



Strimsådd av ekologiska radodlade grödor i utvintrande mellangrödor - för ogräskontroll och ökad kolinlagring

Strip-till establishment of organic row crops in
withered cover crops - for weed control and
increased carbon sequestration

David Hansson, Thomas Prade och Sven-Erik Svensson

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgård och växtproduktionsvetenskap
Landskapsarkitektur, trädgård, växtproduktionsvetenskap: rapportserie
Rapport 2024:13
Alnarp 2024



Strimsådd av ekologiska radodlade grödor i utvintrande mellangrödor - för ogräskontroll och ökad kolinlagring

Strip-till establishment of organic row crops in withered cover crops - for weed control and increased carbon sequestration

David Hansson, Thomas Prade och Sven-Erik Svensson, Sveriges lantbruksuniversitet,
Institutionen för biosystem och teknologi

Utgivare:	Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet
Utgivningsår:	2024
Utgivningsort:	Alnarp
Omslagsbild:	Mellangrödor hösten 2022 i Alnarp inför strimsådd av majs våren 2023. Foto: David Hansson.
Upphovsrätt:	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel:	Landskapsarkitektur, trädgård, växtproduktionsvetenskap: Rapportserie
Delnummer i serien:	2024:13
ISBN (elektronisk version):	978-91-8046-939-5
Nyckelord:	Biomassaavkastning, Jordprofil, Markkolsbidrag, Mineralkväve, Kväveläckage, Ogräs, Ogräsbekämpning, Doftklöver, Bovete, Havre, Honungsört, Oljerättika, Samodling
Bibliografisk referens:	Hansson, D., Prade, T., Svensson, S-E. Strimsådd av ekologiska radodlade grödor i utvintrande mellangrödor - för ogräskontroll och ökad kolinlagring. (Landskapsarkitektur, trädgård, växtproduktionsvetenskap: rapportserie 2024:13). Alnarp: Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet.
Orcid:	David Hansson, https://orcid.org/0000-0003-1266-6996 Thomas Prade, https://orcid.org/0000-0002-2379-1306 Sven-Erik Svensson, https://orcid.org/0000-0002-7648-6823
DOI:	https://doi.org/10.54612/a.gecc7r04im

© 2024 (Hansson, David; Prade, Thomas; Svensson, Sven-Erik)

Detta verk är licenserat under CC-BY-NC 4.0

Innehåll

Förord.....	4
Sammanfattning	4
Summary	7
Inledning	10
Projektets bakgrund.....	10
Litteraturgenomgång.....	11
Sammanfattande resultat från ett tidigare strimsådd-projekt	14
Material och metod	17
Resultat och diskussion.....	21
Mellangrödornas ogräseffekt och majsskörd – Alnarp	21
Mellangrödornas ogräseffekt och lövskörd – Skepparslöv	23
Kväve i jordprofilen efter mellangrödor – Alnarp	27
Kväve i jordprofilen efter mellangrödor – Skepparslöv.....	29
Biomassaavkastningen av mellangrödorna	31
Markkolsbidrag från mellangrödorna.....	32
Kväveupptag i mellangrödorna	33
Ekonomisk analys för mellangrödorna.....	34
Diskussion om markkoleffekt och markkolskostnader.....	35
Mellangrödornas potential för produktion av biogas och biogödsel.....	37
Mellangrödornas potential för reduktion av klimatgaser	37
Referenser	39

Förord

Denna rapport är slutredovisningen av projektet ”Ekologiska radodlade grödor strimsås i utvintrande mellangrödor för ogräskontroll och kolinlagring”. Projektet har finansierats med hjälp av medel från Jordbruksverket inom ramen för den svenska livsmedelsstrategin. I detta projekt, som genomfördes under 2022-2023, undersöktes huvudgrödorna lök på Helgegården vid Skepparslöv, Kristianstad, i samarbete med Hushållningssällskapet Skåne, samt majs på Alnarp i samarbete med SITES Lönnstorp Forskningsstation, SLU Alnarp.

Vi vill rikta ett stort tack till fältförsöksledare Fredrik Persson, och hans medarbetare, vid Hushållningssällskapet Skåne, som har haft det praktiska ansvaret för att utföra försöket som genomfördes vid Skepparslöv. Vidare vill vi tacka Erik Rasmusson, och hans medarbetare, på SITES Lönnstorp Forskningsstation, SLU Alnarp, som har haft det praktiska ansvaret för att utföra försöket på Alnarp.

I ett tidigare projekt ”Strimsådd av ekologiska specialgrödor i utvintrande mellangrödor”, som finansierades av SLU Ekoforsk, under 2020-2022, undersöktes även huvudgrödan rödbeta, parallellt med lök och majs (Hansson *et al.*, 2023). Resultat från detta tidigare projekt sammanfattas översiktligt i denna rapportens litteraturgenomgång.

Sammanfattning

I fältförsök på Alnarp och på Skepparslöv undersöktes i ett strimsådd-system, flera utvintrande sommarmellangrödors effekt på ogräsförekomsten, biomassaavkastningen, markkolsbidraget, kvävedynamiken i jordprofilen samt skörden av huvudgrödorna majs och lök under 2022-2023.

Odlingssystemet med strimsådd av ekologiska radodlade grödor, som studerats i detta projekt, innebär att man efter plöjning på sensommaren, för ev. rotoöräsbekämpning och luckring av jorden, sår olika ”frostkänsliga” sommarmellangrödor i juli-september. Biomassan från mellangrödan vissnar ner eller fryser bort under vintern och får stå kvar på fältet till våren. På våren etableras en ny huvudgröda i sommarmellangrödans växtrester efter att ”såstrimmar” hackats fram i mellangrödan, d.v.s. huvudgrödan etableras i ett ”strip-till-system”, ungefär som i ett Conservation Agriculture koncept. Efter etablering av huvudgrödan, i detta projekt sådd lök respektive sådd majs, så kan frögräsen kontrolleras genom mekaniska (radhackning), termiska (flamning) och manuella ogräsbekämpningsmetoder under växtsäsongen.

Resultaten från projektet visade att sommarmellangrödorna minskar ogräsets marktäckningsgrad jämfört med odling utan mellangröda. De mest effektiva mellangrödorna för ogräshämning på hösten var samodlade; honungssört och doftklöver (f.d. Persisk klöver) samt oljerättika och doftklöver. Honungssört i renbestånd hade också en mycket bra ogräshämmande effekt. Dessa mellangrödor resulterade i en marktäckningsgrad hos ogräset på endast ca 3 %. Andra mellangrödor i försöket resulterade i en något högre marktäckningsgrad hos ogräset, ca 6 %.

