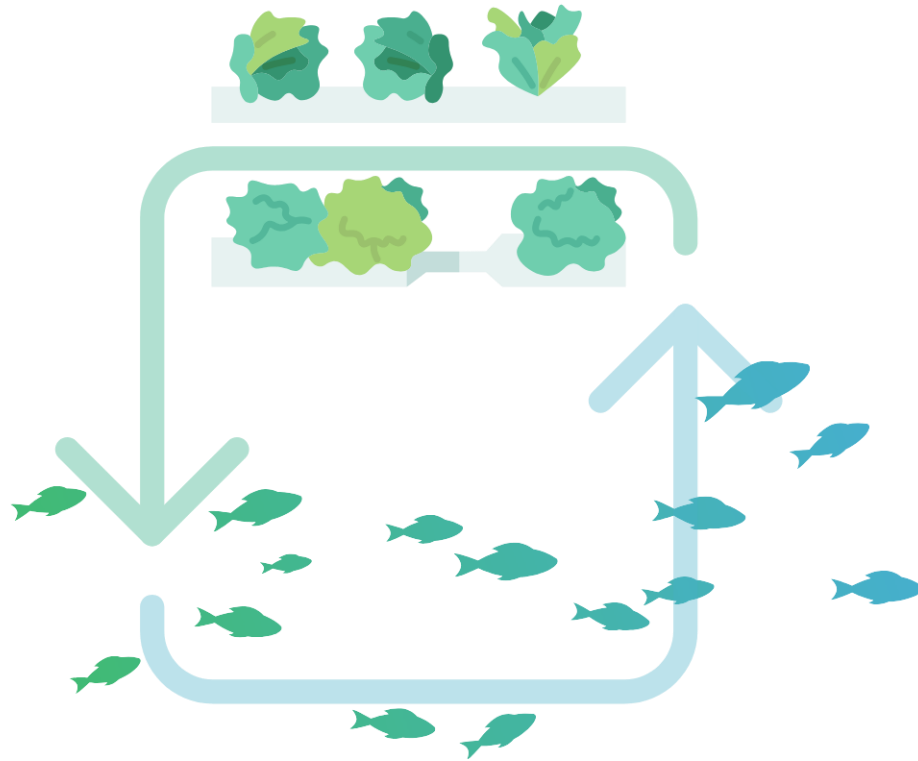


VATTENKVALITET INOM AKVAPONIK



Innehåll

1. Introduktion	4
1.1. TransFarm projektet	4
1.2. Vattenkvalitet inom akvaponik.....	5
2. Vattenkvalitetsparametrar	6
2.1. Temperatur.....	6
2.2. Syre.....	8
2.3. pH	11
2.4. Vattenhårdhet	14
2.5. Det viktigaste näringsämnet - kväve	15
3. Mikroorganismer i akvaponik.....	21
3.1. Alger	21
3.2. Andra bakterier.....	23
3.3. Svampar	26
4. Vattenkällor	28
5. Vattenbehandling för aquaponik	30
5.1. Reglering och felsökning av vattenkvalitet.....	31
5.2. Test och övervakning av vattenkvalitet	32
Referenser	34

Sammanfattning

Akvaponik är ett system som kombinerar principerna för vattenbruk och hydroponik. Fisken metaboliserar fiskfoder och släpper ut avfall som bakterier omvandlar till växttillgängliga näringsämnen. Det huvudsakliga elementet som förbinder alla tre levande organismerna i ett akvaponiksystem är vatten. Vatten är livsmiljön för fiskarna och mikroorganismerna och matningsmiljön för växter, som alla påverkas av vattenkvaliteten. Eftersom vattenbruk och hydrokultur har olika krav på vattenkvalitet som är lämpliga för specifika fiskarter och växtarter måste en kompromiss inom vattenkultur utarbetas som passar fiskar, växter och mikroorganismer. Det invecklade förhållandet mellan dessa tre organismgrupper samexisterar i nära symbios för att förse varandra med de nödvändiga näringsämnena. Denna rapport sammanfattar de viktigaste vattenkvalitetsparametrarna i ett akvaponiksystem. Information om vattenkvalitetsparametrar som pH, löst syre, vattnets hårdhet, konduktivitet, temperatur och kvävekretsloppet har beskrivits utgående ifrån varje inkluderad organism i detta system. Vattenkvalitetsövervakning och felsökning har också beskrivits utifrån de vanligaste problemen som uppkommer i sådana system. Denna rapport innehåller allmän information för entreprenörer och individer som är intresserade av och de som startar ett akvaponiksystem.

Nyckelord: TransFarm, akvaponik, vattenkvalitet, parametrar

Informationen i denna rapport är en sammanställning av olika artiklar och böcker. Referenserna finns i rapportavsnittet "Referenser".

Utarbetandet av denna rapport har fått stöd av Interreg Central Baltic Region-projektet CB0100007 "TRANSborder cooperation for circular soil-less FARMing systems - TransFarm".

1. Introduktion

1.1. TransFarm projektet

Det finns flera miljömässiga och sociala utmaningar som livsmedelssektorn måste möta: Jordbruket är en sektor som är särskilt påverkad av klimatförändringarna, våra hav är överfiskade och världens befolkning beräknas fortsätta växa till cirka 9,7 miljarder människor år 2050. Länder i Östersjöregionen är starkt beroende av livsmedelsimport, särskilt för grönsaker, frukt och fisk. På senare år har pandemierna och kriget i Ukraina belyst behovet av mer självförsörjande livsmedelssystem. Dessutom står jordbruk och vattenbruk för en stor del av näringsläckaget som driver på övergödningen av Östersjön.

För att möta dessa utmaningar vill TransFarm-projektet föra livsmedelsproduktionen närmare konsumenterna genom att främja jordfria jordbruksmetoder som kan implementeras även inomhus och som producerar året runt. Exempel på dessa metoder är hydroponik, där växter odlas i vatten, och akvaponik, som kombinerar hydroponik med vattenbruk som till exempel fiskodling.

Akvaponik är ett cirkulärt, slutet system, där vatten från fiskodlingen används för att odla växter. Fiskavföringen i vattnet omvandlas mikrobiologiskt i ett biofilter, absorberas av växter och sedan återförs renare vatten till fisken. Systemet har ett helt cirkulärt vattenflöde som möjliggör återanvändning av näringsämnen utan utsläpp av näringsämnen i miljön. Eftersom fiskarna, växterna och mikroorganismerna i ett akvaponiksystem fungerar i nära symbiotisk relation används inte antibiotika eller bekämpningsmedel, vilket i sin tur ger renare och hälsosammare produkter.

TransFarm kommer att demonstrera akvaponik i Sverige, Estland och Lettland samt testa alternativa vattenkällor som regnvatten och återvunnet gråvatten: Partners från dessa länder kommer att bygga demonstrationsanläggningar med olika egenskaper och syften. Erfarenhetsutbytet från de olika demoanläggningar kommer att bidra till gemensamt kunskapsbyggande och anläggningarna kommer att kunna inspirera och utbilda framtida akvaponiker. Den kunskap som samlas in under konstruktion och övervakningen av demoanläggningarna kommer att resultera i utbildningsmaterial tillgängligt för alla aktörer som är intresserade av akvaponik.

Projektet kommer också att undersöka affärsmodeller, driva aktiviteter för att informera konsumenter om kvaliteten på akvaponikprodukterna, utbilda entreprenörer som vill starta ett akvaponiksystem samt informera tjänstemän och beslutsfattare om den minskade miljöpåverkan av cirkulära jordfria jordbruksmetoder.

TransFarm-projektets varaktighet är tre år (2023-2026) och det koordineras av Turku School of Economics vid Åbo universitet (Åbo, Finland). Projektpartners är Estonian University of Life Sciences (Tartu, Estland), Lettlands universitet (Riga, Lettland), Campus Roslagen AB och Coompanion Roslagen & Norrort (Norrköping, Sverige).

TransFarm-projektet finansieras av EU:s Interreg Central Baltic-program, projektets totala budget är 1,87 miljoner euro, EU-finansiering täcker 1,5 miljoner euro.

1.2. Vattenkvalitet inom akvaponik

Akvaponik är ett hållbart och kreativt tillvägagångssätt för livsmedelsproduktion som blandar vattenbruk och hydroponik för att etablera ett ömsesidigt fördelaktigt ekosystem. Den viktigaste komponenten i detta komplexa system är vatten. Vattenkvaliteten spelar en avgörande roll i den dynamiska akvaponikens värld, där fiskar och växter interagerar i ett slutet system. Vikten av detta kan ses i den invecklade jämvikt som behövs för att upprätthålla idealiska omständigheter för cirkulationen av näringsämnen, växternas tillväxt och fiskens hälsa. Därför är en grundlig förståelse av vattenkvalitet avgörande för både akvaponikentusiaster, forskare och utövare.

pH-nivån, som anger vattnets surhetsgrad eller alkalinitet, är väsentlig. Att säkerställa ett stabilt pH-värde mellan 6,5 och 7,5 är avgörande för växttillgängligheten av näringsämnen och gynna mikrobiell aktivitet, som är avgörande för hälsan och vitaliteten hos fiskar och växter. **Temperaturen** är en avgörande faktor som påverkar ämnesomsättningen, näringsupptaget och mikroklimatets allmänna välbefinnande. Konsekvent övervakning är viktiga för att i ett tidigt skede undvika stora förändringar som kan orsaka störningar eller skada på vatten- eller växtelementen. **Ammoniak-** och **nitritnivåer** är avgörande markörer för kvävetets kretslopp. Det är viktigt att övervaka och upprätthålla låga nivåer av dessa kväveformer för att förhindra skador på fisk och bevara ett välbalanserat system. **Nitrater**, som är det sista resultatet av kvävecykeln, fungerar som en grundläggande näringskälla för växter. Att upprätthålla en optimal jämvikt är avgörande för att garantera ett blomstrande akvaponikekosystem utan att äventyra välmåendet för något av systemets beståndsdelar. Adekvata nivåer av **löst syre** behövs för den övergripande hälsan och vitaliteten hos både vattenlevande organismer, som fiskar, och växtliv. Otillräckliga syrenivåer kan resultera i stress, hämmad tillväxt och till och med död hos fisk, vilket understryker vikten av att använda lämpliga metoder för luftning och syresättning. Konduktivitet och suspenderade ämnen används för att kvantifiera mängden lösta joner och mineraler som finns i vatten. Konsekvent övervakning hjälper till att upprätthålla en optimal näringsjämvikt, och förhindrar därigenom eventuella obalanser eller skadliga nivåer i akvaponiksystemet.

Bakterierna som finns i akvaponiksystem har en viktig funktion i kvävetets kretslopp, eftersom de omvandlar fiskavfall till viktiga näringsämnen (nitrater) som är nödvändiga för växternas tillväxt. Dessa fördelaktiga bakterier fungerar som biologiska filter, förbättrar vattenkvaliteten genom att sönderdela skadliga föreningar och förhindra sjukdom. Dessutom har bakterier en roll i att upprätthålla pH-nivåer, stabilisera systemet mot förändringar i miljön och ta bort ammoniak, vilket gynnar det övergripande välbefinnandet och anpassningsförmågan hos både fiskar och växter. Förekomsten av en stark bakteriepopulation är avgörande för processen med näringsomsättning, undvikande av sjukdomar och upprätthållande av stabilitet inom akvaponik. Detta understryker deras avgörande funktion för att stödja en välbalanserad och effektiv miljö.

En framgångsrik akvaponi är beroende av noggrann kontroll av vattenkvalitetsparametrar. Genom att säkerställa systemets hälsa och produktivitet bidrar vi också till de bredare målen hållbarhet och ansvarsfull livsmedelsproduktion. För att till fullo kunna utnyttja den motståndskraftiga och effektiva förmågan hos akvaponik som en teknik för livsmedelsproduktion, är det avgörande att ha en grundlig förståelse för vattenkvalitetsfaktorer.

2. Vattenkvalitetsparametrar

2.1. Temperatur

Akvaponiksystemets komponenter och egenskaper påverkas alla av vattnets temperatur. Ett vanligt kompromissintervall är mellan 18 och 30°C. Både toxiciteten (jonisering) och nivåerna av löst syre (DO, *dissolved oxygen*) och ammoniakhalten påverkas av temperaturen; en temperaturhöjning resulterar i en ökning av icke joniserad (giftig) ammoniak och en minskning av syrehalten.

Snarare än lufttemperaturen påverkar vattnets temperatur växterna i ett akvaponiksystem. För de flesta grönsaker är temperaturintervallet 18 till 30°C lämpligt. Vissa grönsaker är dock mycket bättre lämpade att odla i specifika miljöer. Gurkor, sallad och mangold är några av de grönsaker som trivs i temperaturer mellan 8 och 20°C. Å andra sidan föredrar ofta örter och grönsaker som basilika, kål och okra en temperatur mellan 17 och 30°C. Varmare än 26°C får bladgrönt att gå i stock, vilket ger frösättning och blommor som gör grönsakerna bittra och osäljbara. Växter kommer att stressas av de stigande vattentemperaturerna. När den utsätts för varmt vatten, sluter växten så småningom sina rötter och går in i överlevnadsläge. Vissnande blad, låga syrehalter, växter som släpper blommor och slutar att ge frukt, mjuka, bruna, slemmiga rötter, salladsväxter som går i stock och begränsningar av växternas förmåga att absorbera kalcium är några tecken på värmestress. Luftfuktigheten och lufttemperaturen har också inverkan på hur kraftig värmestressen hos växterna blir.

