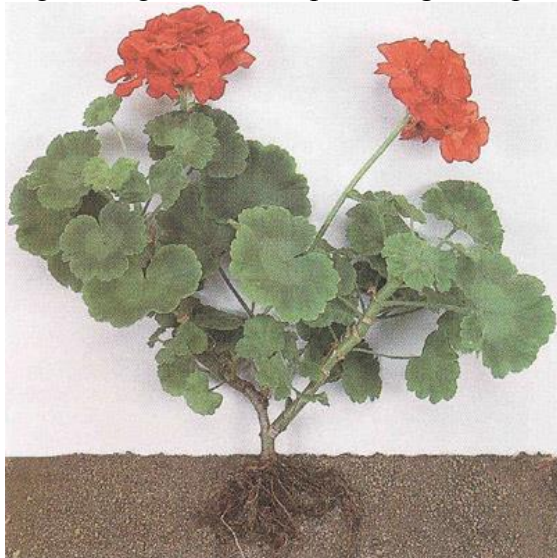


## Augu minerālā barošanās

Ikviens organisms ir atklāta sistēma, kas ar vidi kontaktējas enerģijas un vielu maiņas ceļā. Šajā cikliskajā vielu un enerģijas maiņas procesā, kas uztur ekosistēmu, augi un citi fotoautotrofie organismi veido svarīgu posmu – neorganisko vielu pārveidošanu organiskajās. Tomēr jāatceras, ka autotrofija nenozīmē autonomiju – piemēram, augiem fotosintēzes veikšanai kā enerģijas avots nepieciešama saules gaisma. Savukārt, lai sintezētu organiskās vielas, augiem nepieciešams izejmateriāls – neorganiskās vielas – oglekļa dioksīds, ūdens un dažādas minerālvielas, kas augsnē sastopamas neorganisko jonu veidā. Ar savu sazaroto sakņu un vasas sistēmu augs ekstensīvi kontaktējas ar vidi – augsni un gaisu, kas kalpo kā augam nepieciešamo neorganisko vielu krātuve (1.1.attēls).



### 1.1. attēls. Augs un vide.

Augu ar vidi saista milzīga virsma. Lai augs varētu uzņemt sev nepieciešamās vielas, tam izveidojusies sazarota sakņu un vasas sistēma. Ar saknēm tas no augsnes uzņem ūdeni un minerālvielas, bet ar lapām no gaisa – ogļskābo gāzi.

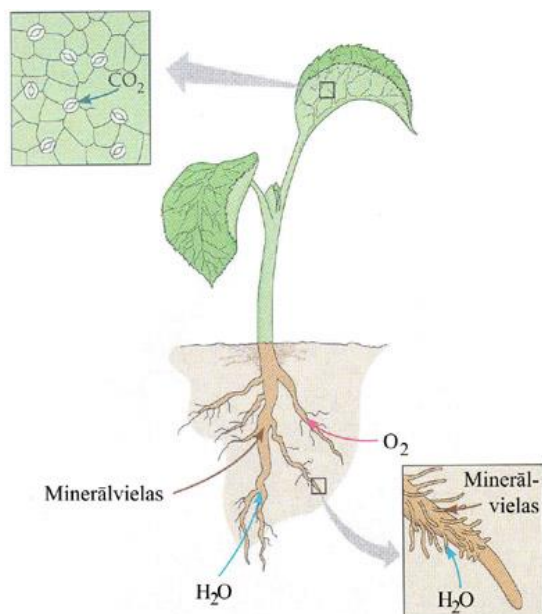
## 1. Augu minerālās barošanās priekšnoteikumi

### 1.1. Augu ķīmiskais sastāvs

Dažkārt pat grūti iedomāties, kā no niecīgas sēklas var izaugt milzīgs koks. Aristotelis uzskatīja, ka auga augšanai nepieciešamās vielas atrodas augsnē, jo izskatās, ka augi aug no zemes. Viņš uzskatīja, ka lapu funkcija ir tikai noēnot nogatavojošos augļus. XVII gadsimtā beļģu fiziķis Žans Batists van Helmonts veica eksperimentu, lai pārliecinātos, ka augi augšanai izmanto augsni. Viņš iestādīja vītola dīgstu podā, kurā bija 90.9 kg augsnes. Pēc 5 gadiem vītols bija izaudzis par koku, kas svēra 76.8 kg, bet poda masa bija samazinājusies tikai par 0.06 kg. Van Helmonts secināja, ka vītols augšanā izmantojis galvenokārt ūdeni, ar ko regulāri laistīja koku. Gadsimtu vēlāk – XVIII gadsimtā – angļu fiziologs Stefens Heils postulēja, ka augi barojas galvenokārt no gaisa.

Kā vēlāk izrādījās, neviena no agrīnajām augu minerālās barošanās teorijām nav pilnīgi nepareiza (1.2. attēls). Augi no augsnes uzņem minerālvielas, bet šīs augam nepieciešamās minerālvielas, kā van Helmonts atklāja, veido tikai nelielu daļu no augu kopējās masas. Aptuveni 80...85 % no lakstaugu kopējās masas veido ūdens un šie augi aug galvenokārt, ūdenim uzkrājoties centrālajās vakuolās. Arī ūdeni patiesībā var uzskatīt par augam nepieciešamu minerālvielu, jo tas augu apgādā ar ūdeņradi un nedaudz arī ar

skābekli, kuri fotosintēzes procesa laikā iesaistās organiskajās vielās. Tomēr tikai neliela daļa no



### 1.2.attēls. Minerālās barošanās pamatprincips.

Ūdeni un minerālvielas saknes absorbē no augsnes ar spurgaliņām, kas stipri palielina sakņu absorbējošo virsmu. Oglekļa dioksīdu (fotosintēzei nepieciešamā oglekļa avotu) augs caur lapās esošajām atvārsnītēm uzņem no gaisa. (Augiem šūnu elpošanai nepieciešams  $O_2$ , kaut arī augi paši fotosintēzē to izdala). No šīm neorganiskajām vielām augs pats sintezē sev nepieciešamās organiskās vielas.

ūdens, kas iekļūst augā, piegādā atomus organisko vielu molekulām. Vairāk nekā 90 % ūdens, ko augs uzņem, tas zaudē transpirācijas procesā, un vairums ūdens, ko augs saglabā, faktiski darbojas kā šķīdinātājs, nodrošina šūnu stiepšanos, kā arī, uzturot šūnās turgoru, nodrošina mīksto audu stiprību. Pēc masas vairums organisko vielu veidojas nevis no ūdens, bet gan no  $CO_2$ , ko augs asimilē no atmosfēras.

Auga ūdens saturu var izmērīt, salīdzinot auga masu pirms un pēc tā izžāvēšanas. Pēc tam var analizēt iegūtās augu sausās masas (sausnes) ķīmisko saturu. Apmēram 95 % no sausnes satura veido organiskās vielas, bet atlikušos 5 % veido neorganiskās vielas. Vairums organisko vielu ir ogļhidrāti, ieskaitot arī šūnapvalku celulozi. Tādējādi ogleklis, skābeklis un ūdeņradis - visas trīs ogļhidrātu sastāvdaļas - ir augu sausnē visvairāk sastopamie ķīmiskie elementi. Tā kā dažu organisko vielu molekulas satur arī slāpekli, sēru vai fosforu, arī šie ķīmiskie elementi augos ir sastopami salīdzinoši lielā daudzumā. Neorganiskajās vielās, kas sastopamas augos, ir identificēti vairāk nekā 50 ķīmiskie elementi, tomēr ir maz ticams, ka visi šie elementi ir augam nepieciešami. Saknes absorbē minerālvielas mazliet selektīvi, un tādējādi augā uzkrājas nepieciešamie elementi, kas augsnē var atrasties ļoti niecīgā daudzumā. Zināmā mērā augos esošās minerālvielas atspoguļo augsnes saturu, kurā augs ir audzis. Augu ķīmiskā sastāva pētīšana dod iespēju noteikt, kādi elementi tiem nepieciešami, tomēr ir jāprot atšķirt augam nepieciešamos elementus no tiem, kas augā ir tikai sastopami.

### 1.2. Nepieciešamie elementi

Noteikts ķīmiskais elements tiek saukts par augam **nepieciešamu elementu**, ja tas ir nepieciešams, lai augs izaigtu no sēklas un pilna dzīves cikla laikā (no vienas līdz nākamajai paaudzei) dotu pēcnācējus (jaunas sēklas). Izmantojot metodi, ko sauc par **hidroponiku**, iespējams noteikt, kurš no elementiem augam patiešām ir nepieciešams (1.3.attēls). Ar hidroponikas palīdzību ir noteikts, ka visiem augiem ir nepieciešami 17 ķīmiskie elementi, bet noteiktām augu grupām vēl daži (1.1.tabula). Vairums pētījumu veikti ar lauksaimniecībā izmantojamiem augiem; nedaudz ir zināms par dažām



### 1.3.attēls. Hidroponikas izmantošana augam nepieciešamo elementu noteikšanai.

Augi tiek audzēti, iegremdējot to saknes noteiktas koncentrācijas minerālvielu šķīdumā. Lai saknēm piegādātu šūnu elpošanai nepieciešamo skābekli, barības šķīdumi tiek aerēti. Lai noteiktu, vai kāds noteikts elements ir augam nepieciešams, to, piemēram, kāliju, barības šķīdumam nepievieno.

Ja nepievienotais elements ir augam nepieciešams, tad nepilnajā barības šķīdumā augošā augs attīstībā, atšķirībā no kontroles augs, parādās traucējumi – tiek kavēta augšana, lapām izmainās krāsa, tās var sačukuroties utt.

specifiskām savvaļas augu, t.sk. vairāku komerciāli nozīmīgu skuju koku, prasībām.

