doteraz uvedeného vyplýva, že voda má mimoriadny význam v prírode. Je vlastne integrujúcim prvkom v celom ekosystéme, nakoľko je sprostredkovateľom rozhodujúcej časti energie v tomto systéme. Preto každý významnejší zásah do vodného režimu sa prejaví aj na energetickej bilancii systému, a tým aj na celkovej produkcii a kvalite biomasy.

3.1.2 Adaptácia rastlín na stresové podmienky

Nevyhnutným predpokladom úspešného prežívania rastlín v stresových podmienkach je efektívna regulácia výmeny plynov. Keďže rastliny nemajú vyvinuté špeciálne orgány pre osmoreguláciu, kontrola príjmu a výdaja vody sa deje prostredníctvom ovplyvňovania rýchlosti transpirácie prieduchmi. Pri pôsobení vodného stresu dochádza v listoch rastlín k zatváraniu prieduchov. Na regulácii tohto procesu sa podieľajú fyzikálne a chemické signály.

Osmotické prispôsobenie je považované za jeden z najvýznamnejších mechanizmov, ktorý rozhoduje o tolerancii rastlín k suchu znížením osmotického potenciálu aktívnou akumuláciou širokého spektra rozpustných látok.

Osmoticky aktívne látky sa kumulujú v rastlinných bunkách v dôsledku pôsobenia environmentálneho stresu s cieľom znížiť osmotický potenciál (ψ_s) buniek pod osmotický potenciál (ψ_s) pôdneho roztoku a osmoticky z pôdy prijať vodu počas sucha alebo zvýšenej koncentrácie solí pri zasolení.

Hlavnými osmoticky aktívnymi látkami v bunke sú anorganické ióny K^+ , Cl^- , Na^+ , NO_3^- , Ca^{2+} alebo organické látky ako rozpustné cukry, voľné aminokyseliny (prolín, glycín), kvartérne amoniové zlúčeniny (glycínbetaín). Nevýhodou akumulácie anorganických iónov je, že vo vysokých koncentráciách v intracelulárnych priestoroch sú toxické. Na druhej strane, akumulácia organických látok v bunke je energeticky náročný proces, avšak udržiava vysokú koncentráciu osmoticky aktívnych látok neinhibujúcich cytoplazmatické enzýmy.

Za najvýznamnejšie anorganické osmotikum sa považuje draslík, jeho príspevok k osmotickej adjustácii je rozdielny podľa druhu rastlín (slnečnica 32%, pšenica až 80%). Na^+ , Cl^- , NO_3^- sú prítomné v bunkovom roztoku v nižšej koncentrácii, z čoho vyplýva záver, že ich príspevok k OA je limitovaný.

V procese osmotického prispôsobenia tak významnejšiu úlohu zohrávajú organické zlúčeniny. Polymerizáciou molekúl na veľké, alebo hydrolýzou makromolekulárnych látok na nízkomolekulárne bunka môže rýchlo meniť osmotický potenciál (ψ_s) s cieľom udržať homeostázu v rastline, čo vplýva na rýchlosť príjmu vody bunkou. Tým, že sa koncentrujú v cytoplazme, udržiavajú vodný potenciál (ψ_w) buniek dlhší čas stabilný a zvyšujú toleranciu rastlín na postupnú dehydratáciu.

Udržanie turgoru a objemu bunky prostredníctvom OA je dôležitým prejavom adaptácie rastlín na deficit vody minimalizujúc jeho nepriaznivý dosah na fyziologické funkcie a celkovú homeostázu. Genotypy rastlín s vyššou kapacitou pre OA majú vyššiu úrodnosť v podmienkach sucha (Morgan, 1995). Avšak vzťah medzi osmotickým prispôobením a hospodárskou úrodou je ovplyvnený aj mnohými ďalšími faktormi (Kovár, 2003).

3.1.3 Prenos signálu o suchu

Chemický signál o suchu v pôde má podobu molekuly kyselina abscisovej (ABA), stresového hormónu, ktorý sa tvorí v koreňových špičkách počas poklesu vodného potenciálu pôdy ale aj iných situácií, kedy sa rastlina môže nachádzať v strese. Kyselina abscisová sa transpiračným prúdom dostáva do prieduchov, kde spôsobuje rýchlu zmenu osmotického potenciálu zatváracích buniek prieduchov, čo má za následok osmotický transport vody z buniek von a následne pokles turgoru v zatváracích bunkách a ich zatvorenie. K zintenzívneniu reakcie prieduchov na prítomnosť ABA dochádza v prípade, ak už boli rastliny vystavené pôsobeniu sucha (Tardieu, Davies, 1992; ex Repková, 2007).

3.1.4 Význam prieduchového aparátu

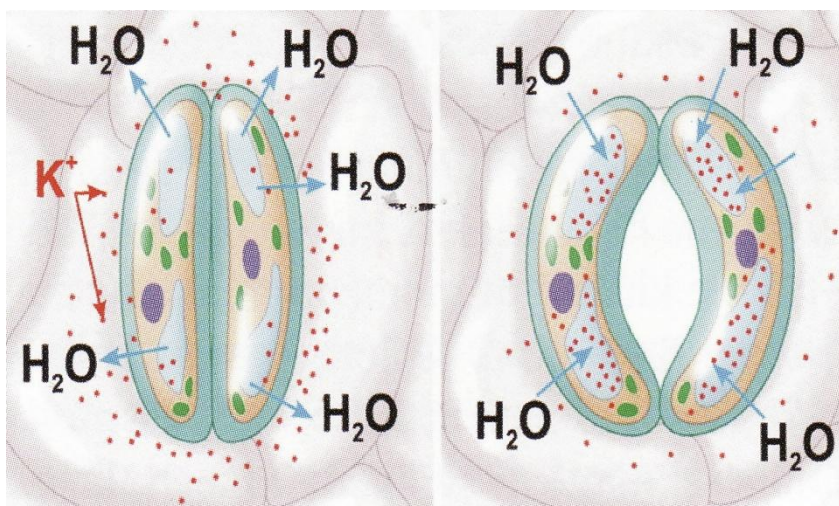
Tým, že rastliny sú súčasťou biosféry sú nútené zachytávať environmentálne signály a reagovať na ne. Komunikačným prostriedkom rastlín zostávajú prieduchy, tvoria približne 0,1-3% listovej plochy a sú cestou vstupu CO_2 pre fotosyntézu

a výstupu vodnej pary. Na liste sa súčasne nachádzajú prieduchy v rôznom štádiu vývinu. Sú lokalizované na vrchnej- adaxiálnej strane listu (epistomatické), spodnej- abaxiálnej (hypostomatické), alebo na oboch stranách listu (anfistomatické).

Dôležitú úlohu v regulácii vodného režimu rastlín zohrávajú rozdiely v otvorenosti prieduchov medzi abaxiálnou a adaxiálnou stranou listu. Prieduchy abaxiálnej strany listov vykazujú vyššiu citlivosť na chemický signál o suchu (ABA) ako adaxiálne prieduchy. To môžu súvisieť s rozdielnym množstvom ABA prístupným pre stomata (Olšovská, 2002). Heterogénne zatváranie prieduchov na listoch obilnín je významným mechanizmom, ktorý spolu s morfológickou úpravou a pohybmi listov, prispieva k uchovaniu vody najmä v prvých fázach dehydratácie (Olšovská, Brestič, 2001; ex Repková, 2007).

Pohyby prieduchov sú dôsledkom gradientov endogénnych faktorov v systéme koreň – stonka - list, ako aj signálov vonkajšieho prostredia. V prirodzených podmienkach sú rastliny vystavené zmenám vonkajších faktorov a reagujú na intenzitu a kvalitu svetla, CO₂, relatívnu vzdušnú vlhkosť, kyslík, teplotu, prístupnosť vody v pôde atď. Tieto faktory pôsobia na stupeň otvorenosti prieduchov stimuláciou resp. inhibíciou otvárania alebo zatvárania. Kontrolovaním efektívnosti výdaja vody rastlina súčasne upravuje fotosyntetickú aktivitu ako základ produkcie biomasy (Zima, 1999).

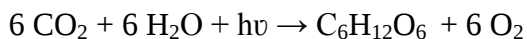
Prieduchy sú tvorené dvoma zatváracími bunkami, sú špecifické tým, že majú časti bunkových stien zhrubnuté. Významná je úloha draslíka v mechanizme otvárania a zatvárania prieduchov. Otvorenie prieduchov nastáva na svetle alebo v podmienkach vyššej vzdušnej vlhkosti, kedy sa v plazmaléme zatváracích buniek prieduchov aktivuje protónová pumpa ktorá poháňa tok protónov cez membránu. Tým znižuje elektrický potenciál na membráne, čo umožňuje príjem kationov draslíka do prieduchov, zníženie ich osmotického potenciálu a následne osmotický príjem vody. Vzhľadom na nerovnako zhrubnuté bunkové steny zatváracích buniek zvýšený turgor ich tlačí od seba, čo zväčšuje prieduchovú štrbinu medzi oboma bunkami. Pre zatvorenie prieduchov je potrebná depolarizácia plazmalémy zatváracích buniek vedúca k uzavretiu vstupných kanálov a otvoreniu výstupných kanálov pre osmoticky aktívne látky predovšetkým K⁺. Osmoticky aktívne látky sa vyplavujú do apoplastu buniek spolu s vodou, čo vedie k poklesu turgoru v bunkách a k zatvoreniu prieduchov. Prieduchy sa zatvárajú, ak je v prostredí nedostatok svetla, vody v pôde, zvýšená koncentrácia CO₂, znížená vlhkosť vzduchu.



Obr. 1: Zatváranie a otváranie prieduchov (prevzaté z: Olšovská et al., 2008)

3.2 Fotosyntéza

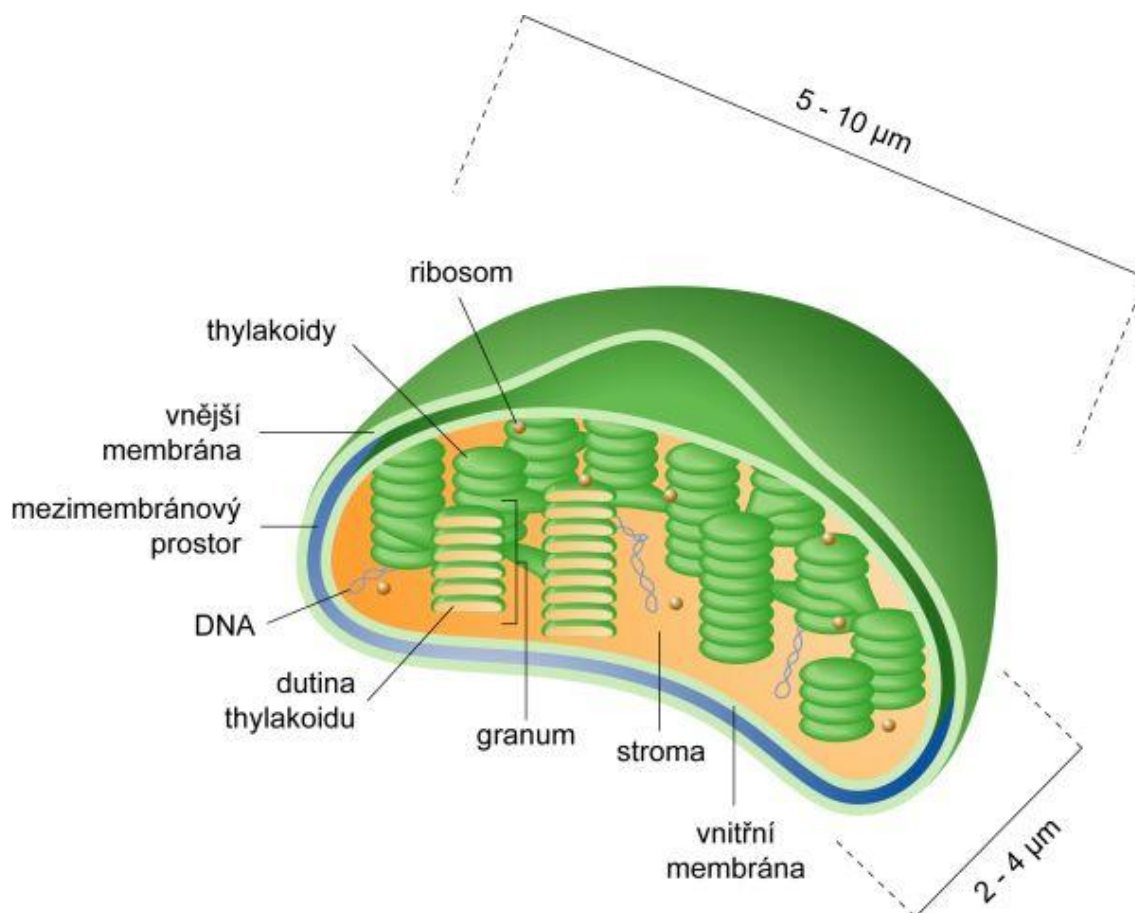
Fotosyntéza je zložitý proces, zahrňujúci fotochemické reakcie premeny svetelnej energie na energiu chemickú a chemosyntetické procesy asimilácie oxidu uhličitého a syntézu organických zlúčenín u autotrofných organizmov. Fotosyntéza je zároveň zdrojom kyslíka na Zemi, v jej procesoch sa vytvára do 90% ale aj viac fytohmoty, čo určuje i výšku úrody poľných plodín. Sumárna rovnica fotosyntézy vyzerá nasledovne:



avšak nevyjadruje podstatu zložitých reakcií asimilácie oxidu uhličitého a transformácie svetelnej energie.

Fotosyntéza prebieha v špeciálnych bunkových organelách - chloroplastoch. Tie sa skladajú z vnútorného systému membrán. Zvrásnením membrán vznikajú lamely a tylakoidy, ktoré sú usporiadané v skupinách a tvoria graná. V granách je lokalizovaná prevažná časť chlorofylu, pigmenty, bielkoviny a tuky nevyhnutné pre uskutočnenie procesu fotosyntézy (Michalík, 2008).

Fotosyntéza reakcie môžu prebiehať za svetla alebo za tmy- svetelná fáza prebieha v tylakoidoch, kým temnotná fáza v stróme chloroplastov.