Eftersom de är kallblodiga kan fiskar inte anpassa sig till kraftigt varierande vattentemperaturer. Fisk kan också delas in i tre kategorier: kallvatten-, svalvatten- och varmvattenfisk. Tropiska fiskar, som Tilapia och vanlig karp, klarar sig ofta bra i vatten som är mellan 22 och 32°C. Ändå föredrar kallvattenarter som öring temperaturer mellan 10 och 18°C. Vanlig karp har till exempel ett större temperaturlöslighetsintervall på 5 till 30°C än andra tempererade vattenarter (tabell 1). Optimal temperatur för varje art krävs för att säkerställa snabbare tillväxthastigheter, säkerställa effektiv foderomvandling och minimera riskerna för sjukdomar. Högre vattentemperaturer kan öka andningshastigheten och ämnesomsättningen. Högre temperatur i vattnet innebär att mindre löst syre kommer att finnas tillgängligt, men vid förhöjd temperatur ökar fiskens efterfrågan på syre. En viktig komponent i akvaponik är att matcha vattentemperaturen till fisken och hålla den inom 2 grader Celsius (dvs en hög grad av temperaturkontroll). Detta beror på att fisk som har optimal ämnesomsättning och foderomvandling när vattentemperaturen är korrekt och håller sig nära det ideala genomsnittet har bättre fisktillväxt och stabila, förutsägbara avföringsutsläpp, vilket gynnar växtodlingen.

Table 1. Optimala temperaturspann för olika organismer.

Typ av organism	Optimalt temperaturspann, °C	Exempel
Varmvattenfisk	22-32	Tilapia, karp, abborre, ål, kräftor, stör
Kallvattenfisk	10-18	Laxfiskar
varmvädersväxter	23-28	Kål, basilika
kallvädersväxter	17-25	Sallad
<i>Nitrobacter</i> spp.	25-29	
<i>Nitrosomonas</i> spp.	21-29	
Överlappande temperatur	18-30	Majoriteten av fiskar och växter

För bakterier och akvaponik i allmänhet är vattnets temperatur avgörande. 17–34°C är det idealiska temperaturintervallet för bakterietillväxt och produktivitet. Inom det temperaturspannet har nitrifierande bakterier bra förhållanden. Om temperaturen sjunker lägre kommer nitrifikationseffektiviteten att minska, men inte upphöra – bakterierna blir inaktiva vid 4°C. Temperaturer under 0°C och över 49°C är dödliga för nitrifierande bakterier. Vintertid påverkas systemen avsevärt av de låga temperaturerna om systemen utsätts för väderförhållanden utomhus.

Med tanke på den optimala tillväxt- och överlevnadstemperaturen för varje grupp av organismer – fiskar, växter och bakterier – bör arter som har matchande krav väljas. Om ett system som är mer påverkat av förändringar av väderförhållandena utomhus används bör växt- och fiskarterna övervägas noggrant, därför är det mer tillrådligt att använda akvaponiksystem inomhus, där klimatet kan anpassas och hållas konstant under hela året.

Case study!

Vattentemperaturens inverkan på tillväxt, närings- och mikrobiologisk dynamik

I ett akvaponiksystem som producerar öring och basilika genomfördes en studie för att utreda effekterna av ett 11-gradigt vatten jämfört med ett 21-gradigt. Resultaten visade att fisk- och växttillväxten i ett akvaponiksystem påverkas signifikant av vattentemperaturen. Tillväxthastigheten var betydligt högre i det varmare vattnet. Mikrobiologin, biofiltrets effektivitet och näringsupptaget i systemet påverkades negativt av det kallare vattnet. Man visade att basilika är en trädgårdsväxt som växer bra i akvaponiska system. Resultaten visade också vikten att i låga vattentemperaturer ta hänsyn till växternas behov när man väljer fiskfoder och optimerar näringsammansättningen. I det här fallet var växt/fiskkvoten 15:8, men ytterligare studier behövs för att fastställa andra kvoter relaterade till näring. En annan avgörande faktor är storleken på producerade fiskar och plantor.

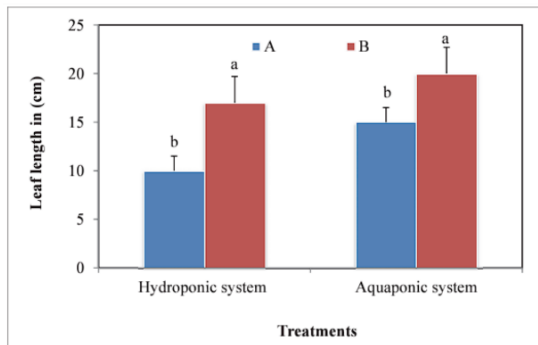


FIGURE 1. Effect of water temperature A = 11°C or B = 21°C in the hydroponics (control) system and the aquaponics system on leaf length (in cm) of sweet basil. Treatment means were separated using Tukey’s HSD, with P < 0.05 considered significant. Each bar represents mean ± standard error. n = 13.

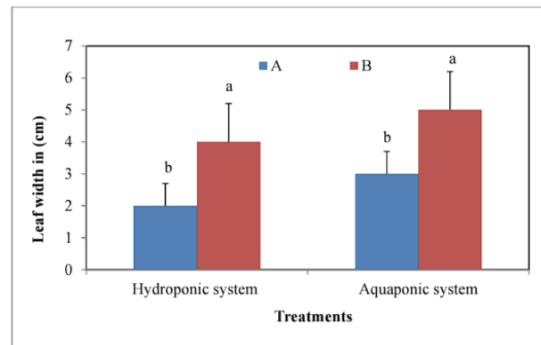


FIGURE 2. Effect of water temperature A = 11°C or B = 21°C in the hydroponics (control) system and the aquaponics system on leaf width (in cm) of sweet basil. Treatment means were separated using Tukey’s HSD, with P < 0.05 considered significant. Each bar represents mean ± standard error. n = 13.

Khalil, S. (2018). Growth performance, nutrients and microbial dynamic in aquaponics systems as affected by water temperature. Eur. J. Hortic. Sci, 83, 388-394.

2.2. Syre

Definition

Löst syre (DO, *dissolved oxygen*) i vatten avser mängden syre som finns tillgänglig i vatten, normalt i samma temperatur som omgivningen har. Det är en avgörande faktor för akvatiska organismers överlevnad, eftersom akvatiska organismer som fisk, bakterier och ryggradslösa djur behöver syre för andning och metaboliska processer.

Halten av löst syre i vatten mäts oftast i milligram per liter (mg/L), som procent av mättnadsnivån eller andelen i miljondelar (ppm). Mättnadsnivån är maximalt syremängd som vatten kan hålla vid en specifik temperatur. Det varierar med temperatur och salthalt i vattnet, ett kallare vatten kan innehålla mer löst syre än ett varmt vatten.

En av de mest avgörande faktorerna för fiskens tillväxt är syrehalten, som också är väsentligt för de goda nitrifierande bakterierna som omvandlar fiskavfall till näringsämnen som växter kan ta upp. För att bibehålla hälsa och tillväxt behöver varmvattenfiskar över 5 delar per miljon (ppm) DO, vilket kan användas omväxlande med milligram per liter (mg/l). Kallvattenfisk, å andra sidan, behöver en syrehalt på över 6,5 mg/l. Även om vissa karparter, som tilapia, kan tolerera lägre syrehalter så kommer tillväxthastigheten att påverkas (Figur 1). En fisks konsumtion av syre avgörs av dess storlek, slag, aktivitetsnivå (utfodring och reproduktion) och vattentemperatur. Större fiskar, till exempel, använder vanligtvis mer syre än mindre fiskar. Mindre fiskar använder dock mer syre per viktenhet.

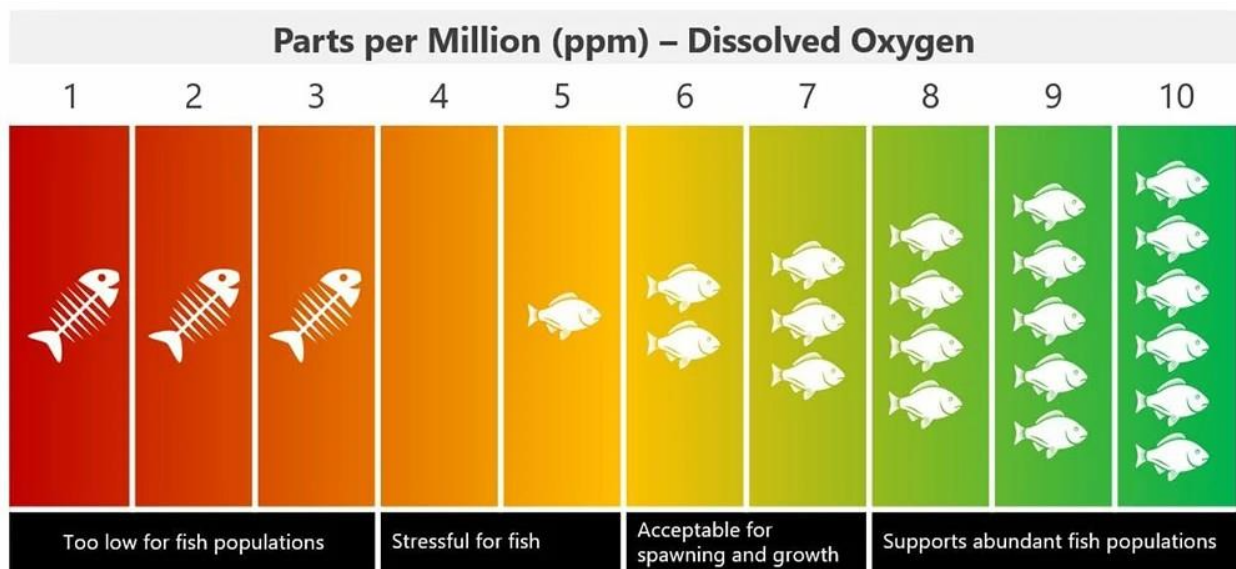


Figure 1. Syrehaltens inverkan på fiskpopulationer ¹.

¹ <https://atlas-scientific.com/blog/dissolved-oxygen-in-water-ppm-for-fish/>

I akvaponiska system rekommenderas att syrehalten hålls på 5-6 ppm (=mg/l) eller högre. I ett nytt system bör syrenivåer övervakas ofta, men efter att protokoll har upprättats (t.ex. lämpliga fiskbestånd och utfodringshastigheter har fastställts, tillräcklig luftning tillhandahålls) är syremätningarna inte nödvändiga lika ofta. Små fiskbestånd hos amatörödlare inom akvaponik har vanligtvis inga problem med låga syrehalter. Kommersiella företag med stora bestånd är mer benägna att ha detta problem. Öka luftningen i ditt system genom att lägga till fler luftstenar eller använda en större pump om syrehalterna är för låga. Det finns ingen risk att tillföra för mycket syre eftersom det bara kommer att avdunsta i atmosfären när vattnet blir mättat. Syrelösligheten i vatten minskar med ökande temperatur, vilket understryker fördelen med konstant vattentemperatur i systemet.

Ett undantag med avseende på syrehalter och dess inverkan på vattenkemin kan förekomma i DWC-bäddar (djupvattenkultur) täckta med flytande material, som begränsar CO₂-lösligheten i vatten vilket i kombination med överflöd av syre kan resultera i en liten ökning av vattnets pH.

Processerna med diffusion, luftning, fotosyntes, andning och nedbrytning påverkar alla syrehalten. Variationer i salthalt, temperatur och tryck resulterar alltså typiskt i variationer i vattnets halt av löst syre.

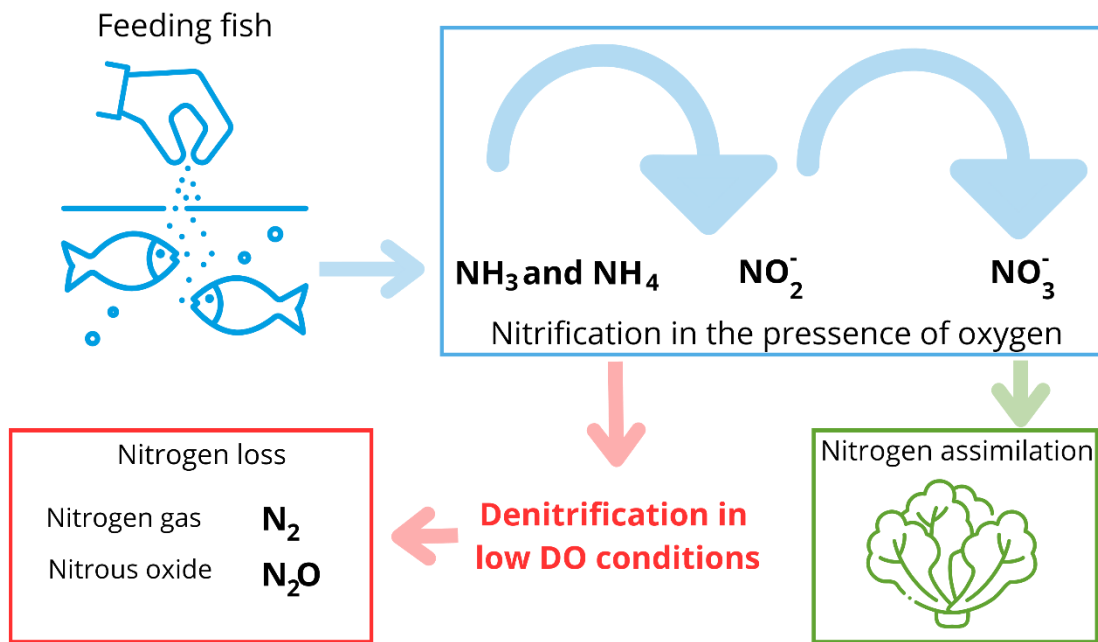


Figure 2. Mikrobiell aktivitet i syrerika och syrefattiga förhållanden.

