



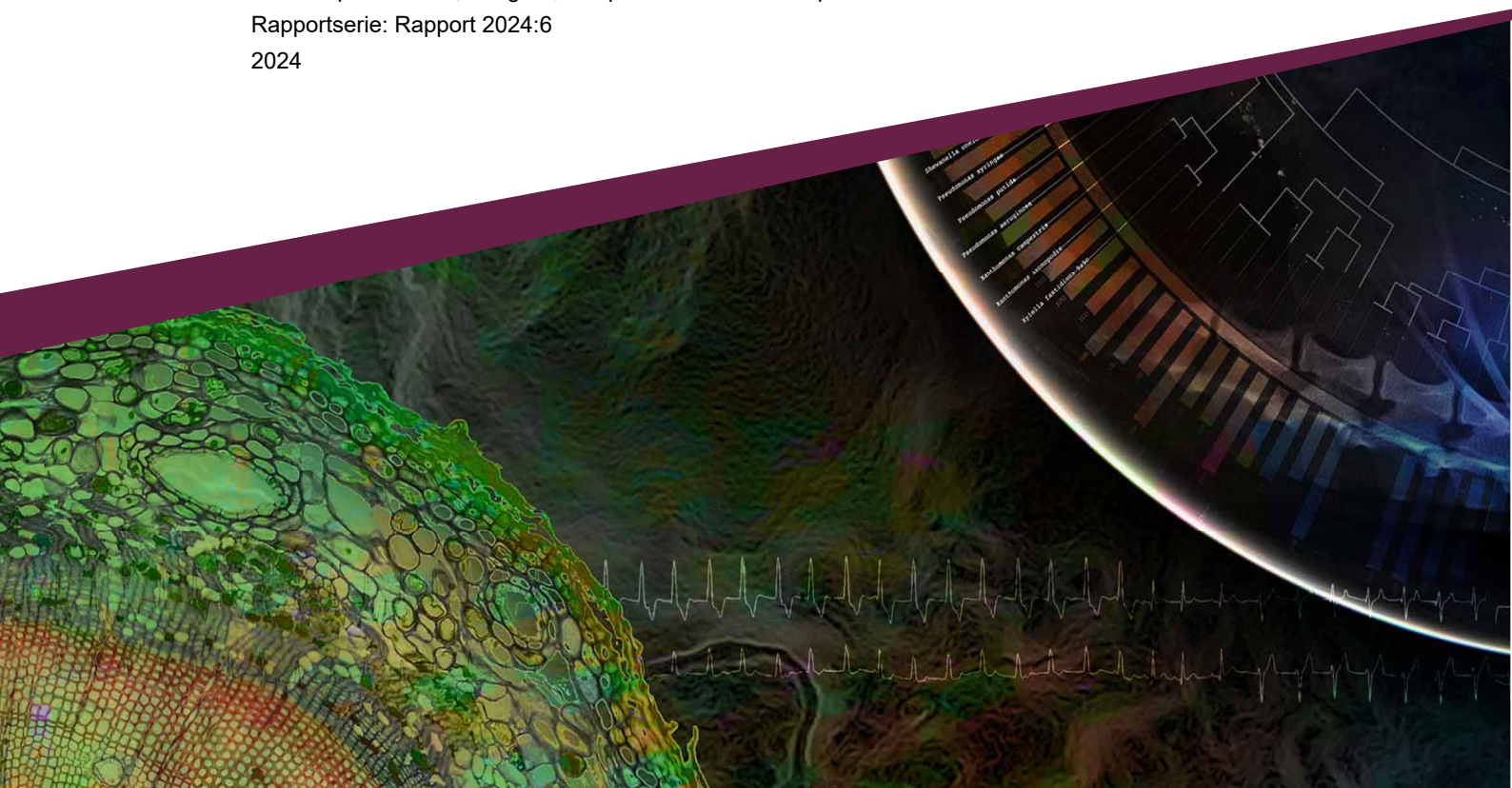
W4F

Waste for Fertilization: Framtagning av lokalproducerad kretslopps-näring

Beatrix Alsanius, Marta Vendrame, Maria Karlsson

I samarbete med Niklas Hjelm, Alnarp FoodTech, Alnarp och Hamse Kjerstadius, NSVA, Helsingborg

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för biosystem och teknologi
Landskapsarkitektur, trädgård, växtproduktionsvetenskap
Rapportserie: Rapport 2024:6
2024



W4F. Waste for Fertilization: Framtagning av lokalproducerad kretsloppsnäring

Beatrix Alsanius, <https://orcid.org/0000-0001-6300-2829>, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för biosystem och teknologi, Ämnesgrupp Mikrobiell hortikultur

Marta Vendrame, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för biosystem och teknologi, Ämnesgrupp Mikrobiell hortikultur samt Università di Padova

Maria Karlsson, <https://orcid.org/0000-0002-7414-9022>, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för biosystem och teknologi, Ämnesgrupp Mikrobiell hortikultur

i samarbete med Alnarp FoodTech, Niklas Hjelm, Alnarp, och RecoLab, NSVA, Hamse Kjerstadius, Helsingborg

Utgivare:	Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för biosystem och teknologi
Utgivningsår:	2024
Utgivningsort:	Alnarp
Upphovsrätt:	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel:	Landskapsarkitektur, trädgård, växtproduktionsvetenskap: rapportserie
Delnummer i serien:	2024:6
ISBN (tryckt version):	978-91-8046-931-9
ISBN (elektronisk version):	978-91-8046-932-6
DOI:	https://doi.org/10.54612/a.1953fqqh0n
Nyckelord:	<i>E. coli</i> , hydroponisk odling, indikatororganismer, komatsuna (<i>Brassica rapa</i> var. <i>periviridis</i>), livsmedelssäkerhet, växtnäring

© 2024 Beatrix Alsanius, Marta Vendrame, Maria Karlsson

Detta verk är licenserat under CC BY NC ND 4.0, andra licenser eller upphovsrätt kan gälla för illustrationer.

Sammanfattning

Effektiv användning av ändliga resurser är ett av de främsta målen för hållbar utveckling. I ett kretsloppsperspektiv skulle näringsrikt avloppsvatten och näring fastlagd i köksavfall kunna bli till flytande gödselmedel till hobbyodlare. Syftet med detta projekt var att undersöka förutsättningarna för ett flytande kretsloppsbaseerat gödselmedel och dess användning för hobbyodlare. Vår utgångspunkt var sidoströmmar från biogasproduktion, både svartvatten och den flytande fraktionen av köksavfall. Arbetet skedde i form av ett samarbetsprojekt mellan SLU, Alnarp FoodTech Ek. för. och RecoLab vid NSVA i Helsingborg och finansierades genom Partnerskap Alnarp samt ett Erasmus+ projekt mellan SLU och Padua universitet i Italien.

För att undersöka lämpligheten av rötat svartvatten och köksavfall i vätskefas som växtnäringskälla, koncentrerades analysen på hygieniska aspekter utifrån förekomsten av indikatororganismer (IDEXX och molekylärbiologisk analys), halten av och balansen mellan växtnäringsämnen samt odlingsförsök i hydroponiska system, primärt med komatsuna (*Brassica rapa* var. *periviridis*) som modellkultur. Prover togs vid fyra tillfällen under ett år. Både de hygieniska och kemiska resultat varierade mycket kraftigt under observationsperioden. *E. coli*, som är en hygienindikator enligt det europeiska regelverket låg i 50% av prover från rötat köksavfall över tröskelvärdet. Växtnäringshalten var obalanserad mellan näringsämnen. Mycket höga halter av natrium och klorid konstaterades. I växtförsök med komatsuna fick andelen av rötat köksavfall resp. svartvatten anpassas till modellkulturens maximitolerans av natrium. Utvecklingshastigheten och biomassan var högst när komatsuna gödslades med standardnäringslösning baserad på mineralgödsel, och ingen av gödselstrategierna som involverade rötat köksavfall eller svartvatten kunde nå upp till samma nivå.

För att kunna utnyttja sidoströmmar från biogasproduktion som växtnäring behöver

- den primära processtyrning under biogasproduktionen ta hänsyn till kraven för sekundära användningssyften,
- materialen hygieniseras efter rötning,
- de höga halterna av ammonium behöver omvandlas till nitrat
- inbördesbalansen mellan näringsämnen optimeras
- materialets konformitet över tid säkerställas samt
- materialets konformitet över tid säkerställas.

Nyckelord: *E. coli*, hydroponisk odling, indikatororganismer, komatsuna (*Brassica rapa* var. *periviridis*), livsmedelssäkerhet, växtnäring

Abstract

Efficient use of finite resources is one of the main objectives of sustainable development. From a recycling perspective, nutrient-rich sewage and nutrients trapped in kitchen waste could be turned into liquid fertilisers to be used in hobby gardening. The aim of this project was to investigate the potential of a liquid recirculating fertiliser. Our starting point was side streams from biogas production, using either black water and the liquid fraction of kitchen waste. The project was conducted in collaboration between SLU, Alnarp FoodTech Ek. för. and RecoLab at NSVA in Helsingborg and was funded through Partnership Alnarp and an Erasmus+ project between SLU and Padua University in Italy.

In order to investigate the suitability of digested black water and liquid kitchen waste as a source for plant nutrients, the analysis concentrated on hygienic aspects based on the presence of indicator organisms (IDEXX and molecular biology analysis), the content and balance of plant nutrients and cultivation trials in hydroponic systems, primarily using komatsuna (*Brassica rapa* var. *periviridis*) as a model crop. Samples were taken on four occasions during one year. Both the hygienic and chemical results varied greatly during the observation period. *E. coli*, which is a hygiene indicator according to the European regulations, was above the threshold value in 50% of samples from digested kitchen waste. Plant nutrient content was unbalanced between nutrients. Very high levels of sodium and chloride were found. In plant trials with komatsuna, the proportion of digested kitchen waste or black water had to be adjusted to the maximum sodium tolerance of the model crop. The development rate and biomass were highest when komatsuna was fertilised with standard nutrient solution based on mineral fertiliser, and none of the fertilisation strategies involving digested kitchen waste or black water could reach the same level.

