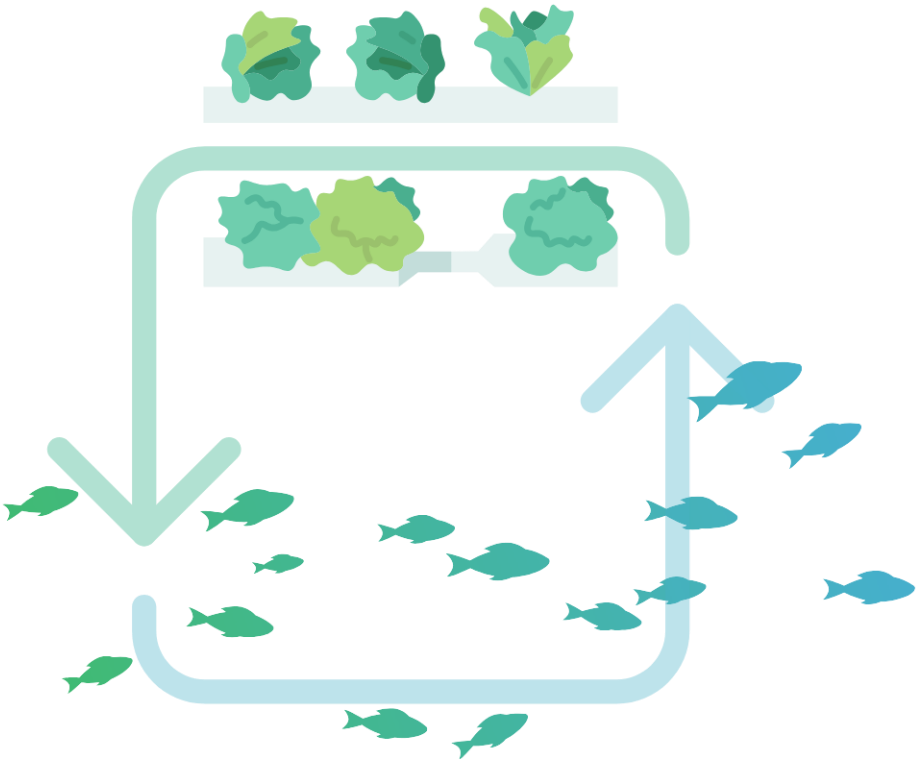
Interreg

Co-funded by the European Union

Central Baltic Programme

TransFarm

AUGI AKVAPONIKĀ - IZVĒLE, PRASĪBAS UN IEROBEŽOJUMI



D.3.3.1. - Mācību materiāli par augiem akvaponikā

Anotācija

Akvaponika ir sistēma, kas apvieno akvakultūras un hidroponikas principus. Zivis, barojoties, izdala atkritumproduktus, un, pateicoties mikroorganismu vielmaiņas aktivitātei, šie atkritumprodukti tiek pārveidoti slāpekļa formā, kas ir viegli pieejams augiem. Galvenais elements, kas savieno visus trīs dzīvos organismus akvaponikas sistēmā, ir ūdens. Ūdens ir zivju un mikroorganismu dzīves vide, kā arī augu barošanās vide, un ūdens kvalitāte ietekmē visus šos faktorus. Ja atsevišķām akvakultūras un hidroponikas tehnoloģijām ir specifiskas prasības attiecībā uz barības vielām un augšanas apstākļiem, kas piemēroti konkrētai zivju sugai vai augu sugai, tad akvaponikā jāizstrādā kompromiss, kas būtu piemērots zivīm, augiem un mikroorganismiem. Šo trīs organismu grupu sarežģītās attiecības pastāv ciešā simbiozē, lai nodrošinātu viena otru ar nepieciešamajām barības vielām. Šajā ziņojumā ir apkopotas svarīgākās prasības augiem akvaponikas sistēmā. Šajā ziņojumā ir apkopota informācija par ūdens kvalitātes parametriem, kas ir būtiski augu augšanai, augu sugām, kuras visbiežāk audzē akvaponikas sistēmās, augšanas sistēmu veidiem un substrātiem, integrēto kaitēkļu apkarošanu un augu audzēšanas priekšrocībām akvaponikas sistēmās. Šajā ziņojumā ir iekļauta vispārīga informācija uzņēmējiem un cilvēkiem, kas interesējas par akvaponikas sistēmu un vēlas uzsākt tās ieviešanu. Lasītājs var tuvāk iepazīties ar tēmām, kas saistītas ar augu audzēšanu akvaponikas sistēmā, izmantojot TransFarm projekta ietvaros sagatavotos ziņojumus.

Atslēgas vārdi: *TransFarm, akvaponika, augi, parametri, augšanas sistēmas*

Šajā ziņojumā iekļautā informācija ir dažādu rakstu un grāmatu apkopojums, uz kuriem atsauces var atrast ziņojuma sadaļā "Atsauces".

Šī ziņojuma sagatavošana ir atbalstīta Interreg Centrālā Baltijas reģiona projekta CB0100007 "Pārrobežu sadarbība cirkulārām bez augsnes lauksaimniecības sistēmām - TransFarm" ietvaros.

Saturs

Anotācija 2
1. Ievads 4
1.1. TransFarm projekts 4
1.2. Augi akvaponikā 5
1.3. Bez augsnes lauksaimniecība salīdzinājumā ar tradicionālo lauksaimniecību 6
2. Ūdens kvalitāte un citas prasības augiem 8
2.1. Skābekļa un CO_2 regulēšana 8
2.2. pH 8
2.3. Gaismas/tumsas cikls 9
3. Augu barošana 10
3.1. Slāpekli saturošas barības vielas 11
3.2. Fosfors 12
3.3. Kālijs 13
3.4. Mikroelementi 14
4. Augu sugu izvēle 16
4.1. Lapu salāti 16
4.2. Gurķi 18
4.3. Nakteņi 20
4.4. Garšaugi un garšvielas 23
4.5. Pupiņas 25
5. Audzēšanas prakse 26
5.1. Dēstiem izmantotie substrāti 26
5.2. Podiņu veidi stādu pavairošanai un augu augšanai akvaponikā 30
6. Akvaponikas sistēmu veidi 33
6.1. Augšana substrātā 33
6.2. Dziļūdens kultūras 37
6.3. Barības vielu plēves metode 38
6.4. Pilienveida novadīšanas sistēmas 39
7. Augu veselība un slimības 40
7.1. Integrētā augu aizsardzība 40
7.2. Kaitēkļi un slimības 42
Atsauces 49

1. Ievads

1.1. TransFarm projekts

Pārtikas nozare saskaras ar vairākām vides un sociālajām problēmām: lauksaimniecība ir nozare, ko īpaši ietekmē klimata pārmaiņas, mūsu jūras ir pārzvejotas, un tiek lēsts, ka pasaules iedzīvotāju skaits turpinās pieaugt un 2050. gadā sasniegs aptuveni 9,7[1] miljardus cilvēku. Baltijas jūras reģiona valstis ir ļoti atkarīgas no importētajiem pārtikas produktiem, jo īpaši dārzeņiem, augļiem un zivīm; pēdējo gadu laikā piedzīvotie notikumi - pandēmija un karš Ukrainā - ir norādījuši uz nepieciešamību pēc pašpietiekamām pārtikas sistēmām, turklāt lauksaimniecība un akvakultūra ir vieni no galvenajiem Baltijas jūras eitrofikācijas veicinātājiem.

Lai risinātu šos izaicinājumus, TransFarm projekts vēlas padarīt pārtikas ražošanu pieejamāku patērētājiem, veicinot bez augsnes lauksaimniecības metodes, kuras var izmantot arī telpās un kuras ļauj audzēt augus visu gadu. Šādu metožu piemēri ir hidroponika, kurā augus audzē ūdenī, un akvaponika, kas apvieno hidroponiku ar akvakultūru.

Akvaponika ir apļveida, slēgta cikla sistēma, kurā ūdens no zivju audzētavas tiek izmantots augu audzēšanai. Zivju atkritumprodukti ūdenī tiek mikrobioloģiski pārveidoti ar biofiltru, tos absorbē augi, un pēc tam tīrāks ūdens tiek atkal atdots zivīm. Sistēmai ir apļveida ūdens plūsma, kas ļauj atkārtoti izmantot barības vielas, neradot barības vielu emisijas vidē. Tā kā zivis, augi un mikroorganismi akvaponikas sistēmā darbojas ciešā simbiozē, netiek izmantotas antibiotikas vai pesticīdi, kas nodrošina tīrākus un veselīgākus produktus.

TransFarm veiks akvaponikas sistēmu demonstrēšanu Zviedrijā, Igaunijā un Latvijā, kā arī testēs alternatīvus ūdens avotus, piemēram, lietus ūdeni un reģenerētu pelēko ūdeni: partneri no minētajām valstīm būvēs akvaponikas iekārtas ar dažādām īpašībām atkarībā no mērķiem. Pieredze, kas iegūta apmeklējot dažādus demonstrācijas objektus, veicinās zināšanu apmaiņu un kalpos kā iespēja iedvesmot un izglītot nākamos akvaponikas lauksaimniekus. Zināšanas, kas iegūtas, būvējot un uzraugot šos objektus, tiks apkopotas mācību materiālos, kas būs pieejami visiem interesentiem.

Projekta ietvaros tiks pētīti arī uzņēmējdarbības modeļi, īstenoti pasākumi, lai informētu patērētājus par akvakultūras produktu kvalitāti, izglītotu uzņēmējus, kuri vēlas izveidot akvakultūras sistēmu, kā arī informētu ierēdņus un politikas veidotājus par to, ka apļveida bez augsnes audzēšanas metodes samazina ietekmi uz vidi.

TransFarm projekta ilgums ir trīs gadi (2023-2026), un to koordinē **Turku Ekonomikas skola** Turku Universitātē (Turku, Somija). Projekta partneri ir **Igaunijas Dzīvības zinātņu universitāte** (Tartu, Igaunija), **Latvijas Universitāte** (Rīga, Latvija), **Campus Roslagen** un **Coompanion Norrtälje Vatten och Avfall AB** (Norrtälje, Zviedrija**)**.

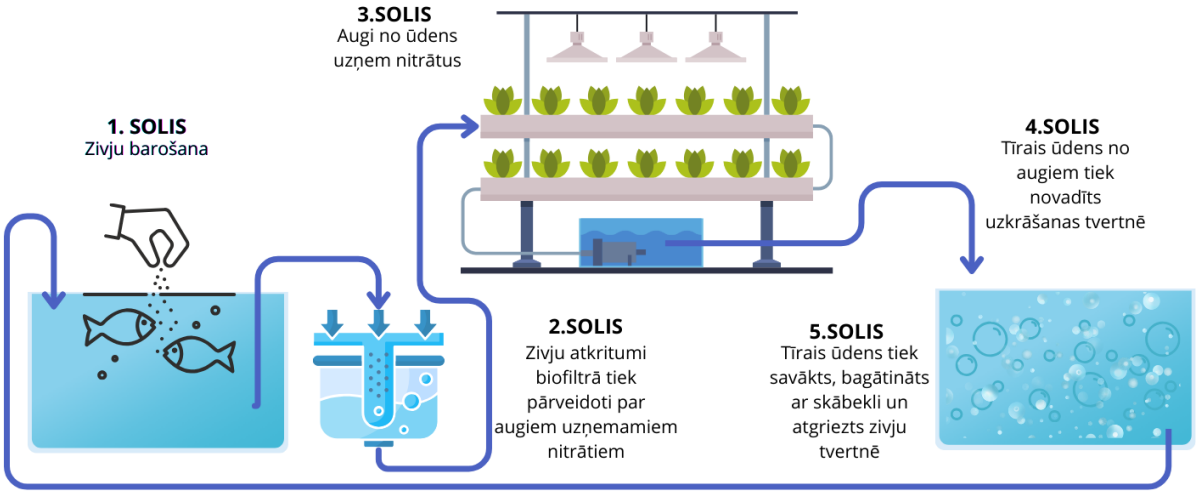
TransFarm projektu finansē ES Interreg Centrālā Baltijas programma, projekta kopējais budžets ir 1,87 miljoni eiro, ES finansējums ir 1,5 miljoni eiro.

[1] ANO DESA publikācijas - Pasaules iedzīvotāju skaita prognozes 2022. gadā

1.2. Augi akvaponikā

Šajā ziņojumā aplūkoti augu audzēšanas pamatelementi akvaponiskās sistēmās, kas ir simbiotiska vide, kurā līdzās pastāv augi un ūdens dzīvnieki. Ziņojumā galvenā uzmanība pievērsta augu prasību izpratnei akvaponiskās sistēmās, šīm sistēmām piemērotākajām augu sugām un būtiskajiem apstākļiem, kas nepieciešami optimālai augšanai. Secinājumi norāda, ka akvaponika nodrošina ilgtspējīgu pieeju augu audzēšanai, bet tās efektivitāte ir atkarīga no rūpīgas augu sugu izvēles, ūdens kvalitātes pārvaldības un barības vielu līdzsvara uzturēšanas.

Akvaponikas sistēmā augiem nepieciešama sabalansēta vide, kurā ūdens kvalitāte, barības vielu saturs, temperatūra un gaisma tiek nodrošināti optimāli. Ūdens pH līmenis no 6,00 līdz 7,00 ir ideāli piemērots lielākajai daļai augu, jo šāds pH diapazons nodrošina un veicina barības vielu pieejamību un uzņemšanu. Augi akvaponikas sistēmā izmanto barības vielas, ko rada zivis (zivju atkritumprodukti), un sistēmā esošās labvēlīgās baktērijas pārvērš barības vielas no atkritumiem uz augiem pieejamām formām. Galvenās barības vielas ir slāpeklis, fosfors un kālijs, kā arī daži mazāk svarīgi elementi, piemēram, dzelzs, kalcijs un magnijs. Lai nodrošinātu fotosintēzi, augiem ir nepieciešama gaisma, parasti veģetatīvajā periodā tiek izmantota 12-16 stundu gaisma dienā, tomēr, augiem plaukstot, gaisma ir nepieciešama ilgāk. Ūdens temperatūra akvaponikas sistēmā ir no 18 °C līdz 26 °C, tomēr jāievēro piesardzība, jo zivis - otrs dzīvais organisms sistēmā - ir ļoti jutīgs pret temperatūras izmaiņām un var ciest no nepiemērotas temperatūras.



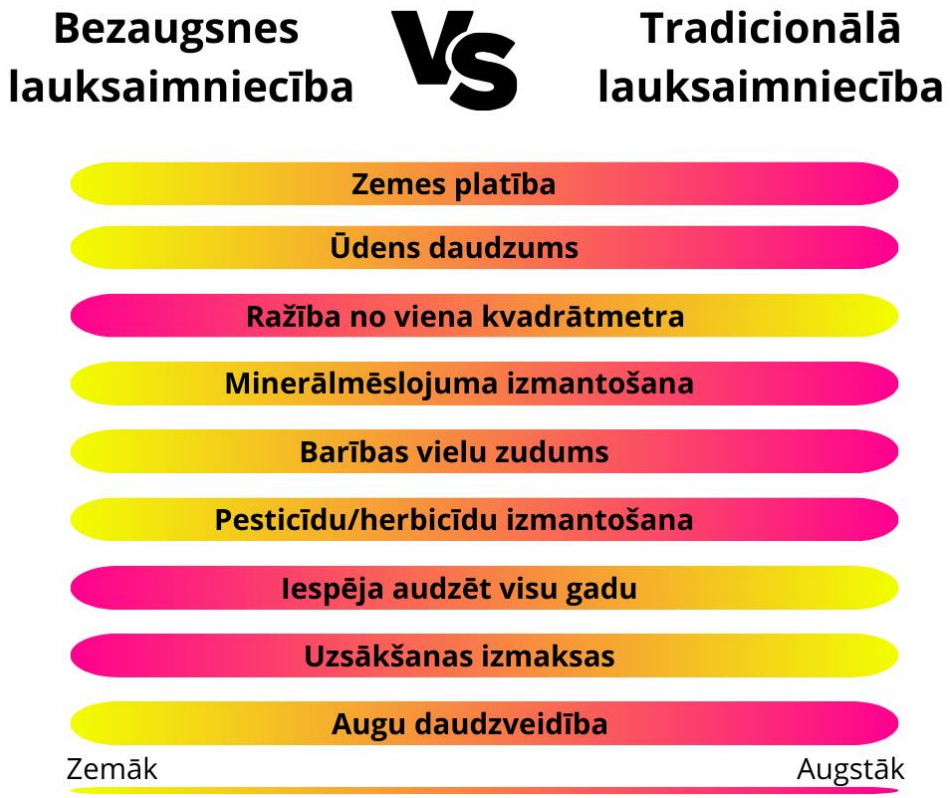
1. attēls. Akvaponikas sistēmas vispārināta shēma ar barības vielu plēves augu augšanas kanāliem.

Ne visi augi ir līdzvērtīgi piemēroti akvaponiskajām sistēmām. Parasti vislabāk aug augi, kuriem ir mērena vajadzība pēc barības vielām un kuri spēj izturēt augstāku mitruma līmeni. Visbiežāk akvaponikas sistēmās audzē dažādu lapu salātus, jo tie aug salīdzinoši ātri un tiem ir diezgan zemas prasības pēc barības vielām. Akvaponikā labi aug arī dažādi garšaugi, piemēram, baziliks, piparmētra, pētersīļi, koriandrs, dilles un citi, tomēr var audzēt arī augus ar augstāku uzturvērtību, piemēram, tomātus, papriku, gurķus, zemenes un sakņu dārzeņus, piemēram, burkānus, redīsus un bietes, kuru augšanai nepieciešamas specifiskākas barotnes un augšanas sistēmas.

Augu audzēšanas efektivitāte akvaponiskās sistēmās ir atkarīga no harmoniskas vides, kas atbilst precīzām augu prasībām. Lapu salāti un garšaugi parasti ir visvieglāk un ražīgāk audzējamie augi, savukārt augļaugiem nepieciešama rūpīgāka pieeja. Lai panāktu optimālu augšanu, ir būtiski saprast precīzas prasības attiecībā uz ūdens kvalitāti, barības vielu līdzsvaru un vides apstākļiem. Akvaponiskās sistēmas nodrošina ilgtspējīgu un efektīvu pieeju dažādu augu, jo īpaši zaļo lapu un garšaugu, audzēšanai, tomēr šo sistēmu efektivitāte ir atkarīga no augu sugu izvēles, kā arī no ūdens kvalitātes, barības vielu un vides apstākļu kontroles. Akvaponika, ja tai tiek pievērsta pienācīga uzmanība un uzraudzība, spēj radīt bagātīgu daudzumu svaigu ražu, vienlaikus samazinot resursu patēriņu un kaitējumu videi.

1.3. Bez augsnes lauksaimniecība salīdzinājumā ar tradicionālo lauksaimniecību

Lauksaimniecība ir modernās sabiedrības pamats un galvenais pārtikas ražošanas avots pasaulē. Augsnes lauksaimniecība, kas ir visizplatītākais un, līdz šim visplašāk izmantotais lauksaimniecības veids, piedāvā vairākas priekšrocības. Tomēr, ņemot vērā pieaugošo pasaules iedzīvotāju skaitu, klimata pārmaiņas, augsnes izsīkšanu atsevišķos reģionos, kā arī dzeramā ūdens avotu kvalitāti un stabilitāti, aizvien vairāk uzmanība tiek pievērst alternatīvām lauksaimniecības metodēm, piemēram, bez augsnes lauksaimniecībai. Bez augsnes lauksaimniecība sevī ietver tādas lauksaimniecības metodes kā hidroponika, aeroponika un akvaponika, kad augi tiek audzēti bez augsnes, paļaujoties uz barības vielām bagātiem mēslošanas šķīdumiem, kas augiem tiek piegādāti ar pilienveida sistēmu, ūdens plūsmu vai miglu (aeroponika). Salīdzinot tradicionālo lauksaimniecību ar bez augsnes lauksaimniecību, jāvērtē vairāki aspekti: resursu (barības vielu, ūdens, augsnes vai substrāta) izmantošana, kultūraugu (un akvaponikas gadījumā - zivju) ražas pieauguma ātrums, ietekme uz vidi (augsnes veselība, oglekļa dioksīda emisijas saistībā ar audzēšanu, transportēšana), kā arī ekonomiskais pamatojums.



2. attēls. Bez augsnes lauksaimniecības un tradicionālās lauksaimniecības salīdzinājums, norādot resursu izmantošanu.

Resursu izmantošanas efektivitāte ir svarīgs faktors gan no ekonomiskā, gan vides viedokļa. Bez augsnes lauksaimniecības metodes, piemēram, hidroponika un akvaponika, nodrošina ievērojami lielāku ūdens resursu izmantošanas efektivitāti nekā tradicionālā lauksaimniecība. Šajās sistēmās ūdens parasti tiek atkārtoti izmantots, ļaujot ietaupīt līdz pat 90 % ūdens, un zudumi galvenokārt rodas, iztvaikojot ūdenim no atklātām augu dobēm vai caur augu lapām. Savukārt tradicionālajās lauksaimniecības metodēs ūdens iztvaiko daudz ātrāk, jo tas tiek pakļauts dažādiem vides apstākļiem un notek, infiltrējas. Dzeramā ūdens trūkums dažos pasaules reģionos izvirza bez augsnes lauksaimniecības metodes kā labvēlīgāku alternatīvu tradicionālajai lauksaimniecībai, jo ir iespējams ietaupīt lielu daudzumu ūdens.