Syrehalten är också en viktig faktor som påverkar nitrifikationsprocessen i ett akvaponiksystem. I biofiltret där nitrifikationen är mest aktiv sker intensiv luftning för att tillsätta syre till vattnet. Därefter förbrukar de nitrifierande bakterierna det lösta syret för att oxidera ammoniak. Utan konstant tillförsel av syre upphör nitrifikationsreaktionen nästan helt. Optimala syrehalter för nitrifikation är 4-8 mg/l (4-8 ppm). Med lägre syrenivåer (lägre än 2 ppm) kommer nitrifikationen att minska avsevärt. Den låga syrehalten kan ge gynnsamma förutsättningar för en annan typ av bakterier – denitrifikationsbakterier (Figur 2). Denna bakterie kan omvandla det värdefulla växtnäringämnet kväve tillbaka till potentiellt skadlig ammoniak och vidare till kvävgas eller dikväveoxid, som är gaser. Denitrifikation orsakar i huvudsak förluster av kväve i systemet, så det kan potentiellt reducera tillväxten av växter (Figur 2).

Plantrötter som är i direkt kontakt med vattnet kräver också minimala nivåer av syre. Växter är i allmänhet mer motståndskraftiga för låga syreförhållanden än fiskar eller bakterierna som är involverade i funktionen av det akvaponiska systemet, därför är det viktigare att tillgodose behoven hos mikrobiologin och framför allt fisken. I akvaponiksystem är kraven på löst syre för växter ofta liknande vad de behöver i traditionella hydroponiska system. Både fiskar och växter inom akvaponik är beroende av löst syre i vattnet för att trivas. Den idealiska nivån av löst syre för växter inom akvaponik varierar vanligtvis från 5 till 8 milligram per liter (mg/l), men även lägre nivåer kan tolereras.

En annan gas som är löst i akvaponiksystemet är koldioxid (CO_2). Fiskens andning leder till att koldioxid (CO_2) släpps ut i vattnet. Förhöjda nivåer av löst CO_2 i vattnet hindrar processen för CO_2 -diffusion från fiskens blodomlopp. Förhöjda nivåer av koldioxid i fiskens blodomlopp leder till en sänkning av blodets pH, vilket i sin tur sänker hemoglobinet förmåga att binda till syre. I vatten minskar koldioxid pH genom att den genomgår kontinuerlig dissociation till kolsyra (H_2CO_3) vid kontakt med vatten. En ökning av fisktätheten i ett system leder till ett större utsläpp av koldioxid, vilket resulterar i en minskning av den totala pH-nivån. Detta fenomen förstärks när fisken uppvisar högre aktivitetsnivåer, till exempel under förhöjda temperaturer. På samma sätt som syre minskar även CO_2 -lösligheten när temperaturen i vattnet stiger. Alla gasöverförings- eller luftningsanordningar i kontakt med atmosfären kommer oundvikligen att leda till avlägsnande av CO_2 . I system med hög genomströmning och storskaliga akvaponiksystem kan en avgasningsenhet läggas till som en valfri modul – detta hjälper till att frigöra löst CO_2 , men normalt uppnås tillräcklig gasavgång genom biofiltret eller droppande av vatten mellan de olika delarna av systemet. Detta visar återigen att korrekt luftning av fisktanken, biofiltret och hela systemet i allmänhet är nödvändigt, inte bara för att säkerställa tillräckliga syrehalter, utan också för att säkerställa utsläpp av CO_2 .

2.3. pH

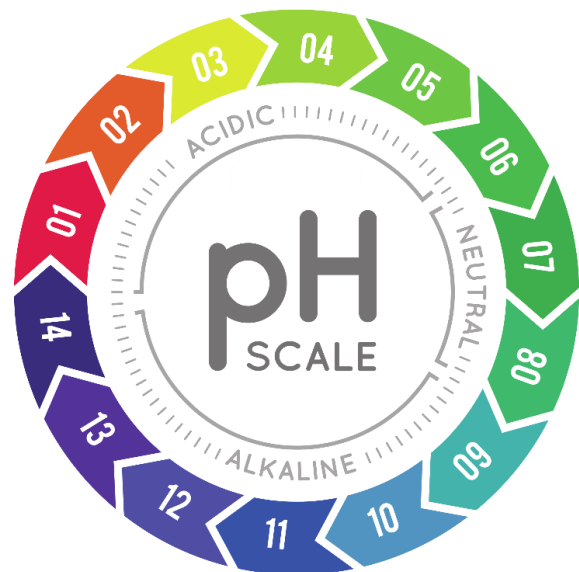
Definition

pH är ett mått på surheten av en vattenlösning. Termen "pH" introducerades av den danske biokemisten Søren peter Lauritz Sørensen 1909. pH-skalan är en logaritmisk skala som sträcker sig från 0 till 14, där 7 anses vara neutral. En lösning med pH under 7 anses vara sur, medan en lösning med pH över 7 anses vara basisk. pH-värdet för en lösning beror på koncentrationen av vätejoner (H^+) som finns i lösningen. Ett lågt pH betyder att det finns en hög koncentration av H^+ joner, medan ett högt pH betyder att det finns en låg koncentration av H^+ joner. En lösningens pH kan mätas med en pH-mätare eller pH-indikatorpapper. pH spelar en viktig roll i många biologiska och kemiska processer, och att upprätthålla rätt pH-balans i akvaponiksystem är avgörande för korrekt växt- och fisktillväxt.

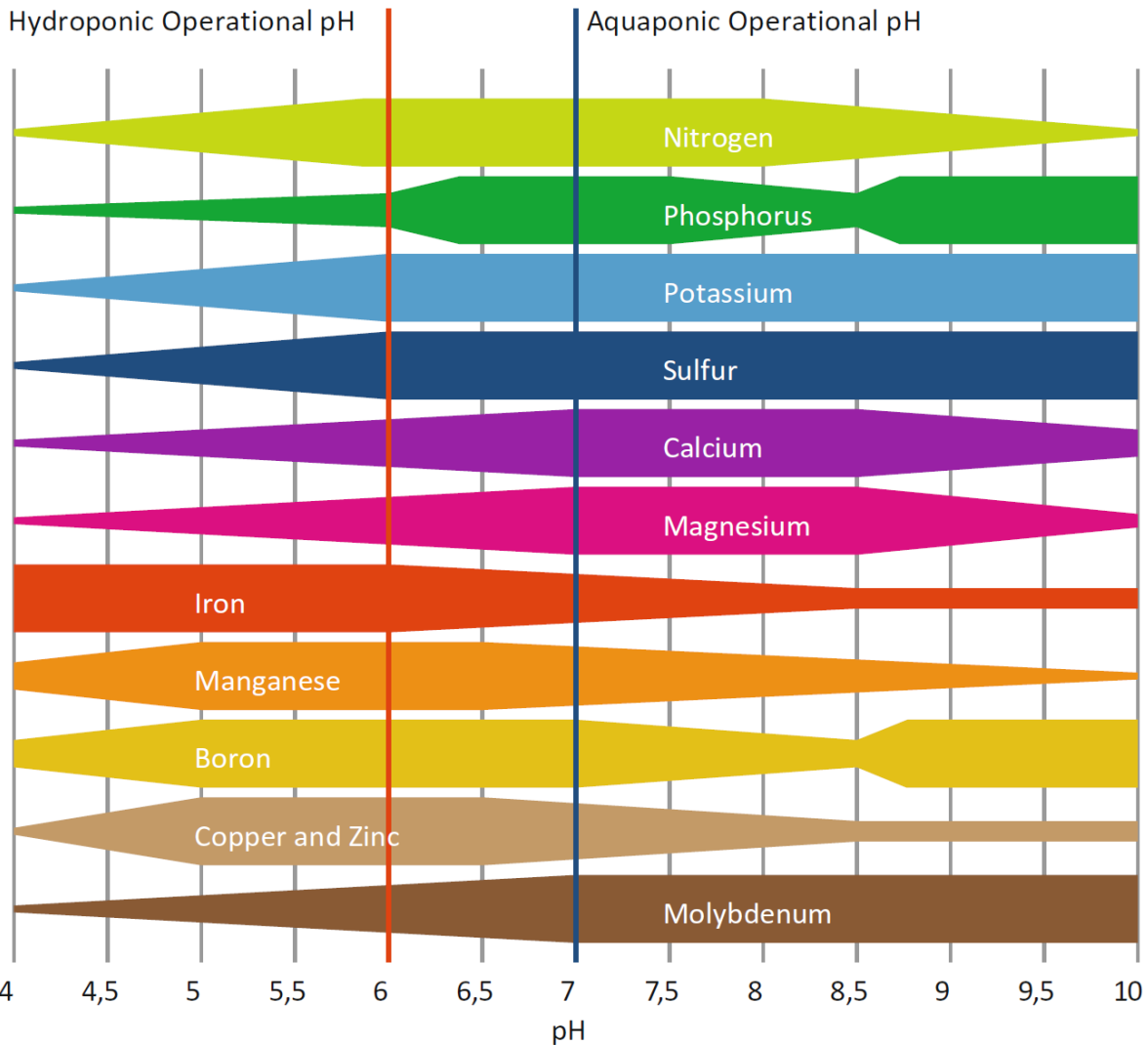
Vattnets pH i hydroponik är avgörande för växternas förmåga att ta emot näringsjoner (Figur 3). Utifrån pH i systemets vatten, tyder forskning på att vissa näringsämnen är tillgängliga inom ett specifika pH-intervall. Därav måste pH justeras till ett värde som maximerar tillgängligheten av näringsammansättningen (Figur 4). Detta är dock en avvägning, eftersom olika näringsjoner är mer tillgängliga vid olika pH-värden. För att maximera tillgängligheten av näringsämnen regleras pH inom hydroponik-industrin vanligtvis mellan 4,5 och 6,0 (en sur miljö), särskilt i steriliserade hydroponik- och substratodlingssystem.

I recirkulerande vattenbrukssystem sätts pH å andra sidan till en nivå som är mer gynnsam för fiskens tillväxt och välfärd. För fisktillväxt är det ungefärliga börvärdet för pH 7,5 vilket samtidigt är den optimala pH-nivån för mikrotillväxt, mer specifikt för de nitrifikationsbakterier som omvandlar fiskavfall till en form av kväve som är mindre giftigt och mer lättillgängligt för växter.

Eftersom de olika delarna av en akvaponik har olika pH-behov finns det också pH-relaterade svårigheter. Medan recirkulerande vattenbrukssystem (RAS) för sötvattensfiskarter normalt kräver pH-värden mellan 7,0 och 8,0, kräver hydroponiskt odlade växter vanligtvis pH-värden mellan 4,5 och 6,0. De mikroorganismer som omvandlar potentiellt farliga föreningar från fiskavfall till mindre farliga föreningar måste också trivas i dessa miljöer. Ett resultat av detta är att varje pH-börvärde är en kompromiss mellan pH-kraven för mikroorganismer, fiskar och växter. Detta stödjer påståendet att det är omöjligt att uppnå ett idealiskt pH för alla levande organismer inom ett akvaponiskt system, vilket kan göra det svårt att uppnå en idealisk tillväxt för växterna. Tillgängligheten av näringsämnen bör därför beaktas vid justering av systemets pH så att varken växternas eller fiskarnas tillväxt påverkas till sämre än optimal.



Figur 3. pH-skala som visar värden för surt-basiskt mellan pH 1-14.



Figur 4. Näringstillgänglighet baserat på pH i vattenmiljön².

Olikheterna i vad som är ett optimalt pH för hydroponik och vattenbruk är troligen en av de största utmaningarna inom akvaponiska system. Inkompatibiliteten hos pH mellan båda systemen tyder på att separerade akvaponiksystem (*decoupled aquaponics systems*) skulle kunna vara en lösning. I ett sådant system återanvänds/återförs inte vattnet till fisktanken, utan används i stället som näringsrikt vatten för växter. Även om en sådan lösning skulle göra det möjligt att undvika undermåliga pH-nivåer, tar den inte hänsyn till behovet av specifika mikrobiom i systemet. Vattnets återcirkulation är nödvändig för att etablera ett fungerande biofiltermikrobiom, som effektivt kan omvandla fiskavfall till växttillgängliga näringsämnen. Dessutom kan växterna i sådana system bilda en viktig symbios med bakterierna, som i sin tur kan bidra till att de kan tillgodogöra sig näringsämnena från det recirkulerade vattnet. I ett akvaponiskt system produceras växternas näringsämnen i första hand av fisk, i stället för att näringsämnen tillförs i form av gödningsmedel (som i hydroponiska system), därför utgör de olika arterna av nitrifikationsbakterier (*Nitrosomonas spp.* och *Nitrobacter spp.*) en avgörande del i en fungerande akvaponik. Symbiosen mellan

² Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (2019). Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future (p. 619). Springer Nature.

växter och mikroorganismer är avgörande för ett väl fungerande system och denna symbios kan även medföra bättre tillväxt än vanlig hydroponik.

Case study!

Effekten av pH för tillväxten hos gurka samt näringstillgänglighet i ett separerat akvaponiskt system med minimalt uttag av fasta ämnen.

