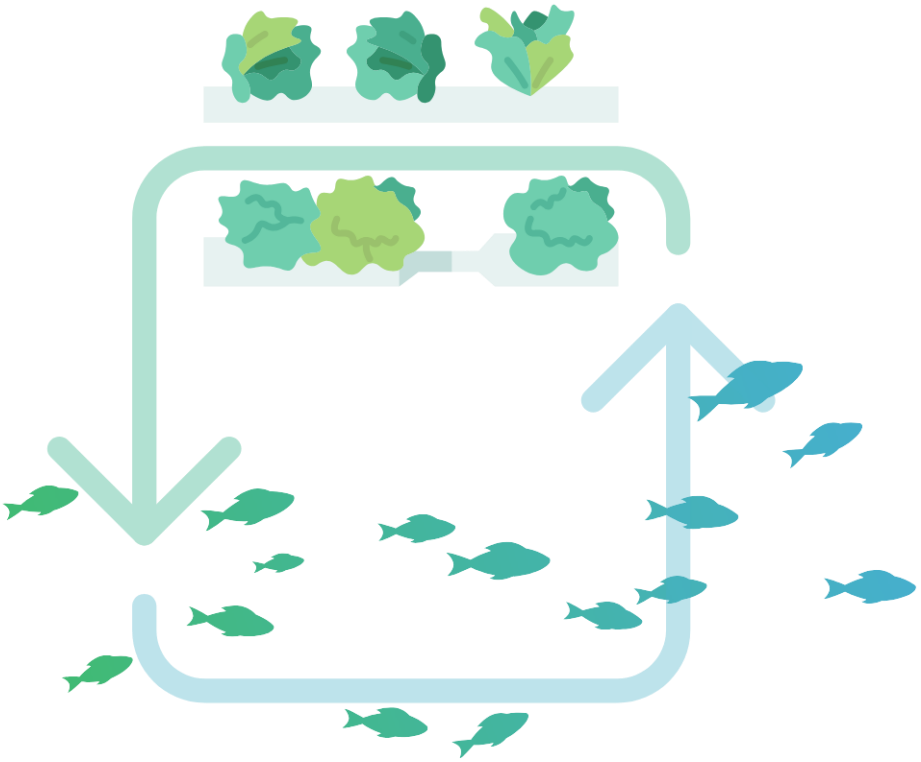
Interreg

Co-funded by the European Union

Central Baltic Programme

TransFarm

KASVIT AKVAPONISESSA SYSTEEMISSÄ – VALINTA, VAATIMUKSET JA RAJOITUKSET



D.3.3.1. – Training materials on plants in akvaponinen viljely

Abstrakti (UL)

Akvaponinen systeemi on järjestelmä, jossa yhdistyy kalanviljelyn ja kasvien hydroponisen vesiviljelyn periaatteet. Rehulla ruokitut kalat vapauttavat veteen ulostetta ja mikro-organismien metabolisen toiminnan kautta tämä ulostejäte muuttuu typen muotoon, joka on helposti kasvien käytettävissä. Pääelementti, joka yhdistää kaikki kolme elävää organismia akvaponisessa järjestelmässä, on vesi. Vesi on kalojen ja mikro-organismien elinympäristö sekä kasvien ravintoympäristö, joihin veden laatu vaikuttaa. Vaikka kalanviljelyn ja kasvien hydroponisen vesiviljelyn eri tekniikoilla on erityiset ravinto- ja kasvuolosuhteet, jotka sopivat tietylle kala- tai kasvilajille, akvaponisessa viljelyssä on tehtävä kompromisseja, jotka sopivat niin kaloille, kasveille ja mikro-organismeille. Näiden kolmen organismiryhmän välinen monimutkainen suhde esiintyy rinnakkain tiiviissä symbioosissa tarjotakseen toisilleen tarvittavat ravintoaineet. Tämä raportti esittää yhteenvedon kasvien tärkeimmistä vaatimuksista akvaponisessa järjestelmässä. Tähän raporttiin on koottu tietoa kasvien kasvun kannalta välttämättömistä veden laatuparametreista, akvaponisissa järjestelmissä useimmin kasvatetuista kasvilajeista, kasvujärjestelmätyypeistä ja -alustoista, integroidusta tuholaistorjunnasta ja kasvintuotannon eduista akvaponisissa järjestelmissä. Tämä raportti sisältää yleistä tietoa niin alkutuotannon ammattimaisille yrittäjille kuin yksityishenkilöille, jotka ovat kiinnostuneita akvaponisesta viljelyjärjestelmästä ja haluaisivat perustaa sellaisen. Lukijaa rohkaistaan tutkimaan eri kasvien kasvuun liittyviä aiheita ja vaatimuksia, jotta niitä voidaan käyttää akvaponisessa järjestelmässä. Tämä raportti on laadittu osana EU-rahoitteista TransFarm-projektia.

Avainsanat: *TransFarm, akvaponinen vesiviljely, kasvit, parametrit, kasvujärjestelmät*

Tämän raportin tiedot on kerätty erilaisista artikkeleista ja kirjoista, käytettyjen lähteiden lähdeviitteet löytyvät raportin lopusta osiosta ”Lähteet”. Alkuperäisteoksen *”PLANTS IN AQUAPONICS – SELECTION, REQUIREMENTS AND LIMITATIONS”* käännös on toteutettu tekoälykääntäjän avulla ja siten tekstissä voi olla käännösvirheitä. Käännöksen toteuttaja ei ota näistä mitään vastuuta.

Tämä raportin on laatinut Latvian yliopiston TransFarm tiimi yhdessä muiden hankekumppaneiden kanssa ja sitä on tukenut Interreg Central Baltic ohjelma osana “TRANSborder cooperation for circular soil-less FARMing systems - TransFarm” hanketta.

Sisältö

Abstrakti (UL) ... 2
1. Johdanto ... 4
1.1. TransFarm projekti ... 4
1.2. Kasvit akvaponisessa systeemissä ... 5
1.3. vesiviljely vs. perinteinen viljely ... 6
2. Veden laatu ja muut kasvien vaatimukset ... 9
2.1. Hapen ja hiilidioksidin hallinta ... 9
2.2. pH ... 9
2.3. Valon/pimeyden kierto ... 10
3. Kasvien ravinteet ... 12
3.1. Typen ravinteet ... 12
3.2. Fosfori ... 14
3.3. Kalium ... 15
3.4. Mikroravinteet ... 16
4. Kasvilajien valinta ... 18
4.1. Vihreälehtiset ... 18
4.2. Kurkku ... 20
4.3. Koisokasvit ... 22
4.4. Yrtit ja mausteet ... 25
4.5. Pavut ... 27
5. Viljelykäytännöt ... 28
5.1. Siementaimien kasvualustat ... 28
5.2. Ruukkutyypit taimien lisäämiseen ja kasvien kasvattamiseen akvaponisessa viljelyssä ... 33
6. Tuotantosysteemit akvaponisessa viljelyssä ... 36
6.1. Kasvatusalustat ... 36
6.2. Syvän veden viljely (DWC) ... 41
6.3. Ravinnekalvotekniikka (NFT) ... 42
6.4. Pisarakastelujärjestelmä ... 43
7. Kasvien terveys ja kasvitaudit ... 44
7.1. Integroitu tuholaistorjunta ... 44
7.2. Tuholaiset ja kasvitaudit ... 46
Lähteet: ... 56

1. Johdanto

1.1. TransFarm projekti

Elintarvikealan on kohdattava useita ympäristöön liittyviä ja sosiaalisia haasteita: maatalous on ala, johon ilmastonmuutos vaikuttaa erityisen paljon, meremme ovat liikakalastettuja, ja maailman väestön arvioidaan jatkavan kasvuaan ja olevan noin 9,7 miljardia ihmistä vuoteen 2050 mennessä[1]. Itämeren alue on voimakkaasti riippuvainen elintarvikkeiden tuonnista, erityisesti vihannesten, hedelmien ja kalan osalta; Viime vuosina pandemiat ja Ukrainan sota ovat paljastaneet tarpeen luoda omavaraisempia elintarvikejärjestelmiä. Lisäksi maatalous ja vesiviljely ovat tärkeimpiä Itämeren rehevöitymisen tekijöitä.

Vastatakseen näihin haasteisiin TransFarm-projekti haluaa tuoda elintarviketuotannon lähemmäs kuluttajia edistämällä viljelymenetelmiä, jotka voidaan toteuttaa myös sisätiloissa ja jotka mahdollistavat kasvun ympäri vuoden. Esimerkkejä näistä menetelmistä ovat hydroponinen viljely, jossa kasveja kasvatetaan vedessä, ja akvaponinen viljely, jossa yhdistyy kalanviljely ja kasvien hydroponinen vesiviljely. Akvaponinen systeemi on suljetun kierron järjestelmä, jossa kalaviljelmän vettä käytetään kasvien kasvattamiseen. Vedessä olevat kalojen ulostejätteet muunnetaan mikrobiologisesti biosuodattimella sopiviksi ravinteiksi, jotka imeytyvät kasveihin ja sitten palautetaan puhdistettu vesi kaloille. Järjestelmässä on täysin suljettu vesivirtaus, joka mahdollistaa ravinteiden uudelleenkäytön ilman ravinteiden päästöjä ympäristöön. Koska akvaponisen järjestelmän kalat, kasvit ja mikro-organismit toimivat läheisessä symbioottisessa suhteessa, antibiootteja tai torjunta-aineita ei käytetä, mikä puolestaan tuottaa puhtaampia ja terveellisempiä tuotteita.

TransFarm hanke esittelee akvaponisen järjestelmän demot Ruotsissa, Virossa ja Latviassa sekä testaa niissä käytettäviä vaihtoehtoisia vesilähteitä, kuten sadevettä ja regeneroitua harmaata jätevettä: näistä maista tulevat hankekumppanit rakentavat akvaponiset demonstraatiolaitteistot erilaisilla ominaisuuksilla ja tavoitteilla. Eri demoista vaihdetut kokemukset edistävät tiedon yhteisluomista ja akvaponiset järjestelmät tarjoavat mahdollisuuden innostaa ja kouluttaa tulevia vesiviljelyn viljelijöitä. Demojen rakentamisesta ja seurannasta kerätty tieto tuottaa koulutusmateriaalia kaikille akvaponisista järjestelmistä kiinnostuneille toimijoille. Hankkeessa selvitetään myös liiketoimintamalleja ja toteutetaan tilaisuuksia, joilla tiedotetaan kuluttajille akvaponisella järjestelmällä tuotettujen tuotteiden laadusta ja turvallisuudesta. Lisäksi koulutetaan yrittäjiä, jotka haluavat perustaa akvaponisen järjestelmän, sekä tiedotetaan virkamiehille ja poliittisille päättäjille suljetun kierron maattoman viljelyn ympäristövaikutuksia vähentävistä menetelmistä.

TransFarm-projektin kesto on kolme vuotta (2023-2026), ja sitä koordinoi Turun yliopiston kauppakorkeakoulu ja Tulevaisuuden tutkimuskeskus. Hankkeen kumppaneita ovat Viron luonnontieteiden yliopisto (Tartu, Viro), Latvian yliopisto (Riika, Latvia), Norrtälje Vatten och Avfall AB ja Coompanion Roslagen & Norrort (Norrtälje, Ruotsi).

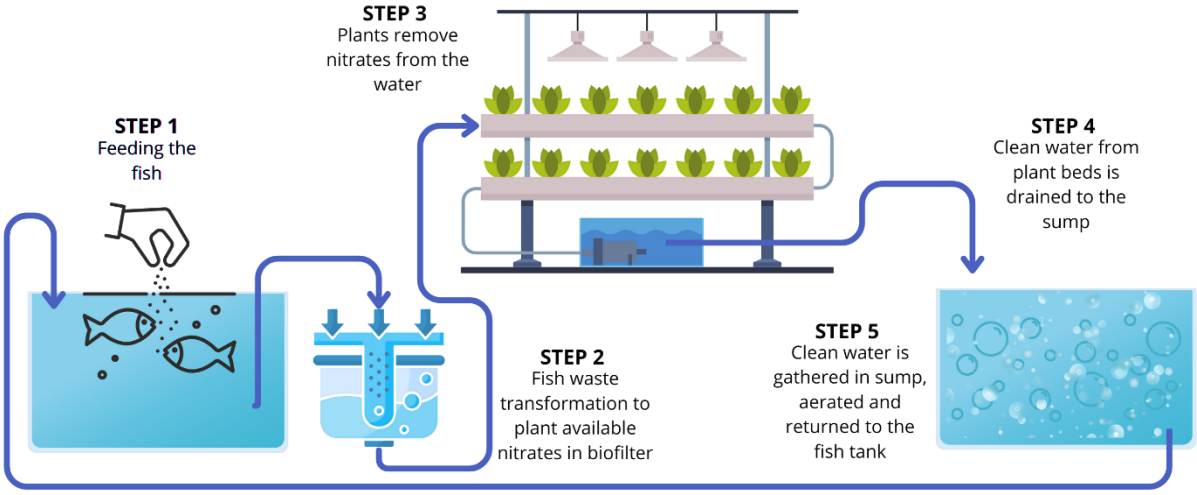
TransFarm-hanketta rahoittaa EU:n Interreg Central Baltic -ohjelma, hankkeen kokonaisbudjetti on 1,87 miljoonaa euroa, josta EU-rahoituksen osuus on 1,5 miljoonaa euroa.

[1] UN DESA publications – World population prospects 2022

1.2. Kasvit akvaponisessa systeemissä

Tässä raportissa tarkastellaan kasvien vesiviljelyn peruselementtejä akvaponisissa järjestelmissä, jotka ovat symbioottisia ympäristöjä, joissa kasvit ja vesieläimet elävät rinnakkain. Raportti keskittyy ymmärtämään kasvien tarkat vaatimukset akvaponisissa järjestelmissä, sopivimmat kasvilajit näihin järjestelmiin ja olennaiset edellytykset optimaalisen kasvun saavuttamiseksi. Tulokset viittaavat siihen, että akvaponinen järjestelmä tarjoaa kestävän lähestymistavan kasvien viljelyyn, mutta sen tehokkuus riippuu huolellisesta kasvilajien valinnasta, veden laadun huolellisesta hallinnasta ja oikean ravinnetasapainon ylläpitämisestä.

Akvaponisen järjestelmän kasvit tarvitsevat tasapainoisen ympäristön, jossa veden laatu, ravinnepitoisuudet, lämpötila ja valo tarjotaan optimaalisella tavalla. Veden pH-arvot 6,00–7,00 ovat ihanteellisia useimmille kasveille, koska tämä pH-alue varmistaa ja tukee ravinteiden saatavuutta ja imeytymistä. Akvaponisissa järjestelmissä kasvit saavat tarpeelliset ravintoaineet kalojen tuottamasta ulostejätteestä, joka muunnetaan kasvien saatavilla oleviksi ravintoaineiksi järjestelmässä olevien hyödyllisten bakteerien toimesta. Tärkeimpiä ravintoaineita ovat typpi, fosfori ja kalium sekä joitain muita alkuaineita, kuten rauta, kalsium ja magnesium. Valoa kasveille tarvitaan fotosynteesin varmistamiseksi, yleensä kasvukaudella valoa käytetään 12-16 tuntia vuorokaudessa, mutta pidempää päivänvaloa tarvitaan silloin kun kasvi tuottaa satoa. Veden lämpötila on akvaponisessa järjestelmässä 18 °C ja 26 °C välillä – kuitenkin varovaisuutta on noudatettava, sillä järjestelmän toinen elävä organismi – kala – on erittäin herkkä lämpötilan muutoksille ja lajille sopimattomille lämpötiloille.



Kuvio 1. Yleinen kaavio akvaponisesta järjestelmästä, jossa on ravinnekalvokasvien kasvukanavat.

Kaikki kasvit eivät ole yhtä soveltuvia akvaponisiin järjestelmiin. Tyypillisesti kasvit, joilla on kohtalainen ravinteiden tarve ja jotka kestävät korkeampaa kosteutta, menestyvät parhaiten. Akvaponisissa järjestelmissä kasvatetaan useimmiten erilaisia lehtivihanneksia (salaatteja) niiden nopean kasvunopeuden ja melko alhaisten ravinnetarpeiden vuoksi. Manny-yrtit kasvavat hyvin akvaponisissa systeemeissä, kuten esimerkiksi basilika, minttu, persilja, korianteri ja tilli. Tällaisessa järjestelmässä voidaan kuitenkin kasvattaa myös ravintoarvoltaan rikkaampia kasveja kuten tomaatteja, paprikaa, kurkkua, mansikoita ja juureksia kuten porkkanoita, retiisiä ja punajuuria, jotka vaativat tarkempia kasvualustoja ja kasvujärjestelmiä.

Kasvinviljelyn tehokkuus akvaponisessa järjestelmässä riippuu sen harmonisesta ympäristöstä, joka täyttää kasvien tarkat vaatimukset. Lehtivihreät ja yrtit ovat yleensä vaivattomimpia ja tuottoisimpia kasveja, joita voidaan viljellä näissä järjestelmissä, kun taas hedelmäkasvit vaativat huolellisempaa

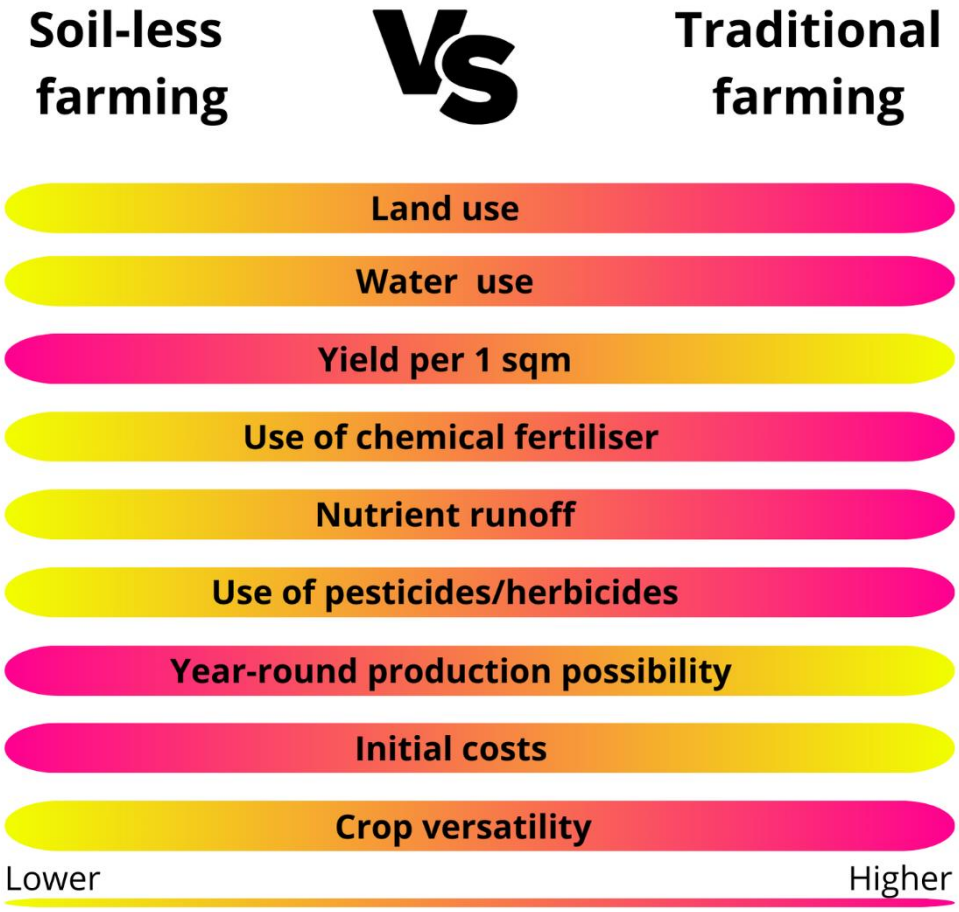
käsittelyä. Optimaalisen kasvien kasvun saavuttamiseksi on ratkaisevan tärkeää ymmärtää tarkat vaatimukset veden laadulle, ravinnetasapainolle ja ympäristöolosuhteille. Akvaponiset järjestelmät tarjoavat kestävän ja tehokkaan lähestymistavan monenlaisten kasvien, erityisesti lehtivihannesten ja yrttien, viljelyyn. Näiden järjestelmien tehokkuus riippuu kuitenkin kasvilajin valinnasta sekä veden laadun, ravinteiden ja ympäristöolosuhteiden hallinnasta. Kun akvaponinen systeemi saa riittävästi huomiota ja valvontaa, se pystyy tuottamaan runsaasti tuoretta satoa ja samalla vähentämään luonnonvarojen kulutusta ja ympäristöhaittoja.

1.3. vesiviljely vs. perinteinen viljely

Maatalous on modernin yhteiskunnan perusta ja globaalin elintarviketuotannon selkäranka, sillä maaperän viljely on ylivoimaisesti yleisin ja eniten käytetty viljelymuoto. Maaperän viljelyn tarjoamista eduista ja mahdollisuuksista huolimatta maapallon kasvava väestö, ilmastonäkökohdat ja mahdollinen maaperän uupuminen tietyillä alueilla sekä juomaveden lähteiden laatu ja vakaus ovat tehneet vaihtoehtoiset viljelytavat, kuten vesiviljely viljely, kiinnostavammaksi. Maattomaan viljelyyn kuuluvat sellaiset viljelymenetelmät kuin hydroponinen, aeroponinen ja akvaponinen viljely, joissa tuotteita viljellään ilman kasvualustana käytettävää maata, ja niissä käytetään runsaasti ravinnepitoisia lannoiteliuoksia, jotka toimitetaan kasveille joko tippajärjestelmien, kasteluveden tai sumun kautta (aeroponiikka). Tärkeimmät vertailtavat näkökohdat perinteistä viljelyä ja vesiviljelyä arvioitaessa ovat

resurssien (ravinteet, vesi, maaperä tai kasvualusta) käyttö, viljelykasvien (akvaponisen järjestelmän tapauksessa myös

kalan) sadon kasvunopeus suhteessa ympäristöön (maaperän terveys, hiilijalanjälki – viljely, kuljetus) ja tietysti taloudellinen kannattavuus.



Kuvio 2. Vesiviljelyn ja perinteisen viljelyn vertailu resurssien käytön suhteen.