Obr. 2: Schéma chloroplastu (prevzaté z Kodíček, 2004)

3.2.1 Pigmenty fotosyntézy

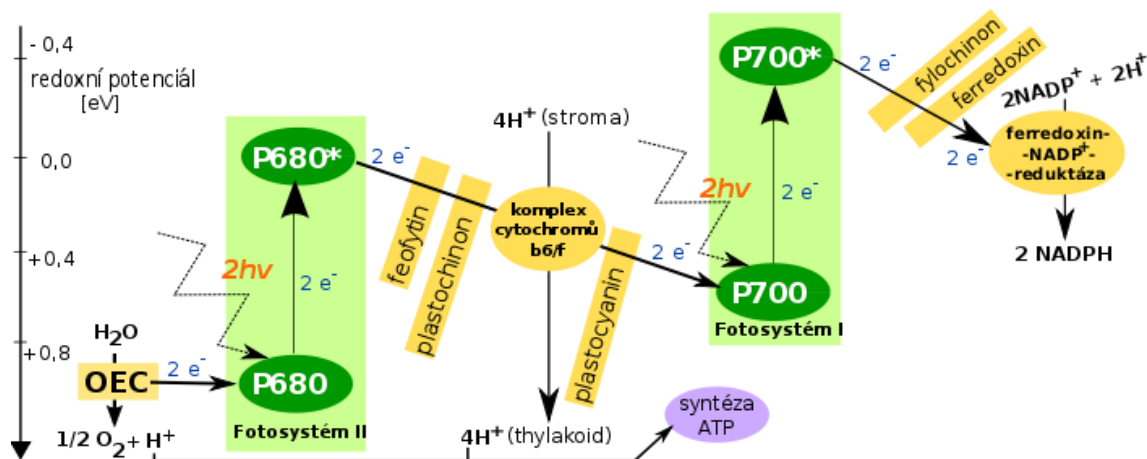
Vyššie rastliny obsahujú dva typy chlorofylu „a“ - tmavo modrý a chlorofyl „b“ - žltó-zelený v pomere a:b = 3:1.

Vzorec chlorofylu a : $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$

Vzorec chlorofylu b: $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$

Poznáme fotosystém FS_1 a fotosystém FS_2 , ktoré sú priestorovo oddelené, FS_1 sa nachádza na membránach stromy, FS_2 je lokalizovaný na membránach grán. Základom reakčného centra prvého pigmentového systému je pigment P_{700} a základom druhého pigmentového systému je forma chlorofylu nazvaná P_{680} .

K prvému fotosystému sa viaže cyklická fosforylácia, tvoria sa v nej 2 mol ATP potrebné k redukcii CO_2 . V FS_2 v procese necyklickej fosforylácií spolu s tvorbou NADPH a ATP prebieha fotolýza vody a produkcia kyslíka (Zima, 1999).



Obr. 3: Fotosystém I. a II. (prevzaté z Kodíček, 2004)

3.2.2 Tmavá fáza fotosyntézy

V tmavej fáze fotosyntézy dochádza k redukcii CO₂ na sacharidy prostredníctvom ATP a NADPH. Na základe vzniknutých sacharidových produktov delíme rastliny na typy C₃, C₄ a prechodný typ CAM.

U rastlín typu C₃ inak nazývaný Calvinov cyklus sa CO₂ viaže na ribulóza-1,5-bisfosfát prostredníctvom enzýmu ribulózabisfosfátkarboxyláza - oxygenáza (rubisco). Prvým stabilným produktom asimilácie CO₂ je kyselina 3- fosfoglycerová. Tvorbou fuktóza-1,6 – bisfosfát a regeneráciou ribulóza - 1,5 - bisfosfát sa cyklus opakuje.

Výhody tohto typu rastlín sú v schopnosti efektívnejšie pracovať v oblastiach s nižšími teplotami a menej intenzívnym osvetlením. Nevýhody spočívajú vo fotorespirácii t.j. dýchanie, čo je podmienené schopnosťou enzýmu ribulózabisfosfátkarboxyláza-oxygenáza katalyzovať karboxylačné aj oxidačné reakcie. Zvyšovanie pomeru CO₂ : O₂ podporuje asimiláciu CO₂ a znižovanie pomeru podporuje fotorespiráciu.

V chloroplastoch niektorých rastlín je enzým rubisco málo aktívny, naproti tomu je veľmi aktívna fosfoenolpyruvátkarboxyláza. Prvým stabilným produktom asimilácie CO₂ kde je akceptor kyselina fosfoenolpyrohroznová je štvoruhlíkatá kyselina oxaloctová. Tento cyklus sa nazýva Hatch - Slackov cyklus alebo fotosyntéza typu C₄. Vyskytuje sa u viacerých subtropických rastlín ako napríklad kukurica, cirok, cukrová trstina, loboda. Patria sem prevažne rastliny z čeľade Poaceae. Hlavnou prednosťou je nízka fotorespirácia, čo zabezpečuje vyššiu úrodu sušiny. Ďalšou výhodou je schopnosť

zabezpečiť asimiláciu CO_2 aj pri nižšej koncentrácii a v podmienkach vysokých teplôt. Nevýhoda je vyššia energetická náročnosť.

CAM typ fotosyntézy prebieha hlavne u rastlín žijúcich v arídnych podmienkach. Počas dňa majú prieduchy prevažne zatvorené. V noci, keď sú prieduchy otvorené, viažu veľké množstvo CO_2 na kyselinu oxaloctovú z ktorej vzniká kyselina jablčná. Cez deň, keď sú prieduchy zatvorené, kyselina jablčná podlieha dekarboxylácii a uvoľnený oxid uhličitý vstupuje do Calvinovho cyklu (C_3 typ). Z toho vyplýva, že fosfoenolpyruvátcarboxyláza je aktívna v noci a ribulózabisfosfátcarboxyláza cez deň (Michalík, 2008).

3.2.3 Faktory ovplyvňujúce fotosyntézu

Ako fotochemický dej fotosyntéza bezprostredne závisí od intenzity žiarenia. Tmavá fáza procesov závisí v prvom rade od teploty a koncentrácie CO_2 .

Závislosť rýchlosti fotosyntézy od intenzity žiarenia môžeme vyjadriť svetelnou krivkou fotosyntézy. Pri slabých intenzitách svetla narastá rýchlosť lineárne. Neskôr sa spomaľuje a po dosiahnutí saturačnej ožiarenosti už nenarastá. Hodnoty saturačnej ožiarenosti sa líšia podľa druhu rastlín. Svetelný kompenzačný bod sa nazýva intenzita ožiarenia pri ktorej je množstvo prijatého CO_2 pri fotosyntéze rovnaké ako množstvo uvoľneného oxidu uhličitého pri dýchaní.

Optimálna teplota pre fotosyntetické procesy rastlín typu C_3 je v rozmedzí 20-30 °C (zriedka až 40°C), u rastlín typu C_4 je to 35- 45 °C zriedka až 50°C. Vysoká teplota zasahuje fotosyntézu zmenou distribúcie excitačnej energie na úrovni tylakoidnej membrány (Berry, Björkman, 1980; ex Repková, 2007) a mení aktivitu Calvinovho cyklu a ďalších metabolických procesov (fotorespirácia a syntéza produktov). S narastajúcou teplotou dochádza najprv k rozpadu jednotlivých častí fotosystému (najmä k odtrhnutiu svetlozberných komplexov od reakčného centra) a následne k denaturácii proteínov. Ak nie je limitovaná dostupnosť vody, prehrievaniu listov zabraňuje transpirácia, a tým eliminuje účinok teploty (Repková, 2007).

Koncentrácia CO_2 vo vzduchu sa pohybuje od 0,02- 0,04%. Najnižšia koncentrácia na začiatok fotosyntézy je 0,008- 0,010%. Pri zvyšovaní koncentrácie sa rýchlosť fotosyntézy zvyšuje až do nasýtenia, pri 0,06 – 0,4% CO_2 . Zvýšenie koncentrácie za hranicu 2-5% fotosyntézu saturuje (Olšovská, 2008). Na vyššie dávky

CO₂ lepšie reagujú rastliny C₃ typu zvýšením hmotnosti sušiny, ovplyvnením dýchania, znížením rýchlosti transpirácie (Olšovská et al., 1994).

3.2.4 Vplyv deficitu minerálnych prvkov na fotosyntézu

Pri nedostatku živín dochádza k funkčným a štrukturálnym zmenám fotosyntetickej činnosti aj na úrovni chloroplastov, ktoré sú miestom fotosyntetických reakcií. V analýze vplyvu nedostatku makroelementov na štrukturálne zmeny chloroplastov boli použité rastliny kukurice (Repka, 1986) pestované 35 dní v skleníku.

Tab. 1: Vplyv deficitu makroprvkov na hmotnosť nadzemných častí kukurice, rýchlosť čistej fotosyntézy (P_N), obsah chlorofylu v porovnaní s úplným živným roztokom (prevzaté z: Repka, 1986)

Variant	Počet listov	Hmotnosť nadzemných častí		Rýchlosť fotosyntézy P _N (%)	Obsah chlorofylu a+b (%)
		mg	%		
Úplný živný roztok	4,3	108,8	100,0	100	109,0
Bez N	4,0	72,1	66,26	86,96	76,24
Bez P	4,0	88,1	80,97	80,96	98,08
Bez S	4,7	102,6	94,30	102,4	94,63
Bez K	4,1	57,2	52,57	29,15	71,64
Bez Mg	4,2	97,2	89,33	96,22	93,10
Bez Ca	3,7	96,2	88,41	86,62	93,48

Pri pestovaní rastlín v úplnom živnom roztoku majú chloroplasty úplne vyvinutý tylakoidný systém, membrána je celistvá, tvar chloroplastu elipsovité s priemerným počtom 35 grán so 6-7 tylakoidmi, na každé granum pripadajú 3-4 tylakoidy strómy.

Rastliny pestované pri deficite **dusíka** mali menší počet a dĺžku listov, nižší obsah chlorofylu. Obal chloroplastov v mladých listoch je vyvinutý, ale štruktúra tylakoidného systému je výrazne narušená. V starších listoch (spodných) stráca chloroplast základnú formu, obal je nepravidelný, tylakoidný systém je „nitkovitý“, pri

celkovom porušení je vnútornej štruktúry sa v chloroplaste zhromažďuje veľké množstvo škrobu. Dá sa predpokladať, že deficit N spôsobuje veľmi silné poškodenie metabolických funkcií ako aj štruktúr a to väčšie ako pri deficite iných prvkov.

Nedostatok **fosforu** spôsobuje väčšie prázdne miesta v stróme, menší počet grán a tylakoidov strómy, porušujú sa väzby medzi tylakoidmi strómy a grán.

Nedostatok **síry** sa prejavil menej výrazne, nastáva určité zhrubnutie tylakoidov grán a strómy, zmena tvaru chloroplastov. Pri pšenici sa prejavili výraznejšie príznaky nedostatku P. Obal chloroplastu sa porušuje, tylakoidný systém sa „zlieva“.

Vylúčenie **draslíka** z kultivačného roztoku najvýraznejšie redukovalo rast nadzemných častí, rýchlosť fotosyntézy (P_N) listov a obsah chlorofylu. Chloroplasty mali zaoblenejší tvar s príznakmi straty turgescencie. Tylakoidný systém prejavuje znaky rozpadu, čím sa narušuje kompaktnosť celého tylakoidného systému. Pri pokuse keď ako náhrada draslíka bol použitý sodík bol zistený pozitívny vplyv sodíka na morfológickú štruktúru chloroplastov. Avšak vo funkčnej činnosti tento pozitívny efekt nebol pozorovaný. Rýchlosť fotosyntézy listov a obsah chlorofylu pri deficite draslíka boli nižšie. To dokazuje, že K^+ sa uplatňuje v regulácii fotosyntézy jednak cez štruktúrnu organizáciu fotosyntetického aparátu, jednak cez funkčné- metabolické stupne. To znamená, že ani pri zlepšenej štruktúre vyvolanej náhradným prvkom (Na) sa metabolické cesty neregenerujú.

Deficit **horčíka** sa neprejavil tak výrazne ako deficit dusíka alebo draslíka. Tvar chloroplastu, počet grán a tylakoidov je zhodný ako pri úplnom živnom roztoku, vrchné tylakoidy grán a strómy však napučiavajú, čím sa narušuje súvislé spojenie tylakoidného systému. Hmotnosť nadzemných častí bola nižšia o 10%, obsah chlorofylu o 7% a P_N o 4%.

Pri nedostatku **vápnika** boli príznaky podobné Mg^+ deficitným rastlinám, avšak inhibícia fotosyntézy bola väčšia.

Uvedené príklady štrukturálnych zmien chloroplastov dokazujú, že minerálna výživa má vplyv na kvantitatívne aj kvalitatívne zmeny pri formovaní chloroplastov. Mnohé znaky poškodenia chloroplastov pri deficite makroprvkov sú podobné, kým za špecifické možno pokladať napr. zvýšenie obsahu škrobu pri N- deficitných rastlinách. Za dôležité možno pokladať, že fotosyntetický aparát má po odstránení stresu vyvolaného podmienkami minerálnej výživy určitú možnosť regenerácie napr. po dodaní N bolo pozorované, že už po 24 h po dodaní N nastala v listovom pletive veľmi

rýchla akumulácia prvku. Dosýtenie N sa pozitívne prejavilo v aktivizácii rýchlosti fotosyntézy. Je pravdepodobné, že po odstránení stresu dodatočným nasýtením pletiva deficitným prvkom dochádza k funkčnej i štruktúrnej regenerácii fotosyntetického aparátu. Tento efekt bude závisieť od hĺbky deficiencie a rastového stavu analyzovaného listu (Repka, 1986).

3.3 Fyziologické aspekty minerálnej výživy

Rastliny prijímajú z vonkajšieho prostredia predovšetkým anorganické biogénne prvky, ktoré sú transportované do jednotlivých orgánov, kde ich metabolizujú na organické látky potrebné pre tvorbu štruktúry buniek, pletív, orgánov a zabezpečenie fyziologicko-biochemických procesov počas rastu a vývinu rastlín. Napriek tomu, že otázky výživy rastlín sú dlhodobo študované, táto problematika doteraz nie je úspešne vysvetlená.

Súčasný poznatky jednoznačne potvrdzujú, že pre normálny rast a vývin rastlín a získanie vysokých úrod je potrebné dodávať rastlinám minerálne živiny. Cieľavedomá regulácia podmienok minerálnej výživy sa stala súčasťou pestovateľských opatrení, zabezpečujúcich neustále zvyšovanie produktivity kultúrnych rastlín. Minerálna výživa zahŕňa teda vstup, transport a utilizáciu živín v rastline (Masarovičová, Repčák., 2002).

3.3.1 Príjem živín a transportné procesy v rastlinách

I napriek tomu, že živiny z pôdy sú prijímané v podobe iónov, v rastlinách sa nachádzajú vo forme molekúl a zlúčenín. Časť živín je prijímaná rastlinami zo vzduchu, napr. uhlík vo forme CO_2 a kyslík O_2 , ďalšie sú prijímané z pôdy kde sú prítomné v podobe iónov a minerálnych solí. Z uvedeného poznáme listovú a koreňovú výživu. I keď v pestovateľskej praxi poznáme hnojenie na list, rastliny získavajú živiny predovšetkým koreňmi. O prenikaní iónov do bunky často rozhoduje ich vzájomné ovplyvňovanie tzv. interferencia. Antagonizmus existuje medzi iónmi rovnakého charakteru (katióny alebo anióny). So synergizmom sa stretávame hlavne pri dusíku, zvýšený príjem ktorého podporuje príjem draslíka, pri fosfore ale aj pri iných iónoch (napr. kation vápnika stimuluje príjem draslíka, kation draslíka podmieňuje príjem fosforu).

