



Hygien och bevattningsvatten

ett kunskapsunderlag framtaget på uppdrag av projektet "Vatten som smittkälla till djur och människor" på Statens veterinärmedicinska anstalt, finansierat av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

Beatrix Alsanus

Biosystem och Teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Rapport 2014:10

ISBN 978-91-87117-71-8

Alnarp 2014



STATENS
VETERINÄRMEDICINSKA
ANSTALT

Landskapsarkitektur, Trädgård, Växtproduktionsvetenskap –
Rapportserie
Rapport 2014:10

Författarens namn och adress: Beatrix W. Alsanius, SLU, Institutionen för
Biosystem och Teknologi, Enheten Hortikulturell Mikrobiologi, Box 103, SE-
230 53 Alnarp; Email: beatrix.alsanius@slu.se; URL: www.slu.se

© Beatrix Alsanius
Tryckort: Repro Alnarp

ISBN: 978-91-87117-71-8



LANDSKAPSARKITEKTUR
TRÄDGÅRD VÄXTPRODUKTIONSVETENSKAP
Rapportserie

Hygien och bevattningsvatten

ett kunskapsunderlag framtaget på uppdrag av projektet "Vatten som smittkälla till djur och människor" på Statens veterinärmedicinska anstalt, finansierat av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

Beatrix Alsanius

Biosystem och Teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Rapport 2014:10

ISBN 978-91-87117-71-8

Alnarp 2014

Förord

Ett flertal av de smittämnen som utgör ett hot mot folk- och djurhälsan både i Sverige och globalt kan spridas med vatten. De aktuella smittämnen är ofta zoonotiska, d.v.s. kan överföras mellan djur och människor, och utgörs av både bakterier, virus och parasiter. Det finns flera källor till förorening av vatten, till exempel avlopp, avrinning från gödslad åkermark samt tama och vilda djur. Kontaminerat ytvatten kan sedan användas som råvatten vid dricksvattenframställning men även direkt av grönsaksodlare, badande, djurbesättningar etc. Ansvar för att förebygga och hantera vattenburen smitta faller på många olika aktörer i samhället, såväl myndigheter som näringsidkare, och det krävs därför en hög grad av samverkan för en effektiv bekämpning. I syfte att förbättra förutsättningarna för denna samverkan driver Statens veterinärmedicinska anstalt sedan den 1 januari 2012 ett treårigt projekt i samarbete med Livsmedelsverket, Folkhälsomyndigheten, Havs- och vattenmyndigheten och Chalmers tekniska högskola. Projektet är finansierat av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. I projektet har frågan om mikrobiologiska risker i förhållande till bevattningsvatten identifierats som ett område där det finns behov av ett kunskapsunderlag som stöd för ansvariga myndigheter i arbetet med vägledning till näringsidkare. Underlaget behövs också för att identifiera kunskapsluckor vilket fungerar som viktig vägledning till hur forskning på området bör prioriteras för att komma till störst nytta för förebyggande åtgärder och hantering av mikrobiologiska risker i bevattningsvatten. Ett uppdrag att ta fram ett sådant kunskapsunderlag gick till professor Beatrix W. Alsanius på Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Biosystem och Teknologi, Alnarp.

Uppsala i januari 2014

Kaisa Sörén, projektledare
Epidemiolog, leg. veterinär, VMD
Enheten för sjukdomskontroll och smittskydd
Statens veterinärmedicinska anstalt

Författarens förord

Hygieniska frågeställningar under primärproduktion av grönsaker, frukt och bär har rönt ökat intresse hos aktörer inom primärproduktionen (odlare, rådgivare, serviceföretag) och inom efterskördehanteringen, hos grossister och handeln, men också hos myndigheter. Föreliggande kundskapsunderlag har tagits fram inom ramen för projektet ”Vatten som smittkälla till djur och människor” på Statens veterinärmedicinska anstalt. Skriften har finansierats av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (projektledare: Kaisa Sörén). Parallellt med denna rapport sammanställdes även skriften ”Mikrobiologiska faror i grönsakskedjan under primärproduktion”¹ som togs fram inom ramen av projektet ”Mikrobiologisk riskbedömning – grönsakskedjan” på SIK, finansierat av Jordbruksverket (projektledare: Pernilla Arinder). Dessa två rapporter som riktar sig till olika målgrupper berör samma problematik och har på så sätt gemensamma beröringspunkter och vissa överlappningar, men skiljer sig i fokus.

Ett stort tack till Kaisa Sörén (SVA) för att få möjlighet att vara med i och bidra till projektet, till Lars Mogren (SLU Alnarp) för värdefulla kommentarer och språkgranskning och till Rickard Dryselius (SLV) för faktagranskning av rapporten och givande samtal och diskussioner och till Kerstin Brismar, Salla Marttila och Birgitta Rämert (Institutionen för växtskyddsbiologi, SLU Alnarp) för att dela med sig av bildmaterial.

Alnarp i november 2013

Beatrix Alsanius
Professor i trädgårdsvetenskap
Institutionen för biosystem och teknologi
Enheten Hortikulturell mikrobiologi
SLU, Alnarp

¹ B. Alsanius, 2014, Mikrobiologiska faror i grönsakskedjan under primärproduktion. Landskapsarkitektur Trädgård Växtproduktionsvetenskap Rapport 2014:12. ISBN 978-91-87117-73-2. 73 sidor.

Innehåll

Sammanfattning	7
Summary	8
1 Bakgrund.....	9
2 Mikroorganismer, grönsaker och frukt	12
2.1 Epifytisk kolonisering	13
2.1.1 Rhizosfären	13
2.1.2 Fyllosfären	14
2.2 Endofytisk kolonisering.....	16
3 Bevattningsvatten som källa för kontaminering av frukt och grönt.....	17
3.1 Vatten i primärproduktion.....	18
3.1.1 Källor för bevattningsvatten.....	19
3.1.2 Mikroorganismer i bevattningssystem	21
3.2 Bevattning och bevattningssätt	28
3.3 Effekt av kontaminerat bevattningsvatten.....	29
3.4 Förebyggande kulturåtgärder	33
3.4.1 Bevattningssätt	33
3.4.2 Bevattningsuppehåll.....	33
3.4.3 Torkstress.....	33
3.4.4 Hygienisering av bevattningsvatten	34
3.4.5 Ledarskap och god odlingssed (GAP)	35
4 Uppföljning av bevattningsvattnets kvalitet	36
4.1 Bedömning av vattenkvalitet	36
4.1.1 Regelverk för bedömning av vatten relevant för svenska betingelser .	36
4.1.2 Internationellt tillämpade standarder för bedömning av bevattningsvatten	36
4.2 Tankar om riskbedömning av bevattningsvatten	41
5 Slutsatser	44
6 Referenser	46

Sammanfattning

Utbrott av magsjukor har i ökad omfattning relaterats till grönsaker, frukter, bär och groddar som konsumerats råa eller efter minimal tillredning. Smittspridningen kan ske under hela kedjan från jord till bord. Kontaminerat bevattningsvatten har visat sig vara en spridningsväg.

Produktion av grönsaker, frukter och bär av hög kvalitet förutsätter att vatten tillförs med hänsyn kulturens behov. Detta innebär också att vatten tillförs utöver den naturliga nederbörden när det uppkommer en bristsituation. I föreliggande litteratursammanställning beskrivs förutsättningarna för spridning av tarmsmittor genom bevattningsvatten vid primärproduktion av hortikulturella kulturer på ett grundläggande sätt, med hänsyn till växt, vattenkällor och bevattningssätt. Ett avsnitt ägnas åt att beskriva möjligheterna att med odlingstekniska åtgärder förebygga utbrott. I och med att kontamination som skett i ett tidigare stadium under produktionen inte på ett säkert sätt kan avlägsnas i ett senare stadium, är användning av vatten av hög mikrobiologisk kvalitet en viktig förutsättning för en hygieniskt säker produkt.

I Sverige finns hittills inget regelverk rörande den hygieniska kvaliteten hos bevattningsvatten. Jämförelser av utländska operativa normer visar att det saknas samsyn kring val av indikatororganism för att beskriva bevattningskvalitet, tröskelvärden eller provtagningsätt. Vissa normer är mycket detaljerade vad gäller vattenkälla, användningsområde och bevattningssätt, medan andra bygger på ett summariskt synsätt. Också provtagningsfrekvensen och beräkningssätt av analysvaren varierar. Ingen operativ norm tar upp frågan om provtagningsplats. För att kunna bedöma risk för spridning av tarmsmittor med bevattningsvatten bör både exponeringsrisken och infektionsrisken vägas in. Trots att faktorer för överlevnad av tarmsmittor i miljön och på växtmaterial är kända saknas tillförlitliga riskbedömningsmodeller för spridning av tarmsmittor från jord till bord efter användning av kontaminerat bevattningsvatten.

Nyckelord: bevattning, bevattningssätt, friland, frukt, grönsaker, livsmedelshygien, parasiter, riskbedömning, *Salmonella* spp. shigatoxinproducerande *E. coli*, standarder, virus, växthus

Summary

Recently, outbreaks of food illnesses have more often been related to consumption of fresh fruit, vegetables and sprouts subjected to non or minimal processing. Contamination may occur during the entire production chain, from farm to fork. Contaminated irrigation water may be one route for transmission.

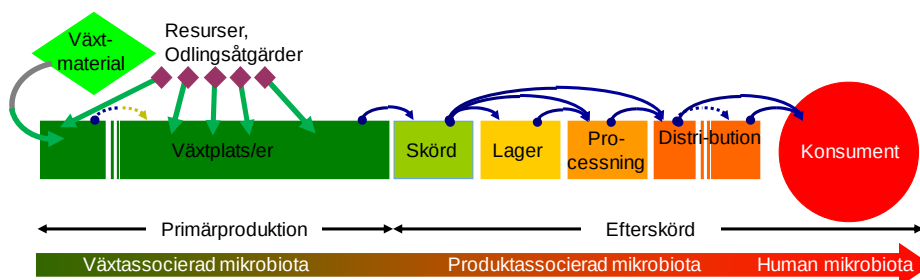
Production of high quality vegetables and fruits requires access to water upon the crop's demand which means that deprived access to natural water needs to be compensated by irrigation. This literature survey describes basic aspects for transmission of food illnesses through irrigation water with respect to the retention and internalisation by the crop, sources of irrigation water and mode of irrigation. Prospects to counteract contamination by crop management are considered in one section. As contamination that occurs at an early stage cannot be eliminated at a later stage, water of high microbiological quality and the safe use of irrigation water is an essential precondition for safe produce.

Until today, there are no operational standards for quality management of irrigation water in Sweden. Comparison of international standards shows that there is no consensus on employed indicator organisms, thresholds or sampling mode. Some standards differentiate between water source, mode of application or risk group for exposure, whereas others are less specific. Consensus is also missing with respect to sampling frequency and calculation modes. Both the risk of exposure and the risk of infectivity must be determined upon risk assessment of irrigation water quality. Although factors that account for survival of different organisms causing food illnesses in the environment and on plants are known, there are no reliable models that predict the risk for transmission of food illnesses by low quality irrigation water from farm to fork.

Keywords: field production, food safety, fruit, greenhouse production, irrigation, irrigation method, parasites, risk assessment, *Salmonella* spp., shigatoxin producing *E. coli*, virus, water quality standards

1 Bakgrund

Hortikulturella värdekedjor avser produktion (*primärproduktion*) och distribution av grönsaker, frukter och bär inkl. vindruvor och nötter, svampar, krydd-, medicinal- och prydnadsväxter. Ätliga hortikulturella produkter kan vara för direktkonsumtion, d.v.s. utan eller med minimal tillredning och utan uppvärmning, eller utgångsmaterial för tillagning/processning i hemmet, storhushåll/-kök eller industrin. Hortikulturella värdekedjor är sammansatta. De illustreras i figur 1.



Figur 1. Den hortikulturella värdekedjan från jord till bord (illustration: B. Alsanius)

Samtliga steg/segment kan försiggå på en och samma plats, i ett företag; men det vanliga är att kedjan är sammansatt av många olika – i bästa fall regionala, men oftast globala – aktörer. Detta är inte bara ett resultat av allt större specialisering inom företagen utan också en konsekvens av årstidsberoende konsumtionsmönster. Till skillnad från produktion av jordbruksprodukter anpassas växtplatsen till kulturens krav vid primärproduktion av hortikulturella kulturer, till exempel avseende temperatur, vattenbehov, ljusbehov och dagslängd. Utöver detta tajmas produktionen med hänsyn till efterfrågan och konsumtionsmönster. Välkända exempel för detta är produktion av primörer eller off-season-produktion av bär. Utifrån detta kan produktionssystemen för frukt och grönsaker vara förlagda på olika odlingsplatser och ha olika specialiseringsgrad, vilket i sin tur innebär olika nivå av tekniska hjälpmedel och mekanisering.

I och med att tillgång till vatten och tajming av vattengivor är en grundläggande förutsättning för produktion av högkvalitativa hortikulturella produkter, är bevattningsvattnets kvalitet en essentiell fråga oberoende av odlingsplats, d.v.s. på friland, i växthus, tunnel eller specialutrymmen. I föreliggande sammanställning fokuseras främst på hygieniska aspekter som rör bevattningsvatten på friland.

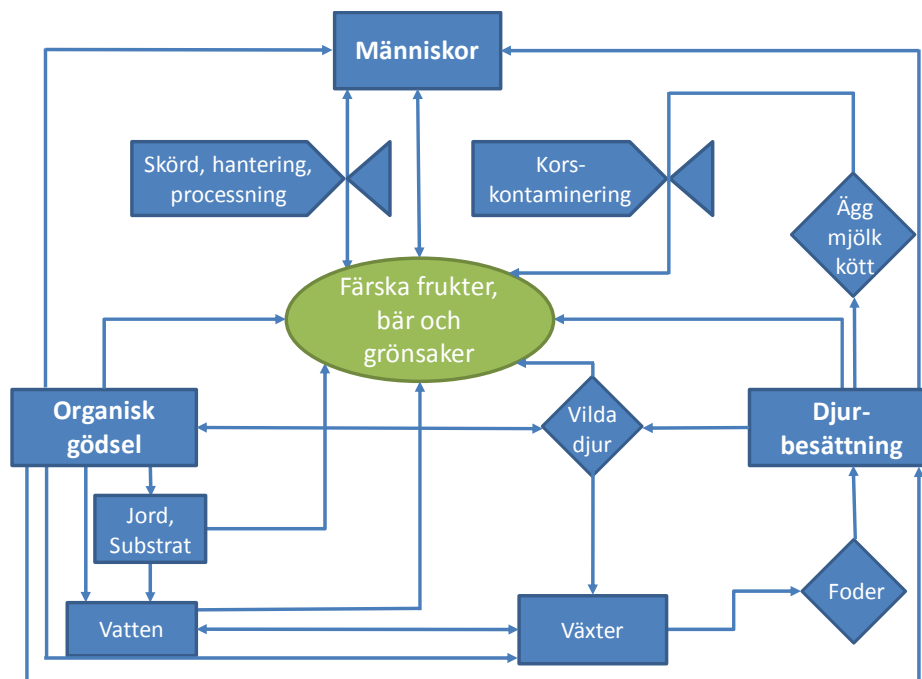
Bevattningsvattnets kvalitet har uppmärksammats i samband med flera utbrott av magsjukor relaterade till grönsaker och frukter. Mest uppmärksamhet i Sverige fick förmodligen det svenska utbrottet av *E. coli* O157:H7 relaterad till isbergsallad år 2005¹, där 135 fall registrerades. Av dessa utvecklade elva personer hemoragisk-uremisk syndrom (HUS). Detta utbrott visade också på svårigheten att knyta utbrott till vegetabilier för direktkonsumtion och till bevattningsvatten, i och med att färska grönsaker ofta är uppätta då utbrottet är ett faktum och i och med att

bevattningsvattnets hygieniska kvalitet är utsatt för en stor dynamik, i synnerhet då ytvatten används för bevattningsändamål. Samma år som det svenska utbrottet (2005) kopplades ett utbrott av *Salmonella* Newport relaterat till tomater till förekomst av smittan i bevattningsdammar nära tomatfält i Virginia, USA; stammen visade sig vara persistent över ett antal år². Indikationer om samspel mellan vatten och vegetabilier fanns redan i slutet av 1990-talet. Kontaminerat bevattningsvatten misstänks ligga bakom ett utbrott i Montana år 1995 med Shiga toxin producerande *E. coli* relaterat till konsumtion av sallat med 40 konfirmerade fall och ett fall av HUS³. Likaså rapporterades år 1996 ett nationellt utbrott av *E. coli* O157:H7 relaterat till blandade babyleaf i USA (Connecticut, Illinois) där vatten sannolikt spelade en avgörande roll; 61 personer insjuknade och tre personer utvecklade HUS⁴. Vattnets hygieniska kvalitet var förmodligen också en bidragande faktor till ett utbrott kopplat till spenat i USA år 2006. Vid detta utbrott insjuknade 200 personer; utbrottet skördade också tre liv⁵. Även i samband med ett utbrott relaterat till konsumtion av isbergssallat i Finland orsakat av *Yersinia pseudotuberculosis* (år 1998) detekterades bakterien i miljöprover däribland i bevattningsvattnet⁶. 47 personer insjuknade i detta utbrott, en person dog.