In order to utilise side streams from biogas production as plant nutrients

- the primary process management during biogas production needs to take into account the requirements for secondary utilisation purposes
- the materials need to be hygienized after digestion
- the high levels of ammonium need to be converted to nitrate,
- the balance between nutrients needs to be optimised, and
- the product's consistency guaranteed over time.

Keywords: *E. coli*, food safety, hydroponic culture, indicator organism, komatsuna (*Brassica rapa* var. *periviridis*), plant nutrients

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	7
Figurförteckning.....	9
Förkortningar.....	10
1. Introduktion	11
1.1 Syfte	12
2. Material och metoder.....	14
2.1 Mikrobiologiska och kemiska karakterisering	14
2.2 Odlingsförsök.....	16
2.2.1 Försök med komatsuna	16
2.2.2 Försök med tomat.....	17
3. Resultat och diskussion.....	19
3.1 Mikrobiologiska och hygieniska aspekter	19
3.2 Kemiska aspekter	25
3.3 Odlingsförsök med komatsuna	31
3.4 Odlingsförsök med tomat.....	33
4. Slutsatser.....	35
Tack	36
Referenser.....	37

Tabellförteckning

Tabell 1. Val av indikatororganismer, IDEXX panel samt inkubationsbetingelserna.	15
Tabell 2. Val av artspecifika primer för uppföljning av indikatororganismer med DNA-baserade metoder.....	16
Tabell 3. Behandlingar i växthusförsöket med komatsuna	17
Tabell 4. Deskriptiv statistik för indikatororganismer från tre provtagningar av svartvatten och den flytande fasen av köksavfall före och efter rötning. Proverna analyserades med hänsyn till enterokocker, totalhalt koliforma bakterier, Escherichia coli samt Legionella pneumophila med hjälp av IDEXX kit (Enterolert, Colilert, Legiolert). Värden representerar most probable numbers (MPN) per 100 ml. (SE=standardfel, StDev=standardavvikelse).	22
Tabell 5. Sammanfattning av kvalitetskraven i klass A enligt EU 2020/741 (European Parliament och European Council, 2020).....	24
Tabell 6. Kemisk analys av svartvatten före och efter rötning. Makro- och mikronäringsämnen samt övriga ämnen uppges i ppm.....	26
Tabell 7. Kemisk analys av den flytande fraktionen av köksavfall före och efter rötning. Makro- och mikronäringsämnen samt övriga ämnen uppges i ppm.....	28
Tabell 8. Näringsbehov av landväxter relativt till kväve (N) och de genomsnittliga relativa näringshalterna från tre provtagningar av svartvatten (SV) och flytande fraktion av köksavfall (KV) före (SV_F, KV_F) och efter (SV_E, KV_E) rötning (N=100). Värden som närmelsevis motsvarar det relativa näringsbehovet enligt Bergstrand (2022) har skrivits i fet stil.	31
Tabell 9. Biomassa (frisk- och torrvtikt, g) samt förhållandet mellan torr- och friskvikt (torrvikt/friskvikt*100) hos komatsuna. Komatsuna odlades i fyra veckor hydroponiskt i ett odlingssystem utan odlingssubstrat och gödslades antingen med mineralgödsellösning (behandling 1, kontroll) eller med utspädda flytande rötresten av svartvatten (SV_E) (behandling 2-4), köksavfall (KV_E) (behandling 5-7) eller en kombination av båda (behandling 8). Medelvärden ± standardavvikelsen redovisas. Näringslösningen i kontrollen baserades på recepturen för hydroponisk odling av kålrabbi enligt de Kreij et al. (1992). SV_E resp. KV_E utspäddes med hänsyn till komatsunas maximitolerans för natrium	

och kompenserades med mineralnäringslösning statiskt (Behandling 2 resp. 5),
dynamiskt med hänsyn till utvecklingsfas (behandling 3 resp. 6) eller
kompenserades med kranvatten (behandling 4 resp. 7) eller med SV_E och
KV_E till lika delar (behandling 8)..... 33

Figurförteckning

Figur 1. Processöversikt från RecoLab (NSVA) i Helsingborg	12
Figur 2. Kumulativa resultat för indikatororganismer från svartvatten (lila) och den flytande fasen av köksavfall (orange) baserad på IDEXX, där förekomsten av indikatororganismerna före rötning plottades mot förekomsten efter rötningen (A: Enterolert, B: Colilert koliforma bakterier, C: Colilert Escherichia coli, D: Legiolert Legionella pneumophila). Värden uttrycks i logaritmerad form som log (MPN+1).....	21
Figur 3. Proportionell fördelning av totalförekomst samt förekomst av döda och levande Escherichia coli (A) och Legionella sp. (B) i svartvatten och den flytande fraktionen av köksavfall före och efter rötning. Totalhalten samt halten levande organismer baseras på DNA- resp. RNA extraktion och kvantifiering av DNA och cDNA genom arts specifika primers med hjälp av ddPCR. Halten döda organismer beräknades utifrån differensen mellan kopior DNA och cDNA. Totalhalten sattes till 100. (N=9).....	23
Figur 4. Utvecklingsstadier av komatsuna odlad hydroponiskt utan odlingssubstrat i fyra veckor. Plantorna gödslades antingen med mineralgödsellösning baserat på recept för kålrabbi (behandling 1, kontroll; svart obruten linje) eller med utspädda flytande rötresten av svartvatten (SV_E, orange) (behandling 2-4), köksavfall (KV_E, lila) (behandling 5-7) eller en kombination av båda (behandling 8). SV_E resp. KV_E utspäddes med hänsyn till komatsunas maximitolerans för natrium och kompenserades med mineralnäringslösning statiskt (Behandling 2 resp. 5, bruten linje), dynamiskt med hänsyn till utvecklingsfas (behandling 3 resp. 6, punktlinje) eller kompenserades med kranvatten (behandling 4 resp. 7, obruten linje) eller med SV_E och KV_E till lika delar (behandling 8, obruten grå linje).	32

Förkortningar

Anova	Analysis of variance
cDNA	Komplementär DNA
DNA	Deoxy-ribonykleinsyra (deoxyribonucleic acid)
KV	Flytande fraktion av köksavfall
KV_E	Flytande fraktion av köksavfall efter rötning
KV_F	Flytande fraktion av köksavfall före rötning
NSVA	Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp AB
RNA	Ribonykleinsyra
SE	Standardfel (<i>standard error</i>)
StDev	Standardavvikelse (<i>standard deviation</i>)
SV	Svartvatten (avloppsvatten från toalett)
SV_E	Svartvatten efter rötning
SV_F	Svartvatten före rötning

1. Introduktion

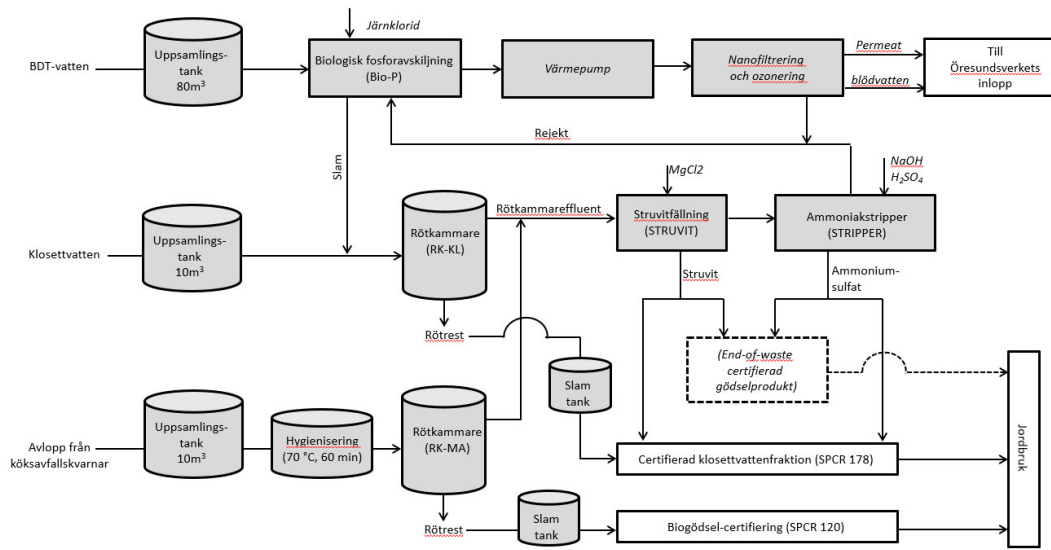
Marknaden för flytande växtnäring är stor i Sverige. Det finns både syntetiska produkter och produkter i organisk form där näringen kommer från växt- och djurriket. Syntetiska produkter har flera fördelar, de är stabila, näringen är tillgänglig för växterna och den är lätt att anpassa utifrån kulturens behov. Deras största nackdel är att utvinningen av näringsämnen sker utanför kretsloppet. Organiska gödselmedel baserade på restprodukter från växt- och djurriket anses vara mera hållbara, men har andra utmaningar. Under senare tid har det nämligen funnits påtagliga utmaningar med vissa produkter, där rester från ogräsbekämpningsmedel (klopyralid, aminopyralid) har vållat problem.

Växtnäring återvunnen från svartvatten och matavfall skulle kunna vara ett intressant alternativ. Genom att nyttja överskottet från dessa processer skulle näringskretsloppet kunna slutas. Samtidigt skulle man kunna få en bättre energianvändning och minska utvinningen från ändliga resurser. En grundläggande förutsättning är dock att det uppbereds ändamålsenligt och att materialet lämpar sig för odling av ätliga växter eller växtdelar ur perspektiv av livsmedels- och arbetsmiljösäkerhet samt ger odlingsdugliga resultat.