När det gäller mellangrödornas marktäckningsgrad på hösten, så hade honungssört i renbestånd den högsta täckningen, med 46 %. När honungssört samodlades med doftklöver minskade marktäckningen till 34 %. Havre, både i renbestånd och i samodling med doftklöver, hade en betydligt lägre marktäckningsgrad på ca 6 %, trots det var deras ogräskonkurrerande egenskaper relativt goda. Annars brukar mellangrödor med låg

marktäckningsgrad resultera i dålig ogräskonkurrens. (Hansson *et al.*, 2017, Hansson *et al.*, 2021 och Hansson *et al.*, 2023).

I lökraden våren därpå var ogräsförekomsten lägre i flera av de strimsådda leden, med de utvintrande mellangrödorna, jämfört med det vårplöjda ledet utan mellangröda. Den lägsta ogräsvikten och lägst antal ogräs fanns i ledet med havre som mellangröda. Löskörden var högst i det vårplöjda ledet utan mellangröda (53 ton/ha), följt av strimsådd med havre 48 ton/ha och vårplöjd honungsört 46 ton/ha. Strimsådd-systemet gav i flera led jämförbara löskördar med de vårplöjda leden, vilket bekräftar våra tidigare försök där strimsådd visat sig vara effektiv för lökodling (Hansson *et al.*, 2023).

Skörden av majs, som helplanta, varierade beroende på vilket odlingsystem, strimsådd eller vårplöjning, som den odlades i. I de vårplöjda leden, både med och utan mellangrödan honungsört, var skörden högre ca 21 ton ts per ha, jämfört med strimsådd-systemet där skörden låg mellan 9,7 och 11,4 ton ts per ha. Försöken visar att utvintrande mellangrödor kan bidra till effektiv ogräsbekämpning, men att val av odlingsystem, som strimsådd eller plöjning, påverkar både ogräsförekomst och huvudgrödornas skörd i stor utsträckning.

Studien undersökte även mängden mineraliserat kväve (N-min) i jordprofilen i Alnarp och i Skepparslöv efter odling av de utvintrande mellangrödorna. I Alnarp fanns, i december 2022, ingen signifikant skillnad i mängden N-min (19 - 21 kg N per ha) mellan de olika försöksleden på 0–60 cm djup. I maj 2023 hade det vårplöjda ledet med honungsört en stor mängd lättlösligt nitratkväve (38 kg NO₃-N per ha). Ledet med strimsådd havre hade endast 17 kg NO₃-N per ha. Mätningarna visar att mellangrödorna ledde till en ökning av N-min i markprofilen från december 2022 till maj 2023. I det plöjda systemet med honungsört ökade N-min med ca 24 kg per ha, medan i strimsådd-systemet med honungsört respektive oljerättika, så ökade N-min med ca 14 kg per ha. Ökning av N-min marken från höst till vår kan sättas i relation till kväveinnehållet i honungsörten. I slutet av november 2022 innehöll honungsörten ca 42 kg/ha (i rötter, stubb och den skördbara ovanjordiska biomassan).

I Skepparslöv var mängden N-min, i december 2022, högre i leden utan mellangröda än i de med mellangrödor, både på 0–60 cm och ner till 90 cm djup. I ledet utan mellangröda fanns det ca 30 kg N-min per ha i jordprofilen (0–60 cm), jämfört med ca 18 kg N-min per ha där mellangrödor odlades. Vid provtagningen i mars 2023 fanns det inga signifikanta skillnader i mängden N-min mellan de olika försöksleden (28–30 kg N per ha) vid provdjupet 0–60 cm. Ökningen i N-min från december 2022 till mars 2023 var större i alla led med mellangrödor jämfört med det vårplöjda ledet utan mellangröda. Ökning av N-min marken från höst till vår kan sättas i relation till kväveinnehållen i mellangrödorna. I slutet av november 2022 innehöll mellangrödorna, med betydligt mer biomassa jämfört med Alnarp, från 43 till 170 kg kväve per ha.

Biomassan från de utvintrande mellangrödorna bidrog till en ökning av N-min från hösten 2022 till våren 2023, i både Alnarp och Skepparslöv. Detta tyder på att mellangrödor kan ha en positiv inverkan på kväveinnehållet i jordprofilen till efterföljande huvudgröda, men också ge en ökad risk för kväveutlakning och lustgasavgång, speciellt om den gröna ovanjordiska biomassan utsätts för flera cykler med omväxlade frysning och upptining under vintern.

Słomka & Pawłowska (2024) menar att risken för lustgasutsläpp kan minska med ca 50 % om mellangrödorna istället skördas på hösten, med metoder som inte packar marken och om resterna från eventuell rötning av mellangrödorna återförs till åkermark. Vidare menar Blanco-Canqui *et al.* (2020) att skörd av mellangrödor till foder eller biogasproduktion kan

bli viktiga ekosystemtjänster framöver. Om stubbhöjden på mellangrödan sätts till 7,5-10 cm, så påverkas varken skörden av nästa huvudgröda, markegenskaperna eller ogräsbekämpningseffekten negativt.

Skulle mellangrödorna i detta projekt skördas som biogassubstrat, med en skörd på 1 ton TS per ha, som uppnåddes i försöket på Skepparslöv, så uppskattas metanproduktionen kunna bli ca 300 m³ CH₄ per ha, motsvarande energiinnehållet i 300 liter dieselolja. I våra tidigare projekt har vi uppnått betydligt högre mängd skördbar biomassa, ca 6 ton ts per ha i mitten av september och ca 4 ton ts per ha i mitten av oktober (Prade *et al.*, 2022). Den skördbara biomassan från dessa mellangrödor skulle generera i 1800 resp. 1200 m³ CH₄ per ha. Även Lorin & Kårlin (2024) och Gustafsson (2024) rapporterar betydligt större mängd biomassa för ogrödslad oljerättika, ca 3 ton ts per ha, vid tidig sådd.

En överslagsmässig kolbalansberäkning för oljerättika, med 1 ton ts per ha, visar att det är ca 2,6 gånger bättre ur klimatgassynpunkt, att skörda denna sommarmellangröda som biogasråvara, för att producera biometan och biogödsel, jämfört med att låta oljerättikans biomassa vissna ner under vintern, och på så sätt maximera erosions skyddet. En stor del av denna positiva klimateffekt beror på att biometan ersätter fossil diesel och att biogödseln ersätter mineralgödsel.