I figur 2 visas pooler, flöden och smittvägar av tarmsmittor till hortikulturella produkter. Kontaminering kan ske under hela kedjan, från jord till bord (figur 1). I och med att kontamination som skett i ett tidigt skede av värdekedjan (t.ex. odlingen) inte säkert kan åtgärdas i ett senare skede (t.ex. processning, sköljning), måste hygieniska aspekter på processer och produkt finnas med i hela kedjan. I synnerhet är detta viktigt för sådana produkter som förtärs i rått tillstånd eller efter minimal tillredning, t.ex. bladgrönt.

Bevattningsvatten har i många publikationer lyfts fram som en av de avgörande vägarna för smittspridning till grönsaker, frukter och bär. Om diskussionen kring bevattningsvattnets hygieniska egenskaper ska föras upp till en ny nivå och öppna upp för riskbedömning och gränsvärden för acceptabel kvalitet av bevattningsvattnet bör några punkter hållas i åtanke:

- (1) Bevattningsvattnet endast är en av många riskfaktorer. Det finns inte *en* enskild faktor som orsakar låg hygienisk kvalitet i slutet av värdekedjan, utan det kan finnas *många olika* anledningar att tarmsmittor hamnar på frukt och grönsaker. Men det vanliga är att det finns fekala föroreningar i systemet. Dessa kan vara relaterade till vatten, gödsel eller dålig hygien.
- (2) Produktion av grönsaker och frukter samt bär sker i ett kulturlandskap med exempelvis djur (flyttfåglar, betande vilda djur eller skadedjur, betande boskap, samt insekter) som ett naturligt inslag, där smittspridning inte kan kontrolleras fullt ut. Detta gäller i viss omfattning även för klimatreglerade växtplatser, såsom växthus eller tunnel.
- (3) Odlingsinriktningen kan innehålla mer eller mindre inslag av husdjur och animaliska restprodukter vilket kan påverka förekomsten av tarmsmittor på produkten, oavsett bevattningsvattnets hygieniska kvalitet.



Figur 2. Pooler, flöden och smittvägar vid produktion av frukt och grönsaker (enligt Köpke et al. (2007)⁷, baserad på Beuchat (1996)⁸, modifierad). Grafiken återges med tillstånd av Elsevier Limited, Oxford).

Föreliggande rapport har sammanställts med delfinansiering av projektet ”Vatten som smittkälla till djur och människor” på Statens veterinärmedicinska anstalt, finansierat av Myndigheten för Samhällsskydd och beredskap (Diarienummer SVA2011/237).

2 Mikroorganismer, grönsaker och frukt

Utbrott relaterade till kontaminerade frukter och grönsaker beror på ett antal viktiga faktorer, där bevattningsvattnets hygieniska kvalitet enbart är en. Andra faktorer är de abiotiska betingelserna i beståndet, sjukdomsalstrarens förmåga att fästa vid växtytor eller att internaliseras, men också sjukdomsalstrarens patogenitet och konsumentens mottaglighet. Samtliga faktorer måste samspela för att en skada ska uppkomma. För att kunna relatera orsak till verkan med bevattningsvatten som vektor måste de kliniska proven knytas till sjukdomsalstrarens förekomst på produkten och i bevattningsvattnet. Sjukdomsalstrarnas förekomst i bevattningsvattnet måste förklaras genom identifiering av smittkällan i miljön. I många fall kan dessa samband inte säkerställas i och med att produkten ofta är konsumerade då ett utbrott är ett faktum och övervakningsdata rörande bevattningsvattnets hygieniska kvalitet saknas, inte är offentlig eller samlas in först i efterhand. Dessa samband berörs flera gånger under följande kapitel och avsnitt.

Under primärproduktion kan hortikulturella produkter smittas med humanpatogena virus (hepatit A, norovirus), bakterier (*Salmonella* spp., *Escherichia coli* O157:H7 och andra shigatoxin producerande *E.coli*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter* spp., *Clostridium perfringens*, *Shigella* spp., *Yersinia enterocolitica*, *Y. pseudotuberculosis*) och protozoa (*Cryptosporidium parvum*, *C. hominis*, *Giardia* spp.) vid användning av orent bevattningsvatten. Dessa organismer och deras habitat har tidigare beskrivits i ett stort antal skrifter⁸⁻¹². Överlevnad av humanpatogener på hortikulturella produkter är främst inriktade på *Salmonella* spp., shigatoxin-producerande *E. coli* och *Listeria monocytogenes*. Vetenskapliga studier baseras ofta på artificiell inokulation och i mycket mindre omfattning på naturlig inokulering. En vanlig diskussionspunkt i den vetenskapliga diskursen är densiteten av de inokulerade organismerna, där förespråkarna för låg densitet anför att en sådan situation mest motsvarar naturliga betingelser. Förespråkarna för hög inokulumsdensitet försvarar sitt val med att sjukdomsalstrare som sprids med bevattningsvatten ofta är partikelbundna. De för också fram svårigheten att tolka försök som genomförs med låg inokulumsdensitet på grund av låg probabilitet. Frånvaro av koloniformande enheter (CFU) vid återisolering i försök med låg inokulumsdensitet betyder alltså inte frånvaro av smitta¹³. Inom ramen för detta kapitel beskrivs kortfattat samspelet mellan mikroorganismer på växtytan och i växtens inre.

Växtytor och växternas inre koloniseras av mikroorganismer. I detta sammanhang talar man om *epifytisk* (på växtytan) och *endofytisk* (i växtens inre) kolonisering.

Koloniseringsmönstret och de mikrobiella samhällenas sammansättning är beroende av ytans fysikaliska, kemiska och biologiska egenskaper samt av de fysikaliska, kemiska och biologiska faktorerna som råder i den kringliggande miljön. Ur ett ekologiskt-mikrobiologiskt perspektiv indelas växter i ett antal sfärer, nämligen

- sfären som omger roten, *rhizosfären*,
- sfären som omger de ovanjordiska delar, *fyllosfären* samt
- växtens inre, *endosfären*.

Ett särskilt habitat inom fyllosfären är fruktytan; sfären som omger frukten kallas för *karposfären*.

2.1 Epifytisk kolonisering

Antalet bakterier på olika växttytor varierar; uppgifterna i litteraturen varierar också med hänsyn till växtegenskaper och miljöfaktorer. Antalet bakterier och svampar skattas i rhizosfären till ca 10^8 - 10^{10} CFU/g respektive 10^4 - 10^6 CFU/g och i fyllosfären till 10^6 - 10^8 CFU/g respektive 10^3 - 10^5 g/CFU¹⁴. Dessa sfärer har beskrivits i ett stort antal böcker och vetenskapliga artiklar¹⁵⁻¹⁷. Samspelet inom dessa sfärer är mycket komplext. Kortfattat kan grundansatsen till mikrobiell kolonisering av växttytor beskrivas som tillgång till näring och till utrymme. Begränsningarna i förmågan att inta ett utrymme på växttyterna och att använda den där tillgängliga näringen ligger i egenskaperna hos

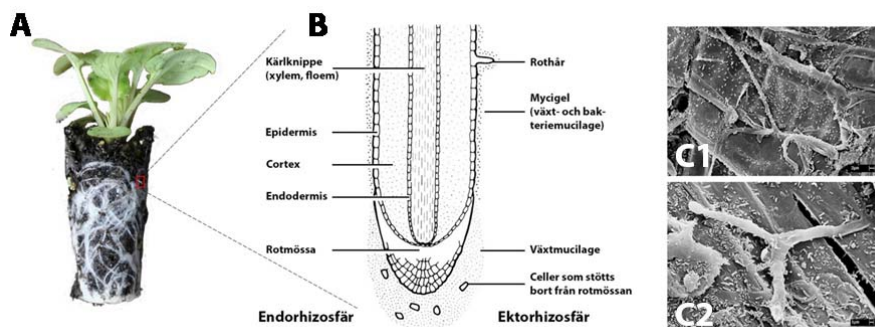
- värden (växten)
- mikroorganismen
- de mikrobiella samspelet
- miljön

2.1.1 Rhizosfären

Rhizosfären präglas av växtrötternas förmåga att utsöndra (*exsudera*) organiska ämnen (figur 3). Upp till 7-14 % av de ämnen som produceras genom fotosyntesen avges aktivt genom rotexsudation eller genom passiva processer¹⁷. Rotexsudatens sammansättning och mängd skiljer sig mellan olika växtslag och växtens ålder samt miljöbetingelserna som rötterna utsätts för. I detta sammanhang spelar odlingsbetingelserna en viktig roll. Rhizosfärens näringsrika miljö blir på så sätt en plats för hög mikrobiell aktivitet.

Då växter odlas i jord eller i odlingssubstrat, är deras rötter nära sammanvävda med markpartiklar och substratets fibrer. Rotexsudatens koncentration avtar snabbt från rotytan till den kringliggande jorden. På så sätt avtar också stegvis mikroorganismernas förekomst från rotytan (*rhizoplane*) till den omgivande jorden eller det omgivande odlingssubstratet. Rotexsudaten avtar dock inte bara i mängd utan också sammansättning av kemiska substanser kring roten förändras med tilltagande avstånd från rotytan. Detta för med sig dels en förändring i den mikrobiella samhällsstrukturen, dels på ett funktionellt plan¹⁸. Också då växter odlas i odlingssystem utan jord eller odlingssubstrat (t. ex. i NFT-system) finns en gradient mellan rotytan och den omgivande miljön; i och med att roten ständigt sköljs över med näringslösning i sådana system, ser denna gradient och därmed också den mikrobiella strukturen annorlunda ut.

Rhizosfären är en ”hot spot” för opportunistiska humanpatogener¹⁹. Överlevnad av tarmsmittor har visat sig vara effektiv i rhizosfären och ibland mycket effektivare än i fyllosfären trots suboptimala miljöbetingelser, vilket exempelvis demonstrerats för *Campylobacter jejuni*²⁰.

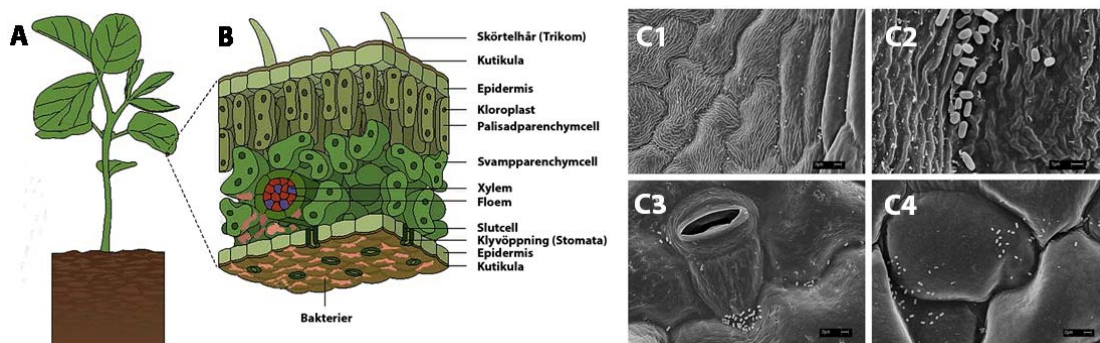


Figur 3. Växtroten (A; © Beatrix Alsanius), schematiserad bild av rhizosfären (B; Lynch 1990¹⁷) och svampmycel och bakterier på ytan av tomatrötter (C1, C2; © Kerstin Brismar). Delfigur B återges med tillstånd av Wiley & Sons, Chichester. Delfigur C har tagits fram inom ramen för projektet ”Mikrobiell kolonisering av rotytan” (Birgitta Rämert, SLU).

2.1.2 Fyllosfären

Fyllosfären (figur 4) skiljer sig ifrån rhizosfären på många sätt. Växtens yttersta skikt mot atmosfären är kutikulan som täcker epidermiscellerna och som ger skydd mot uttorkning. Detta lager består av polymera substanser såsom kutin, vaxer och polysackarider. Bladytan (*fylloplan*) är ingen slät yta utan liknar ett landskap med sprickor och glipor. Bladytor av vissa växter täcks av en ”matta” av körtelhår (*trikomer*), t.ex. tomatblad. Till sin natur är bladytan vattenfrånstötande (*hydrofob*). Detta försvårar vidhäftningen av mikroorganismer och ställer särskilda krav på mikroorganismer som vill inmuta detta habitat.

I motsats till rhizosfären är fyllosfären en mycket karg miljö. I och med att frisättningen av organiska ämnen över bladytan är mindre ymnig, påverkas den mikrobiella koloniseringen, både vad gäller mönstret, platserna och samhällsstrukturen. Istället för en jämn mikrobiell biofilm återfinns mikroorganismerna på bladytan i mikrobiella ansamlingar (*aggregat*) vid näringsrika platser. Bladnerv, klyvöppningar, trikomer och hydatoder gör att tillgången till näring varierar över bladytan och därför favoriseras dessa platser av mikroorganismerna. Utöver detta är sår, som uppstår antingen genom mekanisk skada eller genom skadegörare, en mycket näringsrik miljö som inbjuder till kolonisering. Den mikrobiella samhällsstrukturen i fyllosfären är beroende av växtslaget och växtens/växtedelens ålder^{21, 22}. Utöver de näringsfattiga betingelserna präglas fyllosfären av varierande miljöbetingelser¹⁶, såsom svängningar i temperatur (t.ex. mellan dag och natt), ljusintensitet och ljusspektrum samt vattenaktivitet och variation i UV-strålning.



Figur 4. Fyllosfär (A), bladens anatomi (tvärsnitt) (B) (enligt Vorholt¹⁵ och bladyta av persilja (C1, C2; © Kerstin Brismar), spenat (C3; © Kerstin Brismar) och ruccola (C4; © Kerstin Brismar). De stavformade strukturer i delfigur C är bakterier. Tillstånd för återgivning av delfigur A och B har getts av Nature Publishing Group. Bilderna som återges i delfigur C har tagits fram inom ramen för det SLF-finansierade projektet "Säkring av hygienisk standard i bevattningsvatten" (Beatrix Alsanius, SLU).

Mikroorganismer som framgångsrikt ska kolonisera bladytan måste dels ha förmågan att minska bladytans ytspänning, dels vara mycket motståndskraftiga respektive anpassliga till varierande miljöbetingelser (*abiotisk stress*) och dels vara motståndskraftiga mot metaboliter (antibiotiska substanser) som utsöndras av andra mikroorganismer eller växten (*biotisk stress*). Samtidigt är förmågan att bilda antibiotiska substanser ett vapen mot andra organismer och för att skydda den inmutade nischen. En enskild bakterie vore allt för utsatt i denna miljö. Mikroorganismer återfinns därför ofta som aggregat med upp till 1000 celler²³ i skyddade lägen på bladytan, t.ex. sprickor eller "dalar", inbäddade i mikrobiella polysackarider, s.k. *exopolysackarider* (EPS) som ger skydd mot uttorkning. Vanligtvis består dessa aggregat av ett flertal arter, d.v.s. de är heterogena.