Ett exempel för att återvinna växtnäring från svartvatten och köksavfall finns i en pilotanläggning vid RecoLab i Helsingborg. Där samlas in källsorterat gråvatten, svartvatten och matavfall från ett närliggande bostadsområde genom en unik ”3-rör ut” -metod. Flödena är helt separata och näringsämnen kan utvinnas i flera steg utifrån behov och renhetsgrad. En sådan lösning skulle innebära att restprodukterna kan bli till en hållbar produkt i kretsloppet. Produkterna från RecoLab är så homogena att de kan gå igenom EU End of Waste proceduren för att upphöra att vara ett avfall och därigenom skapa ett rent kretslopp av näringsämnen (Figur 1).

Det finns flera aspekter att ta hänsyn till i framtagandet av en kretsloppsnäring. I en studie av Vinnerås (2002) undersöktes sammansättningen av svartvatten från olika källor. Svartvattnet innehöll stora mängder näring, där den största delen av näringsämnen för växter återfanns i urinen följt av fekalierna. I de flesta fall separeras inte urinen från fekalierna utan hanteras som ett flöde och benämns som svartvatten. Vid all hantering av svartvatten är hygienisering för att undvika patogener av yttersta vikt. Förordning (EG) nr 1009/2019 (European Parliament och European Council, 2019) *om fastställande av bestämmelser om tillhandahållande på marknaden av EU-gödselprodukter och rådets förordning (EU) 2020/741 av den 25 maj 2020 om minimikrav för återanvändning av vatten,*

2020) (European Parliament och European Council, 2020) listar de krav som ställs för återanvändning av vatten och EU-gödselprodukter.



Figur 1. Processöversikt från RecoLab (NSVA) i Helsingborg

Under åren har gjorts ett antal jämförande studier kring lämplighet av svartvatten och rötrest som växtnäring (t.ex. Asp et al., 2020, Katayama et al., 2019). Katayama et al. (2019) jämförde olika analyser av svartvatten för att få fram näringsförhållande mellan de huvudsakliga näringsämnena kväve, fosfor och kalium. Medianen från alla källor gav ett förhållande mellan de mestväsentliga makronäringsämnen kväve (N), fosfor (P) och kalium (K) på 1:0,12:0,12. Detta kan jämföras med ett generellt förhållande mellan NPK på 1:0,13-0,19:0,45-0,80 (Bergstrand, 2022). Detta innebär att kvävehalten kan anses vara för högt i synnerhet i relation till kaliumhalten. Bortsett växtnäringspotentialen vid användning av urbana restprodukter som gödselmedel finns även några faror. Föroreningar i form av läkemedelsrester som kan tas potentiellt upp genom växter kan utgöra en kemisk fara (Alsanius et al., 2020). Detta bör beaktas innan svartvatten används utöver de tidigare nämnda mikrobiologiska farorna. Ytterligare ett reningssteg för att eliminera sådana föroreningar kan vara nödvändigt, om så inte sker vid vattenreningsverket.

1.1 Syfte

Syftet med projektet var att undersöka förutsättningarna för ett flytande kretslopps-baserat gödselmedel och dess användning för hobbyodlare. Vårt mål med hänsyn av valorisering av svartvatten och matavfall var

- 1) att kartlägga rötningsprocessens effektivitet och slutprodukten's enhetlighet och
- 2) att undersöka lämpligheten av rötat matavfall i vätskefas som växtnäringskälla.

Vi var särskilt intresserade av att få ett intryck av dynamiken i materialets kemiska och mikrobiologiska kvalitet under olika säsonger, om materialets hygieniska kvalitet motsvarar europeiska standarder och om materialet lämpar sig för gödsling av tomat eller komatsuna i hydroponiska system.

2. Material och metoder

Studien var uppdelat i två delar, med fokus på

- 1) mikrobiell och kemisk karakterisering av avloppsvatten och matavfall före och efter anaerob nedbrytning (AD, rötning) samt
- 2) odlingsförsök där flytande rötresten från svartvatten och köksavfall användes som växnäringskälla och jämfördes med mineralgödsling.

2.1 Mikrobiologiska och kemiska karakterisering

Svartvatten (SV) och den flytande fraktionen av köksavfall (KV) (5 L) samlades in före (_F) och efter (_E) anaerob nedbrytning (rötning) från RecoLab (Nord Västra Skånes Vatten och Avlopp, NSVA, Helsingborg) vid fyra tillfällen (29 mars, 14 maj, 30 juni, 11 december 2022 resp. 20 januari 2023) och analyserades med avseende på mikrobiella indikatororganismer och sammansättning av mineralämnen. Provtagningstillfällena valdes med hänsyn till den säsongsmässiga dynamiken i kostvanor enligt Stelmach-Mardas et al. (2016). I föreliggande rapport redovisar vi resultat från de första tre provtagningarna.

Som indikatororganismer valdes koliforma bakterier och *Escherichia coli* (*E. coli*), enterokocker och *Legionella pneumophila* (*L. pneumophila*). För analysen användes dels IDEXX systemet (IDEXX, Westbrook, Maine USA) (Tabell 1), ett system som är certifierat för vattenanalys. Analysen genomfördes utifrån anvisningarna på förpackningarna, med vissa modifikationer.

Tabell 1. Val av indikatororganismer, IDEXX panel samt inkubationsbetingelserna.

Indikatororganism	Panel	Certifiering	Inkubationsbetingelser	
			Temperatur (°C)	Längd (h) ¹
Koliforma bakterier	Colilert	ISO 9308-2:2012	35	18
<i>Escherichia coli</i>			35	18
Enterokocker	Enterolert E	ISO 7899-1:1998	41	24
<i>Legionella pneumophila</i>	Legiolert	ISO 11731:1998 ²	37	7 dagar

För testet med Legiolert™ samlades proverna med i tre replikat och behandlades enligt protokollet för beredning av 1 mL icke-drickbart vattenprov. Proverna förseglades enligt standardprotokollet och inkuberades vid 37°C i sju dagar.

Inför analys med Colilert och Enterolert testades olika varianter för att komma tillrätta med den höga partikelmängden och de höga halterna av indikatororganismer.

- 1) Två stegs-filtrering (steg 1: filterpapper 1004-240 grade 4, steg 2: AcroVac™ Filter Unit Supor™ PES Membrane Pore size 0.45 µm, enligt ISO för filtrering) och analys av en 1:10 spädning med sterilt vatten. Följd av bedömning av eventuell underskattning.
- 2) Spädning av proverna. (SV prover späddes 1:10000).

Samtliga prover inkuberades enligt uppgift i tabell 1 och MPN fastställdes utifrån färgreaktionen.

Förekomsten av *E. coli*, *Salmonella*, *Clostridium perfringens* och *Legionella* spp. validerades också med hjälp av DNA baserade analyser, med hjälp av ddPCR. Antal kopior DNA och cDNA användes för att kvantifiera den totala förekomsten respektive förekomsten av levande indikatororganismer. DNA och RNA extraherades med hjälp av ZymoBIOMICS™ DNA/RNA Miniprep (Zymo Research Corp., Irvine, USA) enligt tillverkarens anvisningar. Artspecifika primer användes (se tabell 2). Tillvägagångssättet för de DNA- och RNA-baserade analyserna beskrivs utförligt i Vendrame (2022).

¹ I timmar (h) om inte annorlunda angiven

² Legiolert uppfyller kraven ställda i ISO 11731:1998 (CHECA, J., CARBONELL, I., MANERO, N. & MARTÍ, I. 2021. Comparative study of Legiolert with ISO 11731-1998 standard method-conclusions from a Public Health Laboratory. *Journal of Microbiological Methods*, 186, 106242. doi: 10.1016/j.mimet.2021.106242.)

Tabell 2. Val av artspecifika primer för uppföljning av indikatororganismer med DNA-baserade metoder

Organism	Primer	Primer sequens 5' - 3'
<i>Clostridium perfringens</i>	Clper_F	AGA TGG CAT CAT CAT TCA AC
	Clper_R	GCAAGGGATGTCAAGTGT
<i>Escherichia coli</i>	YiaO_F	TGATTTCCGTGCGTCTGAATG
	YiaO_R	ATGCTGCCGTAGCGTGTTTC
<i>Legionella</i> spp.	Leg_F	CCTGGCTCAGATTGAACG
	Leg_R	AGGCTAATCTTAAAGCGCC
<i>Salmonella</i> spp.	Sal_F	CTACGGGAGGCAGCA
	Sal_R	CCGTCAATTCCTTTRAGT

Kemisk karakterisering av SV och KV genomfördes med hjälp av vattenanalys (ICP-MS) genom ett kommersiellt laboratorium (LMI, Helsingborg). Nitrat (NO₃), ammonium (NH₄), fosfor (P), kalium (K), kalcium (Ca), magnesium (Mg), järn (Fe), mangan (Mn), zink (Zn), bor (B), molybden (Mb), nickel (Ni), koppar (Cu), klorid (Cl), samt aluminium (Al), natrium (Na) och kisel (Si) analyserades. Resultaten redovisas i ppm. Samtidigt bestämdes vätskornas elektriska ledningsförmåga (EC), pH och i vissa fall hårdhetsgraden.

2.2 Odlingsförsök

För att undersöka om flytande rötresten av köksavfall och svartvatten lämpar sig som gödselmedel genomfördes odlingsförsök. Komatsuna (*Brassica rapa* var. *perviridis*) och tomat (*Solanum lycopersicum* cv. "Pink opal") odlades hydroponiskt som representanter för blad- och fruktgrönsaker. De två kulturerna kultiverades i två olika hydroponiska odlingsystem i växthus, komatsuna i ett system med underbevattning utan substrat, tomat i substratkultur i krukor. För att fastställa en adekvat dosering av de flytande rötresterna genomfördes ett förförsök med komatsuna (utspädd och 1:50 utspädning av rötresten). I förförsöket dog plantor som gödslats med flytande rötresten inom en vecka; detta förmodligen p.g.a. de mycket höga natriumhalter. Vi valde därför två olika tillvägagångssätt. I substratkultur (tomat) användes de flytande rötresterna utan resp. 50% utspädning, medan rötresterna spädades ut utifrån komatsunas maximala natriumtolerans för att begränsa fytotoxiska effekter.