Resurssien käytön tehokkuus on tärkeä tekijä sekä taloudellisesti että ympäristöllisesti. Erilaiset vesiviljelymenetelmät, kuten hydroponiset ja akvaponiset järjestelmät osoittavat huomattavasti tehokkaampaa vesivarojen käyttöä kuin perinteinen maaperän viljely. Hydroponiset ja akvaponiset järjestelmät rakennetaan yleensä niin, että niissä oleva vesi kierrätetään, jolloin säästetään jopa 90 prosenttia vedestä – 10 prosentin häviö johtuu veden haihtumisesta joko avoimista kasvualustoista tai kasvien lehtien kautta. Maaperäisissä viljelymenetelmissä veden haihtuminen on usein huomattavasti korkeampaa hallitsemattomassa ympäristössä tapahtuvan nopean haihtumisen ja valumisen vuoksi. Juomaveden niukkuus tietyillä alueilla maailmassa asettaa maattomat viljelymenetelmät edullisemmiksi vaihtoehdoiksi perinteiselle viljelylle, koska sillä on mahdollisuus säästää suuria määriä tätä niukkaa luonnon resurssia.

Veden tavoin myös ravinteet (lannoitteina) ovat resurssi, jota hyödynnetään tehottomasti perinteisessä viljelyssä – kun pelloille levitetään lannoitetta, tapahtuu usein merkittävää valumista, mikä tarkoittaa, että samalla ravinnemäärällä kasvatetaan huomattavasti vähemmän tuotantoa, minkä lisäksi tapahtuu ravinteiden valumaa vesistöihin, mikä taas aiheuttaa vesistöjen rehevöitymistä.

Vesiviljely puolestaan tarjoaa mahdollisuuden ohjata tarkasti ravinteiden käyttöä, joka on optimoitu kunkin kasvilajin täsmällisiin tarpeisiin ja siten myös ravinteiden hukka on minimoitu.

Vesiviljelyjärjestelmät voivat ravinteiden tarkan annostelun ansiosta tarjota korkeamman sadon. Tutkimukset osoittavat, että maattomalla viljelyllä voidaan tuottaa jopa 30 prosenttia suurempi sato kuin perinteisellä viljelyllä samalla alueella valvotun ympäristön ja optimoidun ravinteiden toimituksen ansiosta. Erilaisten bioottisten ja abioottisten tekijöiden puuttuminen, jotka tavallisesti voivat vaikeuttaa kasvien kasvua perinteisissä viljelyjärjestelmissä, hyödyttää kasveja myös maaperättömissä järjestelmissä – on osoitettu, että kasvien kasvunopeus on merkittävästi nopeampaa hydroponisissa tai akvaponisissa järjestelmissä. Toinen näkökohta, joka koskee kasvien tuottoa mullattomissa järjestelmissä yleensä, on kyky kasvattaa kasveja ympäri vuoden kierrättämällä eri kasvilajeja.

Vesiviljelyyn siirtymisen ympäristövaikutukset tarkoittavat sitä, että tällä hetkellä viljelyssä käytettävä maaperä jätettäisiin huomiotta, mikä voisi johtaa muutoksiin maaperän terveydessä ja maaperän biologisessa monimuotoisuudessa – nämä ovat maatalouden kestävyyden ja suojelun kannalta ratkaisevia näkökohtia. Vastuullisen, ympäristötietoisen maatalouden merkitys on otettava huomioon, kun muutetaan myös maanviljelyssä käytettyjä yleisiä käytäntöjä. Perinteisen viljelyn hiilijalanjälki voi joissain tapauksissa olla pienempi kuin maattoman viljelytekniikan. Maattomat viljelyjärjestelmät, joissa käytetään korkean teknologian ratkaisuja, ovat varsin energiaa vaativia. Tämän välttämiseksi tällaisia järjestelmiä olisi perustettava paikkoihin, joissa energia on halvempaa tai sitä on tuotettu uusiutuvilla teknologioilla, kuten tuulivoimalla tai aurinkoenergialla. Molemmissa tapauksissa on otettava huomioon eri näkökohtien vastuullinen arviointi.

Taloudellisesti maattoman viljelyjärjestelmän integrointi vaatii merkittävää alkupääomaa – kasvihuoneiden, ilmanvaihtojärjestelmien, ravinteiden syöttöjärjestelmien, lamppujen, kasvipenkkien, kalasäiliöiden, pumppujen jne. investointikustannuksia. Toisaalta perinteinen viljely vaatii enemmän maata ja vettä resursseina sekä maankäsittelyyn tarvittavia koneita, jotka voivat olla kalliita. Maattoman viljelyjärjestelmän käyttökustannukset taas voivat olla korkeat energian hinnasta ja mahdollisesta ylläpidosta johtuen, mutta korkeampi tuotto ja mahdollisuus ympärivuotiseen tuotantoon kompensoivat näitä kustannuksia. Perinteinen viljely on käyttökustannusten näkökulmasta hieman arvaamattomampaa – tekijät kuten sääolosuhteet (myrskyt, sadon menetys) lannoitekustannukset, työvoiman saatavuus ja hinta sekä globaali poliittinen tilanne vaikuttavat siihen merkittävästi.

Yksi mahdollinen vastaus joihinkin nykyajan maatalouden ongelmiin – kuten peltomaan puutteeseen, vesipulaan ja tarpeeseen lisätä elintarviketuotantoa – on vesiviljely. Perinteinen viljely on kuitenkin edelleen välttämätöntä biologisen monimuotoisuuden ylläpitämiseksi ja maaperän terveyden ylläpitämiseksi. Käytännöllisin tapa globaalille maataloudelle voi olla maattoman viljelymenetelmien yhdistäminen kestäviin maaperänhoitokäytäntöihin perinteisessä maataloudessa tasapainoisesti. Maattoman ja perinteisen viljelyn yhdistäminen yhdistämällä nämä kaksi menetelmää voisi parantaa maatalouden yleistä kestävyyttä ja resilienssia. Vesiviljely voitaisiin ottaa käyttöön kaupunkialueilla, jolloin saadaan tarjolle tuoreempia tuotteita läheltä, kun taas perinteistä viljelyä voitaisiin optimoida maaseutualueilla kestävää maankäyttöä varten. Koska tutkimus- ja kehitystyö energiatehokkuuden parantamiseksi vesiviljelyssä jatkuu, perinteisen maaperän viljelyn maaperän terveyttä parantavat ja ylläpitävät strategiat ovat ratkaisevan tärkeitä. Kaiken kaikkiaan tietoisuutta olisi edistettävä, jotta sidosryhmiä voitaisiin kouluttaa molempien viljelymenetelmien eduista ja rajoituksista tietoisen päätöksenteon kannustamiseksi.

2. Veden laatu ja muut kasvien vaatimukset

2.1. Hapen ja hiilidioksidin hallinta

Kasvien hengitysprosessissa käytetään fotosynteesin aikana syntyviä hiilihydraatteja ja ympäristön happea energian tuottamiseen kasvin kehittymistä varten. Hengitys tapahtuu koko kasvissa, kun taas fotosynteesi tapahtuu vain lehdissä ja varressa. Kasvit ottavat happea ilmarakojen ja juurien kautta – tämä prosessi tapahtuu koko päivän, mutta pimeässä hengitysprosessi on selvempi, koska fotosynteesiä ei tapahdu. Hengitys on myös suoraan yhteydessä ympäristön lämpötilaan; yleensä suositellaan alhaisempia yölämpötiloja, koska tämä antaa kasveille mahdollisuuden kerätä hiilihydraatteja ja syntetisoida muita oikean kasvun ja kehityksen kannalta välttämättömiä aineita. Hapenpuutteet eivät yleensä ole kovin yleisiä, koska ilma sisältää noin 21 prosenttia happea, mutta on tärkeää varmistaa kasvihuoneen tai huoneen, johon akvaponinen järjestelmä on sijoitettu, hyvä ilmanvaihto optimaalisen O_2- ja CO_2-tasojen varmistamiseksi.

Fotosynteesin nopeus riippuu suuresti hiilidioksidipitoisuudesta ympäristössä, jossa kasvit kasvavat. Ilma sisältää noin 0,037 prosenttia CO_2:ta, joka voidaan helposti kuluttaa korkean intensiteetin hydroponisessa tai akvaponisessa vesiviljelyssä. Kasvutilan hiilidioksidia voidaan täydentää mahdollisuuksien mukaan tuuletuksella, kun ilman lämpötila sen sallii. Talvella, kun ilma on liian kylmä tai paikoissa, joissa keskilämpötila on alhainen (myös kevät- ja syyskaudella) lisälämmitys saattaa olla tarpeen kasvien kasvun varmistamiseksi. Hiilidioksidia voidaan täydentää ja pitää vakiona käyttämällä CO_2-generaattoreita – nämä generaattorit käyttävät sähköä tai fossiilisia polttoaineita, mikä taas johtaa energiankulutukseen ja järjestelmän yleisiin kestävyysongelmiin. Talvella tällaisten generaattoreiden, joissa käytetään avotulta, hyödyntäminen voi itse asiassa olla hyödyllistä, koska esimerkiksi maakaasun polttaminen aiheuttaisi hiilidioksidia, lämpöä ja lisäkosteutta. Toinen vaihtoehto on käyttää CO_2-sylintereistä peräisin olevaa hiilidioksidia; Tämä voi kuitenkin myös lisätä akvaponisen järjestelmän käyttökustannuksia ja tehdä siitä vähemmän kannattavaa.

2.2. pH

Veden pH on yksi tärkeimmistä ympäristötekijöistä akvaponisessa ekosysteemissä – se vaikuttaa kasvien, kalojen ja hyödyllisten bakteerien kasvuun, lisäksi optimaalinen pH-taso määrää kasvien ravinteiden saatavuuden. Useimpien kasvien pH-toleranssi on 5,5-7,5. Useimmat kasvit pitävät hieman happamista olosuhteista; akvaponisissa järjestelmissä on kuitenkin otettava huomioon bakteerien ja kalojen toleranssit. Jos pH on kasville edullisen alueen ulkopuolella, kasvit eivät voi ottaa vastaan tiettyjä ravinteita, vaikka niitä on vedessä tarjolla. Tällaisissa tapauksissa epäiltyjen puuttuvien ravinteiden lisääminen ei ratkaise kasvien kasvuun ja kehitykseen liittyviä ongelmia, ellei pH:ta säädetä vastaavasti. Veden pH akvaponisessa järjestelmässä vaikuttaa suoraan ravinteiden saatavuuteen. Jokaisella ravintoaineella on tietty pH-alue, jossa se liukenee hyvin ja on kasvien helposti saatavilla. Esimerkiksi typpi on nitraatin muodossa helposti saatavilla laajalla pH-spektrillä, mutta kasvit ottavat sitä tehokkaimmin lievästi happamissa tai neutraaleissa olosuhteissa. Fosfori, välttämätön ravintoaine juurien kasvulle ja energian kuljetukselle kasvin sisällä, on runsain pH-alueella 6,0–7,5. Fosfori voi muuttua liukenemattomaksi ja kasveille saavuttamattomiksi, kun se jää tämän alueen ulkopuolelle. Rauta, mangaani ja sinkki ovat välttämättömiä hivenravinteita kasveille, sillä niillä on tärkeä rooli entsyymien aktivoinnissa ja klorofyllin tuottamisessa. Näiden mikroravinteiden saatavuus paranee lievästi happamissa olosuhteissa. Kun pH-taso ylittää 7,5, nämä ravinteet voivat muuttua liukenemattomiksi, mikä aiheuttaa puutteita. Akvaponisessa järjestelmässä ravinneliuoksen lähde on kalojen ulostejätteet. Tasapainoisen pH:n ylläpitäminen on ratkaisevan tärkeää tässä järjestelmässä, jotta estetään ravinteiden lukitus, joka tapahtuu, kun välttämättömät ravinteet ovat läsnä, mutta kasvit

eivät pääse niihin käsiksi. Ravinteiden lukitus on yleisempää vasta perustetuissa akvaponisissa järjestelmissä, jotka ovat alttiimpia muutoksille, koska mikrobiyhteisöjä ei vielä ole perustettu.

Hydroponisissa järjestelmissä, joissa ympäristö on olennaisesti steriili, säätely on helpompaa kuin akvaponisissa järjestelmissä, joissa on luotava tasapaino kalojen, kasvien ja mikro-organismien välille. Ensisijainen haaste akvaponisessa järjestelmässä on saavuttaa ja ylläpitää pH-taso, joka vastaa riittävästi kasvien, kalojen ja nitrifioivien bakteerien samanaikaisia tarpeita. Kalat kukoistavat tyypillisesti lievästi emäksisessä ympäristössä, jonka edullinen pH-alue on 7,0-8,0. Tämä voi vaihdella kalalajista riippuen. Suurin osa kasveista viihtyy kuitenkin pH-alueella, joka on lievästi happamasta neutraaliin. Erityisesti hydroponisissa järjestelmissä ihanteellinen pH on 5,5 ja 6,5 välillä, kun taas akvaponisissa järjestelmissä se on hieman korkeampi kalojen ja bakteerien läsnäolon vuoksi.

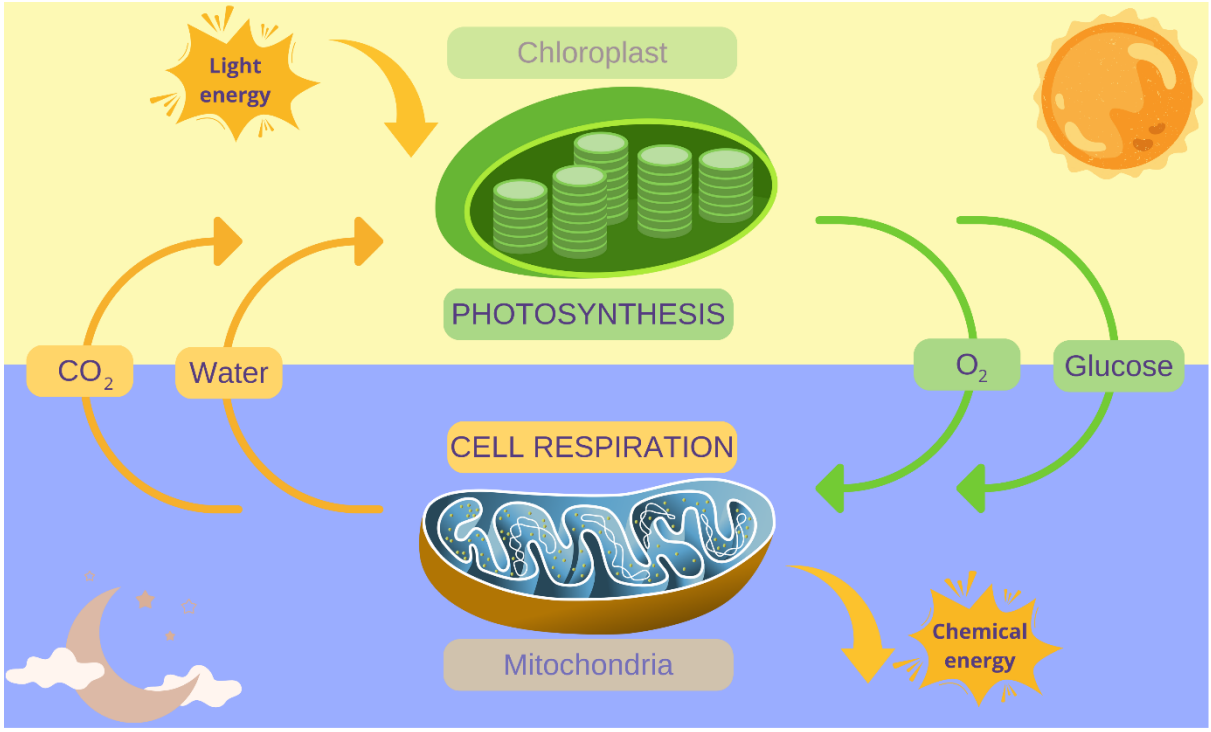
Tasapainon saavuttamiseksi suositellaan yleisesti, että akvaponisen järjestelmän pH-taso pidetään välillä 6,8-7,2. Tämä sarja on tasapainoinen ratkaisu, joka edistää kaikkien järjestelmän elävien olentojen hyvinvointia. Se takaa kasvien optimaalisen ravinteiden imeytymisen, ylläpitää kalojen terveyttä ja mahdollistaa ammoniakin tehokkaan käsittelyn nitrifioivien bakteerien toimesta.

Tarkempi kuvaus pH:n tärkeydestä akvaponisessa järjestelmässä löytyy TransFarm projektin tuottamasta raportista nimeltään “Vesi akvaponisessa viljelyssä”.

2.3. Valon/pimeyden kierto

Fotosynteesi on prosessi, jossa kaikki vihreät kasvit pystyvät tuottamaan omaa ravintoaan. Fotosynteesi edellyttää hapen, hiilidioksidin, veden ja valon läsnäoloa. Kasvin sisällä on pieniä kloroplasteiksi kutsuttuja rakenteita, joissa on klorofylliä, pigmenttiä, joka valjastaa auringonvalon muuntaakseen ilmakehän hiilidioksidin (CO_2) hiilihydraattimolekyyleiksi, kuten glukoosiksi. Tämä prosessi vapauttaa happea (O_2). On olemassa kaksi erilaista klorofyllimuotoa, nimittäin klorofylli a ja klorofylli b. Klorofylli a, hallitseva fotosynteettinen pigmentti, absorboi selektiivisesti aallonpituuksia näkyvän spektrin sinisellä, punaisella ja violetilla alueilla. Klorofylli b vangitsee pääasiassa sinistä valoa ja sitä käytetään parantamaan klorofylli a:n absorptiospektriä laajentamalla valon aallonpituuksien aluetta, jonka fotosynteettinen organismi voi absorboida. Molemmat klorofyllin muodot mahdollistavat valon optimaalisen absorption spektrin sinisestä punaiseen. Syntetisoinnin jälkeen sokerimolekyylit jakautuvat kaikkialle kasviin ja ne hyödynnetään erilaisiin fysiologisiin toimintoihin, kuten kasvuun, lisääntymiseen ja aineenvaihduntaan. Yöaikaan kasvit käyttävät näitä sokereita yhdessä hapen kanssa tuottamaan kasvuun tarvittavan energian. Tämän prosessin termi on hengitys. On tärkeää sijoittaa akvaponinen järjestelmä paikkaan, jossa jokainen kasvi voi saada runsaasti auringonvaloa tai riittävästi keinovaloa. Tämä takaa riittävän energian fotosynteesiin. Akvaponisen järjestelmän kautta on oltava jatkuvasti myös vettä saatavilla kasvien juurille. Hiilidioksidi taas on helposti saatavilla ilmakehässä, vaikka erittäin tiivistetyissä sisäympäristöissä kasvit voivat tyhjentää kaiken suljetun tilan hiilidioksidin, mikä edellyttää ilmanvaihtoa tai ylimääräistä CO_2-lisää. Kohonneet hiilidioksiditasot (CO_2) tehostavat fotosynteesiprosessia, mikä stimuloi kasvien kasvua. Hengitysilman hiilidioksidipitoisuus on normaalisti noin 0,037 prosenttia. Tiukasti suljetussa kasvihuoneessa tai kasvatushuoneessa ympäröivä CO_2 voi kuitenkin ehtyä nopeasti. Esimerkiksi muovikasvihuoneessa CO_2-pitoisuus voi laskea alle 0,02 prosentin jo 1-2 tunnin sisällä auringonnousun jälkeen. Kasvien kasvu rajoittuu merkittävästi alle 0,02 prosenttiin pitoisuuksilla ja kasvit lakkaavat kasvamasta kokonaan alle 0,01 prosenttiin pitoisuuksilla. Nostamalla CO_2-pitoisuuden alueelle 0,075-0,15 prosenttia, viljelijät voivat ennakoida sadon huomattavan 30-50 prosentin paranemisen verrattuna luonnolliseen CO_2-tasoon. Lisäksi hedelmän kiinnittymisen ja kukinnan vaatimaa kestoa voidaan lyhentää 7-10 päivällä. Siitä huolimatta hiilidioksidin liiallinen rikastaminen voi johtaa haitallisiin seurauksiin. Yli 0,15 prosentin

pitoisuudet katsotaan turhiksi ja 0,5 prosentin ylittävät tasot jo haitallisiksi. Kohonneet pitoisuudet aiheuttavat hengitysrakojen sulkeutumista kasvien lehdissä, mikä johtaa tilapäiseen fotosynteesin pysähtymiseen. Sulkeutuneiden hengitysrakojen seurauksena kasvit eivät pysty tehokkaasti poistamaan vesihöyryä, mikä johtaa mahdollisesti lehtien paahtumiseen. Kasvinviljelyssä tavoitteena on määrittää valon määrä, jonka kasvi imee päivän aikana, riippumatta päivänvalon kestosta.

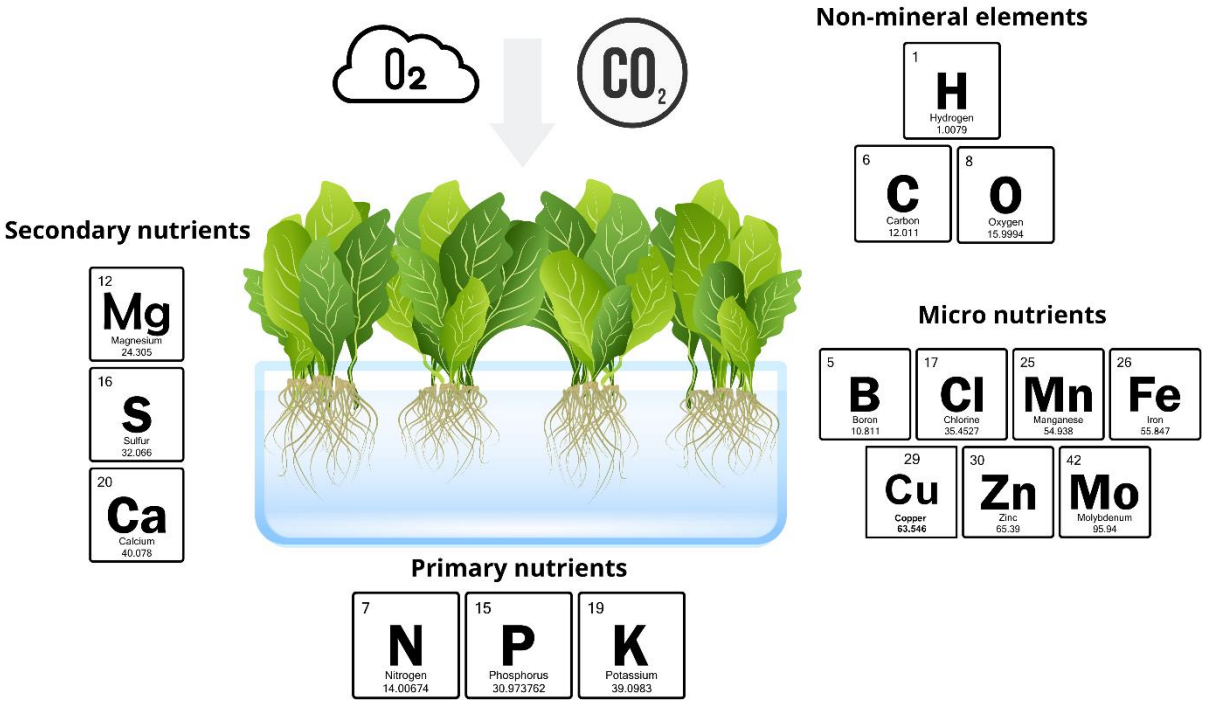


Kuvio 3. Kasvien fotosynteesi ja soluhengitys.