Līdzīgi kā ūdens, arī barības vielas (mēslojuma veidā) ir resurss, kuru tradicionālajā lauksaimniecībā izmanto neefektīvi. Mēslojot laukus, notiek ievērojama notece, kas nozīmē, ka ar to pašu barības vielu daudzumu tiek izaudzēts daudz mazāk ražas, turklāt šī notece veicina eitrofikāciju. Savukārt bez augsnes

lauksaimniecība ļauj precīzi kontrolēt barības vielu piegādi, kas tiek optimizēta katras augu sugas vajadzībām, tādējādi samazinot barības vielu izšķērdēšanu līdz minimumam.

Augkopības sistēmas bez augsnes, pateicoties precīzai barības vielu dozēšanai, var nodrošināt lielāku ražību. Pētījumi liecina, ka, pateicoties kontrolētai videi un optimizētai barības vielu padevei, bez augsnes lauksaimniecība var nodrošināt līdz pat 30 % lielāku ražu nekā tradicionālā lauksaimniecība tādā pašā platībā. Dažādu biotisko un abiotisko faktoru trūkums, kas parasti var apgrūtināt augu augšanu tradicionālajās lauksaimniecības sistēmās, ir izdevīgs bez augsnes sistēmās - ir pierādīts, ka hidroponiskajās vai akvaponiskajās sistēmās augu augšanas ātrums ir ievērojami lielāks. Vēl viens faktors, kas nodrošina augu ražas pieaugumu bez augsnes sistēmās, ir iespēja audzēt augus visu gadu, izmantojot dažādu augu sugu audzēšanas ciklus.

Pāreja uz bez augsnes lauksaimniecību var ietekmēt vidi, jo pašreiz lauksaimniecībā izmantotā augsne var tikt atstāta novārtā, kas var radīt izmaiņas augsnes veselībā un augsnes bioloģiskajā daudzveidībā - šie aspekti ir būtiski lauksaimniecības ilgtspējai un saglabāšanai. Mainot arī lauksaimniecībā izplatīto praksi, jāņem vērā atbildīgas un videi draudzīgas saimniekošanas nozīme. Tradicionālās lauksaimniecības oglekļa dioksīda emisijas pēdas dažos gadījumos var būt mazākas nekā tām lauksaimniecības tehnoloģijām, kuras neizmanto augsni. Ja izmanto augsto tehnoloģiju risinājumus, bez augsnes lauksaimniecības sistēmas var būt energoietilpīgas. Lai to novērstu, šādas sistēmas būtu jāveido vietās, kur enerģija ir lētāka, vai tiek ražota, izmantojot atjaunojamos avotus, piemēram, vēja vai saules enerģiju. Abi gadījumi rūpīgi jāizvērtē, ņemot vērā dažādos aspektus.

No ekonomiskā viedokļa bez augsnes lauksaimniecības sistēmu ieviešana prasa lielu sākotnējo kapitālu - siltumnīcu, klimata sistēmu, barības vielu piegādes sistēmu, lampu, augu dobju, zivju tvertņu, sūkņu u.c. izmaksas. Tomēr tradicionālajai lauksaimniecībai nepieciešams vairāk zemes un ūdens resursu, kā arī iekārtas zemes apstrādei, kas var būt diezgan dārgas. Bez augsnes lauksaimniecības sistēmu ekspluatācijas izmaksas var būt augstas, ņemot vērā enerģijas cenas un iespējamās uzturēšanas izmaksas, tomēr lielākas ražas un iespēja audzēt visu gadu var kompensēt šīs izmaksas. Tradicionālā lauksaimniecība no darbības izmaksu viedokļa ir neprognozējamāka - to ietekmē tādi faktori kā laika apstākļi (vētras, ražas zudums), mēslojuma izmaksas, darbaspēks, politiskā situācija pasaulē u.c. aspekti.

Viens no iespējamiem risinājumiem mūsdienu lauksaimniecības problēmām, piemēram, aramzemes un ūdens trūkumam, kā arī nepieciešamībai ražot vairāk pārtikas, ir bez augsnes lauksaimniecība. Tomēr tradicionālā lauksaimniecība joprojām ir svarīga, lai saglabātu bioloģisko daudzveidību un augsnes veselību. Praktisks risinājums globālajai lauksaimniecībai varētu būt līdzsvarota bez augsnes lauksaimniecības metožu apvienošana ar ilgtspējīgu augsnes apsaimniekošanu tradicionālajā lauksaimniecībā. Apvienojot bez augsnes lauksaimniecību un tradicionālo lauksaimniecību, varētu uzlabot lauksaimniecības vispārējo ilgtspēju un noturību. Pilsētās varētu ieviest bez augsnes lauksaimniecību, tādējādi nodrošinot svaigākus produktus, savukārt lauku teritorijās varētu optimizēt tradicionālo lauksaimniecību, lai nodrošinātu ilgtspējīgu zemes izmantošanu. Turpinoties pētniecībai un izstrādei, lai uzlabotu energoefektivitāti bez augsnes lauksaimniecībā, ļoti svarīgi ir arī izstrādāt stratēģijas, lai uzlabotu un saglabātu augsnes veselību tradicionālajā lauksaimniecībā. Kopumā jāveicina izpratne, lai izglītotu sabiedrību par abu lauksaimniecības metožu priekšrocībām un ierobežojumiem, veicinot apzinātu lēmumu pieņemšanu.

2. Ūdens kvalitāte un citas prasības augiem

2.1. Skābekļa un CO_2 regulēšana

Augu elpošanas procesā tiek izmantoti fotosintēzes laikā iegūtie ogļhidrāti un apkārtējais skābeklis, lai iegūtu enerģiju auga attīstībai. Elpošana notiek visā augā, bet fotosintēze - tikai lapās un stublājos. Augi uzņem skābekli caur atvārsnītēm un saknēm - šis process notiek visas dienas garumā, bet īpaši aktīvs tas ir naktī, kad nenotiek fotosintēze. Elpošana ir tieši saistīta arī ar apkārtējās vides temperatūru; parasti ir ieteicama zemāka nakts temperatūra, jo tas ļauj augiem uzkrāt ogļhidrātus un sintezēt citas vielas, kas nepieciešamas veselīgai augšanai un attīstībai. Skābekļa trūkums parasti nav ļoti izplatīts, jo gaisā ir aptuveni 21 % skābekļa, tomēr ir svarīgi nodrošināt labu gaisa plūsmu un ventilāciju siltumnīcā vai telpā, kur izvietota akvaponiskā sistēma, lai nodrošinātu gaisa apmaiņu un optimālu O_2 un CO_2 līmeni.

Fotosintēzes ātrums ir saistīts ar CO_2 koncentrāciju vidē, kurā augi aug. Gaisā ir aptuveni 0,037 % CO_2, ko ar augstu intensitāti augi var viegli patērēt hidroponiskās vai akvaponiskās iekārtās. Ja iespējams, CO_2 daudzumu telpā var papildināt ar ventilāciju, ja gaisa temperatūra to atļauj. Ziemā, kad gaiss ir pārāk auksts, vai vietās, kur vidējā temperatūra ir zema arī pavasara un rudens sezonās, var būt nepieciešama papildu apkure, lai nodrošinātu augu augšanu. CO_2 var papildināt un uzturēt nemainīgu, izmantojot CO_2 ģeneratorus - šie ģeneratori izmanto elektroenerģiju vai fosilo kurināmo, tādējādi tiek palielināts enerģijas patēriņš, radot vispārējās sistēmas ilgtspējas problēmas. Ziemā, kad tiek izmantoti šādi siltuma ģeneratori, kuros izmanto atklātu liesmu, faktiski var būt izdevīgi, jo, piemēram, dabasgāzes dedzināšana radītu CO_2, siltumu un papildu mitrumu. Vēl viena iespēja ir izmantot CO_2 no šādas gāzes baloniem, tomēr arī tas var palielināt akvaponikas sistēmas ekspluatācijas izmaksas un padarīt to mazāk rentablu.

2.2. pH

pH ir viens no svarīgākajiem vides faktoriem akvaponikas ekosistēmā - tas ietekmē augu, zivju un baktēriju augšanu, turklāt optimālais pH līmenis nosaka barības vielu pieejamību augiem. pH tolerance lielākajai daļai augu ir no 5,5 līdz 7,5. Lai gan vairums augu dod priekšroku nedaudz skābākiem apstākļiem, akvaponikas sistēmās jāņem vērā baktēriju un zivju pH tolerance. Ja pH ir ārpus augiem vēlamā diapazona, tad augi nevar uzņemt noteiktas barības vielas, pat ja tās ir pieejamas ūdenī. Šādos gadījumos varbūtējo trūkstošo barības vielu papildināšana neatrisinās augu augšanas un attīstības problēmas, ja netiks attiecīgi koriģēts pH. Ūdens pH akvaponikas sistēmā tieši ietekmē barības vielu pieejamību. Katrai barības vielai ir noteikts pH diapazons, kurā tā labi šķīst un ir viegli pieejama augiem. Piemēram, slāpeklis nitrātu veidā ir viegli pieejams plašā pH diapazonā, bet augi to visefektīvāk uzņem viegli skābā vai neitrālā vidē. Fosfors, kas ir būtiska barības viela sakņu augšanai un enerģijas pārnesei augā, ir visvairāk pieejams pH diapazonā no 6,0 līdz 7,5. Ja pH ir ārpus šī diapazona, fosfors var kļūt nešķīstošs un augiem nepieejams. Dzelzs, mangāns un cinks ir augiem būtiski mikroelementi, jo tie ir iesaistīti enzīmu aktivizēšanā un hlorofila veidošanā. Šo mikroelementu pieejamība uzlabojas nedaudz skābos apstākļos. Ja pH līmenis pārsniedz 7,5, šie mikroelementi var kļūt nešķīstoši, kas noved pie to trūkuma augos. Akvaponikā barības vielu šķīduma avots ir zivju atkritumprodukti, tādēļ ir ļoti svarīgi uzturēt līdzsvarotu pH līmeni, lai novērstu barības vielu bloķēšanu, kas rodas, kad svarīgākās barības vielas ir pieejamas, bet augi tām nevar piekļūt. Barības vielu bloķēšana ir biežāk sastopama jaunizveidotās akvaponikas sistēmās, kurās ir lielāka izmaiņu iespējamība, jo mikrobu kopienas vēl nav pilnībā attīstījušās.

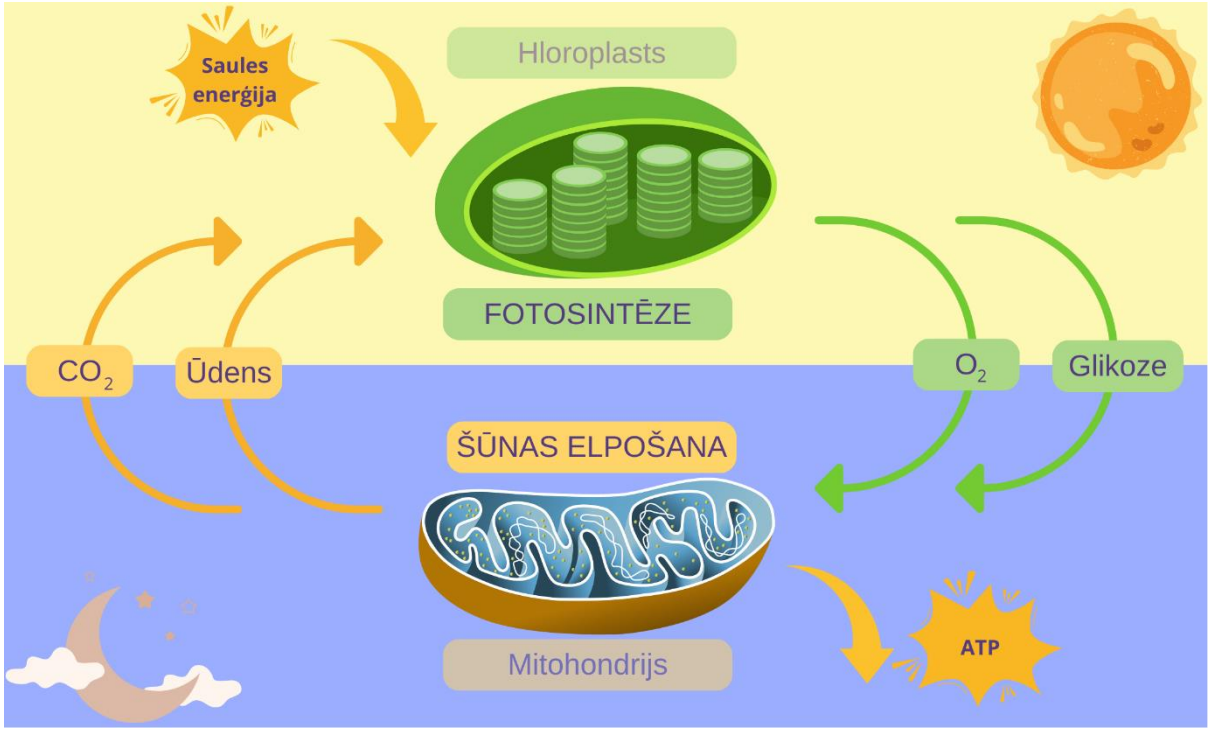
Hidroponikas sistēmās, kur vide ir sterila, pH regulēšana ir vienkāršāka nekā akvaponikas sistēmās, kur jānodrošina līdzsvars starp zivīm, augiem un mikroorganismiem. Galvenās grūtības akvaponikā ir panākt un uzturēt tādu pH līmeni, kas vienlaikus atbilst augu, zivju un nitrificējošo baktēriju vajadzībām. Zivis parasti vislabāk attīstās viegli sārmainā vidē, un vēlamais pH diapazons ir no 7,0 līdz 8,0, kas var atšķirties atkarībā no sugas. Lielākā daļa augu labi attīstās pH diapazonā, kas ir no nedaudz skāba līdz neitrālam. Konkrēti hidroponiskajās sistēmās ideālais pH ir no 5,5 līdz 6,5, bet akvaponikas sistēmās tas ir nedaudz augstāks, ņemot vērā zivju un baktēriju vajadzības.

Lai panāktu līdzsvaru, akvaponikā parasti ieteicams uzturēt pH līmeni robežās no 6,8 līdz 7,2. Šis diapazons palīdz nodrošināt visu sistēmā esošo dzīvo organismu labklājību, sekmē optimālu barības vielu uzsūkšanos augiem, uztur zivju veselību un nodrošina efektīvu amonjaka pārstrādi nitrifikācijas baktērijās.

Sīkāku aprakstu par pH nozīmi akvaponikas sistēmā var atrast TransFarm projekta ziņojumā "Ūdens kvalitāte akvaponikā".

2.3. Gaismas/tumsas cikls

Fotosintēze ir process, kurā visi zaļie augi spēj ražot sev nepieciešamos ogļhidrātus, izmantojot skābekli, oglekļa dioksīdu, ūdeni un gaismu. Auga iekšienē ir mazas struktūras, ko sauc par hloroplastiem, kuros atrodas hlorofils - pigments, kas izmanto saules gaismu, lai pārveidotu atmosfērā esošo oglekļa dioksīdu (CO_2) ogļhidrātu molekulās, piemēram, glikozē. Šajā procesā izdalās skābeklis (O_2). Pastāv divas galvenās hlorofila formas: hlorofils a un hlorofils b. Hlorofils a ir dominējošais fotosintētiskais pigments un selektīvi absorbē zilās, sarkanās un violetās redzamās gaismas viļņu garumus. Hlorofils b savukārt lielākoties absorbē zilo gaismu un palīdz uzlabot hlorofila a absorbcijas spektru, kas ļauj augam izmantot plašāku gaismas viļņu garumu diapazonu. Abas šīs hlorofila formas nodrošina optimālu gaismas absorbciju zilās līdz sarkanās gaismas spektrā. Pēc fotosintēzes ogļhidrātu molekulas izplatās pa visu augu un tiek izmantotas dažādām fizioloģiskām funkcijām, piemēram, augšanai, vairošanai un vielmaiņai. Nakts laikā augi izmanto šos cukurus kopā ar skābekli, lai iegūtu augšanai nepieciešamo enerģiju. Šo procesu sauc par elpošanu. Ir ļoti svarīgi novietot akvaponisko sistēmu tādā vietā, kur katrs augs var saņemt pietiekami daudz saules gaismas mākslīgā apgaismojuma, lai nodrošinātu pietiekamu enerģiju fotosintēzes procesam. Nepārtraukta piekļuve ūdenim ir svarīga, lai saknes caur sistēmu varētu pastāvīgi uzņemt ūdeni. Oglekļa dioksīds ir viegli pieejams atmosfērā, tomēr slēgtās telpās vai siltumnīcās, augi var ātri izsmelt pieejamo CO_2, tāpēc ir nepieciešama ventilācija vai papildu CO_2 pievade. Paaugstināts oglekļa dioksīda (CO_2) līmenis veicina fotosintēzes procesu un stimulē augu augšanu. CO_2 koncentrācija svaigā gaisā ir aptuveni 0,037 %, tomēr cieši noslēgtā siltumnīcā vai audzēšanas telpā apkārtējā CO_2 koncentrācija var ātri izsīkt. Piemēram, plastmasas siltumnīcā CO_2 koncentrācija var samazināties līdz mazāk nekā 0,02 % tikai 1-2 stundu laikā pēc saullēkta. Augu augšana būs ievērojami ierobežota, ja koncentrācija būs mazāka par 0,02 %, un augi pilnībā pārtrauks augt, ja koncentrācija būs mazāka par 0,01 %. Paaugstinot CO_2 koncentrāciju līdz 0,075-0,15 %, augu augšana var palielināties par 30-50 %, salīdzinot ar dabisko CO_2 līmeni, kā arī tas var par 7-10 dienām saīsināt augļu veidošanās un ziedēšanas laiku. Tomēr pārmērīga CO_2 bagātināšana var radīt kaitīgas sekas. Ja līmenis pārsniedz 0,15 %, to uzskata par nelietderīgu, bet līmenis, kas pārsniedz 0,5 %, - par kaitīgu. Paaugstināta koncentrācija izraisa augu lapu atvārsnīšu aizvēršanos, kas traucē fotosintēzi un ūdens transpirāciju, kas savukārt var novest pie lapu apdegšanas. Augu audzēšanā galvenais mērķis ir noteikt gaismas daudzumu, ko augs absorbē visas dienas garumā neatkarīgi no dienas gaismas ilguma.

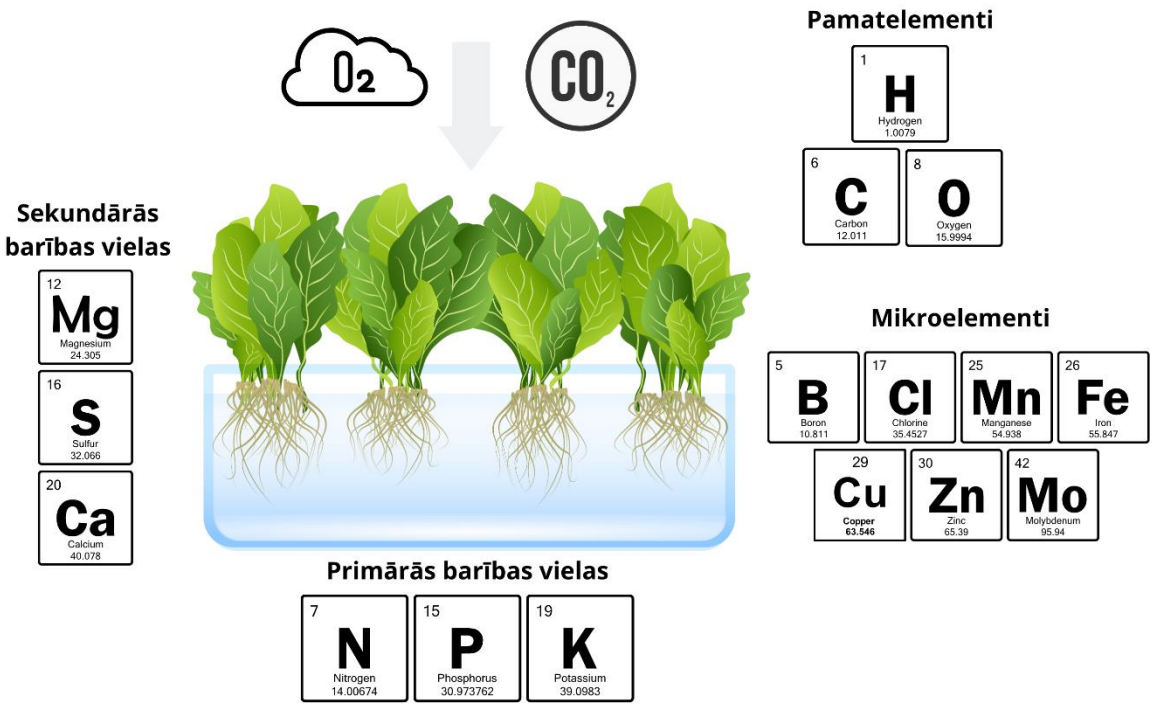


3. attēls. Augu fotosintēze un šūnas elpošana.