Prístupnosť živín pre rastliny je daná dvoma skupinami procesov :

- Intercepciou
- Objemovým tokom a difúziou

Intercepcia je kontaktná výmena látok medzi povrchom koreňa a povrchom pôdnych koloidov. Prerastaním koreňa do pôdy sa viac živín stáva dostupných pre rastliny. Objemový tok živín je poháňaný transpiráciou a závisí od veľkosti toku vody a koncentrácie iónov v pôde. Difúzia prebieha keď je koncentrácia iónov v pôdnom roztoku vyššia ako v pletivách koreňa, čo je zvyčajne zriedkavý jav.

Koreň prijíma živiny z pôdy:

1./ Absorpciou iónov živín z pôdneho roztoku. Tieto ióny sú dostupné priamo, ale ich koncentrácia v pôdnom roztoku je veľmi nízka: NO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} a Mg^{2+} sú v ňom obsiahnuté v koncentráciách menších ako 1000 mg.l⁻¹. Obsah iónov v pôdnom roztoku sa dopĺňa ich čerpaním z pevnej fázy pôdy.

2./ Výmennou absorpciou adsorbovaných živinných iónov.

Koreň tým že uvoľňuje H^+ a HCO_3^- ako disociačné produkty uvoľneného oxidu uhličitého podnecuje výmenu iónov na povrchoch ílových a humusových častíc a získava tak živinné ióny.

3./ Uvoľňovaním živín viazaných v pôdnej zásobe pomocou vylučovaných iónov H^+ a organických kyselín. Živiny viazané v chemických zlúčeninách a hlavne ťažké kovy, sú tak uvoľňované a tvoria chelátové komplexy. Chelatizácia chráni kovy pred opätovnou pevnou väzbou, ale komplexy sú ľahko prijímané koreňmi rastlín. Exkrécia H^+ a kyselín závisí od rýchlosti dýchania koreňov (Kmeť, 2009).

Po prijatí živín predovšetkým koreňovými vláskami nastáva proces transportu do všetkých rastlinných pletív. Transportné procesy minerálnych látok v rastlinách môžeme rozdeliť podľa toho, či pri transporte je potrebná interakcia s bielkovinovou membránovou štruktúrou alebo nie na nešpecifický a špecifický transport.

1. Nešpecifický transport

2. Špecifický transport: a, pasívny

b, aktívny - primárny aktívny transport

- sekundárny aktívny transport

1. Nešpecifický transport prebieha bez prechodnej interakcie látky prechádzajúcej cez membránu so špecifickou bielkovinovou látkou- prenášačom. Prenos

prebieha pasívne v smere koncentračného gradientu prenášanej látky- princíp difúzie.

2. Špecifický transport je charakterizovaný prechodnou interakciou prenášanej látky s prenášačom. Podľa toho, či pohyb prebieha v smere alebo proti smeru koncentračného gradientu, poznáme prenos pasívny a aktívny.
- pasívny transport prebieha v smere koncentračného gradientu z miesta s vyššou koncentráciou do miesta s nižšou koncentráciou bez potreby dodávania energie do systému. Uskutočňuje sa na krátke vzdialenosti, je totožný s difúziou (iónové kanály).
 - aktívny transport- vo väčšine látok prijímaných z prostredia je ich koncentrácia nižšia vo vonkajšom prostredí ako v bunke preto ich príjem prebieha proti smeru koncentračnému gradientu. Na takýto pohyb musí byť dodávaná energia napr. vo forme ATP, pyrofosfátu (PP).

Pri primárnom aktívnom transporte je transmembránový pohyb prenášanej látky spojený so spotrebou energie. Typické sú prenášače ATPáz, ktoré prenosom iónu cez membránu štiepia ATP na ADP a P_{anorg} .

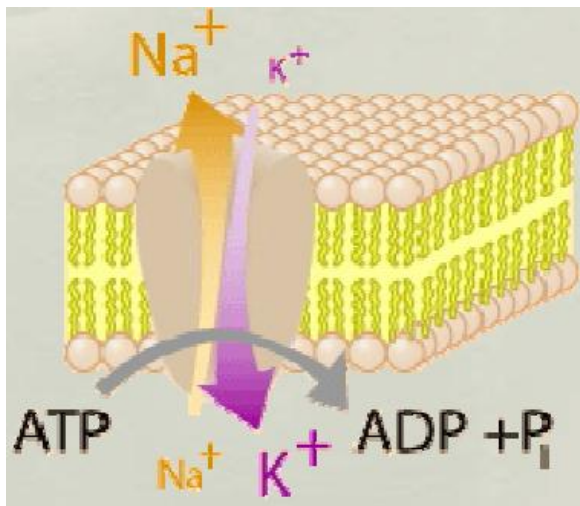
Pri sekundárnom aktívnom transporte sa na energizovanie využíva rozdiel elektrochemického potenciálu iónu na prenos druhého iónu proti smeru jeho koncentračného gradientu na čo sa v rastlinách využíva elektrochemický potenciál protónu. Prenášače sekundárneho aktívneho transportu využívajú energeticky výhodný transport H^+ na transport iného iónu. Mechanizmus súčasného pohybu H^+ s iným iónom sa označuje aj ako kotransport alebo symport, ak sa pohyb iónov uskutočňuje v protismere jedná sa o antiport (Masarovičová, Repčák., 2002).

3.3.2 Jednotlivé typy prenášačov v rastline

Rastlinné prenášače sú rozlične veľké membránové bielkoviny umožňujúce transmembránový pohyb látok. Delíme ich na: pumpy, transportéry a kanály.

Pumpy využívajú na prenos ako zdroj energie chemicky viazanú energiu ako ATP, PP (primárny aktívny transport). Pumpy sú evolučne veľmi staré transportné mechanizmy a môžu mať 2 konformácie (priestorové usporiadania). Jedna sa vyznačuje vysokou afinitou k ATP a k prenášanému iónu alebo molekule a druhá naopak nízkou afinitou. Po prechode membránou v dôsledku zmeny prvej na druhú konformáciu dôjde k uvoľneniu iónu alebo molekuly do vnútorného obsahu bunky – cytosólu. Pumpy

regulujú transport mnohých katiónov (H^+ , Ca^{2+} , Cu^{2+} , Mo^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ag^+) i fosfolipidov a iných látok. Pumpy pracujú rýchlosťou transportu 500 iónov za sekundu.



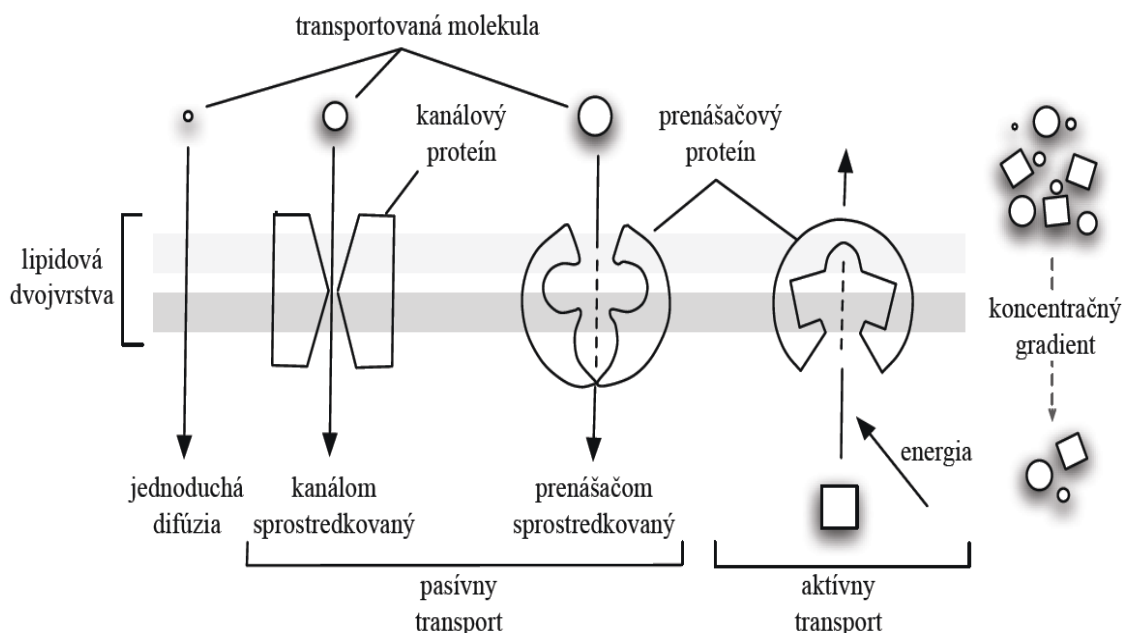
Obr. 4: Sodno-draselná pumpa (prevzaté z Svoboda, 2009)

Transportéry využívajú energiu elektrochemického gradientu iného iónu najčastejšie H^+ (kotransport, sekundárny aktívny transport) a sú výrazne výkonnejšie ako pumpy. Rýchlosť transportu pomocou týchto prenášačov je $10^2 - 10^4$ iónov za sekundu. Prenášajú nasledovné anióny NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} aminokyseliny, cukry a antibiotiká. Sú to integrálne membránové bielkoviny, tvorené z viacerých úsekov (domén). Sú tiež evolučne veľmi staré a veľmi podobné u všetkých organizmov.

Iónové kanály využívajú na prenos látok energiu elektrochemického potenciálu transportovanej látky (pasívny transport). Rýchlosť prenosu je niekoľkonásobne vyššia ako pri ostatných typoch prenášačov- 10^6 - 10^8 iónov za sekundu. Od difúzie cez póry sa odlišujú selektivitou a schopnosťou zmeny konformácie molekuly zo stavu „otvorený“ na stav „zatvorený“. Selektivita kanálu je daná prítomnosťou väzobného miesta, ktoré identifikuje prenášaný ión počas transportu.

Avšak sú známe aj kanály s nízkou selektivitou a môžu prenášať viacero iónov. Membránové kanály môžeme rozdeliť podľa náboja prenášaného iónu na katiónové a aniónové. Najznámejšie katiónové kanály sú K^+ a Ca^{2+} kanály, v rastlinnej bunke majú dôležitú úlohu pri regulácii turgoru. (K^+ kanály) a prenose signálov v bunke (Ca^{2+} kanály). V tonoplaste boli identifikované tri typy K^+ kanálov SV(pomaly aktivované), FV (rýchlo aktivované) a VK (vysoko selektívne).

Aniónové kanály v rastlinnej bunke sprostredkujú eflux aniónov (najčastejšie Cl) z cytoplazmy do apoplastu. Za určitých podmienok sa aniónové kanály podieľajú aj na príjme aniónov z prostredia, hlavne ak je vysoká koncentrácia solí v pôde (Masarovičová, Repčák, 2002).



Obr. 5: Pohyb molekúl cez bunkové membrány (prevzaté z Kiššová, 2008)

3.3.3 Úloha kanálov v iniciácii a prenose signálu v rastlinách

Signál je prijímaný pomocou špecifických receptorov, ktoré sa vyvinuli počas fylogeniezy. Po stimulácii receptora (percepcii signálu) nastáva odpoveď bunky pomocou iónových kanálov. Z veľkého počtu iónových kanálov vyskytujúcich sa v rastlinách majú hlavnú úlohu pri prenose signálu aniónové a Ca^{2+} kanály.

Vodný stres vznikajúci v rastlinách pri nedostatku vody v pôde indukuje syntézu ABA, ktorá v rastlinnom organizme spôsobuje aj zatvorenie prieduchov a tým zamedzeniu transpirácie. Po naviazaní ABA na receptor zatváracích buniek prieduchov nastáva zvýšenie obsahu Ca^{2+} v cytosole bunky čo vedie k zmenám v aktivite membránových prenášačov lokalizovaných v plazmaléme a tonoplaste (Masarovičová, Repčák, 2002).

3.3.4 Prehľad minerálnych prvkov

Pre výživu rastlín sú nevyhnutné predovšetkým makroživiny: C, O, H, N, P, S, K, Ca, Mg a mikroživiny :Fe, B, Cu, Zn, Mo, Mn ale i ďalšie.

Tab. 2: Prehľad základných minerálnych živín (podľa Fageria a kol., 1997)
(prevzaté z: Michalík, 2001)

Živina	Chemický symbol prvku	Prijímané vo forme	Rok objavu	Autori objavu
1. uhlík	C	CO ₂	1882	J.Sachs
2. vodík	H	H ₂ O	1882	J.Sachs
3. kyslík	O	H ₂ O, O ₂	1804	N.T.de Saussure
4. dusík	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄	1872	G.K.Rutherford
5. fosfor	P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ⁻	1903	Posternach
6. draslík	K	K ⁺	1890	Schimper
7. vápnik	Ca	Ca ²⁺	1856	Salm-Horstmar
8. horčík	Mg	Mg ²⁺	1906	Willstatter
9. síra	S	SO ₄ ²⁻ , SO ₂	1911	Peterson
10. železo	Fe	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	1860	J.Sachs
11. mangán	Mn	Mn ²⁺	1922	J.S.McHargue
12. bór	B	BO ₃ ³⁻	1923	K.Warington

Z výsledkov uvedených v tabuľke 2. Je evidentný význam jednotlivých anorganických látok a môže slúžiť ako podklad pre rozhodovanie o potrebe živín a aplikácii hnojív (Michalík, 2001).

Tab. 3: Prvkové zloženie popola niektorých poľných plodín (podľa údajov Grodzinskeho A.M. a Grodzinskeho D.M., 1973) (prevzaté z: Michalík, 2001)

Rastliny	% obsah v popole								
	P	K	Na	Ca	Mg	S	Fe	Si	Cl
zrno									
Pšenica	21,08	25,07	0,44	2,48	7,92	-	0,39	0,33	-
Kukurica	20,50	24,73	0,81	1,56	9,30	0,32	0,56	0,98	0,9
Ďatelina	16,68	29,30	0,67	4,54	7,74	0,96	1,19	0,61	1,2
Nadzemná časť (steblá a listy)									
Pšenica	2,11	11,29	1,04	4,12	1,50	-	0,42	31,52	-
Kukurica	2,16	22,58	0,59	4,05	6,84	-	0,56	18,77	-
Ďatelina	4,71	22,58	0,59	20,28	4,98	-	0,42	2,89	-

3.3.5 Význam jednotlivých prvkov pre rastliny

Kyslík v organizmoch sa vyskytuje viazaný v molekule vody, v rôznych anorganických a organických zlúčeninách ale aj v molekulovej forme. Rastliny v procese fotosyntézy zabezpečujú tvorbu voľného kyslíka, ktorý je vylučovaný do atmosféry. V procese dýchania s vodíkom vytvára vodu.

