



Foto: J. Yong.

SLU Partnerskap Alnarps projekt nr: 1400/Trädgård, Biobaserade råvaror/2022

Modifiering av biogödsel för ökad användning i krukodling och för minskad torvanvändning

Modification of biofertilizer for increased use in pot cultivation and for reduced peat use

Projektledare: Håkan Asp

Författare till rapporten: Håkan Asp

Fakultet: LTV

Institution: Institutionen för biosystem och teknologi

Projektid: maj 2022 – maj 2023

Projektpartners: Stiftelsen Lantbruksforskning och Gasum AB

Projektsammanfattning

Den rötrest som uppstår efter biogastillverkning är ofta, beroende på ingående material, rik på växtnäring som bör återföras till livsmedelsproduktionen på något sätt. Rötresten används ofta som jordförbättring på åkermark. För att öka användningen och värdet av resten görs försök att införa den både som gödsel och, i avvattnad form här kallad biomull (BM), som odlingssubstrat i hortikulturell produktion. Tidigare forskning har visat att en viss inblandning av BM i torv fungerar väl som både substratkomponent och gödsel. Det som oftast begränsar hur stor inblandning som är möjlig är biomullens innehåll av ammonium och dess höga pH.

Detta projekt avsåg att undersöka möjligheten att minska ammoniuminnehållet och sänka pH i BM genom bakterieinducerad nitrifikation. En naturlig process som ständigt pågår i våra jordar. Denna process bidrar också till att höja nitratkoncentrationen vilket gynnar växter då denna kväveform utnyttjas väl och blir inte giftig vid höga koncentrationer, vilket är fallet med ammonium.

Ett sex veckors inkubationsförsök där BM, ympad med nitrifikationsbakterier, luftades en gång i veckan studerades med avseende på kväveformer, pH och fosfattillgänglighet. Analyser under lagringen visade att ammonium sänktes i högre grad när bakterier var inympade, samtidigt som pH sjönk och nitrat bildades. En del förluster av kväve fanns, troligen som gasformig avgång. När torv blandades med BM inför lagringen minskade förlusterna av kväve till ingenting. Detta beror troligen på att ett lägre pH med torvblandningen hämmar förluster av främst ammoniak som bildas i högre grad med högre pH.

Ett odlingsförsök med paprika i lagrad rötrest visade högst tillväxt i det led som var ympat med bakterier och dessutom kalkat till pH 6. Avvattning av rötrest följt av nitrifikation är ett lovande sätt att öka användbarheten av rötrester i hortikulturell produktion samtidigt som torvanvändandet kan reduceras. Dock är detta ett första steg och mer bör göras för att optimera lagringen och undersöka om och hur eventuell övergödning, förslagsvis med flytande rötrest, kan komplettera gödningen från den avvattnade rötresten.

En mindre del av denna studie ägnades åt att undersöka om tungmetaller kan överföras från rötresten till ätliga växtdelar. Rötrest från två biogasanläggningar undersöktes. Ingen av resterna visade på halter av tungmetaller i närheten av de gränsvärden som är uppställda för biogödsel. Inte heller blev koncentrationer av dessa metaller höga i spenat som provodlades. Samtliga koncentrationer låg långt under uppställda gränsvärden för livsmedel.

Abstract

The digestate that occurs after biogas production is often, depending on the feedstock, rich in plant nutrients that should be returned to food production in some way. The digestate is often used as soil improver on arable land. In order to increase the use and value of the residue, attempts are being made to introduce it both as fertilizer and, in dewatered form here called solid anaerobic digestate (SAD), as a growing substrate in horticultural production. Previous research has shown that a certain amount of SAD in peat works well as both a substrate component and as fertilizer. What usually limits how high share it is possible to mix in is the ammonium content of the digestate and its high pH.

