

Fotokatalytisk on-line behandling vid bevattningsmaskinen ökar bevattningsvattnets kvalitet

AV BEATRIX ALSANIUS, MEHBOOB ALAM, ANNA KARIN ROSBERG, CHRISTINE LARSSON, KARL-JOHAN BERGSTRAND

Sammanfattning

Frukt och grönt är basen för en hälsosam diet, men under senare år har just dessa produkter satts i samband med utbrott av magsjukor, orsakade av expempelvis verotoxinproducerande serotyper av *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp. eller *Listeria monocytogenes*. Kontaminering med dessa patogener kan ske både före och efter skörd. Ohygieniskt bevattningsvatten har identifierats som en betydande smittkälla. Eftersom ett fel i ett tidigt skede av produktionskedjan inte tvunget kan åtgärdas under ett senare skede, skall smittspridning förebyggas i hela värdekedjan. Vi har testat en metod för hygienisering (dekontaminering) av bevattningsvatten, nämligen fotokatalytisk rening, under fältbetingelser. Den fotokatalytiska enheten placerades i ledningssystemet på bevattningsmaskinen. Prover togs åtta gånger vid fem platser i stamledningsnätet, nämligen (1) direkt efter vattnet hade pumpats upp från bevattningsdammen, (2) efter grovrensning, (3) i början av stamledningsnätet, (4) före och (5) efter fotokatalytisk behandling. Effekten av fotokatalytisk behandling studerades med hänsyn till förekomsten av följande indikatororganismer och patogener: (1) mikroorganismer som växer vid 22 °C, (2) totalhalten koliforma bakterier, (3) *E. coli*, (4) intestinala enterokocker, (5) *Salmonella* spp. Utöver detta analyserades förekomsten av termotoleranta koliforma bakterier vid fem tillfällen. Halten mikroorganismer bedömdes genom odling på plattor med semi-selektivt medium och redovisas i levande celltal (colony-forming units, CFU). Våra resultat visar att:

- Fotokatalytisk behandling av bevattningsvatten ökade vattnets hygieniska kvalitet.
- Förekomsten av indikatororganismer

varierade mellan olika provtagningsstillfällen.

- Utrustningens reningsgrad varierade för olika grupper av indikatorer.
- Signifikanta skillnader konstaterades för samtliga indikatororganismer mellan prover tagna vid samtliga provtagningspunkter före jämfört med efter fotokatalytisk behandling. Efter behandlingen låg halten *E. coli* resp. intestinala enterokocker i genomsnitt på 1.37 resp. 1 CFU/100 ml vatten.
- Ur ett processperspektiv bör teknologins potential för optimering tillvaratas.

Vi drar slutsatsen att denna fotokatalytiska enhet kan vara ett intressant alternativ för att behandla hygieniskt undermåligt bevattningsvatten och på så sätt minska risken för spridning av tarmsmittor till fältdlade grönsaker.

Nyckelord: bevattningsvatten, fältgrönsaker, intestinala enterokocker, *Salmonella* spp., tarmsmittor, verotoxinproducerande *E. coli* (VTEC, EHEC)

Bakgrund

Under senare år har antalet utbrott av mag-tarmsjukdomar relaterade till frukt, bär och grönt ökat. Under perioden 1996–2009 inträffade 45 utbrott i Sverige (L. Plym-Forshell, SLV, muntligt meddelande). Dessa mag-tarmsjukdomar varierar i allvarlighetsgrad. Förekomsten av smittor som orsakar sjukdomar redan vid låg förekomst (t.ex. EHEC) är särskilt allvarlig.



Figur 1. Fotokatalytisk enhet monterat på bevattningsmaskinen (foto: B. Alsanius)

Vanligast bland smittade produkter är sådana som konsumeras råa eller efter minimal tillredning, t.ex. sallat, bladgrönt, spenat, kryddor och bär. God odlingspraxis (good agricultural practice; GAP) är ett viktigt redskap för att öka produktsäkerheten. Det bör understrykas att problem som uppstått under odling och skörd inte alltid kan åtgärdas senare i livsmedelskedjan. Här har den hygieniska kvaliteten av vatten och av organisk gödsel stor betydelse.