Minerālelementus, kas augiem nepieciešami salīdzinoši lielā daudzumā, sauc par **makroelementiem**. Makroelementu daudzums dzīvo organismu audos ir lielāks par  $10^{-2}$  %. Pavisam ir deviņi makroelementi, ieskaitot sešas svarīgākās organisko vielu sastāvdaļas – oglekli, skābekli, ūdeņradi, slāpekli, sēru un fosforu. Bez jau minētajiem ķīmiskajiem elementiem makroelementiem pieskaitāmi arī kalcijs, kālijs un magnijs (1.1.tabula).

Minerālelementus, kas augiem nepieciešami niecīgā daudzumā, sauc par **mikroelementiem**. Mikroelementu daudzums dzīvo organismu audos ir ļoti mazs - ( $10^{-3}$  -  $10^{-12}$  %). Astoņi mikroelementi ir dzelzs, hlors, varš, mangāns, cinks, molibdēns, bors un niķelis. Šie elementi augā funkcionē galvenokārt kā enzīmātisko reakciju kofaktori un veic katalītiska rakstura funkcijas un tāpēc tie augam nepieciešami ļoti niecīgā daudzumā (1.1.tabula). Dzelzs, piemēram, ietilpst citohromu – proteīnu, kas darbojas hloroplastu un mitohondriju elektronu transporta ķēdēs, - sastāvā. Molibdēna nepieciešamība, piemēram, ir tik niecīga, ka augu sausrnē uz vienu tā atomu ir 16 miljoni ūdeņraža atomu. Tomēr arī molibdēna un citu mikroelementu trūkumā augs var nīkuļot, novīst un pat aiziet bojā.

**1.1.tabula. Augiem nepieciešamie minerālelementi.**

Elementi	Augam izmantojamā forma	Galvenās funkcijas
<b>Makroelementi (<math>10^1 - 10^{-2}</math> % masas)</b>		
Skābeklis	O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>	Augu sastāvā esošo organisko vielu galvenā sastāvdaļa.
Ogleklis	CO <sub>2</sub>	Augu sastāvā esošo organisko vielu galvenā sastāvdaļa.
Ūdeņradis	H <sub>2</sub> O	Augu sastāvā esošo organisko vielu galvenā sastāvdaļa.
Slāpeklis	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Nukleīnskābju, proteīnu, hormonu un koenzīmu sastāvdaļa.
Kālijs	K <sup>+</sup>	Proteīnu sintēzes kofaktors; ūdens līdzsvara regulēšana; atvārsnīšu kustību regulēšana.
Kalcijs	Ca <sup>2+</sup>	Šūnapvalku veidošanās un izturība; membrānu struktūras un caurlaidības uzturēšana; dažu enzīmu aktivēšana; daudzu šūnas atbildes reakciju regulēšana.
Magnijs	Mg <sup>2+</sup>	Hlorofila sastāvdaļa; daudzu enzīmu aktivēšana.
Fosfors	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Nukleīnskābju, fosfolipīdu, ATP, dažādu koenzīmu sastāvdaļa.
Sērs	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Proteīnu, koenzīmu sastāvdaļa.
<b>Mikroelementi (<math>10^{-3} - 10^{-5}</math> % masas)</b>		
Dzelzs	Fe <sup>3+</sup> , Fe <sup>2+</sup>	Citohromu sastāvdaļa; aktivē dažus enzīmus.
Hlors	Cl <sup>-</sup>	Aktivē fotosintēzes elementus; ūdens līdzsvara regulēšana.
<b>Bors*</b>	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Hlorofila sintēzes kofaktors; var iesaistīties ogļhidrātu transportā un nukleīnskābju sintēzē.
Mangāns	Mn <sup>2+</sup>	Piedalās aminoskābju sintēzē; aktivē dažus enzīmus.
Cinks	Zn <sup>2+</sup>	Piedalās hlorofila sintēzē; aktivē dažus enzīmus.
<b>Varš*</b>	Cu <sup>+</sup> , Cu <sup>2+</sup>	Daudzu redoks- un lignīnbiosintēzes enzīmu sastāvdaļa.
<b>Molibdēns*</b>	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Nepieciešams slāpekļa fiksēšanai; nitrātu redukcijas kofaktors.
Niķelis	Ni <sup>2+</sup>	Slāpekli saturošu vielu metabolismā funkcionējoša enzīma kofaktors
Silīcijs		
Kobalts		Aktivē enzīmus, palielina augu sausumizturību

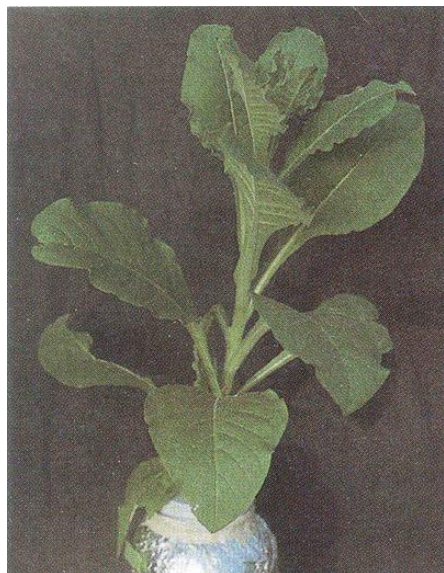
\* Trūkst Latvijas augsnēs

**1.3. Minerālelementu trūkums**

Dažādu minerālelementu trūkuma simptomi ir daļēji atkarīgi no šo elementu funkcijām augā. Piemēram, magnija trūkuma gadījumā auga lapas sāk dzeltēt, jo magnijs ietilpst hlorofila sastāvā. Šādu lapu dzeltēšanu, kad lapas plātne starp lapas dzīslām kļūst dzeltenīga, sauc par **hlorozi** (1.4.attēls). Dažos gadījumos sakarība starp elementa trūkumu un šī trūkuma simptomiem ir mazāk tieša. Tā piemēram, arī dzelzs trūkums var izraisīt hlorozi, kaut arī dzelzs neietilpst hlorofila sastāvā. Šajā gadījumā hlorofila veidošanās ir traucēta, jo dzelzs ir nepieciešama kā kofaktors vienā no hlorofila biosintēzes posmiem.



Minerālelementu trūkuma simptomi nav atkarīgi tikai no šo elementu funkcijām augā, bet arī no to kustīguma tajā. Ja elements samērā brīvi pārvietojas no vienas auga daļas uz citu, tad tā trūkuma simptomi vispirms parādīsies vecākajos auga orgānos, jo šis elements vispirms tiek izmantots jaunajos augošajos augu audos, kas aktīvāk augot to arī aktīvāk patērē. Augam, kuram trūkst magnijs, hlorozes pazīmes vispirms parādās vecajās lapās (1.4. attēls). Magnijs, kurš augā ir samērā mobils, vispirms tiek novirzīts uz jaunajām lapām. Savukārt, ja augam trūkst kāds no elementiem, kuri augā pārvietojas salīdzinoši



A



B

#### 1.4.attēls. Magnija trūkums tabakas augam.

Salīdzinot kontroles augu (A), kurš audzis pilnā barības šķīdumā, ar augu (B), kura barības šķīdumam nav pievienots magnijs, redzams, ka magnija trūkums izraisa lapu dzeltēšanu, jo nesintezējas hlorofils, kura sastāvā ietilpst ķīmiskais elements.

lēni, tā trūkuma simptomi vispirms parādīsies jaunajās lapās. Vecākos auga audos var būt pietiekams attiecīgā elementa daudzums, ko tie spēj paturēt (neatdot) arī tā nepietiekamas piegādes periodos. Ja augam trūkst dzelzs, kas tā audos brīvi nepārvietojas, tad vispirms sāk dzeltēt jaunās lapas un tikai pēc tam vecās.

Fosfora trūkuma gadījumā lapām parādās brūngani violetas krāsas pleķi.

Trūkstot kālijam, lapu plātņu malas kļūst dzeltenīgi brūnas.

Dažādu minerālelementu trūkuma simptomi visbiežāk ir pietiekami atšķirīgi, lai fiziologs zinātnieks vai praktiķis spētu noteikt to cēloni. Par noteiktās diagnozes pareizību var pārliecināties, analizējot minerālelementu saturu augā un augsnē. Vairumā gadījumu augiem trūkst slāpekļa, kālija un fosfora. Mikroelementu trūkums nav tik izplatīta problēma un tas ir vairāk atkarīgs no augu ģeogrāfiskās atrašanās vietas – atšķirībām augsnes sastāvā. Mikroelementu daudzums, kas nepieciešams, lai novērstu to trūkuma radītās sekas, parasti ir ļoti niecīgs. Trūkstot cinkam, parādās augu pundurainība – cinks piedalās triptofāna sintēzē, kas ir augsna priekštecis. Līdz ar to tiek traucēta augu augšana, tomēr cinka trūkumu var novērst samērā vienkārši, piemēram, augļu kokiem iedzenot to stumbrā dažas cinkotas naglas. Jebkurā gadījumā jāievēro mērenība, jo daži mikroelementi pārliedz daudzumā augiem var būt arī toksiski.

Viens paņēmieni, kā augiem nodrošināt optimālus minerālās barošanās apstākļus, ir audzēt tos hidroponikā barības šķīdumos, kuru saturu var precīzi regulēt (1.5. attēls).