This project aimed to investigate the possibility of reducing the ammonium content and lowering the pH in SAD through bacteria-induced nitrification. A natural process that is constantly taking place in our soils. This process also raises

the nitrate concentration, which benefits plants as this form of nitrogen is well used and does not become toxic at high concentrations, as is the case with ammonium.

A six-week incubation trial in which SAD, inoculated with nitrifying bacteria, was aerated once a week was studied for nitrogen forms, pH and phosphate availability. Analyzes during storage showed that ammonium was lowered largely when bacteria were inoculated, at the same time as pH dropped and nitrate was formed. Some losses of nitrogen were present, probably in gaseous N-forms. When peat was mixed with SAD before storage, losses of nitrogen were reduced to nothing. This is probably because a lower pH with the peat mixture inhibits losses of mainly ammonia, which is formed to a greater extent with increased pH.

A cultivation trial with peppers in stored digestate showed the highest growth in the treatment that was inoculated with bacteria and limed to pH 6. Dewatering of digestate followed by nitrification is a promising way to increase the usefulness of the biofertilizer in horticultural production while reducing peat use. However, this is a first step and more should be done to optimize the storage and investigate whether and how possible over-fertilization, for example with liquid digestate, can supplement the fertilization from the dewatered digestate.

A smaller part of this study was devoted to investigating whether heavy metals can be transferred from the digestate to edible plant parts. Digestate from two biogas plants were investigated. None of the residues showed levels of heavy metals close to the limit values set for biofertilizers. Nor did concentrations of these metals become high in the spinach that was grown in the digestate. All concentrations were well below established limit values for foodstuffs.

Bakgrund

Produktionen av biogas ökar i Sverige och runt om i världen, och blir en allt vanligare metod för att ta hand om organiska restprodukter. Vid processen produceras förutom biogas en rötrest som, beroende på ingående material till gasproduktionen, kan ha högt innehåll av växtnäringsämnen. Rötresten används i stor utsträckning inom jordbruket. Genom att dela upp rötresten i en flytande och en fast fraktion går den att utveckla ytterligare som växtnäring och substrat lämplig för hortikulturell produktion. Vår forskargrupp har studerat bägge dessa fraktioner och exempel på resultat från studier av den flytande fraktionen finns i Bergstrand et al. (2020) och Pelayo et al. (2020). Den fasta fraktionen av rötresten har studerats i ett SLF-projekt (Asp et al. 2022 och Caspersen et al. 2023) där fokus ligger på inblandningsgrad, växtnäringsutnyttjande och lagringseffekter, bland annat med utgångspunkten att minska torvanvändningen. I detta projekt ville vi försöka ta det ett steg längre. Detta stämmer väl med forskningsfrågor som LRF:s Trädgårdsdelegation (2018) har uttryckt ”*Hur kan näringsrika restprodukter användas i hortikulturella substrat?*” och ”*Substrat för ekologisk produktion*”.

I Europa, och Sverige är torv det, utan motstycke, vanligaste substratet i hortikulturell krukodling och i ekologisk produktion. Runt om i Europa höjs röster för att minska torvanvändningen av miljöskäl, som koldioxidavgång från barlagda torvmossor och även genom återkan på värdefulla biotoper (Fascella 2015). Att ersätta torv i den hortikulturella sektorn är inte helt lätt. Torv har många goda egenskaper som substrat och på våra breddgrader är den dessutom närproducerad. Det finns även en stor kunskapsbas uppbyggd kring torvanvändning som kan ta tid att ersätta. Våra tidigare försök har visat att den fasta delen av rötresten går bra att blanda med torv till en viss andel utan att de fysikaliska egenskaperna förändras

nämnavert samtidigt som den ger ett stort näringstillskott. Det gör rötresten till en bra kandidat när det gäller att ersätta torv.