I det allmänna medvetandet förefaller svenskt ytvatten ha ett gott rykte. Till skillnad från dricks-, flask- och rekreationellt vatten samt vatten från enskilda brunnar är bevattningsvattnets kvalitet inte rättsligt reglerat. Utbrott av magåkommor relate-

rat till vatten har dock upprepats under de senaste åren. Utöver detta visade en inventering av fem ytvattenkällor i södra Sverige (från Skåne till Östergötland) att den hygieniska kvaliteten av bevattningsvatten översteg gränsvärdena för tjänlig kvalitet enligt förordningarna för dricksvatten och rekreationellt vatten. Fyra av de fem undersökta vattenkällorna klassades ut utifrån den tyska operativa normen för bevattningsvatten (DIN 19650 1999) på grund av upprepade konstateranden av *Salmonella* spp. under studien (Alsanius et al. 2012a).

Spridning av tarmsmittor i produktionskedjan generellt och med bevattningsvatten speciellt bör förhindras. Med hänsyn till bevattningsvattnet bör följande förebyggande åtgärder tas:

- (1) Karaktärisering av bevattningsvattnets hygieniska kvalitet (utifrån ett rullande schema)
- (2) Bedömning av risk för spridning av tarmsmittor med det individuella vattnet samt
- (3) Förebyggande åtgärder för att bryta spridningscykeln.

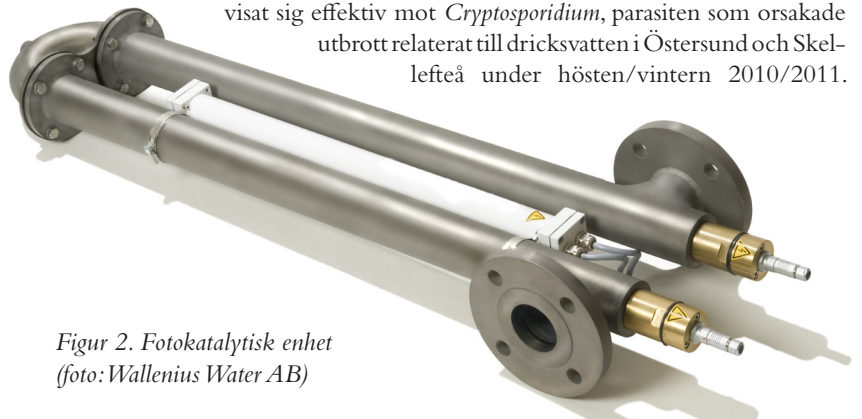
Som en åtgärd för att säkra produktion av bladgrönsaker testades under åren 2006–2008 en metod för dekontaminering av bevattningsvatten, nämligen fotokatalytisk rening, under fältbetingelser (Alsanius et al. 2012b), där en stationär enhet installerats i början av stamledningsnätet. Fotokatalytisk behandling minskade förekomsten av indikatororganismer, men vi fann också att vattnet kunde rekontamineras i stamledningsnätet. Därför utvecklades en mobil enhet som installerades nära bevattningsmaskinen.

Vår studie

Studien genomfördes under hösten 2009 (tre provtagningsstillfällen) och sommaren 2011 (fem provtagningsstillfällen), där prover togs vid åtta tillfällen i ett ledningssystem för bevattning av fältdodlade grönsaker. Bevattningsdammen (2800 m³) matades genom avrinnande ytvatten och från en närbelägen bäck. Ledningssystemet från dammen till bevattningsmaskinen var ca 500 m. En fotokatalytisk enhet (Wallenius Water AB, Stockholm) som anpassats till förutsättningar som råder under fältbeting-

Faktaruta: Hur fungerar fotokatalytisk rening?