Mellangrödorna kan, som tidigare nämnts, också innehålla stora mängder kväve i den ovanjordiska biomassan, från 43-170 kg kväve per ha (Skepparslöv). Används mellangrödorna som biogassubstrat kan större delen av detta kväve och övriga växtnäringssämnen i den ovanjordiska biomassan överföras till en ny huvudgröda, följande växtsäsong, med den biogödsel som mellangrödorna producerar.

Med rätt val av mellangröda, t.ex. oljerättika i renbestånd eller samodlad med doftklöver, kunde en markkolseffekt på 145-160 kg stabilt kol (C) per ha uppnås, dock bara i försöken på Skepparslöv. Resultatet ligger på samma nivå som andra studier med en liknade så- och provtagningstidpunkt, där 90-200 kg stabilt C per ha uppnåddes (Hansson *et al.*, 2023; Hansson *et al.*, 2021; Prade *et al.*, 2022). Markkolseffekten från försöksplatsen i Alnarp var dock betydligt lägre än förväntat, med ett markkolstillskott, i flera fall tydligt, under 100 kg stabilt C per ha.

För mellangrödorna som levererade mer än 130 kg stabilt C per ha var kolinlagringskostnaden utan stöd inräknat 15,2-17,9 kr/kg stabilt kol, eller 4,1-4,9 kr/kg CO₂ som bundits i marken, dvs i samma nivå jämfört med en tidigare studie (Hansson *et al.*, 2023). De högre maskinkostnaderna för odling av mellangrödan jämfört med den tidigare studien komparerades delvis genom högre tillskott av stabilt kol till marken, i den här studien. Med stödet på 1300 kr/ha för mellangrödor inräknat, blev kolinlagringskostnaden 7,2-27,6 kr/kg stabilt kol, eller 2,0-7,5 kr/kg CO₂ som bundits i marken. Kostnaderna för kolinlagring i marken via mellangrödor ligger därmed i samma nivå eller högre jämfört med koldioxidskatten som för närvarande ligger på 1,15 kr/kg CO₂.

Utöver det så kan kolinlagringen även bidra till ökade skördar, minskat växtnäringbehov och en fortsatt hög eller ökad markbördighet, vilket ger ekonomiska fördelar. Spannmålsdominerade växtföljder, vilka är vanligt förekommande på Götalands södra och norra slättbygder (Björnsson *et al.*, 2016), bidrar med relativt små mängder rotbiomassa, vilket kan leda till en kontinuerlig reduktion av markens mullhalt. Eftersom en hög och bibehållen bördighet är en grundförutsättning för hållbar livsmedelsproduktion, så är odling av mellangrödor en mycket viktig åtgärd för att öka inflödet av organiskt kol i marken.

Summary

In field experiments, in the south of Sweden, at Alnarp and Skepparslöv, during 2022-2023, the effect of several “frost-sensitive” summer cover crops was investigated within a strip-till cropping system. The study focused on the cover crops weed suppression, biomass yield, soil carbon sequestration, nitrogen dynamics within the soil profile, and the yield of the main crops, corn and onion, grown the next year.

The cropping system involving strip-till of organic row crops, studied in this project, involves sowing various “frost-sensitive” summer cover crops in July to September, after ploughing the land before sowing the cover crops. The ploughing is done to manage potential perennial weeds and to loosen the soil. The biomass from the cover crops either withers or freezes during the winter and remains in the field until next spring. In the spring, a new main crop is established within the plant residues of the summer cover crop, after “sowing strips” have been done with a row hoe, in the dead cover crop. This means that the main crop is established in a “strip-till system,” similar to a Conservation Agriculture approach. Following the establishment of the main crop, which in this project involved sowing onions and maize, seed propagated weeds can be controlled during the growing season using mechanical (row hoe), thermal (flaming) and manual weeding methods.

The results from the project showed that the summer cover crops reduce the weeds compared to cultivation without cover crops. The most effective cover crops for fall weed suppression were intercropped; Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) with Persian clover (*Trifolium resupinatum*) as well as oil radish (*Raphanus sativus*) with Persian clover. Phacelia in pure stand also had a very good weed-control effect. These cover crops resulted in a weed cover of approx. 3%. Other cover crops in the experiment resulted in a slightly higher degree of weed cover, approx. 6%.

Regarding the ground coverage of the cover crops in the fall, phacelia in pure stands had the highest coverage, with 46%. When phacelia was intercropped with Persian clover, ground cover was reduced to 34%. Oats, both in pure stands and in co-cultivation with Persian clover, had a significantly lower ground coverage rate of about 6%, despite that their weed competitive properties were relatively good. Otherwise, cover crops with low ground coverage usually result in low weed competition. (Hansson *et al.*, 2017, Hansson *et al.*, 2021 and Hansson *et al.*, 2023).

In the onion row, the following spring, the weed control effect was higher in several of the “frost-sensitive” summer cover crops, compared to a treatment that was spring-ploughed and without any cover crop the autumn before. The lowest weed weight and lowest number of weeds per m² were found in the row of onions, with oats as cover crop the autumn before. The onion yield was highest in the spring-ploughed treatment without a cover crop (53 tonnes/ha), followed by strip-till in frost-sensitives oats (48 tonnes/ha) and spring-ploughed phacelia (46 tonnes/ha). The strip-till system gave comparable onion yields to the spring-ploughed systems with and without cover crops, which confirms our previous experiments where strip-till proved to be effective for onion cultivation (Hansson *et al.*, 2023).

The yield of maize, as a whole plant, varied according to the cropping system, strip-till or spring ploughing, in which it was grown. In the spring ploughed systems, both with and without the cover crop phacelia, the yield was higher by about 21 tonnes DM (dry matter) per ha, compared to the strip-till system where the yield was between 9.7 and 11.4 tonnes DM per ha. The trials show that frost sensitive (not overwintering) cover crops can contribute to

effective weed control, but that the choice of cropping system, such as strip-till or ploughing, affects both the presence of weeds and the yield of the main crops to a large extent.