Sammansättningen av mikroorganismer i de olika habitaterna på växtyterna varierar utifrån växten, växtåldern och miljöbetingelserna. De sistnämnda omfattar även odlingsbetingelserna. Habitatens mikrobiella sammansättning är dock inte statisk. Majoriteten utgörs av bakterier. Olika ekologiska strategier kan användas i samband med att förklara variationen i förekomsten av bakterier i fyllosfären, såsom

- tolerans, d.v.s. att bakterier är motståndskraftiga mot rådande biotisk och abiotisk stress
- påverkan, d.v.s. att bakterierna lokalt förändrar livsvillkoren, t.ex. i form av ökat näringsläckage över bladytan och
- undanflykt, d.v.s. att bakterier uppsöker betingelser som ger skydd, i form av EPS eller i form av invasion under bladytan²⁴.

Dessa strategier kan direkt tillämpas på humanpatogener om de är primära kolonisatörer, d.v.s. om humanpatogenen finns med från allra första början, exempelvis på fröet, och sprider sig därifrån på växtyterna allteftersom växten

utvecklas. Ett vanligare scenario är dock att humanpatogenen inte finns med från början utan sprids under odlingen exempelvis genom bevattningsvattnet vilket betyder att växtyterna *per se* för det mesta redan är koloniserade av andra mikroorganismer innan humanpatogenen sprids. Vidhäftning av humansmittor på växtytan måste alltså ske i samspel med de redan etablerade aggregaten. Olika studier visar att mikroorganismer kan häfta vid växtytor inom kort tid samtidigt som de inte kan tas bort helt genom tvätt. Växt-, växtorgan- och organismspecifika skillnader har beskrivits. Det finns också indikationer på att vissa mikroorganismer kan stödja etableringen respektive förökningen av *E. coli* O157:H7 i fyllosfären²⁵. Samma undersökning visade att antagonistiska bakteriestammar kan motverka etablering av *E. coli* O157:H7 på roten. Det saknas tillräckligt underlag för att dra generella slutsatser; men de befintliga observationerna tyder på att den mikrobiella samhällsstrukturen på växtytan och biofilmens respektive aggregatens mikrobiella sammansättning är avgörande.

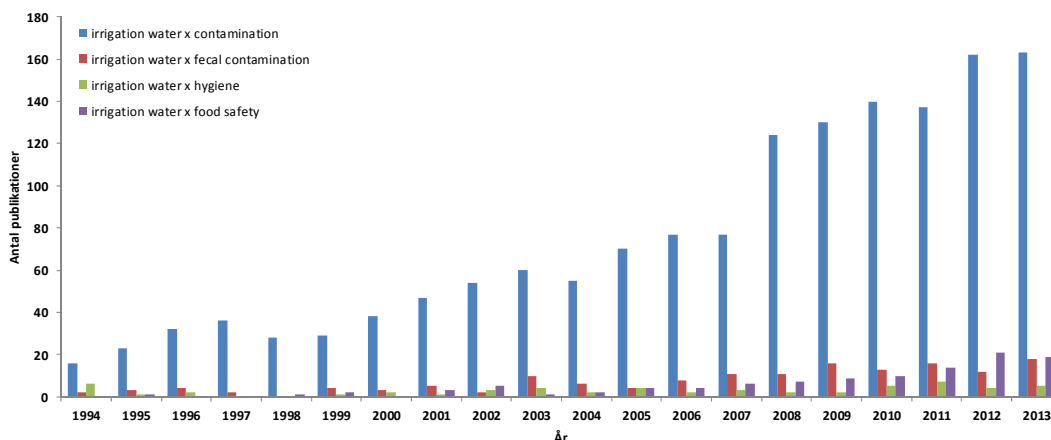
2.2 Endofytisk kolonisering

Som nämnts ovan finns en naturlig kolonisering med mikroorganismer i växtens inre (*endosfären*). Den endofytiska livsstilen skyddar mikroorganismerna från miljömässiga påfrestningar²⁴, och medför fördelar i form av tillgång till en näringsrikare miljö. Att mikroorganismer är kapabla att tränga in i växtvävnad är ett välkänt växtpatologiskt fenomen. De flesta humanpatogena bakterier besitter inga mekanismer för att aktivt tränga in i växtceller. Däremot fungerar naturliga öppningar, såsom klyvöppningar, trikomer, lenticeller, blommor, men också groddens rötter och sidorötter som inkörsportar. Mekaniska skador, sjukdomsangrepp eller rötter under nedbrytning är vägar för internalisering av humanpatogener. Detta innebär att humanpatogener skulle kunna invadera växten (*internaliseras*) under hela primärproduktionen och överleva endofytiskt. Internalisering av humanpatogener har påvisats för flera växtslag och utvecklingsstadier²⁶⁻²⁸. I studier med persilja demonstrerades att *Salmonella* Typhimurium kan internaliseras via roten och transporteras till bladen²⁹. Efter internalisering är ytlig tvätt av frukt och grönsaker, inte tillräckligt effektiv för att ta bort humansmittor från produkten, även vid tillsats av antimikrobiella substanser (klorin, H₂O₂, O₃). Det är därför viktigt att hålla en hög hygienstatus under hela primärproduktionsledet från sådd till att produkten distribueras.

3 Bevattningsvatten som källa för kontaminering av frukt och grönt

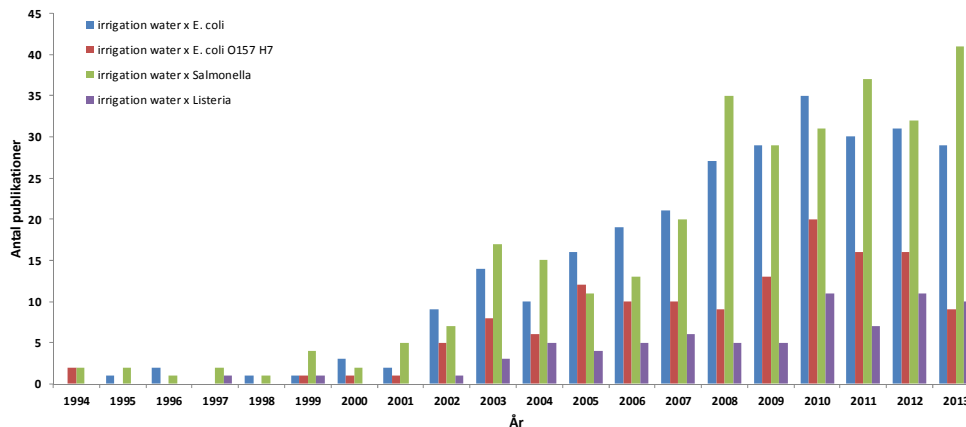
Bevattningsvattnets hygieniska kvalitet har fått ökad betydelse under de senaste åren. Inte bara har man tittat på olika halter av indikatororganismer och sjukdomsalstrare i olika bevattningskällor och deras förekomst på modellkulturen, utan också på stamledningssystemet samt på alternativa spridningsvägar med vatten. Figur 5 och 6 visar på antalet internationella publikationer i referee-granskade tidskrifter som ägnar sig åt bevattningsvattnets hygien under åren 1994-2013. Ofta relateras hygienfrågeställningen till en modellkultur.

Antalet publikationer som befattar sig med bevattningsvatten och kontaminering var högt redan i början av 2000-talet. En tydlig cesur i antalet publikationer sker 2008 då antalet steg till över 120 årligen. Det visade sig dock att majoriteten inte befattar sig med fekala föroreningar, utan med andra kontaminanter, t.ex. kemiska (figur 5). Publikationer som tar upp samspillet mellan bevattningsvatten och fekala föroreningar som sökord ligger sedan år 2007 >10 per år, d.v.s. året efter utbrottet relaterat till spenat i USA, medan antalet artiklar med sökorden bevattningsvatten och livsmedelssäkerhet är >10 per år först sedan 2011, d.v.s. året då det omfattande utbrottet relaterat till smittade groddar skedde i Tyskland.



Figur 5. Antal internationella publikationer i referee-granskade tidskrifter som ägnar sig åt bevattningsvattnets hygien. Sammanställningen genererades ur databasen Web of Knowledge, och nyckelorden "irrigation water x contamination", "irrigation water x fecal contamination", "irrigation water x hygiene" och "irrigation water x food safety" användes som bas för selektion med Science Citation Index Expanded (SCI-Expanded) och Social Science Citation Index (SSCI).

Vad gäller litteraturen som befattar sig med bevattningsvatten och specifika humanpatogener (figur 6) kan den senaste 20-årsperioden indelas i tre faser, där antalet publikationer var få fram till år 2001, något fler under åren 2002-2007 och betydligt högre under de senaste sex åren. Under den sistnämnda perioden har *Salmonella* fått största utrymmet.



Figur 6. Antal internationella publikationer i referee-granskade tidskrifter som ägnar sig åt bevattningsvattnets hygien med hänsyn till specifika patogener. Sammanställningen genererades ur databasen Web of Knowledge, och nyckelorden "irrigation water x E. coli", "irrigation water x E. coli O157:H7", "irrigation water x Salmonella" och "irrigation water x Listeria" användes som bas för selektion med Science Citation Index Expanded (SCI-Expanded) och Social Science Citation Index (SSCI).

Inom ramen för föreliggande kapitel kommer problematiken kring hygien av, och smittspridning genom bevattningsvatten beskrivas med hänsyn till (1) vatten och vattenkällor för bevattningsvatten i primärproduktion, (2) bevattningssätt, (3) effekt av kontaminerat bevattningsvatten samt (4) förebyggande kulturåtgärder.

3.1 Vatten i primärproduktion

Vatten används i hortikulturella produktionskedjor för olika ändamål:

- 1) Bevattning, inkl frostbevattning
- 2) Beredning av gödsellösningar och sprutlösningar
- 3) Skörd
- 4) Produktkonditionering
- 5) Vidareförädling/processning

Först och främst är det användningsändamålet som dikterar vattnets hygieniska minimikvalitet. Detta innebär att allt högre hygienisk kvalitet krävs ju närmare vattnet kommer den slutliga produkten, d.v.s. för processning och produktkonditionering är dricksvattenkvalitet ett krav. För bevattningsändamål är inte enbart skördetillfället avgörande utan också appliceringssättet och mängd av tillfört bevattningsvatten och hur skördeprodukten kommer att användas. I och med att konsumtionsmönstren förändrats avsevärt och många nya matrester introducerats under senare år, är produktanvändning svårt att förutse i odlingsfasen. Därför är frågan om hygien i bevattningsvattnet relevant för alla åtliga hortikulturella vegetabilier.

Bevattning och bevattningsvatten kommer att utförligt diskuteras i nästa avsnitt. Kortfattat vill jag däremot gå in på användning av vatten för andra ändamål under primärproduktion än bevattning.

Växtnäring kan tillföras i löst form, antingen vid punkt gödsling (droppbevattning), vid blad gödsling eller då gödsling kombineras med applicering av bekämpningsmedel. Bekämpningsmedel för att motverka skadealstrare i fält eller växthus på kemisk väg appliceras i flytande form. Frågan om vattnets hygieniska standard vid beredning av bekämpningsmedelslösning undersöktes av Guan et al.³⁰. I undersökningen ingick fyra smittämnen: *E. coli* O157:H7, *Shigella* spp., *Salmonella* spp. samt *L. monocytogenes*. Ett antal substanser för kemisk bekämpning av skadesvampar eller -insekter testades (Ambush 240EC, Benlate T-N-G, Bravo 500, Botran 75WP, Captan 80WDG, Parasol, and Vendex 50W). Samtliga testorganismer förökade sig i fungiciden ”Bravo 500”. En negativ tillväxttest med en patogen stam kan inte utesluta tillväxt generellt; test av olika serovarer av *Salmonella* visade individuella preferenser på energikällor och därmed uppförökning i olika pesticider.

Vatten används också för skörd. Ett exempel är skördesystem för storskalig odling av tranbär. Det föreligger inga undersökningar kring samspelet mellan produkt och hygienstatus av vatten som används för skörd.

Den hygieniska statusen hos vatten som används för produktkonditionering har studerats i ett antal livsmedelshygieniska undersökningar av grönsaker odlade i afrikanska mellanstora och stora städer. Den problematiken utvecklar jag inte inom ramen för denna sammanställning.

3.1.1 Källor för bevattningsvatten

- Borrwater
- Kommunalt water
- Regnvatten
- Ytvatten (stående water: uppsamlat dammvatten genom ytavrinning; sjö ; rinnande water: bäck;å)
- Avloppsvatten (behandlat eller obehandlat)

används vid primärproduktion av frukter, bär och grönsaker. Av dessa fem källor håller de tre förstnämnda vanligtvis hög hygienisk kvalitet, medan kvaliteten hos ytvatten och avloppsvatten är variabel respektive låg.

BORRVATTEN

Brunnsdjupet för borrhwater ligger för det mesta mellan 25 och 80 m, men kan vid ogynnsamma grundvattenbetingelser även vara så djupt som 130 m. Vid högt grundvattenstånd kan ytliga borrhwater, med ett djup på 3 till 6 m, brukas. I detta sammanhang bör man dock tänka på att även borrhwater kan vara kontaminerat, t. ex. genom inträngning av ytvatten vid översvämningar. Tarmbakterier kan hamna i grundvatten också genom sidvattenintrång. Risken för fekala föroreningar i

grundvatten är generellt större när ytnära borrar används. I en tre-årig undersökning av ytligt grundvatten under bevattnad ängsmark fanns *E. coli* och *Campylobacter* spp. i 75 % respektive 12 % av proven³¹.

REGNVATTEN

Uppsamling av regnvatten är ett gammalt beprövat sätt för att möta efterfrågan på bevattningsvatten³²⁻³⁴ som fått en renässans under senare år. Regnvatten anses generellt hålla hög hygienisk standard. Vid användning av regnvatten för bevattning bör dock särskild uppmärksamhet fästas vid att uppsamlings- och lagringssätt inte har påverkat vattnets hygieniska kvalitet negativt.

YTVATTEN

Ytvattenkällor är en mycket sammansatt grupp. De kan vara stående eller rinnande vatten. I hortikulturella sammanhang är det inte helt ovanligt med uppsamlat dammvatten, som är en blandning av ytvavrinning och regnvatten, eventuellt med tillskott från ett rinnande vattendrag. Närhet till djurproduktionsanläggningar, såsom stallar, upplagringsplats för gödsel, bete, utgör ett särskilt kontaminationsrisk av ytvatten vid direkt avrinning till mark och vattendrag, samt vid översvämning och sekundär användning som bevattningsvatten³⁵. Kommuner anlägger i allt större omfattning uppsamlingsdammar som skydd mot översvämningar vid regnoväder, vilket också föreslagits i utredningen ”Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter”³⁶. Vid sidan av översvämningsskydd fyller dessa dammar ett flertal servicefunktioner, såsom biodiversitetsfunktion genom ökad förekomst av fåglar samt vattenlevande djur, rekreationsfunktion samt lagringsfunktion. Skötseln av översvämningsskyddets vegetationstäck överläts gärna åt betande djur, vilket ses som ett synnerligen ekologiskt skötselalternativ. I dessa sammanhang lyfts lagringsfunktion för bevattningsändamål ofta fram. Andra stående vatten är naturliga sjöar, av olika storlek. Sverige är rikt på sjöar, men också här finns det ofta en sammanblandning med olika servicefunktioner (vattenverk, reningsverk, reservoar för dricksvatten, rekreation). Bland de rinnande vatten som används för bevattningsändamål finns bäckar och åar.

Den hygieniska kvaliteten hos ytvattenkällor avgörs av deras ursprung och det är omöjligt att dra några generella slutsatser. Det finns dock ett antal riskmoment:

- 1) Ett rikt djurliv främjar förekomsten av fekala föroreningar i vattnet och därmed också risken för tarmsmittor. Det är ur detta perspektiv tveksamt att kombinera olika servicefunktioner i översvämningssdammar med bevattning. Bevattningsdammar bör därför inte samtidigt användas för odling av fisk eller kräftdjur.
- 2) Ytvavrinning, speciellt efter kraftiga regnoväder, där vatten från översvämmade gödselbrunnar, reningsverk etc. kan blandas med avrinnande regnvatten, medför risk för transport av tarmsmittor
- 3) Strandbetande djur, närmare än 30 m ifrån strandkanten

- 4) Bebyggelse nära strandkant utan fungerande avloppsrening (avsaknad av avloppsrening, misskött tre-kammarbrunn, septiktank)
- 5) Stillastående vatten för uppsamling av ytvatten är ofta näringsrika, vilket leder till växt av makroalger. De utgör en yta för andra mikroorganismer att fästa vid.