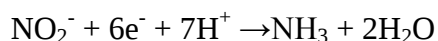
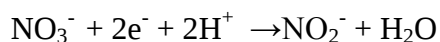
Uhlík je základným prvkom všetkých organických látok. Pre rastliny je zdrojom atmosferický oxid uhličitý, asimilovaný v procese fotosyntézy. Uhlík je prijímaný aj koreňmi z pôdy vo forme aniónov CO_3^{2-} a HCO_3^- .

Vodík sa nachádza v organizmoch ako súčasť molekuly vody a ďalších organických a anorganických zlúčenín. V procese fotosyntézy (fotolýza vody) sa vytvára voľný vodík, ktorého energia sa transformuje na energiu chemickú v ATP a NADPH. V mitochondriách prebieha v rámci oxidačnej fosforylácie podobný proces, kde sa protónový gradient H^+ podieľa na tvorbe ATP.

Dusík je jeden z najdôležitejších prvkov vo výžive rastlín. Je podstatnou súčasťou aminokyselín, bielkovín, chlorofylu, nukleových kyselín a pod. Vo výžive rastlín môžu byť použité rôzne zdroje dusíka: amoniakálny, dusičnanový, dusitanový a

organické formy dusíka. Rozhodujúca úloha pripadá na dusičnanový a amoniakálny N. (Michalík, 2001).

Po vstupe do rastliny je NO_3^- redukovaný v dvoch stupňoch. Najprv je enzýmom nitrátreduktáza redukovaný na NO_2^- , ktorý je potom nitritreduktázou ďalej redukovaný na NH_3



NH_3 je pre bunku toxický, pretože odpojuje syntézu ATP od prenosu elektrónov v membránach tylakoidov (Procházka, 1998; ex Michalík, 2001).

Redukčná schopnosť koreňového systému pri premene NO_3^- na NH_4^+ je vysoká, preto akumulácia dusičnanov v nadzemných orgánoch sa vyskytuje len pri nepriaznivých podmienok vegetácie alebo príliš vysokej hladiny dusičnanov v pôde (Michalík, 2001).

Tvorba aminokyselín zlučovaním amoniaku s ketokyselinami za účasti enzýmov sa nazýva aminácia. Z ketokyselín reagujú s amoniakom napr. kyselina pyrohroznová, α -ketoglutarová a fumarová s nasledujúcou tvorbou AMK ako alanín, glutamín a asparagín. V aminokyselinách sa dusík nachádza v aminovej forme NH_2 . V rastlinách prebieha nielen syntéza ale aj rozpad bielkovín cez aminokyseliny až na amoniak. Tento proces prebieha v závislosti od veku rastliny, v mladých rastlinách prevláda tvorba bielkovín, čo sa s pribúdajúcim vekom mení.

Vzniknutý amoniak sa však v rastlinách spravidla nehromadí, zlučuje sa s kyselinou asparágovou a glutamovou za vzniku asparagínu a glutamínu. V prípade, že rastlina nemá dostatočné množstvo aminokyselín, môže sa amoniak hromadiť a spôsobovať otravy (Panikov, Minejev, 1979). Rastliny v záujme zachovania elektroneutrality a stálej hodnoty pH cytoplazmy ako aj eliminácie toxicity NH_3 regulujú príjem NO_3^- a NH_4^+ aj tým, že sú schopné zabezpečiť vylučovanie NH_3 z cytoplazmy do pôdneho roztoku.

Niektorí zástupcovia baktérií a siníc majú schopnosť pútať atmosferický N_2 . Symbioticky s rastlinami čeľade bôbovité žijú baktérie rodu *Rhizobium*. Hrčkotvorné baktérie žijúce na koreňoch bôbovitých rastlín zabezpečujú takmer celú potrebu dusíka pre strukoviny a časť aj pre následné plodiny. Hlboká koreňová sústava leguminóz zlepšuje fyzikálne vlastnosti pôdy, zanechávajú pôdu vo veľmi dobrom štruktúrnom

stave preto sú vhodnou predplodinou pre väčšinu poľnohospodárskych plodín. Sú takisto veľmi vhodné na zelené hnojenie.

Veľmi vhodným zdrojom dusíka pre rastliny sú organické hnojivá ako maštalný hnoj, močovka, hnojovica. S foliárnou aplikáciou dusíka vo forme močoviny boli zistené dobré výsledky pri obilninách, zelenine. Z priemyselných hnojív sa využíva kvapalné hnojivo DAM- 390. Dusík aplikovaný foliárne má pozitívny vplyv na fotosyntézu, stimuluje tvorbu chlorofylu (Ivanič, 1990).

Výživu amoniakálnym alebo dusičnanovým dusíkom ovplyvňuje aj pôdna reakcia a prítomnosť ostatných kationov v pôde. Amoniakálna forma je vhodnejšia pri neutrálnej pôdnej reakcii, kým dusičnanová pri pH 5,5 čiže pri slabo kyslých a kyslých pôdach (Panikov, Minejev, 1979).

Jedným z najnápadnejších prejavov deficitu dusíka je zníženie obsahu chlorofylu, prípadne jeho úplná strata v dôsledku čoho je viditeľné žltnutie listov. Rastliny sú slabé, nevyvíjajú sa, ako je spomínané v kapitole fotosyntéza súvisí to aj s poškodením chloroplastov. Chloróza a neskôr aj nekróza sa najskôr prejavujú na starších listoch. U obilnín spôsobuje zníženie intenzity odnožovania, redukcii počtu klasov a tým aj úrody (Baier, 1982).

Fosfor je súčasťou mnohých významných zlúčenín ako fosfolipidy (súčasť fosfolipidovej dvojvrstvy membrán), sacharidov, bielkovín, DNA, RNA, ADP, ATP. Významnou zlúčeninou fosforu v zásobných orgánoch (semenách) je fytát. Fosfor zvyšuje aj odolnosť rastlín proti nízkym teplotám, urýchlňuje ich vývin a dozrievanie, podporuje aj rozvoj koreňovej sústavy. Panikov a Minejev (1979) zdôrazňujú, že fosfor úzko súvisí s dusíkom a zlúčeninami bielkovinového charakteru. Preto sa jeho prerozdelenie v rastline zhoduje s dusíkom.

Fosfor je rastlinami prijímaný ako anión H_2PO_4^- alebo HPO_4^{2-} . Najdostupnejší je P pre rastliny pri pH 6- 6,5. Pri vysokom pH a vysokej koncentrácii Ca^{2+} sa tvoria ťažko prístupné vápenaté fosforečnany. Na kyslých pôdach naproti tomu dochádza k tvorbe Fe a Al- fosfátov neprijateľných pre rastliny.

Nie všetky plodiny majú rovnakú schopnosť osvojovať si fosfor. Všeobecne platí, že obilniny majú menšiu schopnosť prijímať P ako napr. strukoviny.

Rastliny trpiace nedostatkom P majú podobné príznaky ako pri deficite dusíka. Sú malé, listy sú tmavozelené alebo olivovo zelené. Deficit fosforu brzdí aj generatívny

vývoj, kvitnutie je redukované a následnými nízkymi úrodami. U bôbovítých sa znižuje tvorba hrčiek, čo je spojené s nedostatkom dusíka (Baier, 1982).

Vápnik má mnohostranný pozitívny vplyv na rastliny. Je nevyhnutný hlavne v podmienkach silne kyslých a zasolených pôd, čo sa vysvetľuje v prvom prípade nasýtením sorpčného komplexu vodíkom v druhom prípade sodíkom. Významný vplyv vápnika je v ovplyvňovaní rozvoja koreňovej sústavy. Pri jeho nedostatku sa prestávajú tvoriť koreňové vlásky, cez ktoré rastliny prijímajú podstatnú časť vody a živín. Vápnik zintenzívňuje výmenu látok v rastlinách, má dôležitú úlohu pri transporte glycidov, vplýva na premenu dusíkatých látok a je aj aktivátorom mnohých enzýmov (oxidoreduktáza, dehydráza, fosfolipáza a iné). Dôležitý je aj jeho vplyv na fyzikálno-chemický stav protoplazmy- jej priepustnosť, viskozitu a iné vlastnosti ovplyvňujúce biochemické procesy. Spolu s draslíkom sa podieľa na osmoregulácii, kde zabezpečuje prenos signálu (Procházka, 1998).

Príjem Ca^{2+} do koreňov aj jeho pohyb v rastline je pomerne obmedzený. V nadzemných častiach rastlín sa hromadí hlavne v starších pletivách, preto sa symptómy nedostatku prejavujú najskôr na mladších listoch a rastových vrcholoch. Okraje mladších listov sú chlorotické neskôr až nekrotické. Prestávajú sa tvoriť koreňové vlásky, staré korene zahŕňujú a odumierajú.

Nedostatkom Ca^{2+} trpia rastliny predovšetkým na kyslých pôdach, preto je nevyhnutná úprava pH vápnením. Ak napriek jeho dostatočnej zásobe v pôde rastliny vykazujú nedostatočný príjem tejto živiny, dobré výsledky sa dosahujú foliárnou aplikáciou.

Rastliny svojou úrodou odčerpávajú rozdielne množstvá vápnika napr. obilniny pri úrode $2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ odčerpajú asi 20 kg CaO, kým ďatelina pri úrode $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ asi 140 kg. Na využitie vápnika z pôdy má vplyv aj vysoká koncentrácia iných kationov ako H^+ , Na^+ , K^+ , ktoré pôsobia antagonisticky na príjem Ca^{2+} . Veľké straty vápnika z pôdy má na svedomí nielen odčerpanie úrodou plodín, ale aj jeho vyplavovanie z pôdy. Veľkosť strát závisí od pôdno-klimatických podmienok.

Horčík rastliny potrebujú najmä na tvorbu chlorofylu, pretože tvorí podstatnú zložku listovej zelene a tým aj fotosyntézy. Väčšinou im stačí prirodzená zásoba v pôde. Až pri dlhotrvajúcom deficite horčíka sa objavujú typické príznaky- chloróza. Začína sa na starších listoch, kde je obmedzený prístup Mg^{2+} z xylému.

Transport horčíka prebieha cez biomembrány v smere elektrochemického gradientu, zrejme prostredníctvom Mg^{2+} kanálov. Ak je niektorý kation prednostne prijímaný, mení sa elektrické napätie a môže tak blokovať prísun ostatných kationov. Rýchlosť transportu Mg^{2+} môže byť potlačená predovšetkým K^+ a NH_4^+ , ale aj Ca^{2+} , Mn^{2+} . Takisto aj v kyslom prostredí je jeho príjem obmedzený H^+ , prípadne Fe^{3+} , Al^{3+} . Naproti tomu na príjem horčíka pôsobia synergicky anióny.

Horčík reguluje a podporuje až 20% enzymatických reakcií v bunke. Je aktivátorom enzýmu Rubisco, ktorý umožňuje asimiláciu CO_2 v Calvinovom cykle. Podobnú úlohu má horčík aj pri naviazaní CO_2 PEP - karboxylázou u C_4 rastlín.

Horčík významne ovplyvňuje celý proces proteosyntézy. Pôsobí na spojovanie reťazcov DNA a neutralizáciu kyslých proteínov v jadre. Reguluje činnosť RNA polymerázy v procese formovania RNA v jadre. V prípade nedostatku Mg^{2+} alebo nadbytku K^+ sa syntéza RNA okamžite zastaví a pokračuje až po obnovení deficitu. Až 25% proteínov je lokalizovaných v chloroplastoch, čo vysvetľuje prečo deficit horčíka ovplyvňuje ich veľkosť, štruktúru a funkciu (www.vurv.cz/files/Publications/ISBN80-86555-85-2.pdf).

Príjem horčíka z pôdy je často obmedzovaný antagonizmom iných kationov hlavne Ca^{2+} a K^+ , ďalším dôvodom sú kyslé pôdy a nedostatočné hnojenie horečnatými hnojivami. Na pastvinách intenzívne hnojených draslíkom a nedostatkom Mg vyvoláva pastevnú tetániu, čo je spôsobené poklesom hladiny Mg v krvnom sére.

Príznaky nedostatku horčíka súvisia s jeho funkciou v chlorofyle. Na starších listoch vznikajú žlté miesta, ktoré postupne prechádzajú do súvislej chlorózy. Pri silnom nedostatku sa príznaky prejavujú aj na mladších listoch. Zníženie obsahu chlorofylu sa pochopiteľne prejavuje aj poklesom intenzity fotosyntézy.

Síra je dôležitým prvkom vo výžive rastlín. Je súčasťou všetkých bielkovín. Nachádza sa v aminokyselinách ako cystín, metionín, vo vitamínoch tiamín, biotín, antibiotikách (penicilín). Podporuje fixáciu dusíka zo vzduchu, pretože pozitívne vplýva na tvorbu hrčiek na koreňoch bôbových rastlín.

Zdrojom síry pre rastliny je síranový anión SO_4^{2-} , prijímajú aj síru vo forme organických zlúčenín. V našich podmienkach spravidla nie je nutné hnojenie sírou, dostatočným zdrojom je pôda prípadne ovzdušie. Na síru sú náročnejšie olejniný, kapusta, bôbovité a cukrová repa.

Železo má v metabolizme dôležitú úlohu predovšetkým pri stavbe chlorofylu aj keď nie je jeho súčasťou. Vytvára katióny Fe^{2+} a Fe^{3+} pričom Fe^{2+} sú pre rastliny toxické. Je súčasťou niektorých nosičov elektrónov (feredoxíny, cytochróm). Pri nedostatku železa sa v rastlinách znižuje tvorba rastových látok- auxínov, listy nadobúdajú žltú farbu. V rastline je viazané v chelátových komplexoch. Pri odstraňovaní chlorózy listov sa používa foliárna aplikácia.

Kremík v pôdnom roztoku vytvára anión SiO_3^- a rôzne komplexy. Niektoré rastliny, predovšetkým obilniny prijímajú značné množstvo kremíka.

Hliník sa vyskytuje ako kation Al^{3+} ale aj ako anión Al^{3-} , vytvára soli najmä so železom. Uplatňuje sa iba pri prihnojovaní kvetín, kde môže ovplyvňovať zafarbenie.

Sodík je v rastlinách sprievodným iónom draslíka, má účasť na hydratácii protoplazmy a osmotickom tlaku. Do buniek koreňov je prijímaný pasívne. Deficit sodíka nie je známy, stačí pôdna zásoba.