The study also investigated the amount of mineralized nitrogen (N-min) in the soil profile in Alnarp and in Skepparslöv after cultivation of the frost sensitive cover crops. In Alnarp, in December 2022, there was no significant difference in the amount of N-min (19 - 21 kg N per ha) between the different experimental treatments at a depth of 0–60 cm. In May 2023, the spring-ploughed phacelia had a high amount of nitrate nitrogen (38 kg NO₃-N per ha). The treatment with the cover crop oats had only 17 kg NO₃-N per ha. The measurements show that the cover crops led to an increase in N-min in the soil profile from December 2022 to May 2023. In the ploughed system with phacelia, N-min increased by approx. 24 kg per ha, while in the strip-till system with phacelia and oil radish, N-min increased with approx. 14 kg per ha. Increase in N-min in the soil from autumn to spring can be put in relation to the nitrogen content of the phacelia. At the end of November 2022, it contained about 42 kg/ha (in roots, stubble and the harvestable above-ground biomass).

In Skepparslöv, the amount of N-min in December 2022, was higher in the treatment without any cover crop than in those with cover crops, both at 0–60 cm and down to 90 cm depth. In the treatment without a cover crop, there was approx. 30 kg N-min per ha in the soil profile (0–60 cm), compared to approx. 18 kg N-min per ha where cover crops were grown. At the sampling in March 2023, there were no significant differences in the amount of N-min between the different experimental treatments (28–30 kg N per ha) at the sampling depth of 0–60 cm. The increase in N-min from December 2022 to March 2023 was greater in all treatments with cover crops compared to the spring ploughed system without any cover crop. Increase in N-min in the soil from autumn to spring can be put in relation to the nitrogen content of the cover crops. At the end of November 2022, the cover crops, with significantly more biomass in Skepparslöv compared to Alnarp, contained from 43 to 170 kg of nitrogen per ha.

The biomass from the frost sensitive cover crops contributed to an increase in N-min from autumn 2022 to spring 2023, in both Alnarp and Skepparslöv. This suggests that cover crops can have a positive impact on the nitrogen content of the soil profile, to the subsequent main crop, but also give an increased risk of nitrogen leaching and nitrous oxide emissions, especially if the green aboveground biomass is exposed to several cycles of alternating freezing and thawing during the winter.

Słomka & Pawłowska (2024) consider that the risk of nitrous oxide emissions can be reduced by approx. 50% if the cover crops are harvested in the autumn, using methods that do not compact the soil and if the residues from the cover crops are returned to arable land after anaerobic digestion. Furthermore, Blanco-Canqui *et al.* (2020) consider that harvesting cover crops for fodder or biogas production may become important ecosystem services in the future. If the stubble height of the cover crop is set to 7.5-10 cm, then neither the yield of the next main crop, the soil properties nor the weed control effect are negatively affected.

If the cover crops were harvested as biogas substrate, with a yield of 1 tons of DM per ha, which was achieved in the experiment at Skepparslöv, it is estimated that the methane production could be approx. 300 m³ CH₄ per ha, corresponding to the energy content of 300 litres of diesel oil.

In our previous projects, we have achieved a significantly higher amount of harvestable biomass, approx. 6 tons DM per ha in mid-September and approx. 4 tons DM per ha in mid-

October (Prade *et al.*, 2022). The harvestable biomass from these cover crops would generate in 1800 resp. 1200 m³ CH₄ per ha. Lorin & Kårlin, (2024) also report a significantly larger amount of biomass for unfertilized oil radish, approx. 3 tons DM per ha.

A carbon balance calculation for oil radish, with 1 ton DM per ha, shows that it is about 2.6 times better from a climate gas point of view, to harvest this summer cover crop as biogas substrate, to produce bio methane and biodigestate, compared to letting the oil radish biomass wither down during the winter, and thus maximize erosion protection. A large part of this positive climate effect is due to bio methane replacing fossil diesel and the bio-digestate replacing mineral fertiliser.

As previously mentioned, the cover crops can also contain large amounts of nitrogen in the above-ground biomass, from 43-170 kg of nitrogen per ha (Skepparslöv). If the cover crops are used as a biogas substrate, most of this nitrogen and other plant nutrients in the aboveground biomass can be transferred to a new main crop, the following growing season, with the biodigestate from the cover crops.

With the right choice of cover crop, e.g. oil radish in pure stands or co-cultivated with Persian clover, a soil carbon effect of 145-160 kg stable carbon (C) per ha could be achieved, however only in the experiment at Skepparslöv. The result is on the same level as other studies with a similar sowing and sampling time, where 90-200 kg stable C per ha was achieved (Hansson *et al.*, 2023; Hansson *et al.*, 2021; Prade *et al.*, 2022). However, the soil carbon effect from the experimental site in Alnarp was significantly lower than expected, with a soil carbon contribution, in several cases clearly, below 100 kg stable C per ha.

For the cover crops that gave more than 130 kg of stable C per ha, the carbon sequestration cost, without economical support included, is calculated to 15.2-17.9 SEK/kg stable carbon, or 4.1-4.9 SEK/kg CO₂ bound in the soil, i.e. in the same level compared to a previous study (Hansson *et al.*, 2023). The higher machinery costs of growing the cover crop compared to the previous study were partly offset by higher sequestration of stable carbon to the soil, in this study. With the support of 1300 SEK/ha for cover crops included, the carbon storage cost was 7.2-27.6 SEK/kg stable carbon, or 2.0-7.5 SEK/kg CO₂ bound in the soil. The costs for carbon sequestration in the ground via cover crops are thus at the same level or higher compared to the carbon dioxide tax, which is currently 1.15 SEK/kg CO₂.

In addition to that, carbon sequestration can also contribute to increased harvests, reduced plant nutrient requirements and a continued high or increased soil fertility, which provides economic benefits. Cereal-dominated crop rotations, which are common in the south of Sweden (Björnsson *et al.*, 2016), contribute relatively small amounts of root biomass, which can lead to a continuous reduction of the soil's humus content. Since high and maintained soil fertility is a basic requirement for sustainable food production, the cultivation of cover crops is a very important measure to increase the influx of organic carbon into the soil.

Inledning

I denna rapport redovisas projektet ”Ekologiska radodlade grödor strimsås i utvintrande mellangrödor för ogräskontroll och kolinlagring”. Projektet har finansierats med hjälp av medel från Jordbruksverket inom ramen för den svenska livsmedelsstrategin.

Projektets bakgrund

Målet med projektet var att utveckla ett odlingssystem för strimsådd av radsådda specialgrödor, i ekologisk produktion, där huvudgrödor sås i nedvissnade sommarmellangrödor med syfte att få; lågt ogrästryck, säker etablering i vindutsatta områden, god markvård så att markens innehåll av kol och näringsämnen inte påverkas negativt samt att bibehålla en god ekonomi för odlaren.