Jokainen kasvi reagoi ainutlaatuisella tavalla vaihtelevaan valotasoon, ja tietyt lajit ovat erityisesti mukautuneet viihtymään täydessä auringonvalossa, kun taas toiset viihtyvät varjoisissa ympäristöissä. Kasvit hengittävät ja tuottavat hiilidioksidia valon puuttuessa. Kun valoisuus lisääntyy, myös fotosynteesin nopeus kasvaa, ja tietyllä valoisuustasolla hengitysnopeudesta tulee yhtä suuri kuin fotosynteesin nopeus, mikä ei aiheuta hiilidioksin nettoabsorptiota tai vapautumista. Valon voimakkuuden lisäksi myös päivänvalon kesto ja valon tietyt aallonpituudet vaikuttavat erilaisiin kehitysprosesseihin, kuten kukinnan alkamiseen, kasvien venymiseen ja kasvin yleismuotoon. Lehtivihreät ja yrtit vaativat yleensä 10–14 tuntia päivänvaloa, kun taas tietyt varjoa sietävät kasvit tarvitsevat vähemmän valoa. Liiallinen valolle altistuminen voi laukaista kukinnan tietyissä salaattilajeissa, muuttaa makua ja tehdä siitä katkerampaa. Tomaatit, paprikat ja kurkut, jotka ovat hedelmiä tuottavia kasveja, vaativat 14-18 tuntia valoa korkealla intensiteetillä. Nykyaikaisissa kaupallisissa hydroponiikkajärjestelmissä valon intensiteettiä säädetään vastaamaan kasvin erityisvaatimuksia sen jokaisessa kasvuvaiheessa. Keinotekoista valaistusta voidaan käyttää täydentämään luonnonvaloa avoimissa kasvihuoneissa pilvisellä säällä, mikä johtaa merkittäviin energiansäästöihin. Sisätiloissa sijaitsevissa ja yksinomaan keinotekoisiin valonlähteisiin perustuvissa akvaponisissa järjestelmissä on erittäin tärkeää valvoa tarkasti valaistusolosuhteita, jotta varmistetaan, että jokaisessa kehitysvaiheessa on riittävästi valoa.

3. Kasvien ravinteet

Akvaponisessa järjestelmässä ravitsemus perustuu kalanviljelyn ja kasvien vesiviljelyn väliseen synergiaan, mikä helpottaa kalojen ja kasvien symbioottista ekosysteemiä. Tässä järjestelmässä kalat erittävät ulostejätettä, jossa on runsaasti ammoniakkia. Vaikka se on sellaisenaan myrkyllistä, saadaan ammoniakki muutettua kasveille hyödylliseksi ravinteeksi nitrifikaatioprosessin kautta. Hyödylliset bakteerit, mukaan lukien Nitrosomonas ja Nitrobacter, muuttavat ammoniakin nitriiteiksi ja myöhemmin nitraateiksi eli typeksi, jota kasvit voivat helposti käyttää kasvua varten. Tämä nitraattirikas vesi toimittaa kasveille tärkeitä makroravinteita, kuten typpeä, fosforia ja kaliumia, sekä muita kasvien kasvulle välttämättömiä mikroravinteita. Kasvit käyttävät nämä ravinteet ja helpottavat veden puhdistusta, joka sitten kierrätetään takaisin kala-altaisiin. Tämän järjestelmän tasapaino vähentää kemiallisten lannoitteiden tarvetta ja edistää kestävää kasvien kasvua. Kasvien optimaalisen terveyden saavuttamiseksi lisäravinteet, kuten rauta, kalsium ja magnesium, voivat olla tarpeen, koska kalojen ulostejätteet eivät yksinään välttämättä tuota riittäviä määriä ravinteita. Tämä suljetun kierron ekosysteemi tekee akvaponisesta järjestelmästä tehokkaan ja ympäristöystävällisen menetelmän kasvien ravitsemiseen ja ruoantuotantoon.



Kuvio 4. Kasvien kasvulle välttämättömien ensisijaisten, toissijaisten ja hivenravinteiden kokoaminen.

3.1. Typen ravinteet

Akvaponinen systeemi on integroitu järjestelmä, jossa yhdistyvät kalanviljely ja kasvien vesiviljely. Tässä järjestelmässä kasvit vastaavat kalojen aineenvaihdunnasta syntyvän jätteen – ensisijaisesti typpiyhdisteiden – hyödyntämisestä. Kasvien välttämättömien toimintojen ja typentarpeen ymmärtäminen akvaponisessa järjestelmässä on keskeistä tasapainoiselle, terveelle akvaponiselle järjestelmälle.

Typpi on yleisesti ottaen elintärkeä ravintoaine kaikille kasveille, koska se on useiden biomolekyylien peruskomponentti. Typpi on osa aminohappoja, jotka ovat proteiinien päärakennuspalikoita.

Proteiineilla on kasveissa useita tehtäviä, ne voivat toimia entsyymeinä tai solun rakennuspalikoina. Entsyymit osallistuvat myös fotosynteesiin, ravinteiden imeytymiseen ja kasvien yleiseen kasvuun. Typpi on myös tärkeä komponentti nukleiinihapoissa (DNA ja RNA), jotka ovat molekyylejä, jotka kuljettavat kasvien kehitykselle ja lisääntymiselle tarpeellista geneettistä tietoa. Klorofylli, joka on vihreä pigmentti, joka osallistuu fotosynteesiin, sisältää myös typpeä. Klorofylli on vastuussa valon energian muuntamisesta kemialliseksi energiaksi, joka mahdollistaa kasvien kasvuun tarvittavien hiilihydraattien tuottamisen. Adenosiinitrifosfaatti (ATP) ja nikotiiniamidiadeniinidinukleotidifosfaatti (NADPH) muodostuvat typestä – nämä molekyylit ovat vastuussa energiansiirrosta solukasveissa. Nämä molekyylit ovat välttämättömiä fotosynteesissä ja hengityksessä.

Akvaponisessa systeemissä typpi saadaan kalojen ulostejätteestä, mutta sen täytyy käydä läpi useita muunnoksia, ennen kuin siitä tulee myrkytöntä ja käyttökelpoista kasveille. Kaloista peräisin olevat ensisijaiset typpimuodot ovat ammoniakin (NH_3) ja ammoniumin (NH_{4+}) muodossa. Kalat erittävät ammoniakkia proteiinin sivutuotteena, joka tulee kalanrehusta. Vedessä ammoniakki muuttuu ammoniumiksi, jota kasvit voivat myös ottaa vastaan, mutta korkeammat määrät näitä typen muotoja ovat myrkyllisiä sekä kaloille että kasveille, joten sitä on muutettava edelleen vähemmän myrkyllisiksi. Nitrifikaatioprosessin kautta ammoniakki muuttuu ensin nitriitiksi (NO_{2-}) ammoniakkia hapettavien bakteerien (Nitrosomonas spp.) toimesta ja sitten nitriittiä hapettavien bakteerien (Nitrobacter spp.) toimesta vähemmän myrkyllisemmäksi ja biologisesti hyödyllisemmäksi nitraatiksi (NO_{3-}). Nitraatit liukenevat hyvin veteen ja imeytyvät kasveihin helposti. Täydentämällä kasveja riittävästi typellä voidaan varmistaa kasvien terve kasvu. Typpiyhdisteet varmistavat, että kasvit kehittävät enemmän lehtiä, varsia ja juuria, mikä takaa paremman sadon. Hydroponisissa ja akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmissä kasvien sato on viljelijälle ensisijainen tulonlähde, joten on tärkeää ylläpitää riittävää typpi-tasoa järjestelmässä. Typen puutteet näkyvät usein hidastuneena kasvuna ja kloroosina (lehtien kellastumisena).

Akvaponisessa järjestelmässä kasvien ravinteiden saanti tukeutuu yksinomaan veteen, joka tuodaan ja kierrätetään järjestelmässä, jossa ravinteet ovat liukenevia. Typpi on yksi tärkeimmistä makroravintoaineista, jota kasvit tarvitsevat suuria määriä. Vaikka kasvit tarvitsevat tätä ravinnetta suuria määriä, liiallinen typpi voi olla myrkyllistä kaloille, joten ravinnetasapainon ylläpitäminen on ratkaisevan tärkeää. Järjestelmän typpikuormituksen optimointi voidaan tehdä hallitsemalla useita tekijöitä. Kalojen lukumäärä järjestelmässä määrää tuotetun ammoniakin määrän samoin kuin ruokintamäärä. Mitä suurempi kalojen tiheys on, sitä enemmän kalanrehua on annettava kaloille, mikä puolestaan lisää kasvien käytettävissä olevaa typpeä, jos biosuodatus on riittävä. Kalojen ruokintanopeutta voidaan myös säätää; kalat voivat kuitenkin stressaantua, kun ruokintamäärät ovat liian alhaisia, tai toisaalta kalat voivat sairastuvat tai syövät liikaa. Typpiyhdisteiden muuttumista voidaan parantaa ylläpitämällä tervettä biosuodatinta, jotta varmistetaan ammoniakin ja ammoniumin täydellinen muuttuminen nitraatiksi. Nitrifioivat bakteerit tarvitsevat happea muuttaakseen ammoniakin nitraatiksi, minkä vuoksi tarvitaan riittävää ilmastusta – hapetusta tarvitaan myös vesiviljelyn ja vesiviljelyn asukkaille. Koska nitraattien imeytyminen on pH-riippuvaista, ympäristön pH:ta tulee ylläpitää riittävällä tasolla – kasveille, kaloille ja bakteereille välttämätön pH on tietyllä alueella ja sitä voidaan säätää. Lämpötila voi myös auttaa typen hyödyntämisessä, kun ammoniakkia ja nitraatteja on liikaa, nopeuttamalla kasvien kasvua ja bakteerien toimintaa. Lämpötila on kuitenkin pidettävä vakiona ja säädettävä kala- ja kasvilajin mukaan, jotta kaloja ei tukahduteta tai kasvien kuihtuminen tai vaurioituminen ei aiheuteta.

Kasvien typen puute ilmenee vanhojen lehtien kellastumisena, kasvun hidastumisena ja lehtien koon pienenemisenä. Jos tällaisia oireita ilmenee, silloin tulee muuttaa joko kalojen ruokintanopeutta, niiden tiheyttä altaassa tai biosuodattimen tehoa. Äärimmäisissä tapauksissa akvaponista järjestelmää

voidaan täydentää typpipitoisella mineraalilannoitteella, mutta tämä ei kuitenkaan kuulu akvaponisen järjestelmän piiriin, mikä tekee järjestelmästä pohjimmiltaan kasvien vesiviljelyjärjestelmän yhdistettynä akvaarioon. Ylimääräinen typpi, erityisesti ammoniakki tai nitriitti, voi olla haitallista sekä vesieliöille että kasvillisuudelle. Typpimyrkyllisyyden oireita kasveissa ovat esimerkiksi tummanvihreät lehdet, liiallinen vegetatiivinen kasvu, joka heikentää hedelmää tai kukintaa, ja mahdolliset juurivauriot. Kalojen kohonneet ammoniakki- tai nitriittipitoisuudet voivat aiheuttaa niille stressiä, sairauksia tai jopa kuolleisuutta.

3.2. Fosfori

Fosforilla on ratkaiseva rooli kasvien kasvun tukemisessa, kuten typellä ja kaliumilla. Fosfori on ratkaisevan tärkeä akvaponinen järjestelmässä, koska se tukee kasvien kehitystä, energian siirtoa ja yleistä järjestelmän terveyttä. Tämän järjestelmän kasvit luottavat yksinomaan vedessä oleviin ravintoaineisiin, jotka tulevat pääasiassa kalajätteistä ja hajoavasta orgaanisesta aineesta.

Fosfori on avainkomponentti adenosiinitrifosfaatissa (ATP), joka on tärkein energian kantaja kaikissa elävissä soluissa. ATP varastoi ja siirtää energiaa kasveissa, mikä helpottaa tärkeitä prosesseja, kuten fotosynteesiä, hengitystä, hiilihydraatti- ja proteiinisynteesiä. Fosfori on olennainen nukleiinihappojen (DNA ja RNA) komponentti. DNA tallentaa kasvin geneettisen suunnitelman, kun taas RNA on tärkeä tämän suunnitelman muuntamisessa proteiineiksi ja entsyymeiksi. Fosfori on siksi välttämätön solujen jakautumiselle, kasvulle ja lisääntymiselle. Fosfori on avainaine fosfolipideissä, jotka muodostavat solukalvojen rakenteellisen perustan. Nämä kalvot ohjaavat aineiden liikkumista soluihin ja niistä ulos, ylläpitävät solujen eheyttä ja mahdollistavat solujen signaalin ja ravinteiden kuljetuksen. Fosfori osallistuu myös fotosynteesiin tarvittavien yhdisteiden muodostumiseen. Tehokas fotosynteesi on välttämätöntä kasveille, jotta ne muuttavat valoenergiaa kemialliseksi energiaksi, jota sitten käytetään kasvuun ja kehitykseen tarvittavien sokereiden tuottamiseen. Fosforilla on olennainen rooli kasvien juurien kehityksessä ja pidentymisessä. Se edistää voimakasta juurikasvua, jolloin kasvit voivat käyttää enemmän vettä ja ravinteita, mikä parantaa yleistä ravinteiden ottoa ja vakautta. Riittävät fosforipitoisuudet ovat tärkeitä kukkien ja siementen muodostumiselle. Se edistää kasvien varhaista kypsymistä, nopeuttaa kukintaa ja edistää hedelmällisyyden ja siementen parempaa kehitystä.

Fosforilla on tärkeä rooli kasvien kasvussa, juurien kehityksessä ja lisääntymisessä välttämättömänä makroravintoaineena. Riittämätön fosfori voi johtaa kasvun hidastumiseen, alikehittyneisiin juuriin, kypsymisen viivästymiseen, kukinnan vähenemiseen ja sadon vähenemiseen. Erityisen tärkeää on varmistaa, että vesiviljelykasveilla on riittävästi fosforia optimaaliseen kasvuun, koska ne ovat riippuvaisia yksinomaan veden ravinteista. Kasvien terveen kasvun edistämiseksi ja optimaalisen vedenlaadun ylläpitämiseksi on tärkeää varmistaa akvaponinen järjestelmän tasapainoinen ravinneprofiili. Liiallinen fosfori voi aiheuttaa vedenlaatuongelmia, kuten leväkukintoja. Levät tarvitsevat myös fosforia kasvaakseen. Tehokkaat hoitokäytännöt ylläpitävät tasapainoa kasvien fosforin saatavuuden välillä samalla kun vältetään mahdolliset ekosysteemihäiriöt. Fosfori on rajallinen resurssi luonnollisissa järjestelmissä. Fosforilla on ratkaiseva rooli akvaponiikan kestävyyden ylläpitämisessä sen kierrätyksen ja tehokkaan käytön ansiosta. Tehokas fosforinhallinta voi auttaa vähentämään riippuvuutta ulkoisista syötteistä, kuten fosforilannoitteista, ja vähentämään jätettä.

Vesiviljelyssä oleva fosfori tulee pääasiassa kalanrehusta. Fosfori pääsee veteen kalojen ulostejätteen ja syömättömän ruoan hajoamisen kautta. On tärkeää ylläpitää riittävää fosforin tasoa tarjoamalla laadukasta kalanrehua tasapainoisella ravinnepitoisuudella. Veden pH-taso voi vaikuttaa fosforin hyötyosuuteen. Akvaponisissa järjestelmissä on suositeltavaa pitää pH-taso välillä 6,0-7,0, jotta kasvit ottavat parhaiten fosforia vastaan. Yli 7,0:n pH-tasolla fosforilla on taipumus muodostaa yhdisteitä,

jotka eivät voi enää liueta, mikä puolestaan vähentää sen saatavuutta kasveille. Kun orgaaninen aines, kuten kalojen ulostejätteet ja syömätön rehu, hajoaa, se vapauttaa veteen fosforia. Tämän prosessin lopputulokseen vaikuttavat lämpötilan ja happipitoisuuden vaihtelut. Optimaaliset olosuhteet hajoamiselle ja ravinteiden vapautumiselle ovat korkeammat lämpötilat ja riittävä happi. On kuitenkin tärkeää olla varovainen ja välttää hapenpuutetta, koska se voi johtaa haitallisiin kemiallisiin reaktioihin ja ravinteiden epätasapainoon. Fosforipitoisuuteen vaikuttavat suoraan kalojen määrä järjestelmässä ja rehun määrä. Jos kalakanta on runsaampi ja ruokkii aktiivisesti, tämä voi johtaa veden fosforipitoisuuden nousuun. Kuitenkin, jos kaloja on liikaa tai niitä ruokitaan liikaa, se voi johtaa ylimääräiseen fosforiin. Tämä voi edistää levien kasvua tai aiheuttaa muita vedenlaatuongelmia. Fosfori voi imeytyä väliaineiden, kuten soran tai laajennetun saven pinnalle väliaineita käyttävissä akvaponisissa järjestelmissä. Välineiden puhtaana pitäminen ja biosuodattimien tehokas toiminta on erityisen tärkeää, jotta kasvit pystyvät imemään fosforia helposti. Eri kasveilla on erilaiset fosforin vaatimukset. Esimerkiksi lehtivihannekset tarvitsevat yleensä vähemmän fosforia kuin hedelmäkasvit, kuten tomaatit tai paprikat. On erittäin tärkeää ymmärtää kasvien valinnan ja monimuotoisuuden merkitys järjestelmän tasapainoisen fosforin tarpeen ylläpitämiseksi.

Kasvien fosforin puutteen oireita ovat kasvun hidastuminen, viivästynyt kypsyminen, tummanvihreät tai violetit lehdet (erityisesti vanhemmilla lehdillä) ja heikentynyt kukinta tai hedelmäntuotanto. Lehdille voi myös muodostua nekroottisia (kuolleita) pisteitä. Nämä oireet osoittavat, että järjestelmän fosforitasot ovat liian alhaisia ja ne on korjattava. Liiallinen fosfori voi taas aiheuttaa epätasapainoa muissa tärkeissä ravintoaineissa, kuten raudassa ja sinkissä, mikä voi johtaa puutteisiin. Oireita voivat olla kloroosi (lehtien kellastuminen), erityisesti nuoremmissa lehdissä ja suonien välinen kloroosi (suonten keltaisuus, kun lehdet pysyvät vihreinä). Liiallinen fosfori voi myös edistää levien kukintaa alentamalla happipitoisuutta ja vahingoittamalla kaloja ja hyödyllisiä bakteereja.

3.3. Kalium

Kalium on typen ja fosforin ohella yksi kolmesta kasvien tarvitsemasta ensisijaisesta makroravinteesta. Sillä on ratkaiseva rooli lukuisissa fysiologisissa ja biokemiallisissa prosesseissa, jotka ovat välttämättömiä kasvien terveydelle ja kasvulle.

Kalium säätelee mahan toimintaa ja vedenhallintaa. Hengitysraot ovat pieniä huokosia lehden pinnalla, jotka säätelevät kasvin kaasun ja veden vaihtoa. Kalium säätelee suuaukon sulkeutumista ja avautumista sääteleen vedenottoa ja retentiota ylläpitämällä turgoripainetta (solun seinämän sisällön paine soluseiniä vasten). Kalium toimii yhteistekijänä useille entsyymeille, jotka osallistuvat aineenvaihduntaprosesseihin, mukaan lukien fotosynteesiin, hengitysproteiinisynteesiin ja hiilihydraattiaineenvaihduntaan. Nämä entsymaattiset reaktiot ovat ratkaisevia energiantuotannon ja orgaanisten yhdisteiden tuotannon kannalta kasvien kasvun ja kehityksen kannalta. Kaliumilla on ratkaiseva rooli auttaessaan kasveja kestämään haastavia ympäristöolosuhteita, kuten kuivuutta, äärimmäisiä lämpötiloja ja sairauksia. Sillä on ratkaiseva rooli solujen nestetasapainon ylläpitämisessä, kuivumisen estämisessä ja solujen vakaan pH-tason varmistamisessa. Resilienssillä on ratkaiseva rooli akvaponisessa järjestelmässä, koska kasvit kohtaavat usein erilaisia ympäristöolosuhteita. Kalium vaikuttaa hedelmien ja vihannesten laatuun vaikuttamalla ominaisuuksiin, kuten väriin, kokoon, muotoon, makuun ja säilyvyyden kestoon. Se edistää sokereiden ja tärkkelyksen liikkumista lehdistä varastokudokseen, mikä on erityisen tärkeää hedelmien ja siementen kehitykselle. Kalium vahvistaa soluseiniä tehden kasveista vähemmän alttiita taudeille ja tuholaishyökkäykselle. Se edistää fenoliyhdisteiden ja muiden sekundaaristen metaboliittien synteesiä, jotka toimivat luonnollisina puolustusmekanismeina patogeeneja ja hyönteisiä vastaan.

Akvaponisessa systeemissä kaliumia saadaan kalanrehun ja orgaanisen aineksen hajoamisesta. Kalanrehun luonnollinen kaliumpitoisuus ei kuitenkaan usein riitä tyydyttämään useimpien kasvien, erityisesti paljon kaliumia vaativien kasvien, kuten tomaattien, paprikan ja lehtivihanneksien, tarpeita. Tästä syystä ylimääräisiä kaliumlisäaineita, kuten kaliumsulfaattia (K2SO4) tai kaliumkarbonaattia (KHCO3), saatetaan tarvita riittävän kaliumtason ylläpitämiseksi. Jotta veden kaliumpitoisuus pysyisi optimaalisella alueella (yleensä 20-80 mg/l kasvilajista riippuen), on tärkeää tarkistaa kaliumpitoisuus säännöllisesti. Tämä auttaa estämään puutteita tai liikoja, joilla voi olla negatiivinen vaikutus kasvien terveyteen tai kasvuun.