2.2.1 Försök med komatsuna

Maximaltolerans av natriumklorid och sammansättning av kontrollnäringlösningen baserades på kålrabbi (*Brassica oleracea* Gongylodes) utifrån växtanalysdata publicerat av de Kreij et al. (1992). Enligt denna uppgift är riktvärdet för natrium i kålrabbi 150-200 mmol/kg torr biomassa. Optimum för

ledningstalet i näringslösningen ligger vid 1,5 upp till 2 dS/m (de Kreij et al., 1992, Oliveira et al., 2022).

Försöket genomfördes i en fullt randomiserad design i växthus utan belysning, med åtta behandlingar och 12 replikat per behandling. Varje replikat placerades i individuella kärl. Behandlingarna visas i tabell 3.

Tabell 3. Behandlingar i växthusförsöket med komatsuna

Behandling		
Kontroll	1	Näringslösning baserad på mineralgödsel (YaraTera Calcinit (1 g/L) + YaraTera Kristalon Indigo (1 g/L))
Flytande röt-rester av köksavfall (KV)	2	Tillsats av KV baserad på maximitolerans av NaCl, kompenserad med standardnäringslösning
	3	Dynamisk KV strategi baserad på utvecklingsstadium; indelning av utvecklingen i tre faser, med 30%, 70% och 100% av kompensation av mineralgödsel under respektive fas. Tillförsel av KV fixerad
	4	Tillsats av KV, utspädd till maximitolerans av NaCl; ingen kompensation med standardnäringslösning
Flytande röt-rester av svartvatten (SV)	5	Tillsats av SV baserad på maximitolerans av NaCl, kompenserad med standardnäringslösning
	6	Dynamisk SV strategi baserad på utvecklingsstadium; indelning av utvecklingen i tre faser, med 30%, 70% och 100% av kompensation av mineralgödsel under respektive fas. Tillförsel av SV fixerad
	7	Tillsats av SV, utspädd till maximitolerans av NaCl; ingen kompensation med standardnäringslösning
KV:SV 1:1	8	50% av KV och 50% av SV baserad på maximitolerans av NaCl

Odlingsförsöket varade under fyra veckor. Näringslösning tillfördes enligt växternas behov och tillsatt volym registrerades individuellt för varje replikat vid varje gödslingstillfälle. Komatsunans utvecklingsstadium kartlades två gånger per vecka enligt BBCH-skalan för bladgrönsaker med icke-formade huvuden (Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, 2001). Vid försöksavslutningen registrerades friskvikten liksom torrvikten efter 5 dagars torkning i torkskåp vid 70 °C.

2.2.2 Försök med tomat

I försöket med tomat tillämpades en annan gödslingsstrategi. Tillförd volym baserades på kulturens kvävebehov. Försöket har utförts med enbart flytande

rötresten av köksavfall, utspätt resp. med 50% utspädning eller kontrollbehandlingen med full eller 50 % koncentration av standardnärlösning (200 mg N/L; 100 mg N/L). Försöket lades upp som ett två faktoriellt försök med faktor 1: val av närlösning (standard mineralgödsling; flytande rötresten från köksavfall) och faktor 2: närlösningens styrka (full koncentration; 50% koncentration, genom spädning). Tomaterna odlades i 10 L-krukor med 70% of BioBizz™ CocoMix (BioBizz, Etxebarri, Spanien) och 30% of LightMix (BioBizz, Etxebarri, Spanien) i två rader i växthus (med blindplantor som kantplantor vid vardera rad).

Tomatplantornas vegetativa och generativa utveckling registrerades en gång per vecka och följdes under totalt fyra veckor med hänsyn till plantornas längd (huvudskottet: substratyta-apex), antal blad (> 3 cm), internodlängd, antal blomklasar, antal blommor per klase, antal frukt under utveckling. Fruktvikt samt förekomst av pistillröta registrerades vid skörd.

3. Resultat och diskussion

3.1 Mikrobiologiska och hygieniska aspekter

Två-steps-filtrering av proverna visade lägre MPN jämfört med de ofiltrerade proverna. Detta var tydligast för SV-proverna före rötning (SV_F), som uppvisade signifikanta skillnader jämfört med alla andra prover (interaktioner filtrering*provtyp) när de analyserades med en allmän linjär modell, följt av Tukey-test (Enterolert, $p = 0,027$; Colilert Koliforma bakterier, $p = 0,035$; Colilert *E. coli*, $p = 0,009$). Med tanke på att ofiltrerat avloppsvatten är avsett att användas på kulturen användes för mikrobiologiska analyser metoden utan filtrering vid alla följande provtagningstillfällen.

I denna rapport redovisas resultaten från de första tre provtagningarna. Deskriptiv statistik för utvalda index- och indikatororganismer i SV och KV presenteras i tabell 4. Indikatororganismer är organismer som används för att beskriva förekomsten av fekala föroreningar. De kan användas i syfte att karakterisera verkningsgraden av en hygieniseringsåtgärd, d.v.s, processindikatorer eller för att karakterisera hygienstatus, och därmed lämplighet att använda vatten som dricks-, strandbad-, eller bevattningsvatten. Indikatororganismer behöver inte själva vara sjukdomsframkallande. I och med att sjukdomsalstrare ofta är besvärligare att hitta, ska indikatororganismer underlätta analysen. Indikatororganismer fungerar alltså som ett sätt att hitta nålen i höstacken. De skall därför förekomma då sjukdomsalstrare potentiellt kan förekomma, och de ska inte kunna föröka sig i vattenprovet.

Utifrån provtagningarna inom ramen för detta projekt kan det allmänt konstateras

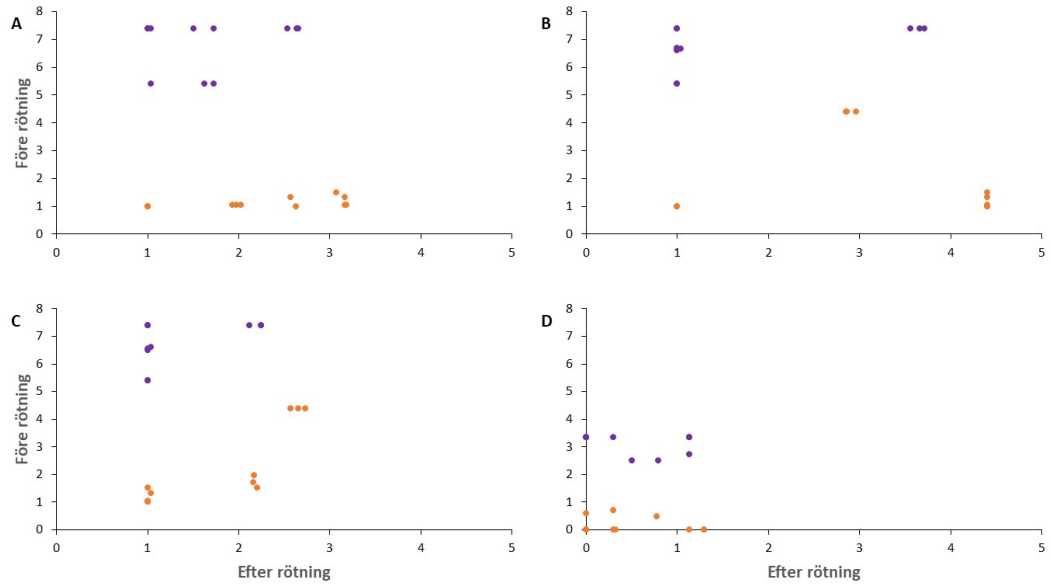
- att förekomsten av indikatororganismer varierade starkt mellan provtagningstillfällen,
- att MPN för indikatororganismerna är lägre i KV jämfört med SV och
- att rötning i de flesta fall reducerade indikatororganismernas förekomst.

Som förväntat var MPN (most probable number) för samtliga indikatororganismer i det behandlade SV (före rötning) massiva och låg med undantag för *L. pneumophila* långt utanför metodens mätbarhet, trots spädning. Detta innebär också att medelvärdena och medianen behöver tas med stort förbehåll, och att rötningens effekt på förekomsten av indikatororganismer enbart kan skattas men inte bestämmas. Också MPN av indikatororganismer i den flytande fasen av köksavfall (KV) före rötning visade upp stora spann för vissa indikatororganismer, nämligen koliforma bakterier och *E. coli*, med ett relativt högt medelvärde, men en mycket måttlig median. I det konkreta fallet innebär det att MPN *E. coli* i 50% av proverna var lägre eller lika med 31.

Som förväntat avtog MPN för nästan alla indikatororganismer efter rötning av både SV och KV. Spannet mellan minimi- och maximivärden minskade för de flesta indikatororganismerna. Undantagen skönjdes i KV,

- där spannet för MPN koliforma bakterier förblev den samma som innan rötningen, och där medianen steg avsevärt och
- där en generell ökning av MPN *L. pneumophila* med högre maximivärden och medianen noterades.

De kumulativa resultaten som erhållits med de tre kulturberoende analysatserna presenteras också i figur 2. Resultaten uttrycks som $\log(\text{MPN}+1)$ av mikroorganismer i SV (lila) och KV (orange). Bilden om en generell minskning av indikatororganismer bekräftas när halterna före plottades mot halterna efter rötning, men att detta inte kan generaliseras för samtliga provtagningar. I vissa fall var halterna efter rötningen lika eller högre efter rötningen. Detta gäller i synnerhet *L. pneumophila* i KV.