Huvudsakligen två egenskaper hos rötresten begränsar hur mycket av den det går att blanda in i torven eller om den går att blanda in i andra substrat nämligen; dess höga pH och dess höga halt av ammonium i förhållande till totalkväve. Dessa två egenskaper är en följd av rötningsprocessen. Bägge dessa egenskaper går att motverka genom den naturliga processen *nitrifikation* som utförs av nitrifikationsbakterier. Vid nitrifikationen minskar pH samtidigt som ammonium omvandlas till nitrat, en kväveform som växter kan tolerera ganska höga halter av vilket inte är fallet med ammonium. Rötrest passar bra att blanda in i torv bland annat för att torv har lågt pH vilket gör att den färdiga blandningen oftast blir något sur och kan lätt justeras till ett lämpligt pH med kalkning. Vid inblandning i andra substrat som inte har lågt pH blir följden ofta en substratblandning med alltför högt pH vilket försvårar användningen betydligt, då det är svårare att sänka pH i ett substrat än att höja det.

En annan fråga som ibland ställs i samband med användandet av rötrest i livsmedelsproduktion är förekomst av tungmetaller beroende på ingående material i biogastillverkningen. Frågeställningen rör då möjligheten att dessa tungmetaller skulle tas upp i de ätliga delarna i sådana mängder att de utgör ett hot för konsumenter. En mindre studie av detta kombineras här med övriga studier av rötresten i odling.

Hypotes och forskningsfrågor

Forskningsfrågor som ska besvaras är:

- Är det möjligt att nitrifiera den fasta biokomposten och ger det i så fall en substantiell minskning av ammoniuminnehållet och pH?
- Vilken metod för luftning är bäst?
- Sker det betydande kväveförluster vid nitrifieringen?
- Kan inblandningsgraden av biokomposten i andra substrat öka efter nitrifiering, som en följd av minskad ammoniumhalt?
- Minskar pH i biokomposten så att det möjliggör inblandning i andra substrat än torv utan att pH blir för högt för kulturen i fråga?
- Återfinns tungmetallerna i den testade biokomposten i koncentrationer som närmar sig de som är uppsatta som gränsvärden av EU?
- Tas metallerna upp i en sådan grad att koncentrationerna i de ätliga växtdelarna närmar sig de gränsvärden som är uppsatta inom EU?

Hypoteserna är att:

- Nitrifieringen av biokompost kommer, i det bästa systemet, att sänka ammoniumhalten med minst 50%, och kväveförlusterna är mindre än 15%.
- pH i biokomposten sjunker minst 1,5 enheter till följd av nitrifieringen.
- Tungmetallkoncentrationerna i biokomposten är max 10% av de satta gränsvärdena.
- Upptaget av tungmetaller i växten ökar något med minskande pH i odlingssubstratet.

Syfte

Det övergripande syftet med forskargruppens studier kring rötrest är att öka nyttan av biogasproduktionen, genom ökat näringsutnyttjande från rötresten vilket ger mindre förluster av växtnäring och minskad torvanvändning.

Med detta projekt vill vi påbörja utvecklandet en metod för att modifiera den fasta delen av rötresten genom nitrifikation för att i högre grad kunna blanda in den i torv och i helt andra substrat. Vi har stor erfarenhet av nitrifikationsprocessen på flytande rötrest och i detta projekt tas det vidare till den fasta fraktionen.

En mindre del av denna studie rör även tungmetaller som kan förekomma i rötresten beroende på ingående material till processen. Kan dessa eventuellt förekommande tungmetaller föras över till växte i någon högre utsträckning.

Metod

Luftningsförsök

Ett förberedande försök med olika metoder för luftning gjordes under 6 veckor. Försöket gjordes parallellt med ren avvattnad rötrest, eller rötrest ympad med nitrifikationsbakterier. Två lådor av varje behandling. De ingående behandlingarna var:

- Ingen luftning eller omrörning: Rötresten stod orörd i plastlådor utan lock.
- Omrörning: Rötresten rördes om kraftigt en gång i veckan.
- Luftning med pump: Luft pumpades in i botten av lådorna med rötrest.