Katram augam ir unikāla reakcija uz dažāda gaismas līmeņiem - dažas sugas ir īpaši pielāgotas pilnai saules gaismai, bet citas labāk aug ēnainā vidē. Augi elpo un izdala oglekļa dioksīdu, kad gaismas nav. Palielinoties gaismas intensitātei, palielinās arī fotosintēzes ātrums, un pie konkrēta gaismas intensitātes līmeņa elpošanas ātrums kļūst līdzvērtīgs fotosintēzes ātrumam, kā rezultātā CO_2 neto absorbcija vai izdalīšanās apstājās. Papildus gaismas intensitātei arī dienas gaismas ilgums, konkrētāk gaismas viļņu garumi, ietekmē dažādus attīstības procesus, tostarp ziedēšanas sākumu, augu izstiepšanos un kopējo auga formu. Lapu salātiem un garšaugiem parasti ir nepieciešamas 10-14 stundas dienasgaismā, savukārt dažiem ēncietīgiem augiem gaismas prasības ir mazākas. Pārmērīga gaismas iedarbība var izraisīt dažu salātu sugu ziedēšanu, izmainot to garšu un padarot tos rūgtākus. Tomātiem, paprikai un gurķiem, kas ir augļus ražojoši augi, nepieciešama 14-18 stundu ilga gaisma ar augstu gaismas intensitāti. Mūsdienu komerciālajās hidroponiskajās sistēmās gaismas intensitāte tiek regulēta, lai tā atbilstu auga prasībām katrā augšanas stadijā. Mākslīgo apgaismojumu izmanto, lai papildinātu dabisko apgaismojumu atklātās siltumnīcās mākoņainā laikā, tādējādi ietaupot enerģiju. Akvaponikas sistēmās, kas atrodas telpās un ir atkarīgas tikai no mākslīgajiem gaismas avotiem, ir ļoti svarīgi rūpīgi kontrolēt apgaismojumu, lai katrā attīstības stadijā nodrošinātu atbilstošu gaismas daudzumu.

3. Augu barošana

Akvaponikas uzturs balstās uz sinerģiju starp akvakultūru un hidroponiku, kas veicina simbiotisku ekosistēmu zivīm un augiem. Šajā sistēmā zivis izdala atkritumproduktus, kas satur daudz amonjaka, kas nemainītā formā ir toksisks, taču nitrifikācijas procesā tas tiek pārveidots par augiem labvēlīgu barības vielu. Baktērijas, piemēram, *Nitrosomonas* un *Nitrobacter*, pārveido amonjaku par nitrītiem, kas pēc tam tiek pārvērsti par nitrātiem - slāpekļa formu, ko augi var viegli asimilēt augšanai. Ar nitrātiem bagātais ūdens nodrošina augu augšanai svarīgus makroelementus, piemēram, slāpekli, fosforu un kāliju, kā arī citus būtiskus mikroelementus. Augi asimilē šīs barības vielas un veicina ūdens attīrīšanu, kas pēc tam tiek atgriezts zivju tvertnēs. Šīs sistēmas līdzsvars samazina ķīmiskā mēslojuma nepieciešamību un veicina ilgtspējīgu augu augšanu. Optimālai augu augšanai var būt nepieciešamas papildu barības vielas, piemēram, dzelzs, kalcijs un magnijs, jo zivju atkritumprodukti vien var nebūt pietiekami. Šī slēgtā ekosistēma padara akvaponiku par efektīvu un videi draudzīgu augu barošanas un pārtikas ražošanas metodi.



4. attēls. Augu augšanai nepieciešamo primāro, sekundāro un mikroelementu apkopojums.

3.1. Slāpekli saturošas barības vielas

Akvaponika ir integrēta sistēma, kas apvieno akvakultūru (zivju audzēšanu) un hidroponiku (augu audzēšanu). Šajā sistēmā augi izmanto zivju augšanas un vielmaiņas rezultātā radušos atkritumproduktus, galvenokārt slāpekļa savienojumus. Lai uzturētu līdzsvarotu un veselīgu akvaponikas sistēmu, ir svarīgi izprast augu funkcijas, nepieciešamību pēc slāpekļa un to uzņemšanas procesu.

Slāpeklis ir būtiska barības viela visiem augiem, jo tas ir vairāku biomolekulu pamatsastāvdaļa, piemēram, aminoskābju, kas savukārt ir olbaltumvielu pamatā. Olbaltumvielām augos ir vairākas funkcijas, tie var darboties kā enzīmi vai kā šūnas uzbūves elementi. Enzīmi ir iesaistīti arī fotosintēzē, barības vielu uzņemšanā un augu augšanā kopumā. Slāpeklis ir arī būtiska nukleīnskābju (DNS un RNS) sastāvdaļa, kas ir molekulas, kuras nes ģenētisko informāciju, kas nepieciešama augu attīstībai un pavairošanai. Turklāt slāpeklis arī ir daļa no hlorofila, kas ir fotosintēzes procesā iesaistītais zaļais pigments. Hlorofila uzdevums ir pārvērst gaismas enerģiju ķīmiskajā enerģijā, kas ļauj augam ražot augšanai nepieciešamos ogļhidrātus. No slāpekļa veidojas adenozīna trifosfāts (ATP) un nikotīnamīda adenīna dinukleotīda fosfāts (NADPH) - šīs molekulas atbild par enerģijas pārnesi augu šūnās un ir būtiskas fotosintēzē un elpošanā.

Slāpeklis akvaponikā tiek iegūts no zivju atkritumproduktiem, tomēr, pirms tas kļūst bioloģiski pieejams un nav toksisks augiem, tam ir jāveic vairākas pārvērtības. Primārās slāpekļa formas, ko iegūst no zivīm, ir amonjaks (NH_3) un amonija jons (NH_4^+). Zivis amonjaku izdala kā blakusproduktu, pārstrādājot olbaltumvielas no zivju barības. Ūdenī amonjaks pārvēršas amonijā, ko var uzņemt arī augi, tomēr lielāks slāpekļa daudzums ir toksisks gan zivīm, gan augiem, tāpēc tas jātransformē tālāk, pārveidojot to mazāk toksiskās formās. Procesā, ko sauc par nitrifikāciju, amonjaks ar amonjaku oksidējošo baktēriju (*Nitrosomonas* spp.) palīdzību pārvēršas, pirmkārt, nitrītos (NO_2^-), un pēc tam nitrītoksidējošās baktērijas (*Nitrobacter* spp.) - mazāk toksiskos un bioloģiski pieejamākos nitrātos (NO_3^-). Nitrāti labi šķīst ūdenī, un augi tos viegli uzsūc. Papildinot augus ar pietiekamu slāpekļa daudzumu, tiek nodrošināta veselīga augu augšanu, kas stimulē lapu, stublāju un skaņu attīstību, tādējādi palielinot ražu. Hidroponiskajās un akvaponiskajās sistēmās augu raža ir galvenais ienākumu avots, tāpēc ir svarīgi uzturēt optimālu slāpekļa līmeni. Slāpekļa trūkums bieži vien liecina par palēninātu augšanu un hlorozi (lapu dzeltēšanu).

Akvaponikā augi ir atkarīgi tikai no sistēmā ievadītā un recirkulētā ūdens, kurā izšķīdinātas barības vielas. Slāpeklis ir viens no galvenajiem makroelementiem, kas augiem nepieciešams lielā daudzumā. Lai gan augiem šī barības viela ir nepieciešama lielā daudzumā, tā var būt toksiska zivīm, tāpēc ir ļoti svarīgi uzturēt barības vielu līdzsvaru. Optimizējot slāpekļa līdzsvaru sistēmu, jāņem vērā vairāki faktori. Zivju skaits sistēmā nosaka saražotā amonjaka daudzumu, kā arī zivju barošanas ātrumu. Jo lielāks zivju blīvums, jo vairāk zivju barības jāpiebaro zivīm, kas savukārt palielina augiem pieejamo slāpekli, ja biofiltrācija ir pietiekama. Arī barošanas devu var regulēt, tomēr, ja barības deva ir pārāk maza, zivis var nonākt stresā stāvoklī vai, ja deva ir pārāk liela - saslimt ar dažādām slimībām vai pārēsties. Slāpekļa savienojumu transformāciju var uzlabot, uzturot veselīgu biofiltru, lai nodrošinātu pilnīgu amonjaka un amonija transformāciju nitrātos. Nitrificējošajām baktērijām ir nepieciešams skābeklis, lai amonjaku pārvērstu nitrātos, tāpēc ir nepieciešama atbilstoša aerācija - skābekļa nodrošināšana ir nepieciešama arī hidroponikas un akvakultūras dzīvajiem organismiem. Tā kā nitrātu uzņemšana ir atkarīga no pH, ir jāuztur atbilstošs vides pH līmenis - augiem, zivīm un baktērijām nepieciešamais pH sakrīt noteiktā diapazonā, un to var pielāgot. Temperatūra var arī palīdzēt izmantot slāpekli, ja amonjaka un nitrātu līmenis ir pārmērīgs, veicinot ātrāku augu augšanu un baktēriju aktivitāti. Tomēr temperatūra ir jāuztur nemainīga un jāpielāgo atkarībā no zivju un augu sugas, lai zivis nesmacētu vai lai neizraisītu augu novīšanu vai bojāeju.

Slāpekļa trūkums augiem izpaužas kā vecāko lapu dzeltēšana, palēnināta augšana un lapu izmēra samazināšanās. Ja parādās šādi simptomi, jāmaina barošanas deva, barošanas blīvums vai biofiltra efektivitāte. Ekstrēmos gadījumos akvaponikas sistēmu var papildināt ar minerālmēslojumu, kas satur slāpekli, taču tas padara sistēmu līdzīgu hidroponiskajai sistēmai ar zivju tvertni. Pārmērīgs slāpekļa daudzums, īpaši amonjaka vai nitrītu formā, var kaitēt gan ūdens organismiem, gan veģetācijai. Slāpekļa toksicitātes simptomi augiem ir tumši zaļa lapotne, pārmērīga veģetatīvā augšana, kas kavē augļu vai ziedu veidošanos, un iespējami sakņu bojājumi. Paaugstināta amonjaka vai nitrītu koncentrācija zivīm var izraisīt stresu, slimības vai pat nāvi.

3.2. Fosfors

Fosfors, tāpat kā slāpeklis un kālijs, ir būtisks elements augu augšanā. Fosforam ir izšķiroša nozīme akvaponiskajā sistēmā, jo tas veicina augu attīstību, enerģijas pārnesi un vispārējo sistēmas veselību. Šajā sistēmā augi ir atkarīgi tikai no ūdenī esošajām barības vielām, kas galvenokārt nāk no zivju atkritumproduktiem un organisko vielu sadalīšanās.

Fosfors ir adenozīna trifosfāta (ATP) - būtiska enerģijas nesēja visās dzīvajās šūnās - galvenā sastāvdaļa. ATP uzkrāj un pārnes enerģiju augā, veicinot tādus būtiskus procesus kā fotosintēzi, elpošanu, ogļhidrātu un olbaltumvielu sintēzi. Fosfors ir arī būtiska nukleīnskābju (DNS un RNS) sastāvdaļa. DNS nodrošina auga ģenētiskās informācijas saglabāšanu, savukārt RNS pārveido šo informāciju olbaltumvielās un enzīmos, kas ir svarīgi šūnu dalīšanai, augšanai un vairošanai. Fosfors ir galvenais elements fosfolipīdos, kas veido šūnu membrānu struktūras pamatu. Šīs membrānas kontrolē vielu kustību šūnās un no tām, nodrošina šūnu integritāti, signalizēšanu un barības vielu transportu. Fosfors ir iesaistīts arī fotosintēzei nepieciešamo savienojumu veidošanā. Efektīva fotosintēze ir būtiska, lai augi varētu pārvērst gaismas enerģiju ķīmiskajā enerģijā, kas tiek izmantota augšanai un attīstībai nepieciešamo ogļhidrātu ražošanai. Fosforam ir būtiska nozīme augu sakņu attīstībā un pagarināšanā. Tas veicina spēcīgu sakņu augšanu, ļaujot augiem izmantot vairāk ūdens un barības vielu, tādējādi uzlabojot vispārējo barības vielu uzņemšanu un stabilitāti. Atbilstošs fosfora daudzums ir svarīgs ziedu un sēklu veidošanai. Tas veicina agrīnu augu nobriešanu, paātrina ziedēšanu un sekmē labāku augļu veidošanos un sēklu attīstību.

Fosfors ir būtisks makroelements, kam ir nozīmīga loma augu augšanā, sakņu attīstībā un pavairošanā. Nepietiekams fosfora daudzums var izraisīt augšanas aizkavēšanos, nepilnīgi attīstītu sakņu sistēmu, novēlotu nobriešanu, samazinātu ziedēšanu un ražas samazināšanos. Akvaponiskajās sistēmās, kur augi ir atkarīgi tikai no ūdenī pieejamajām barības vielām, ir būtiski nodrošināt pietiekamu fosfora daudzumu. Lai veicinātu veselīgu augšanu un uzturētu optimālu ūdens kvalitāti, ir nepieciešams nodrošināt labi sabalansētu barības vielu sastāvu sistēmā. Pārmērīgs fosfora daudzums var izraisīt ūdens kvalitātes

problēmas, piemēram, aļģu savairošanos. Tā kā arī aļģēm ir nepieciešams fosfors augšanai, ir svarīga efektīva sistēmas pārvalde, lai uzturētu līdzsvaru starp fosfora pieejamību augiem un novērstu iespējamos traucējumus. Fosfors dabā ir ierobežots resurss. Fosforam ir izšķiroša nozīme akvaponikas ilgtspējas uzturēšanā, ja tas tiek pārstrādāts un efektīvi izmantots. Efektīva fosfora apsaimniekošana var palīdzēt samazināt atkarību no ārējiem resursiem, piemēram, fosfora mēslojuma, tādējādi samazinot atkritumu daudzumu.

Akvaponiskajās sistēmās fosfors galvenokārt tiek iegūts no zivju barības. Tas nonāk ūdenī, sadaloties zivju atkritumproduktiem un nesagremotai barībai. Lai uzturētu optimālu fosfora līmeni, ir svarīgi izmantot kvalitatīvu zivju barību ar sabalansētu barības vielu sastāvu. Fosfora biopieejamību ietekmē arī ūdens pH līmenis. Akvaponiskajās sistēmās ieteicams uzturēt pH līmeni no 6,0 līdz 7,0, jo šajā pH diapazonā augi vislabāk uzņem fosforu. Ja pH līmenis pārsniedz 7,0, fosforam veido nešķīstošus savienojumus, kas savukārt samazina tā pieejamību augiem. Kad organiskās vielas, piemēram, zivju atkritumprodukti un nesagremotā barība, sadalās, no tām ūdenī izdalās fosfors. Šo procesu ietekmē temperatūras un skābekļa līmeņa svārstības. Augstāka temperatūra un pietiekams skābekļa līmenis nodrošina efektīvu sadalīšanos un barības vielu izdalīšanos. Tomēr skābekļa trūkums var izraisīt nelabvēlīgas ķīmiskās reakcijas un barības vielu nelīdzsvarotību. Fosfora līmeni ietekmē zivju skaits sistēmā un barības daudzums. Ja zivju populācija ir augsta un tās pārmērīgi barojas, kas var izraisīt paaugstinātu fosfora līmeni ūdenī. Tas var veicināt aļģu augšanu vai izraisīt citas ūdens kvalitātes problēmas. Akvaponikas sistēmās, kurās izmanto barotnes, piemēram, granti vai keramzītu, fosfors var adsorbēties uz to virsmām. Lai nodrošinātu, ka augi var efektīvi uzņemt fosforu, substrātiem jābūt tīriem un biofiltriem labi funkcionējošiem. Dažādiem augiem ir atšķirīgas fosfora vajadzības. Piemēram, lapu augiem parasti nepieciešams mazāk fosfora nekā augļaugiem, piemēram, tomātiem vai paprikai. Izpratne par konkrētajām augu prasībām un pareiza augu izvēle palīdz uzturēt līdzsvarotu fosfora patēriņu sistēmā, tādējādi nodrošinot gan augu veselību, gan sistēmas stabilitāti.

Fosfora trūkuma simptomi augiem tiek novēroti kā palēnināta augšana, aizkavēta nobriešana, tumši zaļa vai violeta lapotne (īpaši vecākām lapām), kā arī samazināta ziedēšana vai augļu veidošanās. Uz lapām var veidoties arī nekrotiski (atmiruši) plankumi. Šie simptomi norāda, ka fosfora līmenis sistēmā ir pārāk zems un tas ir jālabo. Pārmērīgs fosfora daudzums var izraisīt citu svarīgu barības vielu, piemēram, dzelzs un cinka, uzsūkšanās traucējumus. Simptomi var būt hloroze (lapu dzeltēšana), īpaši jaunākām lapām, un starp svītru hloroze (dzeltēšana starp dzīslām, kamēr pašas dzīslas paliek zaļas), kā arī veicināt aļģu ziedēšanu, samazinot skābekļa līmeni un kaitējot zivīm un labvēlīgajām baktērijām.

3.3. Kālijs

Kālijs ir viens no trim galvenajiem makroelementiem, kas ir nepieciešami augiem, līdzās slāpeklim un fosforam. Tas ir būtisks dažādos fizioloģiskos un bioķīmiskos procesos, kas nodrošina augu veselību un augšanu.

Kālijs regulē atvārsnīšu funkciju un ūdens apmaiņu. Atvārsnītes ir mazas poras uz lapas virsmas, kas regulē gāzu un ūdens apmaiņu. Kālijs regulē to aizvēršanos, un atvēršanos, regulējot ūdens uzņemšanu un aizturi, uzturot turgora spiedienu (šūnas iekšējo spiedienu). Kālijs darbojas kā vienojošais faktors dažādiem metabolisma procesos iesaistītiem enzīmiem, tostarp fotosintēzes, elpošanas olbaltumvielu sintēzes un ogļhidrātu metabolisma procesos. Šīs enzīmu reakcijas ir ļoti svarīgas enerģijas ražošanai un organisko savienojumu ražošanai, nodrošinot augšanu un attīstību. Turklāt kālijam ir būtiska nozīme augu izturībā pret mainīgiem vides apstākļiem, piemēram, sausumu, temperatūras svārstībām un slimībām. Tam ir svarīga nozīme ūdens līdzsvara uzturēšanā šūnās, novēršot dehidratāciju un nodrošinot stabilu šūnu pH līmeni. Akvaponikā būtiska nozīme ir augu izturībai, jo tie bieži saskaras ar mainīgiem vides apstākļiem. Kālijs veicina augļu un dārzeņu kvalitāti, jo tas ietekmē krāsu, izmēru, formu, garšu un uzglabāšanas īpašības. Tas veicina ogļhidrātu un cietes transportēšanu no lapām uz augļiem un sēklām, kas ir svarīgi ražības un kvalitātes uzlabošanai. Kālijs stiprina šūnu sieniņas, padarot augus mazāk uzņēmīgus pret slimībām un kaitēkļu uzbrukumiem. Tas veicina fenola savienojumu un citu sekundāro metabolītu sintēzi, kas darbojas kā dabiskie aizsardzības mehānismi pret patogēniem un kukaiņiem.

Akvaponikā kālijs rodas sadaloties zivju barībai un organiskajām vielām. Tomēr dabiskais kālija saturs zivju barībā bieži vien ir nepietiekams, lai apmierinātu vairumu augu vajadzību, īpaši to augu vajadzības, kuriem nepieciešams daudz kālija, piemēram, tomātiem, paprikai un lapu salātiem. Lai uzturētu optimālu kālija daudzumu (parasti 20-80 mg/L atkarībā no augu sugas), var būt nepieciešamas papildu kālija piedevas, piemēram, kālija sulfāts (K_2SO_4) vai kālija hidrogēnkarbonāts ($KHCO_3$). Ir svarīgi regulāri pārbaudīt kālija koncentrāciju ūdenī, tas palīdz novērst tā trūkumu vai pārpalikumu, kas varētu negatīvi ietekmēt augu veselību vai augšanu.

Kālija trūkuma pazīmes var novērot pēc lapu malu krāsas maiņas, kas sākas ar dzeltenuma efektu, ko sauc par marginālo hlorozi. Šī krāsas maiņa var tālāk pāraugt brūnā apdegumā vai nekrozē, kā rezultātā lapu galos un malās, īpaši vecākām lapām, veidojas atmiruši audi. Var novērot vājus stublājus, nepietiekamu sakņu augšanu, mazāku ziedēšanu un mazāku ražu. Augi, kuriem trūkst kālija, ir vairāk pakļauti slimībām un vides stresa faktoriem. Pārmērīgs kālija daudzums akvaponikā nav izplatīts, taču tas var izraisīt citu barības vielu (piemēram, kalcija un magnija) deficītu, radot hlorozi, lapu deformāciju un aizkavētu augšanu. Ja ir izteikta barības vielu nelīdzsvarotība, tā būtiski var ietekmēt augu veselību un dzīvotspēju.

3.4. Mikroelementi

Lai gan mikroelementi ir nepieciešami mazākos daudzumos kā makroelementi (slāpeklis, fosfors, kālijs), tiem ir būtiska nozīme augu augšanā, attīstībā un produktivitātē. Šīm barības vielām ir svarīga loma enzīmu reakcijās, molekulu sintēzē un aspektos, kas saistīti ar augu metabolismu, struktūras un izturību pret slimībām. Akvaponikā mikroelementiem ir būtiska nozīme augu veselības uzturēšanā un ražas palielināšanā.

Galvenais mikroelementu avots akvaponikas sistēmā ir zivju barība. Zivju barība satur barības vielu maisījumu, tostarp mikroelementus, piemēram, dzelzi, sēra savienojumus, cinku, mangānu, varu, boru u.c. savienojumus. Pēc tam, kad zivis apēd barību, šīs barības vielas nonāk akvaponikas sistēmā kopā ar zivju atkritumproduktiem. Tālāk barības vielas pārstrādā baktērijas, kas kolonizē biofiltru, un tādējādi šie elementi kļūst pieejami augiem. Ja konkrēts mikroelements trūkst un tādējādi apgrūtina noteiktu augu, piemēram, salātu, audzēšanu, jo tie patērē daudz dzelzs, akvaponikas sistēmu var bagātināt ar helātu mikroelementiem. Šādas piedevas ir drošas gan zivīm, gan augiem, ja tās tiek izmantotas atbildīgi un devas tiek rūpīgi aprēķinātas.