Zo stopových prvkov má veľký význam najmä bór, predovšetkým pre strukoviny a zemiaky, ale aj pre správny vývin ostatných rastlín. Čo sa týka chlóru, niektoré rastliny ho potrebujú (zeler) pre väčšinu rastlín je však škodlivý. Najcitlivejšie na chlór sú vinič hroznorodý, bobuľoviny, zemiaky. Rastliny potrebujú tak nepatrné množstvo stopových prvkov, že väčšinou stačí ich prirodzená zásoba v pôde (Ivanič, 1990).

3.4 Význam draslíka vo výžive rastlín

Draslík je jedným z najdôležitejších prvkov rastlinných organizmov pričom jeho fyziologické funkcie sú veľmi rozmanité. V rastlinách sa nachádza vo forme iónov, nie sú známe organické zlúčeniny, ktorých by bol súčasťou. Po prijatí je dobre pohyblivý, koncentruje sa hlavne v mladších častiach rastlín. Časť draslíka je viazaná na bunkové štruktúry, väčšina však zostáva v iónovej forme v bunkovej štrave, kde sa spolu s inými iónmi podieľa na ovplyvňovaní vodného režimu. Funkcia katiónov draslíka ako osmotika nie je nevyhnutná, rastlina ich vie nahradiť inými osmoticky aktívnymi látkami (Ivanič, 1990).

Koncentrácia K^+ v typickej rastlinnej bunke dosahuje viac než 100 mM, avšak voľný K^+ v pôde je väčšinou na úrovni 1mM. Prijem a výdaj draslíka sa uskutočňuje prostredníctvom aktívnych a pasívnych spôsobov transportu. Aktívny transport prebieha

tzv. HKT transportérmi (high affinity K^+ transporter) a KT/KUP/HAK transportéry s nízkou alebo vysokou afinitou pre K^+ .

Pasívny prenos umožňujú kanály ako napríklad v rastlinách kanály Shaker typu. Ich aktivácia je podmienená hodnotou potenciálu na cytoplazmatickej membráne. Patria sem skupina kanálov ako AKT1, KAT1, SKOR a GORK. Transport draslíka na dlhé vzdialenosti je pravdepodobne sprostredkovaný práve kanálmi Shaker- typu (Sheng et al, 2009).

Katión draslíka zvyšuje hydrofilnosť koloidov protoplazmy, kým vápnik a horčík ich dehydratuje. Fyzikálno - chemický proces starnutia podmieňuje pokles draslíka a zvyšovanie obsahu vápnika. Zlepšuje príjem vody bunkou, zvyšuje osmotický tlak a turgor, znižuje vyparovanie. Pri optimálnej draselnej výžive bunky lepšie udržujú vodu, v dôsledku čoho sú odolnejšie proti suchu. Zároveň sa podieľa aj na glycidovej a dusíkatej výmene látok. Jeho vplyvom sa zintenzívňuje tvorba sacharidov, čo sa prejavuje hlavne na úrodách tých plodín, ktoré kumulujú viac cukrov napr. cukrová repa, zemiaky, krmná repa, kukurica.

Zároveň s rastom kvality produkcie sa zvyšuje odolnosť rastlín proti slabším mrazom. Dosahuje sa to zvýšením osmotického tlaku bunkovej šťavy a znížením teploty, pri ktorej začína zamŕzať. V pokusoch bolo zistené, že pri správnej draselnej výžive ozimné plodiny a viacročné bôbovité plodiny lepšie prezimujú a zvyšuje sa ich odolnosť proti chorobám.

Draslík tiež stimuluje činnosť fotosyntézy, stabilizuje a aktivuje štruktúry jednotlivých reakčných systémov. Potvrdzuje to aj skutočnosť, že rastliny vytvárajúce veľké množstvo zásobných látok, uhľohydrátov a tukov majú vyššiu potrebu draslíka. Pravdepodobné je, že zvýšená tvorba polysacharidov a transport uhľohydrátov v rastlinách je podmienená vplyvmi draslíka na fosforylačné procesy. Tvorba ATP je ovplyvnená aktiváciou cez draslík, aktivizuje činnosť mnohých enzýmov, ktoré podmieňujú biosyntézu bielkovín (Procházka, 1998).

Nedostatok draslíka brzdí syntézu bielkovín, tým sa zvyšuje v rastlinách koncentrácia amidov. Deficit K sa prejavuje poklesom turgoru a v celkovom zlom hospodárení rastlín vodou. Výraznejší nedostatok spôsobuje chlorózy listov, ktoré sa šíria od okrajov listov najskôr na starších listoch. Je to dané schopnosťou draslíka premiestňovať sa zo starších do mladších častí rastliny. V ranných štádiách vývoja pri deficiencii K dochádza k akumulácii cukrov ako dôsledok zníženej tvorby bielkovín.

Znižuje sa aj odolnosť proti plesniam, čo je významné aj z hľadiska uskladnenia zemiakov, repy, zeleniny.



Obr. 6: Príznaky deficitu draslíka (prevzaté z <http://www.kvetyazahrada.sk/vseobecne.html>)

3.4.1 Draslík v pôde

Celkový obsah draslíka v pôde môže dosiahnuť až 2,50%. Závisí to od zloženia materskej horniny a prítomnosti ílových minerálov, ktoré sú hlavným zdrojom draslíka. Ílovité pôdy majú zvyčajne výrazne vyšší obsah draslíka ako pôdy piesočnaté.

Množstvo draslíka, ktoré sú schopné rôzne druhy pôd fixovať je podmienené predovšetkým druhom a množstvom ílových minerálov, ale tiež vlhkosťou a teplotou pôdy. Suchá pôda púta často viac než dvojnásobok K^+ fixovaného vlhkou pôdou. Tiež so stúpajúcou teplotou stúpa aj fixácia draslíka, do určitej miery je závislá aj od pôdnej reakcie a obsahu organických látok. Intenzita fixácie je do určitej miery závislá tiež na pôdnej reakcii, znížením pH fixácia slabne, kým pri stúpajúcom pH je to naopak.

Tab. 4: Formy draslíka v pôde (Baier-Baierová, 1985)

Nevýmenný Viac než 95% z celkového draslíka	Draslík pevne viazaný v kryštálovej mriežke minerálov (sludy, živce, ílovité minerály)
Výmenný 0,8-3% z celkového draslíka	Ióny draslíka viazané chemickou sorpciou na povrchu pôdnych koloidov odkiaľ môžu byť uvoľnené do pôdneho roztoku
Vodorozpuštný 1-10% z výmenného draslíka	Ióny draslíka vo vodnom roztoku prijateľné rastlinami

Z hľadiska výživy rastlín draslíkom je najvýznamnejšia schopnosť pôdy fixovaný draslík opäť uvoľniť do stavu prístupného pre rastliny. Záleží však aj na druhovo podmienenej schopnosti rastlín prijať fixovaný draslík napr. jednoklíčnolistové rastliny majú lepšiu schopnosť osvojenia (Baier-Baierová, 1985).

Draslík rozpustný vo vode je z hľadiska výživy pre rastliny najprijateľnejší. Vytvára sa chemickým a biologickým pôsobením na pôdne minerály a tiež ich hydrolýzou.

Straty na množstve K^+ v pôde sú spôsobené jednak vysokou fixačnou schopnosťou pôdy ale aj naopak neschopnosťou pútať draslík a umožňujúc jeho vyplavenie z pôdneho profilu. Na ľahkých piesočnatých pôdach môžu byť straty vyplavením až 30%. Určitú úlohu zohráva aj antagonistický vplyv ostatných kationov.

3.4.2 Význam draslíka v osmotickej regulácii rastlín

Ako bolo spomínané v kapitole 3.1.2 osmotické prispôsobenie rastlín je významným aspektom adaptácie rastlín na klesajúci vodný potenciál (ψ_w) pôdy počas prehlbujúceho sa sucha. Osmotická regulácia, ktorá sa vyskytuje v koreňoch a listoch prispieva k udržaniu príjmu vody a turgoru buniek nevyhnutných pre zachovanie fyziologických funkcií (Zhang et.al, 1999). Okrem organických osmotických zlúčenín je za najdôležitejšie osmotikum považovaný kation draslíka.

Príspevok draslíka v osmoregulačnej adaptácii je rozdielny podľa druhu a ontogenetického stavu rastlín. Avšak v podmienkach vysokého obsahu solí sa jeho príspevok značne znížil, pravdepodobne z dôvodu interakcie medzi iónmi Na^+ a K^+ .

V tejto súvislosti sa diskutuje o primárnom vstupe Na^+ do rastlinných buniek a nasledujúcom vývoji toxicity sodíka. Predpokladá sa, že eflux sodíka do buniek nie je ovplyvnený obsahom draslíka, avšak tok K^+ je značne potlačený v podmienkach vysokého obsahu Na^+ (Sheng et al, 2009).

Rozhodujúcim ochranným mechanizmom, ktorým rastliny regulujú výdaj vody sú prieduchy. Zatvorenie prieduchov je výsledkom poklesu turgoru v bunkách, čo je spojené s výtokom množstva iónov najmä K^+ cez K^+_{out} kanál aktivovaný depolarizáciou membránového potenciálu. K depolarizácii membránového potenciálu dochádza influxom Ca^{2+} z extracelulárneho priestoru, pričom dôležitú úlohu v tomto procese majú aj aniónové kanály väčšinou Cl^- . Pokles negatívneho náboja aktivuje K^+_{out} kanály cez ktoré sa premiestni množstvo K^+ z bunky do apoplastu. Výtokom K^+ , Cl^- a malátu z bunky dochádza k poklesu osmotického potenciálu bunky a tým k transportu vody z bunky, následnému poklesu turgoru a zatvoreniu prieduchov (pozri obr. 1) (Zima, 1999).

3.4.3 Význam draslíka pre akumuláciu a skladbu bielkovín v zrne

Niet pochyb o tom, že základný význam pre akumuláciu bielkovín v zrne má dusík. Dusík sa bezprostredne zúčastňuje stavby bielkovinovej molekuly a jeho priemerný obsah v bielkovinách je asi 17%. Aj význam fosforu v rastlinách je rozsiahly. Fosfor je súčasťou nukleových kyselín, bez ktorých nie je možná biosyntéza bielkovín. Pri pokusoch bolo zistené, že jednostranná aplikácia fosforu znižuje obsah lepku z 33% na 30,9%, sklovitosť zrna z 64% na 49%. Najpravdepodobnejšou príčinou je to, že aplikácia P zintenzívňuje rast rastlín a zvyšuje výnos zrna, čo spôsobuje nedostatok dusíka a následné zníženie obsahu bielkovín v zrne.

Kladný vplyv draslíka na obsah bielkovín bol potvrdený v mnohých prípadoch. Po zvýšenom zásobovaní rastlín draslíkom sa podstatne zvýšil výnos zrna. Je to dané tým, že draslík pomáha zintenzívniť transport glycidov a aminokyselín do obiliek, a pretože zlepšené zásobovanie rastlín draslíkom zvyšovalo hmotnosť tisíc zŕn a pomáhalo zvýšiť obsah bielkovín v zrne.

Na základe pokusov môžeme prísť k záveru o význame draslíka pre akumuláciu bielkovín. Pri vylúčení draslíka zo živného prostredia vo fáze klasenia sa výnos zrna znižoval z 51,4 na 46,6 G na nádobu v dôsledku zníženia hmotnosti zŕn a klesal aj obsah bielkovín z 20,6 na 19%. Pokusy ukázali, že keď sa účinkom draslíku zvyšuje

obsah bielkovín v zrne, zvyšuje sa v hrubých bielkovinách podiel lepku- gliadinu a glutenu, čo zlepšuje pekárske vlastnosti pšenice (Minejev, Pavlov, 1984).

Tab. 5: Vplyv draslíka na výnos a akosť jarnej pšenice (Schafer, Siebold, 1972)
(prevzaté z: Minejev, Pavlov, 1984)

Dávka K ₂ O V kg.ha ⁻¹	Výnos zrna t.ha ⁻¹	Obsah bielkovín %
Kontrola bez K	2,24	13,8
300	2,51	13,8
600	3,84	14,4
900	4,36	14,6

3.5 Podiel výživy na zvyšovaní úrod obilnín

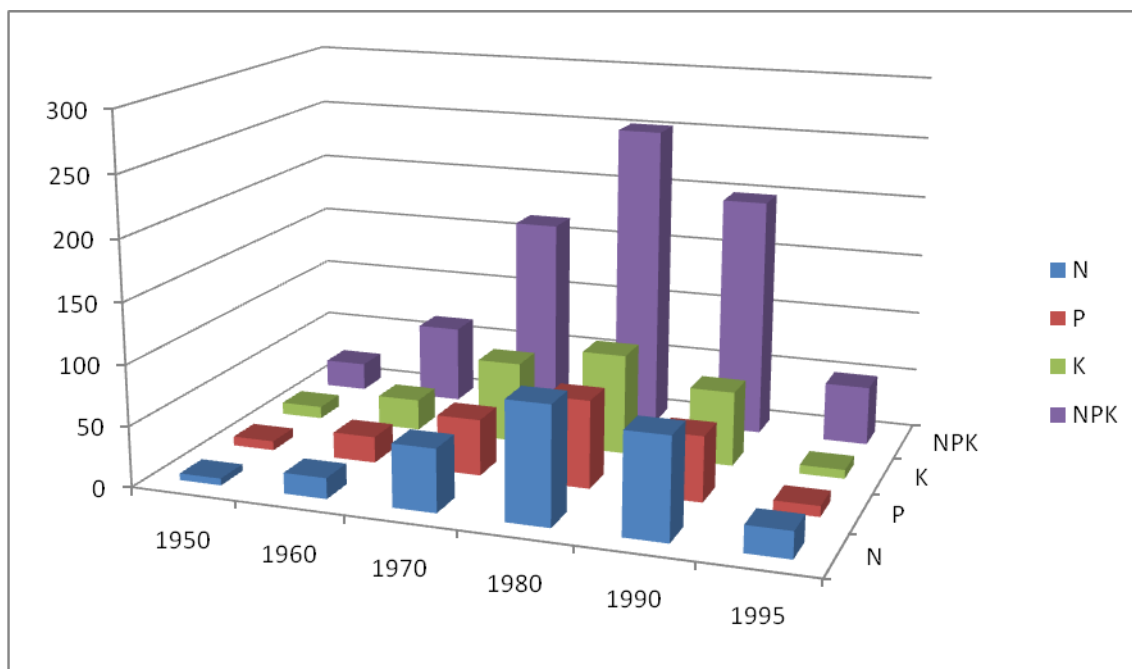
Výsledky viac ako 150-ročných stacionárnych poľných pokusov v Rothamstede (Veľká Británia), Astove (Dánsko) a v ďalších európskych krajinách jednoznačne dokumentujú, že pokiaľ export živín z pôdy úrodou prevláda nad importom živín do pôdy hnojením organickými a priemyselnými hnojivami, dochádza k degradácii biologických a fyzikálno-chemických pôdnych vlastností, výsledkom čoho je výrazné zníženie potenciálnej úrodnosti (<http://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/dlhodoby-vplyv-hnojenia-na-urodu-psenice-ozimnej-a-zemiakov>, 2008).