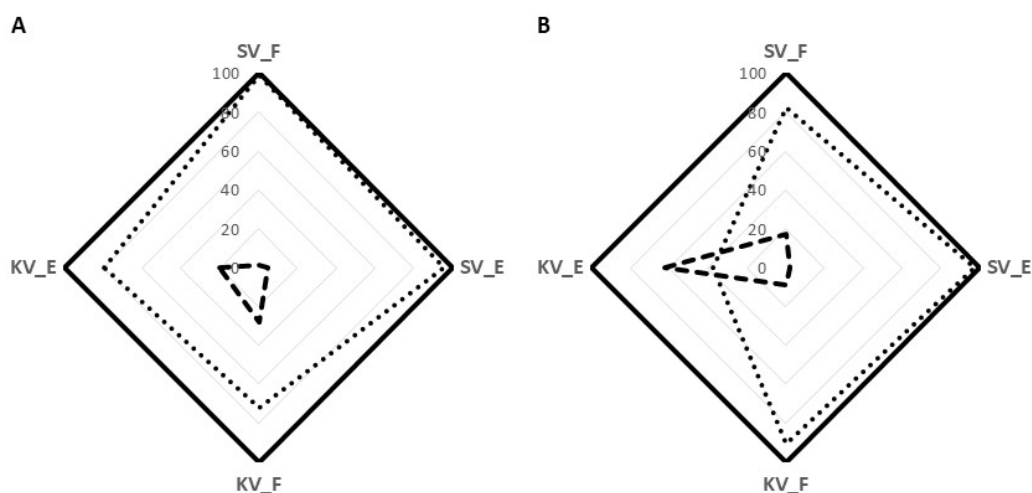


Figur 2. Kumulativa resultat för indikatororganismer från svartvatten (lila) och den flytande fasen av köksavfall (orange) baserad på IDEXX, där förekomsten av indikatororganismerna före rötning plottades mot förekomsten efter rötningen (A: Enterolert, B: Colilert koliforma bakterier, C: Colilert Escherichia coli, D: Legiolert Legionella pneumophila). Värden uttrycks i logaritmerad form som $\log(MPN+1)$.

Tabell 4. Deskriptiv statistik för indikatororganismer från tre provtagningar av svartvatten och den flytande fasen av köksavfall före och efter rötning. Proverna analyserades med hänsyn till enterokocker, totalhalt koliforma bakterier, *Escherichia coli* samt *Legionella pneumophila* med hjälp av IDEXX kit (*Enterolert*, *Colilert*, *Legiolert*). Värdena representerar most probable numbers (MPN) per 100 ml. (SE=standardfel, StDev=standardavvikelse).

		Spann	Medel	SE Medel	StDev	Median
Svartvatten	Före rötning	Enterokocker >250000 - 25000000	18726750	3230159	11189598	25000000
		Totalhalt koliforma bakt. >250000 - 25000000	13695917	3439107	11913415	14942000
		<i>Escherichia coli</i> >250000 - 25000000	13269000	3436368	11903927	14151000
		<i>Legionella pneumophila</i> 307 - 2273	1800	247	857	2273
Flytande köksavfall	Efter rötning	Enterokocker <9 - 12,6	4,9	1,7	5,9	1,6
		Totalhalt koliforma bakt. <9 - 452	121,3	51,1	177,0	36,0
		<i>Escherichia coli</i> <9 - 5172	1127,0	591,0	2048,0	9,0
		<i>Legionella pneumophila</i> 9 - 175	46,8	20,0	69,1	9,0
Svartvatten	Före rötning	Enterokocker <9 - 30	13,0	1,9	6,7	10,0
		Totalhalt koliforma bakt. <9 - 25000	6260,0	3262,0	11301,0	10,0
		<i>Escherichia coli</i> <9 - 25000	6272,0	3260,0	11293,0	31,0
		<i>Legionella pneumophila</i> 0 - 4	0,8	0,4	1,4	0
Flytande köksavfall	Efter rötning	Enterokocker <9 - 1532	562,0	186,0	646,0	23,0
		Totalhalt koliforma bakt. <9 - 25000	12697,0	3710,0	12853,0	12955,0
		<i>Escherichia coli</i> <9 - 537	155,4	55,7	192,9	77,5
		<i>Legionella pneumophila</i> 0 - 18,7	4,8	2,1	7,4	1,0

Antal kopior av DNA och cDNA för *Clostridium perfringens*, *E. coli*, *Legionella* sp. och *Salmonella* sp. analyserades. Antal kopior som erhållits från DNA analys ger information om den totala förekomsten, medan cDNA möjliggör kvantifiering av levande organismer. Differensen mellan dessa två bör alltså tillordnas döda indikatororganismer. Förekomsten av *Salmonella* spp. och *C. perfringens* var mycket låg och beaktades därför inte i den fortsatta analysen. cDNA av *E. coli* utgjorde enbart en mycket liten andel av den totala mängden kopior i SV före och efter rötning. En högre andel cDNA från *E. coli* konstaterades i KV, både före och efter rötning. *Legionella* sp. cDNA var lägst för SV efter och KV före rötning. Detta betyder att förekomsten av levande *Legionella* celler ökade under röttningsprocessen. Detta bekräftar också observationen gjord genom IDEXX analysen.



Figur 3. Proportionell fördelning av totalförekomst samt förekomst av döda och levande *Escherichia coli* (A) och *Legionella* sp. (B) i svartvatten och den flytande fraktionen av köksavfall före och efter rötning. Totalhalten samt halten levande organismer baseras på DNA- resp. RNA extraktion och kvantifiering av DNA och cDNA genom artspecifika primers med hjälp av ddPCR. Halten döda organismer beräknades utifrån differensen mellan kopior DNA och cDNA. Totalhalten sattes till 100. (N=9).

EUs regelverk om minimikrav vid återanvändning av vatten ("REGULATION (EU) 2020/741 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse) (European Parliament och European Council, 2020) grupperade kvalitet för återanvänt vatten i fyra klasser utifrån användningssyfte och bevattningsmetod, nämligen

"A: Alla livsmedelsgrödor som konsumeras råa, där de ätliga delarna kommer i direkt kontakt med återvunnet vatten, och rotfrukter som konsumeras råa

B: Livsmedelsgrödor som konsumeras råa där de ätliga delarna produceras ovan mark och inte kommer i direkt kontakt med återvunnet vatten, bearbetade livsmedelsgrödor och andra grödor än livsmedelsgrödor, inbegripet grödor som används som foder åt mjölk- eller köttproducerande djur,

C: Livsmedelsgrödor som konsumeras råa där de ätliga delarna produceras ovan mark och inte kommer i direkt kontakt med återvunnet vatten, bearbetade livsmedelsgrödor och andra grödor än livsmedelsgrödor, inbegripet grödor som används som foder åt mjölk- eller köttproducerande djur, och

D: Industri- och energigrödor samt sådda grödor.” (European Parliament och European Council, 2020).

Ändamålet i föreliggande studie var att de flytande rötresterna skulle kunna användas i hobbyodlingen. Därför utgick vi ifrån att kvalitetskraven för klass A var lämpliga. Enligt lagstiftningen ska förekomsten av *Legionella* följas upp om det finns risk för aerosolbildningen. I och med att slutanvändaren (hobbyodlaren) skulle kunna vattna ut materialet med vattenkanna och stril, inkluderades *Legionella* i vår analys. Enligt regelverket ska kvalitetskraven i för *E. coli* och *Legionella* spp. uppnås i minst 90 % av proven, samtidigt som inget mätresultat ska överskrida ”den maximala avvikelsetränsen på 1 log-enhet” (European Parliament och European Council, 2020).

Tabell 5. Sammanfattning av kvalitetskraven i klass A enligt EU 2020/741 (European Parliament och European Council, 2020)

Kriterium	Mått	Halt
<i>Escherichia coli</i>	antal/100 mL	≤10
<i>Legionella</i> spp.	antal/100 mL	<1000
Biologiskt syrebehov (BOD ₅)	mg/L	≤10
Totalmängd suspenderat material (TSS)	mg/L	≤10
Turbiditet	NTU ¹	≤5

¹ NTU baseras på nefelometrisk mätning och förkortningen står för Nephelometric Turbidity Units

Resultaten från den säsonala stickprovstagningen visar på att medianen för *E. coli* i SV och KV efter rötningen ligger på 9 MPN/100 ml respektive 31 MPN/100 ml, d.v.s. att halterna i 50% av proverna är lägre eller lika med 9 resp. 31 MPN/100 ml. Maximivärden på 5172 MPN/100 ml och 537 MPN/100 ml förekom i SV och KV efter rötning. *E. coli* förekommer naturligt i tarmen av varmblodiga organismer och behöver inte orsaka sjukdom. Att förekomsten av *E. coli* kan vara hög efter rötning ändå är besvärande, beror på vad förekomst av *E. coli* i själva verket representerar: den indikerar en förhöjd risk för förekomst av tarmsmittor. Inom ramen för de molekylärbiologiska undersökningarna var förekomsten av både *Salmonella* sp. och *C. perfringens* låg, vilket är glädjande. Detta resultat utesluter dock inte förekomst av andra tarmsmittor, som inte ingick i våra analyser.

Legionella pneumophila orsakar en allvarlig form av lunginflammation (legionärssjuka). Den sätts oftast i samband med klimatanläggningar eller duschvatten, men har upprepade gånger fått internationell uppmärksamhet i samband med hobbyodling. Odlingssubstrat och kompost som innehöll träfiber, bark, färskt och komposterat park- och grönavfall samt torv har i dessa sammanhang identifierats som en spridningskälla (Casati et al., 2010, Casati et al., 2009, Cramp et al., 2009, Currie et al., 2014, de Jong och Zucs, 2010, den Boer et al., 2007, Hughes och Steele, 1994, Kingston och Padwell, 1994, Koide et al., 1999, Pravinkumar et al., 2010, Velonakis et al., 2010). Antalet *L. pneumophila* var lägre än EU-regelverkets riktvärde (1000 MPN/100 ml) i samtliga SV och KV prover efter rötning. Anmärkningsvärt är dock att det i vissa prover förekom en ökad genomsnittlig förekomst av *Legionella* både vid analys med IDEXX och DNA-baserade metoder, både i absoluta och relativa tal. Det var ingen genomgående trend utan förekom vid vissa provtagningar. Detta behöver följas upp i större provtagningsserier, där det samtidigt samlas in dynamiska data på processparametrar, för att kunna identifiera förhållanden som gynnar en potentiell uppförökning av *Legionella* i flytande rötresten från köksavfall.