BEHANDLAT OCH OBEHANDLAT AVLOPPSVATTEN

Vid bristsituationer förekommer i några regioner utanför Sverige användning av avloppsvatten som alternativ bevattningskälla. Sådana bevattningskällor diskuteras också överraskande ofta i samband med stadsodling som ett led i att sluta stadens kretslopp. I dessa sammanhang syftas det främst till att tillvarata dessa resurser som växtnäring, medan de mikrobiologiskt-hygieniska aspekterna ofta inte får något utrymme.

Belastning av obehandlat avloppsvatten med indikatororganismer respektive potentiella humanpatogener har visats i ett antal undersökningar. De höga halterna av indikatororganismer i avloppsvatten återspeglades också på grönsaker (spenat, sallat, persilja, rädisa, selleri) som bevattnades från dessa källor³⁷. Också *Ascaris* (ägg) och *Giardia* (oocystor) förekom i högt antal på grönsaker som blivit bevattnade med obehandlat avloppsvatten³⁸. Flera studier visar på att behandling av vatten genom koagulering, flockulering, långsamfiltrering och UV-ljusbehandling minskar risken för mikrobiologiska faror^{38, 39}.

Oavsett källan för bevattningsvatten bör man ha i åtanke att situationen i fält resp. växthus eller andra odlingsytor skiljer sig från distributionssystemet för dricksvatten. Även om vattenkällans hygieniska kvalitet är en väsentlig faktor, så påverkas vattnet också av transporten till den odlade kulturen. Denna transport som kan vara några 100 m till flera kilometer lång sker i rör som inte är anpassade till transport av hög-kvalitativt vatten, som exempelvis dricksvatten. Distributionsnätet för bevattningsvatten är oftast inte fastinstallerat utan mobilt för att passa temporära behov, vilket medför upplagring av öppna oanvända rör i fält.

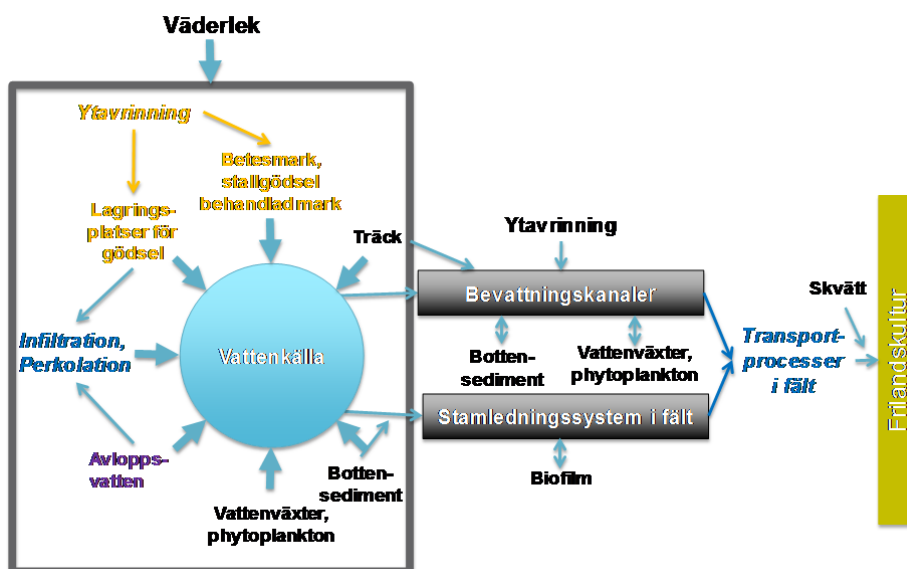
3.1.2 Mikroorganismer i bevattningssystem

Det finns ett begränsat antal publikationer som handlar om mikroorganismer i bevattningsvatten. Medan tidigare undersökningar främst är inriktade på förekomsten av indikatororganismer, såsom totalantal odlingsbara heterotrofa organismer (heterotrophic plate count, HPC) vid 22 °C, totalantal koliforma bakterier, fekala coliforma bakterier, *E. coli*, intestinala enterokocker eller valda patogener, har mikrobiotan i bevattningsvatten och stamledningssystem för bevattningsvatten först fått uppmärksamhet under senare år tack vare moderna DNA-baserade analysmetoder.

Bevattningsvattnet är ett transportmedel för lösta och olösliga ämnen. Det är inte enbart koloniserat av humansmittor som förekommer i miljön för primärproduktion utan har ett naturligt rikt mikroliv. I och med att vatten till sin natur ständigt omsätts, är också mikrobiotan föränderlig och påverkad av yttre betingelser. En

utförlig beskrivning av samspelet mellan kolflöden och mikroorganismer i bevattningsvatten har nyligen presenterats av Alsanius et al.⁴⁰.

Mikrobiotan relaterad till bevattningsvatten kan vara associerad med sedimentet i vattenkällan, med biofilmen i distributionssystemet och med det fria vattnet. Figur 7 visar flöden av mikroorganismer och påverkansfaktorer i bevattningsvatten baserat på ytvattenkällor samt behandlat och obehandlat avloppsvatten. Samspelet både vid bevattning genom bevattningskanaler och genom ett stamledningsnät presenteras. I och med att bevattning genom bevattningsdiken/-kanaler varken är vanliga vid odling på friland eller i växthus/tunnel, fokuseras i texten enbart på system och förhållanden som använder sig av ett stamledningsnät.



Figur 7. Flöden av och påverkansfaktorer vid användning av yt- och avloppsvatten (enligt Pachepsky et al.(2011)⁴¹, modifierat). Figuren återges med tillstånd av Elsevier.

SEDIMENT

Mikroorganismer kan sedimentera och anrikas i stående och rinnande vatten och bildar biofilm på sjöbotten resp. flodbädden. Biofilmbildningen är beroende av mikroorganismernas vidhäftning till ytan, sorption av makromolekyler, bildning av exopolysackarider, men också abiotiska faktorer, såsom vattenvolym, flödes hastighet och strömning, ljus samt halten lösta organiska ämnen och olösta, men nedbrytbara organiska substanser^{40, 42, 43}. *E. coli*⁴⁴⁻⁴⁶, *Salmonella* spp.⁴⁷ och *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis*⁴⁸ samt oocystor av *Giardia*⁴⁹ och *Cryptosporidium*^{49, 50} är några exempel på organismer som rapporterats överleva och i vissa fall även förökas, i sediment från olika habitat⁴⁵. Sedimentets lerhalt förefaller vara en faktor för avdödning av *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *E. coli* och *Salmonella* Newport i sjöbottensediment⁵¹.

Generellt är halterna av indikatororganismer och potentiella humanpatogener högre i sediment än i vattenvolymen ovanför sedimentet; i detta sammanhang är det dock viktigt att beakta att storheter för kvantifiering i vatten (MPN eller CFU per ml, 100 ml, L) och sediment (MPN eller CFU per g) inte är jämförbara. Trots sedimentation finns ett utbyte mellan sediment och vattenvolymen; sedimenterade patogener kan exempelvis virvlas upp genom turbulens vid storm eller genom strömt vatten.

DISTRIBUTIONSSYSTEM

I motsats till biofilm i distributionssystem för dricksvatten har biofilm associerat till bevattningsvatten inte fått något större utrymme i litteraturen. Det samma gäller mikrobiotan associerad till den fria vattenfasen i distributionssystemet. Detta är intressant, i och med att det ofta i praktiska sammanhang sätts likhetstecken mellan den hygieniska kvaliteten hos bevattningsvattnet i vattenkällan och vid bevattningsrampen. I resonemanget kring bevattningsvattnets hygieniska variabilitet under transporten genom distributionsnätet och därmed också i resonemanget kring provtagningsplatsen för vattenprover bör dock följande faktorer hållas i åtanke⁵², nämligen

- bevattningsvatten sprids bara vid behov. Mellan bevattningstillfällen innehåller ledningarna stillastående vatten där mikroorganismer kan föröka sig
- trycket i bevattningsledningarna är lågt, vilket medför backflöde och vattenintrång i ledningssystemet
- underhåll av distributionssystemet för bevattningsvatten är varierande och beroende av medvetenheten om mikrobiella faror i bevattningsvattnet
- lagring av öppna bevattningsrör under säsongen kan ske i direkt kontakt med mark och erbjuda tillflykt för vilda djur, t.ex. gnagare, reptiler och amfibier.

Biofilmen i distributionssystemet för bevattningsvatten har belysts i två färskartiklar. Shelton et al.⁵³ undersökte hur bevattningsrörens ålder påverkade vidhäftning av naturligt förekommande indikatororganismer (totalantal koliforma bakterier, fekala koliforma bakterier, *E. coli*) och deras integration i biofilmen. De fann dels höga halter av totalantal koliforma bakterier i biofilmen och såg ett samband mellan rörets ålder och vidhäftning. Högre halter av totalantal koliforma bakterier noterades i nya jämfört med använda rör. Halterna av *E. coli* i biofilmen hos bevattningsrör skattas vara högre än i bevattningsvattnet⁵⁴. Mekanismer som retention av bakterier från den fria vattenfasen och frisättning av biofilm-associerade mikroorganismer till den fria vattenfasen i distributionssystemet har konstaterats i flera undersökningar⁵²⁻⁵⁴. Alsanius et al.⁵² studerade den bakteriella mikrobiotans sammansättning på olika platser i distributionssystemet för bevattningsvatten med metagenomiska verktyg (454-pyrosekvensering) och fastställde att 50 % av sekvenserna inte kunde inordnas i kända bakteriesläkten. *Bacteroidetes* och *Proteobacteria* utgjorde 58-77% resp. 15-30% av bakteriella phyla. *Arcicella* sp. dominerade vid samtliga provtagningsplatser, men förekomster

mellan 2.5-12.5% konstaterades för *Flavobacterium* spp., *Clostridium* spp., *Fluviicola* spp., *Limnohabitans* spp. och *Legionella* spp. som återfanns vid de olika provtagningsplatserna.

FRITT VATTEN

Temperatur, halten organiskt material, grumlighet, solinstrålning och väderlek är avgörande faktorer för överlevnad av bakteriella tarmsmittor i vatten.

Temperaturstudier visar att bakteriella tarmsmittor överlever bättre vid låga vattentemperaturer^{46, 55}. Men också virus överlever under lång tid i låggradigt vatten (< 8 °C)⁵⁶. Låga vattentemperaturer gynnade reisolering av *E. coli* O157:H7 bäst, då olika vattenkällor studerades vid 8, 15 och 25 °C⁵⁵. Från åtta-gradigt vatten kunde smittan reisoleras under 91 dagar. Wang och Doyle⁵⁵ visade dock att resultaten påverkas av analysmetoden. Majoriteten av cellerna hade övergått i ett stadium där de lever och är aktiva, men inte kan odlas fram på semi-selektiv agar (viable but non culturable; VBNC). Detta är en mycket viktig iakttagelse som också kräver att våra vanligaste metoder för vattenanalys måste ifrågasättas.

I tabell 1 har observationer rörande överlevnad av humanpatogener i den fria vattenfasen listats.

Vid sidan av direkt spridning genom kontaminerat bevattningsvatten kan humanpatogener också föras till kulturen indirekt genom vattenskvätt efter att vattendroppar (regn, bevattningsvatten) studsar på smittad mark/odlingssubstrat. Monaghan och Hutchison⁵⁷ simulerade nederbörd genom att droppa vatten (droppstorlekar: 87 µl, 56 µl, 24 µl) i olika storlekar från fem meters höjd på en kontaminerad jordyta. Skvätt av den använda *E. coli* stammen (K12) kunde fastställas i sidled 25 cm och i höjdlid 20 cm ifrån nedslagsstället. Större droppar spred smittan i större omfattning än små droppar (87 µl > 56 µl > 24 µl). Detta innebär att marknära växtdelar av kulturer som odlas på kontaminerad mark lätt kan smittas genom nederbörd (regn, hagel) och genom bevattning.

Tabell 1. Förekomst och överlevnad av humanpatogener i den fria vattenfasen baserad på litteraturuppgifter. Vattenkälla, biologiska data (överlevnad (i dagar) förtydligas genom förekomsten (inom parantes), antal dagar^A för att nå en minskning med 99 % (T₉₉) eller 99.99% (T_{99.99} %)) samt fysikaliska (temperatur, °C; pH, grumlighet) och kemiska vattenegenskaper (ledningstal, mS/cm, kemiskt (COD) respektive totalmängd organiskt kol (TOC) syrebehov,mg/l) presenteras för olika humanpatogener

Vattenkälla	Förekomst	Överlevnad	Reduktion	Temperatur	pH	Ledningstal	COD/TOC ¹	Referens
<i>Salmonella</i> spp.								
0.9% NaCl ²		65		4-6				58
		29		18-24				
		5		37				
Destillerat vatten ²		65		4-6				58
		25		18-24				
		43		37				59
<i>Shigella flexneri</i>								
0.9% NaCl		87		4-6				58
		57		18-24				
		43		37				
Destillerat vatten		83		4-6				58
		57		18-24				
		45		37				59
Shigatoxin producerande <i>E. coli</i>								
Grundvatten ^A	Log 9.18		T ₉₉ : 2	10	6.98-7.30			60
			T _{99.99} : 15					
Artificiellt grundvatten ^B			T ₉₉ : 35	15	7			61

			T _{99,99} : 18					
Flodvatten (Wisla 1)	Log 8		T ₉₉ : 10	6	7.83		68	⁴⁶
			T _{99,99} : 15	6				
	Log 8		T ₉₉ : 4	24	7.83		68	⁴⁶
			T _{99,99} : 6	24				
Flodvatten (Wisla 2)	Log 8		T ₉₉ : 4	6	8.06		139	⁴⁶
			T _{99,99} : 6	6				
	Log 8		T ₉₉ : 2	24	8.06		139	⁴⁶
			T _{99,99} : 5	24				
Flodvatten (Sona)	Log 7.5		T ₉₉ : 8	6	7.92		24	⁴⁶
			T _{99,99} : 15	6				
			T ₉₉ : 7	24	7.92		24	⁴⁶
			T _{99,99} : 10	24				
Filtrerat sterilt kommunalt vatten	Log 3.2		T ₉₉ : >13 veckor T _{99,99} : ND ³	8	7.4	0.044	0.11	⁵⁵
			T ₉₉ : >13 veckor T _{99,99} : ND	15				
			T ₉₉ : 9 veckor T _{99,99} : ND	25				
Sjövatten (Lake Herrick)	Log 3.2		T ₉₉ : 9 veckor T _{99,99} : ND	8	6.49	0.341	6.83	⁵⁵

			T ₉₉ : 2 veckor T _{99,99} : ND	15				
			T ₉₉ : 1.8 veckor T _{99,99} : ND	25				
<i>Campylobacter jejuni</i> ^{4, B}								
Mesofil bevattningsvatten (ytvatten)	Log 8		T ₉₉ : 12 T _{99,99} : ND	6	7.75	164	12	62
	Log 8		T ₉₉ : 8 T _{99,99} : ND	16	7.75	164	12	62
<i>Yersinia enterocolitica</i> ^{5, B}								
Mesofil bevattningsvatten (ytvatten)	Log 6.5		T ₉₉ : 11 T _{99,99} : ND	6	7.75	164	12	62
	Log 8		T ₉₉ : 8 T _{99,99} : ND	16	7.75	164	12	62

¹Uppgifterna för TOC uppges i kursiverad font.

²*Salmonella* Typhi

³Ej beskriven

⁴stam 19964

⁵stam E118

^Atidsintervall i andra mått än dagar uppges direkt i tabellen

^Bartificiell inokulation

3.2 Bevattning och bevattningssätt

Odlingsplatsen, odlingssystemet och den odlade kulturen styr bevattningsbehovet och bevattningssättet. Utöver detta påverkar produktionsinriktningen (konventionellt/integrerad; ekologisk) valet av bevattningssätt.