Odlingssystemet som studerades innebar att det såddes en ”frostkänslig” sommarmellangröda efter skörd av en relativt tidigt skördad huvudgröda. Mellangrödan bredsåddes i mitten till slutet av augusti. Biomassan från mellangrödan stod kvar på fältet över vintern. Nästa huvudgröda såddes efter att ”såstrimmor” hade hackats fram på våren i de nedvissnade mellangrödorna.

Ogräset kontrollerades i huvudgrödan i en kombination av mekaniska, termiska och manuella metoder. Odlingssystemet med strimsådd som tillämpades i projektet bygger i stor utsträckning på "Conservation Agriculture" (FAO, 2019) där man i flera olika slags huvudgrödor tillämpar minimerad jordbearbetning och sådd i växtrester från olika mellangrödor.

Detta projekt pågick från sensommaren 2022 till senhösten 2023 och där utvärderades ogräsbekämpningseffekten, markkoluppbyggnaden, kvävedynamiken i odlingssystemet med huvudgrödorna lök och majs i de utvintrande sommarmellangrödorna oljerättika, honungsort, havre, bovete och doftklöver. Detta utvärderades i 8 försöksled inför sådd av lök (Skepparslöv) och 9 försöksled inför sådd av majs (Alnarp).

I framtiden förväntar vi oss att odlingssystem med strimsådd kommer att minska klimatpåverkan via minskade koldioxidutsläpp från jordbearbetning, ökad markkolsinlagring från mellangrödornas rötter samt genom möjligheten att skörda mellangrödorna under senhösten som substrat för produktion av ekologisk biogödsel samt biogas (t.ex. för generering av el och värme eller som biodrivmedel).

Litteraturgenomgång

Odlingssystem som strimsådd eller strip-till, där endast en liten del av markytan bearbetas inför etableringen av en huvudgröda, ofta med radavstånd på 25-75 cm, kan betraktas som en modifiering av direktsådd och är nära kopplat till begreppet Conservation Agriculture (CA). Direktsådd innebär att utsädet placeras i obearbetad jord, utan att först skapa en traditionell såbädd. En mycket grund jordbearbetning, på högst 1 cm och grundare än sådjupet, kan dock tillåtas för att jämna ut skörderester eller skapa en falsk såbädd mot fröogräs, samtidigt som metoden fortfarande kan klassificeras som direktsådd. Jämfört med jordbearbetning av hela markytan, för att skapa en traditionell såbädd, så ger systemet med strimsådd flera fördelar, t.ex. förbättrade markegenskaper och ökad biologisk mångfald. Strimsådd kan minska kostnaderna för etablering av grödor och har en potential för att minska bränsleförbrukningen och öka arbetseffektiviteten (Morris *et al.*, 2010).

Strimsådd eller strip-till har testats i sockerbetsodling i Danmark av NBR (Nordic Beet Research) (Nielsen 2022) och används i praktiken i Sverige i flera grödor, bland annat i lök, sockerbetor och majs, t.ex. i Kristianstadsområdet (Niléhn, 2016). Enligt Nielsen (2022) så fungerar metoden bra på lätta jordar, men odlingssäkerheten är inte lika bra på lerjordar. Idag används konceptet i delar av Tyskland under beteckningen "Schlitz-sat". Projekten vid NBR, inom strip-till-området, har under senare år varit inriktade på att optimera etableringsmetoden för sockerbetor på lerjord. Man har lyckats öka odlingssäkerheten avsevärt genom att flytta huvuddelen av jordbearbetningsinsatserna till sensommaren d.v.s. hösten före etableringen av huvudgrödan sockerbetor, eftersom lerjorden normalt är torrare på sensommaren än på våren. Strip-till-systemet kräver speciella maskiner och i princip lika många överfarer som vid traditionell sådd. På grund av detta krävs flera positiva effekter från systemet för att det skall kunna rekommenderas (Nielsen, 2022).

Ett annat utmanande problem i odlingssystem med stora radavstånd är vinderosion på sandiga jordar under vår och försommar. Vinderosionen leder till att många grödor blir allvarligt skadade eller förstörda (Chaput, 1998). Enligt Olsen & Dubgaard (2008) finns problem med vinderosion främst där man tillämpar traditionell såbäddsberedning, p.g.a. att den leder till att jorden torkar ut. Här kan starka vindar orsaka erosion innan grödan skyddar jordytan. I sådana fall kan resterna från utvintrande sommarmellangrödor ge ett skydd mot vinderosion (Chaput, 1998). En lösning på problem med vinderosion kan vara etablering av grödor i ett strip-till-system med nedvissnade sommarmellangrödor enligt Yorgey & McGuire (2018).

Mellangrödor, såsom senap, baljväxter och spannmål, har visat sig ge flera viktiga ekosystemtjänster i odlingen t.ex. kolbindning i marken och förbättrad jordkvalitet, ökad mängd markkväve, ogräsbekämpning, minskad nematodförekomst och substrat för biogasproduktion (Peoples *et al.*, 1995; Wang *et al.*, 2008; Blanco-Canqui *et al.*, 2015; Poeplau & Don, 2015; Garland *et al.*, 2021; Aronsson *et al.*, 2023; Słomka & Pawłowska, 2024).

Enligt Dabney *et al.* (2001) förbättrar mellangrödor markens egenskaper genom att förändra dess biologiska, kemiska och fysikaliska egenskaper. Detta visar sig i form av ökad mullhalt, förbättrad katjonbyteskapacitet, bättre aggregatstabilitet och ökad vatteninfiltration. Dabney *et al.* (2010) beskriver hur mellangrödor bevarar kväve och hur olika arter av mellangrödor förbättrar kvävehushållningen i odlingssystem. Hallama *et al.* (2019) visade att sommar-mellangrödor har potential att öka upptaget av fosfor via mykorrhiza, vilket leder till ökad avkastning i efterföljande grödor. Hoepting (2019) fick positiva effekter vad gäller tillförseln av kväve och kalium när lök odlades i ett strip-till-system, med vitsenap som mellangröda inför etableringen av löken.

I en studie där förändringar av matjordens kolhalt undersöktes, visade Kätterer *et al.* (2011) att markolsbidraget från rötter för att ge stabilt markkol, var ca 2,3 gånger bättre jämfört med skörderester från ovanjordisk biomassa. Enligt Blanco-Canqui *et al.* (2015), Hansson *et al.* (2021) och Prade *et al.* (2022) kan det årliga markkolsbidraget från mellangrödorna ligga i intervallet 100-1000 kg stabilt kol per hektar, beroende på storleken på mellangrödans biomassa.