3.2 Kemiska aspekter

De kemiska analyserna (Tabell 6 och 7) baseras på vattenanalys och visar tillgängliga ämnen, samt ledningstal och pH. Givet den höga partikelmängden är totalhalterna förmodligen högre. Generellt sett var ledningstalet både före och efter rötning i båda material mycket höga. Som förväntat var pH i KV före rötning lägre än lämpligt för de flesta hortikulturella kulturer, medan den var avsevärt för högt i SV före och efter rötning samt KV efter rötning.

Variationen i halten näringsämnen var stor mellan provtagningstillfällena. Höga halter ammonium och mycket låga halter nitrat är iögonfallande. Torr växtbiomassa består till 2-4% av kväve. Växter kan ta upp kväve både i form av ammonium och nitrat, men de flesta föredrar nitrat. Processen är beroende av temperatur och pH. Även om växter tar upp kväve i både som NH_4 och NO_3 , är också halten av dessa ämnen är avgörande, då nitratudtaget kan hämmas av höga halter ammonium (Röber och Schacht, 2008). Höga ammoniumhalter kan också orsaka toxiska effekter (*fytotoxisk*) och hämmar plantors tillväxt och utveckling (Röber och Schacht, 2008, Sonneveld och Voogt, 2009). För att kunna fungera som lämpliga kvävekällor i rötresten, bör ammonium omvandlas till nitrat. Detta kan ske i en nitrifikationsprocess för flytande rötresten från svartvatten och köksavfall, som beskrivits av Asp et al. (2020).

Tabell 6. Kemisk analys av svartvatten före och efter rötning. Makro- och mikronäringsämnen samt övriga ämnen uppges i ppm.

Ämne	Rötning	Spann	Medel	SE	StDev	Median
Ledningstal	Före	8,30 - 9,40	8,71	0,35	0,60	8,43
	Efter	7,40 - 9,70	8,81	0,71	1,23	9,32
pH	Före	7,10 - 8,70	8,17	0,53	0,92	8,70
	Efter	8,00 - 9,20	8,53	0,35	0,61	8,40
Makronäringsämnen						
NO ₃	Före	0,10 - 5,50	2,23	1,66	2,87	1,10
	Efter	0,10 - 1,10	0,43	0,33	0,58	0,10
NH ₄	Före	810,00 - 874,00	848,00	19,40	33,60	860,00
	Efter	790,00 - 1100,00	957,00	90,30	156,40	981,00
P	Före	14,00 - 57,00	41,00	13,60	23,50	52,00
	Efter	11,00 - 63,00	44,00	16,60	28,70	58,00
K	Före	27,00 - 287,00	168,00	75,90	131,40	190,00
	Efter	28,00 - 280,00	169,30	74,30	128,80	200,00
Mg	Före	2,90 - 4,30	3,50	0,42	0,72	3,30
	Efter	3,30 - 4,60	4,07	0,39	0,68	4,30
S	Före	7,00 - 75,00	45,00	20,00	34,70	53,00
	Efter	7,30 - 25,00	18,77	5,74	9,94	24,00
Ca	Före	11,00 - 36,00	25,00	7,37	12,77	28,00
	Efter	8,30 - 30,00	20,77	6,47	11,21	24,00
Mikronäringsämnen						
Mn	Före	0,02 - 0,05	0,04	0,01	0,01	0,04
	Efter	0,003 - 0,03	0,02	0,01	0,01	0,02
Fe	Före	0,06 - 0,65	0,33	0,17	0,30	0,29
	Efter	0,06 - 0,52	0,29	0,13	0,23	0,28

Ämne	Rötning	Spann	Medel	SE	StDev	Median
B	Före	0,06 - 0,18	0,14	0,04	0,06	0,17
	Efter	0,06 - 0,2	0,14	0,04	0,07	0,15
Cu	Före	0,03 - 0,29	0,12	0,08	0,14	0,05
	Efter	0,03 - 0,29	0,12	0,09	0,15	0,03
Zn	Före	0,03 - 0,27	0,18	0,08	0,13	0,24
	Efter	0,04 - 0,10	0,07	0,02	0,03	0,06
Mo	Före	0,02 - 0,28	0,13	0,08	0,14	0,10
	Efter	0,02 - 0,23	0,10	0,07	0,12	0,05
Cl	Före	560,00 - 570,00	566,67	3,33	5,77	570,00
	Efter	560,00 - 620,00	583,30	18,60	32,10	570,00
Övriga ämnen						
Si	Före	0,79 - 5,50	3,93	1,57	2,72	5,50
	Efter	0,91 - 6,20	4,10	1,62	2,81	5,20
Na	Före	34,00 - 360,00	208,00	94,70	164,10	230,00
	Efter	36,00 - 350,00	208,70	92,00	159,30	240,00
Al	Före	0,12 - 0,17	0,15	0,02	0,03	0,17
	Efter	0,09 - 0,17	0,14	0,03	0,05	0,17

Tabell 7. Kemisk analys av den flytande fraktionen av köksavfall före och efter rötning. Makro- och mikronäringsämnen samt övriga ämnen uppges i ppm.

Ämne	Rötning	Spann	Medel	SE	StDev	Median
Ledningstal	Före	1,30 - 3,10	1,97	0,57	0,99	1,50
	Efter	1,80 - 5,30	3,63	1,01	1,76	3,80
pH	Före	3,80 - 4,40	4,13	0,18	0,31	4,20
	Efter	7,30 - 8,10	7,80	0,25	0,44	8,00
Makronäringsämnen						
NO ₃	Före	0,10 - 1,00	0,40	0,30	0,52	0,10
	Efter	0,10 - 0,74	0,31	0,21	0,37	0,10
NH ₄	Före	9,20 - 14,00	11,40	1,40	2,42	11,00
	Efter	180,00 - 190,00	183,33	3,33	5,77	180,00
P	Före	2,10 - 19,00	12,03	5,10	8,83	15,00
	Efter	2,40 - 31,00	15,13	8,40	14,56	12,00
K	Före	8,40 - 76,00	49,80	20,90	36,30	65,00
	Efter	8,90 - 55,00	38,30	14,70	25,50	51,00
Mg	Före	1,50 - 9,40	6,40	2,47	4,28	8,30
	Efter	1,80 - 7,60	4,97	1,70	2,94	5,50
S	Före	1,10 - 10,00	6,57	2,76	4,79	8,60
	Efter	1,20 - 5,50	3,53	1,25	2,17	3,90
Ca	Före	22,00 - 130,00	87,30	33,20	57,50	110,00
	Efter	16,00 - 89,00	51,70	21,10	36,50	50,00
Mikronäringsämnen						
Mn	Före	0,01 - 0,08	0,06	0,02	0,04	0,07
	Efter	0 - 50,00	16,70	16,70	28,80	0,10
Fe	Före	0,04 - 0,65	0,32	0,18	0,31	0,26

Ämne	Rötning	Spann	Medel	SE	StDev	Median
B	Efter	0,06 - 0,71	0,46	0,20	0,35	0,60
	Före	0,05 - 0,05				
Cu	Efter	0,06 - 0,14	0,10	0,02	0,04	0,14
	Före	0,03 - 0,04	0,03	0,002	0,003	0,03
Zn	Efter	0,03 - 0,02	0,03			0,03
	Före	0,05 - 0,17	0,11	0,04	0,06	0,12
Mo	Efter	0,01 - 0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
	Före	0,02 - 0,02				
Cl	Efter	0,02 - 0,32	0,13	0,10	0,17	0,05
	Före	110,00 - 160,00	140,00	15,30	26,50	150,00
	Efter	120,00 - 160,00	140,00	11,50	20,00	140,00
Övriga ämnen						
Si	Före	0,50 - 3,60	2,43	0,97	1,69	3,20
	Efter	0,78 - 4,40	3,16	1,19	2,06	4,30
Na	Före	11,00 - 110,00	68,30	29,60	51,30	84,00
	Efter	17,00 - 600,00	316,00	168,00	292,00	330,00
Al	Före	0,17 - 0,17				
	Efter	0,17 - 0,17				

Bortsett från den första provtagningsomgången konstaterades anmärkningsvärt höga halter natrium vid samtliga provtagningar. De höga natriumhalterna hade processtekniska orsaker och uppkom då råmaterialets pH i biogasreaktorn skulle pH-justeras genom tillsats av Na_2CO_3 . Detta skulle också kunna åtminstone delvis förklara de mycket höga ledningstalen. Många hortikulturella växtslag är känsliga för natrium, men också klorid (Sonneveld och Voogt, 2009). Det är därmed tveksamt i vilken utsträckning de testade restmaterialen kan tjäna som ett flytande gödselmedel till trädgårdsväxter. Denna observation understryker att processparametrar för de primära produktionssyften, i föreliggande fall biogasproduktion, bör anpassas också till användningssyften till de sekundära materialen, d.v.s. flytande gödselmedel.

Växtnäring är en essentiell produktionsfaktor i all växtproduktion. Näringen måste föreligga i rätt form och mängd vid rätt tillfälle, d.v.s. när växten behöver det och kan ta upp det. Näringsbehovet varierar under de olika tillväxtfaserna, men också i relation till produktionsmålet. Även om näringsämnen kategoriseras i makro- och mikronäringsämnen, d.v.s. ämnen som behövs i större resp. mindre mängd för en optimal utveckling och avkastning, så måste näringsämnen föreligga proportionerligt till växtens behov. Denna inbördesbalansen kan uttryckas genom det relativa näringsbehovet. I tabell 8 presenteras näringsämnen från SV och KV före och efter rötning relativt till kväve (N) och jämförs med det relativa näringsbehovet av landväxter enligt Bergstrand (2022). Resultaten visar att kvoten mellan kväve och de specifika näringsämnena i rötresten eller utgångsmaterial sällan är balanserad. För vissa ämnen var den relativa mängden alldeles för hög (t.ex. klorid; KV_E: mangan), för andra var den avsevärt för låg (K, P, Ca, S samt de flesta mikronäringsämnena). Värdena för KV_F sticker särskilt ut; detta beror på de mycket låga kvävehalterna i den flytande fraktionen av köksavfall före rötning. En vanlig åtgärd när för att kompensera en för låg näringsnivå är för låg är tillförsel av näring genom andra gödselmedel (näringskällor). Detta hjälper dock inte när vissa andra ämnen föreligger i för höga halter. I föreliggande fall är de oproportionerligt höga kloridhalterna besvärliga. För att optimera materialet som en gödselkälla för hortikulturella ändamål måste orsaken för de höga kloridhalterna i utgångsmaterialet identifieras och processtekniken adapteras. Detta gäller också situationen för natrium, även om de åtminstone delvis kan förklaras genom processtyrningen. Adapteringen skulle kunna ske genom en striktare selektion av råmaterialet, men kan också ske genom processteknik under eller efter den primära processen.