A



B

### 1.5.attēls. Hidroponika.

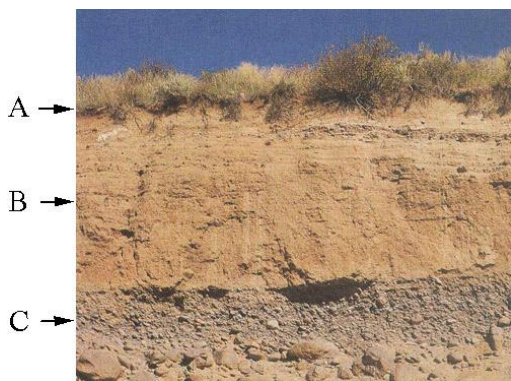
- A) Hidroponikas kamera, kuras iekšpusē salātu saknes tiek nodrošinātas ar barības vielu šķīdumu. Iespējams, ka hidroponikai būs liela nozīme, lai astronauti kosmosa kuģos varētu sev audzēt svaigus dārzeņus, kā arī, lai atrisinātu pārtikas rūkuma problēmu tepat uz Zemes.
- B) Modernā augu ražošanā minerālo barošanos kontrolē dators.

## 2. Augsne

Augsnes struktūra un ķīmiskais sastāvs ir galvenie faktori, kas nosaka, kādi augi dotajā vietā var augt – vienalga, vai tā ir dabiska ekosistēma vai arī lauksaimniecībā izmantojams apgabals. Cits svarīgs faktors, protams, ir klimats. Augi, kas savvaļā aug noteikta tipa augsnē, ir pielāgojušies šīs augsnes struktūrai un minerālvielu saturam un spēj no tās uzņemt ūdeni un nepieciešamos elementus. Augi no augsnes ne tikai uzņem ūdeni un minerālvielas, bet arī nostiprinās tajā. Tomēr augu un augsnes attiecības nav vienpusējas – arī augi ietekmē augsni.

### 2.1. Augšņu struktūra un sastāvs

Augsnes ir izveidojušās blīvu iežu erozijas rezultātā. Šie ieži sairst, to plaisās iekļūstot ūdenim un tam ziemā sasalstot, tomēr cieto iežu eroziju veicina arī ūdenī izšķīdušās skābes. Tiklīdz organismi var sākt apdzīvot cietos iežus, arī tie sāk veicināt eroziju. Ķērpji, sēnes, baktērijas, sūnas un augu saknes izdala skābes, turklāt augu saknes, iesaistot akmeņu, klinšu un citu cieto iežu spraugās, arī mehāniski veicina to sairšanu. Visu šo procesu rezultātā veidojas **augšņu virskārta** - dažādas struktūras sairuso iežu, dzīvo organismu un humusa (daļēji satrudējušu organisko vielu atlieku jeb trūdvielu) kombinācija. Augšņu virskārta un citi augsnes slāņi ir labi saskatāmi, ja izrok augsnes slāņu paraugbedres, tomēr dažkārt tos var saskatīt arī ceļmalās (2.1.attēls).



#### 2.1.attēls. Augšņu slāņi.

Ceļmalā labi saskatāmi 3 izteikti augsnes slāņi:  
 A slānis – augsnes virskārta, ko veido sairusi ieži, dzīvie organismi un humuss;  
 B slānis satur daudz mazāk organisko vielu, tajā nav notikusi tik izteikta erozija. B slānī var uzkrāties māla daļiņas un minerālvielas, ko A slānī izšķīdinājis ūdens;  
 C slāni veido galvenokārt daļēji sairusi cietie ieži; no tā sākotnēji veidojušies augšējie slāņi.

Augsnes virskārtas struktūra ir atkarīga no tās daļiņu izmēriem, ko klasificē plašā diapazonā no rupjas grants līdz pat mikroskopiskām māla daļiņām. Visauglīgākās augsnes parasti ir mālainās augsnes **mālsmilts** un **smilšmāls**, ko veido smilts, māla un nogulumu maisījums dažādās proporcijās. Mālainās augsnes veido pietiekami smalkas daļiņas, lai izveidotu liela adhēzijas virsma, kura varētu piesaistīt minerālvielas un ūdeni. Tomēr mālainajās augsnēs ir arī pietiekami rupjas daļiņas, kas augsnē nodrošina labu aerāciju - skābeklis ir nepieciešams sakņu šūnu elpošanai. Ja augsne nav pietiekami irdena, saknes navar elpot, jo gaisa telpas aizņem ūdens. Šūnu anaerobajā elpošanā neveidojas ATP, augā uzkrājas kaitīgi vielu maiņas galaprodukti un augs sāk nīkuļot un var pat aiziet bojā. Šāda iemesla dēļ bieži aiziet bojā istabas augi, kurus cilvēki, atstājot uz ilgāku laiku, dāsnī salej vai pat ar visu puķupuodu ievieto traukā ar ūdeni.

Citi augi savukārt ir pielāgojušies augšanai augsnēs ar stāvošu ūdeni. Piemēram, mangrovēm un citiem augiem, kas aug purvos un citās slapjās vietās, attīstījušās sakņu pārveidnes, kas kā dobas caurules izaug no substrāta un pa tām lejup pārvietojas no gaisa uzņemtais skābeklis. Novirze no aerācijas pakāpes, kas nepieciešama augam, ir viens no daudziem paņēmieniem, pēc kuriem augsnes apstākļi palīdz noteikt, kāds veģetācijas tips dominē noteiktā vietā.

Latvijā visumā augsnes ir nabadzīgas ar galvenajiem augu minerālās barošanās elementiem. Pēc J.Peives, K.Bamberga un A.Zemītes datiem, gandrīz 60 % Latvijas augšņu ir podzolētas. Tajās slāpekļis vidēji ir 0.14 % (melnzemē slāpekļa saturs ir 2 – 4 %). Bez slāpekļa, fosfora un kālija, Latvijas augsnēs bieži vien trūkst arī mikroelementu.

Augsnē dzīvo pārsteidzoši daudz dažādu organismu. Tējkarotē augsnes ir aptuveni pieci miljardi baktēriju, kas sadzīvo ar dažādām sēnēm, aļģēm un citiem protistiem, kukaiņiem, tārpiem un augiem. Visu šo organismu dzīvības procesi ietekmē arī augsnes fizikālās un ķīmiskās īpašības. Sliēkas, piemēram, rokot alas irdina augsni un arī izdala gļotas, kas satur kopā augsnes daļiņas. Baktēriju metabolisms izmaina augsnes minerālvielu sastāvu. Augi ar saknēm no augsnes uzņem ūdeni un minerālvielas, tomēr arī ietekmē augsnes pH vērtību, kā arī nostiprina augsni pret koroziju.

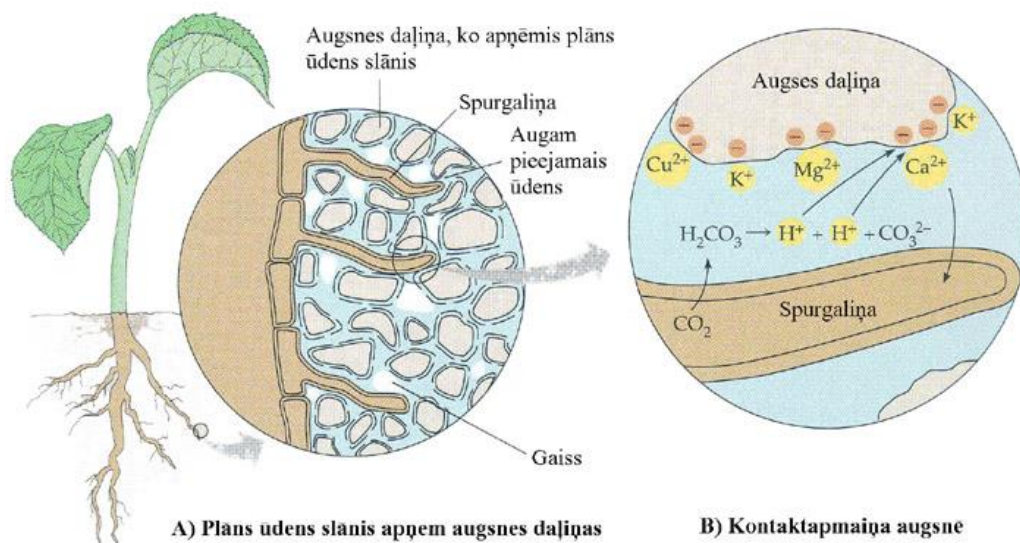
**Humuss** - trūdošas organiskās vielas, kas veidojas, baktērijām un sēnēm noārdot mirušos organismus, mēsli, nokritušas lapas un citi organiskie atkritumi, - neļauj māla daļiņām salipt, un tādējādi veidojas irdena augsne, kura saista ūdeni, ir mitra un vienlaikus arī pietiekami poraina, lai saknes nodrošinātu ar pietiekamu skābekļa daudzumu. Humuss tāpat ir krātuve minerālvielām, kas pakāpeniski atgriežas augsnē, mikroorganismiem noārdot organiskās vielas.



## 2.2. Augsnē esošā ūdens un minerālvielu pieejamība augam.

Pēc pamatīgas lietusgāzes ūdens aizplūst prom no lielākajām augsnes porām, bet mazākajās porās ūdens saglabājas, jo to pievelk augsnes daļiņas, kam ir elektriski lādētas virsmas. Daļa no šī ūdens piesaistās hidrofilajām augsnes daļiņām pat tik stipri, ka augi to nespēj uzņemt. Savukārt sīkākajās augsnes porās augsnes daļiņas plānu ūdens slāni ir saistījušas mazāk stipri – šis ir augam pieejamais un izmantojamais ūdens (2.2.attēls, A). Tas nav vis tīrs ūdens, bet patiesībā augsnē esošs minerālvielu šķīdums un saknes uzņem šo šķīdumu.