Inkubationsförsök

Fyra substratblandningar tillverkades av torv (ogödslad och okalkad) och avvattnad rötrest, baserad på vegetabilier med 29% torrs substans, från Jordberga, Gasum AB. Hädanefter används beteckningen biomull (BM) för den avvattnade rötresten. Behandlingar: BM=ren biomull, BMT=Biomull med torv 50/50 (v/v), BMY=Biomull ympad med nitrifikationsbakterier, BMTY=Biomull med torv 50/50 ympad med nitrifikationsbakterier. Nitrifikationsbakterierna har odlats på flytande rötrest i vårt laboratorium under flera år.

Substraten förvarades i ett konstantrum, 20°C under 6 veckor. Varje vecka omrördes substratet kraftigt, fuktigheten återställdes till ursprungsvärdet och prov togs ut för bestämning av pH, ledningsförmåga, kväve och fosfattillgänglighet. Näringstillgängligheten i substraten bestämdes med Spurwayanalys. De kväveformer som analyserades var ammonium NH_4 , nitrit NO_2 och nitrat NO_3 . Dessa tre kväveformer slogs också ihop till en summa av de mineraliserade (oorganiska) kväveformerna N_{min} .

Odlingsförsök – basilika med varierande inblandning av rötrest i torv och pimpsten

I detta försök odlades basilika i krukor under växthusbetingelser i olika varianter av de fyra behandlingarna som beskrivs under inkubationsförsök. Var och en av substratblandningarna från inkubationsförsöket blandades med torv så att halten BM var 30% eller 50% (v/v). Dessutom blandades de 4 substratblandningarna med

pimpsten i stället för torv i förhållandet 50/50. En kontroll/referens fanns bestående av en gödslad och kalkad torv lämplig för basilikaodling.

Odlingsförsök – minipaprika i torv/biomull-blandningar med nitrifiering och kalkning

Substrat blandade av ogödslad torv och biomull 50/50 (v/v) lagrades under 5 veckor med omrörning en gång per vecka enligt inkubationsförsöket. Hälften av substratblandningen ympades med nitrifikationsbakterier före lagringen. Näringsstillgängligheten bestämdes i början och slutet av inkubationen med Spurwayanalys. Efter lagringen delades substraten upp och hälften kalkades till pH 6. Före kalkningen av substraten hade substrat utan ymp pH 5.7 och 5.2 med ymp. Odlingen gjordes alltså i fyra behandlingar: ympade/ej ympade i kombination med kalkade/okalkade. Tre veckor efter sådd planterades minipaprikor (*Capsicum annuum* L., cv. Balcony F1) i behandlingarna och odlades där under 6 veckor. Vid försöksavslutningen bestämdes plantornas höjd, friskvikt, torrsvikt, klorofyllhalt samt mineralinnehåll. Även efter ca halva odlingstiden bestämdes höjden på plantorna.

Tungmetallupptag från torv/biomull-blandningar

Tungmetaller i rötresten från Jordberga och Katrineholm (Gasum AB) analyserades av LMI AB enl. ICP-MS + SS028311. Biomullen blandades med torv till förhållandet 30/70 (v/v). Ett led var okalkat och ett led kalkades till pH 5,7. Kontrolledet i ren torv kalkades till 5,7 och gödslades med långtidsverkande gödsel. Spenat såddes direkt i det blandade substratet. Plantorna skördades efter 6 veckor. Då bestämdes tillväxten och tungmetallerna (8 st.) i skottdelarna analyserades av LMI AB.