Kaliumin puutteesta voidaan havaita merkkejä kasvin lehtien reunojen värjäytymisen kautta, alkaen marginaalikloroosina tunnetusta kellastumisvaikutuksesta. Tämä värinmuutos voi kehittyä edelleen ruskeaksi paahteeksi tai kuolioksi, mikä johtaa kuolleeseen kudosten lehtien kärkiin ja reunoihin, erityisesti vanhemmissa lehdissä. Muita indikaattoreita ovat kasvin varret, joista puuttuu voimaa, riittämätön juurien kasvu, heikentynyt kukinta ja vähentynyt sadontuotanto. Kasvit, joilla on kaliumin puutos, ovat alttiimpia taudeille ja ympäristön stressitekijöille. Liiallinen kaliumin määrä ei ole yleistä akvaponisessa järjestelmässä, mutta se voi aiheuttaa ongelmia, koska kalium on vuorovaikutuksessa muiden tärkeiden ravintoaineiden, kuten kalsiumin ja magnesiumin kanssa. Tämä voi johtaa näiden ravintoaineiden puutteeseen. Liiallinen kalium voi johtaa myös muunlaisiin oireisiin, kuten kloroosiin, lehtien käpristymiseen tai ruskeutumiseen, erityisesti nuorissa lehdissä, ja kasvun hidastumiseen. Vakava ravinteiden epätasapaino voi johtaa kasvien terveyden ja elinvoiman heikkenemiseen.

3.4. Mikroravinteet

Vaikka mikroravinteita tarvitaan pienempiä määriä kuin makroravinteita (typpi, fosfori, kalium), niillä on ratkaiseva rooli kasvien kasvussa, kehityksessä ja tuottavuudessa. Näillä ravintoaineilla on tärkeä rooli entsymaattisissa reaktioissa, olennaisten molekyylien synteesissä ja kasvien aineenvaihdunnan, rakenteen ja taudinkestävyyden eri näkökulmissa. Mitä tulee akvaponiseen systeemiin, vedessä olevilla ravintoaineilla on tärkeä rooli kasvien terveyden tukemisessa ja sadon maksimoinnissa.

Ensisijainen hivenravinteiden lähde akvaponisessa järjestelmässä on kalanrehu. Kalanrehu sisältää sekoituksen ravintoaineita, mukaan lukien hivenaineita, kuten rautaa, rikkiyhdisteitä, sinkkiä, mangaania, kuparia, booria jne. Kun kalat syövät rehun, nämä ravinteet vapautuvat järjestelmään yhdessä kalojen ulostejätteen kanssa. Eri bakteerit, jotka kolonisoivat biosuodattimen, sulattavat ravinteita edelleen, mikä tarjoaa nämä alkuaineet kasvien saataville. Jos tiettyjen kasvien, esimerkiksi paljon rautaa kuluttavan salaatin, kasvintuotanto pysähtyy tiettyjen mineraalipuutteiden vuoksi, järjestelmää voidaan täydentää lisäämällä kelatoituja hivenravinteita. Tällaiset lisäravinteet eivät vahingoita kaloja tai kasveja, kun niitä käytetään vastuullisesti ja annostukset on harkittu huolellisesti.

RAUTA (Fe)

Rauta on välttämätön hivenaine, joka on osa useita molekyylejä ja prosesseja, mukaan lukien fotosynteesiä. Rauta on vastuussa elektronien kuljetuksesta kasvisoluissa, erityisesti kloroplasteissa ja mitokondrioissa fotosynteesin ja vastaavasti hengityksen aikana. Rauta on myös osa entsyymisynteesiä, joka vastaa typen sitomisesta ja energiansiirrosta. Akvaponisessa järjestelmässä yleisin hivenravinteiden puutos on raudanpuute – tämä johtaa suonien väliseen kloroosiin. Yleisimmin raudanpuute ilmenee lehtivihanneksilla, kuten salaateilla ja pinaatilla, sekä eräillä hedelmävihanneksilla, kuten tomaateilla ja paprikoilla.

SINKKI (Zn)
Sinkki on kofaktori useille entsyymeille, jotka osallistuvat DNA:n transkriptioon ja hormonien säätelyyn (auksiinit). Sillä on tärkeä rooli solukalvojen eheyden ylläpitämisessä ja hiilihydraattien aineenvaihdunnassa. Sinkki osallistuu myös klorofyllin ja joidenkin hiilihydraattien synteesiin; sinkkitasot vaikuttavat kasvin vedenottokykyyn ja -käyttöön. Tryptofaanin synteesiä säätelee sinkki, joka on auksiinien esiaste. Sinkin puutteet hidastavat kasvien kasvunopeutta, vääristävät lehtiä ja vähentävät nivelten välistä venymistä. Kasvilajista riippuen sinkin tarve voi vaihdella. Kasveilla, kuten pavuilla, maissilla ja vehnällä, on korkeampi sinkin tarve optimaaliseen satoon.

RIKKI (S)
Rikillä on tärkeä rooli kasvien kasvussa, aineenvaihdunnassa ja yleisessä terveydessä vesiviljelyssä. Se on välttämätön aminohappojen, proteiinien, vitamiinien ja koentsyymien syntetisoinnissa, jotka ovat tärkeitä kasvien kehitykselle. Tämä aine on ratkaisevan tärkeä klorofyllin muodostumiselle ja fotosynteesiprosessille. Se auttaa myös kasveja käyttämään tehokkaasti ravinteita, erityisesti typpeä, ja parantaa viljelykasvien makua, hajua ja kykyä torjua sairauksia. Rikin puute voi johtaa kloroosiin, joka on nuorten lehtien kellastuminen. Tämä voi myös hidastaa kasvua ja estää kukinnan. Säännöllinen seuranta ja tasapainoinen ravinteiden hallinta ovat ratkaisevan tärkeitä kasvien terveyden ylläpitämisen ja sadon optimoinnin kannalta akvaponisessa järjestelmässä. Rikki saadaan kalanrehusta, sulfaattipitoisista lisäaineista ja hajoavasta orgaanisesta aineesta.

MANGAANI (Mn)
Mangaani on tärkeä osa fotosynteesiä; sillä on suora rooli vedenjakoprosessissa fotosynteesin aikana. Mangaani aktivoi useita kasvien aineenvaihdunnassa tärkeitä entsyymejä, esimerkiksi typen ottoa ja rasvahappojen synteesiä osallistuvia entsyymejä. Mangaanin avulla muodostuu myös rakenteellinen soluseinäkomponentti ligniini. Viljelykasvit, kuten soija, vehnä ja kaura, ovat erityisen riippuvaisia mangaanin lisäyksestä. Mangaanin puutokselle on ominaista suonien välinen kloroosi, erityisesti nuorissa lehdissä.

BOORI (B)
Soluseinien muodostumista ja niiden pysyvyyttä säätelee boori – se auttaa pektiinin (eräs kasveissa esiintyvä polysakkarideityyppi) silloittumisessa. Boori osallistuu hiilihydraattien translokaatioon ja aineenvaihduntaan. Boorilla on myös merkittävä rooli kasvien hormonitasojen, siementen ja hedelmien kehityksen sekä siitepölyn itämisen säätelyssä. Boorin puute ilmaistaan soluseinien kehitysongelmina, jotka johtavat hauraisiin varsiin, epämuodostuneisiin hedelmiin ja siementen hedelmättömyyteen tai muodonmuutokseen. Boori on erityisen tärkeä juurikasveille, hedelmävihanneksille ja palkokasveille.

KUPARI (Cu)
Kupari on tärkeä mikroravinne, joka on välttämätön elektronien kuljetusketjulle. Kupari osallistuu useiden entsyymien toimintaan, erityisesti niiden, jotka osallistuvat fotosynteesiin ja hengitykseen. Ligniinin synteesi tapahtuu myös kuparin läsnä ollessa, mikä vahvistaa verisuonikudosta. Kasvin puolustusjärjestelmää tuholaisia vastaan ja sekundääristen metaboliittien (fenoliyhdisteiden) tuotantoa sääntelevät kuparin aktivoimat entsyymit. Kuparin puute voi aiheuttaa vääristyneitä lehtiä, kasvien kudoskuolemaa lehtien kärjissä, häiriintynyttä kukintaa ja lisätä herkkyyttä sienitaudeille. Kupari on erityisen tärkeää viljakasveille ja palkokasveille, joissa taudinkestävyys on erittäin tärkeää.

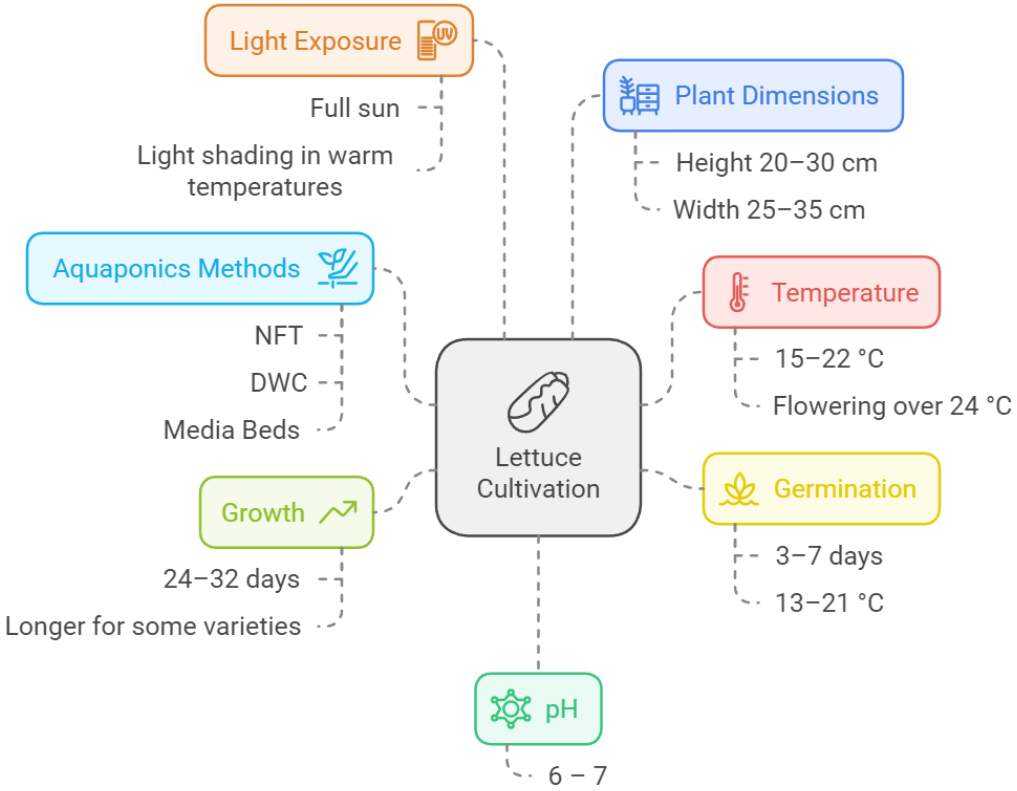
MOLYBDEENI (Mo)
Molybdeeni osallistuu kasvien typen aineenvaihduntaan – se on nitraattireduktaasin ja nitrogenaasin komponentti. Se auttaa myös aminohappojen synteesiä, proteiinien rakennuspalikoita. Jos molybdeenin pitoisuus on alhainen tai se ei ole kasvien, erityisesti palkokasvien, saatavilla, typen

sitoutuminen voi häiriintyä, mikä vähentää kasvunopeutta. Myös kasveilla, kuten kukkakaalilla tai parsakaalilla, voi olla selviä merkkejä molybdeenin puutteesta, koska niillä on vääristynyt lehtimuoto.

4. Kasvilajien valinta

4.1. Vihreälehtiset

Lehtisalaatti



Salaatin kasvattaminen akvaponisessa systeemissä
Salaatin ravinnetarve on alhainen ja se on kuitenkin erittäin satoisa, joten se soveltuu hyvin kaupalliseen viljelyyn. Salaatti on yleensä talvisadon kasvi, johon yli 26 Celcius asteisen veden lämpötila aiheuttaa katkeran maun. Salaatin kasvatuksen prosessi koostuu kolmesta eri vaiheesta: itäminen, istuttaminen ja ylläpito/hoito. Väliaineen tulee olla kostea eikä märkä, koska siemenet pitävät siitä parempana.

Idätys ja istuttaminen
Salaatin itäminen kestää yleensä 3–7 päivää noin 13–21 ◦C:n lämpötiloissa. Kun salaatin taimet ovat noin kolmen viikon ikäisiä ja niissä on 2–3 todellista lehteä, on turvallista istuttaa ne akvaponiseen yksikköön. On suositeltavaa antaa salaateille hieman ylimääräistä fosforia toisella tai kolmannella viikolla ennen niiden siirtämistä. Tämä antaa niille hieman enemmän juurten kasvua ja "kovettaa" kasvit, jotta ne eivät stressaantuisi. Ulkona kasvatettaessa on hyvä altistaa salaatin taimet vähitellen normaaleille kasvuolosuhteille - kuten kylmemmille lämpötiloille ja suoralle auringonvalolle - 3-5 päivää ennen niiden virallista istuttamista. Tämän pitäisi antaa heille runsaasti aikaa sopeutua elementteihin. Lisäksi kasvien “kovettuminen” altistamalla taimet kylmemmille lämpötiloille ja suoralle auringonvalolle 3–5 päivän ajan ennen istutusta parantaa niiden selviytymisastetta. Kun salaattia istutetaan lämpimällä säällä, laita kasvien päälle kevyt aurinkosuoja 2–3 päiväksi vesistressin välttämiseksi.

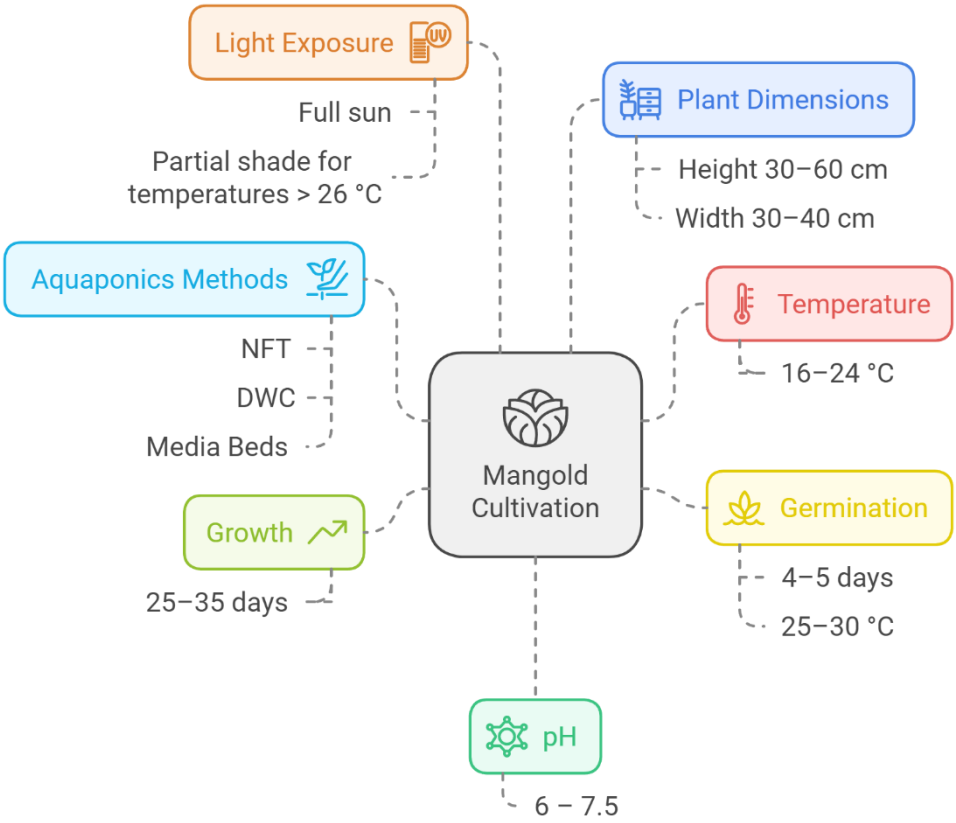
Ylläpito ja hoito

Rapean ja makean lehtisalaatin saamiseksi on välttämätöntä viljellä kasveja nopeasti varmistamalla kasvuympäristön korkea nitraattipitoisuus. Kun sekä ilman että veden lämpötilat nousevat läpi kauden, kannattaa käyttää kestäviä (kesä)lajikkeita. Viljeltäessä kasvatuspenkissä on suositeltavaa istuttaa uusia salaatteja alueille, joissa ne saavat osittaista varjoa korkeammilta naapurikasveilta.

Sadonkorjuu

Sadonkorjuu voidaan aloittaa kun lehdet ovat saavuttaneet riittävän suuren koon. Suunnattaessa markkinoille on suositeltavaa poistaa kasvin juuret, kun haluttu markkinapaino (250–400 g) on saavutettu sadonkorjuun aikana ja siirtää ne kompostiastiaan. On suositeltavaa aloittaa sadonkorjuu aikaisin aamulla, kun lehdet ovat rapeita ja sisältävät runsaasti kosteutta, minkä jälkeen jäähdytetään nopeasti.

Sveitsin mangoldi

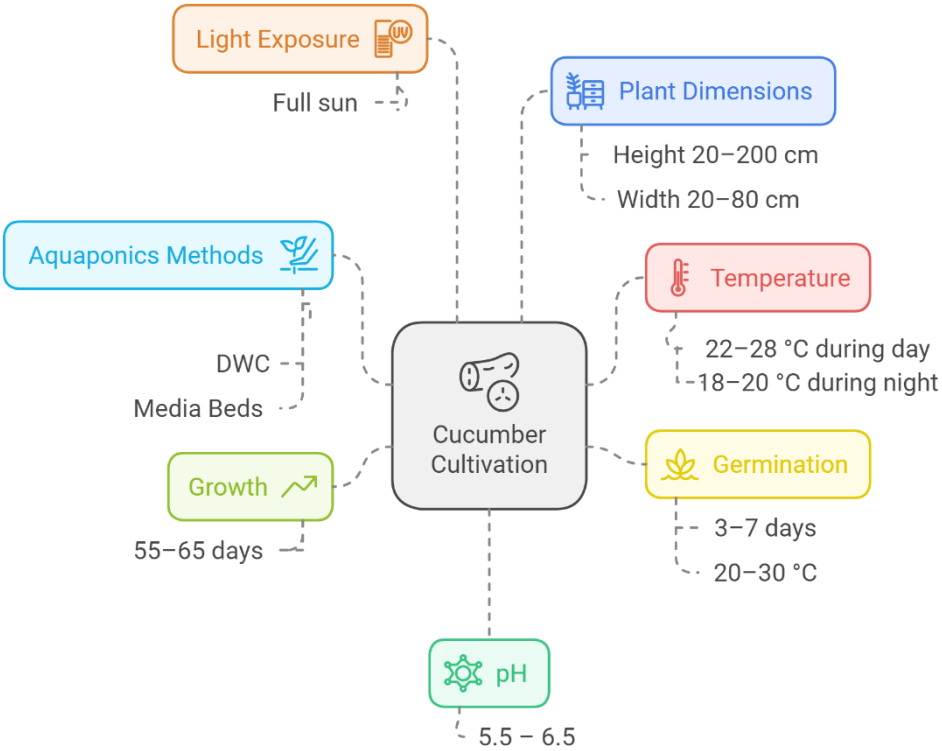


Kasvatusohjeet
Mangoldin siemenet tuottavat enemmän kuin yhden taimen; siksi harvennuksia tarvitaan, kun taimet alkavat kasvaa. Kun kasvit kasvavat ja vanhenevat kauden aikana, vanhemmat lehdet voidaan poistaa uuden kasvun edistämiseksi.

Sadonkorjuu
Mangoldin lehtiä voidaan korjata jatkuvasti heti, kun ne saavuttavat sopivan koon. Isompien lehtien poistaminen helpottaa tuoreiden lehtien kehittymistä. Vältä vahingoittamasta kasvin keskellä olevaa kasvupistettä sadonkorjuun aikana.

Kuva 5. Mangoldia kasvamassa akvaponisen viljelyn kasvatusaltaassa, jossa käytetään laajennettua savea.

4.2. Kurkku



Kurkkujen kasvattaminen akvaponisessa systeemissä
Kurkut viihtyvät pitkittyneillä korkeilla lämpötiloilla, kosteudella, runsaalla auringonvalolla ja lämpimillä öillä. Ihanteelliset kasvulämpötilat vaihtelevat 24–27 °C koko päivän ajan, ja suhteellinen kosteus on 70–90 %. Valmistukseen sopiva alustan lämpötila on noin 21 °C. Kasvit lopettavat kasvun ja tuotannon 10-13 °C:n lämpötiloissa. Kurkut tarvitsevat huomattavia määriä typpeä ja kaliumia; siksi kasvien määrää valittaessa tulee ottaa huomioon vedessä olevat ravinteet ja kalakannan biomassa.

Kurkkujen kasvatus akvaponisessa järjestelmässä sisältää useita vaiheita istutuksesta sadonkorjuuseen. On myös tärkeää tarjota asianmukainen kasvien hoito, mukaan lukien asianmukainen karsiminen, pölytys ja tuholaistorjunta.

Kuva 6. Kurkkua kasvatetaan hydroponisissa ravinnekalvon kasvukanavissa.