Mellangrödor och reducerad jordbearbetning kan resultera i bibehållen skörd och ökad motståndskraft mot klimatförändringar, genom att öka markens mullhalt (Schmidt *et al.*, 2018). Enligt Blanco-Canqui *et al.* (2020) kan skörd av mellangrödor till foder eller biogasproduktion bli viktiga ekosystemtjänster i framtiden. Om stubbhöjden på mellangrödan efter skörden är 7,5-10 cm, påverkas inte markegenskaperna, ogräsbekämpningseffekten och skörden i nästa huvudgröda negativt.

Thorup-Kristensen (1994) studerade tio mellangrödor, både en- och två-hjärtbladiga (baljväxter och icke-baljväxter), som antingen var övervintrande eller utvintrande. Studien visade att mellangrödornas förmåga att minska jordens mineralkväve var beroende av både rotdjup och grödornas förmåga att överleva låga temperaturer. Frostkänsliga mellangrödor var mer benägna att laka ut mineraliserat växtkväve jämfört med övervintrande mellangrödor. Mellangrödornas effekt på kväveupptaget i den nya huvudgrödan (vårkorn) varierade från 13 till 66 kg/ha.

Olofsson och Ernfors (2022) menar att färsk biomassa som tillförs marken på senhösten eller vintern kan vara en riskfaktor för utsläpp av lustgas (N₂O) under våta markförhållanden. Denna risk ökar om biomassan utsätts för upprepade frysnings- och upptiningscykler. De mätte utsläpp av lustgas från tre sommarmellangrödor – oljerättika (*Raphanus sativus* var. *oleiformis*), honungsört (*Phacelia tanacetifolia*) och havre (*Avena sativa*) – under ca 6 veckor vintern 2020-2021, på SITES Lönnstorps försöksstation. Lustgasmätningarna utfördes i ett försök med strimsådd av ekologiska radodlade grödor i utvintrande mellangrödor. Alla tre mellangrödorna var frostkänsliga och dog och de vissnade ner under försöksperioden. Mellangrödorna ökade lustgasutsläppen, i förhållande till kontroller som plöjdes på hösten, med 1,8, 0,7 respektive 0,6 kg N₂O per ha för oljerättika, honungsört respektive havre. Dessa mängder lustgas (N₂O) motsvarar ca 480, 190 respektive 160 kg CO₂-ekv per ha, för de tre sommarmellangrödorna.

Shelton *et al.* (2018) visar att vintermellangrödorna, luddvicker och höstvet i renbestånd och i samodling, minskar kväveläckaget samt att utsläpp av växthusgaser minskar, i både ekologiska och konventionella odlingsystem, och därigenom förbättras kvävehushållningen.

Launay *et al.* (2022) har undersökt potentialen i att använda energimellangrödor, ”energy cover crops”, för biogasproduktion istället för traditionella jordbruksgrödor. Mellangrödor kan producera betydande mängder biomassa utan att konkurrera med livsmedelsgrödor med avseende på markanvändningen. Genom att intensifiera odlingen av mellangrödor kan biomassaproduktionen öka med upp till tre gånger per hektar och år. Launay *et al.* påpekar att kvävet i mellangrödorna bevaras bättre inom biogassystemet och blir även mer tillgängligt för efterföljande huvudgrödor, jämfört med om kvävet skulle kvarhållas i mellangrödornas biomassa under vintern. Även om 40–80 % av mellangrödornas kolinnehåll omvandlas till biogas, bidrar rötter och stubb från mellangrödorna, samt stabiliseringen av kol under den anaeroba nedbrytningen i röt-kammaren, till en markkolsinbindning av samma storleksordning som om mellangrödorna hade lämnats oskördade på fältet. Utöver dessa fördelar ger de intensivt odlade energimellangrödorna, även andra ekosystemtjänster, såsom minskat

nitratläckage, ökad mikrobiell aktivitet samt förbättrade fysikaliska egenskaper i marken genom rotsystemet.

Słomka & Pawłowska (2024), som bland annat refererar till Herbstritt *et al.* (2022) och Szerencsits *et al.* (2015), framhåller att användningen av vintermellangrödan höstråg som energiråvara för biogasproduktion, eller som foder, är fördelaktig ur ett klimatperspektiv. Detta beror på att det totala koldioxidavtrycket minskar i det förändrade odlingssystemet. De påpekar vidare att om mellangrödor skördas med metoder som inte packar marken och om rötresterna från den skördade mellangrödan återförs till åkermark, uppstår flera fördelar. Bland annat så minskar risken för lustgasutsläpp med upp till 50 % jämfört med om mellangrödorna lämnas kvar på fältet, samtidigt som markens humushalt och erosionsbenägenhet inte påverkas negativt.

Enligt Malone *et al.* (2023) kan övervintrande mellangrödor t.ex. höstråg användas för att minska kväveförluster genom urlakning. Om höstrågen skördas på våren och används som råvara i biogasproduktion, bidrar detta till minskade växthusgasutsläpp genom att den producerade biogasen ersätter fossila bränslen. Skördas den gödslade höstrågen på våren före sådd av t.ex. så sojabönor, kan kväveläckaget minska med 27 % jämfört med om höstråg inte odlas. Dessa resultat från mellanvästern i USA indikerar att användning av höstråg som vintermellangröda kan bidra till minskad kväveutlakning, ökad produktion av förnybara bränslen samt minskade växthusgasutsläpp från odlingssystemet.

I en studie av Plaza *et al.* (2012) undersöktes effekterna av mellangrödor på mineralkvävehalten i både konventionella och ekologiska odlingssystem. Mellangrödorna, som såddes in, bearbetades antingen genom plöjning på hösten eller lämnades kvar på marken. Halten av mineralkväve i markprofilen mättes både på hösten och på våren. Resultaten visar att mellangrödor minskar mineralkvävehalten i marken under hösten och ökar den under våren. När mellangrödorna lämnades kvar på marken över vintern minskade markens mineralkvävehalt på våren avsevärt, jämfört med när mellangrödorna plöjdes ner på hösten.