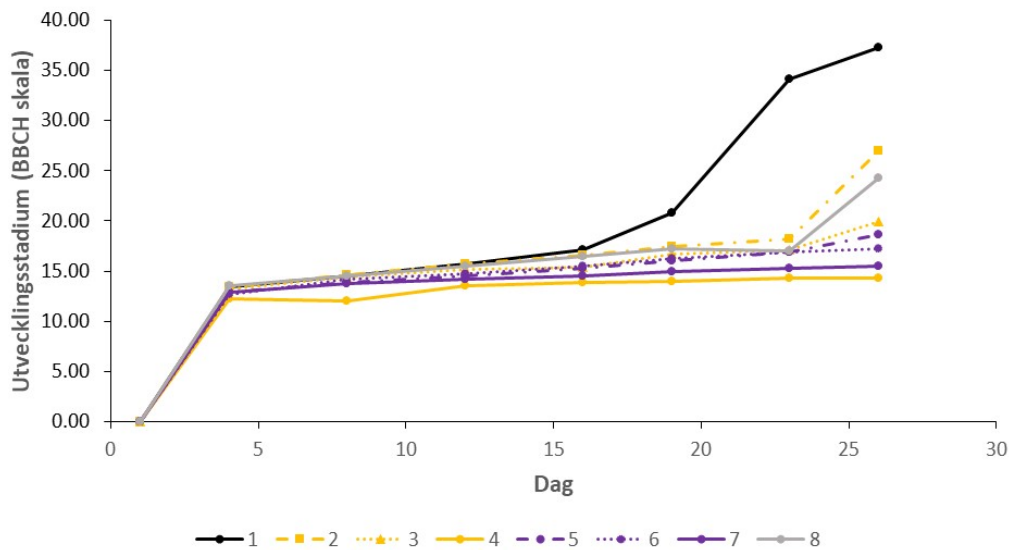
Tabell 8. Näringsbehov av landväxter relativt till kväve (N) och de genomsnittliga relativa näringshalterna från tre provtagningar av svartvatten (SV) och flytande fraktion av köksavfall (KV) före (SV_F, KV_F) och efter (SV_E, KV_E) rötning (N=100). Värden som närmelsevis motsvarar det relativa näringsbehovet enligt Bergstrand (2022) har skrivits i fet stil.

Ämnen		Näringsbehov relativt till N ¹	SV_F	SV_E	KV_F	KV_E
Makronäringsämnen						
Kväve	N	100	100	100	100	100
Fosfor	P	13-19	3	3	61	5
Kalium	K	45-80	9	8	200	10
Magnesium	Mg	5-15	0	0	41	2
Calcium	Ca	5-15	1	1	341	13
Svavel	S	8-9	3	1	32	1
Mikronäringsämnen						
Järn	Fe	0.7	0.01	0.01	0.89	0.08
Mangan	Mn	0.4	0.00	0.00	0.16	2.99
Bor	B	0.2	0.03	0.02	0.68	0.09
Zink	Zn	0.06	0.01	0.00	0.27	0.00
Koppar	Cu	0.03	0.00	0.00	0.08	0.00
Klorid	Cl	0.03	22.12	20.19	402.80	25.29
Molybden	Mo	0.003	0.003	0.002	0.026	0.013
Övriga ämnen						
Kisel	Si		0.30	0.28	13.57	1.11
Natrium	Na		19.23	17.11	465.44	135.20

¹ Värden enligt Bergstrand (2022)

3.3 Odlingsförsök med komatsuna

Komatsunas fenologiska utveckling följdes upp två gånger per vecka under fyra veckor med hjälp av BBCH-skalan (Figur 4). Försöket avslutades när plantorna kontrollerades (behandling 1), som gödslats med mineralgödsellösning, hade nått säljbar storlek. Kontrollerades började avvika från alla andra behandlingar från och med dag 16; brytpunkten från behandlingarna 2 och 8 låg på dag 24. Men skillnaden till plantorna i kontrollerades kvarstod vid försöksslut.



Figur 4. Utvecklingsstadier av komatsuna odlat hydroponiskt utan odlingssubstrat i fyra veckor. Plantorna gödslades antingen med mineralgödsellösning baserat på recept för kålrabbi (behandling 1, kontroll; svart obruten linje) eller med utspädda flytande rötresten av svartvatten (SV_E, orange) (behandling 2-4), köksavfall (KV_E, lila) (behandling 5-7) eller en kombination av båda (behandling 8). SV_E resp. KV_E utspäddes med hänsyn till komatsunas maximitolerans för natrium och komparerades med mineralnäringslösning statistiskt (Behandling 2 resp. 5, bruten linje), dynamiskt med hänsyn till utvecklingsfas (behandling 3 resp. 6, punktlinje) eller komparerades med kranvatten (behandling 4 resp. 7, obruten linje) eller med SV_E och KV_E till lika delar (behandling 8, obruten grå linje).

Kontrollet skiljde sig signifikant ($p < 0,001$) också från alla andra behandlingar vad gäller biomassan (både frisk- och torrsvikt) (Tabell 9). Kvoten mellan torr- och färsksvikt var högst i behandling 4 och lägst i kontrollet.

Sammanfattningsvis kan konstateras att ingen av behandlingarna baserade på rötresten nådde upp till utvecklingshastigheten eller till biomassa av komatsuna som gödslats med mineralgödsellösning enbart. Det finns ett antal förklaringar för detta, nämligen de relativt höga natrium- och kloridhalter i SV_E och KV_E utspädning till trots, obalansen mellan näringsämnen inbördes i SV_E och KV_E som inte fullt ut komparerades för genom tillsats av mineralnäringslösningen och den låga näringshalten i den utspädda SV_E och KV_E i behandlingarna 4 och 7 samt 8. I och med att näringslösning tillfördes enligt växternas behov försörjdes plantor med en snabbare utvecklingshastighet också relativt mer växtnäring, vilket kan ha accentuerat skillnaderna mellan behandlingarna.

Tabell 9. Biomassa (frisk- och torrsvikt, g) samt förhållandet mellan torr- och frisksvikt (torrsvikt/frisksvikt*100) hos komatsuna. Komatsuna odlades i fyra veckor hydroponiskt i ett odlingssystem utan odlingssubstrat och gödslades antingen med mineralgödsellösning (behandling 1, kontroll) eller med utspädda flytande rötresten av svartvatten (SV_E) (behandling 2-4), köksavfall (KV_E) (behandling 5-7) eller en kombination av båda (behandling 8). Medelvärden \pm standardavvikelsen redovisas. Näringslösningen i kontrolleret baserades på recepturen för hydroponisk odling av kålrabbi enligt de Kreij et al. (1992). SV_E resp. KV_E utspäddes med hänsyn till komatsunas maximitolerans för natrium och kompenserades med mineralnäringslösning statistiskt (Behandling 2 resp. 5), dynamiskt med hänsyn till utvecklingsfas (behandling 3 resp. 6) eller kompenserades med kranvatten (behandling 4 resp. 7) eller med SV_E och KV_E till lika delar (behandling 8).

Behandl.	Färsksvikt		Torrsvikt		Kvot torr/färsksvikt	
1	43.58 \pm 13.92	A ¹	4.54 \pm 1.41	A	10.636 \pm 1.64	A
2	10.48 \pm 2.13	B	1.55 \pm 0.38	B	14.86 \pm 2.52	B
3	6.94 \pm 3.99	B	1.05 \pm 0.56	B	15.10 \pm 2.14	B
4	0.92 \pm 0.37	B	0.18 \pm 0.08	B	20.06 \pm 2.79	B
5	6.11 \pm 2.39	B	0.95 \pm 0.38	B	15.46 \pm 2.06	B
6	4.84 \pm 2.37	B	0.84 \pm 0.41	B	17.17 \pm 2.47	B
7	2.62 \pm 0.86	B	0.49 \pm 0.16	B	18.73 \pm 1.49	B
8	9.58 \pm 3.04	B	1.48 \pm 0.52	B	15.33 \pm 1.91	B

¹Medelvärden i samma kolumn som åtföljs av olika bokstäver avviker signifikant från varandra enligt envägs-Anova följt av Dunnett-test ($p < 0,05$).

3.4 Odlingsförsök med tomat

Det två-faktoriella växthusförsöket med tomat drabbades av ett massivt kvalsterangrepp som var jämnt spridd över alla behandlingar drygt fyra veckor efter att behandlingarna startades i växthus. Vi väljer därför att enbart redovisa resultat som insamlats i ett tidigt försöksskede.

Tomatplantor var jämn stora i alla fyra behandlingarna vid försöksstart. Fyra veckor senare hade de plantor som behandlats med fullstyrka av KV_E de längsta huvudskotten och signifikanta skillnader konstaterades mellan plantor som gödslats med full styrka mineralnäringslösning och utspädd KV_E (tabell 10). Antalet blad vid huvudskottet ökade – förstås - med tiden, men skillnaderna mellan behandlingarna var små och utan biologisk relevans. Inga signifikanta skillnader i internodlängd mellan behandlingarna i slutet av observationsperioden. Men 41% av variationen i internodlängd kunde förklaras av huvudskottets längd ($p=0,02$).

Högst antal blommande och frukt bärande klasar hittades på tomatplantor som behandlats med full styrka av antingen mineralnäringslösning eller KV_E, men antalet avvek inte statistiskt från de som behandlats med dem utspädda varianterna.