Daudzi augsnē esošie minerālvielu joni, īpaši katjoni, kā kālijs ( $K^+$ ), kalcijs ( $Ca^{2+}$ ) un magnijs ( $Mg^{2+}$ ), elektriski saistās pie negatīvi lādētajām augsnes māla daļiņām. Māla daļiņas spēcīgu lietusgāžu laikā vai irigācijas gadījumā augsnē notur minerālelementus, jo smalkajām daļiņām ir liela virsma, kas tos saista. Negatīvi lādētie minerālvielu joni – anjoni, piemēram, nitrātjoni ( $NO_3^-$ ), fosfātjoni ( $H_2PO_4^-$ ) un sulfātjoni ( $SO_4^{2-}$ ), parasti nav tik cieši saistīti pie augsnes daļiņām un tādējādi tie vieglāk izskalojas. No otras puses, augsnes daļiņām ir jāatbrīvo saistītie joni augsnes šķīdumā, lai augs ar saknēm tos varētu uzņemt. Pie augsnes daļiņām cieši saistītie katjoni augam kļūst pieejami, kad tos augsnes šķīdumā aizvieto ūdeņraža joni. Šo procesu, ko sauc par **kontaktpmaiņu**, veicina pašas saknes, izdalot skābes, kas, disociējot jonus, augsnē palielina  $H^+$  daudzumu (2.2.attēls, B). Saknēm uzņemot ūdeni un minerālvielas, šie resursi tiešā sakņu tuvumā tiek iztērēti, tomēr saknēm strauji augot un palielinoties to virsmai (šeit īpaša nozīme ir spurgaliņām), augs kontaktējas ar arvien lielāku augsnes virsmu, kas nodrošina saknes ar jaunām ūdens un minerālvielu rezervēm.



### 2.2.attēls. Augsnē esošā ūdens un minerālvielu pieejamība augam.

- Augs nevar uzņemt visu augsnē esošo ūdeni, jo daļu no tā ļoti cieši saista hidrofilās augsnes daļiņas. Nelielās porās esošo ūdeni augsnes daļiņas saista mazāk cieši un saknes to var uzņemt. Šai uzņemšanai īpaši pielāgota ir saknes epiblēma ar viensūnas izaugumiem spurgaliņām.
- Kontaktpmaiņa augsnē. Šūnu elpošanas rezultātā augsnē esošajā šķīdumā izdalās un ar ūdeni saistās  $CO_2$ , veidojoties ogļskābei ( $H_2CO_3$ ). Šī skābe disociē jonus, ūdeņraža joni augsnes šķīdumā aizvieto pie augsnes daļiņām cieši saistītos katjonus, kas atbrīvojas un līdz ar to kļūst pieejami un izmantojami augiem. Vienlaicīgi augsnē palielinās  $H^+$  daudzums.



### 2.3. Augsnes apstākļu regulēšana

Auglīgas augsnes veidošanās – iežu erozija ar sekojošu organisko materiālu uzkrāšanos tajos - dabā notiek gadsimtiem ilgi, bet cilvēku neapdomīgas rīcības rezultātā šī auglība var izzust dažu gadu laikā. Savukārt prasmīga augsnes apstākļu regulēšana var saglabāt šo auglību, kas nodrošina ilgtspējīgu lauksaimniecības ražīgumu.

Lai izprastu augsnes apstākļu regulēšanas nozīmi, vispirms jāatceras, ka lauksaimniecība nav dabisks process. Mežos, pļavās un citās dabiskajās ekosistēmās minerālvielas parasti reutilizējas, mirušajiem organismiem satrūdot augsnē. Atšķirībā no dabiskajām ekosistēmām, piemēram, tīrumā pļaujot labību vai arī dārzā novācot augļu ražu, daļa svarīgu ķīmisko elementu vairs neiekļaujas ķīmiskajos ciklos, kas noris attiecīgajās vietās. Kopumā ņemot, lauksaimniecība iztērē minerālvielu krājumus augsnē. Lai iegūtu 1 tonnu kviešu graudu, augiem no augsnes jāuzņem 18.2 kg slāpekļa, 3.6 kg fosfora un 4.1 kg kālija. Tādējādi augsnes auglība ar katru gadu samazinās, ja vien tai nedod mēslojumu, kas atjauno augsnes minerālvielu rezerves. Daudzas lauksaimniecības un dārzkopības kultūras patērē arī vairāk ūdens nekā veģetācija, kas šajā ekosistēmā aug dabīgos apstākļos, tāpēc cilvēkiem bieži vien jāierīko laistīšanas vai apūdeņošanas iekārtas. Apdomīga mēslošana un laistīšana, kā arī erozijas novēršana ir svarīgākie augsnes apstākļu regulēšanas mērķi.

**Mēslojums.** Acīmredzot augu mēslošanas principu pirmie saprata pirmatnējie cilvēki, kas sāka nodarboties ar lauksaimniecību, pamanot, ka vietās, kur dzīvnieki atstājuši savus mēslus, augi aug ātrāk, labāk – tie kļūst zaļāki. Senie romieši augu kultūru mēslošanai jau izmantoja kūtsmēslus, bet Amerikas pamatiedzīvotāji indiāņi, stādot kukurūzu, blakus sēklām ieraka arī zivis. Modernajā lauksaimniecībā izmanto galvenokārt rūpnieciski ražotus minerālmēslus, ko sauc par **neorganiskajiem mēsliem** un, kas var būt iegūti raktuvēs vai arī mākslīgi - ķīmiskajās rūpnīcās. Šie minerālmēsli parasti ir bagātināti ar slāpekli, fosforu un kāliju – trīs minerālelementiem, kuru saturs lauksaimniecībā izmantojamajās augsnēs vairumā gadījumu ir nepietiekams.

Kūtsmēslus, kaulu miltus, kompostu u.c. sauc par **organiskajiem mēsliem**, jo tiem ir bioloģiska izcelsme un tie satur trūdošu organisko materiālu. Tomēr, lai augi šo organisko materiālu varētu izmantot, tam vispirms jāsadalās līdz minerālvielām, kuras augi var uzņemt ar saknēm. Tādējādi minerālvielas, ko augi spēj uzņemt, ir vienādas, neatkarīgi no tā, vai tie ir organiskie mēsli, vai arī ražoti rūpnīcā. Atšķirība ir tā, ka organiskie mēsli minerālvielas atbrīvo pakāpeniski, bet minerālvielas no neorganiskajiem mēsliem ir augam izmantojamas uzreiz, turklāt augsne tās nesaista, tāpēc minerālvielas, ko augs nav uzņēmis, no augsnes izskalo lietus vai arī laistīšanas iekārtu ūdens. Izskalotās minerālvielas var iekļūt pazemes ūdeņos un piesārņot upes un ezerus, tādējādi pasliktinot ekoloģisko situāciju. Lauksaimniecības zinātnieki mēģina izstrādāt agrotehnikas paņēmienus, kā samazināt mēslojumu izmantošanu, saglabājot pietiekami lielas ražas.

Lai veiktu saprātīgu mēslošanu, vispirms jāuzzina augsnes pH vērtība. Vides reakcija ietekmē ne tikai kontaktpmaiņu, bet arī minerālvielu ķīmisko formu. Kaut arī augam nepieciešamais minerālelements atrodas augsnē, tam var parādīties šī elementa trūkuma pazīmes, ja elements ir pārāk cieši saistīts pie augsnes daļiņām vai arī tas augsnē ir augam neizmantojamā formā. Augsnes pH vērtības izmaiņš ir riskants pasākums – ūdeņraža jonu koncentrācijas izmaiņas var padarīt vienu minerālelementu augam vairāk izmantojamu, bet citu – mazāk izmantojamu. Piemēram, ja augsnes vērtība ir pH 8, augs var labi uzņemt kalciju, turpretī dzelzs augam ir gandrīz pilnīgi nepieejama. Augsnes pH vērtību vajadzētu pieskaņot attiecīgās kultūras minerālās barošanās īpatnībām. Ja augsne

ir pārlietu sārmaina, tad pH vērtību var pazemināt, tai pievienojot sulfātus, bet ja augsne ir pārāk skāba, tad to jākaļķo, pievienojot kalcija karbonātu vai kalcija hidroksīdu.

**Apūdeņošana un laistīšana.** Bieži vien ūdens trūkums auga augšanu kavē vairāk nekā minerālvielu trūkums (2.3.attēls). Apūdeņojot tuksnešus, tos var pārvērst par ziedošiem



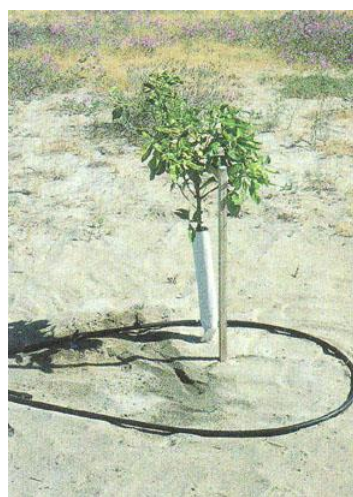
**2.3.attēls. Izkaltusi augsne Turkmenistānā.**

dārziem. Tomēr tas ir dārgs prieks (ne tikai tieši finansiāli), jo ūdens tiek ņemts no ūdenskrātuvēm. Tieši tādēļ visā pasaulē daudzas upes ir kļuvušas par nelieliem strautiem. Problēmu palielina ūdens patēriņš lielajās pilsētās. Ar apūdeņošanu saistīta arī problēma, ka augsnē pamazām uzkrājas sāļi, kas to padara neizmantojamu (2.4.attēls, A). Ūdenī izšķīdušie sāļi akumulējas augsnē, jo liela daļa no apūdeņošanā izmantojamā ūdens iztvaiko. Līdz ar to sāļu šķīdums augsnē salīdzinājumā ar šūnsulu augu sakņu šūnās kļūst hipertonsisks un saknes ūdeni nevis uzņem, bet gan no tā atbrīvojas. Rezultātā augiem parādās vīšanas pazīmes, kaut arī augsne ir pietiekami mitra. Ekoloģiski daudz izdevīgākas ir dažādas kontrolējamas laistīšanas metodes, piemēram, pilienveida laistīšanas metode, kad ūdens ar tajā izšķīdušajām minerālvielām tiek piegādāts katram augam atsevišķi (2.4.attēls, B).