Termen "pH" innebär ett mått på surhetsgraden av en lösning. Det är en skala som används för att specificera surheten i en vattenlösning. Sura lösningar har ett lägre pH, medan basiska eller alkaliska lösningar har ett högre pH. Vid rumstemperatur (25 C) är rent vatten varken surt eller basiskt och har ett pH på 7. pH-skalan sträcker sig från 0 till 14. I denna studie studeras pH med avseende på skörd av, och näringsstatus i växthusodlad gurka i recirkulerande hydroponik och med akvaponiskt bevattningsvatten.

Artikeln undersöker effekten av pH på näringstillgång och upptag i ett separerat akvaponiskt system. Studien genomfördes med utgående vatten från en vattenbruksanläggning med tilapiaodlingstankar vid fyra pH-nivåer: 5,0, 5,8, 6,5 och 7,0, vilka användes för att bevattna en gurkanodling. Resultaten visade att pH inte hade någon praktisk effekt på tillväxthastigheten, internodlängd eller skörd under de två växtsäsongerna. Tillgänglighet och upptag av flera näringsämnen påverkades dock av pH. Lösligheten av kalciumsulfat och magnesiumoxid, vilka appliceras på systemet, ökade med sjunkande pH, vilket leder till att ökade kalcium- och magnesiumhalter observerades vid lägre pH. pH påverkade också assimilering av fosfor i växtvävnader, med ökat fosforupptag vid högt pH. Högt pH (7,0) reducerade dock fosforupptaget i apoplasten. Assimilering av nitrat i bladvävnad varierade signifikant med pH, vilket visade på en högsta assimilering vid pH 5,8 och lägst vid pH 6,5. Kalciumupptaget visade de högsta nivåerna vid pH 6,5. Näringshalterna i vattenbruksanläggningens vatten ansågs låga jämfört med hydroponiska system, men elementaranalys av bladvävnader låg inom rekommenderat intervall.

Blanchard, C., Wells, D. E., Pickens, J. M., & Blersch, D. M. (2020). Effect of pH on cucumber growth and nutrient availability in a decoupled aquaponic system with minimal solids removal. *Horticulturae*, 6(1), 10.

2.4. Vattenhårdhet

Definition

Total hårdhet är ett mått på den totala koncentrationen av tvåvärda katjoner, främst kalcium och magnesium, i vatten. Det uttrycks vanligtvis i enheter av kalciumkarbonatekvivalenter och används för att bedöma vattnets förmåga att bilda kalkavlagringar och dess inverkan på olika industriella, hushålls- och miljöprocesser.

Parametern kvantifierar den övergripande mineralhalten i vatten och är viktig för olika applikationer, inklusive vattenrening, jordbruk, och bedömer vattnets lämplighet för specifika ändamål. Total hårdhet kan klassificeras som "mjuk" (låg hårdhet) eller "hård" (hög hårdhet) baserat på koncentrationen av kalcium- och magnesiumjoner.

Vattenhårdhet kan uttryckas och beskrivas på två sätt – allmän hårdhet och karbonathårdhet. Allmän hårdhet har ingen större inverkan på akvaponikprocessen, dock har karbonathårdheten en inverkan på vattnets alkalinitet, varför kan det förändra pH.

Allmän hårdhet är mängden kalcium (Ca^{2+}) och magnesium (Mg^{2+}), samt, men med lägre inverkan, järn- (Fe^{+}) joner som finns i vattnet. Koncentrationen av dessa joner mäts vanligtvis som mg/l eller som ppm. Mängden av dessa joner i vattnet beror till stor del på vattenkällan – högre halter av Ca och Mg finns vanligtvis i vatten som kommer från kalkstensakviferer. Regnvatten har å andra sidan låg vattenhårdhet. Båda delarna har stor inverkan på både fisken och växterna i ett akvaponiksystem. De fungerar som mikronäringsämnen för växter, och det kan förbättra saltförlusten i fisk.

Karbonathårdhet är mängden karbonat (CO_3^{2-}) och bikarbonat (HCO_3^-) lösta i vatten mätt som mg/l CaCO_3 . Karbonater i vätskor (vatten) har ett alkaliskt pH. I vatten fungerar karbonater som en buffert och hindrar snabba pH-förändringar. När vätejoner (H^+) frigörs av en syra binder de till karbonat eller bikarbonat som finns i vattnet och som produceras i akvaponiksystemet vilket hindrar en snabb förändring i pH. Nitrifierande bakterier producerar salpetersyra (HNO_3) som dissocierar till väte och nitratjoner – nitrater assimileras av växter medan vätejonerna inte assimileras och kan snabbt sänka systemets pH. Om karbonathårdheten i ett akvaponiksystem är låg kommer H^+ -jonerna att ackumuleras och sänka pH-värdet (blir surt) vilket stör hela systemets funktion, därför är det viktigt att ha en jämvikt mellan karbonat- och bikarbonatkoncentrationen, på grund av buffringensförmågan hos dessa joner.

Utarmning av karbonater och bikarbonater i ett akvaponiksystem kan undvikas genom att regelbundet fylla på färskvatten från vattenkällan eller genom att tillsätta bikarbonat. Reglering av källvattnets hårdhet kan göras genom att använda filtersystem för att behandla inkommande vatten enskilt systems behov. Det optimala värdet för total hårdhet (summan av allmän hårdhet och karbonathårdhet) i ett akvaponiksystem är 60-140 mg/l (tabell 2). Det är möjligt att tillsätta kemikalier för vattenavhårdning, däremot bör ökning av vattnets salthalt eller andra föreningar som potentiellt kan vara skadliga för fiskar och växter undvikas.

Tabell 2. Vattnets hårdhet baserat på koncentrationen av kalciumkarbonat

Hårdhet	Koncentration (mg/l)
Mjukt	0-60
Medelhårt	60-120
Hårt	120-180
Mycket hårt	>180

2.5. Det viktigaste näringsämnet- kväve

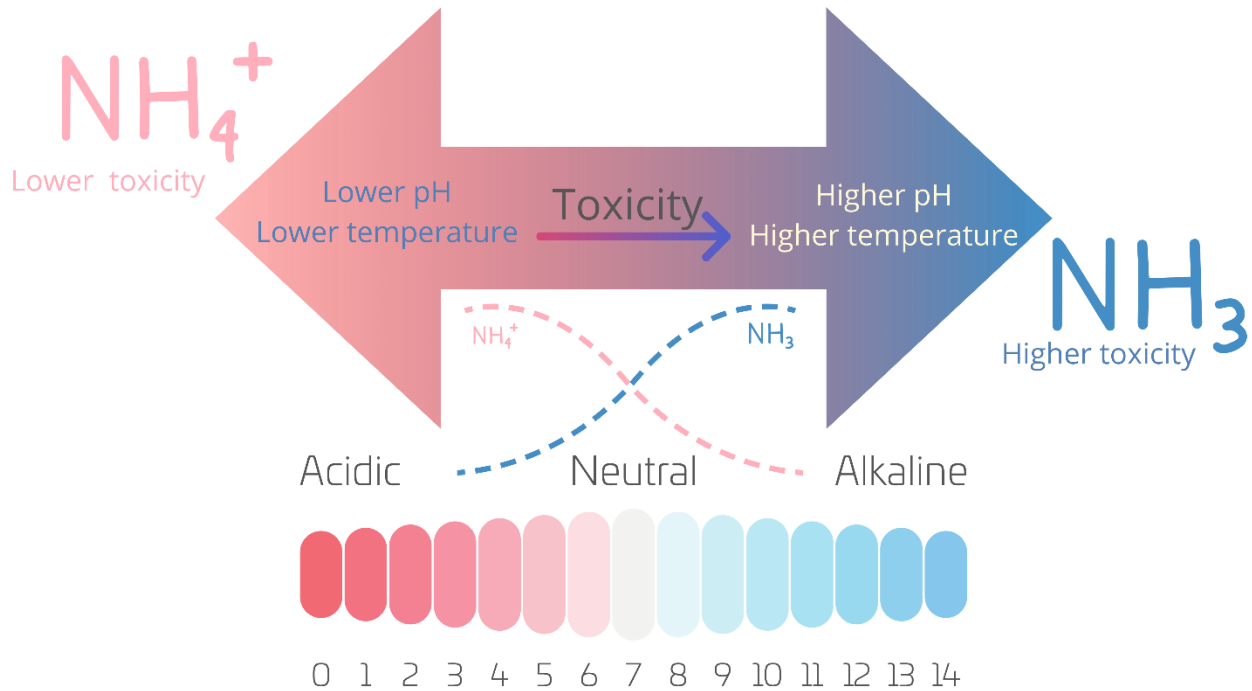
Definition

Kväve är ett av de viktigaste näringsämnena i alla levande organismer – det är en huvudbeståndsdel av deoxiribonukleinsyra (DNA), ribonukleinsyra (RNA) och en del av aminosyror som är byggstenarna i protein. Kväve i olika former finns i akvaponiksystemet som ammoniak (NH_3) eller ammonium (NH_4^+); med tiden kommer bakterier att börja etablera sig och omvandla ammoniak/ammonium till nitrit (NO_2^-) och sedan till nitrat (NO_3^-). Att etablera en fungerande kvävecykel är den viktigaste processen inom akvaponik.

När det gäller akvaponik är komponenterna i näringskedjan: primärproducenter och konsumenter, typiskt uppdelat mellan systemets vattenbruks- respektive hydroponikdelar. Mikroorganismer skapar de synergieffekter som möjliggör effektiv användning av näringsämnen.

Tillförsel av kväve i det akvaponiska systemet sker genom fiskfodret, främst i form av protein. Detta protein konsumeras av fisken och drivs sedan ut som ammoniak (NH_3) och ammonium (NH_4^+). En ökning av proteinhalten i fodret leder till en motsvarande ökning av tillgången på kvävehaltiga ämnen i systemet. Cirka 30 % av proteinet utnyttjas av fisken för metabola processer och tillväxt, medan resterande del utsöndras av fisken som avfall. Fiskar eliminerar kvävehaltiga kemikalier genom sina gälar, samt genom urin och avföring, främst i form av ammoniak, som består av både ammoniak och ammoniumjoner.

Ammoniak har förmågan att existera i två tillstånd: ojoniserat, betecknat som NH_3 , och som jonform, kallat NH_4^+ , vanligare känd som ammoniumjonen. Toxiciteten hos ojoniserad ammoniak för fisk är känd, medan joniserad ammoniak i allmänhet anses vara ogiftig för fisk, särskilt när den finns i mycket höga koncentrationer. Jämviktsförhållandet mellan NH_3 och NH_4^+ i vattenlösningar är beroende av pH- och temperaturförhållandena (Figur 5). När pH-nivån är lika med eller lägre än 7,0 kommer majoriteten av ammoniaken, över 95 %, att finnas i det giftfria tillståndet som ammoniumjoner (NH_4^+). Förhållandet mellan ogiftig och giftig ammoniak förväntas uppvisa en betydande ökning när pH-nivån stiger. Förhållandet mellan NH_3 och NH_4^+ påverkas av vattentemperaturen, där varmare vatten resulterar i en högre koncentration av NH_3 , en mer farlig form, jämfört med kallare vattenförhållanden, vid en given pH-nivå. Lösligheten för ammoniak i vatten är lägre jämfört med den för NH_4^+ -joner. Som ett resultat omvandlas NH_3 snabbt till ett gasformigt tillstånd och frigörs därefter från vattnet, vilket resulterar i en tydlig lukt.



Figur 5. Ammonium och ammoniakkoncentration i förhållande till temperatur och pH.

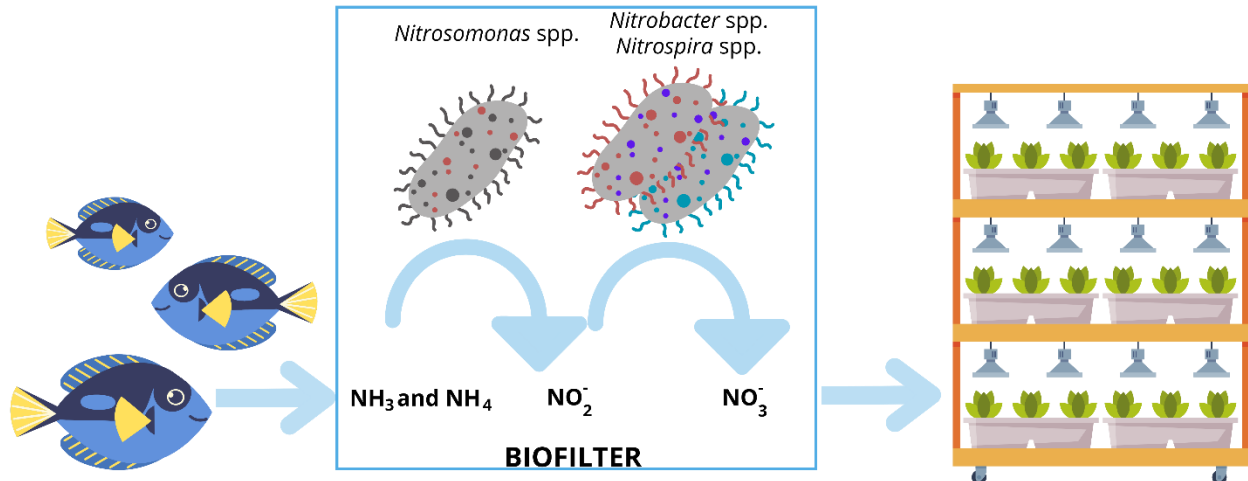
Trots att ammonium generellt anses ha låg toxicitet för organismer i systemet, är ammoniak mycket skadligt och därför är det nödvändigt att eliminera det från systemet eller omvandla det till nitrat. Den mellanliggande biprodukten i nitrifikationsprocessen, känd som nitrit, har en betydande toxicitet för fisk. Man har beräknat att nitrit är ungefär 100 gånger mer skadligt för fisk jämfört med nitrat. Ammoniak inverkan på fiskens centrala nervsystem, medan nitrit skapar problem med syrefixering. Vissa fiskarter uppvisar en tolerans för nitratkoncentrationer på upp till 300 mg/l och mer. Däremot är toleransvärdena för ammoniak och nitrit mycket lägre, 0,07 mg/l respektive 1 mg/l. Dessutom är det värt att notera att nitrit och ammoniak inte anses vara de mest gynnsamma kvävekällorna för växter. Faktum är att växter tenderar att uppvisa en preferens för ammonium och nitrat som sina primära kvävekällor, eftersom dessa föreningar är mer gynnsamma för tillväxt och utveckling. Förhöjda koncentrationer av nitrat över 250 mg/l har visat sig utöva skadliga effekter på tillväxt, vilket resulterar i främjande av överdriven utveckling och potentiellt farlig ackumulering av nitrat inuti växternas blad. Denna uppbyggnad utgör en betydande risk för människors hälsa. Det är viktigt att hålla nitratnivåerna inom intervallet 5-150 mg/l och att byta vatten när nivåerna överstiger denna tröskel. Närvaron av ammoniak och nitrit tyder på att omvandlingsprocessen nitrifikation inte sker fullt ut i biofiltret. Det är avgörande att ta tag i problemet genom att öka aktiviteten hos de nitrifierande bakterierna, vilket kan uppnås genom luftning.