Dzelzs (Fe)
Dzelzs ir mikroelements, kas piedalās vairākos svarīgos procesos augu šūnās, tostarp fotosintēzē. Dzelzs ir atbildīgs par elektronu pārnesi augu šūnās, jo īpaši hloroplastos un mitohondrijos fotosintēzes un auga elpošanas laikā. Dzelzs ir arī daļa no enzīmu sintēzes, kas ir atbildīgi par slāpekļa fiksāciju un enerģijas pārnesi. Akvaponikā dzelzs trūkums ir visbiežāk sastopamais mikroelementu deficīts, kas izraisa hlorozi. Visbiežāk dzelzs trūkums novērojams lapu salātos, piemēram, salātos un spinātos, un dažos augļaugos, piemēram, tomātos un paprikā.

Cinks (Zn)
Cinks ir būtisks elements vairāku enzīmu darbībā, kas saistīti ar DNS transkripciju un hormonu (piemēram, auksīnu) regulēšanu. Tam ir svarīga loma šūnu membrānu integritātes uzturēšanā un ogļhidrātu metabolismā. Cinks piedalās arī hlorofila un dažu ogļhidrātu sintēzē; cinka līmenis ietekmē ūdens uzņemšanu un izmantošanu augā. Cinka ietekmē tiek regulēta triptofāna sintēze, kas ir auksīnu prekursors. Cinka trūkums samazina augu augšanas ātrumu, deformē lapas un samazina zaru pagarināšanos. Atkarībā no augu sugas vajadzība pēc cinka var atšķirties, piemēram, tādiem augiem kā pupas, kukurūza un kvieši ir lielākas prasības pēc cinka, lai iegūtu optimālu ražu.

Sērs (S)

Sēram ir būtiska nozīme augu augšanā, vielmaiņā un vispārējā veselībā. Tas ir būtisks aminoskābju, olbaltumvielu, vitamīnu un koenzīmu sintēzei, kas ir svarīgi augu attīstībai. Šī viela ir būtiska hlorofila veidošanai un fotosintēzes procesam. Tas arī palīdz augiem efektīvi izmantot barības vielas, īpaši slāpekli, kā arī tas uzlabo kultūraugu garšu, smaržu un spēju cīnīties ar slimībām. Sēra trūkums var izraisīt hlorozi jeb jauno lapu dzeltēšanu. Tas var izraisīt arī aizkavētu augšanu un kavēt ziedēšanas procesu. Regulāra uzraudzība un sabalansēta barības vielu pārvaldība ir ļoti svarīga, lai saglabātu augu veselību un optimizētu ražas līmeni akvaponikā. Sērs tiek iegūts no zivju barības, sulfātu saturošiem uztura bagātinātājiem un organisko vielu sadalīšanās.

Mangāns (Mn)
Mangāns ir mikroelements, kas spēlē svarīgu lomu fotosintēzes procesā. Mangāns aktivizē vairākus enzīmus, kas ir svarīgi augu metabolismā, piemēram, enzīmus, kas iesaistīti slāpekļa uzņemšanā un taukskābju sintēzē. Ar mangāna palīdzību veidojas arī lignīns, kas ir šūnas sieniņas strukturālā sastāvdaļa. Tādi augi kā sojas pupas, kvieši un auzas ir īpaši atkarīgas no mangāna. Mangāna trūkumu raksturo hloroze, īpaši jaunās lapās.

Bors (B)
Bors regulē šūnu sieniņu veidošanos un to stabilitāti - tas palīdz veidot pektīna (augos sastopamā polisaharīdu veida) saites. Bors ir iesaistīts ogļhidrātu transportā un vielmaiņā. Bors ir nozīmīgs arī augu hormonu līmeņa regulēšanā, sēklu un augļu attīstībā un ziedputekšņu dīgšanā. Bora trūkums izpaužas kā šūnu sieniņu attīstības traucējumi, kas izraisa trauslus stublājus, deformētus augļus un sēklu neauglību vai deformāciju. Bors ir īpaši svarīgs sakņu dārzeņiem, augļaugiem un pākšaugiem.

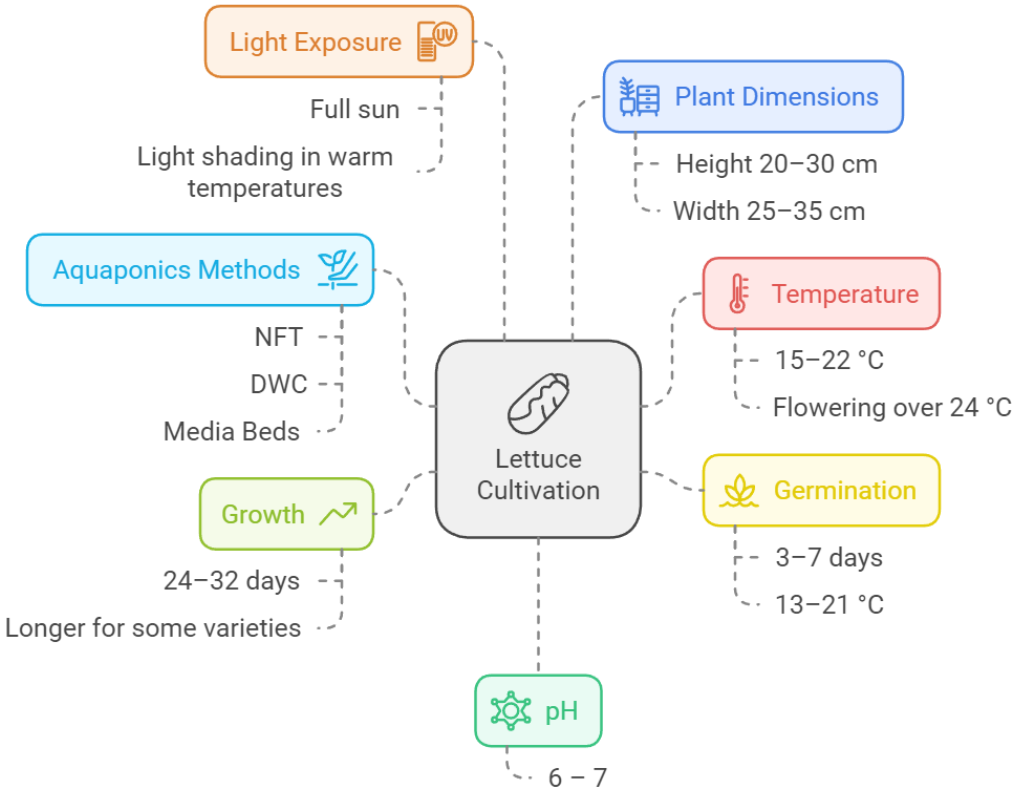
Varš (Cu)
Varš ir svarīgs mikroelements, kas ir būtisks elektronu transporta ķēdē. Varš ir iesaistīts vairāku enzīmu darbībā, jo īpaši fotosintēzes un elpošanas procesos. Vara klātbūtnē notiek arī lignīna sintēze, kas stiprina audus. Tas regulē augu aizsardzības sistēmu un veicina sekundāro metabolītu (piemēram, fenola savienojumu) ražošanu. Vara trūkums var izraisīt deformētas lapas, augu audu atmiršanu lapu galos, traucē ziedēšanu un palielina uzņēmību pret sēnīšu slimībām. Varš ir īpaši svarīgs graudaugiem un pākšaugiem, kuriem ir nepieciešama izturība pret slimībām.

Molibdēns (Mo)
Molibdēns ir iesaistīts augu slāpekļa metabolismā - tas ir nitrātu reduktāzes un nitrogenāzes sastāvdaļa. Tas palīdz arī aminoskābju - olbaltumvielu pamatelementu - sintēzē. Ja molibdēna koncentrācija ir zema, vai tas nav pieejams augiem, jo īpaši pākšaugiem, slāpekļa fiksācija var tikt traucēta, tādējādi samazinot augšanas ātrumu. Arī tādiem augiem kā ziedkāposti vai brokoļi var būt izteiktas molibdēna trūkuma pazīmes, piemēram, izkropļota lapu forma.

4. Augu sugu izvēle

4.1. Lapu salāti

Salāti



Salātu audzēšana akvaponiskajās sistēmās
Salātiem ir zems pieprasījums pēc barības vielām, taču tie ir augi ar augstu ražības potenciālu, tāpēc tos var izmantot komerciālā audzēšanā. Salāti ir ziemas augi un ūdens temperatūra virs 26◦C tiem rada rūgtu garšu. Augšana process sastāv no trim posmiem: dīgšana, pārstādīšana un uzturēšana/kopšana. Barotnei jābūt mitrai, taču ne pārmērīgi, jo sēklas tā dīgst vislabāk.

Diedzēšana un pārstādīšana
Lai izdīgtu salātu sēklas, tām ir nepieciešamas 3 līdz 7 dienas 13 līdz 21 ◦C temperatūrā.
Kad salātu stādi ir aptuveni trīs nedēļas veci un tiem ir 2 līdz 3 lapas, tos var pārstādīt akvaponiskajā sistēmā. Otrajā vai trešajā nedēļā pirms pārstādīšanas ieteicams tiem nodrošināt vairāk fosfora, lai stimulētu sakņu augšanu un palīdzētu augiem pielāgoties pie jaunajiem apstākļiem.
Ja salātus audzē ārā, 3 līdz 5 dienas pirms pārstādīšanas salātu stādus ir ieteicams pakāpeniski pakļaut ārējiem augšanas apstākļiem, piemēram, zemākai temperatūrai un tiešiem saules stariem. Tas palīdzēs

augiem pielāgoties un uzlabos izdzīvošanas iespējas. Pārstādot salātus siltā laikā, 2-3 dienas novietojiet virs augiem saules aizsegu, lai izvairītos no stresa.

Uzturēšana un kopšana

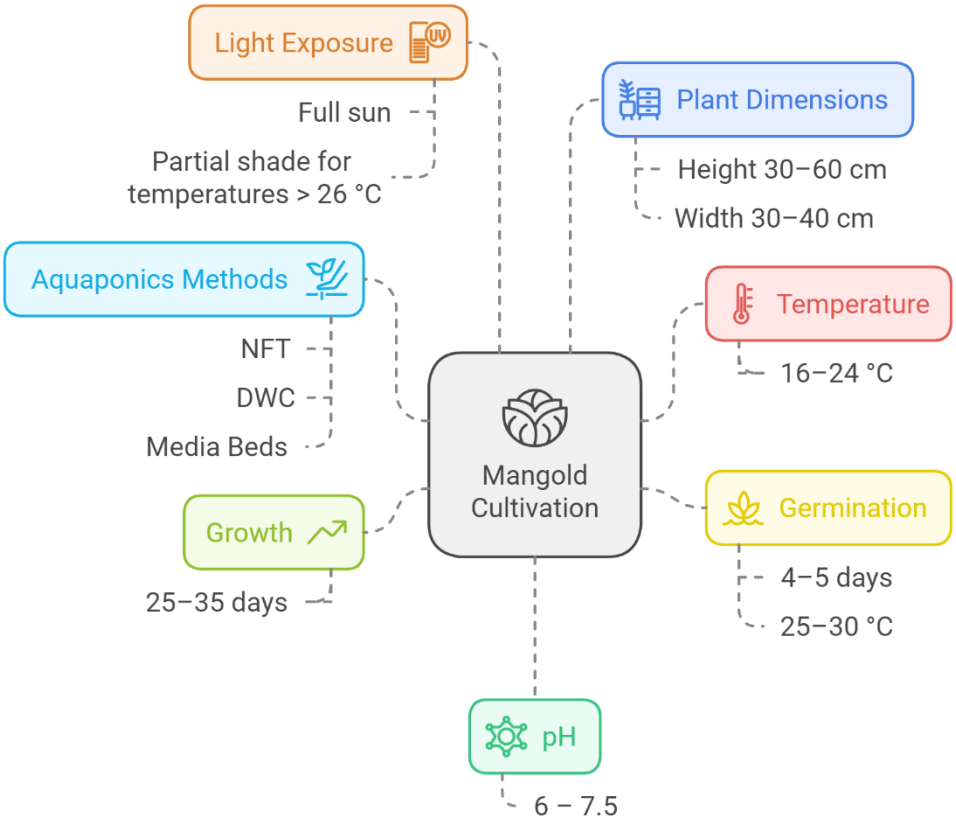
Lai iegūtu kraukšķīgus un saldus salātus, augi jāaudzē strauji, nodrošinot paaugstinātu nitrātu līmeni audzēšanas vidē. Kad sezonas laikā paaugstinās gan gaisa, gan ūdens temperatūra, ieteicams izmantot pret slimībām noturīgas (vasaras) šķirnes. Audzējot augus substrātos, jaunos salātus ieteicams stādīt vietās, kur tie saņems daļēju ēnu no citiem blakus esošiem augiem.

Ražas novākšana

Ražas novākšanu var sākt, kad galviņas vai lapas ir pietiekami lielas, lai tās varētu lietot pārtikā. Ja mērķis ir tirgus pārdošana, ražas novākšanas procesā ieteicams noņemt visus augus un saknes, kad tie sasniedz vēlamo tirgus svaru (250-400 g). Saknes jānoņem un jāpārvieto uz kompostu. Ražas novākšanu ieteicams sākt agri no rīta, kad lapas ir kraukšķīgas un satur pietiekami daudz mitruma, un pēc tam tās nekavējoties jāatdzesē.

5. attēls. Salāti, kas audzēti akvaponikas dziļūdens kultūrā.

Mangold - lapu biete



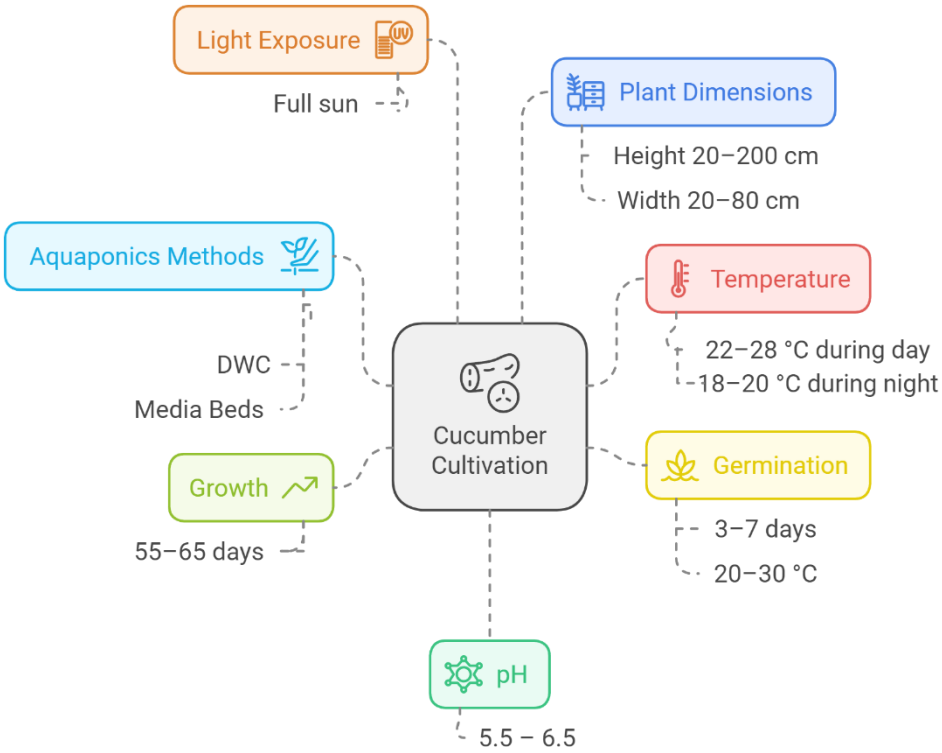
Audzēšanas norādījumi

Lapu biešu sēklas veido vairāk nekā vienu stādiņu, tāpēc, stādiņiem sākot augt, ir nepieciešama retināšana. Sezonas laikā, augiem augot un novecojot, vecās lapas var noņemt, lai veicinātu jaunu lapu augšanu.

Ražas novākšana
Lapas var novākt, tiklīdz tās sasniedz atbilstošu izmēru. Lielāku lapu likvidēšana veicina svaigu lapu veidošanos. Ražas novākšanas laikā izvairieties no auga centra bojāšanas.

6. attēls. Lapu bietes, kas audzētas akvaponikas sistēmā ar keramzītu.

4.2. Gurķi



Gurķu audzēšana akvaponiskajās sistēmās

Gurķiem labi panes ilgstoši augstas temperatūras, mitrumu, bagātīgu saules gaismu un siltu nakšu periodus. Ideāla audzēšanas temperatūra ir no 24 līdz 27°C, savukārt relatīvais mitrums ir no 70 līdz 90 %. Ražošanai piemērota substrāta temperatūra ir aptuveni 21°C. Ja temperatūra ir no 10 līdz 13°C, gurķi pārtrauc augšanu. Gurķiem nepieciešams liels slāpekļa un kālija daudzums, tāpēc, izvēloties augu daudzumu, jāņem vērā ūdenī esošās barības vielas un zivju atkritumproduktu masa. Gurķu audzēšana akvaponikas sistēmā ietver vairākus posmus, sākot ar pārstādīšanu līdz ražas novākšanai. Tāpat ir svarīgi nodrošināt atbilstošu augu kopšanu, kas sevī ietver apgriešanu, apputeksnēšanu un kaitēkļu apkarošanu.

7. attēls. Gurķi, kas audzēti hidroponiskās barības vielu plēves augšanas kanālos.

Pārstādīšana

Gurķu stādus var pārstādīt akvaponiskajā sistēmā, kad tie ir 2-3 nedēļas veci, parasti ar 4-5 lapām. Šajā stadijā tie ir pietiekami spēcīgi, lai izturētu stresu, kas saistīts ar pārvietošanu, un sāktu uzņemt barības vielas no akvaponiskās sistēmas.

Audzēšanas norādījumi

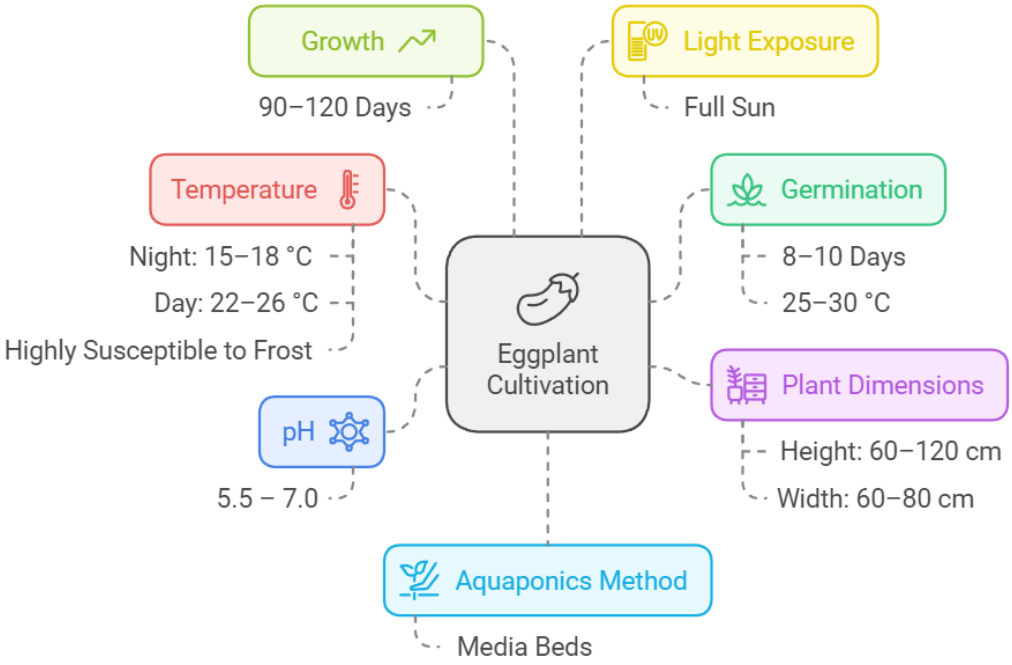
Gurķu augi aug ļoti ātri, un ir ieteicams ierobežot to veģetatīvo augšanu un novirzīt barības vielas augļiem, nogriežot to virsotnes galus, kad stublājs ir divus metrus garš; sānzaru nogriešana veicina gaisa cirkulāciju. Turpmāku auga pagarināšanos var panākt, saglabājot tikai divus vistālāk esošos pumpurus, kas izauguši no galvenā stublāja. Augus stimulē regulāri novācot augļus, kas sasniedz tirdzniecībai piemērotu svaru (> 180 g), lai palielinātu ražību. Efektīvai apputeksnēšanai un augļu attīstībai ir svarīgi apputeksnētāji. Optimālai augšanai gurķu augiem nepieciešams atbalsts, kas nodrošina arī pietiekamu aerāciju, lai mazinātu lapotnes slimību, piemēram, miltrasas un pelēkās pelējuma sēnes, izplatību. Tā kā gurķu augiem ir raksturīga liela kaitēkļu sastopamība, ir svarīgi plānot atbilstošas integrētās kaitēkļu apkarošanas stratēģijas (sk. 6. nodaļu) un stādīt augus, kurus iespējamie izmantotie apstrādes līdzekļi ietekmē mazāk.

Ražas novākšana

Pēc pārstādīšanas gurķus var sākt novākt pēc 2-3 nedēļām. Optimālos apstākļos augus var novākt 10-15 reizes. Novākšana jāveic regulāri, ik pēc pāris dienām, lai novērstu pārāk lielu augļu augšanu un veicinātu jaunu augļu attīstību.