Cits paņēmieni, kā atrisināt sausuma problēmu, ir sausum- un sāļumizturīgu augu selekcija.



**A**



**B**

**2.4.attēls. Apūdeņošana (A) un laistīšana (B).**

A) Pēc apūdeņošanas liela daļa ūdens iztvaiko, bet tajā izšķīdušie sāļi uzkrājas augsnē  
B) Pilienveida laistīšana. Ekonomiskāks un ekoloģiski drošāks laistīšanas paņēmieni, kad ūdens ar tajā izšķīdušajām minerālvielām tiek piegādāts katram augam atsevišķi.

### Augšnes erozija.

Ik gadus uz Zemes vēja un lietus ietekmē tiek izārdītas un izskalotas lielas lauksaimniecībā un dārzkopībā izmantojamas zemes platības. Tā ir augsnes erozija un šo problēmu var novērst dažādi piesardzības pasākumi. Kā tādus var minēt, piemēram, stādījumus ceļmalās, dzīvžogus, augu papildstādījumus. Arī dažādiem zemesaugiem ir liela nozīme augsnes erozijas novēršanā. Latvijā erozija īpaši apdraud kāpu zonas.

Pareizi saimniekojot, augsnes resursus var regulāri atjaunot, nenodarot nekādu ļaunumu videi. Šādas saimniekošanas mērķis ir **ilgtspējīgā lauksaimniecība** – pasākumu kopums, kas aptver dažādas vidi saudzējošas un tajā pašā laikā ienesīgas lauksaimniecības metodes (2.5.attēls).



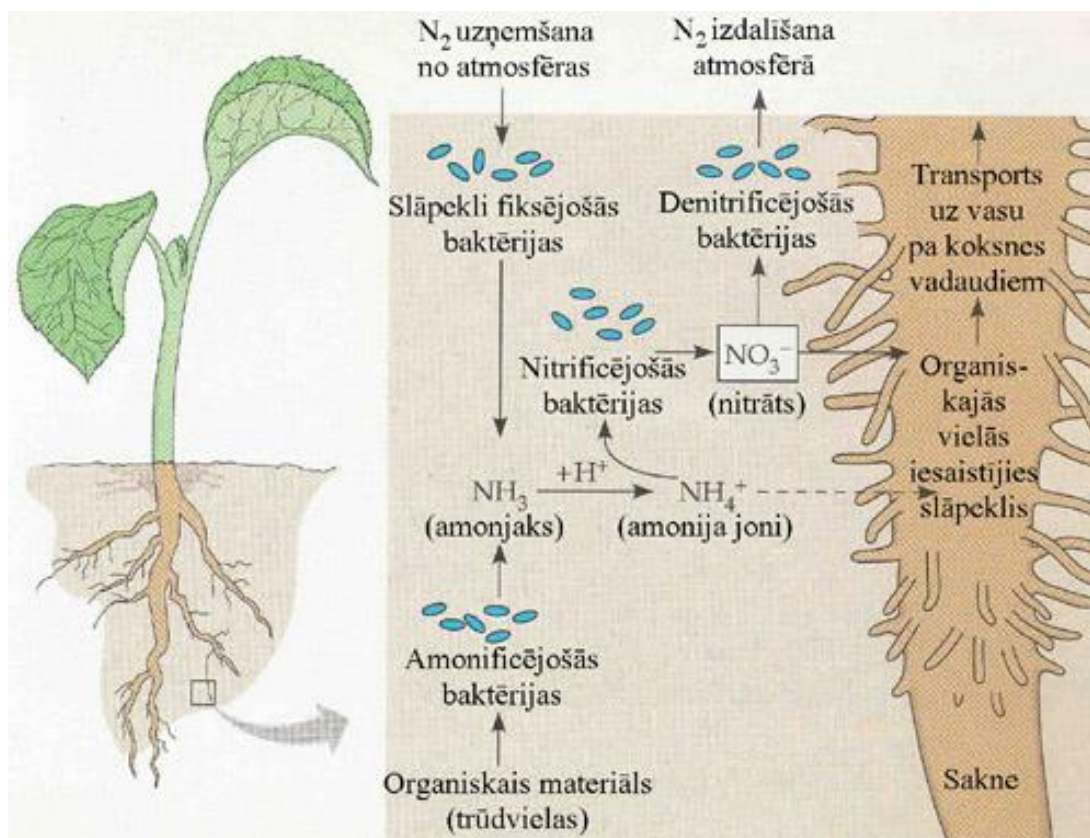
### 2.5.attēls. Ilgtspējīgā lauksaimniecība.

Mūsdienās arvien plašāk tiek izmantota dažādu kultūru audzēšana, lai to vēlāk izmantotu kā dabīgo mēslojumu. Šajā attēlā redzams, kā ar traktoru zemē tiek iestrādāts āboliņš, lai vēlāk šajā pat zemē audzētu kviešus. Tauriņziežu audzēšana un iestrādāšana augsnē pirms citu kultūru audzēšanas ir ļoti izplatīta visā pasaulē. Tauriņzieži saista gaisa slāpekli, kas pēc šo augu sadalīšanās ir izmantojams citiem augiem.

## 3. Slāpekļa uzņemšana augos

Slāpeklis ir minerālelements, kura trūkums visvairāk kavē augu augšanu un ražas palielināšanu. Augiem slāpeklis nepieciešams kā proteīnu, nukleīnskābju un citu svarīgu organisko vielu sastāvdaļa. Dažkārt šķiet mazliet jocīgi, ka augam var trūkt slāpekli, jo tas taču ir gaisa galvenā sastāvdaļa – gandrīz 80 % no atmosfēras gaisa ir slāpeklis. Tomēr tas ir gāzveida  $N_2$  un augi šādā formā to uzņemt nespēj, jo molekulā abi atomi ir saistīti ar kovalento saiti. Augi slāpekli var uzņemt tikai amonija jonu ( $NH_4^+$ ) vai nitrāta jonu ( $NO_3^-$ ) veidā. Atšķirībā no citām augsnē sastopamajām minerālvielām  $NH_4^+$  un  $NO_3^-$  nav cieto iezu erozijas produkti. Slāpekli saturošas minerālvielas augsnē veidojas, mikroorganismiem noārdot humusu – augsnē esošās trūdvielas (3.1.attēls). Šādā veidā organiskajās vielās, kā proteīnos, esošais slāpeklis iekļaujas neorganiskajās vielās, kas atkārtoti var tikt izmantotas, kad saknes tās absorbē kā minerālsāļus. Tomēr šis lokālais cikls slāpekli arī zaudē, kad augsnē esošās denitrificējošās baktērijas  $NO_3^-$  pārvērš par  $N_2$ , kas no augsnes izdalās atmosfērā. Vienlaikus citas augsnē esošās baktērijas, ko sauc par **slāpekli fiksējošajām baktērijām**, augsnē atjauno slāpekļa krājumus, saistot gaisa  $N_2$  un to konvertējot par amonjaku ( $NH_3$ ), un šo metabolisma procesu sauc par **slāpekļa fiksāciju**.



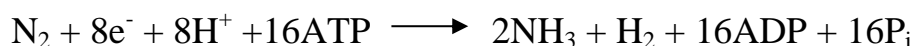


### 3.1.attēls. Augsnes baktēriju nozīme augu nodrošināšanā ar slāpekli.

Augsnē veidojas amonija joni, slāpekli fiksējošajām baktērijām fiksējot gaisa slāpekli un amonificējošajām baktērijām noārdot augsnē esošo humusu. Kaut arī augi uzņem no augsnes nelielu amonija jonu, tomēr tie slāpekli no augsnes uzņem galvenokārt nitrātu formā, kas veidojas no amonija joniem nitrificējošo baktēriju darbības rezultātā. Forma, kādā slāpeklis no saknēm tiek transportēts uz pārējiem auga orgāniem, ir atkarīga no auga sugas. Visbiežāk ar nitrātiem uzņemtais slāpeklis saknēs iekļaujas organiskajās vielās, kā aminoskābēs. Tālāk šis slāpeklis tiek transportēts augšup pa koksnes vadaudiem.