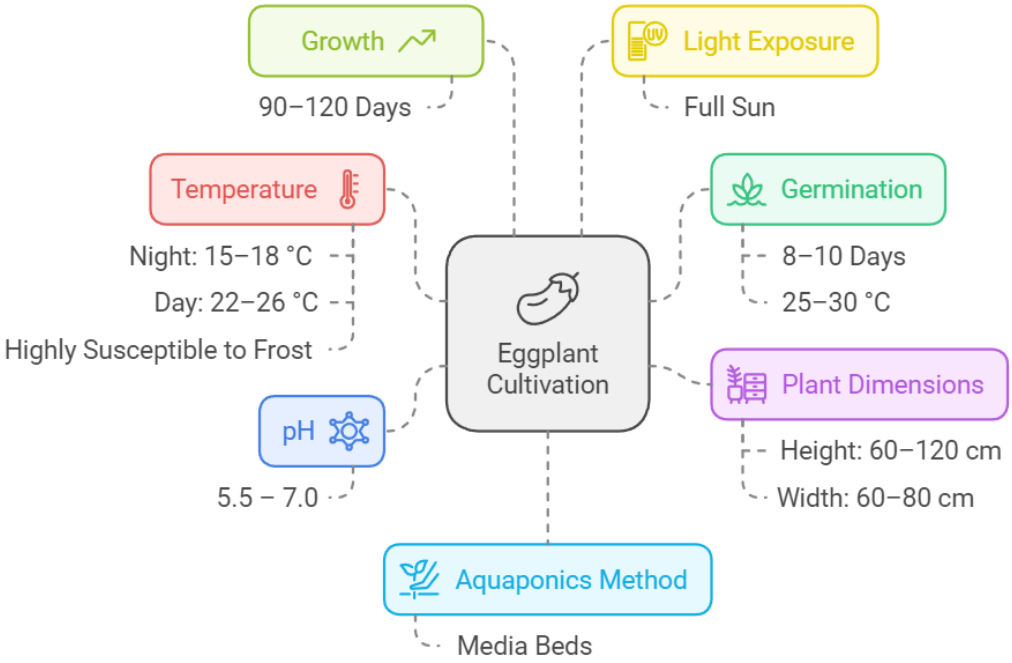
Istuttaminen
Kurkun taimet voidaan istuttaa akvaponinen järjestelmään, kun ne ovat 2-3 viikon ikäisiä, yleensä 4-5 lehtivaiheessa. Tässä vaiheessa ne ovat riittävän kestäviä, jotta ne eivät kärsi siirtymän aiheuttamasta stressistä ja alkavat imeä ravinteita akvaponinen järjestelmästä.

Kasvatusohjeet
Kurkkukasvit kasvavat erittäin nopeasti ja niiden kasvuvoimaa on hyvä rajoittaa ja ravinteita ohjata hedelmiin leikkaamalla niiden kärjet, kun varsi on kaksi metriä pitkä; sivuhaarojen poistaminen edistää myös ilmanvaihtoa. Myöhempi kasvin pidennys voidaan saavuttaa pitämällä vain kaksi kaukaisimmasta silmua, jotka tulevat esiin päävarresta. Kasveja stimuloidaan tehostamaan tuotantoa keräämällä järjestelmällisesti hedelmiä, jotka saavuttavat myyntikelpoisen koon (> 180 g viipalointityypeillä). Pölyttävien hyönteisten olemassaolo on välttämätöntä tehokkaan lannoituksen ja hedelmän kehityksen kannalta. Kurkkukasvit tarvitsevat tukea optimaaliseen kasvuun, mikä varmistaa myös riittävän ilmanvaihdon lehtisairauden, kuten härmän ja harmaahomeen, torjumiseksi. Koska kurkkukasveissa esiintyy paljon tuholaisia, on tärkeää suunnitella asianmukaiset integroidut tuholaistorjuntastrategiat (katso luku 6) ja vuorovaikuttaa kasviyksikkö kasveilla, joihin mahdolliset käytetyt käsittelyt vaikuttavat vähemmän.

Sadonkorjuu
Istutuksen jälkeen kurkut voivat aloittaa tuotannon 2–3 viikon kuluttua. Optimaalisissa olosuhteissa kasveja voidaan korjata 10–15 kertaa. Kerää sato muutaman päivän välein, jotta hedelmistä ei tule liian suuria ja suosii seuraavien hedelmien kasvua.

4.3. Koisokasvit

Munakoiso



Munakoison kasvattaminen akvaponisessa systeemissä

Munakoiso on kesäinen hedelmävihannes, joka kasvaa hyvin kasvualustassa juurijärjestelmän syvän kasvun ansiosta. Kasvit voivat tuottaa 10–15 hedelmää, jolloin kokonaissato on 3–7 kg. Munakoisot edellyttävät kohonneita typpi- ja kaliumtasoja, mikä edellyttää huolellisia hoitopäätöksiä kussakin akvaponiikkayksikössä viljeltyjen kasvien määrästä ravitsemuksellisten epätasapainojen estämiseksi.

Kuva 7. Munakoiso, joka on kasvatettu vesiviljelyssä tiputusjärjestelmällä.

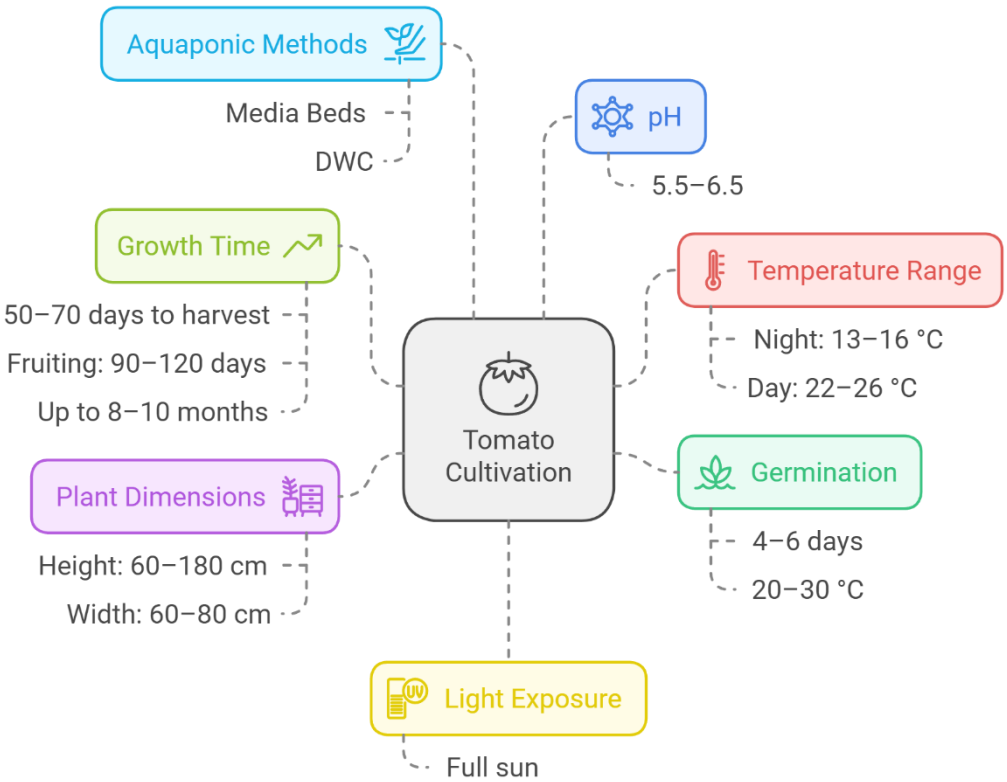
Kasvatusohjeet

Siemenet itävät 8–10 päivässä lämpimässä (26–30 °C). Taimet voidaan istuttaa 4–5 lehden kohdalla. Kasvit voidaan istuttaa, kun lämpötila nousee keväällä. Aloita kesäkauden lopulla uusien kukkien nipistäminen edistääksesi olemassa olevien hedelmien kypsymistä. Kauden lopussa kasveja voidaan leikata rajusti 20–30 cm:n korkeudella jättämällä vain kolme oksaa. Tämä menetelmä keskeyttää sadon poistamatta kasveja epäsuotuisina aikoina (talvi, kesä) ja antaa sadon käynnistää tuotannon uudelleen

sen jälkeen. Kasveja voidaan kasvattaa ilman karsimista; rajoitetuissa tiloissa tai kasvihuoneissa oksien hallintaa voidaan kuitenkin helpottaa paaluilla tai pystysuorilla nauhoilla.

Sadonkorjuu
Aloita sadonkorjuu, kun munakoisot ovat 10–15 cm pitkiä. Ihon tulee olla kiiltävä; tylsä ja keltainen kuori on merkki munakoison ylikypsästä. Viivästynyt sadonkorjuu tekee hedelmistä myyntikelvottomia, koska niiden sisällä on siemeniä. Leikkaa munakoiso terävällä veitsellä kasvista jättäen vähintään 3 cm varresta kiinni hedelmään.

Tomaatti



Kasvatusohjeet
Aseta panokset tai kasvien tukirakenteet ennen istutusta juurivaurioiden estämiseksi. Istuta taimet yksiköihin 3–6 viikkoa itämisen jälkeen, kun taimi on 10–15 cm pitkä ja yölämpötila jatkuvasti yli 10 °C. Istuttaessasi taimia, vältä kasvien olosuhteita kasvin kauluksen ympärillä, jotta vähennät sairauksien riskiä. Kun tomaatin taimien korkeus on noin 60 cm, aloita kasvutavan määrittäminen (pensas tai yksivarsi) karsimalla tarpeettomia yläoksia. Irrota lehdet päävarren alaosasta 30 cm päästäksesi parempaan ilmankiertoon ja vähentääksesi sienitapahtumia. Leikkaa kaikki lisäimurit hedelmän kasvun edistämiseksi. Poista jokaisen hedelmän oksat peittävät lehdet pian ennen kypsymistä edistääksesi ravintovirtausta hedelmiin ja nopeuttaaksesi kypsymistä.

Kuva 8. Ravinnekalvotekniikan kasvukanavissa kasvatetut tomaatit.

Sadonkorjuu
Parhaan maun saamiseksi korjaa tomaatit, kun ne ovat kiinteitä ja täysin värillisiä. Hedelmät jatkavat kypsymistä, jos ne poimitaan puolikypsinä ja tuodaan sisätiloihin. Hedelmät säilyvät helposti 2–4 viikkoa 5–7 °C:ssa 85–90 % suhteellisessa kosteudessa.

Potatoes

pH: 5.5 – 6.5
Lämpötila-alue: 15-20 °C
Kasvatusaika: 70 - 90 days

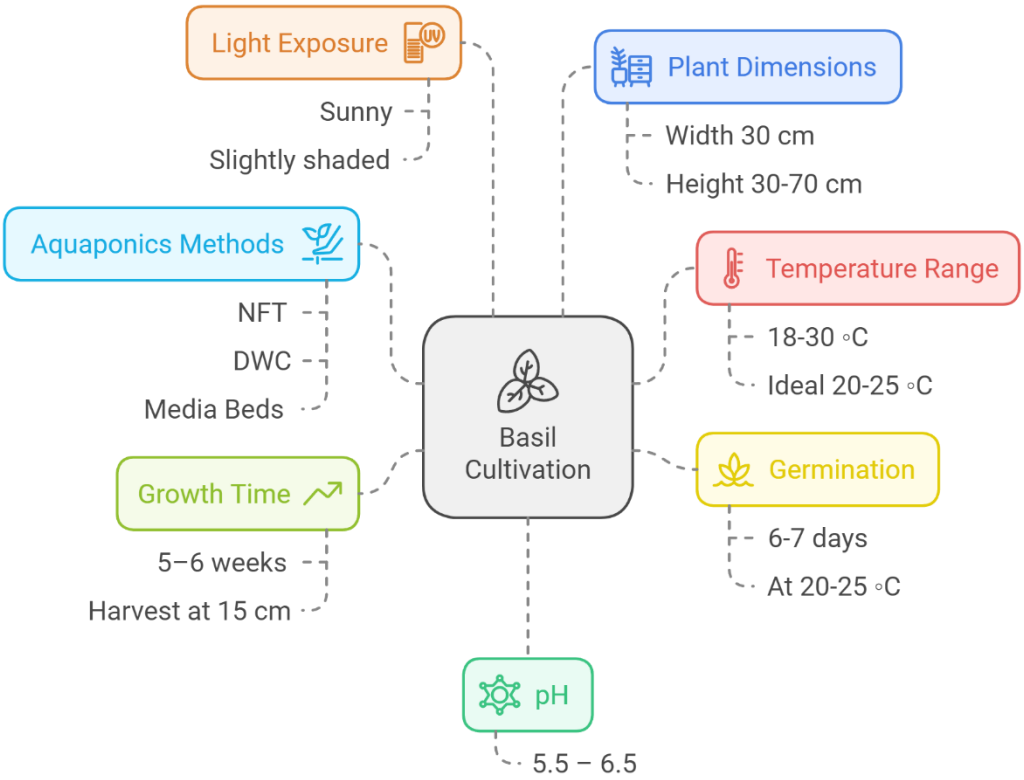
Perunat sisältyvät tähän raporttiin, koska niitä voidaan kasvattaa aeroponisesti. On tärkeää valita oikea perunalajike, joka voi menestyä aeroponiikkajärjestelmässä hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Nämä lajikkeet on suunniteltu kasvamaan maattomissa ympäristöissä ja tuottamaan paremman sadon kuin perinteinen maaperäpohjainen menetelmä.

Ylläpito ja hoito
On tärkeää pitää järjestelmän kaikki osat puhtaina haitallisten bakteerien ja sairauksien estämiseksi. Yleisiä perunatuholaisia, kuten kirvoja, kovakuoriaisia ja valkokärpäsiä, tulee käsitellä ja valvoa asianmukaisesti.

Sadonkorjuu
Ihanteellinen aika perunoiden keräämiseen on, kun kasvit alkavat kellastua ja kuolla.
Sadonkorjuu on erittäin helppo prosessi. Poista vain kasvi järjestelmästä ja revi perunat juurista. Sadonkorjuun jälkeen peruna tulee kovettaa sen maun ja säilyvyyden parantamiseksi. Tämä prosessi sisältää perunoiden sijoittamisen viileään, pimeään ja hyvin ilmastoituun paikkaan 10–14 päiväksi.

4.4. Yrtit ja mausteet

Basilika



Basilikan kasvattaminen akvaponisessa systeemissä
Prosessi koostuu kolmesta vaiheesta: itäminen, istuttaminen ja ylläpito/hoito. Väliaineen tulee olla kostea eikä märkä, koska siemenet pitävät siitä parempana.

Idätys ja istuttaminen
Kun käytät siemeniä, laita siemenet kasvualustaan (kivivilla, kookoskuidut, luonnonsieni, turve). Noin 20-25 Celcius asteen lämpötilassa siementen itämisen pitäisi kestää 6-7 päivää. Taimet voidaan istuttaa, kun kasveissa on 4-5 todellista lehteä.

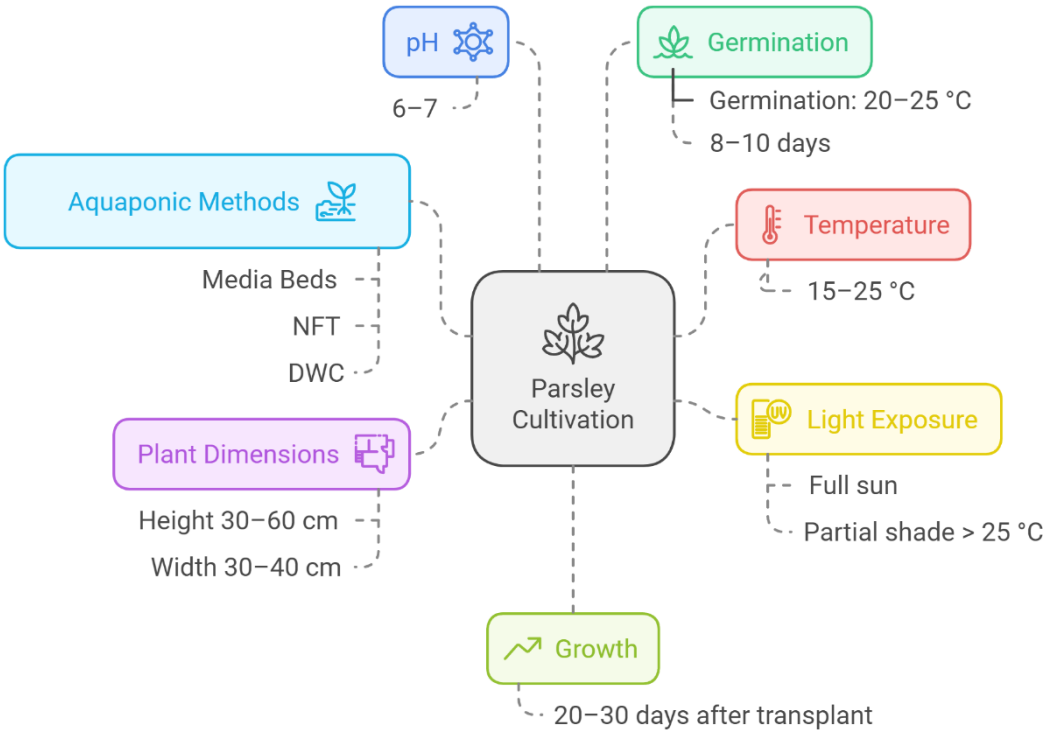
Ylläpito ja hoito
Basilika nauttii lämpimissä lämpötiloissa kasvamisesta ja se voidaankin sijoittaa suoraan auringon alle. Kuitenkin, kun päivälämpötila on yli 27 Celcius astetta, kasvit tulee tuulettaa ja/tai peittää varjoverkoilla kärkien palamisen estämiseksi. Basilikaan voivat vaikuttaa erilaiset sienitaudit, kuten Fusarium näivettyminen, harmaahome ja mustat täplät, erityisesti optimaalisten lämpötilojen ja korkean kosteuden olosuhteissa. Ilmanvaihto ja yli 21 Celcius asteen lämpöinen vesi päivällä ja yöllä auttavat vähentämään kasvien stressiä ja sairauksia.

Kuva 9. Basilikaa kasvamassa syvässä vesiviljelyssä.

Sadonkorjuu
Lehtien korjuu alkaa, kun kasvit saavuttavat 15 cm korkeuden ja jatkuvat 30–50 päivää. Tätä varten on tarpeen leikata noin 5 mm solmun yli. Käsitellessä lehtiä sadonkorjuun aikana tulee olla varovainen, jotta vältetään lehtien mustelmia ja mustuminen.

Kasvin kehityksen aikana on suositeltavaa leikata kukinnan kärjet pois lehtien katkeruuden estämiseksi ja oksaamisen edistämiseksi. Basilikan kukinnot houkuttelevat pölyttäjiä ja hyödyllisiä hyönteisiä; siksi muutaman kukkivan kasvin säilyttäminen voi parantaa puutarhan yleistä terveyttä ja tarjota jatkuvaa basilikansiementen saantia.

Persilja



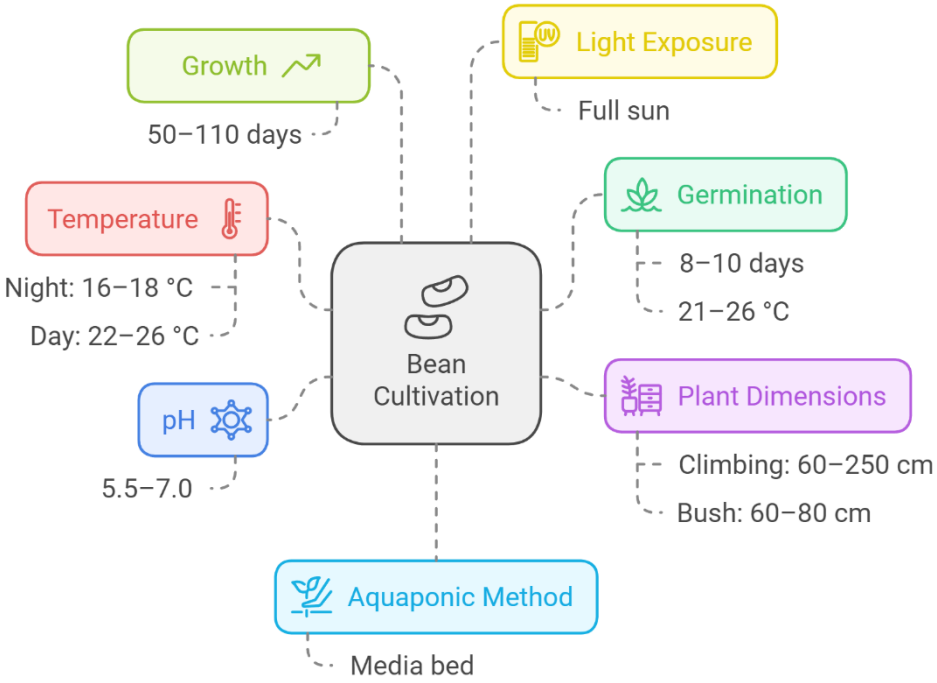
Persiljan kasvattaminen akvaponisessa systeemissä
Persilja on hyvin yleinen yrtti, jota kasvatetaan sekä kotimaisissa että kaupallisissa vesiviljelylaitoksissa ravintosisällönsä (runsaasti A- ja C-vitamiinia, kalsiumia ja rautaa) ja korkean markkina-arvon ansiosta. Persilja on helppo kasvattaa, koska ravintoaineiden tarve on suhteellisen pieni muihin vihanneksiin verrattuna.

Kasvatusohjeet
Suurin haaste persiljan kasvatuksessa on itämisen alkuun saaminen, joka voi kestää jopa 2–5 viikkoa siementen tuoreudesta riippuen. Itämisen nopeuttamiseksi siemenet voidaan upottaa lämpimään veteen (20–23 °C) 24–48 tunniksi ennen kylvämistä, mikä pehmentää siemenkuoret. Tämän jälkeen poista vesi ja istuta siemenet kasvualustalle. Nousevat taimet muistuttavat ruohoa, ja niissä on kaksi siroa siemenlehteä vastakkain. Istuta taimet akvaponiikkayksikköön 5–6 viikon kuluttua aikaisin keväällä.

Sadonkorjuu
Sadonkorjuu aloitetaan, kun kasvin yksittäiset varret ovat vähintään 15 cm pitkiä. Korjaa ensin kasvin ulommat varret, koska tämä edistää kasvua koko kauden ajan. Jos vain ylälehtiä leikataan, varret jäävät

jäljelle ja kasvi on vähemmän tuottava. Persilja kuivuu ja jäätyy hyvin. Kuivattuna kasvit voidaan murskata käsin ja säilyttää ilmatiiviissä astiassa.