Definition

Nitrifikation är en biologisk process i kvävet kretslopp som är avgörande för att omvandla den reducerade formen av kväve (ammoniak och ammonium) till den oxiderade formen (nitrat), som är mer stabil och mindre giftig. Nitrat kan sedan tas upp av växter, vilket ger dem en kvävekälla för tillväxt. Denna process hjälper också till att ta bort överflödigt ammoniakvatten, vilket är viktigt för att upprätthålla miljö- och vattenkvaliteten. Nitrifikationsprocessen utförs av vissa typer av bakterier, främst *Nitrosomonas* och *Nitrobacter*, även om andra mikroorganismer också kan vara inblandade.

Om ackumuleringen av ammoniak som utsöndras av fisk inte förhindras, kan det leda till att fisken dör. När det gäller akvaponiksystem är det värt att notera att ammoniak som produceras av fisk effektivt elimineras genom aktiviteten hos nitrifierande bakterier. Dessa bakterier främjar en tvåstegsprocess som kallas nitrifikation, där ammoniak omvandlas till nitratkväve. Inledningsvis sker omvandlingen av ammoniak och ammonium till nitrit (NO_2) av olika arter av bakterier: *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus* och *Nitrosovibrio* spp. Ovannämnda procedur kräver närvaro av syre, leder till minskning av alkaliteten, genererar syra i form av vätejoner (H^+) och resulterar i en sänkning av pH-nivåer. Under det andra steget sker omvandlingen av nitrit (NO_2) till nitrat (NO_3) av olika arter av bakterier, nämligen *Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospira* och *Nitrospina*. Det är värt att notera att nitrit är känt för att vara särskilt farligt för fisk. Den nuvarande uppfattningen tyder på att *Nitrospira* är en omfattande nitrifierare, vilket betyder att den är inblandad i bildandet av både nitrit och nitrat. Det andra steget i denna process kräver närvaro av syre och resulterar i en minskning av pH. Följaktligen är det viktigt att övervaka vattnets hårdhet för att överväga effekterna av nitrifikation och karbonaternas buffringsförmåga. Nitratet som genereras i denna reaktion är icke-giftigt och fungerar som en källa till växtnäringämnen inuti den hydroponiska delen av akvaponiksystemet (Figur 6).

Nitrifikation fungerar som bäst under förhållanden med höga halter av löst syre och låga koncentrationer av organiskt material, som främst består av fiskmat och ackumulerat fast avfall. Vid otillräckliga syrenivåer kan nitrifikationsprocessen avta eller upphöra, vilket resulterar i ansamling av ammoniak till nivåer som utgör toxisk risk för vattenlevande organismer, särskilt fisk. Omvandlingen av ammoniak till nitrit är vanligtvis den fas i nitrifikationsprocessen som utgör den största begränsningen av den totala omvandlingen. Detta fenomen beror på de tillväxthastigheter som utförs av ammoniakoxiderande bakterier såsom *Nitrosomonas*, *Nitrosospira*, *Nitrosovibrio* sp., och nitritoxiderande bakterier inklusive *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus*, med flera. De olika tillväxthastigheterna resulterar i partiell nitrifikation, särskilt under den inledande fasen av systemets drift, vilket leder till ackumulering av nitritjoner (NO_2^-) tills de nitrifierande mikroorganismerna är helt etablerade, en process som kan kräva en varaktighet på upp till fyra veckor. Bakterierna lever mestadels i biofilm som växer i biofiltret. De kan också förekomma i andra delar av systemet, såsom i flytande odlingsbäddar eller mediabäddar.



Figur 6. Bakteriearter i biofiltret som är ren del i nitrifikationsprocessen.

Processen att eliminera ammoniak och nitrit i akvaponiksystem kallas biofiltrering (Figur 6). Biofiltrering utgör en viktig del mellan fisktank och den hydroponiska delen i en akvaponik. Aktiviteten hos de nitrifierande bakterierna minskar när de utsätts för förhöjda koncentrationer av ammoniak. Ammoniak har antimikrobiella egenskaper och har potential att hindra aktiviteten hos nitrifierande bakterier när halterna överstiger 4 mg/l, vilket minskar deras effektivitet. Detta kan förvärras exponentiellt när ett otillräckligt stort biofilter överbelastas av ammoniak, vilket leder till att bakterier dör och ytterligare eskalering av ammoniaknivåerna uppstår. Frånvaron av ett robust och fungerande biofilter i den fiskproducerande delen av systemet skulle resultera i ackumulering av avfallsprodukter, otillräcklig produktion av växtnäringsämnen och försämrad funktion i systemet.

Ett biofilter fungerar som en livsmiljö för kolonisering av nitrifierande mikroorganismer (Figur 7). I vissa fall kan användningen av ett biofilter vara onödigt vid användande av flytande bäddar och mediabäddar eftersom ytor på flytande bäddar, mediabäddar, tankväggar och andra delar av systemet kan utgöra lämpliga element för bakteriell kolonisering. Däremot är det värt att notera att en majoritet av dessa system ändå använder någon form av biofilter för att underlätta nedbrytningen av organiska ämnen och öka närvaron av mikronäringsämnen samt löst syre i vattnet. När det gäller NTF- (Nutrient film technique) system är användandet av ett separat biofilter mycket viktigt. Ett alltför stort biofilter skadar inte ett akvaponiskt system. Även om ett stort biofilter kan innebära stora kostnader, har ett överskott av biofiltreringskapacitet visat sig vara fördelaktigt för att förhindra systemfel i många fall.



Figur 7. Biofilter i ett akvaponiksystem på Campus Roslagen, Norrtälje.

Om man antar att de viktigaste vattenkvalitetsfaktorerna, inklusive pH, löst syre, temperatur och yt-area följs, kan man rimligen dra slutsatsen att bakterierna både finns och fungerar effektivt. Vikten av bakterier i akvaponik medför även att det är av stor vikt att kontinuerligt övervaka bakteriernas allmänna tillstånd. Bakterier är mikroskopiska organismer som inte kan observeras med blotta ögat, vilket kräver användning av ett mikroskop för okulär undersökning. Det finns ett enkelt tillvägagångssätt för att övervaka bakteriernas funktion, vilket består i att bedöma nivåerna av ammoniak, nitrit och nitrat. Denna metod ger värdefulla insikter om den övergripande hälsan hos bakteriekolonin. I ett välfungerande och balanserat akvaponiskt system är det nödvändigt att hålla ammoniak- och nitritnivåerna inom intervallet 0-1 mg/l. Förekomsten av dessa ämnen indikerar att det kan finnas problem med de nitrifierande bakterierna. Det finns två vanliga förklaringar till detta. Inledningsvis kan man konstatera att biofiltrets kapacitet är otillräckligt anpassat för den aktuella mängden fisk och fiskfoder. Det finns alltså en obalans, vilket resulterar i en överpopulation av fisk. För att lösa problemet är en möjlig lösning att antingen dimensionerna upp biofiltret eller minska fiskpopulationen, alternativt ändra utfodringsschemat för fisken. Ibland kan detta problem uppstå när den initiala jämvikten i systemet ändrats på grund av fiskens tillväxt och deras ökade utfodring, vilket överstiger kapaciteten hos biofiltret som förblir oförändrat i storlek. Om systemet däremot är balanserat, är det troligt att bakterierna själva kan ha nedsatt funktion. Detta kan i så fall tyda på ett potentiellt vattenkvalitetsproblem.

Fenomenet med bildning av bakteriekolonier under den initiala uppstarten av ett akvaponiksystem kallas vanligen för biofilteretablering eller cykling. Cykling är en grundläggande inledande procedur i etableringen av ett akvaponiksystem. För att lyckas med detta krävs att en robust bakteriekultur av nitrifierande bakterier etableras. Utan detta avgörande steg blir växternas tillväxt inte möjlig, och miljön kan bli skadlig för fiskens välbefinnande. Rekommendationen är att starta en cyklisk process av systemet

utan närvaro av fisk tills ett stabilt mikrobiom har etablerats i biofiltret. Det finns olika typer av produkter att tillgå för att snabba på uppstartsprocessen och få igång en bakteriekultur med nitrifierande bakterier. Detta innebär en minskning av den tid som krävs för att dessa bakterier ska nå en tillräckligt stor populationsstorlek i systemet och biofiltret.

Denitrifikation avser den process genom vilken nitrat (NO_3^-) omvandlas till nitrit (NO_2^-), kväveoxid (NO), dikväveoxid (N_2O) och slutligen till kvävgas (N_2) i syrefria eller syrefattiga miljöer (Figur 2), och är med andra ord anoxiska eller anaeroba. Denitrifiering är en biologisk process som utförs av denitrifierare, som omfattar vissa taxonomiska grupper av arkéer och fakultativa heterotrofa bakterier. På grund av dikväveoxids högre styrka som växthusgas jämfört med CO_2 , är det nödvändigt att minimera bildningen av N_2O för att optimera hastigheten med vilken N tas upp i växtbiomassan.

3. Mikroorganismer i akvaponik

Akvaponik är ett symbiotiskt system som huvudsakligen består av fiskar, nitrifierande mikroorganismer och växter. Trots detta kan, allt eftersom tiden går, många andra organismer spela en roll i att forma och påverka denna speciella miljö. Vissa organismer, såsom daggmaskar, kan spela en viktig roll genom att hjälpa till i nedbrytningsprocessen av fiskavfall. Det finns även organismer, särskilt olika kräddjur, som i biofiltren kan klassificeras som godartade enheter som inte aktivt bidrar till eller försämrar systemets övergripande funktion. Andra organismer utgör faror i akvaponik, såsom parasiter, skadedjur och andra typer av bakterier. Det är svårt att helt utrota dessa på grund av den naturliga icke-sterila miljön i akvaponiska system. För att undvika en eskalering av dessa mindre risker till farliga angrepp är det nödvändigt att ta fram en optimerad förvaltningsmetod som involverar odling av robusta och motståndskraftiga fiskar och växter. Detta kan uppnås genom att noggrant upprätthålla syrerika förhållanden och ge gott om tillgång till alla nödvändiga näringsämnen. På detta sätt kan organismer försvara sig mot infektion eller sjukdom genom att använda sina egna robusta immunsystem.

3.1. Alger

Definition

Alger är en bred samling fotosyntetiska organismer som övervägande lever i vattenmiljöer men kan även leva i terrestra svårare miljöer. Storleken varierar från mikroskopiska encelliga organismer till stora flercelliga organismer. Eftersom alger saknar många av de speciella strukturer och vävnader som återfinns hos växter, såsom rötter, stjälkar och löv, klassas de inte som växter.

Alger inkluderar taxonomiska grupper som består av bland annat grönalger, rödalger, brunalger och kiselalger. De kännetecknas av sin förmåga att samla ljusenergi via klorofyll och andra pigment samt omvandla koldioxid och vatten till organiska föreningar, vanligtvis sockerarter, via fotosyntes.

Algutveckling kan påverka prestandan hos ett akvaponiskt system negativt. Eftersom de är fotosyntetiska organismer kan alger med tillgång till ljus utvecklas snabbt. Algutväxt påverkas i allmänhet av pH, löst syre och kvävehalten i systemets vatten. Algutväxt är naturligt förekommande i ett akvaponiskt system eftersom alger förekommer naturligt i alla vattenkällor. Alger förekommer ofta i akvaponiksystem, även om de vanligtvis kan hanteras genom justering av temperatur, ljusa perioder och ljusintensiteten. Algutväxt kan vara en indikation på outnyttjat kväve som finns i systemet, vilket innebär att fisk producerar mer kvävehaltiga föreningar än vad växterna kan ta upp.