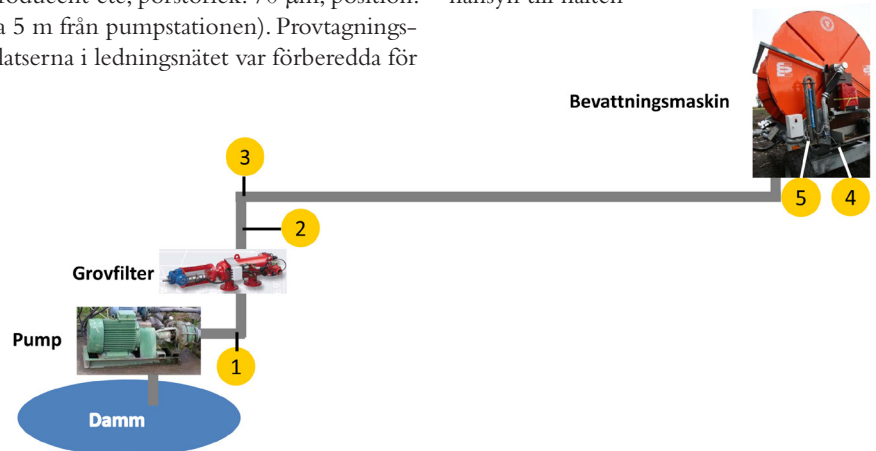
Fotokatalytisk rening är en oxidationsbehandling. Vattnet passerar genom en enhet som består av en UV-lampa och ett katalytiskt membran – i föreliggande fall ett titandioxidmembran. När UV-strålarna möter det katalytiska membranet bildas radikaler som oxiderar både levande och dött organiskt material. Fotokatalytisk rening lämnar inga toxiska restprodukter. Hög reningseffekt förutsätter låg grumlighet, vilket innebär att vatten skall förfiltreras 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*, parasiten som orsakade utbrott relaterat till dricksvatten i Östersund och Skellefteå under hösten/vintern 2010/2011.



Figur 2. Fotokatalytisk enhet
(foto: Wallenius Water AB)

elser och för online-drift på bevattningsmaskiner i samarbete mellan Rosenqvist mekaniska verkstäder, Per-Olofs bevattningsmaskiner samt Norrvinge boställe AB monterades på bevattningsmaskinen. Ett elaggregat användes som extern energikälla. Vattnets passage genom stamledningsnätet och provtagningsplatser presenteras i figur 3. I och med att fotokatalytisk rening förutsätter god vattenkvalitet (låg grumlighet) filtrerades grova partiklar bort genom ett mekaniskt filter (produkttyp, producent etc; porstorlek: 70 µm; position: ca 5 m från pumpstationen). Provtagningsplatserna i ledningsnätet var förberedda för

provtagning. De befann sig efter pumpen (1), efter grovfilteret (2), vid starten av stamledningsnätet (3), före (4) och efter (5) den fotokatalytiska enheten. Femton minuter innan provtagningen påbörjades, startades pumpen. Samtliga provtagningskranar skjölades genom i fem minuter före provtagnings start. Tidpunkten för provtagnning vid bevattningsmaskinen anpassades till flödes hastigheten genom ledningsnätet. Vid varje provtagningsstillfälle togs tre oberoende replikat som analyserades med hänsyn till halten



Figur 3. Provtagningsplatser i fältledningsnätet (1: dammvatten, 2: efter grovfiltrering, 3: början av ledningssystemet, 4: innan och 5: efter fotokatalytisk behandling). Provtagningsplats 4 och 5 är vid bevattningsmaskinen. (illustration: B. Alsanius)

Tabell 1: Sammanställning av några organismer som används vid hygienisk kvalitetsbedömning av vatten (Ashbolt et al. 2001, modifierad)

Grupp av organismer	
Processorganismer	
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
Indikatororganismer för fekal förorening	
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
Patogener	
<i>Salmonella</i>	Sjukdomsalstrare; används som en av indikatorerna i den tyska operativa normen DIN 19650

- Heterotrofa organismer vid 22 °C (CFU/ml)
- Totalantal koliforma bakterier (CFU/100 ml)
- Termotoleranta koliforma bakterier (fekala koliforma bakterier) (CFU/100 ml)
- *E. coli* (CFU/100 ml)
- Intestinala enterokocker (fekala streptokocker) (CFU/100 ml) samt
- *Salmonella* spp. (förekomst i 1000 ml vatten).