Je dobre zdokumentované, že cielenou výživou môžeme priaznivo ovplyvniť nielen výšku úrody, ale čiastočne aj kvalitatívne zloženie. Na príklade pestovania obilnín a trendov aplikácie hnojív je možné demonštrovať vzájomnú súvislosť medzi výškou úrody a spotrebou priemyselných hnojív. Výrazný pokles spotreby hnojív po roku 1990 sa negatívne prejavil v znížení úrod obilnín. Zníženie aplikácie hnojív spôsobuje nielen pokles úrod, ale aj zníženie prístupných živín v pôde. Pritom pokles stavov hospodárskych zvierat nedovoľuje zabezpečiť hnojenie organickými hnojivami na požadovanej úrovni. Existuje reálne nebezpečie, že v priebehu niekoľkých rokov dôjde k výraznému poklesu pôdnej úrodnosti. Odčerpané živiny úrodou presahujú množstvo živín aplikovaných do pôdy hnojivami. Rozdiel je na úkor pôdnych zásob aj vrátane využitia geochemických zdrojov, vytvorených počas dlhodobého vývoja pôdneho profilu.

V konečnom dôsledku znížená výkonnosť poľnohospodárstva môže vyvolať deštrukciu poľnohospodárskych podnikov, negatívne ovplyvní rozvoj vidieka a životnú úroveň vidieckeho obyvateľstva, vytvorí stav totálnej závislosti na potravinách z dovozu. Preto je nevyhnutné v maximálnej miere využiť úrodotvorný potenciál pestovaných plodín, zachovanie úrodnosti a produkčnej schopnosti pôd, rentability výroby, princípy ochrany životného prostredia, kvality produkcie ako aj zdravotnej a hygienickej neškodnosti poľnohospodárskych produktov.

Tab. 6: Prehľad aplikácie živín v poľnohospodárstve SR za obdobie rokov 1950-1995) (prevzaté z: Michalík, 2001)

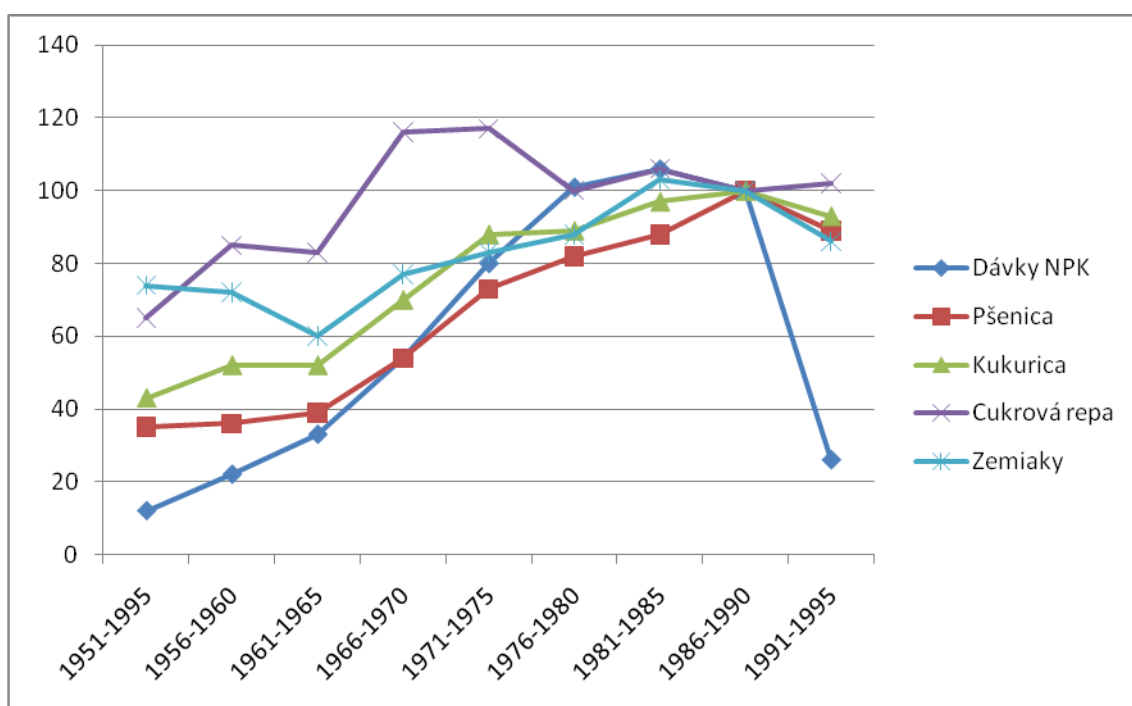
Živiny v kg.ha ⁻¹	Roky					
	1950	1960	1970	1980	1990	1995
N	5,6	17,1	51,7	96,6	83,1	21,8
P	7,6	21,6	46,3	72,2	53,7	8,8
K	10,1	25,9	67,1	83,3	61,8	7,3
NPK	23,3	64,6	165,1	252,1	198,6	48,9



Graf 1: Prehľad aplikácie živín v poľnohospodárstve SR za obdobie rokov 1950-1995) (prevzaté z: Michalík, 2001)

Tab. 7: Vplyv aplikovaných hnojív NPK na úrody jednotlivých plodín na Slovensku v porovnaní s rokmi 1986-1990 (roky 1986-1990=100%) (prevzaté z: Michalík, 2001)

Plodina	1951-1995	1956-1960	1961-1965	1966-1970	1971-1975	1976-1980	1981-1985	1986-1990	1991-1995
Dávky NPK	12	22	33	54	80	101	106	100	26
Pšenica	35	36	39	54	73	82	88	100	89
Kukurica	43	52	52	70	88	89	97	100	93
Cukrová repa	65	85	83	116	117	100	106	100	102
Zemiaky	74	72	60	77	83	88	103	100	86



Graf 2: Vplyv aplikovaných hnojív NPK na úrody jednotlivých plodín na Slovensku v porovnaní s rokmi 1986-1990 (roky 1986-1990=100%) (prevzaté z: Michalík, 2001)

3.5.1 Vplyv deficitu makroprvkov na rast a fotosyntézu

Pri pokusoch s pestovaním kukurice v kompletnom živnom roztoku a roztoku bez N, P, K, Ca, Mg a S boli hodnotené rôzne parametre ako hmotnosť rastlín a orgánov, rýchlosť čistej fotosyntézy, obsah chlorofylu, obsah minerálnych živín v rastline.

Deficit prvkov v prostredí prevažne ovplyvňuje hodnoty čistej fotosyntézy P_N . Najsilnejšia inhibícia bola vyvolaná deficitom K (-47%), v poradí významnosti sa uplatnil vplyv N (-33%), Mg (-22%), P (-20%).

Vplyv deficitu prvkov na P_N sa prenáša aj do výslednej syntézy organickej hmoty celej rastliny a jej častí. Hmotnosť celých častí bola najsilnejšie inhibovaná nedostatkom K (-30%), vylúčením všetkých prvkov s použitím destilovanej vody (-20%). Pri posudzovaní produkcie sušiny celých rastlín bolo zistené, že okrem P, pri deficite všetkých prvkov nastala preukazná inhibícia rastu nadzemných častí pri pestovaní v destilovanej vode (-43%), K (-38%), N (-32%), Mg a Ca (-15%), a S (-8%).

Hmotnosť koreňov bola deficitom S, N, P stimulovaná kým deficit K, Mg, Ca rast koreňov inhibovali. Údaje poukazujú na to, že hodnotenie vplyvu minerálnych živín na životnú činnosť rastlín je zložité. Pokusy s kukuricou dokazujú, že reakcia na podmienky minerálnej výživy sa utvára už v počiatočnej fáze rastu.

V ďalších pokusoch boli použité aj rastliny jarnej pšenice, kukurice, slnečnice, fazule a rajčiakov. Rastliny boli pestované 25 dní pri deficite P, K, Ca, Mg a S. Bolo zistené, že deficit každého prvku rastový proces inhibuje, ale miera jeho účinku na hmotnosť koreňa a nadzemných častí je rozdielna pre každú plodinu.

Hodnotenie vplyvu deficitu jednotlivých prvkov na rast, fotosyntézu a metabolizmus mladých rastlín potvrdzuje, že minerálne živiny sú významným regulačným faktorom týchto procesov. Zároveň však treba zohľadňovať pri vzťahu fotosyntéza – rast -minerálny prvok aj druhovú špecifickosť rastlín.

Tab. 8: Vplyv deficitu prvkov na rastliny (prevzaté z: Repka, 1986)

Variant	Orgán	Hmotnosť v mg na 1 rastlinu				
		pšenica	kukurica	slnečnica	fazuľa	rajčiny
Úplný živný roztok	Nadz. č.	80,0	220,0	162,0	235,0	40,0
	Koreň	13,3	110,0	30,0	38,0	3,0
Bez N	Nadz. č.	48,0	108,0	110,0	158,0	3,3
	Koreň	21,3	144,0	28,0	50,0	2,0
Bez P	Nadz. č.	73,0	135,0	160,0	210,0	15,0
	Koreň	20,0	108,0	40,0	33,3	8,0
Bez K	Nadz. č.	28,0	100,0	92,0	188,0	12,0
	Koreň	13,0	90,0	35,0	32,0	1,0
Bez Ca	Nadz. č.	73,0	153,3	150,0	242,0	40,0
	Koreň	23,0	131,1	35,0	50,0	10,0
Bez S	Nadz. č.	83,0	191,0	180,0	245,0	40,0
	Koreň	34,0	154,0	40,0	48,0	12,0
Bez Mg	Nadz. č.	81,0	199,0	105,0	190,0	32,0
	koreň	30,0	125,0	20,0	38,0	6,0

3.5.2 Hnojenie obilnín

Hnojením priemyselnými i organickými hnojivami sa vytvárajú nielen podmienky pre vyššie úrody, ale hnojením možno výrazne ovplyvniť aj kvalitu poľnohospodárskych produktov. Hnojivá pôsobia na rastliny prostredníctvom pôdy a iných ekologických podmienok.

Pojem kvalita zahŕňa výživnú, prípadne kŕmnu hodnotu rastlinných produktov, ktorá je podmienená obsahom a pomerným zastúpením látok potrebných pre priebeh fyziologických funkcií v organizmoch ľudí i zvierat. Hnojením priamo zasahujeme do tvorby úrody tým, že prostredníctvom živín ovplyvňujeme látkový a energetický metabolizmus rastlín, ktorým sa v rastlinách vytvárajú sacharidy, bielkoviny, tuky, esenciálne výživné látky - aminokyseliny, vitamíny a resorbované minerálne živiny.

3.5.3 Jesenné hnojenie pšenice a jačmeňa

Pšenica a jačmeň sú plodinami, ktoré sa pestujú v SR na 41,3% výmery ornej pôdy vhodnej na osev (priemer za roky 1999 – 2003) a ich podiel na celkovej ploche obilnín je 73,5%. Pšenica sa v uvedenom období pestovala na 373,0 tisíc ha a jačmeň na výmere 222,5 tisíc hektárov. V roku 2003 sa pestovala pšenica tvrdá na 5042 ha a pšenica letná forma jarná na 16 138 ha, čo znamená, že na viac ako 90% výmery sa pestovala pšenica letná forma ozimná. Pri jačmeni siatom sa v minulom roku pestovala forma ozimná na 20 585 ha, čo je menej ako 10% z priemernej výmery jačmeňa, takže vyše 90% plochy zaberá pestovanie jačmeňa jarného.

Vysoké zastúpenie pšenice a jačmeňa v štruktúre pestovaných obilnín svedčí o ich význame pre výživu ľudí, kŕmne účely alebo priemyselné spracovanie, ale aj o ekonomickej výhodnosti ich pestovania a stabilite dosahovaných úrod. Stabilitu úrod významne ovplyvňujú poveternostné podmienky, ktoré sa na kolísaní úrod podieľajú jednou tretinou. Ak predpokladáme dostatočné odborné vedomosti agronómov z oblasti agrotechniky, výživy a ochrany rastlín, potom môžeme konštatovať, že variabilita úrod je z dvoch tretín ovplyvnená ekonomickou situáciou farmárov, resp. užívateľov pôdy (VÚRV Piešťany).

Pri pestovaní pšenice je okrem dosahovania stabilných úrod dôležité klásť dôraz aj na kvalitu produkcie. Tento fakt je dôležitý hlavne pri pestovaní pšenice na potravinárske účely. Potravinárska pšenica je našou najvýznamnejšou chlebovou obilninou s vysokým obsahom bielkovín, kvalitného lepku a vysokým obsahom vitamínov a minerálov. Spotreba potravinárskej pšenice na Slovensku sa pohybuje na úrovni 490 – 530 tis. ton za rok . Pre ich dosiahnutie je dôležité okrem výberu vhodnej odrody prispôbiť aj technológiu pestovania. Dôležitým agrotechnickým opatrením je aj hnojenie, predovšetkým dusíkom. Pšenica letná f. ozimná úrodou 1 tony zrna a príslušnej slamy odčerpá z pôdy : 20-25 kg N, 4,0- 5,0 kg P, 15- 22 kg K, 5 kg Ca a 2,4 kg Mg. Úroda 1 t jačmeňa ozimného a slamy odčerpá 20- 25 kg N, 4,5-5 kg P, 15- 22 kg K. Pričom zásady hnojenia sú podobné ako pri hnojení pšenice letnej f. ozimnej.

Delenie dávok N pri pestovaní pšenice pozostáva zo štyroch dávok:

- základná dávka tvorí 1/5 celkovej dávky dusíka, aplikujeme ju vo forme síranu amónneho
- regeneračná dávka tvorí 2/5 celkovej dávky. Aplikujeme ju skoro na jar v pevnej forme (liadok vápenatý, liadok amónny s vápencom) vo fáze odnožovania. Toto

hnojenie môžeme spojiť s aplikáciou herbicídov, fungicídov u riedkych porastov i s aplikáciou Retacelu 1-2 l.ha⁻¹ na podporu odnožovania.

- produkčná dávka tvorí 2/5, aplikujeme ju v rastovej fáze steblovania na podporu tvorby zŕn vo forme DAM 390
- kvalitatívna dávka do 15 kg.ha⁻¹ v podobe liadku amónneho s vápencom vo fáze klasenia resp. nalievania zrna podporuje HTZ a kvalitu zrna. Jej účinnosť je podmienená zrážkami.