4.3. Nakteņi

Baklažāni



Baklažānu audzēšana akvaponiskajās sistēmās

Baklažāni ir vasarā augoši dārzeņi, kas labi aug substrātos, jo to sakņu sistēma aug dziļi. Augi ražo 10-15 augļus, un kopējā raža ir 3-7 kg. Baklažāniem nepieciešams paaugstināts slāpekļa un kālija daudzums, tāpēc, lai novērstu barības vielu nelīdzsvarotību, katrā akvaponikas sistēmā ir rūpīgi jāizplāno audzējamo augu daudzums.

8. attēls. Baklažāni, kas audzēti hidroponikā ar pilienveida sistēmu.

Audzēšanas norādījumi

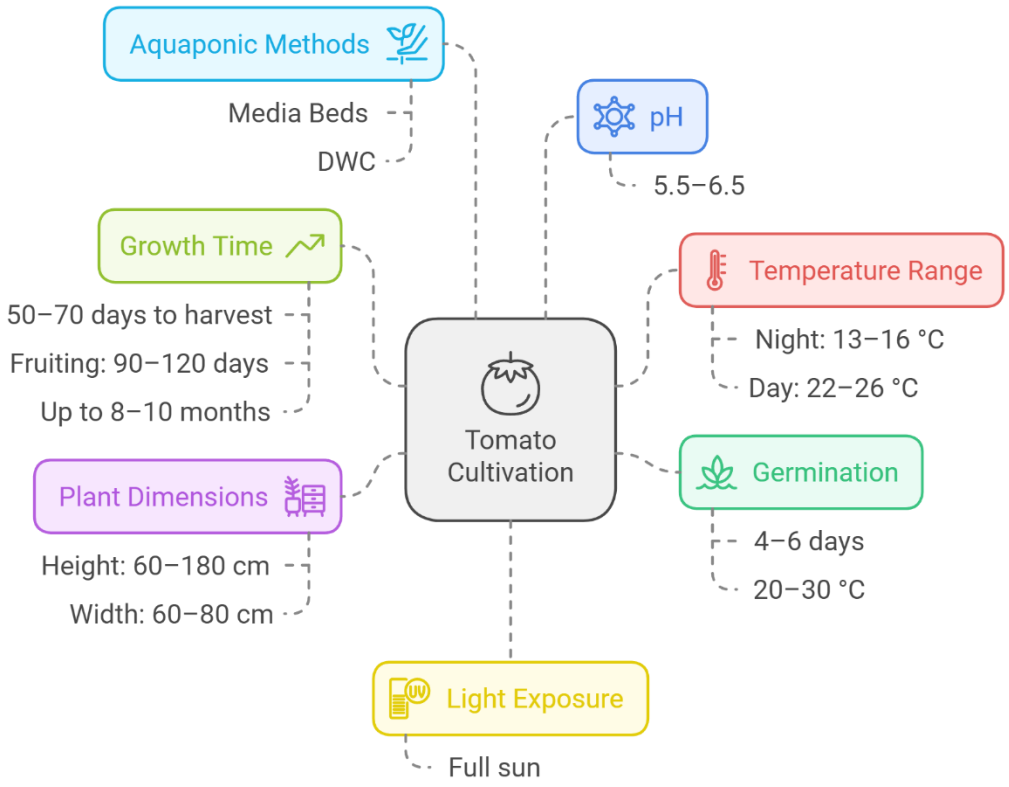
Sēklas dīgst 8-10 dienu laikā siltā temperatūrā (26-30 °C). Stādus var pārstādīt, kad tiem ir 4-5 lapas. Pārstādīšana jāveic, kad pavasarī paaugstinās temperatūru. Vasaras sezonas beigās jāsāk apgriezt jaunos ziedus, lai veicinātu augļu nogatavošanos. Sezonas beigās augus var apgriezt 20-30 cm augstumā, atstājot tikai trīs zarus. Šī metode palīdz pārtraukt ražas veidošanos, nepieļaujot augļu novākšanu nelabvēlīgajā

sezonā (ziemā, vasarā), un ļauj pēc tam atsākt ražas veidošanos. Augus var audzēt bez apgriešanas, tomēr ierobežotās telpās vai siltumnīcās zaru pārvaldību var atvieglot ar mietu vai vertikālu auklu palīdzību.

Ražas novākšana

Sāk novākt ražu, kad baklažāni ir 10-15 cm gari. Mizai jābūt spīdīgai; blāva un dzeltena miza liecina, ka baklažāns ir pārgatavojies. Novēlota ražas novākšana padara augļus nederīgus, jo to iekšpusē ir sēklas. Novākšanā izmantojiet asu nazi un nogrieziet baklažānus no auga, atstājot vismaz 3 cm garu kātiņu pie augļa.

Tomāti



Audzēšanas norādījumi

Pirms pārstādīšanas ieteicams uzstādīt mietiņus vai augu atbalsta konstrukcijas, lai novērstu sakņu bojājumus. Stādus pārstādiet 3-6 nedēļas pēc dīgšanas, kad stāds ir 10-15 cm liels un nakts temperatūra pastāvīgi ir augstāka par 10°C. Pārstādīšanas laikā jāizvairās no pārmērīga mitruma ap augu, lai samazinātu slimību risku. Kad tomātu augi ir aptuveni 60 cm augsti, jāizvēlas audzēšanas metode (krūms vai vienstumbrs), apgriežot nevajadzīgos augšējos zarus. Jānoņem lapas no galvenā stublāja apakšējām 30 cm daļām, lai veicinātu labāku gaisa cirkulāciju un samazinātu sēnīšu izplatību. Nogrieziet visus palīgaugus, lai veicinātu augļu augšanu. Neilgi pirms augļu nogatavošanās noņemiet lapas, kas nosedz katru augļu zaru, lai veicinātu barības vielu piekļuvi augļiem un paātrinātu to nogatavošanos.

9. attēls. Tomāti, kas audzēti barības vielu plēves augšanas kanālos.

Ražas novākšana
Lai iegūtu vislabāko garšu, novāciet tomātus, kad tie ir stingri un pilnībā iekrāsojušies. Augļi turpinās nogatavoties, ja tos novāc pusgatavus un pārnes iekštelpās. Augļus var viegli uzglabāt 2-4 nedēļas 5-7 °C temperatūrā 85-90 % relatīvā mitruma apstākļos.

Kartupeļi

pH: 5,5 - 6,5
Temperatūras diapazons: 15-20 °C
Augšanas laiks: 70 - 90 dienas

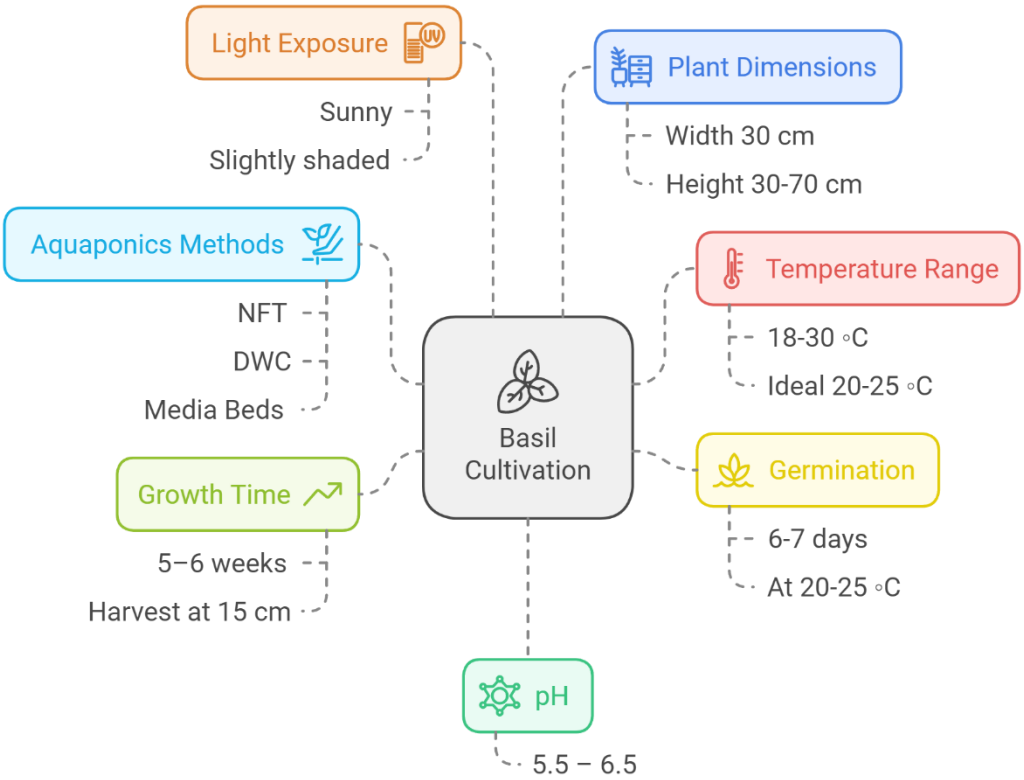
Kartupeļi ir iekļauti šajā ziņojumā, jo tos var audzēt aeroponiski. Ir svarīgi izvēlēties pareizo kartupeļu šķirni, kas var augt aeroponikas sistēmā, lai iegūtu labu rezultātu.
Šīs šķirnes ir paredzētas audzēšanai bez augsnes, un dod labāku ražu, nekā tās audzējot augsnē.

Uzturēšana un kopšana
Ir svarīgi uzturēt sistēmu pilnīgi tīru, lai novērstu kaitīgu baktēriju un slimību rašanos. Jāpievērš uzmanība tādiem kartupeļu kaitēkļiem kā vaboles un laputis, kā arī jāveic to apkarošana.

Ražas novākšana
Ideāls laiks kartupeļu novākšanai ir tad, kad augi sāk dzeltēt un atmirt.
Ražas novākšana ir ļoti vienkāršs process. Vienkārši izņemiet augu no sistēmas un noplēsiet kartupeļus no saknēm.
Pēc ražas novākšanas kartupeļi jānogatavina, lai uzlabotu to garšu un uzglabāšanas ilgumu. Šis process ietver kartupeļu novietošanu vēsā, tumšā un labi vēdināmā telpā 10 līdz 14 dienas.

4.4. Garšaugi un garšvielas

Baziliks



Bazilika audzēšana akvaponiskajās sistēmās
Process sastāv no trim posmiem: dīgšana, pārstādīšana un uzturēšana/kopšana. Barotnei jābūt mitrai, taču ne pārmērīgi, jo sēklas tā dīgst vislabāk.

Diedzēšana un pārstādīšana
Ja izmantojat sēklas, ievietojiet tās augsnes barotnē (akmens vate, kokosšķiedra, kūdra). 20-25◦C temperatūrā sēklas dīgs 6-7 dienas.
Stādus var pārstādīt, kad augam ir 4-5 lapas.

Uzturēšana un kopšana
Bazilika augšanai ir nepieciešama silta temperatūra, un augus var novietot tiešos gaismas staros. Tomēr, ja temperatūra ir augstāka par 27◦C, augi jāvēdina un/vai jāpārklāj ar aizsegiem, lai novērstu galotņu apdegšanu. Baziliku var skart dažādas sēnīšu slimības, tostarp *Fusarium* izraisīta vīte, pelēkā pelējuma sēnīte, melnie plankumi, īpaši zemākas temperatūras un augsta mitruma apstākļos. Gaisa vēdināšana un ūdens temperatūra, kas augstāka par 21°C gan dienā, gan naktī, palīdz samazināt augu stresu un slimību izplatību.

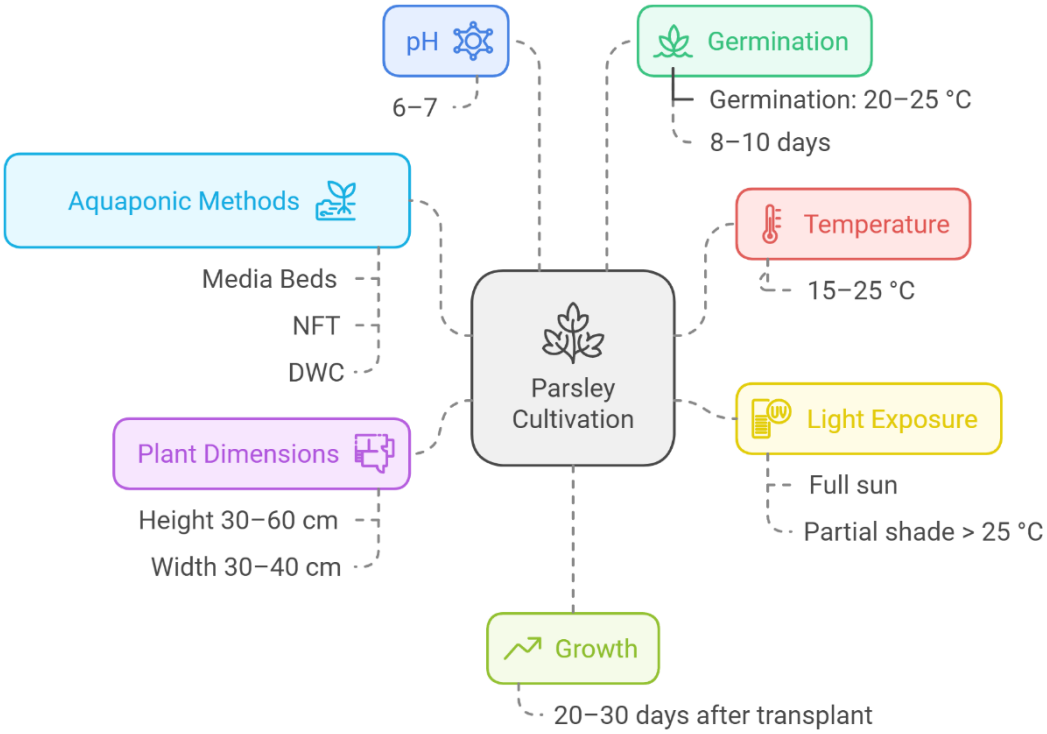
10. attēls. Dziļūdens kultūrā audzēts baziliks.

Ražas novākšana

Lapu novākšana sākas, kad augi sasniedz 15 cm augstumu, un turpinās 30-50 dienas. Augu novācot, ir jānogriež apmēram 5 mm virs mezgla. Novācot lapu ražu, ar lapām jārīkojas uzmanīgi, lai izvairītos no lapu sasitumiem.

Lai novērstu lapu rūgtumu un veicinātu sazarošanos, augu attīstības laikā ieteicams izgriezt ziedēšanas galotnes. Bazilika ziedi piesaista apputeksnētājus un kukaiņus, tāpēc, saglabājot dažus ziedošus augus, var uzlabot augu vispārējo veselību un nodrošināt bazilika sēklas.

Pētersīļi



Pētersīļu audzēšana akvaponiskajās sistēmās

Pētersīļi ir plaši izplatīts garšaugs, ko audzē gan mājsaimniecībās, gan komerciālās akvaponiskajās sistēmās, jo tie satur daudz uzturvielu (A un C vitamīnu, kalciju un dzelzi) un ir ar augstu tirgus vērtību. Pētersīļus ir viegli audzēt, jo, salīdzinot ar citiem dārzeņiem, to vajadzība pēc barības vielām ir salīdzinoši neliela.

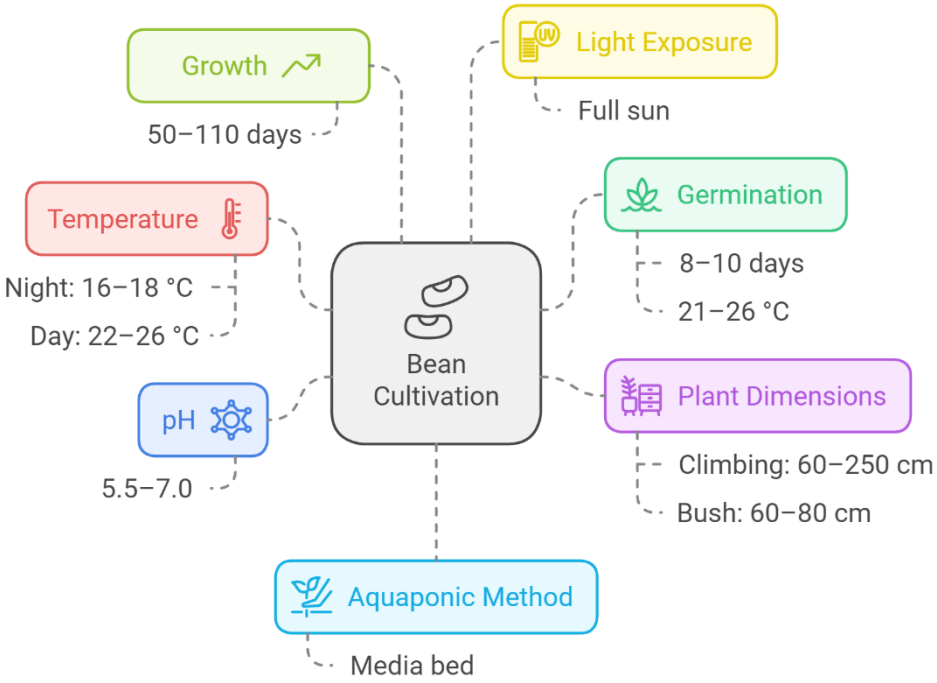
Audzēšanas norādījumi

Galvenās grūtības, audzējot pētersīļus, ir sākotnējā dīgtspēja, kas atkarībā no sēklu svaiguma var ilgt 2-5 nedēļas. Lai paātrinātu dīgšanu, sēklas var iegremdēt siltā ūdenī (20-23 °C) uz 24-48 stundām, lai mīkstinātu sēklu apvalku. Pēc tam ūdeni nolej un sēklas iesēj pavairošanas paplātēs. Augošie stādi ir ar divām slaidām sēklu lapām, kas novietotas viena otrai pretī. Pēc 5-6 nedēļām agrā pavasarī stādus pārstādiet akvaponiskajā sistēmā.

Ražas novākšana

Ražas novākšanu sāk, kad auga stublāji ir vismaz 15 cm gari. Vispirms novāciet auga ārējos stublājus, jo tas veicinās augšanu visas sezonas laikā. Ja tiks nogrieztas tikai augšējās lapas, stublāji paliks, un augs būs mazāk ražīgs. Pētersīļus var žāvēt un saldēt. Žāvētus augus var sasmalcināt un uzglabāt hermētiskā traukā.

4.5. Pupiņas



Pupiņu audzēšana akvaponiskajās sistēmās
Akvaponiskajās sistēmās veiksmīgi aug gan kāpjošās, gan krūmu pupiņu šķirnes, bet kāpjošās šķirnes ir ieteicamas, jo tās aizņem mazāk vietas, tādējādi efektīvāk izmantojot akvaponiskās sistēmas platību. Kāpjošās šķirnes var ražot 2 līdz 3 reizes vairāk pākstis nekā krūmveida šķirnes. Pupiņām ir zemas nitrātu prasības, bet tām ir vidēja vajadzība pēc fosfātiem un kālija. Pupiņu prasības pēc barības vielām padara tās par optimālu izvēli akvaponiskajai audzēšanai, bet pārmērīgs nitrātu līmenis var kavēt ziedēšanu. Pupiņas ieteicams izmantot jaunizveidotās iekārtās, jo tās spēj patstāvīgi atjaunot atmosfēras slāpekli.

Pupiņu stublāju audzēšanas norādījumi
Sēklas iesējiet tieši dobē 3-4 cm dziļumā (pārliecinieties, ka dīgšanas laikā ūdens līmenis būtu augsts). Pupiņas slikti pārstādās, tāpēc tās ir grūti audzēt NFT caurulēs. Jebkurš atbalsta stabs jānovieto pirms sēklu dīgšanas, lai izvairītos no sakņu bojājumiem. Sējot jāuzmanās, lai augiem nebūtu pārmērīgi liela ēna no citiem augiem. Pupas ir uzņēmīgas pret laputīm un tīklērcēm. Lai gan šo kaitēkļu sastopamību var ierobežot ar mehāniskiem līdzekļiem, jāpievērš uzmanība palīgaugu izvēlei, lai izvairītos no savstarpējas inficēšanās.

Ražas novākšana
Pākšu pupiņas (zaļas vai dzeltenas sviesta pupas) - ražas novākšanas laikā pupiņu pākstīm jābūt stingrām un kraukšķīgām; sēklām iekšpusē jābūt neattīstītām vai mazām. Ar vienu roku turiet kātiņu, bet ar otru - pākstiņu, lai nenoplēstu zarus. Novāciet visas pākstis, lai augi būtu ražīgi.
Pupiņas ar čaumalu (melnās, lauka pupas) - novāciet pupiņas, kad to pākstis ir mainījušas krāsu un pupiņas iekšpusē ir pilnībā attīstījušās, bet nav izžuvušas. Pākstīm jābūt stingrām. Ja tās pārāk ilgi atstāj uz auga, tās zaudē kvalitāti.
Kaltētas pupiņas (sojas pupiņas) - ļaujiet pupiņu pākstīm izžūt, cik vien iespējams, pirms iestājas vēsāki laikapstākļi vai kad augi ir kļuvuši brūni un zaudējuši lielāko daļu lapu. Ja pupiņas ir ļoti sausas, tās viegli sadalās, padarot sēklu izņemšanu vienkāršāku.