Dessa mått används som process- och hygienindikatorer vid bedömning av vatten (tabell 1). Som processindikatorer betecknas organismer eller grupper av organismer som indikerar verkningsgraden av en process, t.ex. hygienisering genom tekniska eller biologiska processer.

Data analyserades som levande celltal (colony-forming units; CFU) per ml (heterotrofa mikroorganismer vid 22 °C) resp. per 100 ml (totalantal koliforma bakterier, termotoleranta koliforma bakterier, *E. coli*, intestinala enterokocker) och 25%- och 75%-kvartil samt median bildades. Förekomst av *Salmonella* spp. analyserades i 1000 ml vatten. För variansanalys (ANOVA) följde av Tukey B-test ($p < 0.05$) samt principalkomponentanalys (Minitab vers. 16) log-transformerades råvärden (Angle et al. 1996).

Resultat och diskussion

Minimi- och maximivärden för de olika indikatororganismerna presenteras i tabell 2. Halterna av indikatororganismer varierade mellan olika provtagningsstillfällen. Generellt var halterna i damnvattnet mycket varierande. De var mycket högre vid provtagningen under hösten 2009 jämfört med sommaren 2011. Men också en påtaglig, dock icke signifikant ökning

kunde skönjas i vissa fall i ledningsnätet vilket stödjer vår ansats att utrustning för dekontaminering bör finnas så nära bevattningsmunstycket som möjligt.

Salmonella Umbilo konstaterades vid en provtagning i slutet av 2009 både i damnvattnet och efter grovfiltrering, däremot inte efter fotokatalytisk behandling av vattnet. Våra resultat visar att förekomsten av samtliga indikatororganismer minskades

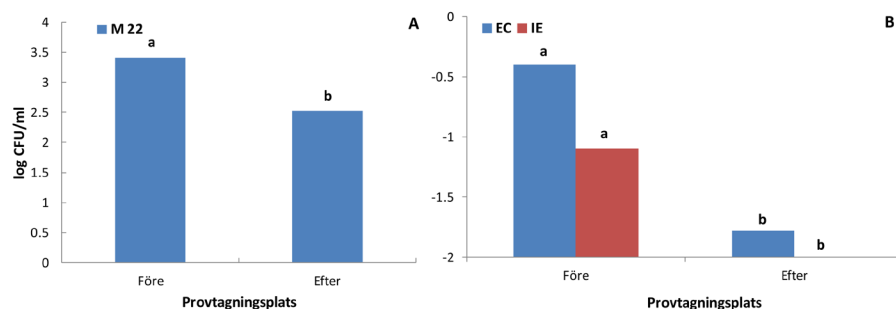
signifikant efter fotokatalytisk behandling av bevattningsvattnet (Figur 4a, b) och vattenprover insamlade efter fotokatalys kunde skiljas ut från alla andra provtagningsplatser med hjälp av principalkomponentanalys.

En liknande effekt kunde inte konstateras efter mekanisk borttagning genom grovfiltret med en porstorlek av 70 µm. Det sistnämnda är en förväntad effekt och den understryker att grovfiltrering inte är en lösning för hygienisering av hygieniskt undermåligt bevattningsvatten.