4.5. Pavut



Papujen kasvattaminen akvaponisessa systeemissä
Sekä kiipeily- että pensaspapulajikkeet kasvavat hyvin akvaponiikkayksiköissä, mutta ensimmäistä suositellaan pienempään tilankäyttöön, mikä maksimoi akvaponikopan käytön. Kiipeilytyypit voivat tuottaa 2–3 kertaa enemmän paloja kuin pensasmuunnelmat. Pavut tarvitsevat vähän nitraattia, mutta niillä on kohtalainen fosfaatin ja kaliumin tarve. Pavun ravinnetarpeet tekevät niistä optimaalisen valinnan vesiviljelyyn, kun taas liialliset nitraattipitoisuudet voivat haitata kukintaa. Papuja suositellaan äskettäin rakennettuihin yksiköihin, koska ne pystyvät korjaamaan itsenäisesti ilmakehän typpeä.

Kasvatusohjeet napapavuille
Viljely-yksiköissä siemenet kylvetään suoraan kasvupetiin 3–4 cm:n syvyyteen (varmista, että sifoni on ulkona, jotta veden taso on korkea itämisen aikana). Papuja ei voi istuttaa kunnolla, minkä vuoksi niitä on vaikea kasvattaa NFT-putkissa. Tukipaalut tulee sijoittaa ennen siementen itämistä, jotta vältytään juurivaurioilta. Kylvössä tulee olla varovainen, ettei tule ristivarjostusta muiden kasvien kanssa. Pavut ovat herkkiä kirville ja hämähäkkipunkeille. Vaikka tällaisten tuholaisten vähäistä esiintymistä voitaisiin torjua mekaanisilla korjaustoimenpiteillä, on kiinnitettävä huomiota seurakasvien valintaan, jotta vältetään ristikontaminaatio, jos jokin käsittely on suoritettava.

Sadonkorjuu
Snap papulajikkeet (vihreät tai keltaiset vahapavut) - Palkojen tulee olla kiinteitä ja rapeita sadonkorjuun aikana; sisällä olevien siementen tulee olla kehittymättömiä tai pieniä. Pidä toisella kädellä kiinni varresta ja toisella palkosta, jotta vältytään oksien irtoamiselta. Poimi kaikki mahdolliset palkot, jotta kasvit pysyvät tuottavina.

Kuoripavut (mustat, leveät tai favapavut) - Valitse nämä lajikkeet, kun palkojen väri muuttuu ja sisällä olevat pavut ovat täysin muodostuneet, mutta eivät kuivuneet. Palojen tulee olla täyteläisiä ja kiinteitä. Laatu heikkenee, jos ne jätetään kasveille liian pitkäksi aikaa.

Kuivatut pavut (munuaispavut ja soijapavut) - Anna palojen kuivua mahdollisimman kuivua ennen kylmemmän sään tuloa tai kun kasvit ovat muuttuneet ruskeiksi ja menettäneet suurimman osan lehtistään. Palot halkeavat helposti erittäin kuivina, mikä tekee siementen poistamisesta helpon prosessin.

5. Viljelykäytännöt

5.1. Siementaimien kasvualustat

Akvaponinen viljely on kestävä maatalousmenetelmä, jossa yhdistyvät kalojen kasvatus ja kasvien vesiviljely. Siihen vaikuttaa merkittävästi taimien huolellinen hoito, mikä edistää kasvien vahvaa kehitystä. Kasvun alkuvaiheessa kasvualustan ja ruukkutyypin valinta on tärkeää, sillä se vaikuttaa suoraan juurien terveyteen, ravinteiden imeytymiseen ja istutuksen helppouteen. Tämä luku tarjoaa analyysin erilaisista akvaponisessa järjestelmässä usein käytetyistä kasvualustoista ja ruukkutyypeistä. Sen tavoitteena on auttaa harjoittajia tekemään tietoisia valintoja, jotka optimoivat taimien terveyden ja järjestelmän tehokkuuden.

Kookoskuitu (coir)

Kookoskuitu on peräisin kookosteollisuudesta, kun kookoksen sisäpuoli erotetaan ulkokuoresta. Sekä hydroponisessa viljelyssä, että akvaponisessa järjestelmässä sitä käytetään sen kuiturakenteen ansiosta, mikä varmistaa kasvien juurien ilmastuksen ja vedenpidätyskyvyn. Kookoskuidun korkea vedenpidätyskyky auttaa taimea kosteuden saannissa ja auttaa välttämään nuorten juurien kuivumista, kun taas sen ilmastuskyky estää juurten liiallisen kastumisen ja siten niiden mätänemisen.

Kookoskuitu on suhteellisen jähmeä materiaali siinä mielessä, että se ei sisällä paljoa ravinteita tai pH-arvoa vaihtelevia aineita. Tämän välttämiseksi on tärkeää aloittaa taimen ravitseminen tarvittavilla kasviravinteilla – usein käytetään mietoja lannoitteita tai tarvittaessa vettä akvaponisesta järjestelmästä. Muihin mineraalipohjaisiin kasvualustoihin verrattuna kookoskuitu on kestävä materiaali, joka on uusiutuva ja ympäristöystävällinen vaihtoehto.

Kookospähkinä soveltuu erinomaisesti monenlaisille taimille, erityisesti niille, jotka ovat alttiita liialliselle kastelulle. Alustan kyky ylläpitää tasaista kosteusympäristöä tekee siitä mukautuvan erikokoisiin akvaponisiin järjestelmiin, aina pienestä keskikokoiseen. Taimille tarkoitettu kookoskuitu on yleensä muodoltaan tulppa, joka on kostutettava ennen käyttöä. Monissa hydroponisissa ja akvaponisissa järjestelmissä nämä tulpat ovat suositeltavia välineitä taimien tuotantoon. Kookoskuitu on biohajoavaa päinvastoin kuin mineraalikasvualustat. Vaikka kookoskuitu on eniten käytetty istutusmateriaali, on huomioitava, että tulppien kuidut ovat kuitenkin löysiä ja kun riittävän voimakas vesivirtaus kohdistuu ruukkuun/taimiin, voi kookoskuitumateriaali huuhtoutua pois ja kulkeutua läpi koko järjestelmän. Jos kookoskuidut kulkeutuvat kaikkialle järjestelmään, on silloin suositeltavaa asentaa mekaaninen suodatin tämän estämiseksi.

Kuva 10. Kookoskuorista saatu kookoskuitu, kookostulpat taimille.

Perliitti

Perliitti on vulkaanista alkuperää oleva kevyt materiaali, lasimainen mineraali, jota on paisutettu kuumentamalla materiaalia. Materiaalille on ominaista korkea huokoisuus; siksi se toimii erinomaisena alustana juurien ilmastukseen. Kevyen ja huokoisen rakenteen ominaisuus tekee tästä erinomaisen alustan taimille, jotka vaativat runsaasti hapetusta juurista. Verrattuna kookoskuituun, joka on orgaaninen materiaali, perliitti ei hajoa tai muuta ympäristön pH-arvoa, johon se asetetaan, mikä takaa sen stabiilisuuden useiden kasvukausien ajan.

Perliitillä on kuitenkin alhainen vedenpidätyskyky, mikä tarkoittaa, että tässä substraatissa kasvatettu taimi vaatisi useammin kastelua tai jatkuvaa kastelua. Nuorille taimille, jotka eivät ole muodostaneet kunnollista juurijärjestelmää, tämä voi olla haitta, koska juurten kuivumisen ja taimien rasituksen riski kasvaa. Valmistusprosessin aikana perliitti laajenee lämmössä ja voi sisältää pieniä pölyhiukkasia, jotka voivat olla vaarallisia materiaalia käsiteltäessä, sillä pölyhiukkaset voivat päätyä hengityksen mukana keuhkoihin. Nämä pienet hiukkaset voivat myös tukkia suodattimet ja vahingoittaa vesipumppuja. Pölyhiukkasten leviämisen estäminen järjestelmän sisällä on mahdollista pesemällä materiaali perusteellisesti ennen käyttöä. Perliittiä on parasta käyttää yhdessä muiden kasvualustojen kanssa, jotta saadaan hyödynnettyä tämän materiaalin huokoisuus- ja ilmastusedut, esimerkiksi kookoskuidun kanssa – tämä toisi myös kookoskuitujen vedenpidätysedut. Eri kasvualustojen yhdistäminen perliitin kanssa antaa edun tukea erilaisia kasvilajeja kasvun alkuvaiheessa.

Kuva 11. Perliittiä käytetään taimien idättämiseen.

Vermiculite

Vermikuliitti on biotiittimineraali, joka, kuten perliitti, laajenee kuumentamalla. Se on laajalti käytetty kasvualusta taimille tai sekoitusaineena muiden alustojen kanssa, mutta sitä voidaan käyttää myös ainoana materiaalina kasvualustassa. Vermikuliitilla on erinomaiset vedenpidätysominaisuudet, mikä varmistaa, että taimien juuret saavat tasaisesti kosteutta ja ravinteita. Tämä ominaisuus on erityisen tärkeä taimen kasvun alkuvaiheessa – korkea kosteus mahdollistaa siementen imeytymisen ja kasvun alkamisen ja varmistaa myöhemmin juuriston riittävän kehittymisen. Vermikuliitilla on myös kyky imeä ravinteita ja varmistaa kasvin hidas vapautuminen.

Vermikuliitti on kevyt kasvualusta, mutta ajan myötä tämä kasvualusta voi hajota ja alkaa tiivistyä, mikä vähentää juurien ilmastuspotentiaalia. Tiivistäminen tekee materiaalista tiivistä ja mahdollisesti luo anaerobisia olosuhteita, jotka voivat tukehduttaa juuret ja aiheuttaa niiden mätänemisen. Käytettäessä vermikuliittia taimien ainoana kasvualustana on tärkeää varmistaa asianmukainen kuivatus, koska vedenpidätys voi aiheuttaa haitallisia olosuhteita. Vermikuliitin tiivistymisen vaikutuksen lieventämiseksi se voidaan sekoittaa perliitin kanssa. Tämä yhdistelmä tarjoaa tasapainoisen ympäristön, joka tarjoaa kosteudenpidätys- ja ilmastusvaikutuksia taimien terveelle kehitykselle.

Kuva 12. Vermikuliitti, jota käytetään taimiin ja kasvien istuttamiseen hydroponisissa järjestelmissä.

Kivivilla

Kivivilla on basalttikivestä ja kierrätetystä kuonasta valmistettu keinotekoinen kasvualusta, joka kehrätään kuiduiksi erittäin korkeissa lämpötiloissa. Tätä alustaa käytetään yhtenäisyytensä ja rakenteensa vuoksi laajalti laajamittaisissa hydroponisissa ja akvaponisissa järjestelmissä muun muassa rakennusteollisuudessa. Kivivillan kyky pidättää vettä vähentää kastelun tarvetta taimivaiheessa, mikä mahdollistaa kasvien tasaisen kehityksen. Koska tämä kasvualusta syntyy niin korkeissa lämpötiloissa, se on olennaisesti steriili, mikä on etu, koska se ei sisällä mikrobipatogeenejä ja muita tuholaisia, jotka voisivat mahdollisesti vahingoittaa taimia.

Kivivilla on kevyttä materiaalia, jota on helppo käsitellä, mutta alustan emäksisyys huomioon ottaen pH-arvoa on tarkkailtava huolellisesti ravinteiden lukituksen välttämiseksi. Kivivillassa kasvatettujen taimien istuttaminen on melko yksinkertaista – kivivillatulpat voidaan laittaa verkkoruukkuihin ja suoraan DWC- tai NFT-järjestelmiin kasvin jatkokehitystä varten. Kivivilla ei ole biohajoava, eikä sen kierrätykseen ole olemassa nykyisiä ratkaisuja, sitä ei voi käyttää uudelleen. Kivivillan käsittely, erityisesti suurina määrinä, voi aiheuttaa ihoärsytystä, koska pienet kuidut voivat helposti irrota kivivillatulpista ja -levyistä siirrettäessä. Ottaen huomioon kivivillakasvualustaen edut ja koostumuksen niitä käytetään kaupallisissa sovelluksissa laajamittaiseen hydroponiseen tuotantoon.

Kuva 13. Kivivillakuutiot, joita käytetään taimien valmisteluun ja istuttamiseen hydroponisissa järjestelmissä.

Turvesammal

Turvesammal on turvesoilta korjattu kasvualusta, joka on luonnonvara ja sitä löytyy kaikkialta pohjoisesta pallonpuoliskosta, esimerkiksi Skandinaviasta ja Baltiasta. Tällä alustalla on erinomainen vedenpidätyskyky, mikä tekee siitä sopivan materiaalin taimien itämiseen. Turvesammal itsessään sisältää ravinteita, se on materiaalia, joka muodostuu Sphagnum sammalta pitkällä aikavälillä, kasvien ravintoarvo tukee varhaisia kehitysvaiheita. Turvesammal on luonteeltaan hapanta ja voi alentaa kasvuympäristön pH:ta, raakaturvetta käytettäessä se tulee neutraloida. Kaupallisesti saatavilla neutraloituja turvetuotteita.

Hieman happamampaa maaperää suosivia kasveja kasvatetaan yleensä turvesammaleilla. Huolimatta siitä, että tämä materiaali on suosittu valinta pienviljelijöille, ympäristöongelmia voi syntyä – turpeen louhinta on kestämätön prosessi, joka voi heikentää suon ekosysteemiä. Tämä on biohajoava materiaali, eikä sitä voi käyttää uudelleen. Kiertävässä akvaponisessa järjestelmässä pieni osa turpeesta voi tukkia pumppuja ja muita laitteita, joten tätä kasvualustaa käytettäessä tulee asentaa erityisiä suodattimia.

Kuva 14. Irtonainen turvesammal, turpeen istutuskoneet ja tulpat taimien kasvuun.

5.2. Ruukkutyypit taimien lisäämiseen ja kasvien kasvattamiseen akvaponisessa viljelyssä

Ruukkujen valinta taimien lisäämisessä akvaponiseen järjestelmään on ratkaisevassa roolissa istutuksen helppouden ja kasvien yleisen terveyden kannalta. Yleisesti käytetään kolmea ensisijaista ruukkutyyppiä – joko verkkoruukkuja, biohajoavia ruukkuja tai useamman taimen muovitarjottimia. Näistä jokaisella on omat etunsa ja haasteensa.

Verkkoruukut

Verkkoruukut ovat pieniä muoviruukkuja, joissa on rei'itetyt seinämät, jotka mahdollistavat veden ja ravinteiden vapaan virtauksen kasvin juurien ympärillä. Verkkoruukku on rakenteeltaan avoin, mikä mahdollistaa vapaan ilmanvaihdon minimoiden juurisairauksien riskin ja edistää juurien tervettä kasvua ja kehitystä. Verkkoruukut ovat uudelleenkäytettäviä, ne voidaan myös steriloida kasvukausien välillä, mikä tarjoaa taloudellista hyötyä tämäntyyppisten ruukkujen käytöstä. Verkkoruukkujen ensisijainen etu on, että ne ovat erittäin helppokäyttöisiä, turve- tai kookostulpissa tai kivivillapaloissa valmistetut taimet voidaan yksinkertaisesti laittaa verkkoruukkuun ja siirtää sitten kasvatusjärjestelmään. Juuret kasvavat melko helposti ruukun rei'itettyjen sivujen läpi, mutta Istutusprosessi ei aiheuta vaurioita kasvin juurille. Ruukun avoin rakenne mahdollistaa juurijärjestelmän nopean kehittymisen, kun se on asetettu kasvualustaan, kuten ravinnefilmi-tekniikassa tai syvän veden viljelyssä. Verkkoruukut voivat olla hieman kalliimpia kuin biohajoavat ruukut tai muovitarjottimet, mutta niiden uudelleen käytettävyys on kuitenkin otettava huomioon. Verkkoruukut sopivat erityisen hyvin akvaponisiin järjestelmiin, joissa veden virtaus on jatkuvaa, kuten ravinnekalvo-tekniikassa tai syvän veden viljely -järjestelmissä, joissa juurien korkea ilmastus on välttämätöntä.

Kuva 15. Verkkoruukkuja käytetään akvaponisessa viljelyssä ja hydroponiikassa syvävesiviljelmissä ja ravinnekalvo-kanavissa.

Biohajoavat ruukut

Biohajoavat ruukut valmistetaan biomateriaaleista, kuten turpeesta, kookoskuidusta ja paperista ja ne tarjoavat ympäristön kannalta kestävän vaihtoehdon taimien lisäykseen akvaponiseen järjestelmään. Nämä ruukut hajoavat luonnollisesti ajan myötä, mikä vähentää syntyvää jätettä ja tarvetta poistaa kasvi, kun se siirretään sen kasvuympäristöön. Ihannetapauksessa biohajoavat ruukut ovat riittävän tukevia kestämään liotusvettä säilyttäen rakenteensa, samalla kun ruukun seinämien tulee olla riittävän hauraita, jotta kasvin juuret pääsevät helposti tunkeutumaan seinien läpi. Biohajoavien ruukkujen tärkein etu on niiden kestävyys, mutta liikakosteudessa ja lisääntyneessä mikrobiaktiivisuudessa ruukut voivat hajota liian nopeasti. Biohajoavissa ruukuissa on yleensä suuria määriä vettä, ja jos vedenpoisto on riittämätön, niihin voi kehittyä hometta tai ne voivat mädäntyä. Biohajoavat ruukut ovat ihanteellisia taimille, jotka on tarkoitus istuttaa suoraan alustaan tai maahan, erityisesti järjestelmissä, joissa ympäristövaikutusten minimoiminen on etusijalla. Koska nämä ruukut hajoavat niin helposti, niitä ei suositella käytettäväksi syvän veden viljelyssä tai ravinnekalvo-tekniikka järjestelmissä.

Kuva 16. Biohajoavat turvesammaleen istutuskoneet.

Muoviset istutustarjottimet

Muoviset taimitarjottimet ovat lokeroituja taimien kasvualustoja. Kuten nimestä voi päätellä, ne on yleensä valmistettu muovista ja niitä voidaan käyttää uudelleen useissa kasvusykleissä. Tarjottimet voidaan kierrättää, kun hyödyntämislaatu on riittämätön, joskus taimitarjottimet on valmistettu kierrätysmuovista. Nämä tarjottimet kestävät yleensä kulutusta, ja siksi niitä käytetään suurimääräiseen taimien tuotantoon, jossa tehokkuus ja tasaisuus ovat välttämättömiä. Yhdistämällä alustaratkaisuja, kuten kookoskuitutulppia tai vuorivillapalikkoja muovialustaan, on mahdollista luoda virtaviivainen prosessi taimien tuotantoon. Tällaisessa järjestelmässä voidaan lisätä useita taimia samanaikaisesti. Yksi muovisten tarjottimien tärkeimmistä eduista on niiden helppokäyttöisyys ja mahdollisuus järjestää ja siirtää alustat tehokkaasti. Tällaisten tarjottimien rajoittava tekijä on kunkin lokeron sisällä oleva tila, joka on varattu juurien kehittymiseen. Jos taimia ei istuteta oikeaan aikaan ja jätetään kasvamaan umpeen, on mahdollista, että juureen sitoutuneita taimia kehittyy.

Kuva 17. Muoviset alustat, joita käytetään siementen itämiseen ja taimien valmisteluun.

Sopivien kasvualustojen ja ruukkutyyppien valinta taimien lisäämiseen akvaponisessa järjestelmässä on monitahoinen päätös, johon vaikuttavat monet tekijät, kuten kasvityyppi, järjestelmän suunnittelu ja ympäristön kestävyys. Aineet, kuten kookoskuitu ja vermikuliitti, ovat suositeltavia, koska ne

pystyvät pidättämään vettä, mutta perliitti ja kivivilla taas antavat hyvän ilmastuksen juurille. Istutusruukkujen, kuten verkkoruukkujen, biohajoavien ruukkujen tai muovialustojen, valinta vaikuttaa pitkällä aikavälillä istutuksen helppouteen ja kasvien yleiseen terveyteen.

Parhaiden tulosten saavuttamiseksi taimien lisäämisessä on suositeltavaa käyttää yhdisteltyä kasvualustaa, joka ylläpitää tehokkaasti kosteutta ja tarjoaa samalla riittävän ilmanvaihdon. Tämä lähestymistapa mahdollistaa räätälöinnin eri kasvilajien erityisvaatimusten perusteella. Esimerkki kookoskuidun ja perliitin yhdistämisestä on luoda alusta, joka helpottaa sekä vedenpidätystä että juuren hapetusta. Samoin ruukun valinnassa tulee ottaa huomioon kasvatusjärjestelmä ja ympäristötekijät, kuten valita biohajoavia ruukkuja järjestelmissä, joissa kestävyys on etusijalla.

6. Tuotantosysteemit akvaponisessa viljelyssä

6.1. Kasvatusalustat

Akvaponisessa viljelyjärjestelmässä kasvatusalustat ovat kaikkein tärkein tuotantotyyppi, joka mahdollistaa kasvien juurien kasvun ja stabiloitumisen sekä toimii biosuodatuksen väliaineena. Kasvipenkit ovat elintärkeitä kasvien kasvulle ja järjestelmän terveydelle, ja ne voidaan täyttää erilaisilla kasvualustoilla, kuten Leca-soralla, tavallisella soralla, laavakivellä tai kookoskuidulla. Kasvualustan valitseminen on ratkaisevan tärkeää akvaponisen viljelyn kannalta, koska sillä on suuri vaikutus veden laatuun, kasvien terveyteen ja järjestelmän ylläpitoon. Kalasäiliöstä vesi pumpataan väliainepetiin, jonka läpi vesi virtaa sopivan kallistuksen ansiosta. Tämän jälkeen vesi palautetaan joko sumppuun tai kalasäiliöön sifonin päässä olevan keräimen kautta. Vaihtoehtoisesti kasvatusalusta voidaan perustaa ”ebb and flow” -järjestelmäksi, jossa kasvit upotetaan joksikin aikaa veden alle ja sitten vesi tyhjennetään, jolloin juuret voivat hengittää (tulvahuuhtelukierto). Eri väliaineiden alustojen tyyppejä voidaan arvioida niiden fysikaalisten ominaisuuksien mukaan, kuten veden laadun, käytön helppouden, toteutuskustannusten ja akvaponisten järjestelmien yleisen suorituskyvyn perusteella.

Kuva 18. Kasvatusalustat täynnä laajennettua savea, laavakiveä, soraa ja perliitti-maaseoksia.

Leca-sora (Lightweight Expanded Clay Aggregate – LECA)

Leca-sora on yleisimmin käytetty väliainepetialusta. Se on valmistettu savesta, jota on kuumennettu korkeissa lämpötiloissa, jolloin se laajenee ja muodostaa huokoisen rakenteen. Tämä materiaali on melko neutraalia (pH), helppokäyttöinen uudelleen ja sitä käytetään laajalti pienissä ja keskikokoisissa akvaponisissa järjestelmissä.