Avšak dá sa povedať, že kvalitatívne hnojenie je pri pestovaní pšenice z pohľadu pestovateľov stále dosť opomínaným opatrením. Často sa stáva, že hnojenie pšenice je ukončené produkčnou dávkou N. Je pravdou, že už aplikáciou produkčnej dávky dusíka sa do istej miery, okrem kvantitatívnych parametrov (produktivita klasu – stimulácia počtu kvietkov v kláskoch, resp. počtu zŕn v klase), ovplyvňujú aj kvalitatívne parametre (hlavne obsah bielkovinových frakcií prolamínu a glutelínu). Pre dosiahnutie kvalitnej úrody pri pestovaní potravinárskej pšenice je však len produkčné hnojenie nedostatočné. Vyššie dávky produkčného hnojenia postačujú pri pestovaní pšenice na energetické účely, hlavne na výrobu bioetanolu, kde neskoršia aplikácia N by zvyšovala obsah bielkovín v zrne na úkor obsahu škrobu. Pri pestovaní potravinárskej pšenice je ale naopak vyšší obsah bielkovín hlavným kritériom hodnotenia kvality.

Význam kvalitatívneho hnojenia spočíva v priaznivom vplyve na aktivitu asimilačného aparátu (hlavne zástavový list, klas), čím je pozitívne ovplyvňovaná HTZ, ako aj objemová hmotnosť zrna, ktorá je hlavným kritériom mlynárskej kvality a súvisí s výťažnosťou múky. Správne načasovanie kvalitatívneho hnojenia eliminuje tiež nevyrovnanosť pomeru produkcie vedľajších odnoží a hlavného klasu. Hlavný význam kvalitatívneho hnojenia však spočíva v pozitívnom pôsobení na tvorbu bielkovinového komplexu a tvorbu mokrého lepku. Hlavným dôvodom prečo sa od kvalitatívnej dávky N upúšťa, sú nepriaznivé poveternostné podmienky, predovšetkým nedostatok zrážok, ktorý má za následok nedostatočnú využiteľnosť dodaného dusíka z hnojiva. Kvalitatívnu dávku N je najvhodnejšie aplikovať v čase klasenia, tesne pred kvitnutím porastov a práve v tomto období sa často vyznačuje suchým počasím. Vhodnejšími hnojivami pre tento druh prihnojovania sú pevné hnojivá, a práve tieto potrebujú pre lepšiu využiteľnosť dostatok vlahy. V opačnom prípade sa využiteľnosť znižuje na minimum, čím sa hnojenie stáva jednak nerentabilné a na druhej strane existuje riziko, že porastom nevyužitý N môže následne spôsobiť zvýšenie obsahu reziduálneho N v

pôde s možnosťou znečisťovania podzemných vôd. V prípade bezorbových technológií je riziko nižšie, nakoľko v tomto prípade je v pôdach mineralizáciou uvoľňované menšie množstvo N a dodaný N z hnojiva je do značnej miery tiež imobilizovaný pôdnou mikroflórou.

Ako už bolo vyššie spomínané, najvhodnejšími hnojivami sú pevné formulácie (LAV, LAD), použitie kvapalných hnojív (DAM 390, roztok močoviny) prináša so sebou riziko popálenia porastov, predovšetkým zástavkového listu, ktorý v najvýznamnejšej miere rozhoduje o úrode. V prípade využitia kvapalných hnojív je nutné využiť vhodné aplikačné nástavce umožňujúce podlistovú aplikáciu, ktorá ochráni porast pred možným rizikom popálenia porastu.

Účinnosť kvalitatívneho prihnojovania však okrem poveternostných podmienok, správneho výberu hnojiva a vhodne zvolenej dávky ovplyvňuje aj dobrý zdravotný stav porastu. Výrazné poškodenie porastu predovšetkým hubovými chorobami, spojené s redukciou fotosyntetického aparátu rastliny, negatívne ovplyvňuje schopnosť optimálneho využitia dodaného N porastom a prihnojenie sa stáva vysoko nerentabilné. Pri výžive a hnojení n berieme do úvahy :

- obsah N v pôde v hĺbke 0,30 m pri základnom a regeneračnom hnojení a 0,60 m pri produkčnom hnojení
- využiteľnosť N z pôdy
- očakávanú úrodu
- spotrebu N úrodou 1t zrna a príslušnej slamy (Molnárová J., Rastlinná výroba I.)

Cieľom hnojenia a výživy rastlín je zabezpečiť dosahovanie dobrej úrody v danom roku, ale aj udržanie, resp. zvýšenie úrodnosti pôdy. Úrodná pôda je predpokladom stability úrod pri menej priaznivých poveternostných podmienkach, ale aj pri krátkodobom nedostatočnom hnojení.

K sledovaným parametrom agrochemických vlastností pôdy patrí aj pôdna reakcia. Pôdnu reakciu nemôžeme meniť každoročne podľa pestovanej plodiny, ale snažíme sa ju udržať v optimálnych hodnotách. Pre ornú pôdu s obsahom do 5% humusu je optimálne pH na ľahkých pôdach 5,8 – 6,2, na stredných 6,3 – 6,7 a na ťažkých 6,8 – 7,0. Pšenica a jačmeň vyžadujú neutrálnu alebo slabokyslú pôdnu reakciu s dolnou hranicou 6,0 pH. Preto by malo byť cieľom farmárov dosiahnuť vápnením úpravu kyslej pôdnej reakcie aspoň na túto hranicu. Pri určovaní dávok vápenatých hmôt treba vychádzať z pôdnej reakcie a jednorazové dávky v CaO pri melioračnom

vápnení by nemali prekročiť na ľahkej pôde $1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (v mletom vápenci $3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), na stredne ťažkej pôde $3,0 \text{ t}$ ($6,0 \text{ t CaCO}_3$) a na ťažkej pôde $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (10 t CaCO_3).

Pri hnojení fosforečnými a draselnými hnojivami vychádzame zo zásady, že nimi hnojíme pôdu. Sú to živiny, ktorých využiteľnosť je v danom roku iba čiastočná a zvyšok prechádza do pôdných zásob, kde vytvárajú tzv. starú pôdnu silu, viažu sa v sorpčnom komplexe a budú rastlinami prijímané v ďalších rokoch. Táto pohyblivosť fosforu je slabá. Uvádza sa iba 1-2 cm ročne a dokonca ešte menej. Tieto živiny treba dostať do celého orničného profilu, preto je najvhodnejšie keď sa celá dávka zapracuje do pôdy pri základnej príprave pôdy najlepšie vo forme superfosfátu a draselnej soli.

Pri určovaní dávok berieme do úvahy obsah fosforu a draslíka v pôde, druh pôdy, plánovanú úrodu a prípadnú zaorávku organických hnojív alebo pozberových zvyškov a vychádzame z bilancie živín pri systéme nahradzovacieho hnojenia. Hnojením nahradíme živiny, ktoré rastliny príjmu svojou produkciou z pôdy. Toto množstvo živín považujeme za základný ročný odberový normatív

Pri určovaní dávok draslíka prihliadame aj na druh pôdy. Pri nízkej zásobe živín v pôde môžeme dávku zvýšiť, aby sme pôdu obohatili o živiny a dostali ju do kategórie aspoň vyhovujúceho obsahu. Ak je obsah živín v pôde dobrý, znížime dávku vypočítanú na základe ročného odberového normatívu o 25-50% (tab.) a pri vysokom obsahu živín môžeme hnojenie obilnín fosforom vynechať na 2-3 roky.

Tab. 9: Odporúčané ročné dávky draslíka pre ornú pôdu v priemyselných a organických hnojivách v rozdelení na podkategórie zásobenosti (prevzaté z Halás, 2004)

Obsah(kategória)	Druh pôdy	Obsah K v pôde v mg.kg ⁻¹ Mehlich III	Dávka K ₂ O v kg.ha ⁻¹					
			Plánovaná úroda v t.ha ⁻¹					
			4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
Vyhovujúci-VH1	L	91-120	100	110	120	130	140	150
	S	131-165	110	120	130	140	150	160
	T	171-215	120	130	140	150	160	170
Vyhovujúci-VH2	L	121-150	80	90	100	110	120	130
	S	166-200	90	100	110	120	130	140
	T	216-260	100	110	120	130	140	150
Dobrý-D1	L	151-190	40	45	50	55	60	65
	S	201-250	50	55	60	65	70	75
	T	261-330	60	65	70	75	80	85
Dobrý-D2	L	191-230						
	S	251-300						
	T	331-370	30	35	35	40	45	50

3.5.4 VÝŽIVA A HNOJENIE KUKURICE SIATEJ

K dosiahnutiu maximálneho výnosu kukurice zvlášť pri pestovaní vysoko výnosných hybridov je veľmi dôležitá primeraná a vyvážená výživa.

Fecenko a kol.(1994) konštatujú, že kukurica je plodina s vysokými nárokmi na živiny, keďže dáva vyššie úrody ako hustosiate obilniny. Vysoké úrody zrna a spotreba živín vyžadujú primeranú zásobu, potrebnú úhradu živín z pôdy a z hnojív. Uvádzajú, že spotreba živín na úrodu 1 tony zrna vrátane kôrovia je na úrovni okolo 22-28 kg N,4-

6 kg P, 18-25 kg K. Spotreba sa mení v závislosti od intenzity hnojenia dusíkom a od vlhových pomerov.

HNOJENIE DUSÍKOM

Vo výžive kukurice má dominantné postavenie práve dusík, ktorý sa najviac podieľa na formovaní úrody a jej kvality. Hnojenie kukurice vychádza z priemernej spotreby živín na jednu tonu zrna a príslušnej slamy : 25- 30 kg N, 4,5- 7 kg P, 23- 29 kg K, 4,5- 7,5kg Ca, 3,5- 6,0 kg Mg.

Najväčšie požiadavky na dusík má kukurica v období intenzívneho rastu a v období zakladania šúľkov, čo je asi 60 dní po sejbe. Početné pokusy vykonané v zahraničí aj u nás poukazujú na silný vplyv stúpajúcich dávok dusíka na úrody kukurice. Metodika hnojenia dusíkom vychádza zo zásady, že hnojenie bude prevádzané delenými dávkami a to tak, aby časť dusíka bola dodaná rastlinám v pohotovej forme pred sejbou a ďalšia potreba dusíka bola krytá v priebehu vegetácie.

Fecenko a kol.(1997) konštatujú, že k orientácii o potrebe hnojenia dusíkom je potrebné poznať obsah N_{an} vo vrstve 0-0.6m pôdného profilu. Ďalej berieme do úvahy množstvo očakávanej úrody, charakter hybridu a vlhkostné podmienky lokality.

Dusík prijíma kukurica v počiatočnom období rastu pomaly, ale vo fáze kvitnutia jeho príjem prudko stúpa, dosahuje hodnoty 4 kg.ha⁻¹. Po vytvorení zrna príjem opäť klesá. Množstvo dusíka ovplyvňuje nielen výnos, ale aj kvalitu zberanej hmoty. Zvyšuje sa obsah bielkovín v zrne, ale ich kvalita sa pri tom zhoršuje. Tvorí sa viac zeínu a menej lyzínu a tryptofánu. Mnohí odborníci konštatujú, že je výhodné a efektívne deliť aplikáciu dusíka do niekoľkých termínov napr. pri sejbe, pri výške porastu 30-40 cm a vo fáze kvitnutia. Účinok hnojiva je tak vyšší ako pri jednorázovej aplikácii pred sejbou (Molnárová, 2009).

HNOJENIE FOSFOROM A DRASLÍKOM.

Fosfor je kukuricou prijímaný po celé vegetačné obdobie. Na hnojenie kukurica reaguje aj podľa obsahu prijateľného fosforu a draslíka v pôde. Okrem fázy kvitnutia a tvorby šúľkov má kukurica vysoké požiadavky na fosfor v prvých fázach rastu. Pre túto fázu vyžaduje fosfor vo vodorozpustnej forme, ale dobre si osvojuje fosfor aj z ťažšie prístupných foriem z fosforečných hnojív. Dôraz na dostatočnú výživu fosforom sa má kládať aj v klimaticky menej priaznivých podmienkach, pretože fosfor priaznivo

ovplyvňuje rýchlosť vyzrievania zrna. V dobe zrelosti je asi 75 % celkového množstva fosforu obsiahnuté v zrne.

Systém hnojenia fosforom spočíva v tom, že je možné hnojiť aj predzásobne na 3-4 roky, čím sa ušetrí energia a pôda sa rýchlejšie obohatí o prístupný fosfor. Aplikácia fosforečných hnojív je vhodná na jeseň pred orbou s možnosťou zapracovania do väčšej hĺbky. Výhodná je tiež aplikácia pri predsejbovej príprave pôdy. Na plochách s intenzívnym pestovaním kukurice sa stanoví množstvo prístupného fosforu v pôde a na základe rozboru sa určia optimálne dávky hnojiva, ktoré sa pohybujú v rozsahu od 30-80 kg P.ha⁻¹ pri kukurici na zrna. Pri pestovaní kukurice na siláž je vhodná dávka 50-60kg P.ha⁻¹. Ako hnojivo sa využíva superfosfát granulovaný alebo práškový.

Draslík vo veľkej miere vplýva na vývin, pevnosť stebiel, odolnosť voči chorobám. Je dôležitý aj pri látkovej premene sacharidov vo fotosyntéze a pri regulovaní vodného režimu v rastline. Draslík zvyšuje odolnosť voči chorobám, suchu a chladu. Taktiež znižuje poliehavosť. Príjem draslíka prebieha podľa iného rytmu ako tvorba biomasy. Do objavenia sa blizien je príjem draslíka veľmi rýchly. V dobe objavenia sa blizien je v rastline nahromadených 90 % celkového množstva draslíka. Jeho príjem prestáva asi 10-15 dní po objavení sa blizien.

Príjem draslíka je priamo závislý od intenzity osvetlenia. Draselné hnojivá sa najčastejšie aplikujú na jeseň pred orbou. Možnosť zásobného hnojenia draslíkom k predplodine kukurice vyplýva z dobrého využívania živín kukuricou z pôdných zásob. V prípade zásobného hnojenia priamo pod kukuricu treba fosforečné aj draselné hnojivá zapracovať do pôdy orbou a zvýšiť dávky dusíka. Na pôdach, ktoré trpia nedostatkom draslíka môže nastať výrazné zníženie úrod. Dávku draselného hnojiva taktiež určíme na základe agrochemického rozboru pôdy. Odporúčané dávky sa pohybujú v rozmedzí od 65-100 až po 120-160 kg K. ha⁻¹ pri pestovaní kukurice na zrna. Pri pestovaní kukurice na siláž je dávka hnojiva 160-220 kg K. ha⁻¹.