Hortikulturella kulturer odlas på friland eller under kontrollerade betingelser med mer eller mindre hög styrningsgrad, t.ex. tunnel, växthus (kallväxthus, uppvärmt växthus) eller odlingskammare. I tabell 2 listas olika bevattningssätt och –användning. De illustreras också i figur 8.

Tabell 2. Bevattningssätt och –användning⁶³

Bevattningssätt	Friland		Tunnel	Växthus		Odlingskammare
	Grönsaker	Frukt och bär		Kallväxthus	Uppvärt växthus	
Överbevattning ¹ (inkl. stationära, halvstationära och mobila system)	•	•				
Mikrobevattning (inkl. droppbevattning ovan jord, spraybevattning)	• ³	•	•	•	•	
Underbevattning (inkl. droppbevattning under jord, kapillärbevattning)		•	•		•	•
Dikesbevattning	•	•				
Bevattning med bevattningsdysor ²					•	•

¹ med hjälp av ramp, spridare, (engelskt begrepp: canopy irrigation)

² används för att upprätthålla luftfuktigheten i odlingsmiljön

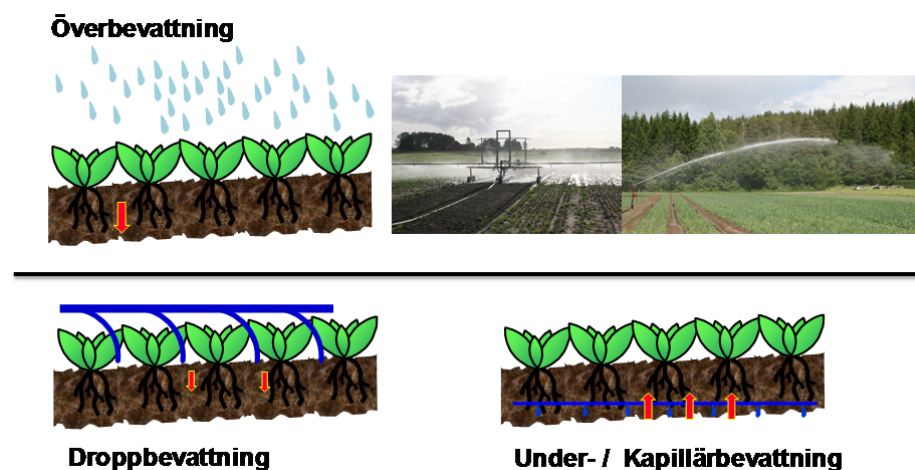
³ droppbevattning lämpar sig inte till alla frilandsodlade grönsaker.

Som tabell 2 indikerar skiljer sig bevattningssätten för olika odlingsplatser respektive kulturspecifika krav. Men också företagsstrukturen, såsom företags storlek och specialiseringsgrad, växtföljd och fältstorlek spelar roll för val av bevattningsteknik.

Exempel på överbevattning är bevattning med spridare eller bevattningsramp, som är den främsta metoden vid odling av grönsaker på friland, men också vid bevattning med vattenkanna eller slangbevattning med spridare. I samband med detta bevattningssätt bildas också aerosoler vilket är av betydelse både för smittspridning med bevattningsvatten men också för arbetarskyddet. De vanligare bevattningssätten som tillämpas vid odling i växthus är droppbevattning, underbevattning (t.ex. ebb och flod) och kapillärbevattning. Dessa bevattningssätt beskrivs ingående i rapporten ”Att förbereda för slutna system”⁶⁴.

Droppbevattning tillämpas också för vissa kulturer på friland. Näringsbevattning i

fruktodlingar sker genom droppbevattning. I vilken mån droppbevattning också kan tillämpas vid odling av grönsaker på friland beror bland annat av kulturens växthabitus.



Figur 8. Olika metoder för spridning av bevattningsvatten vid odling av hortikulturella kulturer på friland eller i växthus (illustration: B. Alsanius)

För att minska risken för frostsador vid strålningsnätter under blomningen använder man sig i frukt- och bärödling på friland av frostskyddsbevattning för att säkerställa att vävnadstemperaturen i blommorna inte underskrider -0.5 till -1 °C. I detta sammanhang använder man sig av överbevattning (som omfattar hela trädkronan) (flödes hastighet: 3-4 mm/h; tryck: 3.5-4.5 bar)⁶³.

3.3 Effekt av kontaminerat bevattningsvatten

Resultat från effekt av bevattning med kontaminerat bevattningsvatten föreligger främst för frilandsodlade kulturer. Majoriteten av undersökningarna bygger på artificiellt inokulerat bevattningsvatten, medan ett fåtal undersökningar studerar effekten av naturligt kontaminerade vattenkällor. I tabell 3 har resultat ur litteraturen sammanställts rörande överlevnad av sjukdomsalstrare på hortikulturella produkter. Frilandsgrönsaker bevattades med ytvatten av låg hygienisk kvalitet i en åttårig studie; halten av indikatororganismer varierade mellan olika grönsaker (blomkål, gräslök, gurka, kål, mynta, persilja, sallat och spenat). Totalantalet koliforma bakterier var högst (log 4-6) på sallat, spenat och gräslök. De högsta halterna av *E. coli* (log 3) respektive fekala streptokocker (log 4) noterades på blomkål respektive frilandsgurkor⁶⁵.

Solomon et al.⁶⁶ bevattade sallatsplantor med kontaminerat (*E. coli* O157:H7; 10^2 ; 10^4 CFU/ml) vatten antingen vid ett enskild tillfälle eller intermittent och följde patogenens förekomst under en 30-dagars-period. Fortfarande efter 30 dagar fanns smittan kvar i påtagliga mängder på sallatsplantor i försöksled som behandlats med en hög densitet av *E. coli*, medan smittan bara kunde reisoleras

efter selektiv anrikning i led med låg densitet av smittan i bevattningsvatten. Islam et al.^{67, 68} fann växtspecifika skillnader i deras försöksserier med bevattningsvattnet som kontaminerats med *E. coli* O157:H7 och vattnades ut till morötter, lök, persilja, spenat. Smittan kunde återisolas från växtdelar under påtagligt lång tid.

Fyllosfärkolonisering av persilja som överbevattnats (manuell, spray) med *Salmonella* Typhimurium-kontaminerat bevattningsvatten visade stigande förekomst av smittan med ökande inokulumsdensitet (analyserat efter 48 h). *Salmonella* återisolerades också från jorden. Vid bevattning med vatten som innehöll en högre inokulumsdensitet konstaterades smittan också på roten. Kuslik och Yaron⁵⁸ konstaterade även dygns- och årstidsbetingade effekter.

Tabell 3. Överlevnad av humanpatogener på hortikulturella kulturer som under primärproduktionen bevattnats med kontaminerat vatten

Kultur	Överlevnad	Densitet		Vattenkälla	Typ av inokulation	Eventuella kommentarer	Referens
		Start	Slut				
<i>Salmonella</i> spp.							
Sallat ¹	63 dagar	Log 2.4 g ⁻¹	Log 2.1 g ⁻¹	ND ²	Kontaminerat vatten	Engångsgiva med 2 mm; 10 ⁵ CFU ml ⁻¹	⁶⁹
Persilja ¹	231 dagar	Log 2.5 g ⁻¹	Log 0.3 g ⁻¹	ND	Kontaminerat vatten	Engångsgiva med 2 mm; 10 ⁵ CFU ml ⁻¹	⁶⁹
Shigatoxin producerande <i>E. coli</i>							
Lök ³	49 dagar	Log 1.5 g ⁻¹	Log 0.7 g ⁻¹	ND	Kontaminerat vatten	Engångsgiva med 2 mm; 10 ⁵ CFU ml ⁻¹	⁶⁸
Morot ³	140 dagar	Log 1.2 g ⁻¹	Log 0.3 g ⁻¹	ND	Kontaminerat vatten	Ökning under de första 14 dagar efter kontaminering från log 1.2 till log 2	⁶⁸
Persilja ³	154 dagar	Log 3.3 g ⁻¹	Log 1.2 g ⁻¹	ND	Kontaminerat vatten	Engångsgiva med 2 mm; 10 ⁵ CFU ml ⁻¹	⁶⁷
Persilja ⁴	3 dagar	Log 4.7 g ⁻¹	Log 0.5 g ⁻¹	Avjoniserat, sterilt vatten	Sterilt 0.085% NaCl	Observationsintervall begränsad till 72 h; engångsgivamotsvarande 5 mm; log 10 ⁵ ml ⁻¹	⁷⁰
	3 dagar	Log 6.2 g ⁻¹	Log 2.5 g ⁻¹	Avjoniserat, sterilt vatten	Sterilt 0.085% NaCl	Observationsintervall begränsad till 72 h; engångsgivamotsvarande 5 mm; log 10 ⁶ ml ⁻¹	⁷⁰
	3 dagar	Log 9.2 g ⁻¹	Log 3.8 g ⁻¹	Avjoniserat, sterilt vatten	Sterilt 0.085% NaCl	Observationsintervall begränsad till 72 h; engångsgivamotsvarande 5 mm; log 10 ⁷ ml ⁻¹	⁷⁰
Ruccola ⁴	3 dagar	Log 3.2 g ⁻¹	Log 2.8 g ⁻¹	Avjoniserat, sterilt vatten	Sterilt 0.085% NaCl	Observationsintervall begränsad till 72 h; engångsgivamotsvarande 5	¹³

						mm; log 10 ³ ml ⁻¹	
	3 dagar	Log 4.8 g ⁻¹	Log 3.8 g ⁻¹	Avjoniserat, sterilt vatten	Sterilt 0.085% NaCl	Observationsintervall begränsad till 72 h; engångsgivamotsvarande 5 mm; log 10 ⁶ ml ⁻¹	¹³
	3 dagar	Log 5.5 g ⁻¹	Log 4.7 g ⁻¹	Avjoniserat, sterilt vatten	Sterilt 0.085% NaCl	Observationsintervall begränsad till 72 h; engångsgivamotsvarande 5 mm; log 10 ⁷ ml ⁻¹	¹³
Sallat ³	55 dagar	Log 3 g ⁻¹	Log 0.9 g ⁻¹	ND	Kontaminerat vatten	Engångsgiva med 2 mm; 10 ⁵ CFU ml ⁻¹	⁶⁷
Spenat ⁴	3 dagar	Log 3.2 g ⁻¹	Log 2.5 g ⁻¹	Avjoniserat, sterilt vatten	Sterilt 0.085% NaCl	Observationsintervall begränsad till 72 h; engångsgivamotsvarande 5 mm; log 10 ⁵ ml ⁻¹	¹³
	3 dagar	Log 4.8 g ⁻¹	Log 3.2 g ⁻¹	Avjoniserat, sterilt vatten	Sterilt 0.085% NaCl	Observationsintervall begränsad till 72 h; engångsgivamotsvarande 5 mm; log 10 ⁶ ml ⁻¹	¹³
	3 dagar	Log 6.2 g ⁻¹	Log 3.8 g ⁻¹	Avjoniserat, sterilt vatten	Sterilt 0.085% NaCl	Observationsintervall begränsad till 72 h; engångsgivamotsvarande 5 mm; log 10 ⁷ ml ⁻¹	¹³

¹ apatogen stam av *Salmonella* Typhimurium² ND: ej beskriven³ apatogen *E. coli* O157:H7, B6914, *gfp*-markerad⁴ apatogen *E. coli* O157:H7, E81186, *gfp*-markerad

3.4 Förebyggande kulturåtgärder

Praktiker, rådgivare och forskare har reflekterat över att kompensera temporär respektive permanent brist på bevattningsvatten av hög kvalitet genom kulturåtgärder. I dessa sammanhang har bevattningssätt, bevattningsuppehåll och hygienisering av bevattningsvatten diskuterats. Kompensation genom ändrat bevattningssätt respektive bevattningsuppehåll är enbart meningsfullt om sjukdomsalstraren inte överlever under en avsevärd tid på de ätliga delarna och om sjukdomsalstraren inte kan eller har internaliserats. Kompensation genom hygienisering förutsätter att åtgärden har hög reningsgrad och att rekontaminering inom distributionssystemet utesluts.

3.4.1 Bevattningssätt

Från många håll inom primärproduktionen görs gällande att bevattningssättet kan påverka kolonisering av tarmsmittor på växtvävnaden. I dessa sammanhang framhålls att droppbevattning kan vara ett effektivt sätt att minska risken för spridning av tarmsmittor till ovanjordiska växtdelar. Det anses vara en förebyggande åtgärd i bladgrönsaker med sluten bladskärm, t.ex. isbergsallat. Dessa rekommendationerna sägs dock emot av en studie av Solomon et al.⁷¹ som inte fastställde skillnader i förekomst av *E. coli* O157:H7 på växtvävnaden då kontaminerat vatten vattnades ut med spridare eller droppbevattning. Den höga förekomsten av *E. coli* O157:H7 i mark, rhizosfären och på bladytan av sallad efter applicering med droppbevattning har bekräftats av andra studier⁷². I en annan studie jämfördes bevattning med spridare med droppbevattning och bevattning genom bevattningsdiken/-kanaler. Tillförsel av vatten genom bevattningsdiken ledde till en kortare överlevnad av *E. coli* K-12 på den odlade kulturen (sallat). I de dikesbevattnade leden kunde däremot stammen återisoleras i högre antal från marken. Årstidsbetingade variationer noterades⁷³. I detta samband är det viktigt att beakta att resultat från försök genomfört med *E. coli* K-12 inte tvunget kan överföras till villkor för Shiga toxin producerande *E. coli*-serovarier.

3.4.2 Bevattningsuppehåll

Bevattningsuppehåll innebär att bevattningar undviks under odlingens slutfas. Flera undersökningar indikerar att humanpatogener kan överleva under lång tid under primärproduktioner, vilket i sig ifrågasätter en sådan åtgärd. Frågan har dock testats specifikt i en nyligen publicerad studie, där *E. coli* O157:H7 inokulerades i olika densitet i samband med sista bevattning av spenat och rucola och förekomst av målorganismen följdes upp under de följande tre dyggen. Förekomsten av *E. coli* sjönk, men låg även efter tre dygn fortfarande på sjukdomsframkallande nivå¹³. En liknande trend har konstaterats för persilja⁷⁰.

3.4.3 Torkstress

Effekt av suboptimal (*deficitär*) tillförsel av vatten på förekomst av sjukdomsalstrare har testats med hänsyn till *E. coli* O157:H7 och *Listeria monocytogenes* (fuktighet i odlingssubstratet: < 12 % respektive >20 %) ⁷⁴. Dessa

fuktighetsnivåer påverkade växtens fysiologi signifikant. Statistiskt signifikanta skillnader, dock utan praktisk relevans, i förekomst konstaterades mellan behandlingarna och samma trend noterades för alla de tre testade växtslagen (babyleaf av mangold, rucola och spenat).

3.4.4 Hygienisering av bevattningsvatten

Vattenrening sker traditionellt nära bevattningsdammen, i och med att det krävs tillgång till elektricitet. I detta sammanhang bör det hållas i åtanke att vattnet, efter att det pumpats upp från dammen, oftast måste färdas i flera hundra meter genom stamledningsnätet till bevattningsmaskinen, samt ibland ytterligare distanser tills det når munstycken på bevattningsmaskinen. Transporten genom stamledningsnätet (distributionssystemet) är en källa för rekontaminering. Att dekontaminera vattnet så nära bevattningsmaskinen som möjligt är alltså att föredra.

LÅNGSAMFILTRERING

Långsamfiltrering är en process som bygger på fysikaliska, kemiska och mikrobiologiska mekanismer. Den har använts i mer än 200 år för rening av dricksvatten där metoden visat sig mycket effektiv mot *E. coli*⁷⁵. I hortikulturen har den främst använts för borttagning av växtpatogener vid odling i hydroponiska system i växthus. Det finns dock också exempel med storskaliga filter på friland vid kontainerodling av plantskoleväxter. För en effektiv reningsprocess är flödeshastighet genom filtret, filtermaterial och filtrets översta skikt, ”Schmutzdecke”, avgörande faktorer. Vid långsamfiltrering ska flödeshastigheten inte överstiga 400 l/m² filteryta och h⁷⁶, och för att uppnå en mycket hög reningsgrad ska flödeshastigheten ligga vid 200 l/m² filteryta och h. Med tanke på de stora vattenvolymerna som behövs vid varje bevattningstillfälle i grönsakskulturer måste de nödvändiga vattenmängderna lagras; detta måste ske på ett sådant sätt som förhindrar återkontaminering av redan behandlat vatten.