Mellangrödor kan, som tidigare nämnts, användas för att bekämpa ettåriga ogräs inför sådd av en huvudgröda. Hansson *et al.* (2017a, 2018, 2021 och 2023) har undersökt olika mellangrödors ogräsbekämpande effekt, markkolsbidrag, kvävedynamik och potential för biogasproduktion. Resultaten från försöken visar att ettåriga ogräs effektivt kan bekämpas på hösten av sommarmellangrödorna; bovete, honungsört, hampa och oljerättika. I försöken såddes mellangrödorna från juli till i början av augusti. Ogräsbekämpningseffekten på ettåriga ogräs under hösten förbättrades, om sommarmellangrödor odlades utan gödsling och i samodling med luddvicker. Ahlqvist (2019) genomförde en fältstudie i nordvästra Skåne under 2018, där undersöktes flera mellangrödors förmåga att bekämpa ettåriga ogräs i en växtföljd med färskpotatis. Resultatet från studien visade att sommarmellangrödorna kunde effektivt bekämpa ogräset på hösten, vilket gav 64-93 % mindre ogräsbiomassa jämfört med kontrolleret utan mellangrödor.

Sturm (2018) utförde fältförsök under tre år på tre platser för att undersöka mellangrödors ogräsbekämpande effekt i renbestånd och samodling. Man fann att under hösten gav vitsenap, foderrättika och vicker i renbestånd en 60 % ogräsbekämpningseffekt, medan samodlade mellangrödor gav 66 % effekt. Yorgey & McGuire (2018) fick effektiv ogräsbekämpning och minskad vinderosion, när de sådde lök i ett strip-till-system med nedvissnade mellangrödor.

Grödor som odlas, i ett ekologiskt strip-till-system, med stora radavstånd (sockerbetor, kålrot, rödbetor och lök), där kan ogräsbekämpning utföras med precisionsradhackning, flamning

och ogräsharvning. Upprepad radhackning kan kombineras med fingerhjul eller skrappinnar. Flamning i sockerbetor kan utföras fram till dess uppkomst, i sådd lök upp till bygelstadiet (BBCH 011) (Hansson *et al.*, 2017b) och i sådd majs är tillväxtpunkten skyddad innan 6:e bladets framkomst SNP (1989). Ogräsbekämpning kan också utföras med kamerastyrda radhackor i många grödor t.ex. i sockerbetor och majs, och enligt Bleeker *et al.* (2007) även i klustersådd lök.

Lagerquist & Bergkvist (2021) har undersökt hur direktsådd av vår- och höstsädd i mellan- grödor samt radhackning kan bekämpa ogräs och hur detta påverkar kväveutnyttjandet. De mest produktiva mellangrödorna kunde öka avkastningen och höja proteinhalten hos höstvetete, samt minska ogräsets biomassa. Även NBR har visat att strip-till resulterar i färre ogräs jämfört med traditionell etablering av sockerbetor (Nielsen, 2022).

Sammanfattande resultat från ett tidigare strimsådd-projekt

Nedan sammanfattas resultaten från ett tidigare strimsådd-projekt (Hansson *et al.*, 2023). I detta projekt undersökte vi sommarmellangrödors ogräskonkurrerande egenskaper under höstarna 2020 och 2021. Resultaten visade att honungsört, havre och oljerättika var mycket effektiva mot fröogräs, medan bovete var sämre. Honungsört minskade ogräsets marktäckningsgrad med över 80 % under 2020 och med ca 92 % under 2021. Bovete minskade ogräset med endast 35-60 % år 2020 och med 41-57 % år 2021. Bovetets dåliga ogräskonkurrens berodde på relativt sen etablering, vilket påverkade dess tillväxt och förmåga att konkurrera med ogräs. Tidigare försök, där bovete etablerades i mitten av juli, visade bättre resultat. Bovete är dessutom känsligt för låga temperaturer, vilket kan döda bovetet tidigt på hösten, medan ogräset överlever och fortsätter växa.

Resultaten från vårt tidigare strimsådd-projekt visar att sommarmellangrödorna gav god ogräseffekt i huvudgrödorna på försommaren följande växtsäsong. I försöket med sådd lök 2021 var antalet fröogräs i lökraden ca 90 % lägre jämfört med det vårplöjda ledet med svart jord. Detta resulterade i att det endast fanns 4-8 ogräs per löpmeter i lökraden jämfört med 44-54 ogräs i vårplöjda led med svart jord. Dessutom var ogräsvikten i lökraden ca 80 % lägre i strimsådds-systemet. Liknande resultat observerades i majs, där ogräseffekten var bättre i strip-till jämfört med vårplöjda system, tack vare de utvintrande mellangrödorna och framhackningen av såraden före sådd av huvudgrödan. I rödbetor minskade antalet ogräs med 75 % och ogräsvikten med 85 % i strip-till-systemet jämfört med vårplöjda system. Generellt visade sig strip-till-system vara effektivt i att reducera ogräsmängden och ogräsvikten i olika grödor jämfört med traditionell jordbearbetning med vårplöjning och svart jord.

Sedan tidigare vet vi att mellangrödor kan bidra till ett minskat kväveläckage. Enligt Aronsson *et al.* (2023) visar utlakningsmätningar vid odling av mellangrödor, i form av insådda gräs och oljerättika, att kväveläckaget minskar med i medeltal 43 %. Variationen i minskat kväveläckage kan dock vara stor, från ingen effekt alls till 90 % minskad kväveutlakning. Nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$) är lätttröligt i mark och kan utlakas lätt, medan ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$) binds hårdare till markens kolloider, vilket leder till att det inte lakas ut lika lätt. För en lätt jord är det enligt Aronsson *et al.* (2023) mycket viktigt att vänta så länge som möjligt med jordbearbetning, t.ex. som i detta strip-till-system, för att minska risken för att mellangrödans kväve skall förloras genom läckage. Även Hansson *et al.* (2021), Prade *et al.* (2022) och Hansson *et al.* (2023) pekar på risken för kväveutlakning under vinter och tidig vår på lätta jordar från mellangrödor med stor biomassaproduktion på senhösten.

Resultaten från vårt tidigare strimsådd-projekt visar att sommarmellangrödorna (oljerättika, honungsört och havre) i strip-till-systemet på Lönnstorp hade lägst nivåer av nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$) i jordprofilen i början av december, vilket minskar risken för kväveutlakning under vintern. Dessa grödor, som växer långt in på senhösten, höll kvävenivåerna låga på djupet 30-90 cm, medan bovete, som vissnar tidigt, hade högre kvävenivåer i markprofilen och därmed en större risk för kväveutlakning.

Under 2020, då ett försöksled utan mellangröda höstplöjdes, uppmättes 100 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ per ha i jordprofilen 0-60 cm i början av december. Försöksåret därpå vårplöjdes marken istället, vilket resulterade i endast 20 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ per ha i november 2021. Detta indikerar ännu en gång att vårplöjning kan minska kväveläckage jämfört med höstplöjning. För att påverka mängden N-min i marken behövdes 20 kg torrsbstans (ts) per ha av honungsört under 2020, medan 91 kg ts per ha behövdes 2021.