Hyödyt	Haitat
LECA kevytsoraa on helppo käsitellä ja siirtää systeemissä	Hinta on korkeampi kuin muilla kasvualustoilla
Huokoisuus – tämän materiaalin huokoisuus auttaa kasvien juurien ilmastuksessa ja veden pysyvyydessä	Pöly – LECA sora kerää huomattavasti pölyä valmistusprosessissa. Otettaessa käyttöön se pitää pestä kunnolla, jottei pöly kerry pumppuihin ja vahingoita niitä, tai muuten järjestelmä ei likaannu pölystä
Neutraali pH – tällä kasvualustalla ei ole vaikutusta pH:n tasoon, ei edes pitkällä aikavälillä	Pieni pinta-ala – vaikkakin huokoinen materiaali, sen pinta-ala on pieni suhteessa muihin kasvualustoihin; vähemmän alaa bakteereille kiinnittyä
Uudelleen käytettävyys – pesemällä ja desinfioimalla (kuumalla vedellä) tätä materiaalia voidaan käyttää useina kasvujaksoina	

Kuva 19. Leca-soraa akvaponisen viljelyjärjestelmän kasvatusalustassa.

Tavallinen sora

Yleisesti käytetty, edullinen alusta kasveille kasvatusalustoihin on tavallinen sora, joka koostuu murskatusta graniitista, kvartsista, basaltista tai muista mineraaleista. Soraa käytetään erityisesti suuremmissa järjestelmissä ulkotiloissa ja kasvihuoneissa, joissa kestävyys on ratkaisevan tärkeää.

Hyödyt	Haitat
Hinta – halpa ja heti käytettävissä	Paino – painava kasvualusta, saattaa vaatia erityisesti vahvistetut kasvatusalustat
Pinta-ala – joillakin mineraaleilla on korkea pinta-ala, joka edesauttaa hyödyllisten bakteerien kasvua	Muutokset pH:ssa – jotkut soratyypit voivat muuttaa pH:ta, erityisesti kalkkikivipohjaiset sorat, jolloin pH:n seuranta tulee tärkeäksi
Kestävyys – ei hajoa monenkaan kasvukauden jälkeen, voidaan helposti käyttää uudestaan	Kasvien juurien vahingoittuminen – hienonnetuilla kivillä voi olla teräviä kulmia, jotka voivat vaurioittaa kasvien juuria

Kuva 20. Akvaponisen viljelyn alustassa käytettyjä erilaisia soratyyppejä.

Laavakivi

Laavakivi on luonnossa esiintyvä vulkaaninen kivi, joka on erittäin huokoista ja soraa kevyempää. Käytetään keskisuurissa ja suurissa järjestelmissä.

Hyödyt	Haitat
Paino – kevyempää kuin sora, mutta raskaampaa kuin LECA sora	Kasvien juurien vahingoittuminen – terävät kulmat, käsittely voi olla hankalaa
Huokoisuus – mikä tukee biosuodatusta	Pöly – perusteellinen pesu tarvitaan ennen käyttöä
Hinta – halvempaa kuin LECA sora, suurempi pinta-ala	Laadun vaihtelevuus – riippuen hankinta-lähteestä laavakiven laatu voi vaihdella, ei-standardoitu materiaali
Neutraali – ei vaikutusta järjestelmän pH-tasoon	

Kuva 21. Laavakiviä akvaponisen viljelyjärjestelmän kasvatusalustassa.

Kookoskuitu

Kookoskuitu (Coconut fiber, Coir) on kookospähkinöiden kuorista muodostuva kuitumateriaali, jota käytetään taimien kasvualustana sekä erilaisissa keskikokoisissa penkeissä. Yleisimmin taimikäyttöön tarkoitettuja levyjä voidaan kuitenkin käyttää myös akvaponisissa viljelyjärjestelmissä, jotka tuottavat mikrovihreitä.

Hyödyt	Haitat
Uusiutuva – kookosteollisuuden sivutuote, ympäristölle myönteinen	Rakenne – tarpeeksi tukea taimille ja pienille kasveille, muttei pysty tukemaan isompia kasveja
Veden pysyvyys – pysyy hyvin kosteana	Hajoaminen – koska tämä materiaali on biologista syntyperää, on se myös biohajoava. Hajoamisjätteet saattavat tukkia järjestelmän eri osia
Neutraali – ei vaikutusta järjestelmän pH-tasoon	Suolapitoisuus – saattaa vaatia pesun ennen käyttöä, jotta järjestelmään ei päädy tarpeettomia mineraaleja
Paino – kevyt materiaali, helppo käsitellä	

Perliitti ja vermikuliitti

Perliitti on eräänlainen vulkaaninen mineraali (lasi), joka laajenee kuumennettaessa, kun taas vermikuliitti on magnesium-alumiini-rautasilikaattimineraali, jota kuumennetaan laajentuakseen. Nämä ovat keveitä kasvualustoja, joita käytetään pienimuotoisissa siementen itämiseen tarkoitetuissa järjestelmissä, mutta ei suurissa kasvatusalustoissa, koska ne voivat hilseillä ja nämä pienet pölyhiukkaset kulkeutuvat helposti koko järjestelmän läpi.

Hyödyt	Haitat
Keveys – hyvin kevyt materiaali, helppo käsitellä	Eroosio – materiaali voi hajota pieniksi palasiksi ajan kuluessa ja palaset voivat kulkeutua muualle järjestelmään
Ilmavuus – kasvien juuret saavat hyvin ilmaa	Tiivistyminen – ajan kuluessa materiaali voi tiivistyä, jolloin sen ilmavuus heikkenee, joten tämä materiaali ei ole uudelleen käytettävä
Reagoimaton – ei vaikutusta pH-tasoon tai ravinteiden määrään vedessä	Hinta – koska neutraali ja kevyt materiaali, se on myös kalliimpi, erityisesti kun tarvitaan suuria määriä

Tieteellisessä kirjallisuudessa on ehdotettu useita muita materiaaleja kasvualustaksi, mutta joidenkin materiaalien kohdalla haitat eivät tue niiden käyttöä vertailualustoina tosielämän ratkaisuissa. Esimerkiksi poloniitti on mineraali, jota käytetään vedenkäsittelyssä, erityisesti fosforin poistossa. Tämä mineraali on luonteeltaan emäksistä, mikä tarkoittaa, että se voi mahdollisesti nostaa järjestelmän pH:n arvoon 9 mikä ei enää sovellu kaloille eikä kasveille. Myös hiekkaa on ehdotettu mahdolliseksi kasvualustan materiaaliksi, mutta hiekan tiivistyminen ei anna riittävää ilmastusta kasvin juurille ja veden virtaus on myös rajoitettua.

6.2. Syvän veden viljely (DWC)

Syvän veden viljely (Deep Water Culture, DWC) on kasvatusjärjestelmä, jossa kasveja kasvatetaan suuressa vesisäiliössä kelluvilla lautoilla, jotka on valmistettu styroksivaahdosta tai muusta kelluvasta materiaalista. Tämän tyyppisessä viljelmässä juuret on upotettu happea ja ravinteita sisältävään veteen ja vesi kierrätetään vesisäiliön toisesta päästä toiseen, mikä varmistaa, että altaan vesi vaihtuu usein. Kalasäiliöistä tuleva vesi pumpataan tai syötetään painovoiman avulla DWC-petiin ja kierrätetään sitten takaisin kalasäiliöön. Veden ilmastus DWC-lauttojen alla varmistetaan joko diffuusorilla tai ilmakivillä. Ennen DWC:hen sijoittamista kasvit kasvatetaan istutusalustassa, jonka jälkeen ne asetetaan ensin verkkoruukkuun ja sitten ruukussa kelluvan DWC-lautan reikiin.

DWC-järjestelmässä kasvien juuret ovat täysin upotettuina veteen, joten jatkuva ilmastus on ratkaisevan tärkeää hapettomien olosuhteiden välttämiseksi. Yleensä ilmakivet tai diffuusorit sijoitetaan koko DWC-altaan alueelle – hapenpuute voi aiheuttaa juurien mätänemistä tai muita hapenpuutteeseen liittyviä ongelmia. Tässä menetelmässä käytetään lisättyä veden ilmastusta, mikä hyödyttää kasvien lisäksi myös kaloja. Sillä varmistetaan, että vesi on kyllästetty hapella, mikä takaa kalojen riittävän hapen tarpeen. Tässä järjestelmässä suuri vesimäärä on hyödyllinen myös siksi, että jos ravinteiden tasot vaihtelevat, niin vesimäärä voi toimia puskurina. Koska juuret ovat veden alla, se tarjoaa kasville jatkuvan ravintovirran. Tällä menetelmällä kasvatetaan yleisimmin erilaisia salaatteja, mutta jatkuvan ravinnevirran ansiosta voidaan kasvattaa myös tomaatteja, kurkkuja ja paprikaa.

DWC-järjestelmät ovat monimutkaisuuden näkökulmasta melko yksinkertaisia, mutta lisääntyneestä ilmastustarpeesta johtuva järjestelmän huolto saattaa vaikeuttaa niiden käyttöä. Koska juuret jäävät veteen, järjestelmä kestää paremmin sähkökatkoksia ja suuri vesimäärä voi ylläpitää kasvien kasvua jonkin aikaa. Haittapuolena voidaan pitää järjestelmän käynnistämiseen tarvittavaa vesimäärää sekä pinta-alaa, jolla haihtumista tapahtuu. Koska DWC järjestelmä vaatii laajaa ilmastusta, kuluttaa se myös enemmän energiaa kuin esimerkiksi ravinnekalvotekniikka (NFT), mutta ylläpidettynä ja tasapainotettuna järjestelmällä voidaan saada korkeampi sato ja kasvattaa laajempaa lajiketta.

DWC-järjestelmä tarjoaa joustavan ja tukevan asetuksen, joka sopii erityyppisille kasveille, mukaan lukien isommat ja hedelmiä tuottavat kasvit. Ilmastus vaatii lisävesi- ja energiaresursseja, mutta se tarjoaa toisaalta vakautta ja joustavuutta, joten se on ihanteellinen valinta viljelijälle, joka pyrkii saavuttamaan laajan valikoiman kasvintuotantoa, tai niille, joilla on suurempi mittakaava.

Kuva 22. Akvaponista viljelyä Deep Water Culture kanavissa.

6.3. Ravinnekalvotekniikka (NFT)

Ravinnekalvotekniikka (Nutrient film technique, NFT) on kasvatusjärjestelmä, jossa kasveja kasvatetaan pitkissä, kapeissa kanavissa, yleensä putkissa, joissa virtaa ravinnerikasta vettä, joka virtaa jatkuvasti juurien yli ohuena virtana. Tässä järjestelmässä kasvien juuret ovat vain osittain veden alla, jolloin suurin osa juurijärjestelmästä on alttiina ilmalle. Vesi pumpataan akvaariosta (joskus säiliöstä) NFT-putkiin ja sen annetaan virrata asetettujen kanavien kautta takaisin kaivoon ja kierrätetään sitten takaisin kalasäiliöön. Useimmiten tässä tekniikassa luodaan pystysuora pino putkista, jonka korkeimpaan kohtaan pumpataan vettä ja annetaan painovoiman syöttää alempia putkia ennen kuin vesi palautetaan joko sumppuun tai kalasäiliöön. DWC:n tapaan kasvit sijoitetaan verkkoruukkuihin, jotka sovitetaan virtauskanavan päälle tehtyihin reikiin. Juuret ulottuvat kanavaan, jossa ne tulevat kosketuksiin virtaavan ravinnerikkaan veden kanssa. NFT:n käyttö mahdollistaa järjestelmän rakentamisen pystyasennon ja on rakenteeltaan kevyempi kuin DWC tai väliaineelliset kasvatusalustat.

NFT-järjestelmissä juuret ovat alttiina ilmalle, ja vain pieni osa juurijärjestelmästä on upotettuna ohueen vesikerrokseen kanavan pohjassa. Veden on myös oltava hapetettua; Se ei kuitenkaan ole yhtä tärkeä kuin DWC:n kannalta. On suositeltavaa lisätä ylimääräisiä ilmakiviä tai diffuusoreita sumppuun tai vedenkeräimeen NFT-kanavien jälkeen varmistaaksesi, että vesi on riittävästi rikastunut hapella ennen sen palauttamista akvaarioon. Veden virtaus on NFT:ssä paljon nopeampaa kuin DWC:ssä, joten kasvien ravinteiden ottoa voidaan pitää varsin tehokkaana – ravinteiden ottoa rajoittaa se, että vain osa juurista on upotettuna veteen, joten koko juurijärjestelmä ei pysty ottamaan ravinteita. Vastaavasti NFT:ssa kasvien kasvuvauhti olisi hieman pienempi kuin DWC:ssä. Kasvit, joissa on pienempi ja matalampi juuristo, sopisivat paremmin NFT-järjestelmään, esimerkiksi lehtivihannekset (salaatti, pinaatti, yrtit). Myös suurempia kasveja voidaan kasvattaa, mutta jos NFT-kanavat ovat kapeita, juuristo voi nopeasti kasvaa kanavan yli ja estää kasvien virtauksen ja ravinteiden saatavuuden NFT-kanavasta alavirtaan.

NFT-järjestelmät ovat suhteellisen yksinkertaisia ja helppoja asentaa ja huoltaa – vettä, pumppuja tai ilmastimia on vähemmän hallittavana. Koska vesikalvo on kuitenkin niin ohut ja mahdolliset häiriöt järjestelmässä merkitsisivät kasvien juurten nopeaa kuivumista, varapumput tulisi asentaa yhdessä hätäkeskuksen katkottoman virtalähteen kanssa. NFT on vettä säästävämpi kuin DWC, koska se perustuu nopeampaan veden kierrätykseen järjestelmässä. Tässä järjestelmässä tapahtuu vähemmän haihtumista, koska alttiina olevan veden pinta-ala on pienempi. Koska erityyppisten pumppujen tarve on pienempi, NFT on myös energiatehokkaampi.

NFT soveltuu erityisen hyvin pienten, nopeasti kasvavien kasvien, kuten lehtivihanneksen, viljelyyn. Se tarjoaa korkean tehokkuuden ja yksinkertaisuuden, mutta se edellyttää aktiivista valvontaa juurien kuivumisen ja ravinteiden epätasapainon estämiseksi. NFT soveltuu parhaiten viljelijöille, joiden käytettävissä oleva tila on rajoitettu, ja yksilöille, jotka haluavat viljellä vain tiettyjä kasveja.

Kuva 23. Akvaponista viljelyä ravinnekalvokanavissa.

6.4. Pisarakastelujärjestelmä

Pisarakastelujärjestelmässä kasvi yleensä istutetaan sopivaan alustaan, yleisimmin kivivillaan. Vesisäiliöön liitetään halkaisijaltaan pieni putki, johon on myös kiinnitetty automaattinen kastelujärjestelmä. Kasvin juurten lähelle kivivillaan sijoitetaan sensori, jossa on ravinnesäiliöstä tuleva vedenpoiston aukko. Pisarakastelu ei ole jatkuvaa kastelua, vaan se aktivoituu useita kertoja tunnissa. Ylimääräinen ravinneliuos tippuu alustan läpi ja kerätään kierrätystä varten. Verrattuna NFT:hen ja DWC:hen tässä järjestelmässä juuria ei koskaan upoteta veteen.

Pisarakastelujärjestelmiä käytetään suurissa vesiviljelykasvihuoneissa, joissa vihanneksia kasvatetaan kaupallisesti. Tarjolla on kaupallisia ratkaisuja kasvujärjestelmiin, joissa kasvatetaan yhteensä tuhansia kasveja. Huolimatta vesiviljelypohjaisten kasvihuoneiden tiputusjärjestelmien tehokkuudesta, tämä

järjestelmä ei välttämättä ole kovin hyvin yhdistetty akvaponisiin järjestelmiin erillisenä ratkaisuna. Akvaponisessa viljelyjärjestelmässä veden läpivirtaus on yleensä paljon suurempi kuin tippajärjestelmä pystyy takaamaan. Toisaalta veden virtaus voitaisiin varmistaa lisäämällä kasvien määrää, mutta silloin ravinnetasapaino olisi riittämätön suurelle kasvien lukumäärälle. Pisarakastelujärjestelmän tasapainottaminen yksistään ei ole mahdollista, joten tällaista järjestelmää voitaisiin käyttää yhdessä NFT- tai DWC-järjestelmän kanssa, mikä taas laajentaa mahdollisten viljeltävien kasvien valikoimaa. Pisarakastelujärjestelmiä voitaisiin käyttää, kun kasvatetaan akvaponisessa järjestelmässä myös kasveja, jotka eivät pidä niin paljon vedestä.

7. Kasvien terveys ja kasvitaudit

7.1. Integroitu tuholaistorjunta

Integroitu tuholaistorjunta (Integrated Pest Management, IPM) on kestävä, laajasti mukautettu lähestymistapa tuholaisten torjuntaan, ja se yhdistää useita strategioita ympäristöön, ihmisten terveyteen ja akvaponiseen vesiviljelyjärjestelmään kohdistuvien kielteisten vaikutusten minimoimiseksi. Akvaponinen viljely on suljetun kierron järjestelmä, joka koostuu kasveista, kaloista ja mikro-organismeista ja synteettisten kemikaalien tai torjunta-aineiden käyttö voi häiritä jotakin elementistä ja vaikuttaa siten negatiivisesti koko järjestelmän toimivuuteen. Vuodesta 2014 lähtien Euroopan parlamentti on rohkaissut ammattimaisia kasvinviljelijöitä käyttämään IPM:ää torjunta-aineiden käytön vähentämiseksi. IPM keskittyy tuholaisten ja niiden viljelykasveille aiheuttamien vahinkojen pitkäaikaiseen ennaltaehkäisyyn useilla eri tavoilla – biologisella torjunnalla, ekosysteemien manipuloinnilla, viljelykäytäntöjen muuttamisella ja tuholaisresistenttien kasvilajikkeiden käytöllä. Suljetussa järjestelmässä IPM on erityisen tärkeä, koska tuholaiset voivat levitä nopeasti, jos niistä ei huolehdita. Akvaponinen järjestelmä on yleensä hieman joustavampi kuin hydroponinen järjestelmä, koska akvaponisessa järjestelmässä on laajempi mikrobien monimuotoisuus, joka vaikuttaa risosfääriin ja tehostaa ravinteiden ottoa. Jälleen kerran, järjestelmän tasapainottaminen voi parantaa huomattavasti koko järjestelmän kestävyyttä, auttaa ylläpitämään terveitä satoja ja parantamaan viljelysatoja.

IPM koostuu useista molempia osapuolia hyödyttävistä ratkaisuista, jotka voivat lisätä järjestelmän tuottavuutta ja kestävyyttä, esimerkiksi fysikaaliset ja mekaaniset ratkaisut (kasvien fyysinen aitaus mahdollisilta vaikutuksilta ja tuholaisten leviämiseltä), bioteknologiaan perustuvista menetelmistä (lajikkeet, jotka kestävät yleisimmät sairaudet), biologinen tuholaistorjunta (kyseisten tuholaisten luontaisten saalistavien organismien käyttö ja joissakin tapauksissa viimeisenä keinona kemialliset tuotteet. Toisin kuin luomuviljelyssä, jossa vain luonnontuotteita voidaan käyttää kemikaaleihin torjunta-aineet (epäorgaaniset, eteeriset öljyt, luonnosta saadut ainesosat) IPM:ssä voidaan käyttää myös synteettisiä torjunta-aineita, jotka eivät ole myrkyllisiä järjestelmän muille osille (kaloille, kasveille tai mikro-organismeille).

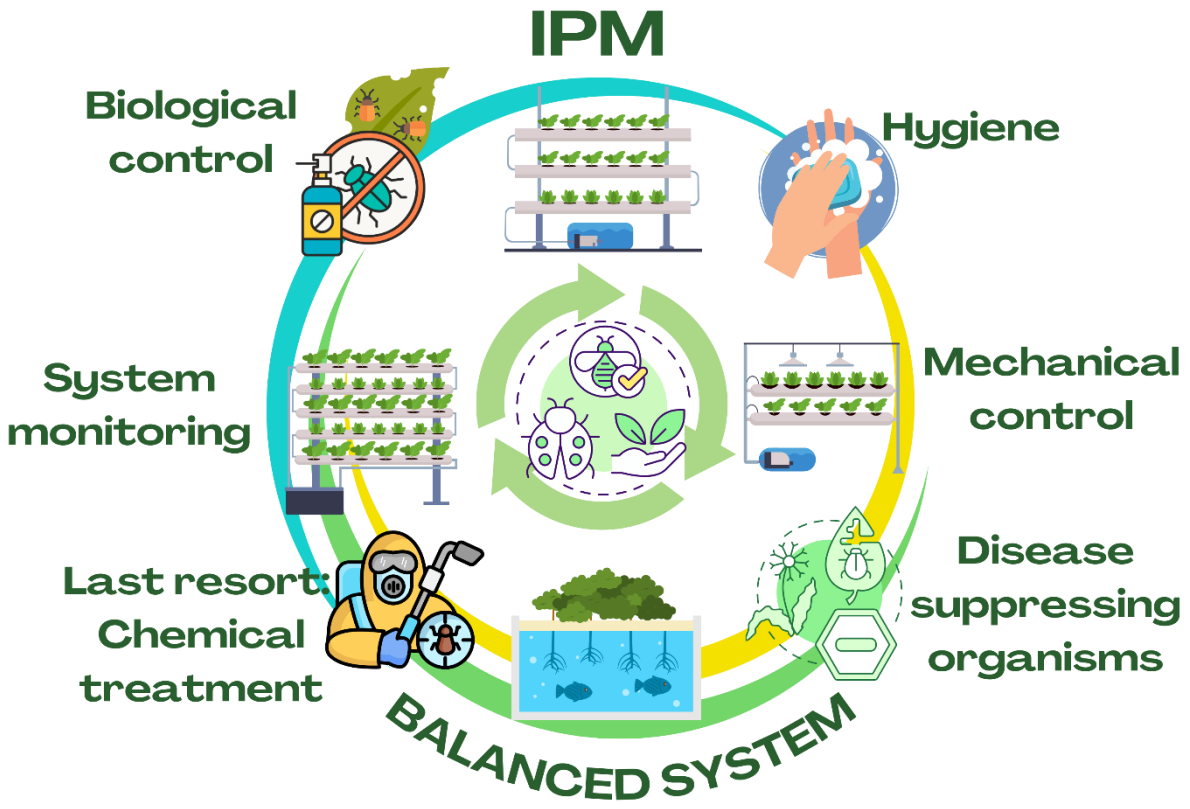
Kasvit kärsivät useimmiten erilaisista mikrobisista tuholaisista, jotka aiheuttavat esimerkiksi härmäsientä. Tällaiset taudit kulkeutuvat järjestelmään huonon hygienian tai tartunnan saaneiden kasvien/taimien/siementen takia, joita käytetään järjestelmässä. Kun tällaisen kasvitaudin puhkeaminen tapahtuu, on taudinaiheuttajaa erittäin vaikeaa poistaa ilman kasvien hävittämistä. Siksi on noudatettava erityistä huolellisuutta valittaessa kasvilajikkeita ja hankittava sertifioituja taimia/siemeniä ja vain luotettavilta myyjiltä. Tuholaishyönteiset ovat ongelmallisia, koska ne aiheuttavat suoraa haittaa kasveille ja voivat toimia erilaisten kasvitautien, sekä virusten että mikrobien, levittäjinä (kantajina). Tuholaiset hyötyvät kasvutilan erittäin kontrolloidusta ympäristöstä sekä akvaponisissa että hydroponisissa järjestelmissä – niiden tasaisesta lämpötilasta ja kosteudesta.