### 3.1. Slāpekļa fiksācija.

Dzīvība uz Zemes ir atkarīga arī no slāpekļa fiksācijas, kas ir noteiktu prokariotu īpaša funkcija. Augsnē atrodamas dažādas brīvi dzīvojošas baktērijas, starp kurām ir arī slāpekli fiksējošās baktērijas. Atmosfēras slāpekļa ( $N_2$ ) pārvēršana par amonjaku ( $NH_3$ ) ir sarežģīts daudzpakāpju process, kuru vienkāršojot var attēlot ar sekojošu formulu:

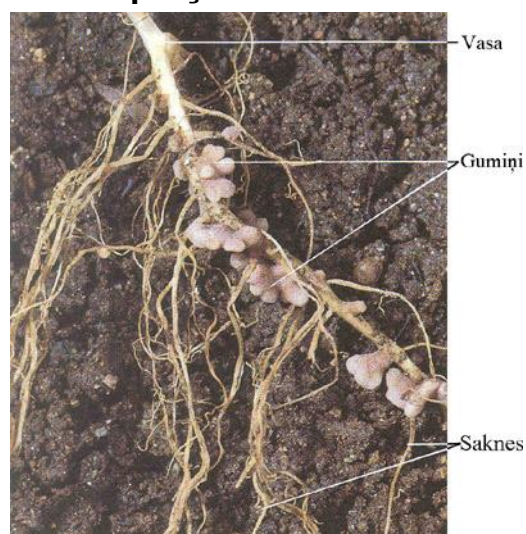


Viens enzīmu komplekss, ko sauc par **nitrogenāzi**, katalizē visas secīgās reakcijas, kurās, šķeļot slāpekļa molekulas kovalento saitī,  $N_2$  tiek reducēts par  $NH_3$ , pievienojot elektronus un ūdeņraža jonus (protonus). Ņemot vērā lielo enerģijas patēriņu (16 ATP molekulas uz 2 sintezētā  $NH_3$  molekulām), slāpekļa fiksācija baktērijām ir padārgs process. Slāpekli fiksējošās baktērijas visvairāk sastopamas ar organisko materiālu bagātās augsnēs, jo tas baktērijas nodrošina ar šūnu elpošanai nepieciešamo izejmateriālu. Augsnē esošajā sāļu šķīdumā amonjaks piesaista vienu protonu, izveidojoties amonija jonam ( $NH_4^+$ ), ko augi var uzņemt. Tomēr augs slāpekli uzņem galvenokārt nitrātu ( $NO_3^-$ ) formā, kas augsnē veidojas nitrificējošajām baktērijām oksidējot amoniju (3.1.attēls). Kad sakne ir uzņēmusi nitrātu, slāpeklis augā parasti iesaistās organiskajās vielās. Vairumam

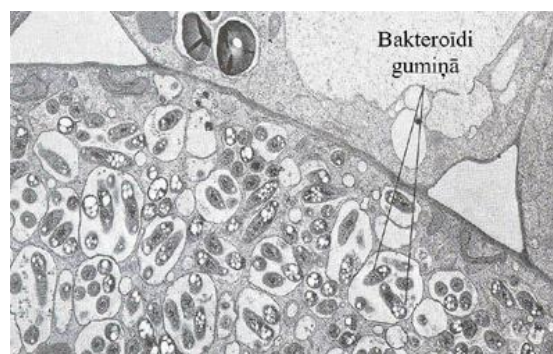


augu sugu slāpekļi no saknēm uz vasu pārvietojas pa koksnes vadaudiem aminoskābju un citu organisko vielu formā.

### 3.2. Slāpekļa simbiotiska fiksēšana.



A



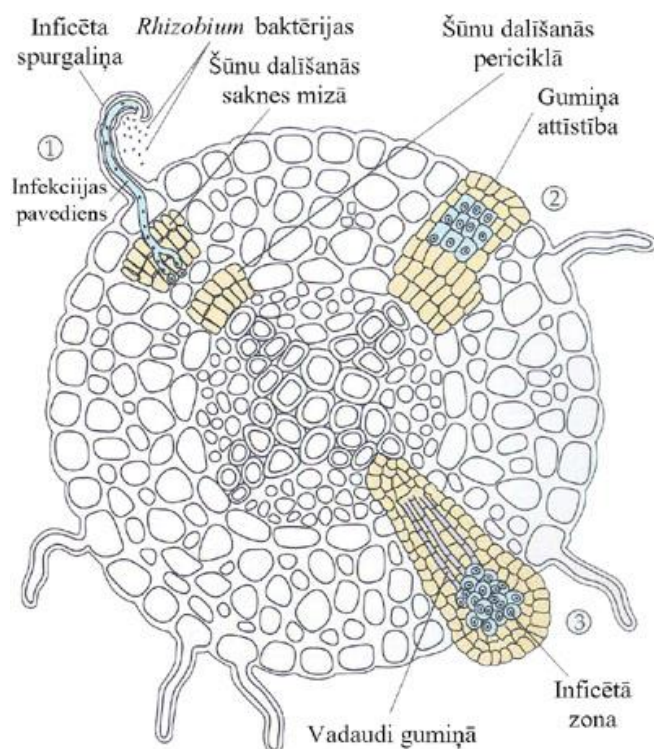
B

#### 3.2.attēls. Gumiņi uz zirņu saknēm.

- A) Attēlā redzamā zirņa saknes gumiņā dzīvo simbiotiskas baktērijas, kas fiksē slāpekli un no auga saņem fotosintēzes produktus.
- B) Elektronu mikrofotouzņēmumā redzama sojas pupiņas saknes gumiņa šūna, kurā dzīvo bakterioīdi (TEM fotouzņēmums). Blakusesošās šūnas nav inficētas.

Tauriņziežu dzimtas augiem, piemēram, zirņiem, pupiņām, pupām, āboliņam u.c. raksturīgas simbiotiskas attiecības ar slāpekli fiksējošām baktērijām (3.2.attēls). To saknēm izveidojušies nelieli apaļi pārsninājumi, ko sauc par **gumiņiem**. Tos veido augu šūnas, kas satur slāpekli fiksējošās *Rhizobium* ģints baktērijas. Gumiņos *Rhizobium* pieņem formu, ko sauc par **bakteroīdiem**. Katrai tauriņziežu ģintim sugai raksturīga simbioze ar īpašu *Rhizobium* sugu. 3.3.attēlā parādīti gumiņu attīstības etapi.

Simbiotiskās attiecības starp tauriņziežiem un slāpekli fiksējošajām baktērijām ir abiem partneriem savstarpēji izdevīgas. Baktērijas tauriņziedim piegādā fiksēto slāpekli, bet augs nodrošina baktērijas ar oglekļahidrātiem un citām nepieciešamajām organiskajām vielām. Abu simbiozes partneru koevolūcija ļoti uzskatāmi atspoguļojas to kopīgi sintezētajā proteīnā, ko sauc par **leghemoglobīnu**. Leghemoglobīns ir dzelzi saturošs proteīns, kas līdzīgi cilvēka sarkanajos asins ķermeņiņos eritrocītos esošajam hemoglobīnam atgriezeniski saista skābekli (priedēklis *leg-* apzīmē tauriņziežu dzimtas nosaukumu *Leguminosae*). Leghemoglobīns atbrīvo skābekli, kas nepieciešams intensīvai elpošanai, lai sintezētos slāpekļa fiksācijai nepieciešamais ATP. Tomēr vēl svarīgāka leghemoglobīna funkcija ir zemas brīvā skābekļa koncentrācijas uzturēšana gumiņos, jo skābeklis inhibē enzīmu nitrogenāzi.



**3.3.attēls. Gumiņu attīstības etapi sojas pupiņas saknē.** Koordinēto mijiedarbību starp augu un *Rhizobium* regulē ķīmiskas dabas dialogs starp abiem partneriem.

1. Pirmais infekcijas etaps. Saknes izdala ķīmiskas vielas, kas pievilina tuvumā esošās *Rhizobium* baktērijas. Baktērijas savukārt izdala ķīmisku signālus, kas stimulē spurgaliņu stiepšanos un apliekšanos ap baktēriju populāciju. Baktērijas izkļūst cauri saknes segaudiem pa infekcijas pavedienu. Vienlaicīgi kā saknes atbildes reakcija sākas šūnu dalīšanās tās primārajā mizā un periciklā. No infekcijas pavediena sazaršanās galiem atdalās pūslīši, kas satur baktērijas, ko šajā etapā jau sauc par bakteroīdiem, un pūslīši iekļūst primārās mizas šūnās
2. Augšana turpinās inficētajās primārās mizas un pericikla vietās, un, šīm vietām saplūstot, sāk veidoties gumiņš.
3. Gumiņš turpina augt un sāk attīstīties vadaudi, kas savieno gumiņu ar saknes koksnes un lūksnes vadaudiem. Pa lūksni gumiņi saņem no auga cukuru un citu organisko vielu šķīdumus, bet gumiņos sintezētās slāpekli saturošās organiskās vielas pa vadaudu koksnes daļu tiek transportētas augšup uz citiem auga orgāniem.

No vairuma amonija jonu, kas veidojas slāpekļa simbiotiskās fiksācijas laikā, gumiņos veidojas aminoskābes, kuras pa koksnes vadaudiem tiek transportētas uz stumbru un lapām. Labvēlīgos apstākļos gumiņi fiksē tik daudz slāpekļa, ka var augsnē ļoti bagātīgi izdalīt amoniju, tādējādi palielinot augsnes auglību arī citu dzimtu augiem. Šāda parādība ir pamatā kultūraugu rotācijas principam – tauriņziežu audzēšana vienu gadu pirms citas augu kultūras, piemēram, labību audzēšanas tajā pašā vietā, stipri palielina labībaugu ražību. Tauriņziedis var būt vīķi, lucerna, zirņi, pupas u.c. Tauriņziežu ražu šādā gadījumā vis nenovāc, bet gan tos iestrādā (iear zemē), tādējādi augsnē vēl vairāk palielinot citiem augiem izmantojamā slāpekļa rezerves (2.5.attēls). Lai tauriņziežu kontakts ar *Rhizobium* ģints baktērijām būtu garantēts, sēklas pirms sējas mērcē vai apsmidzina ar baktēriju kultūru (3.4.attēls).

### 3.4.attēls. *Rhizobium* ietekme uz augu augšanu.

Lauka eksperimentā var salīdzināt augus, kuru sēklas pirms sējas apstrādātas ar *Rhizobium* baktēriju kultūru (pa kreisi) ar augiem, kuru sēklas pirms sējas nav tikušas apstrādātas.