FOTOKATALYS

Fotokatalytisk rening är en oxidationsbehandling. Vattnet passerar genom en enhet som består av en UV-lampa och ett katalytiskt membran. De kommersiella enheterna som är i bruk i Sverige arbetar med ett titandioxidmembran. När UV-strålarna möter det katalytiska membranet bildas radikaler som oxiderar både levande och dött organiskt material. Fotokatalytisk rening lämnar inga toxiska restprodukter. Hög reningseffekt förutsätter låg grumlighet, vilket innebär att vattnet skall filtreras genom ett grovt filter innan det behandlas fotokatalytiskt. Metoden har visat goda resultat för hygienisering av bassängbadvatten och av bulkvatten. Vid sidan av inverkan på bakterier har den också visat sig effektiv mot *Cryptosporidium*^{77, 78}, parasiten som orsakade utbrott relaterade till dricksvatten i Östersund och Skellefteå under hösten/vintern 2010/2011.

Vid SLU Alnarp har vattenbehandling genom fotokatalys följts upp både vid stationära enheter nära pumpstationen och vid mobila enheter monterade på bevattningsmaskinen. Processen reducerade halten indikatororganismer oberoende av placeringen^{79, 80}, men rekontaminering noterades vid ett antal

provtagningstillfällen då den fotokatalytiska enheten varit placerad nära bevattningsdammen. Den mobila enheten som var installerad på bevattningsmaskinen var effektivare för vatten med en högre föroreningsgrad⁸¹. Hittills finns enbart några få uppsättningar av den prototyp som används i samband med rening av bevattningsvatten. Utrustningen kan användas on-line, d.v.s. under själva bevattningstillfället utan att det behandlade vattnet behöver mellanlagras. Däremot behöver processen optimeras för en högre föroreningsgrad, t.ex. genom att minska flödes hastigheten, öka antalet reaktorer eller genom att utrusta varje munstycke med små fotokatalytiska reaktorer.

3.4.5 Ledarskap och god odlingssed (GAP)

Ledarskap och god odlingssed är två grundläggande komponenter för att minska spridning av humanpatogener under primärproduktionen. Båda komponenterna måste genomsyras av en grundläggande förståelse för mikrobiologiska faror i primärproduktionskedjan som utgör en risk för folkhälsan. Det är också viktigt att ha kunskap om åtgärder som kan göras för att minska riskerna respektive förhindra dem. Företagsledaren måste identifiera farorna och ta fram en plan för att hantera dem. I ledarskap ingår också att säkerställa nödvändiga resurser, i form av personal, ekonomi, träning och utrustning, och att vikten av hygien i primärproduktionen kommuniceras till alla anställda.

På grund av värdekedjans komplexitet och kulturernas individuella förutsättningar och krav, måste riskmomenten och åtgärderna vid produktion av hortikulturella produkter göras individuellt för varje företag. God odlingssed (good agricultural practice, GAP) – motsvarigheten till livsmedelsindustrins GMP – beskriver de nödvändiga miljömässiga och företagsmässiga betingelserna för hygieniskt säkra produkter. GAP kan alltså beskrivas som ett strukturerat angreppssätt för att säkra produktkvalitet och –hygien under primärproduktionen – i trädgårdsföretaget eller på gården. Metoden bygger på åtta principer⁸²; en av dessa rör vattnets hygieniska kvalitet. Vattenkälla, -kvalitet, -mängd och bevattningstillfällen listas som kritiska kontrollpunkter. Dessa aspekter har också tagits in i Svenskt Sigills certifieringsarbete.

4 Uppföljning av bevattningsvattnets kvalitet

Kvalitetssäkring av bevattningsvatten, t.ex. genom upprepade analyser av bevattningsvatten med hänsyn till dess hygieniska kvalitet är ett viktigt redskap för att minska risken för spridning av tarmsmittor, förutsatt att man vidtar rätt åtgärd om kvaliteten är låg. I detta avsnitt presenteras standarder för bedömning av vattenkvalitet som tillämpas i Sverige, standarder som tillämpas för bedömning av bevattningsvattnets kvalitet internationellt samt tankar rörande riskbedömning av bevattningsvatten.

4.1 Bedömning av vattenkvalitet

4.1.1 Regelverk för bedömning av vatten relevant för svenska betingelser

Vattenkvalitet styrs i Sverige av olika regelverk; dricksvattnets hygieniska kvalitet regleras genom SLV 2001:30 (ansvarig myndighet: Livsmedelsverket), regelverket för enskilda brunnar styrs av SOSFS 2003:17 (ansvarig myndighet: Socialstyrelsen; rådgivnings- och informationsansvar: Livsmedelsverket) och regelverket för strandbadvatten har fastställts av Havs- och vattenmyndigheten inom ramen för HVMFS 2012:14. (Ansvaret för flera av dessa allmänna råd kommer att övergå fr o m 1 januari 2014 från Socialstyrelsen till Folkhälsomyndigheten.) Det finns dock inget regelverk som styr kvalitet av bevattningsvatten. Olika aktörer har sin tolkning. Svenskt Sigill bygger sin certifiering på Socialstyrelsens allmänna råd om bassängbad, SOSFS 2004:7^{83, 84}.

4.1.2 Internationellt tillämpade standarder för bedömning av bevattningsvatten

Få länder tillämpar ett regelverk för bevattningsvattnets hygieniska kvalitet. Några av dessa exempel är den tyska DIN19650⁸⁵, som grupperar vattenkvaliteten i fyra klasser med hänsyn till användningsändamålet, standarderna i British Columbia (2 hygienklasser)⁸⁶ samt Alberta⁸⁷ och standarden vid produktion av bladgrönsaker i Kalifornien⁸⁸. Världshälsoorganisationen WHO har tagit fram riktlinjer för den mikrobiologiska kvaliteten av behandlat avloppsvatten och revision har föreslagits av Blumenthal et al.⁸⁹. De bygger på tre klasser med hänsyn till olika användningsändamål och bevattningssätt; i motsats till andra standarder beaktar den också skydd av arbetare. Som nämnts ovan, stödjer sig Svenskt Sigill i sitt regelverk för certifiering på Socialstyrelsens allmänna råd om bassängbad, SOSFS 2004:7⁸³.

Det finns i princip ingen samordning kring dessa operativa normer. De bygger på olika indikatororganismer. Men också tröskelvärden, provtagningsschema och beräkningssättet skiljer sig mellan dessa normer. Tröskelvärdena kan också skilja sig utifrån vattenkällans ursprung, bevattningsmetod eller om produkten är avsedd för konsumtion i rätt tillstånd eller efter uppvärmning. I tabell 4 förklaras olika indikatororganismer som ofta används vid bedömning av vattenkvalitet. I tabell 5

presenteras några exempel på standarder som används internationellt för bedömning av bevattningsvattnets kvalitet.

I samband med bedömning av vattenkvalitet används indikatororganismer som prognosverktyg av graden av fekal förorening. Konceptet bygger på att förekomsten av sjukdomsalstrare, t.ex. *Salmonella*, som förmodligen förekommer i lågt antal, är korrelerad till förekomsten av en vanlig grupp av fekalbakterier eller en enskild tarmbakterie, t.ex. termotoleranta koliforma bakterier eller *E. coli*, som förutsätts finnas i större antal i miljöprover. Sjukdomsalstrarens förekomst kan på så sätt skattas. Rapporterna rörande indikatororganismernas tillförlitlighet varierar starkt⁹⁰⁻⁹².

Tabell 4. Sammanställning av några organismer som används vid hygienisk kvalitetsbedömning av vatten (Ashbolt et al.⁹³, modifierat)

Grupp av organismer	
<i>Processorganismer</i>	
Heterotrofa organismer vid 22 °C	Antal snabbväxande heterotrofa organismer; beskriver främst belastning genom jord
Totalantal koliforma bakterier	Heterogen grupp av bakterier; beskriver den allmänna sanitära nivån i vattnet, men är inte direkt relaterad till fekal förorening
<i>Indikatororganismer för fekala föroreningar</i>	
Termotoleranta koliforma (fekala koliforma) bakterier	Undergrupp av totalantal koliforma bakterier; indirekt mått på <i>E. coli</i>
<i>E. coli</i>	Fekal koliform bakterie
Intestinala enterokocker (fekala streptokocker)	Heterogen grupp av bakterier som indikerar fekal förorening i vatten
<i>Patogener</i>	
<i>Salmonella</i> spp.	Sjukdomsalstrare; används som en av indikatorerna i den tyska operativa normen DIN 19650
Potentiellt infektiösa stadier av parasiter	Oocyster av <i>Giardia lamblia</i> respektive <i>Cryptosporidium parvum</i> ; tarmhelminter (t.ex. maskar; ägg av tarmnematoder)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Sjukdomsalstrare; används som en av indikatorerna i den svenska rekommendationen om bassängvatten (SOSFS 2004:7)

Det verkar finnas en oreflekterad konsensus kring platsen för provtagning, nämligen råvattenkällan (brunn, bevattningsdamm, rinnande ytvattenkälla). Samtidigt har få undersökningar inriktat sig på provtagningsätten och provtagningsplatserna i ledningssystemet i fält, som diskuterats på sidorna 18 och 19. Utöver tidigare anförda argument är det anmärkningsvärt eftersom bevattningsvattnet oftast inte hygieniseras. Detta betyder att provtagningspraxis bör ändras från råvattenkällan till bevattningsledningens slutpunkt (munstycke) för att få trovärdiga resultat. Detta förändrade tillvägagångssätt för med sig ett batteri av frågeställningar kring provtagningsättet och provtagningsmängd.

Tabell 5. Standarder för mikrobiologisk kvalitet av bevattningsvatten. Utöver indikatororganismerna (antal heterotrofa mikroorganismer (HPC; CFU/ml), totalantal koliforma bakterier (TC; CFU/100 ml), fekala koliforma bakterier (FC; CFU/100 ml), *E. coli* (CFU/100 ml), intestinala enterokocker (IE; (CFU/100 ml)) och patogener (*Salmonella* spp. (CFU/L), potentiellt infektiösa stadier av parasiter (CFU/L) samt *Pseudomonas aeruginosa* (CFU/100 ml)) definieras i vissa operativa normer också användningsbetingelser, exponerad grupp respektive bevattningssätt.

Kategori	Användningsbetingelser	Utsatt grupp	Bevattningssätt	HPC	TC	FC	<i>E. coli</i>	IE	<i>Salmonella</i>	Potentiellt infektiösa stadier av parasiter	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Referens
DIN 19650 (vattenkälla: ej definierad)												
1	Utan begränsning		Ej def ^A				Ej påvisbar	Ej påvisbar	Ej påvisbar	Ej påvisbar		⁸⁵
2	Frilands- och växthusodlade kulturer för färskkonsumtion; Idrottsplatser och offentliga parkanläggningar		Ej def ^A				≤ 200	≤ 100	Ej påvisbar	Ej påvisbar		
3	Växthuskulturer ej för konsumtion; Frilandskulturer för färskkonsumtion t.o.m. fruktsättning resp. grönsaker t.o.m. 2 veckor innan skörd; Fukt och grönsaker för konservering; Grönbete och grönfoderväxter t.o.m. 2 veckor innan skörd eller innan bete; Alla andra frilandskulturer utan begränsning; Övriga idrottsanläggningar		Ej def ^A				≤ 2000	≤ 400	Ej påvisbar	Ej påvisbar		

Kate- gori	Användnings- betingelser	Utsatt grupp	Bevatt- nings- sätt	HPC	TC	FC	<i>E. coli</i>	IE	<i>Salmo- nella</i>	Potentiellt infektiösa stadier av parasiter	<i>Pseudo- monas aerugi- nosa</i>	Referens
4	Vin- och fruktodlingar för frostskyddsbevattning; Skogsplantskulturer, våtbiotoper; Sockerbetor, stärkelsepotatis, olje- grödor, icke-livsmedels- kulturer för industriell produktion samt frö t.o.m. 2 veckor innan skörd; Stråsäd t.o.m. mjölk- mognad (ej för färsk- konsumtion); Foder för konservering t.o.m. 2 veckor innan skörd		Ej def ^A				Avloppsvatten som genomgått minst ett biologiskt reningssteg			Se fotnot ¹		
British Columbia (vattenkälla: ej definierad)												
	Vegetabilier som konsumeras råa		Ej def ^A			≤ 200 ^E	≤ 77 ^E	≤ 20 ^E			n/a	⁸⁶
	Vegetabilier som inte konsumeras råa	Ej nära befolkning; ej betande kreatur	Ej def ^A			≤ 1000 ^E	≤ 1000 ^E	≤ 250 ^E			n/a	
Canada – federal nivå (vattenkälla: ej definierad)												
			Ej def ^A		≤ 1000	≤ 100						⁹⁴
CSFSGLLGSC (vattenkälla: ej definierad)												
	Vegetabilier som konsumeras råa		ÖB ^B				126 ^G 235 ^H					⁸⁸
	Vegetabilier som konsumeras råa		DB ^C				126 ^G 576 ^H					

Kate- gori	Användnings- betingelser	Utsatt grupp	Bevatt- nings- sätt	HPC	TC	FC	<i>E. coli</i>	IE	<i>Salmo- nella</i>	Potentiellt infektiösa stadier av parasiter	<i>Pseudo- monas aerugi- nosa</i>	Referens
WHO (vattenkälla: avloppsvatten)												
A ¹	Utan begränsning											89
	Grönsaker och salladskulturer som konsumeras rå, idrottsplatser, offentliga parker	Personal, konsumenter, befolkning	Alla			≤ 1000 ^F				≤ 0.1 ^J		
B ²	Med begränsning											
	Stråsäd, industrigrödor, fodergrödor, betesmark, träd	B personal	ÖB ^B			Ej def ^A				≤ 1		
C ³	Stationär bevattning som i kategori B, då varken personal eller befolkning exponeras	Ingen	DB ^C			n/a				n/a		
SOSFS 2004:7 (vattenkälla: ej definierad)												
			Ej def ^A	< 100							< 1	84

¹ Avloppsvattenbehandling genom en serie av stabiliseringsdammar för att åstadkomma den krävda mikrobiologiska kvaliteten eller ekvivalenta behandlingar; ² Retention genom stabiliseringsdammar under 8-10 dagar eller ekvivalent borttagning av helminter och fekala koliforma bakterier; ³ förbehandling som krävs för bevattningsteknologin men ej mindre än primär sedimentering

^A ej def = ej definierad; ^A ÖB = överbevattning, ^B DB = droppbevattning, ^D BK = bevattningskanal/bevattningsdike; ^E geometriskt medel av fem provtagningar under en 30-dagars-period; ^F geometrisk medel; ^G enskild mätning; ^H geometrisk medel av fem provtagningar under en fem-veckorsperiod; ^I För tarmnematoder inga standardrekommendationer möjliga; för stadier av *Taenia* ej bestämd; ^J tarmnematoder (*Ascaris* sp., *Trichuris* sp.), bandmask, även potentiellt infektiösa stadier av parasiter

4.2 Tankar om riskbedömning av bevattningsvatten

Riskbedömning av bevattningsvattnets kvalitet är fortfarande i sin linda. Trots att faktorer som styr överlevnad av indikatororganismer eller patogener är kända, är det komplicerat att överföra dem i ett tillförlitligt system där förekomsten av sjukdomsalstrare sätts i samband med sannolikhet att insjukna. Väsentliga faktorer i detta sammanhang rör sjukdomsalstrarens beteende i miljön, odlings- och vidareförädlingsteknik, konsumtionsvanor samt samband mellan exponering och insjuknande (dos-respons), nämligen

1. Miljöns inverkan på sjukdomsalstrare
 - a. Väderlek
 - b. Sediment
2. Sjukdomsalstrarens beteende i miljön
 - a. Förekomst av sjukdomsalstraren i bevattningsvattnet
 - b. Överlevnad av sjukdomsalstraren på eller i produktens ätliga delar
3. Odlingsteknik
 - a. Bevattningsmetod
 - b. Använd mängd bevattningsvatten
 - c. Metod för vidareförädling/processning
4. Konsumtionsvanor
 - a. Konsumtionssätt
 - b. Konsumerad mängd
5. Samband mellan exponering och insjuknande
 - a. dos-respons

Förslaget till ändring av WHO's riktlinjer för behandlat avloppsvatten som källa för bevattningsvatten tar i viss mån hänsyn till detta⁹⁵. För de övriga standarderna som redovisats i kapitel 4.1.2 saknas framställningen av ett sådant samband. Detta gäller också för de standarder som åtskiljer olika grupper av bevattningsmetod och konsumtionssätt. Därför finns det oklarheter kring tröskelvärdenas relevans.