5. Audzēšanas prakse

5.1. Dēstiem izmantotie substrāti

Akvaponika ir ilgtspējīga lauksaimniecības metode, kas apvieno akvakultūru un hidroponiku. Tās pamatā ir rūpīga stādu kopšana, lai veicinātu veselīgu augu attīstību. Augu augšanas sākumposmā ļoti svarīga ir substrāta un poda tipa izvēle, jo tieši tas ietekmē sakņu veselību, barības vielu uzsūkšanos un pārstādīšanas procesa vienkāršību. Šajā nodaļā aplūkoti dažādi substrāti un podiņu veidi, kas bieži tiek izmantoti akvaponikas sistēmās. Šie apraksti sniedz ieskatu to priekšrocībās un trūkumos, lai palīdzētu pieņemt informētus lēmumus, lai uzlabotu augu veselību un veicinātu efektīvu sistēmas darbību.

Kokosriekstu šķiedra (kokosšķiedra)

Kokosriekstu šķiedru jeb kokosšķiedru iegūst no kokosriekstiem, kad tā iekšpuse tiek atdalīta no ārējās čaumalas. Šo substrātu plaši izmanto hidroponikā un akvaponikā tā šķiedrainās struktūras dēļ, kas nodrošina augu sakņu aerāciju un spēju aizturēt ūdeni. Kokosriekstu šķiedras ūdens aizture ļauj jaunajiem stādiem saglabāt mitrumu un palīdz izvairīties no jauno sakņu izžūšanas, savukārt aerācijas ļauj saknēm izvairīties no pārmērīga mitruma un puves attīstības.

Kokosriekstu šķiedra ir relatīvi inerts materiāls, proti, tajā nav daudz barības vielu vai vielu, kas būtiski ietekmētu pH līmeni. Tāpēc stādiem, kas tiek audzēti kokosšķiedrā, nepieciešama papildus barības vielu piegāde. Parasti tiek izmantoti maigi mēslošanas līdzekļi vai ūdens no akvaponikas sistēmām. Pretēji minerālbāzes substrātiem, kokosšķiedra ir ilgtspējīgs un atjaunojams materiāls, kas ir videi draudzīga alternatīva.

Kokosšķiedra ir piemērota dažādiem stādiem, taču īpaši tiem, kas ir jutīgi pret pārmērīgu laistīšanu. Tās spēja uzturēt vienmērīgu mitrumu padara to piemērotu dažāda lieluma akvaponiskām sistēmām - no mazām līdz vidēja izmēra. Kokosšķiedru parasti pārdod kā aizbāžņus, kas ir jāapstrādā ar ūdeni pirms to izmantošanas. Šādi aizbāžņi tiek plaši izmantoti hidroponikas un akvaponikas sistēmās, lai efektīvi audzētu stādus. Kokosšķiedra ir bioloģiski noārdāms materiāls, pretēji minerālajiem substrātiem. Tomēr jāņem vērā, ka aizbāžņos esošās šķiedras var būt vaļīgas, un spēcīgas ūdens plūsmas ietekmē tās var tikt izskalotas un izplatīties sistēmā. Lai novērstu šķiedru uzkrāšanos sistēmā, ieteicams uzstādīt filtrus.

11. attēls. Kokosriekstu šķiedra, kas iegūta no kokosriekstu čaumalām, kokosriekstu aizbāžņi stādiem.

Perlīts

Perlīts ir viegls, vulkāniskas izcelsmes materiāls, tas ir stiklam līdzīgs minerāls, kas karsējot paplašinās. Tam piemīt porainība, tāpēc tā nodrošina lielisku sakņu aerāciju. Vieglā un porainā struktūras padara šo materiālu par lielisku substrātu stādiem, kam nepieciešama augsta skābekļa pieplūde saknēm. Salīdzinājumā ar kokosšķiedru, kas ir organisks materiāls, perlīts nesadalās un nemaina vides pH, nodrošinot stabilitāti vairāku augšanas ciklu laikā.

Tomēr perlītam ir zema ūdens aizturēšanas spēja, kas nozīmē, ka šajā substrātā audzētajiem stādiem būs nepieciešama biežāka laistīšana vai pastāvīga apūdeņošana. Jauniem stādiem, kuru sakņu sistēma vēl nav pilnībā attīstījusies, tas var būt trūkums, jo var rasties lielāks risks, ka saknes izžūs, un radīs stresu stādiem. Perlīts izplešas karstumā un var saturēt sīkas putekļu daļiņas, kas var būt bīstamas, ja tās tiek ieelpotas. Turklāt šīs mazās daļiņas pārmērīgā daudzumā var aizsērēt filtrus un bojāt ūdens sūkņus. Lai izvairītos no putekļu izplatīšanās, perlītu ieteicams mazgāt pirms lietošanas. Perlītu vislabāk var izmantot kombinācijā ar citiem substrātiem, lai saglabātu tā porainības un aerācijas priekšrocības. Piemēram, kombinējot kokosšķiedru, tiek panākta arī ūdens aiztures uzlabošana. Dažādu substrātu kombinēšana ar perlītu ļauj optimizēt augšanas apstākļus dažādām augu sugām, īpaši to agrīnajās augšanas stadijās.

12. attēls. Dēstu diedzēšanai izmantotais perlīts.

Vermikulīts

Vermikulīts ir dabā sastopams minerāls, kas, līdzīgi kā perlīts, karsējot izplešas. To plaši izmanto kā substrātu stādiem vai kā maisījumu kopā ar citiem substrātiem, taču to var izmantot arī kā vienīgo materiālu. Vermikulītam piemīt lieliskas ūdens aizturēšanas īpašības, nodrošinot stādu saknēm pastāvīgu mitruma un barības vielu pieplūdi. Šī īpašība ir svarīga stādu augšanas sākotnējos attīstības posmos - augsts mitruma saturs ļauj sēklām izdīgt, bet vēlāk nodrošina sakņu sistēmas attīstību. Vermikulītam piemīt arī spēja absorbēt barības vielas un nodrošināt to lēnu izdalīšanos.

Vermikulīts ir viegls, tomēr laika gaitā tas var sadalīties un sablīvēties, tādējādi samazinot aerācijas iespējas saknēm. Sablīvēšanās padara materiālu blīvāku un, var radīt anaerobus apstākļus, kas var smacēt saknes un izraisīt puvi. Izmantojot vermikulītu kā vienīgo substrātu stādiem, ir svarīgi nodrošināt pareizu drenāžu, jo ūdens aizture var radīt anoksiskus apstākļus. Lai mazinātu vermikulīta sablīvēšanās efektu, to var sajaukt kopā ar perlītu. Šāda kombinācija nodrošinās līdzsvarotu vidi, kas nodrošina mitruma aizturi un aerāciju veselīgai stādu attīstībai.

13. attēls. Vermikulīts, ko izmanto stādu un augu pārstādīšanai hidroponisajās sistēmās.

ROCKWOOL minerālu akmens vate

Minerālu akmens vate (ROCKWOOL) ir mākslīgs substrāts, kas veidots no bazalta un pārstrādātiem slānekļiem, kuri tiek savērpti šķiedrās ļoti augstā temperatūrā. Šo substrātu plaši izmanto liela mēroga hidroponiskajās un akvaponiskajās sistēmās, kā arī būvniecības nozarē, pateicoties tā viendabīgajai struktūrai un fizikālajām īpašībām. Akmens vates spēja aizturēt ūdeni samazina vajadzību pēc apūdeņošanas stādīšanas stadijā, nodrošinot vienmērīgu augu attīstību. Tā kā šis substrāts tiek radīts tik augstā temperatūrā, tas ir sterils, kas ir priekšrocība, jo tajā nav mikrobioloģisko patogēnu un citu kaitēkļu, kas varētu kaitēt stādiem.

Akmens vate ir viegli izmantojams materiāls, tomēr, ņemot vērā substrātam piemītošo sārmainību, ir rūpīgi jāuzrauga pH līmenis, lai izvairītos no barības vielu bloķēšanas. Akmens vatē audzētu stādu pārstādīšana ir diezgan vienkārša - akmens vates spraudņus var ievietot tīklveida podos un ievietot tieši DWC vai NFT sistēmās, lai turpinātu augu attīstību. Akmens vate nav bioloģiski noārdāma, un pašlaik nav risinājumu tās otrreizējai pārstrādei - to nevar izmantot atkārtoti. Darbs ar akmens vati, jo īpaši lielos daudzumos, var izraisīt ādas kairinājumu, jo sīkas šķiedras var viegli atdalīties no akmens vates aizbāžņiem un plāksnēm, kad tās tiek pārvietotas. Ņemot vērā akmens vates substrātu priekšrocības, tos izmanto komerciāli liela mēroga hidroponiskajā ražošanā.

14. attēls. Akmens vates kubi, ko izmanto stādu sagatavošanai un pārstādīšanai hidroponiskajās sistēmās.

Kūdra

Kūdra ir substrāts, kas iegūts no kūdras purviem; tas ir dabisks resurss, kas sastopams Zemes ziemeļu puslodē, piemēram, Skandināvijā un Baltijā. Šim substrātam piemīt izcila ūdens aizture, kas to padara piemērotu stādu dīgšanai. Kūdra satur barības vielas un veidojas no sfagnu sūnām, nodrošinot augiem nepieciešamās barības vielas agrīnajos attīstības posmos. Kūdra ir skāba, tāpēc tā var pazemināt augšanas vides pH, ja tiek izmantota neapstrādāta kūdra, tā būtu jāneitralizē. Ir iespējams iegādāties arī jau neitralizētus kūdras produktus.

Augi, kuriem patīk nedaudz skābāka augsne, parasti tiek audzēti kūdrā. Lai arī šis substrāts ir populāra izvēle mazajiem audzētājiem, ir jāņem vērā vides faktori, jo kūdras ieguve ir process, kas negatīvi ietekmē kūdras purvu ekosistēmas. Tas ir bioloģiski noārdāms materiāls, un to nevar izmantot atkārtoti. Akvaponikas sistēmā neliela daļa kūdras var aizsprostot sūkņus un citas iekārtas, tāpēc, izmantojot šo substrātu, jāizveido īpaši filtri.

15. attēls. Birstošas kūdras sūnas, kūdras sūnu sējmašīnas un aizbāžņi stādu audzēšanai.

5.2. Podiņu veidi stādu pavairošanai un augu augšanai akvaponikā

Podiņu izvēlei stādu pavairošanai akvaponikā ir īpaša nozīme pārstādīšanas vieglumā un augu veselībā kopumā. Parasti izmanto trīs galvenos podiņu veidus: tīklveida podiņus, bioloģiski noārdāmos podiņus un plastmasas paplātes, katram no tiem ir atšķirīgas priekšrocības un problēmas.

Tīklveida podi

Tīklveida podi ir mazi plastmasas podi ar caurumiem to sieniņās, kas ļauj ūdenim un barības vielām brīvi plūst ap auga saknēm. Šiem podiem ir atvērta struktūra, kas nodrošina brīvu aerāciju, samazinot sakņu slimību risku un veicinot veselīgu sakņu augšanu un attīstību. Tīklveida podi ir lietojami atkārtoti, tos var arī dezinficēt starp augšanas cikliem, nodrošinot ilgtermiņa ekonomiskus ieguvumus. Galvenā šādu podiņu priekšrocība ir tā, ka tos ir ļoti viegli izmantot, jo stādus, kas ir sagatavoti kūdras vai kokosriekstu aizbāžņos vai akmens vates blokos, var vienkārši ievietot tīkla podiņā un pārvietot uz augšanas sistēmu. Saknes diezgan viegli izaug cauri caurumiem, kuri ir podiņa malās. Pārstādīšanas process nerada augu sakņu bojājumus, un podiņa atvērtā struktūra nodrošina ātru sakņu sistēmas attīstību pēc ievietošanas audzēšanas sistēmā, izmantojot barības vielu plēves metodi vai dziļūdens kultūru. Tīklveida podi var būt nedaudz dārgāki nekā bioloģiski noārdāmie podi vai plastmasas paplātes, tomēr jāņem vērā tas, ka tos var izmantot atkārtoti. Tīklveida podi ir īpaši piemēroti akvaponiskām sistēmām, kurās ir nepārtraukta ūdens plūsma, piemēram, barības vielu plēves metodei vai dziļūdens kultūru sistēmām, kur ir būtiska augsta sakņu aerācija.

16. attēls. Tīklveida podus izmanto akvaponikā un hidroponikā dziļūdens kultūrās un barības vielu plēves kanālos.

Bioloģiski noārdāmie podi

Bioloģiski noārdāmie podi ir izgatavoti no biomateriāliem, piemēram, kūdras, kokosšķiedras un papīra, un tie ir ekoloģiski ilgtspējīgs risinājums stādu pavairošanai. Šie podiņi laika gaitā dabiski sadalās, tādējādi samazinot atkritumu daudzumu un novēršot vajadzību izņemt augu, kad tas jāpārstāda citā audzēšanas vietā. Ideālā gadījumā bioloģiski noārdāmie podi ir pietiekami izturīgi, lai izturētu mērcēšanu ūdenī, saglabājot savu struktūru, tajā pašā laikā poda sieniņām jābūt pietiekami trauslām, lai augu saknes varētu tām viegli tikt cauri. Svarīgākā bioloģiski noārdāmo podiņu priekšrocība ir to ilgtspēja, taču pārmērīga mitruma un pastiprinātas mikroorganismu aktivitātes apstākļos šie podiņi var sadalīties pārāk ātri. Bioloģiski noārdāmie podi parasti satur lielu ūdens daudzumu, un, ja nav nodrošināta pietiekama drenāža, tajos var attīstīties pelējums un tie sākt pūt. Šie podiņi ir ideāli piemēroti stādiem, kurus paredzēts pārstādīt tieši uz dobēm vai augsnē, īpaši sistēmās, kuru prioritāte ir samazināta ietekme uz vidi. Tā kā šie podiņi viegli sadalās, tos nav ieteicams izmantot DWC vai NFT sistēmās.

17. attēls. Bioloģiski noārdāmie kūdras podiņi.

Plastmasas paplātes stādiem

Plastmasas stādu kastes ir sadalītas nodalījumos stādu audzēšanai. Kā norāda nosaukums, tās parasti tiek ražotas no plastmasas un tās var tikt atkārtoti izmantotas vairākiem augšanas cikliem. Kad kvalitāte ir pasliktinājusies, paplātes var pārstrādāt, dažkārt stādu paplātes arī ir izgatavotas no pārstrādātas plastmasas. Šīs paplātes ir izturīgas pret nodilumu, tāpēc tās izmanto liela apjoma stādu audzēšanā, kur nepieciešama efektivitāte un vienādi augšanas apstākļi. Apvienojot substrātus, piemēram, kokosšķiedras aizbāžņus vai akmens vates blokus ar plastmasas paplātēm, ir iespējams izveidot efektīvāku stādu audzēšanas procesu. Šādā sistēmā vienlaikus var pavairot lielu skaitu stādu. Viena no galvenajām plastmasas paplākšņu priekšrocībām ir to vieglā lietošana un iespēja efektīvi tās organizēt un pārvietot. Ierobežojošais faktors šīm paplātēm ir pieejamā vieta katrā nodalījumā, kas paredzēta sakņu attīstībai. Ja stādi netiek pārstādīti īstajā laikā un pāraug, ir iespējams, ka saknes savīsies.

18. attēls. Sēklu diedzēšanai un stādu sagatavošanai izmantotās plastmasas paplātes.

Piemērotu substrātu un podiņu veidu izvēle stādu pavairošanai akvaponikā ir lēmums, ko ietekmē daudzi faktori, piemēram, augu veids, sistēmas konstrukcija un vides ilgtspējība. Tādi substrāti kā kokosšķiedra un vermikulīts ir ieteicami, jo tie spēj aizturēt ūdeni, tomēr perlīts un akmens vate nodrošina labu sakņu aerāciju. Podiņu izvēle, piemēram, tīkla podi, bioloģiski noārdāmie podi vai plastmasas paliktņi, ietekmē pārstādīšanas vieglumu un augu vispārējo veselību ilgtermiņā.

Lai sasniegtu vislabākos rezultātus stādu pavairošanā, ieteicams izmantot tādu substrātu kombināciju, kas efektīvi saglabā mitrumu, vienlaikus nodrošinot atbilstošu aerāciju. Šāda pieeja ļauj pielāgot audzēšanas apstākļus atbilstoši augu sugas specifiskajām prasībām. Piemēram, kokosšķiedras un perlīta apvienošana veido substrātu, kas veicina gan ūdens aizturi, gan sakņu skābekļa piesātināšanu. Tāpat arī podiņa izvēlei ir jāatbilst audzēšanas sistēmai un vides faktoriem, piemēram, izvēloties bioloģiski noārdāmus podiņus sistēmās, kurās prioritāte ir ilgtspējība.

6. Akvaponikas sistēmu veidi

6.1. Augšana substrātā

Augšana substrātā ir galvenais izmantotais sistēmas veids akvaponikā, kas nodrošina augu saknēm stabilu vidi, un darbojas kā biofiltrācijas elements, šīs gultnes ir svarīgas augu augšanai un visas sistēmas veselīgai attīstībai. Tās var aizpildīt ar dažādiem substrātiem, piemēram, keramzītu, granti, vulkānisko iezi un vai kokosriekstu šķiedrām, un substrāta izvēle ir svarīga, jo tā būtiski ietekmē ūdens kvalitāti, augu veselību un sistēmas veselību. Ūdens no zivju tvertnes tiek sūknēts uz substrāta gultni, kur tas plūst cauri substrātam, un tad tas tiek atgriezts zivju tvertnē vai karterī. Ir iespējams izveidot arī sistēmu ar apūdeņošanas metodi ("ebb-and-flow"), kurā augu saknes periodiski tiek gremdētas ūdenī. Substrāta izvēli veic ņemot vērā tā fizikālās īpašības, ietekmi uz ūdens kvalitāti, lietošanas ērtumu, izmaksas un kopējo efektivitāti sistēmā.

19. attēls. Ar keramzīta, lavas iežu, grants un perlīta un augsnes maisījumiem aizpildītas barotnes gultnes.

Keramzīts (vieglais keramzītmateriāls - LECA)

Keramzīts ir visbiežāk izmantotais substrāts augšanai substrātā. Tas ir izgatavots no māla, kas tiek karsēts augstā temperatūrā, kā rezultātā tas izplešas un veido porainu struktūru. Šis materiālam ir neitrāls pH līmenis, to ir viegli izmantot atkārtoti, un tas tiek plaši pielietots mazās un vidēja lieluma akvaponikas sistēmās.

Plusi	Mīnusi
Viegls - LECA ir viegli lietojams un pārvietojams sistēmā.	Izmaksas - dārgāks nekā citi substrāti.

Porains - poras nodrošina sakņu aerāciju un ūdens aizturi.	Putekļi - LECA satur daudz putekļu no ražošanas procesa, tāpēc pirms izmantošanas tas ir jāmazgā, lai izvairītos no sūkņu bojājumiem un piesārņojuma sistēmā.
Neitrāls pH - šis substrāts neietekmē pH pat pēc ilgstošas lietošanas.	Mazs virsmas laukums - lai gan substrāts ir porains, virsmas laukums ir neliels, salīdzinot ar citiem substrātiem, tādēļ baktērijām ir mazāk vietas, kur pieķerties.
Atkārtota izmantošana - mazgājot un dezinficējot (ar karstu ūdeni), šo materiālu var atkārtoti izmantot vairākos audzēšanas ciklos.	

20. attēls. Keramzīts, ko izmanto akvaponikas sistēmās.

Grants

Bieži izmantots un lēts substrāts augšanai substrātā ir grants, kas sastāv no sasmalcināta granīta, kvarca, bazalta vai citiem minerāliem. To izmanto lielākās sistēmās - āra iekārtās un siltumnīcās, kur izturība ir būtiska.

Plusi	Mīnusi
Izmaksas - lēts un viegli pieejams materiāls.	Svars - smags substrāts, var būt nepieciešamas stiprinātas substrāta gultnes.
Virsmas laukums - daži grants veidi ir ar lielu virsmas laukumu, kas veicina labvēlīgo baktēriju augšanu.	pH izmaiņas - daži grants veidi var mainīt pH, jo īpaši kaļķakmens grants, tāpēc ir nepieciešams pH monitorings.
Ilgmūžība - nesadalās pēc vairākiem augšanas cikliem un to var viegli izmantot atkārtoti.	Augu sakņu bojājumi - sasmalcinātiem akmeņiem var būt asas malas, kas var bojāt augu saknes.

21. attēls. Dažādi grants veidi, ko izmanto akvaponikas sistēmās.

Vulkāniskais iezis

Vulkāniskais iezis ir dabā sastopams substrāts, kas ir ļoti porains un vieglāks par granti. To izmanto vidēja un liela mēroga sistēmās.

Plusi	Mīnusi
Svars - vieglāks nekā grants, smagāks nekā LECA.	Augu sakņu bojājumi - asas malas, apstrāde var būt apgrūtināta.
Porainība - atbalsta biofiltrāciju.	Putekļi - pirms lietošanas ir nepieciešama rūpīga mazgāšana.
Izmaksas - lētāk nekā LECA, lielāka virsmas platība.	Kvalitāte - atkarībā no avota kvalitāte var atšķirties, nav vienota materiāla standarta.
Neitrāls - neietekmē sistēmas pH.	

22. attēls. Akvaponikas sistēmās izmantotie vulkāniskie ieži.

Kokosriekstu šķiedra

Kokosriekstu šķiedra (kokosšķiedra) ir šķiedrains materiāls, kas iegūts no kokosriekstu čaumalām un ko izmanto kā augsnes substrātu stādiem, kā arī dažāda veida dobēs. Visbiežāk to izmanto stādu audzēšanai, tomēr šo materiālu var izmantot arī akvaponikas sistēmās, kurās audzē zaļumus.