Toisaalta tämä sama ympäristö sallii myös hyödyllisten organismien käytön, jotka ovat näiden haitallisten hyönteisten luonnollisia saalistajia. Esimerkiksi leppäkertun toukkia voidaan käyttää luonnollisina petoeläiminä kirvoja vastaan, kärpäsparasitoideja voi käyttää valkokärpäsiä vastaan, sappikääpiöitä voidaan käyttää kirvoja vastaan ja useat entomopatogeeniset sukkulamadot, bakteerit ja sienilajit ovat hyödyllisiä tuholaisten puhkeamisen torjunnassa.

Akvaponisessa järjestelmässä kalojen ja kasvien tiheyden vuoksi tautien leviäminen voi tapahtua nopeasti. Jos kasvitautia tai tuholaisten leviämistä ei ole hoidettu ajoissa, koko järjestelmän kontaminoitunut osa (kalat, kasvit tai mikrobiomi) tulee todennäköisesti hävittää tai käsitellä kemiallisesti. Tällaisissa tapauksissa järjestelmän tasapaino keskeytyy ja tasapainon uudelleen saavuttaminen voi kestää kauan, joten IPM:ää tulee soveltaa ennakoivasti järjestelmähäiriöiden välttämiseksi.

IPM torjuntamenetelmät sisältävät:

- → Fyysiset esteet ja ansat
  - Verkot estämään hyönteisten liikkumisen kasvihuoneessa/huoneessa, johon akvaponinen viljelyjärjestelmä on asennettu
  - Tahmeat kärpäsansat
  - Järjestelmän eri osien erottaminen
- → Kiertävän veden käsittely
  - Tarvittaessa käyttämällä UV-valoa tai otsonointia
  - Veden kuumennus
  - Kasvien ja mikro-organismien kasvun edistämiseksi järjestelmä voidaan toimittaa liukoisilla lannoitteilla
- → Hygienia
  - Laitteiden päivittäinen puhtaanapito
  - Työntekijöiden henkilökohtainen hygienia
  - Työntekijöiden vaatetus
  - Vierailijoiden hygieniasäännöt, suojavaatteet
  - Laitteiston desinfiointi viljelykierron välillä
  - Työkalujen desinfiointi
- → Ympäröivät olosuhteet
  - Viljelylle sopivaksi säädetty ilmankosteus
  - Viljelylle sopivaksi säädetty lämpötila
  - Ilmanvaihto
- → Viljelykäytännöt
  - Järjestelmän tasapaino optimaalisen ravinnon tarjoamiseksi kasveille
  - Kasvien välinen tila
  - Kestävä ja sertifioitu siemenmateriaali tai taimet
  - Erilliset huoneet idättämiselle ja viljelylle
  - Kasvien säännöllinen seuranta
  - Varttaminen
- → Tauteja ja tuholaisia nujertavat organismit
  - Järjestelmän tasapaino hyödyllisten bakteerien auttamiseksi
  - Hyönteiset, jotka ovat luonnollisia tuholaisten saalistajia
  - Seuralaiskasvilajin istuttaminen
  - Luonnollisten torjunta-aineiden käyttö tarvittaessa



Kuvio 24. Tärkeimmät tekijät integroidun tuholaistorjunnan toteuttamisessa.

Torjuntaa voidaan tehdä myös kemiallisilla tuotteilla, mutta niiden tiukat käyttöohjeet tulee ottaa huomioon. Kasvitieteelliset torjunta-aineet olisi asetettava etusijalle aina kun se on mahdollista, koska ne ovat peräisin biologisista lähteistä. Tietyt mikro-organismien uutteet ovat turvallisia kaloille ja niitä voidaan käyttää siten myös akvaponisessa vesiviljelyssä. Eräs esimerkki on Bacillus thuringiensis -bakteerista peräisin oleva toksiini, joka on tehokas toukkia, lehtirullia ja muita perhosten toukkia vastaan. Toinen on Beauveria bassiana, sieni, joka tunkeutuu hyönteisen ihoon ja on tehokas erilaisia tuholaisia, kuten termiittejä, ripsiä, valkokärpäsiä, kirvoja ja kovakuoriaisia vastaan. Lukuisat kemialliset synteettiset sienitautien ja hyönteisten torjunta-aineet sekä tietyt luonnonmukaisessa maataloudessa sallitut tuotteet ovat myrkyllisiä ja haitallisia vesieliöille. Levitystä suositellaan vain nuorille kasveille ennen niiden siirtämistä akvaponiseen järjestelmään. Jos mikään muu keino ei auta ja kemiallinen torjunta on viimeisenä vaihtoehtona, on tuotteen myrkyllisyys kaloille arvioitava huolellisesti. Akvaponinen viljelyjärjestelmä on hienostunut ekosysteemi, joka koostuu erilaisista bakteereista, sienistä ja korkeammista lajeista ja jolla on merkittävää potentiaalia luonnolliselle voimankestävyydelle. Tämän ympäristön luonnollisen tasapainon ylläpitäminen asianmukaisin ennaltaehkäisevin toimin on välttämätöntä, kuten aiemmin on kuvattu. Tämän pitäisi minimoida suorien tuholaistorjuntamenetelmien tarve.

7.2. Tuholaiset ja kasvitaudit

Kasvien tuholaiset akvaponisessa viljelyssä

Kirvat (Aphidoidea)

Kirvat ovat pieniä, pehmeärunkoisia hyönteisiä, jotka usein tuhoavat akvaponisia järjestelmiä kuluttamalla kasvinmehua. Ne voivat lisääntyä nopeasti ja muodostaa laajoja pesäkkeitä, jotka

heikentävät kasveja tyhjentämällä niistä tärkeitä ravintoaineita. Kirvat sijaitsevat tyypillisesti lehtien alapuolella tai kasvavien kasvien kärjissä. Kirvat voivat aiheuttaa ongelmia, kuten kasvivirusten leviämisen ja kasvien kasvun estymisen. Tehokkaat torjuntatoimenpiteet sisältävät hyödyllisten hyönteisten, kuten leppäkerttujen istutuksen. Myös orgaanista hyönteismyrkkysaippuaa voidaan käyttää, sillä se on turvallista akvaponisen viljelyjärjestelmän vesieliöille.

Kuva 25. Kirvoja kasvin varressa ja lehtien alla.

Valkokärpäset (Aleyrodidae)

Valkokärpäset ovat toinen yleisin vesiviljelyn tuholainen, ne viihtyvät erityisesti lämpimissä ja kosteissa olosuhteissa. Nämä pienet, siivekkäät hyönteiset kuluttavat kasvien mehua ja erittävät mesikastetta, mikä edistää nokihomeen leviämistä. Valkokärpäs-tartunta voi johtaa kasvien kasvun hidastumiseen, lehtien kloroosiin ja satojen vähenemiseen. Ne voivat myös toimia kasvitautien vektoreina levittäen haitallisia taudinaiheuttajia kasveihin. Akvaponisessa viljelyssä voidaan käyttää liima-ansoja, biologisia torjunta-aineita, kuten loisiampiaisia, ja riittävää ilmankiertoa viljelyalueella kosteuden vähentämiseksi.

Kuva 26. Valkokärpäset kasvin lehdellä.

Hämähäkkipunkit (Tetranychidae family)

Hämähäkkipunkit ovat pieniä hämähäkkieläimiä, jotka voivat muodostaa merkittävän uhan akvaponiselle viljelyjärjestelmälle, erityisesti kuivissa ja kohonneissa lämpötiloissa, tyypillisesti kun kasvatetaan korkeampia lämpötiloja vaativia kasveja. Tyypillisesti ne rakentavat lehtien alapuolelle verkkoja, joissa ne poistavat ravinteita kasvisoluista puhkaisemalla kudoksen ja syfonoimalla solusisällön. Hämähäkkipunkkitartunnat aiheuttavat lehtien täpliä tai rypistymistä, mikä johtaa lopulta lehtien kellastumiseen ja irtoamiseen. Näitä tuholaisia on vaikea hallita niiden nopean lisääntymiskierron vuoksi. Akvaponista järjestelmää voidaan säädellä käyttämällä luonnollisia petoeläimiä, kuten petopunkkeja (Phytoseiulus persimilis), ja ylläpitämällä asianmukaista kosteuden tasoa, jotta niiden lisääntymiselle voidaan luoda vähemmän suotuisat olosuhteet.

Kuva 27. Hämähäkkipunkkien pesäkkeet ja niiden verkot kasvien lehdillä.

Ripsiäiset (Thysanoptera)

Ripsiäiset ovat pieniä, pitkänomaisia hyönteisiä, jotka keräävät ravintoa puhkaisemalla kasvisoluja ja uuttamalla niiden sisällön. Ripsiäisillä on huomattavan hyvä liikkuvuus ja ne voivat levitä nopeasti koko akvaponiseen viljelyjärjestelmään. Ripsivauriot ilmenevät lehtien hopeajuovina tai täplinä, ja vakavat tartunnat voivat estää kasvien kasvua ja heikentää satoa. Sen lisäksi, että ripsiäisillä on välitöntä haittaa, ne tunnetaan myös roolistaan kasvivirusten välittäjänä. Ripsiäisten hallintaan akvaponisessa vesiviljelyssä käytetään usein saalistavia hyönteisiä, kuten merirosvokärpäsiä (Orius spp.) ja heijastavaa multaa niiden karkottamiseksi.

Kuva 28. Ripsiäisiä kasvin ytimessä ja lehtien pinnalla.

Sienisääsket (Sciaridae)

Sienisääsket ovat pikkuruisia tummia kärpäsiä, joita esiintyy yleisesti akvaponisissa järjestelmissä, joille on ominaista kohonnut kosteus. Sienisääsket kuluttavat orgaanista ainesta, mukaan lukien kasvien juuria, mikä voi estää kasvien kasvua ja lisätä alttiutta juurisairauksille. Sienisääsket voivat levittää myös kasvien patogeenejä, mukaan lukien pythium-sieni, joka aiheuttaa juurien mätänemistä. Riittävän vedenpoiston varmistaminen, orgaanisten jätteiden kerääntymisen minimoiminen ja biologisten torjuntakeinojen, kuten hyödyllisten sukkulamatojen (Steinernema feltiae) käyttö ovat olennaisia sienisääskien hallinnassa.

Kuva 29. Sienisääskiä tahmealla ansapinnalla ja kasvien lehdillä.

Lehtimiinaajat (Agromyzidae)

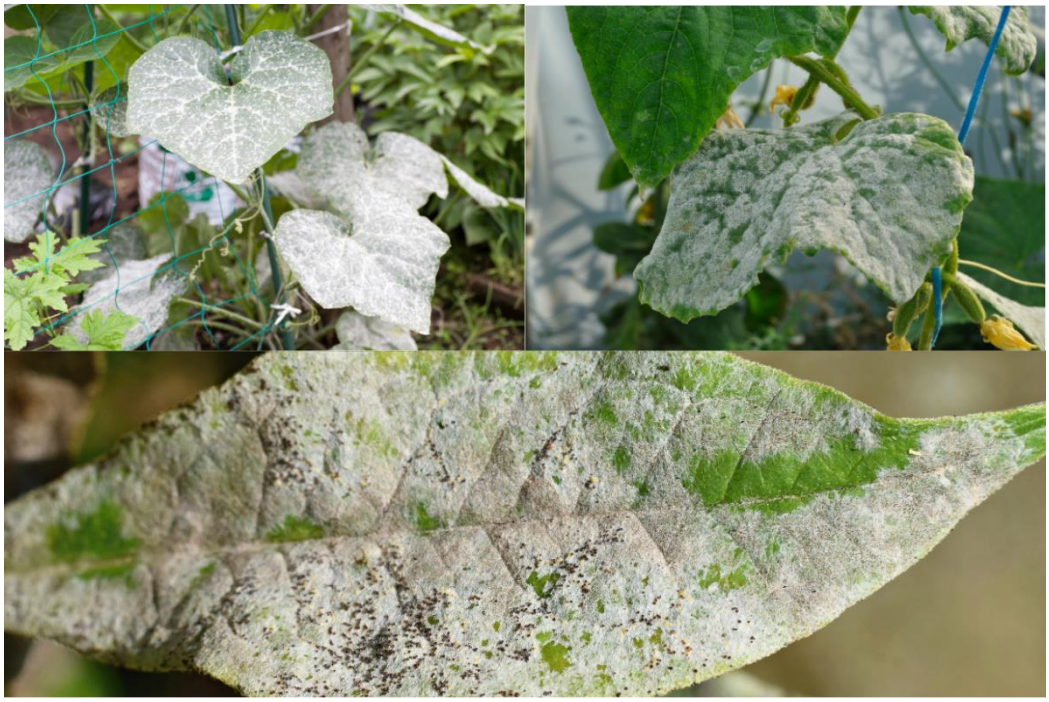
Lehtimiinaajat ovat erilaisten hyönteisten, tyypillisesti kärpästen, toukkia, jotka tunkeutuvat kasvien lehtiin ja kuluttavat kerrosten välistä kudosta. Tämä johtaa havaittaviin aaltoileviin merkintöihin tai epäpuhtauksiin lehdissä, mikä voi heikentää fotosynteesiä ja vaarantaa kasvin elinvoiman. Vaikka lehtikaivosvaurio harvoin johtaa kasvien kuolleisuuteen, se voi heikentää sadon laatua ja satoa. Akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmissä lehtikuoriaisia hallitaan tyypillisesti biologisilla torjuntakeinoilla, kuten loisaimpiaisilla (Diglyphus isaea) tai neempuun öljyllä, jotka molemmat ovat turvallisia kaloille ja kasveille.

Kuva 30. Lehtimiinaajien vahingoittamia lehtiä.

Kasvitaudit akvaponisessa viljelyssä

Härmäsieni (Erysiphales)

Härmäsieni on sienitauti, jolle on tunnusomaista valkoiset, jauhemaiset vauriot kasvien lehtien pinnoilla. Akvaponinen viljely vaikuttaa tyypillisesti kasveihin, joita viljellään kosteissa olosuhteissa ilman riittävää ilmankiertoa. Vaikka härmäsieni ei ole välittömästi tappava kasveille, se voi vaarantaa niiden elinvoimaisuuden häiritsemällä fotosynteesiä, mikä heikentää kasvua ja satoa. Härmän estämiseksi on tärkeää säädellä ilmankosteuden tasoa, varmistaa riittävä etäisyys kasvien välillä optimaalisen ilmankierron varmistamiseksi ja käyttää tarvittaessa orgaanisia rikkipohjaisia sienitautien torjunta-aineita. Kasveille edullisten sienien, jotka kilpailevat härmän kanssa, käyttöönotto voi myös parantaa kasvien vointia akvaponisessa järjestelmässä.



Kuva 31. Härmäsienen saastuttamat lehdet.

Juurimätä Pythium-sienen aiheuttamana.

Vedessä leviävien patogeenien, kuten Pythium-sienen usein aiheuttama juurimätä on yksi vakavimmista akvaponisen viljelyjärjestelmään vaikuttavista sairauksista. Se ilmenee, kun kasvien juuret altistuvat liian kylläisille olosuhteille, jotka aiheuttavat lahoamista. Tartunnan saaneet juuret muuttuvat ruskeiksi ja kovapintaisiksi, mikä johtaa kasvien kasvun hidastumiseen ja kuihtumiseen. Juurimätä voi levitä nopeasti koko akvaponiseen järjestelmään ja vaikuttaa useisiin kasveihin samanaikaisesti. Ennaltaehkäisyyn kuuluu optimaalisen vedenlaadun ylläpitäminen, oikeanlaisen ilmanvaihdon varmistaminen juurivyöhykkeellä ja liiallisen kastelun estäminen. Hyödylliset mikro-organismit, kuten Trichoderma, voivat auttaa Pythium-sienen hallinnassa vesiviljelyjärjestelmissä.

Perunahome (family Peronosporaceae)

Perunahome on sienen kaltainen vaiva, joka vaikuttaa akvaponisen järjestelmän kasvillisuuteen, erityisesti lehtivihanneksiin, kuten salaattiin ja basilikaan. Se kukoistaa viileässä, kosteassa ympäristössä ja esiintyy kellertävinä vaurioina lehtien yläpinnalla, johon liittyy sumeaa harmaata tai valkoista kasvua alapuolella. Perhosieni voi aiheuttaa huomattavaa haittaa viljelykasveille, mikä heikentää kasvien kasvua ja heikentää satoa. Taudin leviämisen hillitsemiseksi homeen hallinta edellyttää ilmankierron tehostamista, kosteuden vähentämistä ja tartunnan saaneen kasviaineen poistamista. Kuparipohjaiset sienitautien torjunta-aineet, joiden katsotaan olevan turvallisia akvaponisille järjestelmille, voivat auttaa estämään tautipesäkkeitä.

Kuva 32. Perunahometartunta kasvien lehdissä ja hedelmissä.

Bakteerilehtilaikku Xanthomonas-lajin aiheuttamana.

Bakteerilehtilaikku on Xanthomonas-suvun bakteerien aiheuttama sairaus, joka vaikuttaa erilaisiin kasveihin, erityisesti viherkasveihin ja yrtteihin. Se näyttää pieniltä, vedellä kyllästetyiltä vaurioilta lehdissä, jotka lopulta muuttuvat ruskeiksi tai mustiksi. Sairaus voi levitä nopeasti erityisesti korkeassa kosteudessa ja vaikuttaa merkittävästi kasvien terveyteen. Akvaponisessa järjestelmässä bakteerien lehtilaikkua voidaan lieventää pidättäytymällä yläpuolisesta kastelusta, sijoittamalla kasveille riittävät välit ilmankierron helpottamiseksi ja käyttämällä kuparipohjaisia bakteerimyrkkyjä. Järjestelmän johdonmukainen puhdistus kasvijätteen poistamiseksi on ratkaisevan tärkeää bakteerien lisääntymisen estämiseksi.

Kuva 33. Bakteerien aiheuttamia lehtipistevaurioita kasvien lehdissä.

Sairauksien ja tuholaisten riskin minimoimiseksi akvaponisessa järjestelmässä on elintärkeää pitää ekosysteemi tasapainossa ja hyvässä kunnossa. Tämä alkaa järjestelmän oikeasta suunnittelusta, johon kuuluu asianmukainen ilmanvaihto, kosteuden hallinta ja riittävän etäisyyden ylläpitäminen kasvien välillä, jotta vältetään ilmassa olevien ja sieni-infektioiden leviäminen. Kun veden laatutekijöitä, kuten pH:ta, ammoniakkia, nitriittejä ja liuennutta happea, seurataan, se auttaa välttämään stressiä sekä kasveissa että kaloissa, mikä puolestaan vähentää näiden organismien alttiutta erilaisille infektioille. Tuholaisten torjumiseksi tehokkaasti aiheuttamatta vahinkoa kaloille tai kasveille on mahdollista käyttää integroituja tuholaistorjuntastrategioita (IPM). Näihin toimintoihin kuuluu hyödyllisten hyönteisten (kuten leppäkerttujen tai petopunkkien) istuttaminen ja orgaanisten hoitojen, kuten neempuun öljyn, käyttö. Taudinpurkauksen ehkäisyssä on tärkeää tehdä rutiinitarkastuksia kaloille ja kasveille sekä poistaa sairaat esineet mahdollisimman pian. Näiden mainittujen tuholaisten ja tautien torjuntaan on olemassa useita ratkaisuja, mutta on kuitenkin arvioitava huolellisesti, onko niiden käyttö todella tarpeellista ja onko synteettiset torjunta-aineet sertifioitu käytettäviksi akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmässä. Uusien kasvien ja kalojen karanteeniin asettaminen, järjestelmän puhtauden ylläpito ja jätteiden kertymisen hallinta ovat myös tärkeitä velvollisuuksia sairastumisvaaran vähentämisessä ja akvaponisen ekosysteemin kukoistavan ympäristön varmistamisessa.

Pathogens affecting fish

Akvaponisessa viljelyjärjestelmässä kasveja uhkaavat useat tuholaiset ja sairaudet, mutta järjestelmän vesieliöt ovat myös alttiita taudinaiheuttajille. Akvaponisessa viljelyjärjestelmässä kalasairauksiin kuuluvat sieni-infektiot, loistaudit (kuten Ich) ja bakteeritaudit, kuten kolonnitaudin. Optimaalisen vedenlaadun varmistaminen on välttämätöntä kalojen stressin lievittämiseksi, mikä säilyttää niiden immuunijärjestelmän ja vähentää niiden alttiutta sairauksille. Tavallisiin ennaltaehkäiseviin toimenpiteisiin kuuluvat vasta hankittujen kalojen eristäminen, ihanteellisen veden lämpötilan ylläpitäminen ja ammoniakin ja nitriittipitoisuuksien minimoiminen. Kalojen käyttäytymisen ja fyysisen terveyden johdonmukainen seuranta voi helpottaa taudin oireiden varhaista havaitsemista. Lisätietoa

kalojen taudinaiheuttajista löytyy TransFarmin raportista "Kalat akvaponisessa vesiviljelyssä – valinta, vaatimukset ja rajoitukset".

Lähteet:

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 aquaponic 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.