Det refereras ofta att en reduktion av processorganismer på log 3 (99.9%) kännetecknar en god reningseffekt. I föreliggande fältförsök reducerades halterna av samtliga grupper av indikatororganismer med i genomsnitt ca log 1 (90%). Detta innebär att reningsprocessen är något undermålig vad gäller reduktion av den generella bakterifloran. Vad gäller effciensen mot *E. coli* och intestinala enterokocker är det utifrån

Tabell 2: Halter för indikatororganismer för vattenhygien och processkvalitet vid fem provtagningsplatser i ledningsnätet för bevattningsvatten för fältgrödor. Vattnet behandlades fotokatalytiskt i slutet av ledningsnätet vid bevattningsmaskinen. Prover togs vid åtta tillfällen med tre oberoende replikat från en bevattningsdamm samt vid fyra ytterligare platser. Viktiga resultat är markerade med röd text.

	Provtagningsplats			Fotokatalytisk enhet	
	Damm	Efter grovfiltret	Ledningsnätets början	Före	efter
Heterotrofa organismer vid 22 °C (CFU/ml)					
Spann	1200 - 6800	550 - 4300	1100 - 12000	300 - 9800	9 - 1900
25% kvartil	1600.00	1700.00	2000.00	1375.00	54.00
Median	1950.00	2200.00	2200.00	2000.00	130.00
75% kvartil	2625.00	2625.00	2425.00	2525.00	332.50
Medelvärde	2508.33	2227.08	2891.67	2420.42	332.29
Totalantal koliforma bakterier (CFU/100 ml)					
Spann	<1 - 990	<1 - 1300	<1 - 450	<1 - 300	<1 - 27
25% kvartil	11.75	8.75	10.00	6.00	1.00
Median	63.50	72.00	70.00	57.00	2.00
75% kvartil	157.50	200.00	157.50	135.00	7.00
Medelvärde	159.50	212.20	105.66	87.79	4.52
Termotoleranta koliforma bakterier (CFU/100 ml)					
Spann	3 - 350	<1 - 180	1 - 180	<1 - 160	<1 - 5
25% kvartil	4.75	4.00	5.75	3.75	<1
Median	11.50	8.50	11.00	7.00	<1
75% kvartil	22.50	29.25	37.25	21.25	2.00
Medelvärde	39.96	27.79	32.29	24.95	1.65
<i>E. coli</i> (CFU/100 ml)					
Spann	1 - 350	<1 - 180	<1 - 150	<1 - 110	<1 - 5
25% kvartil	4.00	4.00	4.00	3.00	<1
Median	6.00	8.00	9.00	6.50	<1
75% kvartil	14.75	24.75	24.75	16.00	1.00
Medelvärde	36.42	24.87	26.70	18.91	1.37
Intestinala enterokocker (CFU/100 ml)					
Spann	<1 - 32	<1 - 28	<1 - 30	<1 - 34	<1 - 2
25% kvartil	1.73	<1	<1	<1	<1
Median	4.00	3.00	2.50	3.00	<1
75% kvartil	11.00	9.25	7.50	5.50	<1
Medelvärde	8.06	6.80	6.80	5.98	1.00



Figur 4. Förekomst av indikatororganismer före och efter fotokatalytisk behandling i slutet av stamledningsnätet vid bevattningsmaskinen. A: Mikroorganismer vid 22 °C (M22); B: *E. coli* (EC), *intestinala enterokocker* (IE). Olika bokstäver ovanför staplarna före och efter fotokatalytisk behandling indikerar signifikanta skillnader (Tukey-test; $p < 0.05$) för respektive indikatororganism. ($n = 24$).

föreliggande fältförsök svårt att dra generella slutsatser i och med att halterna var låga. Stenman och Alsanius (manuskript) visade att reduktion av indikatororganismer under laboratorie- och fältbetingelser är en funktion av flödes hastigheten. Fördelen med fotokatalytisk hygienisering av bevattningsvatten – jämfört med till exempel långsamfiltrering – är att behandlingen kan genomföras on-line. Därför förefaller minskning av flödes hastighet inte som en lämplig åtgärd för ökad processeffektivitet. Däremot bör antalet fotokatalytiska enheter utökas i fall att en högre effektivitet är önskad.