Resultat och diskussion

Delar av dessa resultat redovisas i: LTV-fakultetens faktablad 2023:6

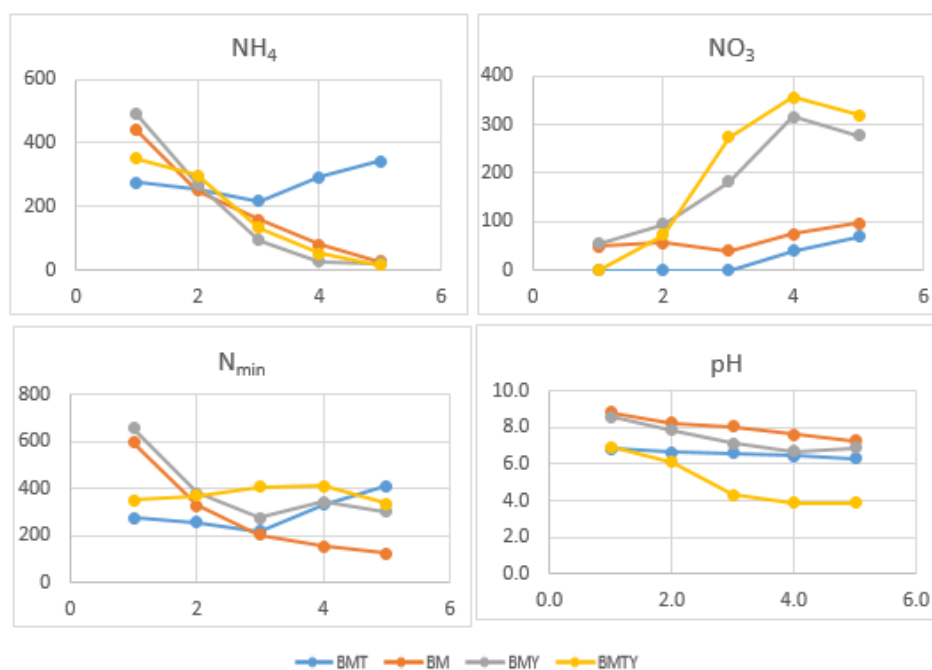
Luftningsförsök

Av de tre luftningsmetoderna som testades visade sig veckovis kraftig omrörning vara det lämpligaste i detta system och med denna rötrest. Luftning underifrån med en pump som ledde ut luft från botten av behållaren gav också bra effekt. Sänkningen av pH och ammoniumkoncentrationen var lika stora som vid omrörning. Dock bildades det mindre nitrat i detta fall vilket tyder på att förlusterna av mineraliserat kväve varit större. Eventuellt har den kontinuerliga luftströmmen effektivare tagit med sig eventuell ammoniak och kväveoxid som har bildats än vad som var fallet med omrörning en gång i veckan.

Inkubationsförsök

Vid inkubationsförsöket blandades biomullen med torv före behandlingens början i två av leden. Detta resulterade i den ungefärliga halvering av kvävet som kan ses i Fig. 1 (BMT och BMYT). Detta beror på att det är växttillgängligt kväve som analyserats vilket det är ont om i torven. Även pH påverkas då det är lägre i torv än i BM. Tidigare försök med lagring av BM har visat att en viss omvandling av ammonium sker spontant utan inympning med bakterier (Caspersen m. fl. 2023).

Det skedde även i denna studie men man kan se att i exemplet BM (Fig. 1) så försvinner det mycket ammonium (NH_4) utan att nitraten (NO_3) ökar. Det beror troligen på en betydande förlust av gasformiga kväveföreningar tex. ammoniak. Om man jämför med de två ympade leden minskar ammoniumkoncentrationen ungefär i samma takt men i stället bildas mer nitrat. Om man jämför de två ympade leden (BMY och BMTY) och tittar på N_{min} (sammanlagda mängden av ammonium, nitrit (NO_2) och nitrat) syns det att i ledet med ympning och torvinblandning är kväveförlusten nästan 0. Förklaringen till detta kan ges av pH-värdena. I BMTY-ledet minskar pH betydligt jämfört med de andra leden. Detta minskar förluster av såväl ammoniak som eventuella kväveoxider vika är större vid högre pH. I tidigare försök har lagring av BM lett till ökad tillgänglighet av fosfat (Caspersen m. fl. 2023) och då kopplats till att magnesium-fosfatföreningar som bildats vid biogasprocessen har upplösts vid ett lägre pH. Detta kunde vi inte se i denna undersökning kanske beroende på att det inte fanns någon större mängd av magnesium – fosfatföreningarna i denna biomull.