Ett stort frågetecken i samband med bevattningsvattnet utgör provtagningsfrekvensen. Litteraturen är tydlig på

- de dynamiska förändringarna som bevattningsvattnet utsätts för,
- den potentiellt långa överlevnaden på växtmaterial och långsam avdödning
- risken för internalisering
- de begränsade möjligheterna att motverka förekomsten av sjukdomsalstrarna efter, respektive att förebygga, vidhäftning på växten under primärproduktion
- de begränsade möjligheterna till en fullständig hygienisering av grönsaker, frukter och bär som är avsedda för direktkonsumtion eller som konsumeras efter minimal tillredning.

En rättvisande bild förutsätter alltså kontinuerlig övervakning av bevattningsvattnets kvalitet. Provtagning och analys vållar en ekonomisk belastning för företagen som idag inte kompenseras i form av en högre ersättning från mellanhänderna.

De flesta standarderna för bedömning av bevattningsvattnets hygieniska kvalitet bygger på indikatororganismer, nämligen totalantal koliforma bakterier, fekala koliforma bakterier, *E. coli*, fekala streptokocker/intestinala enterokocker. Undantag i detta sammanhang är

- DIN 19650, som också mäter förekomsten av *Salmonella* och potentiellt infektiösa stadier av parasiter samt kemiskt syrebehov (COD)
- WHO's rekommendation för avloppsvatten som också mäter förekomsten av intestinala nematoder och
- SOSFS 2004:7, som inte mäter någon indikatororganism för fekala föroreningar utan enbart antalet heterotrofa organismer och *Pseudomonas aeruginosa*. SOSFS 2004:7 avser övervakning av processsäkerhet vid rening av bassängbadvatten och bassängvattnets kvalitet. *Pseudomonas aeruginosa* är en vanlig kolonisatör av huden. Den är visserligen en vanlig jordbakterie som också förekommer i vatten och som kan orsaka diarré-sjukdomar, men det saknas generella undersökningar
 - Om organismens förekomst i bevattningsvatten och miljön för primärproduktion, och
 - På vilket sätt *Pseudomonas aeruginosa* förutspår eventuella mikrobiologiska faror förknippade med bevattningsvattnet.

Användning av indikatororganismer är en lämplig genväg ur både ekonomiskt och ett tidsperspektiv. I och med att de flesta smittor som vållar problem på frukter, bär och grönsaker är tarmsmittor, förefaller det rimligt att välja fekala indikatororganismen som utgångspunkt. Fekala koliforma bakterier och *E. coli* används i detta sammanhang ofta som en indikator för kortvarig fekal förorening, medan fekala streptokocker respektive intestinala enterokocker används som en indikator för långvarig fekal förorening. Undersökningar med dricksvatten indikerar dock att *E. coli* eller fekala koliforma bakterier inte relaterar väl till tarmsmittor, såsom *Salmonella* samt *Cryptosporidium* och *Giardia*^{96, 97}. Detta stöds också av en svensk undersökning som utfördes med bevattningsvatten vid fem platser i södra Sverige⁹⁸. Andra indikatororganismer har föreslagits. Det vore intressant att utreda om moderna analysverktyg kan bli en lösning för bedömning av bevattningsvattnets hygieniska kvalitet.

Inte alla standarder innehåller uppgifter om provtagningsfrekvens. Undantagen utgör standarden som tillämpas i British Columbia⁸⁶ och standarden för odling av bladgrönsaker i Kalifornien enligt CSFSGLLGSC⁸⁸ som föreslår ett rullande schema med fem provtagningar under en period av 30 dagar. Vatten är utsatt för stadiga förändringar. Ett enskilt prov ger enbart en ögonblicksbild; resultat från en enskild provtagning kan inte generaliseras. Detta faktum tar CSFSGLLGSC hänsyn

till och gränsvärdena för enskilda prover är högre än för den samlade bilden som det geometriska medlet av fem provtagningar under en 30-dagars-period. Det är heller inte möjligt att göra en prognos från resultat från 30-dagars-period tidigt under säsongen till senare perioder⁹⁹. Tröskelvärdena då bevattningsvattnet tillförs som droppbevattning är generellt högre än de som råder för överbevattning. Detta är anmärkningsvärt i och med att tarmsmittor kan kolonisera underjordiska växtdelar, kan internaliseras och kan överföras via skvättvatten från markburen smitta till bladverket⁵⁷.

Nära förknippad med provtagningsfrekvensen är beräkningssättet för analysresultaten. Inte heller för detta uppges någon information i de flesta standarder. Undantaget utgör standarden som tillämpas i British Columbia⁸⁶ och standarden för odling av bladgrönsaker i Kalifornien enligt CSFSGLLGSC⁸⁸, som rekommenderar att bilda ett geometriskt medel av fem provtagningar under en 30-dagarsperiod. På så sätt utjämnas effekten av extrema värden. För att beakta det enskilda analysresultatets ögonblicksinformation föreslår Monaghan och Hutchison¹⁰⁰ att analysera trender och vidta åtgärder då en trend mot ökade indikatorvärden noteras.

Bevattningsvattnets roll för spridning av tarmsmittor till frukter, bär och grönsaker är välgrundad. En bedömning av bevattningsvattnets hygieniska kvalitet är nödvändig för att minska riskerna. Arbetet kring säkring av bevattningsvattnets hygieniska standard kan därför inte sluta med att ta fram ett tröskelvärde. Viktiga frågor i samband med ett rullande bedömningsschema är på vilket sätt förhöjda värden hanteras ur ett odlingsperspektiv, vilka åtgärder bör tas och hur den ekonomiska ansvarfrågan regleras. Vilken betydelse har enskilda värden över tröskelvärdet för produktens hygieniska kvalitet? Dessa frågor behöver belysas ur ett helhetsperspektiv som också tar hänsyn till den mångfacetterade bilden för smittspridning i primärproduktionen, för att kunna komma fram till realistiska åtgärdspaket.

5 Slutsatser

- Bevattningsvattnets kvalitet
 - Vattnets ursprung är avgörande för dess hygieniska kvalitet.
 - Borr-, kommunalt och regnvatten håller ofta hög hygienisk standard, medan ytvatten samt behandlat eller obehandlat avloppsvatten har variabel standard.
 - Vattenkällornas hygieniska status varierar över tid.
- Överlevnad av tarmsmittor i bevattningsvatten
 - Tarmsmittors överlevnad i vatten är beroende av vattnets temperatur, grumlighet, pH, halt organisk substans samt ljusinstrålning, UV-strålning och väderlek.
- Förekomst och överlevnad av mikroorganismer (inkl. tarmsmittor) i distributionssystemet
 - Mikroorganismer kan fästa vid ytor i distributionssystemet.
 - Den mikrobiella samhällsstrukturen påverkas av retention och frisättning av mikroorganismer och varierar därför över tid.
 - Den mikrobiella samhällsstrukturen varierar mellan vattenkällan och slutet av distributionssystemet och rekontaminering kan förekomma.
 - Provtagning i slutet av distributionssystemet ger ett tillförlitligare svar på bevattningsvattnets hygieniska status än provtagning från råvattenkällan.
- Tarmsmittors samspel med kulturen
 - Tarmsmittor kan överleva på växytan eller i växtens inre.
 - Tarmsmittor kan överleva på roten och på bladskärmen.
 - Långvarig överlevnad har konstaterats för bland annat shigatoxin producerande *E. coli* och *Salmonella* spp.
 - Växtspecifika egenskaper verkar vara en faktor som påverkar tarmsmittornas överlevnad.
- Bevattningssätt
 - Bevattningsvatten kan tillföras genom överbevattning eller dropp- och underbevattning (kapillärbevattning).
 - Det finns inga entydiga svar i litteraturen att droppbevattning generellt minskar risken för smittspridning.
- Förebyggande kulturåtgärder
 - Varken bevattningsuppehåll eller minimerad bevattning är tillräckligt effektiva förebyggande åtgärder mot etablering eller förekomst av tarmsmittor på den skördade produkten.
 - Hygienisering av bevattningsvatten är en effektiv åtgärd för att reducera förekomsten av indikatororganismer i bevattningsvatten.
 - Hygienisering bör ske nära bevattningsrampen för att minimera risken för rekontaminering genom lagring eller under transport genom distributionssystemet.

- o God odlingssed (GAP) och ledarskap för hygien är nödvändiga för att säkerställa hygien i primärproduktionen.
- Standarder för hygienisk kvalitet av bevattningsvatten
 - o Standard för hygienisk kvalitet av bevattningsvatten saknas i Sverige.
 - o På den internationella arenan finns ett antal standarder för bedömning av bevattningsvattnets hygieniska kvalitet och lämplighet för olika kulturer.
 - o Det redogörs sällan för hur man kommit fram till villkoren i regelverket.
 - o Det finns ingen konsensus mellan standarderna vad gäller indikatororganismer, tröskelvärden, provtagningssätt, provtagningsfrekvens eller beräkningssätt.
 - o Ny forskning har inte förts in i standarderna.
 - o Val av indikatororganismer bör tänkas över.
 - o Val av analysätt bör tänkas över.
- Riskbedömning
 - o Trots att faktorer för överlevnad av tarmsmittor i miljön och på växt är kända, finns ingen modell för bedömning av risker vid användning av kontaminerat bevattningsvatten.
 - o Få undersökningar knyter riskbedömning till infektionsrisken
 - o Modeller för riskbedömning skall återspeglas i lämpliga åtgärds paket.
 - o Uppföljning av bevattningsvattnets kvalitet för hygieniskt säkra produkter från jord till bord kan enbart vara effektiv om handeln värdesätter åtagandet och kompenserar för merkostnaden.
 - o Riskbedömningsmodeller för säkra hortikulturella produkter för direktkonsumtion måste också ta hänsyn till andra smittspridningsvägar.

6 Referenser

- [1] Söderström A, Österberg PO, Lindqvist A, Jönsson B, Lindberg A, Blide Ulander S, Welinder-Olsson C, Löfdahl S, Kaijser B, De Jong B, Kühlmann-Berenzon S, Boqvist S, Eriksson E, Szanto E, Andersson S, Allestam G, Hedenström I, Ledet Muller L, Andersson Y: A large *Escherichia coli* O157 outbreak in Sweden associated with locally produced lettuce. *Foodborne Pathogens and Disease* 2008, 5:339-49.
- [2] Greene SK, Daly ER, Talbot EA, Demma LJ, Holzbauer S, Patel NJ, Hill TA, Wanderhaug MO: Recurrent multistate outbreak of *Salmonella* Newport associated with tomatoes from contaminated fields, 2005. *Epidemiology & Infection* 2008, 136:157-65.
- [3] Ackers ML, Mahon BE, Leahy E, Goode B, Damrow T, Hayes PS, Bibb WF, Rice DH, Barrett TJ, Hutwagner L, Griffin PM, Slutsker L: An outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infections associated with leaf lettuce consumption. *The Journal of Infectious Diseases* 1998, 177:1588-93.
- [4] Hilborn ED, Mermin JH, Mshar PA, Hadler JL, Voetsch A, Wojtkunski C, Swartz M, Mshar R, Lambert-Fair MA, Farrar JA, Glynn MK, Slutsker L: A multistate outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infections associated with consumption of mesclun lettuce. *Archives of Internal Medicine* 1999, 159:1758-64.
- [5] Gelting RJ, Baloch MA, Zarate-Bermudez MA, Selman C: Irrigation water issues potentially related to the 2006 multistate *E. coli* O157:H7 outbreak associated with spinach. *Agricultural Water Management* 2011, 98:1395-402.
- [6] Nuorti JP, Niskanen T, Hallanvuori S, Mikkola J, Kela E, Hatakka M, Fredriksson Ahomaa M, Lyytikäinen O, Siitonen A, Korkeala H, Ruutu P: A widespread outbreak of *Yersinia pseudotuberculosis* O:3 infection from iceberg lettuce. *Journal of Infectious Diseases* 2004, 189:766-74.
- [7] Köpke U, Krämer J, Leifert C: Pre-harvest strategies to ensure the microbiological safety of fruit and vegetables from manure-based production systems. *Handbook of organic food safety and quality*. Edited by Cooper JM, Niggli U, Leifert C. Cambridge: CRC Press, 2007. pp. 413-29.
- [8] Beuchat LR: Pathogenic microorganisms associated with fresh produce. *Journal of Food Protection* 1996, 59:204-16.
- [9] ICMSF: Characteristics of microbial pathogens. London: Chapman & Hall, 1996.
- [10] Alsanius BW: Mikrobiologiska faror i grönsakskedjan under primärproduktion. *Landskap Trädgård Jordbruk Rapportserie* 2013, in press.
- [11] ICMSF: Microbial ecology of food commodities. 2nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic, 2010.
- [12] Matthews KR: Microorganisms associated with fruit and vegetables. *Microbiology of fresh produce*. Edited by Matthews KR. Washington: ASM Press, 2006. pp. 1-19.
- [13] Alam M, Ahlström C, Burleigh S, Olsson C, Ahrné S, El-Mogy MM, Molin G, Jensen P, Hultberg M, Alsanius BW: Prevalence of *Escherichia coli* O157:H7 on spinach and rocket as affected by inoculum and time to harvest *Scientia Horticulturae* 2014, 165:235-41.
- [14] Timms-Wilson TM, Smalla K, Goodall TI, Houlden A, Gallego V, Bailey MJ: Microbial diversity in the phyllosphere and rhizosphere of field grown crops plants: Microbial specialization at the plant surface. . *Microbial ecology of aerial plant surfaces*. Edited by Bailey MJ, Lilley AK, Timms-Wilson TM, Spencer-Phillips PTN. Cambridge: CABI, 2006.