Pri voľbe draselných hnojív volíme chloridové formy a aj hnojivá s obsahom horčíka napr. Reformkali alebo Kieserit (Pannikov, Minejev, 1979).

4 Využitie poznatkov pre prax

Návrh na využitie poznatkov v praxi súvisí zo skutočnosťou, že rastliny pre svoj rast a vývoj nevyhnutne potrebujú minerálne látky, ktoré čerpajú jednak z ovzdušia ako CO₂, na strane druhej z pôdneho roztoku. Jedným z ďalších limitujúcich faktorov v procese tvorby poľnohospodárskej produkcie je nedostatok vody v pôdnom profile. Rastliny sú vybavené adaptačnými mechanizmami, ktoré do určitej miery dokážu tieto nepriaznivé podmienky eliminovať, pričom za najdôležitejší prvok v adaptácii rastlín na vodný stres je osmoregulácia.

Z hľadiska minerálnej výživy rastlín nás bude zaujímať súvislosť medzi výživou rastlín jednotlivými minerálnymi prvkami a vodným režimom rastlín. Ako bolo popísané v kapitole 3.3 (fyziologické aspekty minerálnej výživy) na prispôsobení sa rastlín podmienkam nedostatku vlhky sa z anorganických prvkov podieľa hlavne kation draslíka. Bol jednoznačne preukázaný jeho pozitívny vplyv jednak na vodný režim ale aj na kvalitu produkcie.

Môžeme teda skonštatovať, že minerálna výživa sa podieľa na intenzifikácii úrod významnou mierou. V praxi treba prihliadať na správne zvolenú, harmonickú minerálnu výživu s ohľadom na obsah využiteľných živín v pôde rešpektujúc požiadavky jednotlivých rastlín.

Tvorba rastlinnej produkcie je však proces zložitý, ktorý závisí od mnohých biotických a abiotických faktorov. V súčasnej dobe sa do pozornosti čoraz viac dostáva otázka klimatických zmien. Uskutočnené analýzy predpokladajú okrem iných aj zmeny teploty a tým aj vodného režimu. Územné úhrny zrážok na Slovensku sa za 100 rokov znížili o 5,6 %, na juhu aj viac ako o 10 %. V dôsledku toho sa najúrodnejšie časti našej republiky budú posúvať do vyšších polôh nadmorskej výšky. Dopady predpokladaných klimatických zmien je potrebné riešiť z dlhodobého hľadiska zabezpečením postupov pri plánovaní poľnohospodárskej stratégie vhodnými účinnými opatreniami na zníženie negatívneho dopadu nedostatku vlhky. Medzi eliminačné opatrenia by mohli patriť nasledovné:

- Využívanie závlah a zabezpečenie efektívneho hospodárenia s vodou
- Zlepšenie fyzikálnych a chemických vlastností pôdy
- Zlepšenie technológií obrábania pôdy a využitie pôdoochranných technológií (mulčovanie, vhodné oseedné postupy, ochrana proti erózii)

-
- Využitie šľachtiteľských metód o ohľadom na vyššiu odolnosť rastlín proti stresom

Spolu so zmenami agroklimatickej rajonizácie, štruktúry pestovaných plodín a šľachtenia suchovzdorných genotypov by bolo možné ovplyvniť vplyv vodného deficitu na úrody poľnohospodárskych plodín.

5 Záver

Produkcia poľnohospodárskych plodín je veľmi zložitý proces závislý na interakcii genetického potenciálu rastlín a vonkajšieho prostredia. Jej neoddeliteľnou súčasťou je pôda, zložitý, dynamický systém, podliehajúci neustálemu kolobehu látok. To znamená, že množstvo živín odobraté úrodou musí byť dodané späť do pôdneho profilu a tým vytvoriť optimálnu bilanciu živín. Narušenie optimálneho pomeru živín v pôde vedie k narušeniu ich pomeru v rastlinách a môže zapríčiniť zhoršenie chemického zloženia rastlín. Z hľadiska trvalo udržateľného rozvoja je preto nevyhnutné zachovanie úrodnosti pôd, pri súčasnom využití ekologických zásad na dosiahnutie dostatočného množstva zdravotne nezávadných potravín.

Rastliny sú živé organizmy, ktoré sú schopné čiastočne sa prispôbovať prostrediu procesmi autoregulácie. Avšak každá odchýlka od optimálnych podmienok má za následok negatívny vplyv na rast a vývoj. Jedným z najčastejších limitujúcim faktorom negatívne pôsobiacim na ontogézu rastlín je nedostatok vody. Vodný deficit znižuje intenzitu fotosyntetickej asimilácie, základ tvorby biomasy.

Predpokladá sa, že počas pôsobenia sucha rastlina reaguje zatváraním prieduchov a tým limituje prísun CO_2 do chloroplastov. Znížením vodivosti prieduchov klesá čistá asimilácia CO_2 a nastáva kompenzačný bod fotosyntézy.

Dôležitým aspektom adaptácie rastlín je schopnosť rastlinných buniek udržiavať turgor, vodivosť prieduchového aparátu pre uskutočnenie fotosyntézy, udržanie rastu a zvýšenie využitia vody. Udržaním týchto fyziologických funkcií zabezpečíme zvýšenie produktivity v normálnych ako aj stresových podmienkach.

Adaptabilné schopnosti jednotlivých rastlín sú druhovo špecifické podľa genotypu a taktiež závislé na ontogenetickom stupni vývoja a dĺžky pôsobenia stresu. Genotypy rastlín v vyššou kapacitou pre osmotické prispôbenie dosahujú v praxi vyššie úrody zrna a biomasy. Tvorba a pestovanie genotypov so schopnosťou lepšieho hospodárenia s vodou sa zdá byť predpokladom vyššej, ekonomicky efektívnejšej tvorby produkcie poľnohospodárskych plodín aj v nepriaznivých podmienkach.

Jednotlivé fyziologické aspekty rastu a vývinu rastlín sú navzájom prepojené a neoddeliteľne späté. Vyplýva to z poznania, že tieto procesy sú podmienené príjmom látok anorganickej povahy z vonkajšieho prostredia a ich zabudovaním do štruktúrnych komponentov buniek. Na záver teda možno konštatovať, že minerálna výživa je právom

centrom pozornosti výskumov sledujúcich cieľ lepšieho poznania špecifických schopností rastlín a ich využitie v praxi.

6 Zoznam použitej literatúry

- BAIER, J. 1982. *Výživa rostlin v soustavě hnojení*. IVV MZVŽ : Praha, 1982, 216 s. 120-129.
- BAIER, J.- BAIEROVÁ, V. 1985. *Abeceda výživy rostlin a hnojení*. SZN : Praha, 1985 s. 96-101.
- BERRY, J. – BJÖRKMAN, O. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. In: *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1980, 31, s. 491-543.
- BÍZIK, J. 1989. Podmienky optimalizácie výživy rastlín dusíkom. Série A, Poľnohospodárstvo, Veda: Bratislava, 1989, 192 s. ISBN: 80- 224- 0041- 6.
- BLÁHA, L. et al. 2003. *Rostlina a stres 1. vyd.* Praha : VÚRV, 156 s.
- BRESTIČ, M. 1988. *Vplyv vodného stresu na rastovo- produkčné charakteristiky jarného jačmeňa v rôznych podmienkach minerálnej výživy*. Kandidátska dizertačná práca.
- BRESTIČ, M.- OLŠOVSKÁ, K. 2001. *Vodný stres rastlín: príčiny, dôsledky a východiská*. Nitra, 2001, 149 s.
- DVOŘÁK, M. 1976. *Fyziologie rostlin speciální: Metabolismus minerálních látek u rostlin*. UK : Praha, 1976, 173 s.
- IVANIČ, J. et al. 1990. *Metabolismus živín v rastline*. VŠP : Nitra, 1990, 90 s.
- KOVÁR, M. 2003. *Integrované prístupy hodnotenia tolerance jačmeňa jarného na suchu*. Dizertačná práca, Nitra, 2003, 171 s.
- MASAROVIČOVÁ, E.- REPČÁK, M. 2002. *Fyzilógia rastlín - 1. vyd.* - Bratislava : Univerzita Komenského, 2002, 303 s. ISBN 80-223-1615-6.
- MICHALÍK, I., 1985. *Príjem a metabolismus fosforu v rastlinách*. Série A, Poľnohospodárstvo 2/1985, Veda: Bratislava, 1985, 180 s.
- MICHALÍK, I., 2001. *Molekulárne a energetické aspekty príjmu živín v rastlinách*, SPU : Nitra, 2001, 158 s. ISBN: 80-7137-836-4.
- MICHALÍK, I., 2008. *Biochémia*. SPU: 2008, 225 s. ISBN: 978-80-552-0020-0.
- MINEJEV, V. G.- PAVLOV, N. 1984. *Agrochemické základy zvyšování jakosti pšenice*. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1984, 247 s.
- MOLNÁROVÁ, J., et al., 2009. *Rastlinná výroba I.* ,SPU : Nitra, 2009, 177 s. ISBN: 978-80-552-0194-8.

-
- MORGAN, J. M. 1995. Growth and yield of wheat lines with differing osmoregulative capacity at high soil water deficit in seasons of varying evaporative demand. In: *Field Crop Res.*, 1995, č. 40, s. 143-152.
- NÁTR, L., 2002. *Fotosyntetická produkce a výživa lidstva*. ISV nakladatelství: Praha, 2002, 423 s. ISBN: 80-85866-92-7.
- OLŠOVSKÁ, K. et al., 2008. *Fyziológia a ekofyziológia rastlín, systematický výkladový slovník*. Nitra 2008, 160 s. ISBN: 978-80-552-0089-7.
- OLŠOVSKÁ, K., BRESTIČ, M., 2001. Function of hydraulic and chemical water stress signalization in evaluation of drought resistance of juvenil plants. In: *Journal of Central European Agriculture*, 2001, 2.
- ONIANI, O.G., 1981. *Agrochimija kalija*. Moskva: Nauka, 1981, 199 s.
- PANNIKOV, V.D.- MINEJEV, V.G. 1979. *Pôda, podnebie, hnojivo a úroda*. Príroda: Bratislava, 1979, 440 s.
- PROCHÁZKA, S. 1998. *Fyziologie rostlin*. Academia: Praha, 1998, 484 s.
- REPKA, J., 1986. *Funkcia minerálnych živín v regulácii fotosyntézy a rastu rastlín*. VEDA: Bratislava, 1986, 184 s.
- REPKOVÁ, J., 2007. *Bioindikácia fyziologického stavu rastlín v ekosystéme v podmienkach environmentálneho stresu. Autoreferát dizertačnej práce*. Nitra 2007.
- ŠEBÁNEK, J., et al., 1983. *Fyziologie rostlin*. Státné zemědělské nakladatelství: Praha, 1983.
- ŠPÁNIK, F.- TOMLAIN, J., 1997. *Klimatické zmeny a ich dopad na poľnohospodárstvo*. Nitra, 1997, 154 s. ISBN: 80-7137-345-1.
- ŠVIHRA, J., 1989. *Fyziológia rastlín*. Príroda: Bratislava, 1989, 354s.
- TARDIEU, F. – DAVIES, W. J. 1992. Stomatal response to abscisic acid is a function of current plant water status. In: *Plant Physiology*, 1992, č. 98, s. 540-545.
- ZIMA, M., 1999. *Fyziológia rastlín*. 1999. SPU: Nitra 1999, 151 s. ISBN: 80-7137-587-X.
- HALÁS, L. 2004. *Jesenné hnojenie pšenice a jačmeňa* [online]. Zvolen : Ústredný kontrolný a skúšobný ústav poľnohospodársky, aktualizované 2004 [cit. 2010-02-19]. Dostupné na: <http://agroporadenstvo.sk/rv/obilniny/jesenne_hnojenie.htm>.
-

-
- KIŠŠOVÁ, I. 2008. *Biologické membrány a ich význam pre existenciu života* [online]. Bratislava : UK, 2004 [cit. 2010-01-27]. 14 s. Dostupné na: <http://158.195.47.144/clanky/chemia/Biologicke_membrany.doc>.
- KMEŤ, J. 2009. *Fyziológia rastlín* [online]. Zvolen : Technická univerzita, 2009 [cit. 2010-03-09]. 4 s. Dostupné na: <http://194.160.170.12/files/LF-KF/Pedago-Predmety/03_Mineralna_vyziva.pdf>.
- KODÍČEK, M. 2004. *Biochemické pojmy (výkladový slovník)* [online]. Praha : VŠCHT, 2004 [cit. 2010-01-20]. Dostupné na: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-002_v1/hesla/chloroplasty.html>.
- OLŠOVSKÁ, K. - HUDECOÁ, M. - ZIMA, M. 1994. *Vplyv koncentrácie CO₂ a vodného stresu na rýchlosť fotosyntézy* [online]. Nitra : SPU, 1994 [cit. 2010-03-09]. 4 s. Dostupné na: <<http://www.chmi.cz/meteo/CBKS/sbornik94/olsovska.pdf>>.
- OLŠOVSKÁ, K. 2002. *Zvýšenie tolerancie rastlín na sucho ako stabilizujúci prvok úrody* [online]. Nitra : SPU, 2002 [cit. 2010-02-02]. 133 s. Dostupné na: <http://konference.agrobiologie.cz/konference/2002-09-25/105_Olsovska.pdf>.
- Pestovanie rastlín – Všeobecne* 2009 [online]. Trnava : ENGO, aktualizované 2009 [cit. 2010-04-30]. Dostupné na: <<http://www.kvetyazahrada.sk/vseobecne.html>>.
- SHENG, L. – WENZHI, L. – SUNG, CH. L. 2009. Potassium nutrition, sodium toxicity, and calcium signaling: connections through the CBL–CIPK network In *Current Opinion in Plant Biology* [online]. 2009, vol. 12, no. 3 [cit. 2010-05-02], s. 339-346 Dostupné na: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/13695266>>.
- SVOBODA, P. 2009. *Na⁺/K⁺ ATPasa* [online]. Praha : VŠCHT, 2009 [cit. 2010-02-17]. 4 s. Dostupné na: <<http://web.vscht.cz/spiwokv/enzymologie/referaty/NaK-ATPasa.pdf>>.
- VOLTAS, J. et al, 2009 Mineral accumulation, carbon isotope discrimination and indirect selection for grain yield in two-rowed barley grown under semiarid conditions. In *European Journal of Agronomy* [online]. 1998, vol. 9, no. 2-3 [cit. 2010-04-13], s. 147-155 Dostupné na: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/11610301>>.
- Dlhodobý vplyv hnojenia na úrodu pšenice ozimnej a zemiakov 2008* [online]. aktualizované 2008 [cit. 2010-04-30]. Dostupné na: <<http://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/dlhodoby-vplyv-hnojenia-na-urodu-psenice-ozimnej-a-zemiakov>>.
-