Figur 1. Koncentration av tillgängligt kväve i olika former (mg N/L substrat) och pH under 5 veckors inkubation av biomull i kombination med torv och inympade nitrifikationsbakterier. BM = ren biomull, BMT= BM blandad 50/50 med torv, BMY= BM ympad med nitrifikationsbakterier, BMTY= BM blandad 50/50 med torv och ympad med nitrifikationsbakterier.

Odlingsförsök med basilika

Basilikan odlades i forskningsväxthus i Alnarp från november – mitten av januari. Detta är en ovanligt lång kulturtid för basilika. Sådden och uppkomsten gick som planerat men därefter uppstod problem. Under december och i början av januari var det många kalla nätter. Vid kontroll av temperaturen i den växthusavdelning som användes visade det sig att den flera gånger var under 15°C nattetid. Även under dagtid var det sällan temperaturen gick upp till de grader som basilika kräver.

Växthusägarna kunde inte leverera utlovad temperatur under större delen av detta försök. Tyvärr ledde detta till väldigt låg tillväxt och ett havererat försök. Två trender kunde utläsas ur försöket: Blandning BM/torv 30/70 var alltid bättre än 50/50. Att blanda BM med pimpsten istället för torv gav endast tillväxt om BM var ympad. I det oymgade ledet upphörde tillväxten efter hjärtbladen.

Odlingsförsök med minipaprika

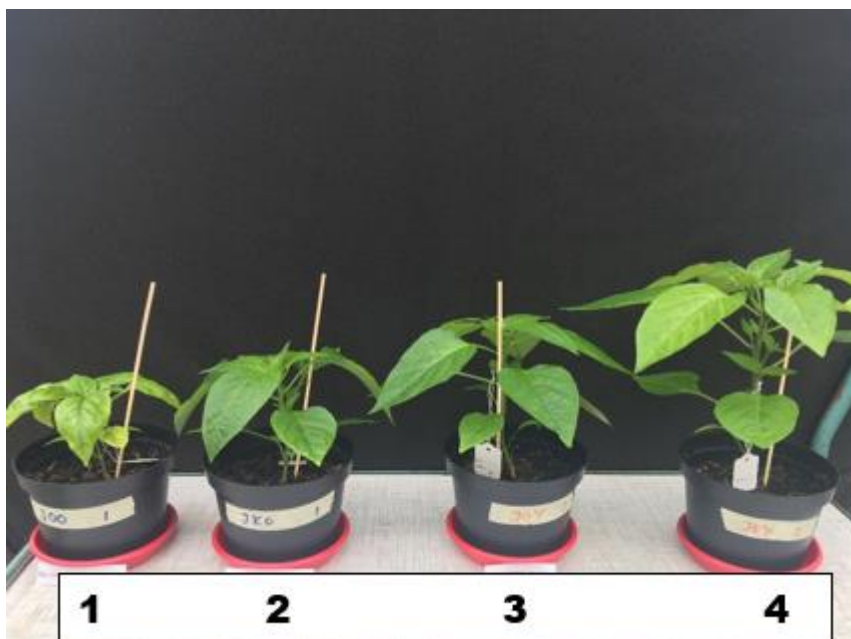
Odlingen gjordes i fyra led där biomullen i samtliga fall var lagrad med 50% torvinblandning från början. Kväveformerna och fosforinnehållet efter 5 veckors inkubation ses i Tabell 1. Det är tydligt att ympningen med nitrifikationsbakterierna har minskat ammoniumhalten och bildat nitrat. Efter drygt halva odlingen stod det klart att de två ympade leden växte bäst, och allra bäst ledet med ympning och kalkning (Fig. 2). Vid försökets slut fanns denna skillnad kvar men två av de andra leden (Ympat ej kalkat och Kalkat men ej ympat) hade nästan kommit i kapp (Tabell 2). De snabbast växande plantorna (BMTY) hade också börjat gulna något, vilket återspeglades i lägre klorofyllhalt. Troligen var det något näringsämne i detta led som inte blev tillgängligt i den takt som den större tillväxten krävde. Detta kunde dock inte avgöras genom växtnäringsanalys (data ej presenterad här).