Dažiem citiem augiem, piemēram, alkšņiem, dažām tropu graudzālēm, raksturīga līdzīga simbioze ar slāpekli fiksējošām aktinomicētēm. Tomēr ir arī gadījumi, kad augi slāpekļa fiksācijas simbiotiskās attiecības izmanto netieši un šos gadījumus dažkārt izmanto praksē. Tā, rīsa audzētāji savos rīsa laukos kultivē arī ūdenspapardi *Azolla*, kam raksturīga simbioze ar slāpekli fiksējošām zilaļģēm. Papardēs simbiozes rezultātā uzkrājas slāpekļlis, bet augošie rīsi tās drīz vien nomāc. Bojā aizgājušās papardes trūdoša organiskā materiāla veidā rīsam piegādā jaunas slāpekli saturošu minerālvielu rezerves.

### 3.3. Proteīnu saturs augos

Augu spēja saistīto slāpekli iekļaut proteīnos un citās organiskajās vielās būtiski ietekmē cilvēku labklājību; visbiežāk cilvēkiem uzturā trūkst proteīnu. Liela daļa pasaules iedzīvotāju ekonomisku vai kādu citu apsvērumu dēļ uzturā lieto galvenokārt augu valsts barību un tāpēc ir ļoti atkarīgi no proteīnu satura augos. Diemžēl daudziem augiem ir zems proteīnu saturs, turklāt šajos proteīnos var trūkt kāda vai pat vairākas cilvēkam nepieciešamas aminoskābes (neizstājāmās aminoskābes). Viens no svarīgākajiem lauksaimniecības pētniecības mērķiem ir proteīnu kvalitatīvā un kvantitatīvā sastāva uzlabošana.

Augu selekcijas rezultātā jau iegūti kvieši, rīss, kukurūza ar palielinātu proteīnu saturu, tomēr daudziem no šiem “superaugiem” ir paaugstināta prasība pēc slāpekļa, kuru augiem parasti dod, mēslojot tos ar mākslīgajiem mēsliem. Rūpnieciska amonjaka un nitrātu ražošana no gaisa slāpekļa, līdzīgi kā slāpekļa bioloģiskā fiksācija, ir enerģētiski ļoti dārgs process. Minerālmēsļu rūpnīcas savas produkcijas ražošanai patērē ļoti daudz fosilā kurināmā, bet zemes, kurām aktuāls ir augsts proteīnu saturs augos, pārsvarā ir nabadzīgas un nespēj segt augstās kurināmā izmaksas.

Cits paņēmieni, kā palielināt proteīnu saturu lauksaimniecības kultūrās, ir simbiotiskās slāpekļa fiksācijas produktivitātes palielināšana. Parasti, fiksētajam slāpeklim tauriņziežu gumiņos sasniedzot noteiktu līmeni, atslēdzas baktēriju gēns, kas kodē nitrogenāzi un citus slāpekļa fiksācijā iesaistītos enzīmus. Mikrobiologi ir izolējuši *Rhizobium* mutantu celmus, kuros šie fermenti turpina veidoties arī pēc fiksētā slāpekļa uzkrāšanās pietiekamā līmenī. Iespējams, ka drīz tiks audzēti ar mutantām baktērijām inficēti augi, kā rezultātā ne vien palielināsies proteīnu saturs tauriņziežos, bet arī pieaugs fiksētā slāpekļa daudzums augsnē. Arī ģenētiķi strādā, lai palielinātu slāpekļa simbiotiskās fiksācijas efektivitāti. Tauriņziežu kopējā uzturvērtība bieži vien ir ļoti zema, jo liela daļa fotosintēzē izveidojušos ogļhidrātu tiek patērēti, lai augs iegūtu enerģiju slāpekļa

fiksācijai. Svarīgs ģenētiķu uzdevums ir izaudzēt tauriņziežus un *Rhizobium* baktērijas, kas varētu fiksēt slāpekli ar mazāku fotosintētiskās enerģijas patēriņu.

Pēdējos gados Ķīnas un Austrālijas zinātniekiem ir izdevies inducēt gumiņu veidošanos arī citu dzimtu augiem, piemēram, rīsam un kviešiem. Šajā darbā pirmais uzdevums bija novērst simbiotisko baktēriju specifisko saistīšanos pie sakņu virsmas, kas parasti ir pirmais etaps, tauriņziežiem inficējoties ar *Rhizobium*. Problēma tika atrisināta, apstrādājot augu saknes ar ķimikālijām, kas bojā sakņu epiblēmas šūnapvalkus. Tādējādi slāpekli fiksējošās baktērijas bez barjeras var inficēt sakņu primārās mizas šūnas un inducēt gumiņu veidošanos. Dažos eksperimentos ar kviešiem slāpekļa fiksācija gumiņos izdevās. Acīmredzot šādi pētījumi jāturpina, lai noteiktu, cik daudz slāpekļa tiek fiksēts un cik daudz no šī fiksētā slāpekļa iesaistās saimniekauga proteīnos.

Iespējams, ka augu proteīna uzturvērtību varēs palielināt ar gēnu inženierijas palīdzību. Molekulārajiem biologiem jau ir izdevies dažus no gēniem, kas nepieciešami slāpekļa fiksācijai, pārnest no *Rhizobium* uz citām baktērijām, un varbūt, ka ar gēnu inženierijas palīdzību būs iespējams iegūt *Rhizobium* celmus, kas varēs inficēt citu dzimtu (ne tauriņziežu) augus. Iespējama ir arī slāpekļa fiksācijas gēnu tieša pārnešana uz auga genomu, izmantojot baktēriju plazmīdas. Lai šie pētījumu realizētos praksē, vēl jāveic liels darbs, tomēr šis darbs atmaksāsies, tiklīdz būs iegūti kvieši, kartupeļi, bietes, ābeles u.c. kultūraugi, kas paši spēs fiksēt slāpekli.

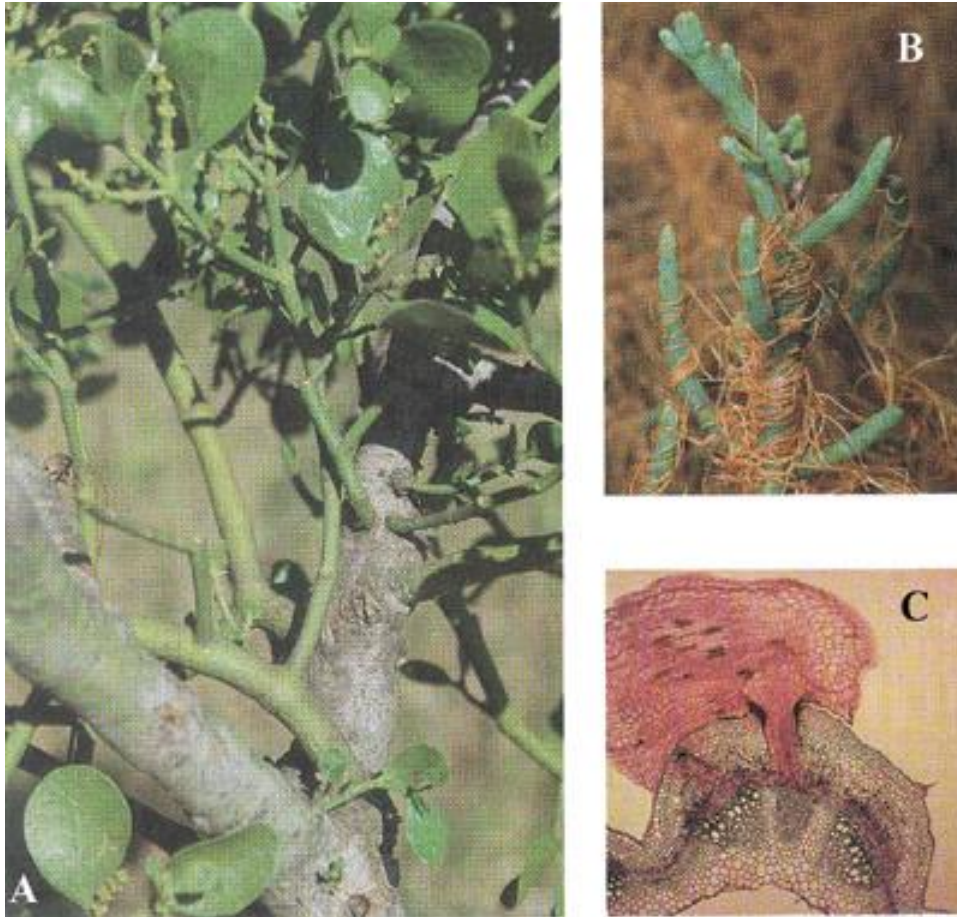
#### 4. **Daži augu minerālās barošanās pielāgojumi**

Slāpekļa simbiotiskā fiksācija uzsver attiecības starp augu un vidi, kurai pieskaitāmi arī citi organismi, kas kontaktējas ar augu. Bez jau minētajiem augu minerālās barošanās veidiem dabā pastāv vēl vairāki, kuri saistīti ar īpašām attiecībām starp partneriem. Augi var parazitēt uz citiem augiem, baroties ar dzīvniekiem, kā arī vielu uzņemšanai izmantot simbiotiskas attiecības ar sēnēm. Šo augu uzbūves un funkciju korelācija parādās to anatomiskajos pielāgojumos.