I samband med den hygieniska kvaliteten av bevattningsvattnet är förekomsten av tarmsmittor mest bekymmersam. Därför är fotokatalysens effekt på indikatorer för fekala föroreningar av intresse. Våra resultat visar – under de givna fältbetingelserna – att halterna av indikatororganismer för kortvariga (*E. coli*) och långvariga (*intestinala enterokocker*) indikatororga-

nismer minskades signifikant (Figur 4a, b) och genomsnittsvärden efter behandling var jämförbara med god vattenkvalitet för enskilda brunnar (Socialstyrelsen 2005) och ligger under gränsvärden för den tyska normen för hygienisk kvalitet av bevattningsvatten (DIN 19650, 1999). I flertalet av vattenproverna i denna studie (tabell 2) var halten av dessa indikatororganismer förhållandevis låg. Därför är det utifrån föreliggande undersökning oklart hur stor fotokatalysens potential mot dessa indikatorgrupper kan vara under fältbetingelser. Under rådande förutsättningar för den undersökta bevattningsdammen kan processens effektivitet bedömas som fullgod. Om denna teknologi övervägs för hygienisering av andra ytvattenkällor som används för bevattning av frilandsgrodder eller frukt och bär, bör vattenkällans hygieniska förutsättningar bedömas på ett strukturerat sätt innan man beslutar om utrustningsbehov och processparametrar.

Litteratur

Alsanius BW, Rosberg AK & Hultberg M. 2012 a. Survey of the hygienic status in surface water sources used for irrigation of field vegetables. (Submitted manuscript).

Alsanius BW, Rosberg AK & Stenman D. 2012 b. Decontamination of irrigation water to leafy vegetables as affected by photocatalytic treatment. (Submitted manuscript)

Angle JS, Gagliardi JV, McIntosh MS & Levin MA. 1996. Enumeration and expression of bacterial counts in the rhizosphere. p.233-251. In: Stolzky G & Bollag JM. (eds.): Soil Biochemistry. Marcel Dekker, Inc. N.Y.

Ashbolt NJ, Grabow WOK & Snozzi M. 2001. Indicators of microbial quality. In: Gewtell L & Bartram J. Water quality: guidelines and health. London: IWA Publishing, s. 289-315.

DIN 19650. 1999. Bewässerung. Hygienische Belange von Bewässerungswasser. Berlin: Beuth

Socialstyrelsen 2005. Socialstyrelsens allmänna råd (SOSFS 2003:17) om försiktighetsmått för dricksvatten. SOSFS 2005:1720.

Stenman D & Alsanius BW Use of photocatalysis for removal of microorganisms in surface irrigation water. I: Chemical and biological efficacy of a small scale unit under laboratory and field conditions. (Manuskript).

Faktabladet är utarbetat inom LTJ-fakultetens område Hortikultur (www.microhort.se)

Projektet är finansierat av Partnerskap Alnarp; projekt 391 i samarbete med Sydgrönt ek. för. och Rosenqvists mekaniska verkstäder

Projektansvarig/författare: Beatrix Alsanius; email: beatrix.alsanius@slu.se; Enhet för Hortikulturell Mikrobiologi, Box 103. 230 53 Alnarp

Övrig publicering inom projektet: Alsanius BW, Alam M, Larsson C, Rosberg AK, Ahrné S, Molin G, Jensen P. 2011. Decontamination of irrigation water under field conditions: preliminary results. Acta Horticulturae 922, 61-66. Alsanius BW, Rosberg AK, Kristensen L & Hultberg M. 2011. Preharvest measures for increased biosafety of field grown crops. Acta Horticulturae 922, 269-276. Alam M, Larsson C, Rosberg AK, Molin G, Ahrné S, Jensen P, Alsanius BW. Decontamination of irrigation water under field conditions and its impact on its microbial community structure. (manuskript).

Område Hortikultur, Enheten Hortikulturell Mikrobiologi

På webbadressen <http://epsilon.slu.se> kan detta faktablad hämtas elektroniskt