Givet den korta observationstiden under behandling är det svårt att beskriva resultaten på ett relevant sätt. Enbart den första klasen kunde skördas p.g.a.

kvalsterangreppet. Även om vissa skillnader kunde skönjas, avstår vi inom ramen för denna rapport från beskrivning och tolkning av dessa data. Det verkar dock så att de höga natrium- och kloridhalter inte hade ett lika starkt genomslag då tomat odlades i organiskt substrat. Detta är intressant i och med att tomat anses vara känsligare för höga natrium- och kloridhalter än komatsuna. Undersökningen bör upprepas och följas under den hel säsong. I detta sammanhang är inte enbart växtens vegetativa och generativa utveckling, utan också kvaliteten på tomat. Det fanns en tendens till ökad förekomst av pistillröta vid gödsling med den outspädda KV_E.

4. Slutsatser

Svartvatten samt den flytande fraktionen av köksavfall före och efter anaerob nedbrytning (rötning) var mycket variabel med hänsyn till både hygien och växtnäringshalter. Utifrån föreliggande data krävs mer utvecklingsarbete innan materialet kan användas som en säker växtnäringskälla med jämn kvalitet över tid till hobbyodlingen. Om material används efter rötning, behöver särskilt fokus läggas på

- De besvärligt höga halter av *E. coli* i KV, som förutsätter introduktion av ett hygieniseringssteg i processen,
- Processtekniken för det primära produktionssyftet (i föreliggande fall biogasproduktion), så att höga halter natrium och klorid undviks,
- Omvandling av de höga ammoniumhalterna till nitrat, vilket också leder till ett lägre pH-värde, och
- Val resp. selektion av råmaterial för det primära produktionssyftet för att utvinna en jämnare kvalitet efter rötprocessen.

Utifrån odlingsförsöken drar vi slutsatsen att inte bara näringskällan utan också produktionssättet är viktigt. Val av lämpligt odlingssubstrat och gödslingsstrategi är väsentliga. Odlingsförsöken behöver följas upp med mer noggranna undersökningar, i synnerhet för fruktgrönsaker, och sträcker sig över en hel säsong, för att kunna dra slutsatser och ge rekommendationer om rötresternas lämplighet som gödselmedel i hobbyodlingen.

Tack

Studien genomfördes inom ramen för projektet ”Framtagning av lokalproducerad kretsloppsnäring” (prjnr. 1346/Trg/2021). Vi tackar Partnerskap Alnarp i samarbete med Alnarp FoodTech för projektfinansieringen. Vårt tack gäller också RecoLab vid NSVA som ställde material för analyserna till förfogande och också var värd för projektworkshop som genomfördes i mars 2023. Stort tack till Ellen Edefell för alla umbäranden att ta och transportera prover, trots allt stress i doktorerandets slutfas. Last, but not least, ett tack till Erasmus+ programmet ”Student mobility for traineeship” mellan universitetet i Padua och SLU som möjliggjorde Marta Vendrame’s uppehåll vid SLU.

Referenser

- ALSANIUS, B. W., JIRSTRÖM, M., NAZNIN, M. T., KHALIL, S. & EKSTRÖM, E. C. 2020. Optimising horticulture for urban agriculture. *In: WISKERKE, H. (ed.) Achieving sustainable urban agriculture*. Cambridge: Burleigh Dodds Scientific Publishing.
- ASP, H., BERGSTRAND, K.-J. & HULTBERG, M. 2020. Biogödsel som näringskälla vid hydroponisk odling - nitrifiering och pH. *In: TEKNOLOGI, I. F. B. O. (ed.) LTV-fakultetens faktablad*. Alnarp: Biosystem och Teknologi.
- BERGSTRAND, K.-J. 2022. Organic fertilizers in greenhouse production systems – a review. *Scientia Horticulturae*, 295, 110855. doi: 10.1016/j.scienta.2021.110855.
- CASATI, S., CONZA, L., BRUIN, J. & GAIA, V. 2010. Compost facilities as a reservoir of *Legionella pneumophila* and other *Legionella* species. *Clinical Microbiology and Infection*, 16, 945-947. doi: 10.1111/j.1469-0691.2009.03009.x.
- CASATI, S., GIORIA-MARTINONI, A. & GAIA, V. 2009. Commercial potting soils as an alternative infection source of *Legionella pneumophila* and other *Legionella* species in Switzerland. *Clinical Microbiology and Infection*, 15, 571-575. doi: 10.1111/j.1469-0691.2009.02742.x.
- CHECA, J., CARBONELL, I., MANERO, N. & MARTÍ, I. 2021. Comparative study of Legiolert with ISO 11731-1998 standard method—conclusions from a Public Health Laboratory. *Journal of Microbiological Methods*, 186, 106242. doi: 10.1016/j.mimet.2021.106242.
- CRAMP, G. J., HARTE, D. J. G., DOUGLAS, N. M., GRAHAM, F. F., SCHOUSBOE, M. & SYKES, K. 2009. An outbreak of Pontiac fever due to *Legionella longbeachae* serogroup 2 found in potting mix in a horticultural nursery in New Zealand. *Epidemiology and Infection*, 138, 15-20. doi: 10.1017/S0950268809990835.
- CURRIE, S. L., BEATTIE, T. K., KNAPP, C. W. & LINDSAY, D. S. J. 2014. *Legionella* spp. in UK composts—a potential public health issue? *Clinical Microbiology and Infection*, 20, O224–O229. doi: 10.1111/1469-0691.12381.
- DE JONG, B. & ZUCS, P. 2010. *Legionella*, springtime and potting soils. *EuroSurveillance*, 15, 2-3.
- DE KREIJ, C., SONNEVELD, C., WARMENHOVEN, M. & STRAVER, N. 1992. Guide values for nutrient element contents of vegetables and flowers under glass. *Voedingsoplossingen Glastuinbouw*. Naaldwijk, Aalsmeer: Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk, Proefstation voor de Bloemisterij te Aalsmeer, .
- DEN BOER, J. W., YZERMAN, E. P. F., JANSEN, R., BRUIN, J. P., VERHOEF, L. P. B., NEVE, G. & VAN DER ZWALUW, K. 2007. Legionnaires' disease and gardening. *Clinical Microbiology and Infection*, 13, 88–91. doi: 10.1111/j.1469-0691.2006.01562.x.

- EUROPEAN PARLIAMENT & EUROPEAN COUNCIL 2019. Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2019/1009 av den 5 juni 2019 om fastställande av bestämmelser om tillhandahållande på marknaden av EU-gödselprodukter och om ändring av förordningarna (EG) nr 1069/2009 och (EG) nr 1107/2009 samt om upphävande (2019). *Official Journal of the European Union*, L 170, 1-114.
- EUROPEAN PARLIAMENT & EUROPEAN COUNCIL 2020. REGULATION (EU) 2020/741 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse. *Official Journal of the European Union*, L 177, 32-55.
- FEDERAL BIOLOGICAL RESEARCH CENTRE FOR AGRICULTURE AND FORESTRY 2001. Growth stages of mono-and dicotyledonous plants. In: MEIER, U. (ed.) 2 ed. Berlin, Braunschweig: Biologische Bundesanstalt.
- HUGHES, M. S. & STEELE, T. W. 1994. Occurrence and distribution of Legionella species in composted plant materials. *Applied and Environmental Microbiology*, 60, 2003-2005.
- KATAYAMA, V. T., DEERBERG, G. & LONDONG, J. 2019. *Nutrient Recovery from Source-separated Wastewaters by Integration of Blackwater Treatment with Urban Farming: Characterization of Process and Products*, Ruhr-Universität Bochum.
- KINGSTON, M. & PADWELL, A. 1994. Fatal legionellosis from gardening. *New Zealand Medical Journal*, 107, 111.
- KOIDE, M., SAITO, A., OKAZAKI, M., UMEDA, B. & BENSON, R. F. 1999. Isolation of Legionella longbeachae serogroup 1 from potting soils in Japan. *Clin Infect Dis.*, 29, 943-944. doi: 10.1086/520470
- OLIVEIRA, F. A., FREITAS, R. S. & OLIVEIRA, M. K. T. 2022. Electrical conductivity of the nutrient solution for soilless cultivation of kohlrabi. *Hortic. Bras.*, 40, 129-135. doi: 10.1590/s0102-0536-20220201.
- PRAVINKUMAR, P. J., EDWARDS, G., LINDSAY, D., REDMOND, S., STIRLING, J., HOUSE, R., KERR, J., ANDERSON, E., BREEN, D., BLATCHFORD, O., MCDONALD, E. & BROWN, A. 2010. A cluster of Legionnaires' disease caused by Legionella longbeachae linked to potting compost in Scotland, 2008-2009. *EuroSurveillance*, 15.
- RÖBER, R. & SCHACHT, H. 2008. *Pflanzenernährung im Gartenbau*, Stuttgart, Eugen Ulmer.
- SONNEVELD, C. & VOOGT, W. 2009. Salinity and Water Quality. In: SONNEVELD, C. & VOOGT, W. (eds.) *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Dordrecht: Springer,.
- STELMACH-MARDAS, M., KLEISER, C., UZHOVA, I., PEÑALVO, J. L., LA TORRE, G., PALYS, W., LOJKO, D., NIMPTSCH, K., SUWALSKA, A., LINSEISEN, J., SAULLE, R. C., V. & BOEING, H. 2016. Seasonality of food groups and total energy intake: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70, 700-708. doi: 10.1038/ejcn.2015.224.
- VELONAKIS, E. N., KIOUSI, I. M., KOUTIS, C., PAPADOGIANNAKIS, E., BABATSIKOU, F. & VATOPOULOS, A. 2010. First isolation of Legionella species, including L. pneumophila serogroup 1, in Greek potting

- soils: possible importance for public health. *Clinical Microbiology and Infection*, 16, 763-766. doi: 10.1111/j.1469-0691.2009.02957.x.
- VENDRAME, M. 2022. *Use of reclaimed wastewater as fertilizer in hydroponic greenhouse systems*. Padua University.
- VINNERÅS, B. 2002. *Possibilities for sustainable nutrient recycling by faecal separation combined with urine*. PhD, Swedish University of Agricultural Sciences.