##### 4.1. **Parazītiskie augi**

Viens no izplatītākajiem parazītaugiem ir baltais āmulis *Viscum album*, kurš parasti parazitē uz ozoliem, taču var būt sastopams arī uz citiem kokiem, piemēram, ošiem (4.1.attēls, A). Baltā āmuļa uzbūve īpatnība ir, ka tas fotosintēzē pats sev iegūst organiskās vielas, bet minerālvielas tam jāiegūst, ar sakņu pārveidnēm haustorijām ieaugot saimniekauga vadaudos. Citi parazītiskie augi, kā vijas, nespēj fotosintezēt, tāpēc tiem no saimniekauga jāiegūst kā organiskās, tā arī neorganiskās vielas (4.1.attēls, B, C). Dažkārt par parazītiem nepareizi uzskata **epifitus** (gr. *epi* – virs, *phyton* – augš). Epifīti ir augi, kas barojas patstāvīgi, bet tikai aug uz citu augu virsmas – parasti koku zariem un stumbriem. Epifīts ir nostiprinājies substrātā, bet ūdeni un minerālvielas tas uzņem galvenokārt ar lietu, kas krīt uz lapām. Epifīti ir, piemēram, briežragu papardes, dažas sūnas un daudzas bromēliju un orhideju sugas.

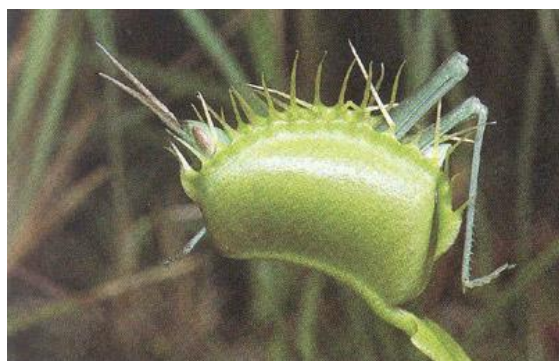




**4.1.attēls. Parazītiskie augi.** A) Baltais āmulis *Viscum album* parazitē uz ozola. B) Vijas *Cuscuta* parazītisma morfoloģija un C) anatomija. Saimniekauga stumbra šķērs griezumā redzams, ka parazīta sakņu pārveidnes haustorijas ieaugušas saimniekauga vadaudos, un tādējādi parazīts var iegūt ūdeni un minerālvielas.

#### **4.2. Dzīvniekēdāji (kukaiņēdāji) augi**

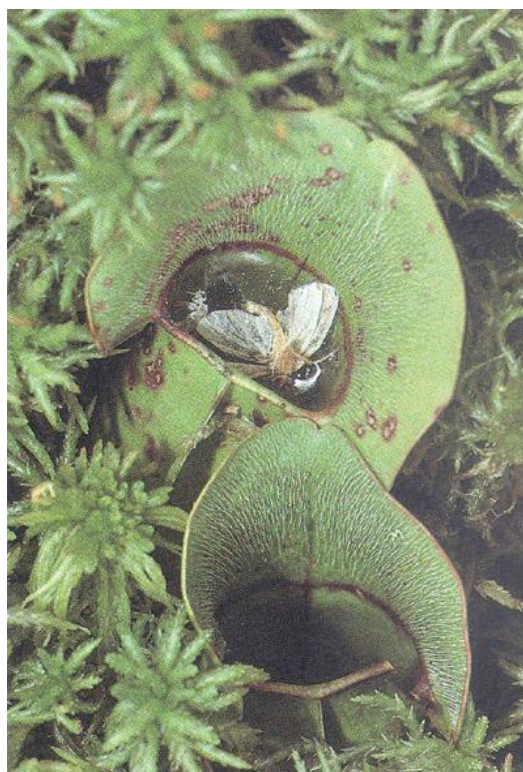
Daudzi augi, kas dzīvo skābās, purvainās un citās, it īpaši ar slāpekli nabadzīgās augsnēs, ir pielāgojušies sev nepieciešamās minerālvielas uzņemt, pārtiekot no nelieliem dzīvniekiem (īpaši kukaiņiem). Šie augi iegūst sev nepieciešamās organiskās vielas fotosintēzes procesā, bet slāpekli un dažus citus minerālelementus tie iegūst, nonāvējot un sagremojojot nelielus dzīvniekus, īpaši kukaiņus. Šo augu lapu pārveidnes izveidojušās par īpašiem slazdiem (4.2.attēls) un tām parasti attīstījušies dziedzeri, kas izdala gremošanas enzīmus.



A



B



C

#### 4.2.attēls. Kukaiņēdāji augi.

- A) Mušu dionejai *Dionaea muscipula* ir lapas pārveidne, kas sastāv no divām daivām ar izaugumiem to malās. Kukainim nosēžoties starp daivām, tās strauji aizveras, kukaini nofiksējot. Lapas daivu slēdzēj mehānismu iedarbina īpaši matiņi – epidermas izaugumi, kas dod elektrisko impulsu šūnām daivu pamatnē lapas ārpusē. Šajās šūnās strauji iekļūst ūdens, palielinās to turgors un abas daivas sakļaujas, turklāt lapu izaugumi krustojas, neļaujot kukainim izkļūt no slazda. Lapas iekšpusē sāk izdalīties gremošanas enzīmi, un lapa vēlāk var uzņemt nepieciešamās barības vielas. Par spīti nosaukumam (mušķērāja) dionejas slazdā nokļūst galvenokārt skudras un sienāži, bet dažkārt var nokļūt arī nelieli abinieki – piemēram, vārdes.
- B) Rasenes *Drosera* kukaiņķeršanas mehānisms ir attīstījies tādējādi, ka dziedermatiņi lapu galos izdala lipīgu sekrētu, kas darbojas līdzīgi mušpapīram. Kad muša pielipusi matiņiem, tie izdala gremošanas enzīmus, un vēlāk augs var uzņemt sev nepieciešamās vielas.
- C) Krūkas augs kukaiņus ķer savā lapas pārveidnē, kam ir piltuves forma. Tajā uzkrāties ūdens, kurā, iekļūstot kukainim, sāk izdalīties gremošanas enzīmi.

#### 4.3. Mikoriza

Vairumam augu ir raksturīgas modificētas saknes, ko sauc par **mikorizu** (gr. *mykos* – sēne, *rhiza* – sakne, tātad – sēņu sakne), un kas patiesībā ir simbioze starp augu saknēm un sēni (starp augu un sēni). Mikorizu 1881.gadā atklāja krievu zinātnieks F.Kamenskis. Sēne izdala augšanas faktorus, kas stimulē sakņu augšanu un zarošanos. Izšķir vairākus mikorizas veidus, no kuriem galvenie ir:

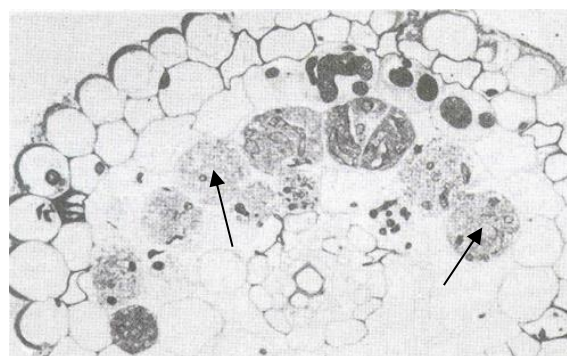
- 1) ektotrofā mikoriza jeb ektomikoriza,
- 2) endotrofā mikoriza jeb endomikoriza.

Ektomikorizas gadījumā sēne apkārt saknei izveido pilnīgi noslēgtu uznavu un blīvi aptver sakni; sakņu spurgaliņas atmirst un visu barības vielu uzņemšanas funkcijas veic



sēne. Sēne var izveidot vai nu pilnīgi blīvu un gludu, vai arī tūbai līdzīgu uznavu; tās hifu pavedieni stiepjas apkārt saknei un tikai nedaudz ieaug saknes audos (4.3.attēls, A).

Endomikorizas gadījumā sēnes hifu pavedieni pilnīgi ieaug saknes mizas šūnās un tikai atsevišķi hifu pavedieni paliek ārpus saknes. Sakņu spurgaliņas neatmirst (4.3.attēls, B).



#### 4.3.attēls. Mikorizas veidi.

A) Ektomikoriza, kuras partneri ir *Eucalyptus pilularis* un *Hydnangium carneum*. \* - sēnes apvalks, ►► - Hartiga tīkla hifas, ► - cietes graudi saknes uznavā,

B) Endomikoriza. Genciānas saknes šķērs griezumā. Mizas parenhīmas šūnas inficētas ar *Glomus fasciculatum*. → - inficētās parenhīmas šūnas. (x 860).

Ar mikorizas palīdzību augi var uzņemt tādus savienojumus, ko bez sēnes starpniecības nevarētu uzņemt – slāpekli un fosforu saturošas organiskās vielas, turklāt augi bez mikorizas vispār spētu uzņemt krietni mazāk minerālvielu. Šādu mikorizas ietekmi var izskaidrot ar to, ka:

1. sēnes izdala skābes un tādējādi šķīdina daudzas grūti šķīstošas vielas,
2. sēņu izdalītie enzīmi šķēļ saliktas organiskās vielas, sēnes uzņem šķelšanas produktus un padara tos augiem pieejamus,
3. mikoriza palielina augu sakņu absorbcijas virsmu, turklāt hifas ir ilgmūžīgākas par spurgaliņām,
4. dažkārt sēņu hifas hidrolizējas un hidrolīzes gala produktus var izmantot augi.

Attiecības nav vienpusējas, jo sēne no auga saņem fotosintēzes produktus – organiskās vielas – ogļhidrātus, vitamīnus u.c.

Par mikorizas lielo nozīmi augu augšanā un attīstībā var pārliecināties eksperimentos, kuros augus vienlaicīgi audzē sterilā substrātā un substrātā ar mikorizu veidojošo sēni (4.4.attēls).



**4.4.attēls. Mikorizas ietekme uz augu augšanu.**

Attēla kreisajā malā redzamais augs audzis augsnē bez sēnes. Auga augšana ir pavājināta, acīmredzot, fosfora trūkuma dēļ. Pārējiem augiem ir mikoriza, kas veicina fosfora un citu minerālelementu uzņemšanu.