Tabell 1. Tillgänglig (Spurway mg/L substrat) fosfor (P) och kväve (N) som ammonium och nitrat samt summan av dessa (N_{min}). Behandlingar: 00= ingen kalkning ingen ympning; K0=kalkning ingen ympning; 0Y=ingen kalkning med ympning; KY=kalkning och ympning. Analysen är gjord tre veckor efter kalkningen.

Behandling	N_{min}	NH_4	NO_3	P
00	300	300	1	160
K0	330	330	1	160
0Y	310	260	51	140
KY	320	220	100	140

Tabell 2. Växtparametrar hos minipaprika odlade 6 veckor i olika blandningar av torv och biomull (enl. Tabell 1). Höjd efter 4 veckor, Höjd efter 6 veckor (mm). Friskvikt och torrsvikt vid skörd (g). Klorofyll i bladen efter 4 veckor och efter 6 veckor. Värderna som inte följs av samma bokstav är signifikant skilda från varandra (n=5).

Behandling	Höjd 4	Höjd 6	FV	TV	Kloro 4	Kloro 6
00	85 c	85 b	18 b	0,8 b	11 b	8 b
K0	125 b	169 a	28 a	2,1 a	12 b	21 a
0Y	147 ab	183 a	29 a	2,2 a	17 a	19 a
KY	157 a	201 a	32 a	2,5 a	16 a	10 b



Figur 2. Minipaprika odlad i substrat bestående av torv och biomull 50/50 (v/v). Från vänster: 1. Okalkad ej ympad; 2. Kalkad ej ympad; 3. Ympad med nitrifikationsbakterier ej kalkad; 4. Kalkad och ympad med nitrifikationsbakterier.

Tungmetallupptag i spenat

Tillgängligheten av flera tungmetaller ökar med sjunkande pH varför försöket skulle göras i ett okalkat led med pH runt 5 och ett led kalkat till 5,7. Endast det kalkade ledet gav en vettig uppkomst, så dessa resultat är bara baserade på det kalkade ledet. I Tabell 3. syns gränsvärde uppsatta av SPCR 120 för de sju undersökta metallerna. Medelvärde och aktuella värde (2022) för rötrest från Katrineholm anges som exempel då värdena där låg högre än i rötrest från Jordberga i samtliga fall utom för Hg och Ni. Samtliga värde ligger långt under det satta gränsvärdet för biogödsel. Endast för Cd och Zn kommer de uppmätta värdena upp över 10% av gränsvärdet.

I Tabell 4. Finns de uppmätta värdena i växtdelar och några av EU fastställda gränsvärden. Alla gränsvärde finns dock inte för alla grödor. I inget fall kommer värdet i spenaten upp i närheten av gränsvärdet och i flera fall finns det ingen förhöjning med rötresten jämfört med den gödslade och kalkade torven.

Tabell 3. Gränsvärde enl. SPCR 120 för tungmetaller i biogödsel mg/kg TS. Samt medel för Katrineholm rapporterat av Gasum AB (juni 2019 – maj 2020) och medel för mätningarna i detta projekt våren 22.

Metall	SPCR 120	Medel Katrin.	Vår 22 Katrin.
Cd	1	0.09	0.12
Cr	100	1.6	1.9
Cu	600	32	31
Hg	1	0.03	0.01
Ni	50	2.5	1.6
Pb	100	1.59	3.2
Zn	800	124	175

Tabell 4. Tungmetallkoncentrationer i spenat (mg/kg FV) odlad i biokompost/torv (30% V/V) från Jordberga eller Katrineholm samt i en kontroll bestående av gödslad och kalkad torv. Gränsvärde (mg/kg FV) från livsmedelsverket (EU 1881/2006) om befintligt.