Plusi	Mīnusi
Atjaunojams - kokosriekstu rūpniecības blakusprodukts, videi draudzīgs.	Strukturālais atbalsts - nodrošina pietiekamu atbalsts stādiem un maziem augiem, bet nespēj nodrošināt atbalstu lielākiem augiem.
Ūdens saglabāšana - labi notur mitrumu.	Noārdīšanās - tā kā šis ir bioloģiskas izcelsmes materiāls, tas ir bioloģiski noārdāms. Noārdīšanās produkti var aizsērēt sistēmas daļas.
Neitrāls - neietekmē sistēmas pH.	Sāls saturs - pirms lietošanas var būt nepieciešama mazgāšana, lai izvairītos no nevajadzīgas minerālvielu pievienošanas sistēmai.
Svars - viegls materiāls un ir viegli lietojams.	

Perlīts un vermikulīts

Perlīts ir vulkānisks minerāls (stikls), kas karsējot izplešas, savukārt vermikulīts ir magnija, alumīnija un dzelzs silikāta minerāls, kas arī karsējot izplešas. Tas ir viegls substrāts, ko izmanto nelielās sistēmās sēklu dīgšanai, to neizmanto lielās barotnēs, jo tas var viegli tikt pārnēsāts pa visu sistēmu, jo satur smalkas putekļu daļiņas.

Plusi	Mīnusi
Viegls - ļoti viegls materiāls un ir viegli lietojams.	Erozija - materiāls var sadalīties mazākos gabaliņos un tikt pārnēsāts pa visu sistēmu.

Aerācija - nodrošina labu augu sakņu aerāciju.	Sablīvēšanās - ilgstoši lietojot, materiāls paliek blīvs, mazinot aerāciju, tāpēc nevar tikt atkārtoti izmantots.
Inerts - neietekmē ūdens pH vai barības vielu saturu.	Izmaksas - lai gan materiāls ir neitrāls un viegls, tas ir dārgāks, īpaši, ja nepieciešams liels daudzums.

Zinātniskajā literatūrā tiek minēti arī citi šādu veidu sistēmu substrāti, tomēr daži no tiem nav piemēroti lietošanai sistēmās. Piemēram, polonīts, ko izmanto ūdens attīrīšanā, īpaši fosfora atdalīšanā, ir sārmains materiāls, kas var paaugstināt sistēmas pH līdz 9, kas nav piemērots ne zivīm, ne augiem. Arī smiltis ir izvirzīts kā iespējams substrāts, tomēr smilšu sablīvēšanās mazina aerāciju augu saknēm, kā arī ierobežo ūdens plūsmu.

6.2. Dziļūdens kultūras

Dziļūdens kultūra (DWC) ir audzēšanas sistēma, kurā augus audzē uz peldoša plosta, kas izgatavots no putuplasta vai cita peldoša materiāla lielā ūdens tvertnē. Šādā sistēmā augu sakņu sistēma ir iegremdēta ūdenī, kas ir bagāts ar skābekli un barības vielām. Ūdens cirkulē no viena ūdens tvertnes gala uz otru, nodrošinot biežu ūdens apmaiņu tvertnē. Ūdens no zivju tvertnēm tiek sūknēts vai gravitācijas ceļā novadīts uz DWC gultni un pēc tam recirkulēts atpakaļ uz zivju tvertni. Ūdens aerāciju zem DWC plostiem nodrošina, izmantojot difuzorus vai gaisa akmeņus. Augus pirms ievietošanas DWC sistēmā audzē substrātā, ievieto podā un pēc tam ievieto peldošā DWC plosta caurumos.

Šajā sistēmā augu saknes ir pilnībā iegremdētas ūdenī, tāpēc ir svarīgi uzturēt pastāvīgu aerāciju, lai novērstu anoksiskus apstākļus. Parasti gaisa akmeņi vai difuzori ir izvietoti visā DWC baseinā, jo skābekļa trūkums var izraisīt sakņu puvi vai citas ar skābekļa trūkumu saistītas problēmas. Pastiprinātā aerācija ir labvēlīga ne tikai augiem, bet arī nodrošina, ka ūdens ir piesātināts ar skābekli, kas ir labvēlīgi zivīm. Lielais ūdens daudzums šajā sistēmā ir priekšrocība, jo tas var darboties kā buferis, kad notiek barības vielu līmeņa svārstības. Tā kā saknes ir iegremdētas ūdenī, tas nodrošina augam pastāvīgu barības vielu plūsmu. Šādās sistēmās visbiežāk tiek audzēti dažādi salāti, tomēr, pateicoties nepārtrauktai barības vielu plūsmai, var audzēt arī tomātus, gurķus un papriku.

No sarežģītības viedokļa DWC sistēmas ir salīdzinoši vienkāršas, tomēr to ekspluatācija var būt sarežģītāka, jo palielinās nepieciešamība pēc aerācijas. Tā kā saknes pastāvīgi atrodas ūdenī, sistēma ir izturīgāka pret elektroenerģijas padeves pārtraukumiem, un lielais ūdens daudzums var nodrošināt augu augšanu uz noteiktu laiku. Par trūkumu var uzskatīt sākotnēji nepieciešamo ūdens daudzumu, lai uzsāktu sistēmas darbību, kā arī lielo virsmas laukumu, kurā notiek iztvaikošana. Tā kā šādai sistēmai nepieciešama plaša aerācija, DWC ir energoietilpīgāka nekā, piemēram, barības vielu plēves metode, tomēr, ja sistēma tiek uzturēta un sabalansēta, tā var nodrošināt lielākas ražas un dod iespēju audzēt lielāku augu šķirņu.

DWC sistēma piedāvā elastīgu un izturīgu vidi, kas piemērota dažāda veida augiem, tostarp lielākiem augi un augiem, kas ražo augļus. Aerācijai nepieciešami papildu ūdens un enerģijas resursi, taču tā nodrošina stabilitāti un noturību, tāpēc tā ir ideāla izvēle audzētājiem, kas vēlas iegūt plašu kultūraugu klāstu, vai tiem, kas strādā ar lielākam sistēmām.

23. attēls. Akvaponikas dziļūdens kultūras kanāli.

6.3. Barības vielu plēves metode

Barības vielu plēves metode (angļu valodā *nutrient film technology* - NFT) ir audzēšanas sistēma, kurā augus tiek audzēti garos, šauros kanālos, parasti caurulēs, caur kurām plūst barības vielām bagāts ūdens, kas nepārtraukti plūst pāri augu saknēm. Šajā sistēmā augu saknes ir tikai daļēji iegremdētas ūdenī, un lielākā daļa sakņu sistēmas ir pakļauta gaisam. Ūdens no zivju tvertnes (dažreiz arī no kartera) tiek iesūknēts NFT caurulītēs un pa izveidotajiem kanāliem ieplūst atpakaļ karterī, bet pēc tam tiek atgriezts zivju tvertnē. Visbiežāk šo metodi izmanto, veidojot vertikālas cauruļu kaudzes, kurās ūdens tiek sūknēts līdz augstākajam punktam, un pēc tam, ar gravitācijas palīdzību, tas plūst uz zemāk esošajām caurulēm un tālāk nonāk zivju tvertnē. Līdzīgi kā DWC sistēmā, augi tiek ievietoti tīklveida podos, kurus ievieto caurumos, kas izveidoti plūsmas kanāla augšdaļā. Augu saknes tur saskaras ar plūstošo, barības vielām bagāto ūdeni. NFT var uzstādīt vertikāli, un tā ir vieglāka nekā DWC sistēmas vai tradicionālās dobes konstrukcija.

NFT sistēmā augu saknes ir pakļautas gaisam, un tikai neliela daļa sakņu sistēmas ir iegremdēta ūdens slānī kanāla dibenā. Ūdenim ir jābūt piesātinātam ar skābekli, tomēr tas nav tik būtiski kā DWC sistēmās. Ir ieteicams pievienot papildu gaisa akmeņus vai difuzorus pie kartera vai ūdens kolektora pēc NFT kanāliem, lai nodrošinātu, ka ūdens tiek bagātināts ar skābekli pirms atgriešanās zivju tvertnē. Ūdens plūsma NFT ir daudz ātrāka nekā DWC, tāpēc barības vielu uzņemšanu augos ir efektīva, tomēr barības vielu uzņemšanu ierobežo tas, ka ūdenī ir iegremdēta tikai daļa sakņu, tāpēc visa sakņu sistēma nespēj uzņemt barības vielas. Salīdzinot ar DWC, NFT sistēmā augu augšanas ātrums var būt nedaudz zemāks. Augi ar mazāku un seklāku sakņu sistēmu, piemēram, zaļie lapu dārzeņi (salāti, spināti, garšaugi) būtu piemērotāki NFT sistēmai. Arī lielākus augus var audzēt šādā sistēmā, tomēr, ja NFT kanāli ir šauri, tad sakņu sistēma var ātri pāraugt un bloķēt plūsmu, kas samazinās barības vielu pieejamību augiem zemāk sistēmā.

NFT sistēmas ir salīdzinoši vienkāršas, viegli uzstādāmas un uzturamas, kā arī ir nepieciešams mazāks ūdens, sūkņu un aeratoru daudzums. Tomēr, ņemot vērā, ka ūdens plūsmas dziļums ir sekls un jebkurš traucējums sistēmā var izraisīt sakņu izžūšanu, ir jāuzstāda rezerves sūkņi un jānodrošina nepārtraukta elektroapgāde avārijas gadījumā. Ūdens patēriņa ziņā NFT sistēma ir efektīvāka nekā DWC, jo tai ir ātrāka ūdens

recirkulācija un mazāka ūdens iztvaikošana, jo ūdens virsmas laukums ir mazāks. Kā arī NFT ir energoefektīvāka, jo nepieciešams mazāks sūkņu skaits.

NFT sistēma ir īpaši piemērota mazu, strauji augošu augu, piemēram, zaļo lapu augu audzēšanai. Sistēma ir efektīva un vienkārša, taču ir nepieciešama uzraudzība, lai novērstu sakņu izžūšanu un barības vielu nelīdzsvarotību. Kā arī tā ir vispiemērotākā audzētājiem ar ierobežotu platību un individuāliem audzētājiem, kas vēlas audzēt konkrētas augu šķirnes.

24. attēls. Akvaponikas barības vielu plēves kanāli.

6.4. Pilienveida novadīšanas sistēmas

Pilienveida novadīšanas sistēmā augi tiek audzēti substrātā, visbiežāk akmens vatē. Maza diametra caurule ir savienota ar ūdens tvertni, un tai ir pievienota automātiska laistīšanas sistēma. Zondi ar ūdens izplūdes atveri, kas nāk no barotavas, ievieto akmens vate tuvu auga saknēm. Pilienveida apūdeņošana nav nepārtraukta un tā tiek aktivizēta tikai dažas reizes stundā. Pārpalikušais barības šķīdums pil caur substrātu un tiek savākts recirkulācijai. Salīdzinājumā ar NFT un DWC sistēmām, šajā sistēmā saknes nekad netiek iegremdētas ūdenī.

Pilienu sistēmas tiek izmantotas liela mēroga hidroponiskajās siltumnīcās, kurās komerciāli audzē dārzeņus. Ir pieejami komerciāli risinājumi sistēmām ar tūkstošiem augu. Neraugoties uz pierādīto pilienveida sistēmu efektivitāti hidroponiskās siltumnīcās, šo sistēmu ne vienmēr var labi apvienot ar akvaponikas sistēmu. Akvaponikas sistēmas plūsma ir daudz lielāka, nekā to var nodrošināt pilienu sistēma. Tomēr, plūsmu varētu nodrošināt, palielinot augu skaitu, tomēr tad barības vielu līdzsvars būtu nepietiekams augu skaitam. Tāpēc šādas sistēmas sabalansēšana ir izaicinājums. Tomēr, lai paplašinātu audzējamo augu dažādību, pilinveida novadīšanas sistēmu var izmantot kopā ar NFT vai DWC sistēmām. Šādā veidā var audzēt arī augus, kuriem nav nepieciešams liels daudzums ūdens, piemēram, augi, kuriem nepieciešama sausāka vide.

7. Augu veselība un slimības

7.1. Integrētā augu aizsardzība (IAA)

Integrētā kaitēkļu apkarošana jeb IAA ir ilgtspējīga un plaši izmantota pieeja kaitēkļu apkarošanai, kas sevī apvieno dažādas stratēģijas, lai samazinātu negatīvo ietekmi uz vidi, cilvēku veselību un akvaponikas sistēmu kopumā. IAA izmantošana akvaponikā ir būtiska, jo sistēma veido slēgtu ciklu, kurā piedalās augi, zivis un mikroorganismi, un ķīmisko augu aizsardzības līdzekļu izmantošana var izjaukt sistēmas līdzsvaru un tādējādi negatīvi ietekmējot visas sistēmas dzīvotspēju. Kopš 2014. gada Eiropas Parlaments ir mudinājis profesionālus augu audzētājus izmantot IAA, lai mazinātu pesticīdu lietošanu. IAA galvenais mērķis ir novērst kaitēkļu un to nodarītā kaitējuma ilgtermiņa ietekmi uz augiem, izmantojot dažādas pieejas, tostarp bioloģisko kontroli, ekosistēmas pārvaldību, lauksaimniecības prakses pielāgošanu un izturīgu augu šķirņu izmantošanu. Slēgtās sistēmās IAA ir īpaši svarīga prakse, jo kaitēkļi var strauji izplatīties, ja tie netiek kontrolēti. Akvaponika ir salīdzinoši izturīgāka nekā hidroponika, jo sistēmā ir lielāka mikrobu daudzveidība, kas ietekmē rizosfēru un uzlabo barības vielu uzņemšanu augos. Līdzsvara uzturēšana ir būtiska, jo tā palīdz nodrošināt veselīgu augu augšanu un uzlabot ražu.

IAA izmanto vairākus savstarpēji papildinošus risinājumus, kas var palielināt sistēmas produktivitāti un noturību, piemēram, fizikāli un mehāniski risinājumi (fiziski norobežo kultūraugus no iespējamas kaitēkļu ietekmes), uz biotehnoloģijām balstītas metodes (šķirnes, kas ir izturīgas pret visbiežāk sastopamajām slimībām), bioloģiskā kaitēkļu apkarošana (dabisko plēsēju izmantošana). Ja nepieciešams, kā pēdējais risinājums var tikt izmantoti ķīmiskie līdzekļi. Atšķirībā no bioloģiskās lauksaimniecības, kur ķīmiskai kontrolei var izmantot tikai dabiskus produktus (neorganiskos līdzekļus, ēteriskās eļļas, dabīgi iegūtas sastāvdaļas), IAA var izmantot arī sintētiskos pesticīdus, kas nav toksiski citām sistēmas daļām (zivīm, augiem, mikroorganismiem).

Visbiežāk dažādi augi cieš no mikrobiāliem kaitēkļiem, kas izraisa, piemēram, miltrasu. Šādas slimības tiek pārnestas sistēmā sliktas higiēnas vai inficētu augu vai sēklu dēļ. Kad notiek slimības uzliesmojums, to var būt grūti novērst neiznīcinot inficētos augus, tāpēc ir svarīgi izvēlēties izturīgas augu šķirnes un sertificētus stādus/sēklas no uzticamiem tirgotājiem. Kukaiņu kaitēkļi ir problemātiski, jo tie rada tiešu kaitējumu augiem un var būt dažādu augu slimību - gan vīrusu, gan mikrobioloģisko - pārnēsātāji. Akvaponikas un hidroponikas sistēmās kaitēkļu sastopamību veicina augšanas telpā esošā stingri kontrolētā vide - pastāvīga temperatūra un mitrums. No otras puses, šī pati vide ļauj izmantot labvēlīgos organismus, kas ir kaitīgo kukaiņu dabiskie plēsēji. Piemēram, kā dabiskos plēsējus pret laputīm var izmantot lapsenes kāpurus, mušu parazitoīdus var izmantot pret laputīm, pret laputīm var izmantot arī vairākas entomopatogēnās nematodes, baktēriju un sēņu sugas ir noderīgas kaitēkļu uzliesmojumu apkarošanai.

Ja akvaponikā ir liels zivju un augu blīvums, slimības var izplatīties ļoti ātri. Ja slimība vai kaitēkļu izplatīšanās nav savlaicīgi novērsta, visa sistēma (zivis, augi un mikroorganismi) var būt jāiznīcina vai ķīmiski jāapstrādā. Šādos gadījumos tiek izjaukts sistēmas līdzsvars, un var aizņemt daudz laika, lai to atjaunotu. Tāpēc IPM ir jāizmanto proaktīvi, lai novērstu traucējumus un saglabātu sistēmas stabilitāti.

IPM profilakses metodes sevī ietver:

→ Fiziskie šķēršļi un slazdi
- Tīkli, lai novērstu kukaiņu pārvietošanos siltumnīcā/telpā, kurā ir uzstādīta akvaponikas sistēma;
- Lipīgi mušu slazdi;
- Dažādu sistēmas daļu nodalīšana.

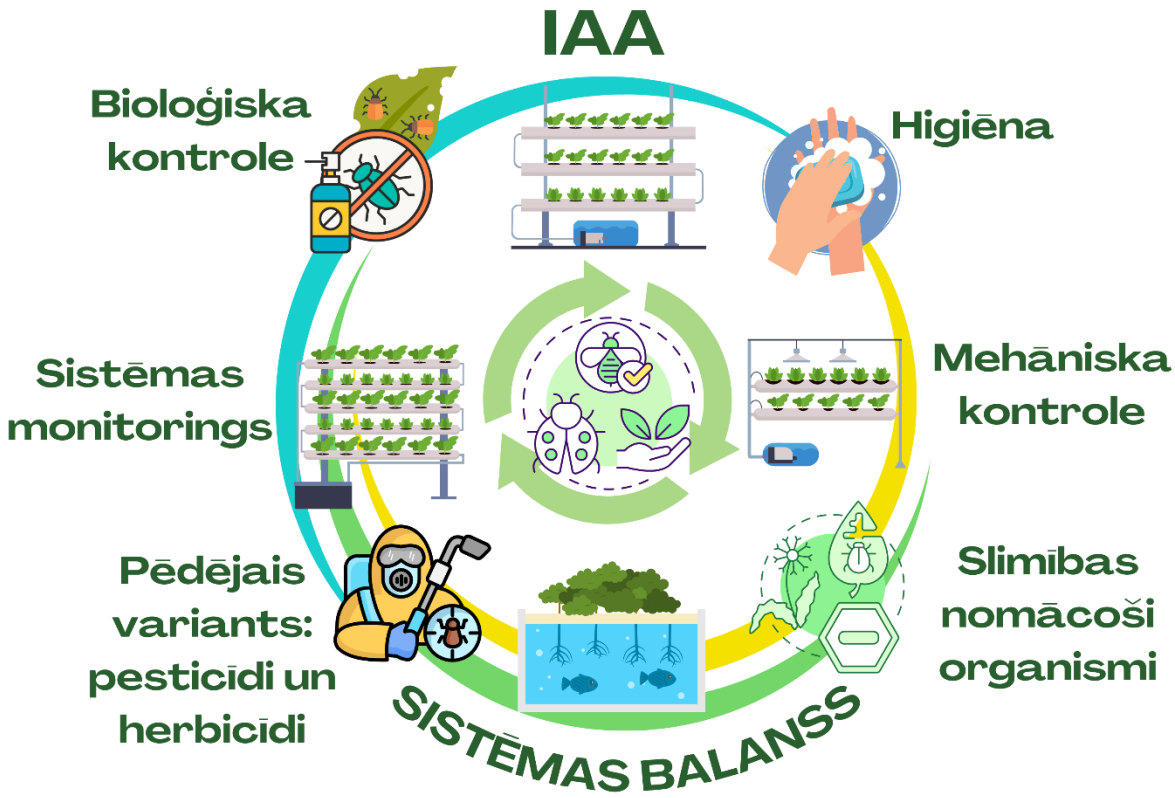
→ Ūdens attīrīšana
- Ja nepieciešams, izmantojot UV, ozonēšanu;
- Ūdens termiskā apstrāde;
- Lai veicinātu augu un mikroorganismu augšanu, sistēmu var apgādāt ar mēslošanas līdzekļiem.

→ Higiēna
- Iekārtu sanitārija;
- Darbinieku personīgā higiēna;
- Darbinieku apģērbs;
- Apmeklētāju higiēnas noteikumi, aizsargapģērbs;
- Dezinfekcija starp augsekām;
- Darbarīku dezinfekcija.

→ Vides apstākļi
- Audzēšanai pielāgots mitrums;
- Audzēšanai pielāgota temperatūra;
- Ventilācija.

→ Lauksaimniecības prakse
- Sistēmas līdzsvars, lai nodrošinātu optimālu augu barošanu;
- Attālums starp augiem;
- Tolerants un sertificēts sēklas materiāls vai stādi;
- Atsevišķas telpas dīgšanai un audzēšanai;
- Regulāra augu uzraudzība;
- Augu potēšana.

→ Slimību un kaitēkļu apkarošana
- Sistēmas līdzsvars, lai palīdzētu labvēlīgajām baktērijām;
- Kukaiņi, kas ir dabiskie kaitēkļu plēsēji;
- Palīgaugu stādīšana;
- Dabīgo pesticīdu izmantošana, ja nepieciešams.



25. attēls. Svarīgākie faktori integrētās augu aizsardzības (IAA) īstenošanai.