Algers morfologi innefattar en mängd olika former, allt från encelliga organismer som kallas växtplankton till flercelliga varianter som kallas makroalger. Snabbväxande växtplankton kan snabbt föröka sig och färga vatten grönt, medan makroalger skapar långa trådar som kan fästa vid en tanks botten. Algutveckling kan förändra vattnets kemiska sammansättning och orsaka funktionsproblem i pumpar och filter. Alger konkurrerar om näringsämnen med andra organismer inom systemet, och kan, beroende på art använda nitrater och ammonium som sina kvävekällor. De skapar syre på dagen och använder det för energi på natten. Under extrema förhållanden kan anoxiskt vatten som härrör från alger som förbrukar syre under natten döda fisk, eftersom höga nivåer av löst syre då förbrukas. Filamentösa alger kan också bli mycket

stora och är ofta svåra att bryta ner. Detta indikerar att en ansamling av alger kan skada pumpar och filter, vilket utgör en risk för systemets funktionalitet och kan medföra kostsamma reparationer.

För att övervaka algernas tillväxt räcker det normalt sett med visuell inspektion av akvaponiksystemets delar såsom fisktankens väggar, områdena kring pumpar och filter och växtrötter (Figur 8). För att undvika onödig tillväxt av alger är det viktigt att täcka delarna av en akvaponik med ljusblockerande material eller lock, vilket även förhindrar avdunstning av vatten. Eftersom ljuskällorna (lamporna) som används till växterna ofta sitter nära vattnet är det viktigt att utforma systemet på ett sätt så att ljuset inte lyser direkt mot vattnet. Att lämna exponerat vatten utan täckning i till exempel ett NFT-system (nutrient-film beds) eller uppsamlingstanken kan leda till ökad tillväxt av alger och därmed snabbt upptag av näringsämnen, vilket gör att de odlade växterna får mindre näring. Eftersom fisktanken med största sannolikhet kommer att utsättas för ljus är det oundvikligt att alger utvecklas i där, och det krävs därför att systemet rengörs när alg tillväxten blir påtaglig.



Figure 8. Algtillväxt i en mikrogröntodling som utsätts för ljus (höger), och i delar av en flytande odlingsbädd som inte täckts med frigolit (vänster).

Case study!

Samodling av mikroalger i akvaponik

I denna studie undersöks funktionen hos *Chlorella* sp. mikroalger med avseende på ammoniakhantering i de flytande odlingsbäddarna. Under drift övervakades tillväxten av alger, grönsaker och förändringen av systemets näringsämnen. Systemen producerade $4,15 \pm 0,19$ g/kvm, dag (torrvikt) av alger när de gick med full kapacitet, vilket är ett blygsamt resultat eftersom tillväxtförhållandena huvudsakligen är utformade för produktion av fisk och grönsaker. Dock upptäcktes det att alger kunde reglera ammoniak då de föredrar ammoniakkväve framför nitratkväve, och de kunde också motverka den pH-sänkning som nitrifierande bakterier orsakar.

Alger i det akvaponiska systemet har visat sig bidra med många fördelar. De kan bidra med syre, balansera pH-nivåer och reglera ammoniaknivåerna i systemet under normal drift. Eftersom alger innehåller mer kväve än grönsaker kan de ta bort kväve effektivare än grönsaker, samtidigt som de har lägre produktion som motsvarar grönsaker och ekonomiskt ogynnsamma växter. Dessutom konkurrerar alger med grönsaker om växtutrymmet och hela kvävelagret snarare än om nitratkväve. Alger har en speciell funktion i vattenbehandlingsprocessen i det akvaponiska systemet och kan under gynnsamma förhållanden användas i slutet av systemet för att avlägsna ännu mer ammoniak. Totalt sett är alger effektivare än grönsaker när det gäller att ta reducera kväve.

Addy, M. M., Kabir, F., Zhang, R., Lu, Q., Deng, X., Current, D. & Ruan, R. (2017). Co-cultivation of microalgae in aquaponic systems. *Bioresource Technology*, 245, 27-34.

3.2. Andra bakterier

Heterotrofa bakterier

I akvaponiska system kommer det att etableras bakteriesamhällen med många mikroorganismer som utvecklar ett symbiotiskt förhållande med varandra. Den bakteriegrupp som vanligtvis kallas den heterotrofa gruppen är känd som *Pseudomonas* spp. Tabell 3 visar de bakteriearter som är ansvariga för denna process. Bakterierna i fråga använder organiskt kol som sin primära källa till föda och är mestadels engagerade i processen att bryta ned fast avfall från fisk och växter. Det fasta fiskavfallet metaboliseras av heterotrofa bakterier genom en process som kallas mineralisering. Denna process underlättar frisättningen av viktiga mikronäringsämnen som kan utnyttjas av växter i akvaponiska system. De heterotrofa bakterierna, tillsammans med vissa naturligt existerande svampar, bidrar till nedbrytningen av den fasta komponenten i fiskavfallet. Genom att göra det släpps de näringsämnen som är fångade i det fasta avfallet ut i vattnet. Mineraliseringsprocessen är avgörande eftersom den gör det möjligt för växter att få tillgång till näringsämnen som inte är lättillgängliga i fast form. För att underlätta absorptionen av växternas rötter är det absolut nödvändigt att avfallet genomgår en process av molekylär nedbrytning till enklare beståndsdelar. Heterotrofa bakterier har förmågan att erhålla näringsämnen från ett brett spektrum av organiska ämnen, inklusive men inte begränsat till fast fiskavfall, outnyttjad fiskmat,

ruttnande växter, vissnande växtblad och till och med avlidna bakterieorganismer. Ett akvaponiskt system erbjuder en mängd olika födokällor för bakterier, eftersom det är ett öppet system där material som inte är sterilt tillsätts i system kontinuerligt. Användningen av biosolider som ett medium för tillväxt av heterotrofa bakterier kan leda till en eskalering av deras koncentration, vilket i slutändan kan leda till ökat syrebehov och minskad prestanda hos biofiltret. I motsats till nitrifierande bakterier uppvisar heterotrofer en mycket högre förökningshastighet, uppskattad till 40 gånger snabbare. Heterotrofa bakterier kräver jämförbara miljöförhållanden för tillväxt som nitrifierande bakterier, särskilt i miljöer med förhöjda mängder löst syre. De heterotrofa bakterierna uppvisar kolonisering över alla beståndsdelar i enheten, med en anmärkningsvärd koncentration i regioner där fast avfall tenderar att ackumuleras. Dessa organismer engagerar sig i ett symbiotiskt förhållande med andra bakterier för att underlätta nedbrytningen av fast avfall. Närvaron av denna gemenskap kan effektivt minska ansamlingen av fast avfall.

Sulfatreducerande bakterier

Nitrifierande och mineraliserande bakterier (heterotrofa bakterier) spelar en fördelaktig roll i akvaponiska system, men vissa bakteriestammar kan ha skadliga effekter. Ett exempel på en skadlig bakteriegrupp är de sulfatreducerande bakterierna. Dessa bakterier är vanligtvis lokaliserade i miljöer som saknar syre, så kallade anaeroba förhållanden, där de får energi genom en redoxreaktion som involverar svavel. Tabell 3 visar de bakteriearter som är ansvariga för denna process. Problemet ligger i det faktum att just denna process ger svavelväte (H_2S), ett mycket farligt ämne för vattenlevande organismer som fisk. Svavelreducerande bakterier är brett spridda och lever i olika vattenmiljöer som sjöar, saltmarker och flodmynningar över hela världen. Dessutom spelar de en betydande roll i den naturliga svavelcykeln. Dessa bakterier är ansvariga för lukten som liknar ruttna ägg vilket är förknippad med svavelväte, såväl som pigmenteringen av sediment, som kännetecknas av en grå-svart nyans. En av utmaningarna inom akvaponik är ackumuleringen av slam i en takt som överträffar kapaciteten hos heterotrofa bakterier och andra mikroorganismer att effektivt bearbeta och mineralisera dem. Denna obalans kan resultera i utvecklingen av anoxiska tillstånd som främjar tillväxten av sulfatreducerande bakterier. I system med hög fiskdensitet överträffar fiskens produktion av fast avfall kapaciteten hos mekaniska filter för att effektivt filtrera bort avfallet. Följaktligen främjar denna situation spridningen av bakterier och den efterföljande genereringen av deras skadliga metaboliter. I många fall har storskaliga akvaponiska system en avluftningsanordning som ett sätt att säkert släppa ut svavelväte tillbaka till atmosfären. Avluftningsprocessen anses onödig i system av mindre skala. Icke desto mindre, även inom begränsade system, kräver identifieringen av lukt liknar den hos ruttna ägg eller orenat avloppsvatten genomförandet av lämpliga åtgärder för effektiv hantering av tillkomsten av svavelväte. Tillväxten av dessa bakterier är begränsad till anoxiska miljöer. För att mildra deras spridning är det därför absolut nödvändigt att säkerställa tillräcklig luftning och ett grundligt flöde av syresatt vatten och förbättra den mekaniska filtreringen för att förhindra uppbyggnaden av slam.

Denitrifierande bakterier

Denitrifikationsprocessen underlättas av en grupp mikroorganismer som anses oönskade. Tabell 3 visar de bakteriearter som är ansvariga för denna process. Dessa bakterier, som liknar sulfatreducerare, lever i anaeroba miljöer. De underlättar omvandlingen av nitrat, ett mycket eftertraktat växtnäringssämne, till luftkväve, vilket gör det otillgängligt för växter. Denitrifieringsprocessen har potential att resultera i en betydande minskning av kväve, från 25 % till 60 %. Dessa bakterier är vitt spridda i olika miljöer och har en betydande ekologisk betydelse. Icke desto mindre kan närvaron av dessa bakterier i akvaponiska system

potentiellt minska effektiviteten genom att tömma kvävegödselmedlet. Otillräcklig syresättning utgör ofta en utmaning i samband med expansiva flytande bäddar, särskilt de som kännetecknas av långsträckta kanaler. Förekomsten av ett potentiellt problem kan indikeras när växter uppvisar symtom på kvävebrist, även i närvaro av ett balanserat system, och när mängden nitrat i vattnet är exceptionellt låg. I samband med storskaliga akvaponiksystem är det möjligt att inkludera en distinkt denitrifieringstank. Ändå rekommenderas det att prioritera en grundlig eliminering av nitrater av växter, och därigenom omvandla dessa värdefulla näringsämnen till biomassa snarare än att tillåta att de frigörs som gas.

Tabell 3. Bakteriearter och deras funktioner inom ett akvaponiksystem ³.

Mikrobiologisk process	Genera
Nitrifikation	
-Ammoniakoxidation	<i>Nitrosomonas</i> , <i>Nitrosococcus</i> , <i>Nitrospira</i> , <i>Nitrosolobus</i> , <i>Nitrosovibrio</i>
-Ammoniakoxidation av arkéer	<i>Trosopumilus</i> , <i>Nitrososphaeras</i>
-Nitritoxidation	<i>Nitrobacter</i> , <i>Nitrospira</i> , <i>Nitrococcus</i> , <i>Nitrospina</i>
-Fullständig ammoniakoxidation	<i>Nitrospira</i>
Denitrifikation	<i>Dokdonella</i> , <i>Thermomonas</i>
Mineralisering	<i>Pseudomonas</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Sphingobacterium</i> , <i>Arcobacter</i>
Anaerob ammoniumoxidation (Anammox)	<i>Brocadia</i>
Sulfatreduktion	<i>Fusibacter</i> , <i>Bacteroides</i> , <i>Desulfovibrio</i> , <i>Dethiosulfovibrio</i>
Organisk fosformineralisering	<i>Modestobacter</i>
Iron cykling	<i>Acidibacter</i>
Kvävefixering	<i>Pontibacter</i> , <i>Pseudonocardia</i>

Skadliga bakterier

Oönskade, skadliga eller patogena bakterier omfattar de som framkallar sjukdomar hos växter, fiskar och människor. Ytterligare information om fisk och växtpatogener kan hittas i studierna med titeln "Fisk i akvaponik - urval, krav och begränsningar" och "Växter i akvaponik - urval, krav och begränsningar." Generellt sett spelar etablering och implementering av effektiva jordbrukstekniker en avgörande roll för att lindra och reducera bakterieinfektioner inom akvaponiska system. Förebyggandet av patogener inom systemet kan uppnås genom olika åtgärder. Först och främst är det avgörande att prioritera goda arbetshygienrutiner. Detta inkluderar att upprätthålla korrekt personlig renlighet och följa lämpliga hygienprotokoll. Dessutom är det viktigt att implementera strategier för att förhindra att gnagare kontaminerar systemet genom fekal material. När det gäller storskaliga, växthusbaserade akvaponiska system är det viktigt att se till att vilda däggdjur, såväl som husdjur som hundar och katter, hålls borta från systemet för att minimera risken för patogenintroduktion. Dessutom är det absolut nödvändigt att undvika att använda vatten som är förorenat eller inte har förberetts tillräckligt. Slutligen är det viktigt att inse att allt levande foder som används i systemet potentiellt kan fungera som en bärare för att introducera främmande mikroorganismer, till exempel maskar som används som fiskfoder från en annan källa.

³Kasozi, N., Abraham, B., Kaiser, H., & Wilhelmi, B. (2021). Det komplexa mikrobiomet i akvaponik: betydelsen av det bakteriella ekosystemet. *Annals of Microbiology*, 71(1), 1-13.