Metall	Torv	Jordb.	Katrin.	Gränsvärde EU	Kommentar gränsvärde
As	0.002	0.001	0.004	0.2	Ris
Cd	0.044	0.044	0.037	0.2	Spenat
Cr	0.006	0.005	0.005		
Cu	0.637	0.447	0.757		
Hg	0.002	0.005	0.002	0.5	Fisk
Ni	0.026	0.016	0.038		
Pb	0.066	0.026	0.024	0.3	Bladgrönt
Zn	9.500	16.867	25.667		

Konklusioner

De frågor och hypoteser som sattes upp kunde i stort sätt besvaras av de utförda försöken. Problem med en av odlingarna gjorde att frågorna om biogödslets inblandningsgrad och möjligheten att blanda det med annat än torv ännu är obesvarade vilket bör kunna utgöra grunden för ett intressant examensarbete eller en ny forskningsstudie.

I övrigt var det tydligt att det går att nitrifiera fast rötrest och sänka ammoniumhalten och pH väsentligt samtidigt som nitrathalten ökar. Luftning av biomullen genom omrörning en gång i veckan gav en effektiv och kontrollerad nitrifiering och med inblandning av torv i processen så minskade kväveförlusterna till noll.

Odling av minipaprika i nitrifierad och kalkad rötrest gick bättre än i de övriga leden. Dock ledde den snabba tillväxten till att något näringsämne troligen levererades för långsamt. En strategi med biomull som substratkomponent och gödsel bör i längre kulturer kombineras med någon övergödsling. En intressant möjlighet att studera i framtiden är att kombinera den fasta rötresten med flytande rötrest som tilläggsgödsling.

Ingen tungmetall fanns i rötresten i alarmerande koncentration och inga värden uppmättes i spenatblad som var i närheten av uppsatta gränsvärden för tungmetaller i livsmedel.

Referenser

Asp H. 2023. Modifiering av biogödsel för ökad användning i krukodling och för minskad torvanvändning. LTV-fakultetens faktablad. 2023:6.

Asp H. Bergstrand K.-J. Caspersen S. och Hultberg M. 2022. Anaerobic digestate as peat substitute and fertiliser in pot production of basil. Biological Agriculture and Horticulture.

<https://www.tandfonline.com/action/showCitFormats?doi=10.1080/01448765.2022.2064232>

Bergstrand K.-J. Asp H. och Hultberg M. 2020. Utilizing anaerobic digestate as nutrient solutions in hydroponic production systems. Sustainability 12(23) 10076, <https://doi.org/10.3390/su122310076>

Caspersen S. Olsson C. och Asp H. 2023. Nutrient challenges with solid-phase anaerobic digestate as a peat substitute – storage decreased ammonium toxicity but increased phosphorus availability. Waste management 165, 128-139. <https://www.sciencedirect.com/journal/waste-management/vol/165/suppl/C>

Fascella G. (2015). Growing Substrates Alternative to Peat for Ornamental Plants. In Soilless Culture - Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops. Intec open. <http://dx.doi.org/10.5772/59596>

LRF Trädgårdsdelegation. (2018). Konkurrenskraft Trädgård, En kartläggning av trädgårdsnärings forskningsbehov 2018-2024. Utkast diskuterad med LRF Trädgård den 26 juli 2018, SLU Alnarp.

Pelayo Lind O. Hultberg M. Bergstrand K.-J. Larsson Jönsson H. Caspersen S. Asp H. 2020. Biogas digestate in vegetable hydroponic production: pH dynamics and pH management by controlled nitrification. Waste and Biomass Valorization 12(1), 123-133. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-00965-y>

20230530 Håkan Asp