Ķīmisko līdzekļu izmantošana var būt pamatota, tomēr ir jāievēro stingri noteikumi. Priekšroka jādod dabiskajiem insekticīdiem, ja tas ir iespējams, jo tie ir iegūti no dabīgiem avotiem. Daži mikroorganismu ekstrakti ir nekaitīgi zivīm un var tikt izmantoti akvaponikā. Viens no tiem ir toksīns, kas iegūts no *Bacillus thuringiensis,* un tas ir efektīvs pret kāpuriem un cikādēm. Vēl viens piemērs ir *Beauveria bassiana* - sēnīte, kas iemājojas kukainī un ir iedarbīga pret dažādiem kaitēkļiem, tostarp termītiem, tripšiem, laputīm un vabolēm. Tomēr daudzi ķīmiskie augu aizsardzības līdzekļi, kā arī daži bioloģiskajā lauksaimniecībā atļautie līdzekļi ir toksiski un kaitīgi ūdens organismiem. Tos ieteicams lietot tikai jauniem augiem pirms to pārstādīšanas akvaponiskajā sistēmā. Ja ķīmiskā kontrole ir pēdējais iespējamais risinājums, rūpīgi jāizvērtē produkta toksiskums zivīm. Akvaponika ir sarežģīta ekosistēma, kurā ietilpst dažādas baktērijas, sēnītes un augstākas sugas, un šiem organismiem ir liels potenciāls uzturēt dabisko līdzsvaru un izturību pret izmaiņām vidē. Lai šo līdzsvaru uzturētu, jāveic atbilstošus profilaktiskus pasākumus, kā minēts iepriekš. Tāpēc ir nepieciešams samazināt tiešās kaitēkļu apkarošanas līdz minimumam.

7.2. Kaitēkļi un slimības

Augu kaitēkļi akvaponikā

Laputis (*Aphidoidea*)

Laputis ir mazi kukaiņi, kas bieži sastopami akvaponikas sistēmās, kur tie barojas ar augu sulām. Tās strauji vairojas un veido plašas kolonijas, kas apdraud augus, izsmeļot tiem svarīgās barības vielas. Laputis parasti atrodas zem lapām un dzinumu galotnēs. Šie kukaiņi var pārnest augu vīrusus, un kavēt augu augšanu. Efektīvi kontroles pasākumi sevī ietver kukaiņu, piemēram, plēsīgo ērču, izmantošanu, kā arī organisko insekticīdu ziepju lietošanu, kas ir drošas ūdensdzīvniekiem akvaponikas sistēmā.

26. attēls. Laputis uz augu stublājiem un zem lapām.

Baltblusiņas (*Aleyrodidae*)

Baltblusiņas ir vēl viens izplatīts kaitēklis akvaponikas sistēmās, īpaši siltos un mitros apstākļos. Šie sīkie spārnotie kukaiņi barojas ar augu sulām un izdala medus rasu, kas veicina pelējuma izplatību. Baltblusiņu invāzijas var kavēt augu augšanu, izraisīt lapu dzeltēšanu un ražas samazināšanos. Turklāt tās var pārnēsāt augu slimības, izplatot kaitīgus patogēnus starp augiem. Lai ierobežotu baltblusiņu izplatību, tiek izmantotas lipīgās lamatas, bioloģiskās kontroles metodes, piemēram, parazītiskās lapsenes, kā arī tiek nodrošināta laba gaisa cirkulācija, lai mazinātu mitrumu.

27. attēls. Baltblusiņas uz auga lapām.

Tīklērces (*Tetranychidae* dzimta)

Tīklērces ir nelieli zirnekļveidīgie, kas var radīt nopietnus draudus akvaponikas sistēmām, īpaši sausā un paaugstinātas temperatūras vidē, kur parasti audzē augus, kam nepieciešama siltāka vide. Tās parasti aužtīklus lapu apakšpusē un, caurdurdamas augu audus, izsūc šūnu saturu, lai iegūtu barības vielas. Tīklērču bojājumi izpaužas kā plankumi un saplaisājumi uz lapām, kas vēlāk izraisa lapu dzeltēšanu un atdalīšanos no auga. Šo kaitēkļu ātrais vairošanās cikls rada to apkarošanu sarežģītu. Akvaponikas sistēmās tīklērču apkarošanai tiek izmantoti dabiskie plēsēji, piemēram, plēsīgās ērces (*Phytoseiulus persimilis*), kā arī uzturot optimālu mitruma līmeni var radīt mazāk labvēlīgus apstākļus to vairošanai.

28. attēls. Tīklērču kolonijas un to tīkli uz augu lapām.

Tripši (Thysanoptera)

Tripši ir nelieli, iegareni kukaiņi, kas barojas, caurdurdami augu šūnas un izsūkdami to saturu. Šie kukaiņi ir ļoti kustīgi un tie var ātri izplatīties visā akvaponikas sistēmā. Tripšu radītie bojājumi izpaužas kā sudrabainas svītras vai plankumi uz lapām, un, ja to skaits ievērojami pieaug, tie var kavēt augu augšanu un samazināt ražu. Papildus tiešajam kaitējumam tripši ir arī augu vīrusu pārnēsātāji. Lai ierobežotu tripšu izplatību akvaponikā, audzētāji bieži izmanto plēsīgus kukaiņus, piemēram, sīkas pirātmušas (*Orius spp*.), un atstarojošo mulču, lai tos atbaidītu.

29. attēls. Tripši auga iekšienē un uz lapas virsmas.

Trūdodiņi (*Sciaridae*)

Trūdodiņi ir mazas, tumšas krāsas mušas, kas parasti sastopamas akvaponikas sistēmās ar augstu mitruma līmenis. To kāpuri barojas ar organiskām vielas, tostarp augu saknēm, kas var kavēt augu augšanu un padarīt tos neaizsargātākus pret sakņu slimībām. Turklāt trūdodiņi var izplatīt augu patogēnus, piemēram, *Pythium*, kas izraisa sakņu puvi. Lai ierobežotu trūdodiņu izplatību, ir svarīgi nodrošināt efektīvu ūdens novadi, samazināt organisko atlieku uzkrāšanos un izmantot bioloģiskās kontroles līdzekļus, piemēram, nematodes (*Steinernema feltiae*).

30. attēls. Trūdodiņi uz lipīgās lamatas virsmas un augu lapām.

Alotājmušas (*Agromyzidae*)

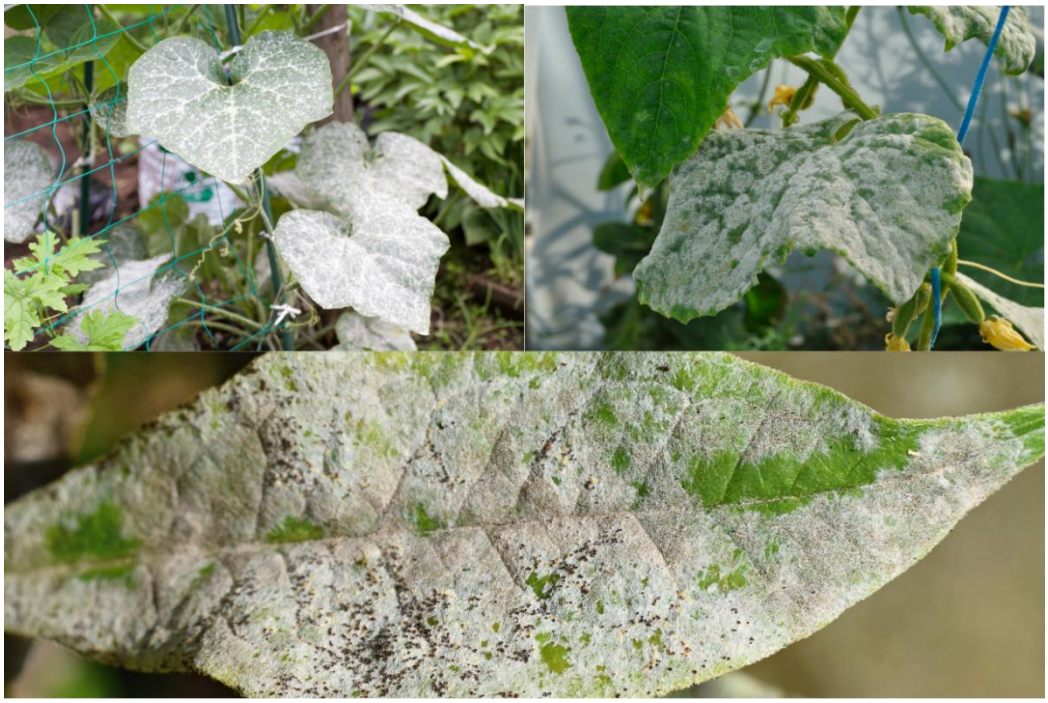
Alotājmušu kāpuri iekļūst augu lapās un pārtiek no audiem starp lapas slāņiem, kā rezultātā uz lapām veidojas raksturīgas viļņainas zīmes vai plankumi, kas var samazināt fotosintēzes efektivitāti un apdraudēt augu dzīvotspēju. Lai gan alotājmušu radītie bojājumi reti izraisa augu bojāeju, tie var pazeminināt ražas kvalitāti un samazināt kopējo ražu. Akvaponikas sistēmās šos kukaiņus parasti apkaro, izmantojot bioloģisko kontroli, piemēram, parazītiskās lapsenes (*Diglyphus isaea*) vai nīma eļļu, kas ir nekaitīgas zivīm un augiem.

31. attēls. Lapu bojājumi, ko lapām nodara alotājmušu kāpuri.

Augu slimības akvaponikā

Miltrasa (Erysiphales)

Miltrasa ir sēnīšu slimība, kas izpaužas kā balti pūderveida bojājumi uz augu lapotnes virsmas. Parasti ietekmē augus, kas audzēti mitros apstākļos ar nepietiekamu gaisa cirkulāciju. Lai gan miltrasa augiem nav uzreiz nāvējoša, tā var apdraudēt to dzīvotspēju, traucējot fotosintēzi, kā rezultātā samazinās augšana un raža. Lai novērstu miltrasu, ir svarīgi regulēt mitruma līmeni, nodrošināt pietiekamus attālumus starp augiem, lai nodrošinātu optimālu gaisa cirkulāciju, un pēc vajadzības lietot organiskos sēra fungicīdus. Akvaponikas sistēmas iespējams uzlabot arī ar labvēlīgu sēņu ieviešanu, kas konkurē ar miltrasu.



32. attēls. Ar miltrasu inficētas lapas.

Sakņu puve, ko izraisa *Pythium* suga.

Sakņu puve, ko bieži izraisa ar ūdeni pārnēsājami patogēni kā *Pythium*, ir viena no smagākajām akvaponiku slimībām. Tā rodas, kad augu saknes tiek pakļautas pārmērīgam mitrumam, kas izraisa puvi. Inficētās saknes kļūst brūnas un garozveidīgas, kā rezultātā augi nespēj attīstīties un novīst. Sakņu puve var strauji izplatīties visā akvaponikas sistēmā, vienlaikus ietekmējot vairākus augus. Profilaksei nepieciešams uzturēt optimālu ūdens kvalitāti, nodrošināt pareizu aerāciju sakņu zonā un neveikt pārmērīgu laistīšanu. Labvēlīgi mikroorganismi, piemēram, *Trichoderma*, var palīdzēt apkarot *Phytium* infekcijas akvaponikas sistēmās.

Pūkainā miltrasa (*Peronosporaceae* dzimta).

Pūkainā miltrasa ir sēnītēm līdzīga slimība, kas ietekmē akvaponiskos augus, jo īpaši zaļās lapas, piemēram, salātus un baziliku. Tā izplatās vēsā un mitrā vidē un izpaužas kā dzeltenīgi bojājumi uz lapu augšējās virsmas, kam apakšpusē ir izplūduši pelēki vai balti izaugumi. Pūkainā miltrasa var nodarīt ievērojamu kaitējumu kultūraugiem, kavējot augu augšanu un samazinot ražu. Lai mazinātu slimības izplatību, pūkainās miltrasas apkarošana ir saistīta ar gaisa cirkulācijas uzlabošanu, mitruma samazināšanu un inficēto augu iznīcināšanu. Slimības uzliesmojumu novēršanā var palīdzēt fungicīdi uz vara bāzes, kas tiek uzskatīti par drošiem akvaponikas sistēmām.

33. attēls. Pūkainās miltrasas invāzija uz augu lapām un augļiem.

Xanthomonas ģints izraisīta **bakteriāla lapu plankumainība**.

Xanthomonas ģints baktēriju izraisītā bakteriālā lapu plankunaimība ir slimība, kas skar dažādus augus, jo īpaši tos ar zaļo lapotni un garšaugus. Slimība izpaužas kā nelieli, ar ūdeni piesātināti bojājumi uz lapotnes, kas galu galā kļūst brūni vai melni. Šī infekcija var ātri izplatīties, īpaši augsta mitruma apstākļos, un būtiski ietekmēt augu veselību. Akvaponikā bakteriālo lapu plankumainību var mazināt, atturoties no augu smidzināšanas ar ūdeni, nodrošinot pietiekamus attālumus starp augiem, lai veicinātu gaisa cirkulāciju, un izmantojot baktericīdus uz vara bāzes. Lai novērstu baktēriju izplatīšanos, ļoti svarīga ir regulāra sistēmas tīrīšana, lai likvidētu augu atliekas.

34. attēls. Bakteriālās lapu plankumainības bojājumi uz augu lapām.

Lai samazinātu slimību un kaitēkļu risku akvaponikā, ir svarīgi uzturēt ekosistēmu līdzsvarā un nodrošināt tās veselīgu attīstību. Sistēmas izveidei ir jābūt pārdomātai, iekļaujot atbilstošu ventilāciju, mitruma kontroli un pietiekamu attālumu starp augiem, lai novērstu sēnīšu un gaisā pārnēsājamu infekciju izplatīšanos. Ja tiek kontrolēti tādi ūdens kvalitātes faktori kā pH, amonjaks, nitrīti un izšķīdušais skābeklis, tas palīdz izvairīties no stresa gan augiem, gan zivīm, kas savukārt samazina šo organismu uzņēmību pret dažādām infekcijām. Integrētās kaitēkļu apkarošanas (IAA) stratēģijas piedāvā ilgtspējīgus risinājumus, kas neapdraud akvaponikas ekosistēmu. Izmantojot dabiskos ienaidniekus, piemēram, mārītes vai plēsīgās ērces, var efektīvi samazināt kaitēkļu daudzumu. Tāpat organiskie līdzekļi, piemēram, nīma eļļa, var tik izmantoti, lai novērstu kaitēkļus. Lai novērstu slimību uzliesmojumus, ir svarīgi veikt regulāras zivju un augu pārbaudes, kā arī pēc iespējas ātrāk no sistēmas izņemt slimos augus vai zivis. Pastāv vairāki risinājumi cīņai ar minētajiem kaitēkļiem un slimībām, tomēr rūpīgi jāizvērtē, vai to izmantošana patiešām ir nepieciešama un vai sintētiskie pesticīdi ir sertificēti izmantošanai akvaponikas sistēmā. Tāpat ir svarīgi rūpēties par sistēmas tīrību, kontrolēt atkritumu uzkrāšanos un ievērot karantīnas pasākumus jaunajiem augiem un zivīm. Šie pasākumi palīdz novērst slimību uzliesmojumus un nodrošina veselīgu akvaponikas vidi ilgtermiņā.

Patogēni, kas ietekmē zivis

Akvaponikā augus apdraud dažādi kaitēkļi un slimības, taču arī sistēmā esošos ūdens organismus apdraud patogēni. Akvaponikā zivju saslimšanas ietver sēnīšu infekcijas, parazītu invāzijas (piemēram, Ich) un bakteriālas slimības, piemēram, Columnaris slimību. Lai mazinātu zivju stresu un saglabātu to imūnsistēmas funkcijas, kā arī samazinātu to neaizsargātību pret slimībām, ir būtiski nodrošināt optimālu ūdens kvalitāti. Standarta profilakses pasākumi sevī ietver jauniegūto zivju izolēšanu, optimālas ūdens temperatūras uzturēšanu un amonjaka un nitrītu koncentrācijas samazināšanu līdz minimumam. Regulāra zivju uzvedības un fiziskās veselības novērošana palīdz agrīni atklāt slimības simptomus. Plašāka informācija par zivju patogēniem atrodama TransFarm ziņojumā "Zivis akvaponikā - izvēle, prasības un ierobežojumi".

Atsauces

Baganz, G. F., Junge, R., Portella, M. C., Goddek, S., Keesman, K. J., Baganz, D., ... & Kloas, W. (2022). The aquaponic principle—It is all about coupling. Reviews in Aquaculture, 14(1), 252-264.

Bernstein S. (2011). Aquaponic Gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together. New Society Publishers, Canada.

Bittsánszky, A., Gyulai, G., Junge, R., Schmautz, Z. & Komives, T. (2015). Plant protection in ecocycle-based agricultural systems: Aquaponics as an example. In Proceedings of the International Plant Protection Congress (IPPC), Berlin, Germany Vol. 2427.

Bracino, A. A., Concepcion, R. S., Dadios, E. P., & Vicerra, R. R. P. (2020, December). Biofiltration for recirculating aquaponic systems: a review. In 2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM) (pp. 1-6). IEEE.

Colt, J., Schuur, A. M., Weaver, D., & Semmens, K. (2022). Engineering design of aquaponics systems. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, 30(1), 33-80.

Filep, R. M., Diaconescu, S., Marin, M., Bădulescu, L., & Nicolae, C. G. (2016). Case study on water quality control in an aquaponic system. Current Trends in Natural Sciences Vol, 5(9), 06-09.

Folorunso, E. A., Roy, K., Gebauer, R., Bohatá, A., & Mraz, J. (2021). Integrated pest and disease management in aquaponics: A metadata-based review. Reviews in Aquaculture, 13(2), 971-995.

Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. Sustainability, 7(4), 4199-4224.

Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Dos-Santos, M. (2019). Aquaponics and global food challenges. Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future, 3-17.

Gosh, K., & Chowdhury, S. (2019). Review of aquaponics system: searching for a technically feasible and economically profitable aquaponics system. Journal of Agricultural, Environmental and Consumer Sciences, 19, 5-13.

Joyce, A., Timmons, M., Goddek, S., & Pentz, T. (2019). Bacterial relationships in aquaponics: new research directions. Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future, 145-161.

Junge, R., Antenen, N. (2020). Aquaponics textbook. AquaTeach.

Kasozi, N., Abraham, B., Kaiser, H., & Wilhelmi, B. (2021). The complex microbiome in aquaponics: significance of the bacterial ecosystem. Annals of Microbiology, 71(1), 1-13.

Kasozi, N., Tandlich, R., Fick, M., Kaiser, H., & Wilhelmi, B. (2019). Iron supplementation and management in aquaponic systems: A review. Aquaculture Reports, 15, 100221.

Krastanova, M., Sirakov, I., Ivanova-Kirilova, S., Yarkov, D., & Orozova, P. (2022). Aquaponic systems: Biological and technological parameters. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 36(1), 305-316.

Kushwaha, J., Priyadarsini, M., Rani, J., Pandey, K. P., & Dhoble, A. S. (2023). Aquaponic trends, configurations, operational parameters, and microbial dynamics: A concise review. Environment, Development and Sustainability, 1-34.

Lennard, W., & Goddek, S. (2019). Aquaponics: the basics. Aquaponics food production systems, 113.

Licamele, J. (2009). Biomass production and nutrient dynamics in an aquaponics system (Doctoral dissertation, The University of Arizona).

Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmautz, Z., Sambo, P., & Borin, M. (2018). Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. Italian Journal of Agronomy, 13(1), 1-11.

Nichols, M. A., & Savidov, N. A. (2011, May). Aquaponics: a nutrient and water efficient production system. In II International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics 947 (pp. 129-132).

Okomoda, V. T., Oladimeji, S. A., Solomon, S. G., Olufeagba, S. O., Ogah, S. I., & Ikhwanuddin, M. (2023). Aquaponics production system: A review of historical perspective, opportunities, and challenges of its adoption. Food science & nutrition, 11(3), 1157-1165.

Resh, H.M. (2013). Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower (7th edition). CRC Press, Boca Raton.

Sallenave, R. (2016). Important water quality parameters in aquaponics systems. College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences.

Schmautz, Z., Graber, A., Jaenicke, S., Goesmann, A., Junge, R. & Smits, T.H. (2017). Microbial diversity in different compartments of an aquaponics system. Archives of Microbiology 199 (4): 613-620.

Shumet, A. (2021). Aquaponics: A Sustainable Solution for Health, Economy, and Society-A Comprehensive Review. Aquaponics, 1(2).

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and aquaculture technical paper, (589), I.

Stouvenakers, G., Dapprich, P., Massart, S., & Jijakli, M. H. (2019). Plant pathogens and control strategies in aquaponics. Aquaponics food production systems, 353-378.

Tezel M. (2009). Aquaponics common sense guide. Unknown publisher, United States of America.

The European Parliament and the Council of the European Union 2009. Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides. Official Journal of the European Union L 309/71.

Tyson, R. V., Simonne, E. H., White, J. M., & Lamb, E. M. (2004, December). Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: the pH levels. In Proceedings of the Florida State Horticultural Society (Vol. 117, pp. 79-83).

Veludo, M., Hughes, A., & Le Blan, B. (2012). Introduction to Aquaponics: A Key to Sustainable Food Production. Survey of Aquaponics in Europe. Water.

Villarroel, M., Mariscal-Lagarda, M. M., & Franco, G. (2021). 1. an introduction to aquaponics. Biology and Aquaculture of Tilapia.

Wirza, R., & Nazir, S. (2021). Urban aquaponics farming and cities-a systematic literature review. Reviews on environmental health, 36(1), 47-61.

Yavuzcan Yildiz, H., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D., & Parisi, G. (2017). Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces—a review. Water, 9(1), 13.

Yep, B., & Zheng, Y. (2019). Aquaponic trends and challenges–A review. Journal of Cleaner Production, 228, 1586-1599.