Dessutom, om plantor levereras och används i ett akvaponiksystem, bör man se till att viral eller bakteriell kontaminering inte överförs från plantskolorna, eftersom olika typer av substrat används för att odla dem, till exempel jord eller kompost, som ofta innehåller även patogena organismer. Det är av särskild betydelse att avstå från att använda regnvatten som samlats upp från tak som är förorenade med fågelexkrementer, om inte vattnet genomgår lämpliga behandlingsprocedurer. En betydande oro förknippad med varmblodiga djur är den potentiella överföringen av *Escherichia coli*, medan fåglar ofta är bärare av *Salmonella* spp. Dessa patogena bakterier kan infiltrera miljön genom djuravföring. Vidare är det absolut nödvändigt att se till att det akvaponiska vattnet inte kommer i kontakt med växternas löv, efter de förebyggande åtgärderna. Genomförandet av denna åtgärd tjänar till att lindra många växtsjukdomar och minimera risken för förorening av fiskvatten i förhållande till mänskliga produkter, särskilt när produkterna är avsedda för råkonsumtion. Det är absolut nödvändigt att rengöra grönsaker noggrant innan de konsumeras, oavsett om de odlats med akvaponiska eller konventionella metoder. Inom ramen för aquaponics är det allmänt erkänt att försiktig användning av sunt förnuft och efterlevnad av korrekta hygienrutiner fungerar som effektiva åtgärder för att förhindra uppkomsten och spridningen av infektioner.

Genomförandet av biosäkerhetsåtgärder kan effektivt minska risken för införande av patogena bakterier. En rekommenderad praxis är att införa karantensåtgärder för nyförvärvade fiskar eller växter innan de introduceras i systemet. Dessutom är det viktigt att upprätthålla rigorösa standarder för hygien i utrustning och hanteringsprotokoll. Genomförandet av regelbundna systemunderhållsmetoder, såsom rengöring av filter och upprätthållande av lämpliga flödes hastigheter, kan effektivt mildra bakterieproblem genom att främja etableringen och underhållet av ett robust och balanserat ekosystem.

3.3. Svampar

Definition

Svampar i akvaponik består av en varierad samling av eukaryota mikroorganismer från svampriket som spelar en roll i systemets biologiska aktiviteter. Svampar finns vanligtvis i tillväxtmediet och biofilterkomponenterna. De har en avgörande funktion för att bryta ner organiskt material som kommer från oätet fiskfoder, fiskavfall och ruttnande växtmaterial. Svampar som fungerar som nedbrytare hjälper till att omvandla komplexa organiska molekyler till mer grundläggande, så att näringsämnen som kväve och fosfor frigörs. Effektiv kontroll av svamppopulationer är avgörande för att upprätthålla ett harmoniskt och blomstrande akvaponiksystem, vilket främjar optimal växtutveckling och fiskens välbefinnande. Patogena svampar i akvaponik kan i första hand äventyra både växt- och fiskkomponenterna i systemet.

Svampar är avgörande för nedbrytning av intrikata organiska ämnen och för påfyllning av näringsämnen genom återvinning. Cellulolytiska svampar som *Aspergillus*, *Penicillium* och *Trichoderma* påskyndar den naturliga nedbrytningsprocessen. Sådana svamparter som *Candida albicans*, *C. parapsilosis*, *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *Rhizopus*, *Fusarium* spp., *Trichoderma* och *Penicillium* spp. har också hittats i aquaponics system – dessa arter har ingen effekt på välbefinnandet hos fiskar. Vattenmögel, även om de huvudsakligen är saprofytiska, har förmågan att kolonisera olika ämnen och etablera parasitiska associationer med levande värdar, vilket avsevärt påverkar den biologiska produktiviteten.

Svampar trivs i mörka, fuktiga miljöer, där de frigör hydrolytiska enzymer för att extrahera näringsämnen från avlidet organiskt material, och använder det som en källa till kol och energi för att upprätthålla deras

utveckling och reproduktion. Rika näringsmedier ger ett större överflöd av hydrofoba sporer jämfört med dåliga näringsmedier. Effektiv kontroll av svamppopulationer är avgörande för att upprätthålla ett harmoniskt och blomstrande akvaponiksystem, vilket främjar optimal växtutveckling och fiskens välbefinnande.

Svampar inom akvaponiksystemet är mer förknippade med växt- eller fisksjukdomar. Inomhus akvaponiksystem är benägna att drabbas av svampsjukdomar, till exempel mjöldagg, som sprider sig snabbt över hela växtpopulationen, till exempel gurka och sallad. Eftersom akvaponiksystem som hålls inomhus skapar en fuktig miljö är det av yttersta vikt att upprätthålla lämplig luftfuktighet och ventilation i rummet för att undvika snabb spridning av svampsjukdomar. Svampmedel skulle kunna användas vid svamputbrott, dock visar de flesta svampar som infekterar, till exempel växter, synliga symtom när växten redan är helt infekterad och växterna måste kasseras. För att undvika svampsjukdomar måste särskild försiktighet vidtas för att undvika att ta in infekterad jord, växter eller andra föremål som skulle introducera patogena svampar som kan orsaka förlust av produkter.

Case study!

Potentiell användning av entomopatogena och mykoparasitära svampar mot mjöldagg

i vatten

Det har fastställts att entomopatogena och mykoparasitära svampar är säkra biologiska bekämpningsmedel för en mängd olika skadedjur. Denna studie fastställde hur väl den mykoparasitiska svampen *Trichoderma virens*, entomopatogena svampar *Lecanicillium attenuatum* och *Isaria fumosorosea* hämmade tillväxten av *Podosphaera xanthii* (mjöldagg). Dessutom, genom att introducera de tre biokontrollmedlen för svamp i akvaponiskt odling och observera deras utveckling och överlevnad, kunde potentiella negativa konsekvenser på systemet observeras. Resultaten visade att vid 107 CFU/ml reducerade de tre biokontrollmedlen avsevärt mjöldaggen. *L. attenuatum*-behandlade löv visade en anmärkningsvärd 85% sjukdomsreduktion under växthusförhållanden (65-73% relativ fuktighet-RH). Med en sjukdomsgrad på 32 % under 65-73 % RH uppvisade *I. fumosorosea*-behandlade löv de lägsta nivåerna av sjukdomens svårighetsgrad. Vidare observerades att *L. attenuatum*-sporer var de mest ihållande på bladen; under 65-73 % RH steg sporpopulationen från 7,3 CFU till $9,54 \times 10^3$ CFU/ml. Å andra sidan, efter 96 timmar, minskade sporererna från de tre testade entomopatogena svamparna i hydroponiskt vatten drastiskt med mer än 99 %. Efter 96 timmar sänktes de initiala *L. attenuatum*-sporkoncentrationerna på 10^7 CFU/ml till 4×10^3 CFU.



FIGUR 4 Effekten av mikrobiologiska medel, *L. attenuatum* på gurkblad artificiellt infekterade med mjöldagg. (A) blad behandlade med 0,05 % tween 80-lösning (kontroll) efter 20 dagar av behandlingen, och (B) blad behandlade med *L. attenuatum* efter 20 dagar. Båda behandlingarna applicerades 48 timmar före inokuleringen av *P. xanthii*.

Folorunso, E. A., Bohata, A., Kavkova, M., Gebauer, R., & Mraz, J. (2022). Potential use of entomopathogenic and mycoparasitic fungi against powdery mildew in aquaponics. *Frontiers in Marine Science*, 9, 992715.

4. Vattenkällor

Vatten är nyckelmediet som används i akvaponiska system eftersom det delas mellan de två huvudkomponenterna i systemet (fisk och växter), det är den huvudsakliga bäraren av näringsresurserna i systemet och det bestämmer den övergripande kemiska miljön för fisken och växter odlas inom. Vattenkällan som används kommer att påverka enhetens vattenkemi. Därför är det en viktig ingrediens som kan ha ett betydande inflytande över systemet. I ett akvaponiskt system har den inkommande vattnets kvalitet både kemiskt, fysiskt och biologiskt en stor påverkan på systemet eftersom det sätter en baslinje för de viktigaste vattenkvalitetsparametrarna. Om vattenkällan är en enskild brunn bör vattnet testas för

att säkerställa att den uppfyller dricksvattenkvalitet. Kommunalt dricksvatten testas regelbundet och analysprotokoll finns tillgängliga hos vattenleverantören.

Kommunalt dricksvatten

Kommunala vattenkällor utanför Europeiska unionen behandlas ofta med olika kemikalier för att eliminera bakterier. Klor och kloraminer är de dominerande föreningarna som används vid vattenbehandling. Närvaron av dessa kemikalier i det akvaponiska ekosystemet utgör ett hot mot välbefinnandet för fiskar, växter och bakterier, eftersom de har giftiga egenskaper. Dessa kemikalier används specifikt för att eliminera bakterier i vatten, men deras användning har negativa konsekvenser för den allmänna hälsan i den akvaponiska miljön. Klortestsatser kan erhållas, och om förhöjda mängder klor identifieras måste vattnet genomgå behandling innan det används. Ett okomplicerat tillvägagångssätt innebär att man lagrar vattnet innan det används, vilket underlättar avledningen av allt klor i atmosfären. Denna process kan ta mer än 48 timmar, även om det kan ske snabbare om vattnet är kraftigt luftat. Kloraminer uppvisar större stabilitet och har en lägre tendens att frigöras. Avgasning är dock vanligtvis tillräcklig i småskaliga system som använder kommunalt vatten. En tillrädlig tumregel är att avstå från att ersätta mer än 10 % av vattnet utan att utföra ett test och eliminera klor i förväg. Dessutom kommer kvaliteten på vattnet att vara beroende av sammansättningen baserat på var det initiala vattnet erhålls.

Vanligtvis i Europeiska unionen är vattnet som kommer från kranen beredd så att det är säkert att konsumera, vilket betyder att det kommer att ha tillräcklig kvalitet även för akvaponiska system. Dricksvatten i Europa kommer från sjöar, floder eller grundvattenkällor och det går igenom en rad steg för att rena det så att det överensstämmer med dricksvattendirektiven. Dricksvattnet filtreras genom sand, grus och membranfilter för att avlägsna partiklar, bakterier och andra föroreningar, därefter desinficeras vattnet med hjälp av klorering, UV-bestrålning eller ozonering. pH-nivån på kranvattnet justeras vid behov och kvaliteten övervakas under hela processen tills konsumenten nås. De strikta normerna som ställts upp av tillsynsorganen tyder på att kranvatten är en av de mest lämpliga vattenkällorna för småskaliga akvaponiska system.

Grundvatten

Kvaliteten på vattnet som finns i enskilda brunnar påverkas av berggrundens beskaffenhet, materialet vattnet infiltreras genom in i akviferen samt möjlig inläckage av ytvatten in i brunnen. Hårdhetsgraden i vattnet påverkar vattnets pH. Grundvatten med hög hårdhet finns ofta i samband med berggrund bestående av kalksten vilket huvudsakligen består av kalciumkarbonat (CaCO_3). Vatten som kommer från berggrundsbrunnar/akviferer i kalksten har normalt en hög karbonathårdhet på cirka 150–180 mg/liter. Vattenhårdhet är inte ett stort problem inom akvaponik, eftersom alkaliniteten naturligt förbrukas av salpetersyra som produceras av de nitrifierande bakterierna. Men om hårdhetsnivåerna är mycket höga och nitrifikationen är minimal på grund av liten fiskbiomassa, kan vattnet förbli något basiskt (pH 7–8) och motstå den naturliga tendensen hos akvaponiska system att bli sura genom nitrifikationscykeln och fiskars andning. I det här fallet kan det vara nödvändigt att använda mycket små mängder syra för att minska alkaliniteten innan du tillsätter vattnet till systemet för att förhindra pH-svängningar i systemet.

Kvaliteten på vattnet som erhålls från borrade brunnar beror till stor del på den geomorfologiska sammansättningen av varje specifik region. Vissa regioner kan ha vatten med ökad salthalt eller innehåll av lösta mineraler. Vissa regioner kan ha förhöjda nivåer av järn eller sulfater. I sådana fall bör en serie specifierade filter användas för att avlägsna dessa joner från det ingående vattnet. Kostnaden för sådana system kan öka de totala driftskostnaderna, därför bör det noggrant utvärderas om andra vattenkällor

skulle vara mer lönsamma för akvaponikanvändning. Filtreringssystem måste bytas ut när den maximala reningskapaciteten har förbrukats, så kostnaderna kan ökas ännu mer regelbundet. Akvifervatten bör testas i certifierade/ackrediterade laboratorier före användning om misstanke uppstår (vatten luktar järn, svavel), för att säkerställa kvaliteten på ingående vatten.

Regnvatten

Regnvatten är en mycket fördelaktig vattenförsörjning för aquaponics. Regnvattnet håller vanligtvis ett neutralt pH och innehåller minimala halter av karbonater och lösta mineraler, samt försumbar salthalt. Denna komposition är idealisk för systempåfyllning och förhindrar ackumulering av salthalt över tiden. Ändå, i vissa regioner, till exempel i östra Europa, östra USA och delar av Sydostasien, kommer nederbördens pH att ha ett något surare pH, men det bör inte påverka vattenkvaliteten. Det är ofta tillrådligt att samla upp och lagra regnvatten samtidigt som man höjer den totala vattnets hårdhet genom tillsats av mineraler, för att förbättra buffertkapaciteten. Dessutom kommer implementeringen av regnvattenuppsamling effektivt att minska enhetens driftskostnader, samtidigt som det främjar större hållbarhet. Regnvatten samlas vanligtvis i septiktankar som grävs ner i marken för att hålla en sval temperatur och säkerställa att inget ljus kommer in till det, för att förhindra algutväxt. Regnvatten innehåller vanligtvis inga mikroorganismer, men behållare eller tankar som används för att lagra regnvatten kan underlätta tillväxten av mikroorganismer. Försiktighet bör iaktas vid användning av regnvatten – uppsamlingsystemet bör förberedas så att ingen kontakt med vilda djur är möjlig samt andra källor till eventuell kontaminering, till exempel löv från närliggande träd, fabriksnärvaro som producerar fina partiklar med sina utsläpp. En annan viktig aspekt att tänka på när man använder regnvatten är att ta hänsyn till dess säsongsbetonade tillgänglighet och att ta hänsyn till temperaturskillnader, undvika att tillföra stora mängder vatten till systemet med avsevärt olika temperaturer (kallare eller varmare).