- [15] Vorholt JA: Microbial life in the phyllosphere. *Nature Reviews Microbiology* 2012, 10:828-40.
- [16] Lindow SE, Brandl MT: Microbiology of the phyllosphere. *Applied and Environmental Microbiology* 2003, 69:1875-83.
- [17] Lynch JM: The rhizosphere. Chichester: Wiley & Sons, 1990.
- [18] Bazin MJ, Markham P, Scott EM: Population dynamics and rhizosphere interactions. The rhizosphere. Edited by Lynch JM. Chichester: Wiley & Sons, 1990. pp. 99-127.
- [19] Berg G, Eberl L, Hartmann A: The rhizosphere as a reservoir for opportunistic human pathogenic bacteria. *Environmental Microbiology* 2005, 7:1673-85.
- [20] Brandl MT, Haxo AF, Bates AH, Mandrell RE: Comparison of survival of *Campylobacter jejuni* in the phyllosphere with that in the rhizosphere of spinach and radish plants. *Applied and Environmental Microbiology* 2004, 70:1182-9.
- [21] Sylla J, Alsanius BW, Krüger E, Reineke A, Bischoff-Schaefer M, Wohanka W: Introduction of *Aureobasidium pullulans* to the phyllosphere of organically grown strawberries with focus on its establishment and interactions with the resident microbiome. *Agronomy* 2013, 3:704-31.
- [22] Izhaki I, Fridman S, Gerchman Y, Halpern M: Variability of bacterial community composition on leaves between and within plant species. *Current Microbiology* 2013, 66:227-35.
- [23] Monier JM, Lindow SE: Frequency, size and localization of bacterial aggregates on beanleaf surfaces. *Applied and Environmental Microbiology* 2004, 70:346-55.
- [24] Beattie GA, Lindow SE: Bacterial colonization of leaves: a spectrum of strategies. *Phytopathology* 1999, 89:353-9.
- [25] Cooley MB, Chao D, Mandrell RE: *Escherichia coli* O157:H7 survival and growth on lettuce is altered by the presence of epiphytic bacteria. *Journal of Food Protection* 2006, 69:2329-35.
- [26] Hora R, Warriner K, Shelp BJ, Griffiths MW: Internalization of *Escherichia coli* O157:H7 following biological and mechanical disruption of growing spinach plants. *Journal of Food Protection* 2005, 68:2506-9.
- [27] Warriner K, Spaniolas S, Dickinson M, Wright C, W.M. W: Internalization of bioluminescent *Escherichia coli* and *Salmonella* Montevideo in growing bean sprouts. *Journal of applied microbiology* 2003, 95:719-27.
- [28] Kenney SJ, Burnett SL, Beuchat LR: Location of *Escherichia coli* O157:H7 in and in apples as affected by bruising, washing and rubbing. *Journal of Food Protection* 2001, 64:1328-33.
- [29] Lapidot A, Yaron S: Transfer of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium from contaminated irrigation water to parsley as dependent on curli and cellulose, the biofilm matrix components. *Journal of Food Protection* 2009, 72:618-23.
- [30] Guan T, Blank G, Holley RA: Survival of pathogenic bacteria in pesticide solutions and on treated tomato plants. *Journal of Food Protection* 2005, 68:296-304.
- [31] Close M, Dann R, Ball A, Savill M, Pirie R, Smith Z: Microbial groundwater quality and its health implications for a border-strip irrigated dairy farm catchment, South Island, New Zealand. *Journal of Water and Health* 2008, 6:83-98.
- [32] Boers TM, Ben-Asher J: A review of rainwater harvesting. *Agricultural Water Management* 1982, 5:145-58.
- [33] Jones MP, Hunt WF: Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. *Resources, Conservation and Recycling* 2010, 54:623-9.

- [34] Bruins HJ, Evenari M, Nessler U: Rainwater-harvesting agriculture for food production in arid zones: the challenge of the African famine. *Applied Geography* 1986, 6:13-32.
- [35] Ross C, Donnison A: Campylobacter and farm dairy effluent irrigation. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 2003, 46:255-62.
- [36] SOU 2007:60: Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter. Edited by Environment SMot. Stockholm: Fritzes, 2007. p. 721.
- [37] Rosas I, Báez A, Coutino M: Bacteriological quality of crops irrigated with wastewater in the Xochimilco plots, Mexico City, Mexico. *Applied and Environmental Microbiology* 1984, 47:1074-9.
- [38] Amahmid O, Asmama S, Bouhoum K: The effect of waste water reuse in irrigation on the contamination level of food crops by Giardia cysts and Ascaris eggs. *International Journal of Food Microbiology* 1999, 49:19-26.
- [39] Nasser AM, Paulman H, Sela O, Ktaizer T, Cikurel H, Zuckerman I, Meir A, Aharoni A, Adin A: UV disinfection of wastewater effluents for unrestricted irrigation. *Water Science and Technology* 2006, 54:83-8.
- [40] Alsanius BW, Rosberg AK, Hultberg M, Khalil S, Jung V: Understanding and utilizing naturally occurring microbes against plant pathogens in irrigation reservoirs. *Waterborne plant pathogens*. Edited by Hong C, Büttner C, Wohanka W, Mooreman G. APS, 2013.
- [41] Pachepsky Y, Shelton D, McLain JET, Patel J, Mandrell RE: Irrigation waters as a source of pathogenic microorganisms in produce: a review. *Advances in Agronomy* 2012, 113:75-141.
- [42] Allan JD, Castillo MM: Stream ecology - structure and function of running waters. 2nd ed. Dordrecht: Springer, 2008.
- [43] Sigeo DC: Freshwater microbiology. Chichester: Wiley, 2005.
- [44] Gerba CP, McLeod JS: Effect of sediments on the survival of Escherichia coli in marine waters. *Applied and Environmental Microbiology* 1976, 32:114-20.
- [45] LaLiberté P, Grimes JA: Survival of Escherichia coli in lake bottom sediment. *Water Science and Technology* 1982, 14:623-8.
- [46] Czajkowska D, Wikowska-Gwiazdowska A, Sikorska I, Boszczyk-Maleszak H, Horoch M: Survival of Escherichia coli serotype O157:H7 in water and in bottom-shore sediments. *Polish Journal of Environmental Studies* 2005, 14:423-30.
- [47] Hendricks CW: Increased recovery rate of salmonellae from stream bottom sediments versus surface waters. *Applied and Environmental Microbiology* 1971, 21:379-80.
- [48] Whittington RJ, Marsh IB, Reddacliff LA: Survival of Mycobacterium avium subsp paratuberculosis in dam water and sediment. *Applied and Environmental Microbiology* 2005, 71:5304-8.
- [49] Crockett CS: The significance of streambed sediments as a reservoir of Cryptosporidium oocysts.: Drexel University, 2004.
- [50] Searcy KE, Packman AI, Atwill ER, Harter T: Deposition of Cryptosporidium oocysts in stream beds. *Applied and Environmental Microbiology* 2006, 72:1810-6.
- [51] Burton GAJ, Gunnison D, Lanza GR: Survival of pathogenic bacteria in various freshwater sediments. *Applied and Environmental Microbiology* 1987, 53:633-8.
- [52] Alsanius BW, Alam M, Larsson C, Sylla J, Rosberg AK, Olsson C, Mogren L, Ahnén S, Molin G, Jensen P: Microbial community structure of the free water phase in a field irrigation system submitted 2013.
- [53] Shelton DR, Kiefer LA, Pachepsky YA, Blaustein RA, Martinez G: Coliform retention and release in biofilms formed on new and weathered irrigation pipes. *Irrigation Science* 2012, 10.1007/s00271-012-0373-x.

- [54] Pachepsky Y, Morrow J, Guber A, Shelton D, Rowland R, Davies G: Effect of biofilm in irrigation pipes on microbial quality of irrigation water. *Letters in Applied Microbiology* 2011, 54:217-24.
- [55] Wang GD, Doyle MP: Survival of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in water. *Journal of Food Protection* 1998, 61:662-7.
- [56] Kutz SM, Gerba CP: Comparison of virus survival in fresh-water sources. *Water Science and Technology* 1988, 20:467-71.
- [57] Monaghan JM, Hutchinson ML: Distribution and decline of human pathogenic bacteria in soil after application in irrigation water and the potential for soil-splash-mediated dispersal onto fresh produce. *Journal of Applied Microbiology* 2012, 112:1007-19.
- [58] Uyanik MH, Yazgi H, Ayyildiz A: Survival of *Salmonella typhi* and *Shigella flexneri* in different water samples and at different temperatures. *Turkish Journal of Medical Science* 2008, 38:307-10.
- [59] Micallef SA, Rosenberg Goldstein RE, George A, Kleinfelter L, Boyer MS, McLaughlin CR, Estrin A, Ewing L, Beaubrun J, Hanes DE, Kothary MH, Talle BD, Razeq JH, Joseph SW, Sapkota AR: Occurrence and antibiotic resistance of multiple *Salmonella* serotypes recovered from water, sediment and soil on mid-Atlantic tomato farms. *Environmental Research* 2012, 114:31-9.
- [60] Artz RRE, Killham L: Survival of *Escherichia coli* O157:H7 on private drinking water wells: influence of protozoan grazing and elevated copper concentrations. *FEMS Microbiology Letters* 2002, 7:241-8.
- [61] Ritchie JM, Campbell GR, Shepherd J, Beaton Y, Jones D, Killham K, Artz RRE: A stable bioluminescent construct of *Escherichia coli* O157:H7 for hazard assessments of long-term survival in the environment. *Applied and Environmental Microbiology* 2003, 69:3359-67.
- [62] Terziewa SI, McFeters GA: Survival and injury of *Escherichia coli*, *Campylobacter jejuni*, and *Yersinia enterocolitica* in stream water. *Canadian Journal of Microbiology* 1991, 37:785-90.
- [63] Paschold P-J, Beltz J, Brückner U, Krüger-Steden E, Pfleger I, Röber R, Sourell H: *Bewässerung im Gartenbau*. Stuttgart: Eugen Ulmer, 2010.
- [64] Alsanius BW: Att förbereda för recirkulering av näringslösning i växthus. *Landskap Trädgård Jordbruk Rapportserie* 2011, 2011:39:1-30.
- [65] Pfleger I: *Bewässerungswasserqualität - hygienische und chemische Belange*. 2 Internationales DWA-Symposium zur Wasserwirtschaft, Wasser. Berlin: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2009.
- [66] Solomon EB, Yaron S, Matthews KR: Transmission of *Escherichia coli* O157:H7 from contaminated manure and irrigation water to lettuce plant tissue and its subsequent internalization. *Applied and Environmental Microbiology* 2002, 68:397-400.
- [67] Islam M, Doyle MP, Phatak SC, P. M, Jiang X: Persistence of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in soil and on leaf lettuce and parsley grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. *Journal of Food Protection* 2004, 67:1365-70.
- [68] Islam M, Doyle MP, P. S. P., Millner P, Jiang X: Survival of *Escherichia coli* O157:H7 in soil and on carrots and onions grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. *Food microbiology* 2005, 60:63-70.
- [69] Islam M, Morgan J, Doyle MP, Phatak SC, Millner P, Jiang X: Persistence of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium on lettuce and parsley and in soils on which they were grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. *Foodborne Pathogens and Disease* 2004, 1:27-35.

- [70] Alsanius BW, Burleigh S, Larsson C, Suivinen A, Gustafsson AK, Hultberg M: EHEC's öde på frilandsodlade grönsaker. LTJ-fakultetens faktablad 2010, 2010:8:1-4.
- [71] Solomon EB, Potenski CJ, Matthews KR: Effect of irrigation method on transmission to and persistence of *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce. *Journal of Food Protection* 2002, 65:673-6.
- [72] Ibekwe MA, Watt PM, Shouse PJ, Grieve CM: Fate of *Escherichia coli* O157:H7 in irrigation water on soils and plants as validated by culture method and real-time PCR. *Canadian Journal of Microbiology* 2004, 50:1007-14.
- [73] Fonseca JM, Fallon SD, Sanchez CA, Nolte KD: *Escherichia coli* survival in lettuce fields following its introduction through different irrigation systems. *Journal of Applied Microbiology* 2011, 110:893-902.
- [74] Alam M, Mogren L, Ahrné S, Molin G, Jensén P, Boqvist S, Vågsholm I, Alsanius BW: Do water regimes of the growing medium affect *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* prevalence on leafy vegetables. Microbial status of irrigation water as affected by cultural practices. Edited by Alam M. Alnarp: PhD-thesis SLU, 2014.
- [75] Huisman L, Woods WE: Slow sand filtration. Geneva: World Health Organization, 1974.
- [76] Hancke K, Wilhelm S: Wasseraufbereitung. 6th ed. Berlin: Springer/VDI, 2003.
- [77] Ryu H, Gerrity D, Crittenden JC, Abbaszadegan M: Photocatalytic inactivation of *Cryptosporidium parvum* with TiO₂ and low-pressure ultraviolet irradiation. *Water Research* 2008, 42:1523-30.
- [78] Sunnotel O, Verdoold R, S. DP, Snelling WJ, Lowery CJ, Dooley JS, Moore JE, Byrne JA: Photocatalytic inactivation of *Cryptosporidium parvum* on nanostructured titanium dioxide films. *J Water Health* 2010, 8:83-91.
- [79] Alsanius BW, Alam M, Rosberg AK, Larsson C, Bergstrand K-J: Fotokatalytisk on-line behandling vid bevattningsmaskinen ökar bevattningsvattnets kvalitet. LTJ-fakultetens faktablad 2012, 2012:24:1-4.
- [80] Alsanius BW, Alam M, Larsson C, Rosberg AK, Ahrné S, Molin G, Jensén P: Decontamination of irrigation water under field conditions: preliminary results. *Acta Horticulturae* 2011, 922:61-6.
- [81] Alam M, Ahlström C, Rosberg AK, Bergstrand K-J, Olsson C, Mogren L, Ahrné S, Molin G, Jensén P, Alsanius BW: Decontamination of irrigation water under field conditions using photo catalytic unit. Microbial status of irrigation water as affected by cultural practices. Edited by Alam M. Alnarp: PhD-thesis SLU, 2014.
- [82] Food and Drug Administration: Guidance for industry: Guide to minimize microbial food safety hazards of fresh-cut fruits and vegetables. Edited by Office of Food Safety. College Park, MD 20740: U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition, 1998. p. 16.
- [83] Sigill IS: Riskbedömning för vattenanvändning i odlingsföretag. Stödmaterial, 096FG. Stockholm: Svensk Sigill, 2011.
- [84] SOSFS 2004:7: Socialstyrelsens allmänna råd om bassängbad. 2004:7. Edited by Socialstyrelsen. Stockholm, 2004.
- [85] DIN 19650: Bewässerung. Hygienische Belange von Bewässerungswasser. Berlin: Beuth, 1999. p. 4.
- [86] British Columbia Ministry of Environment: Water quality criteria for microbiological indicators. Edited by British Columbia Ministry of Environment.

- <http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/microbiology/microbiology.html>, 2001.
- [87] Alberta Environment: Surface water quality guidelines for use in Alberta. T/483. <http://www.giv.ab.ca/env/protenf/publications/SurfWtrQual-Nov99.pdf>. Alberta Environment, Canada, 1999.
- [88] CSFSGLLGSC: Commodity specific food safety guidelines for the lettuce and leafy greens supply chain. 2013.
- [89] Blumenthal UJ, Mara DD, Peasey A, Ruiz-Palacios G, Stott R: Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: Recommendations for revising WHO guidelines. Bulletin of the World Health Organization 2000, 78:1104-16.
- [90] Holvoet K, Sampers I, Seynaeve M, Uyttendaele M: Relationships among hygiene indicators and enteric pathogens in irrigation water, soil and lettuce and the impact of climatic conditions on contamination in the lettuce primary production. Journal of Food Microbiology 2014, 171:21-31.
- [91] McEgan R, Mootian G, Goodridge LD, Schaffner DW, Danyluk MD: Predicting Salmonella populations from biological, chemical and physical indicators in Florida surface waters. Applied and Environmental Microbiology 2013, 79:4094-105.
- [92] Ahmed W, Sawant S, Huygens F, Goonetilleke A, Gardner T: Prevalence and occurrence of zoonotic bacterial pathogens in surface waters determined by quantitative PCR. Water Research 2009, 43:4918-28.
- [93] Ashbolt NJ, Grabow WOK, Snozzi M: Indicators of microbial water quality. Water quality: guidelines and health. Edited by Gewetell L, Bartram J. London: IWA Publishing, 2001. pp. 289-315.
- [94] Canadian Council of Ministers of Environment: Canadian water quality guidelines for the protection of agricultural water uses. Edited by guidelines Ceq. Winnipeg: CCME Publications, 1999. p. 2.
- [95] Blumenthal UJ, Cifuentes E, Bennett S, Quigley M, Ruiz-Palacios G: The risk of enteric infections associated with wastewater reuse: the effect of season and degree of storage of wastewater. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene 2001, 95:131-7.
- [96] Payment P, Franco E: Clostridium perfringens and somatic coliphages as indicators of the efficiency of drinking water treatment for viruses and protozoan cysts. Applied and Environmental Microbiology 1993, 59:2418-24.
- [97] Szewzyk U, Szewzyk R, Manz W, Schleifer K-H: Microbiological safety of drinking water. Annual Review of Microbiology 2000, 54:81-127.
- [98] Alsanius BW, Hultberg M: Short- and long-term variations of the microbial water quality in surface waters used for irrigation. manuscript.
- [99] Alsanius BW, Kristensen L, Gustafsson P: Rädd för vatten - ta prover! LTJ-fakultetens faktablad 2010, 2010:17:1-4.
- [100] Monaghan JM, Hutchison MK: Monitoring microbial food safety of fresh produce. Fact Sheet. Edited by Agency FS. Kenilworth: Horticultural Development Company, 2010.