5. Vattenbehandling för aquaponik

Desinfektion av vatten

Både bakteriella och virala organismer kan ge betydande utmaningar i akvaponiksystem. Medan systemet fungerar på ett cykliskt sätt och är teoretiskt kapabelt att upprätthålla sig själv, finns det tillfällen då risken för patogener kan öka. De vanligaste teknikerna för vattendesinfektion är ozonbehandling och UV-bestrålning. UV-strålning, när den avges med en specifik intensitet, har förmågan att bryta ner DNA från biologiska enheter som patogener och encelliga organismer. Inom akvaponik är UV-ljuset vanligtvis inneslutet i en kompakt sektion av röret placerad mellan den mekaniska filtreringsenheten och biofiltret, eller placerat före sumptanken. För att uppnå optimal prestanda är det avgörande att placera UV-lampan nedströms om det mekaniska filtreringssystemet för att förhindra blockering av upphängda material. Ozon (O_3) kan effektivt minska infektioner och andra oönskade organismer. När ozon kommer i kontakt med vatten genomgår det en process som kallas spjälkning, vilket resulterar i bildandet av syremolekyler (O_2) och en reaktiv syreform som kallas en fri syreradikal ($O_2^{\bullet -}$). Denna radikal reagerar kemiskt med och oxiderar organiska föreningar. Ozonmolekylens radikala O riktar sig dessutom mot och eliminerar bakterier, plankton och trådiga alger genom att attackera deras biologiska cellväggar. Ändå uppvisar ozon betydande reaktivitet och kan potentiellt skada de nitrifierande bakterierna som finns i biofiltret, samt negativt påverka fiskgälarna vid överdriven administrering. Följaktligen måste dosen kontinuerligt regleras. Det finns en kombinerad lösning där ozon- och UV-behandlingar kombineras – detta hjälper till att avlägsna resterande ozon mer effektivt. Särskilda ozoniseringsanordningar kommer att lägga till extra kostnader och

ytterligare övervakning av dess funktionalitet, doseringar, samt nödvändigheten av en separat tank där avzonering skulle ske innan vattnet släpps tillbaka in i systemet.

Kemiska medel kan användas för riktade insatser för att minska nivåerna av mikroorganismer i vattnet. Väteperoxid (H_2O_2) används ofta, men för höga doser kan leda till betydande skador på fiskens välbefinnande och kan orsaka skador på mikroorganismerna i filtret. Väteperoxid används mest för att desinficera tomma tankar och annan utrustning under perioder av systeminaktivitet, när det inte finns några fiskar eller etablerade biofilter närvarande.

Eftersom alla ovan nämnda desinfektionsmetoder kan ha inverkan på den övergripande hälsan hos ett akvaponiksystem, inklusive fiskar, växter och mikroorganismer som koloniserar biofiltret, är det tillrådligt att undvika att använda dessa lösningar i mindre akvaponiska enheter, eftersom de kumulativa effekterna av desinfektion hjälpmedel kan skada den invecklade symbiotiska ömsesidigheten. När du startar ett akvaponisk system är det tillrådligt att först fastställa förhållanden som kan anses vara hygieniska och på något sätt aseptiska. Rummet bör desinficeras och hygienrutiner införas (hand-, skosanering, skyddskläder osv.) för att undvika behovet av desinfektionsmetoder som kan orsaka skador på ett redan etablerat system.

5.1. Reglering och felsökning av vattenkvalitet

Vattenkvaliteten i ett akvaponiksystem är en viktig uppsättning parametrar som direkt påverkar hälsan och välbefinnandet för alla inblandade organismer i systemet – växterna, fiskarna och mikroorganismerna. Nedan har de vanligaste frågorna relaterade till vattenkvaliteten sammanställts inklusive möjliga lösningar och sätt att reglera parametern i fråga (tabell 4).

Tabell 4. Vattenkvalitetsparametrar och felsökning.

Parameter	Problem	Lösning
Upplöst syre	Låga nivåer av löst syre	<ul style="list-style-type: none"> • Minska mängden av fisk • Öka luftningen (fler luftstenar, större pumpar) • Om den omgivande temperaturen har stigit behövs mer luftning på grund av minskad förmåga till syreupptagning i vattnet • Byt ut fiskpopulationen (större fiskar förbrukar mer syre)
pH	pH för lågt (surt)	<ul style="list-style-type: none"> • Tillsätt gradvis $NaHCO_3$ (upplöst i vatten) tills optimalt pH uppnås • Tillsätt bikarbonater • Tillsätt färskvatten (baserat på vattnets hårdhet)
	pH för högt (basiskt)	<ul style="list-style-type: none"> • Tillsätt syra (H_3PO_4) till sumptanken

Temperatur (vatten)	Temperaturen är för hög	<ul style="list-style-type: none"> • Täck vattenreservoarerna, tankarna med isoleringsmaterial om de står i direkt sol • Installera vattenkylningsenhet
	Temperaturen är för låg	<ul style="list-style-type: none"> • Isolera de vattenhållande reservoarerna och tankarna • Installera varmvattenberedare med reglerad temperatur
Kvävehaltiga föreningar	Nitrit eller ammonium för hög	<ul style="list-style-type: none"> • Stoppa eller minska fiskens matningshastighet • Späd ut vattnet i systemet med färskt ingående vatten • Öka luftningen i biofiltret • Öka biofiltrets yta
Vattenhårdhet	Vattenhårdhet för låg/för hög	<ul style="list-style-type: none"> • För låg – använd tillsatser för att höja hårdheten (kalksten) • För hög – behandling och filtrering av ingående vatten
Mikronäringsämnen	Växter börjar vissna	<ul style="list-style-type: none"> • Baserat på skadorna på växtbladen tillsätt mineralgödsel efter behov • Regelbunden övervakning av vattenkvaliteten för att undvika växtbrister
Tillväxt av alger	Grön alg tillväxt	<ul style="list-style-type: none"> • Skugga det exponerade vattnet med lock, minimera vattenexponeringen för ljus

5.2. Test och övervakning av vattenkvalitet

Övervakningsfrekvensen varierar beroende på det specifika mått som observeras. Det är tillrådligt att utföra dagliga tester av startsystem under den första utsättningen av växter och djur för att snabbt kunna göra nödvändiga justeringar. Till exempel, för att komma till rätta med förhöjda ammoniumnivåer, kan man minska matningsvolymerna, förbättra luftningen eller späda ut vattnet. Efter att ha uppnått jämvikt i näringscykeln (efter en minsta varaktighet på 4 veckor utan märkbara variationer i parametrar), är regelbunden veckoövervakning vanligtvis tillfredsställande för att upprätthålla en gynnsam vattenkvalitet. Men om det finns en misstanke om ett problem (som förändringar i fiskens utseende eller beteende, eller bristindikationer hos växter) är det lämpligt att fortsätta tätare övervakning av vattenkvaliteten. Därför är det absolut nödvändigt att genomföra daglig övervakning av fiskarnas och växternas välbefinnande för att snabbt identifiera eventuella problem. Att upprätthålla ett omfattande register över övervakningsmått är avgörande. Detta inkluderar att observera fiskens utseende och beteende (normalt eller onormalt), bedöma växternas tillstånd (friskt eller sjukt) och mäta vattenkemiska parametrar som pH, löst syre, ammonium, nitriter och nitrater. Genom att följa detta tillvägagångssätt kan den underliggande orsaken till ett potentiellt problem lätt upptäckas, och om problemet återkommer kan den tidigare effektiva lösningen implementeras omedelbart. Tabell 5 sammanfattar de viktigaste vattenkvalitetsparametrarna och de mest använda metoderna för testning/övervakning.

5. Vattenkvalitetstestning och övervakningsaktiviteter.

Parameter	Övervakning av aktiviteter
Löst syre	<ul style="list-style-type: none"> • Övervaka fiskar, luftpumparnas funktion • DO-avläsning kan erhållas genom att använda mätsatser (billigare, inte lika tillförlitliga, enstaka mätningar) • DO-avläsningar från sensorer på plats eller ställ in för onlineövervakning (dyrare, mer tillförlitliga, kontinuerliga mätningar) • När systemet, utfodringshastigheten och fisken väl har fastställts kan mätningar göras mer sällan
pH	<ul style="list-style-type: none"> • pH-testremсор (billiga, inte lika exakta) • pH-sensorer – bärbara modeller (inte särskilt dyra) Kontinuerlig övervakning av pH-sensorer – något dyrare, har online-alternativet • Mätningar kan göras dagligen eller helst konstant för att övervaka förändringar
Temperatur (vatten)	<ul style="list-style-type: none"> • Analog termometrar • Digital termometer med online-tillval • Övervakning av temperatur sker kontinuerligt • Temperatursonder kommer ofta tillsammans med andra mätinstrument (pH, DO)
Kvävehaltiga föreningar	<ul style="list-style-type: none"> • Kit för mätning av nitrit, ammoniak, nitrat • Spektrofotometrisk analys • Sensorer för mätning av nitrater • Mätningar görs varje vecka eller några gånger i veckan
Vattenhårdhet	<ul style="list-style-type: none"> • Testremсор och titrimetrisk analys • Beror till stor del på vattenkällan och därför behöver inte hårdheten i systemet övervakas så ofta
Mikronäringsämnen	<ul style="list-style-type: none"> • Koncentrationerna av mikronäringsämnen är svåra att övervaka internt • När växter börjar visa tecken på brist på mikronäringsämnen betyder det att näringsämnena har förbrukats från systemet • Månatlig analys av mikronäringsämnen rekommenderas, vanligtvis utförd av ackrediterade laboratorier
Tillväxt av alger	<ul style="list-style-type: none"> • Visuell inspektion – grönt slem på väggar av containrar/tankar, flytande bäddar

Referenser

- 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.
- Bracino, A. A., Concepcion, R. S., Dadios, E. P., & Vicerra, R. R. P. (2020, December). Biofiltration for recirculating aquaponic systems: a review. In 2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM) (pp. 1-6). IEEE.
- Colt, J., Schuur, A. M., Weaver, D., & Semmens, K. (2022). Engineering design of aquaponics systems. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(1), 33-80.
- Filep, R. M., Diaconescu, S., Marin, M., Bădulescu, L., & Nicolae, C. G. (2016). Case study on water quality control in an aquaponic system. *Current Trends in Natural Sciences Vol, 5(9)*, 06-09.
- Folorunso, E. A., Roy, K., Gebauer, R., Bohatá, A., & Mraz, J. (2021). Integrated pest and disease management in aquaponics: A metadata-based review. *Reviews in Aquaculture*, 13(2), 971-995.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199-4224.
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Dos-Santos, M. (2019). Aquaponics and global food challenges. *Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*, 3-17.
- Gosh, K., & Chowdhury, S. (2019). Review of aquaponics system: searching for a technically feasible and economically profitable aquaponics system. *Journal of Agricultural, Environmental and Consumer Sciences*, 19, 5-13.
- Joyce, A., Timmons, M., Goddek, S., & Pentz, T. (2019). Bacterial relationships in aquaponics: new research directions. *Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*, 145-161.
- Junge, R., Antenen, N. (2020). *Aquaponics textbook*. AquaTeach.
- Kasozi, N., Abraham, B., Kaiser, H., & Wilhelmi, B. (2021). The complex microbiome in aquaponics: significance of the bacterial ecosystem. *Annals of Microbiology*, 71(1), 1-13.
- Kasozi, N., Tandlich, R., Fick, M., Kaiser, H., & Wilhelmi, B. (2019). Iron supplementation and management in aquaponic systems: A review. *Aquaculture Reports*, 15, 100221.
- Krastanova, M., Sirakov, I., Ivanova-Kirilova, S., Yarkov, D., & Orozova, P. (2022). Aquaponic systems: Biological and technological parameters. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 36(1), 305-316.
- Kushwaha, J., Priyadarsini, M., Rani, J., Pandey, K. P., & Dhoble, A. S. (2023). Aquaponic trends, configurations, operational parameters, and microbial dynamics: A concise review. *Environment, Development and Sustainability*, 1-34.
- Lennard, W., & Goddek, S. (2019). *Aquaponics: the basics*. *Aquaponics food production systems*, 113.

- Licamele, J. (2009). Biomass production and nutrient dynamics in an aquaponics system (Doctoral dissertation, The University of Arizona).
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmautz, Z., Sambo, P., & Borin, M. (2018). Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 13(1), 1-11.
- Nichols, M. A., & Savidov, N. A. (2011, May). Aquaponics: a nutrient and water efficient production system. In *II International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics* 947 (pp. 129-132).
- Okomoda, V. T., Oladimeji, S. A., Solomon, S. G., Olufeagba, S. O., Ogah, S. I., & Ikhwanuddin, M. (2023). Aquaponics production system: A review of historical perspective, opportunities, and challenges of its adoption. *Food science & nutrition*, 11(3), 1157-1165.
- Sallenave, R. (2016). Important water quality parameters in aquaponics systems. College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences.
- 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), 1.
- Stouvenakers, G., Dapprich, P., Massart, S., & Jijakli, M. H. (2019). Plant pathogens and control strategies in aquaponics. *Aquaponics food production systems*, 353-378.
- 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.