Försöken på Skepparslöv visade att mängden N-min i markprofilen på våren till stor del beror på mellangrödornas biomassa hösten före. År 2020 minskade mängden N-min från höst till vår på grund av låg tillväxt hos sommarmellangrödorna, medan 2021 års högre tillväxt ökade mängden N-min med ca 27 kg/ha. Det behövdes 82 kg ts per ha av honungsört för att ge 1 kg N-min per ha efterföljande vår.

Resultaten från vårt tidigare strimsådd-projekt visar att mellangrödor som oljerättika, honungsört och havre kan bidra till ökad kolinlagring i marken, med upp till 90-200 kg stabilt kol per hektar och år, vilket är mer än andra studier visar. Dessa mellangrödor, särskilt i renbestånd eller samodlade med baljväxter som alexandrinerklöver, har visat sig effektiva för kolinlagring. Havre framstår som ett bra alternativ till oljerättika, särskilt i växtföljder där raps eller andra kålväxter ingår. Bovete hade varierande resultat beroende på etablerings-tidpunkt och jordtyp, med bättre resultat vid tidigare sådd och högre lerhalt i marken.

Kostnaderna för kolinlagring varierar beroende på mellangröda, men med ekonomiskt stöd för odling av mellangrödor, så ligger den på 2,1-6,7 kr per kg stabilt kol, vilket är konkurrenskraftigt jämfört med koldioxidskatten i dagsläget. Utöver kolinlagring kan mellangrödor också bidra till ökad skörd, minskat behov av växtnäring och förbättrad markbördighet, vilket är viktigt för en hållbar livsmedelsproduktion och för att motverka minskad mullhalt i jord vid spannmålsdominerade växtföljder.

I försöken visade det sig att det är möjligt att uppnå lika höga skördar för huvudgrödorna (lök, rödbeta och majs) i det undersökta strip-till-systemet som i det plöjda systemet. Honungsört, i renbestånd eller i samodling med alexandrinerklöver, gav generellt de högsta skördarna, medan bovete i renbestånd ofta resulterade i de lägsta skördarna, troligtvis på grund av bovetets känslighet för kyla och sämre tillväxt på sensommaren och tidig höst.

År 2021 var löskörden lägre i strip-till-systemet jämfört med det plöjda systemet. År 2022 förbättrades dock löskörden i strip-till-systemet, särskilt med honungsört, som gav 30 ton/ha. Framhackning av såstrimman på våren strax före sådd av huvudgrödan visade sig förbättra lökens etablering och utveckling genom att hålla jorden mer lucker och ogräsfri.

För rödbetar år 2022 fanns inga signifikanta skillnader i skörd mellan strip-till och vårplöjda system. Den högsta skörden uppnåddes i strip-till-systemet med honungsört samodlad med bovete (51 ton/ha).

För majsens biomassaskörden (ca 15 ton ts per ha år 2021 och ca 9 ton ts per ha år 2022) likartad i strip-till-systemet med honungsört i samodling med alexandrinerklöver och de vårplöjda systemen, men lägst med bovete i renbestånd (ca 10 ton ts per ha år 2021 och ca 6 ton ts per ha år 2022).

För att erhålla höga skördar i strip-till-system rekommenderas att framhackning av såstrimman till huvudgrödan sker någon vecka före sådd, för att säkerställa en bra etablering och utveckling av huvudgrödan genom en lucker och ogräsfri såbädd. Sammanfattningsvis visar resultaten att rätt val av utvintrande sommarmellangröda och lämplig tidpunkt för jordbearbetning inför sådd av huvudgrödan är avgörande för att optimera skörden i strip-till-system jämfört med plöjda system.

Material och metod

Mellangrödorna, oljerättika, honungsört, havre, bovete och doftklöver, etablerades i slutet av augusti 2022 i två separata försök (18 aug. Alnarp, 26 aug. Skepparslöv) (Tabell 1 och Tabell 2). Försöken med de två huvudgrödorna lök resp. majs utförs som randomiserade blockförsök i 4 upprepningar, med en huvudgröda per försöksplats. Under våren 2023 etablerades huvudgrödorna: majs i Alnarp och lök i Skepparslöv. I försöken på Skepparslöv och Alnarp var det vårkorn resp. vårvete som förfrukt under 2022. Förfrukten plöjdes ned strax innan sådden av mellangrödorna. Plöjningen utfördes i syfte att bekämpa eventuella rotoogräs i den ekologiska växtföljden.

I försöken med strimsådd under 2022 till 2023 var jordarten på:

- Skepparslöv - mullfattig lerig sand (mf 1 Sa, 1,6 % mullhalt och 10 % lera).
- Alnarp - mullrik lerig mo (mr 1 Mo (5-15 % lera).

Tabell 1. Olika kombinationer av huvud- och mellangrödor som undersöks. Huvudgrödorna lök och majs utvärderas i två separata försök. Grödorna etableras via strimsådd våren 2023 i nedvissnade mellangrödor (oljerättika, honungsört, bovete, doftklöver och havre) och jämförs med två vårplöjda led, ett med mellangrödan honungört och ett utan mellangröda

Huvudgröda	----- Mellangrödor -----								
Lök (Skepparslöv)	1 (A)	2 (B)	3 (C)	4 (AD)	5 (BD)	6 (CD)	7* (B)	8* (F)	
Majs (Alnarp)	1 (A)	2 (B)	3 (C)	4 (AD)	5 (BD)	6 (CD)	7 (ADE)	8* (B)	9*(F)

Mellangrödor: A) oljerättika, B) honungsört, C) havre, D) doftklöver, E) bovete och F) ingen mellangröda.

* Vårplöjning i stället för strimsådd.

Tabell 2. Försöksled med olika mellangrödor och dess utsädesmängder på Alnarp

Försöksled	Mellangrödor	Utsädesmängd (kg/ha)	
1	Oljerättika	A	15
2	Honungsört	B	12
3	Havre	C	200
4	Oljerättika + Doftklöver	A+D	7,5+6
5	Honungsört + Doftklöver	B+D	6+6
6	Havre + Doftklöver	C+D	100+6
7	Oljerättika + Doftklöver + Bovete	A+D+E	5+4+20
8	Honungsört, vårplöjt	B*	12
9	Ingen mellangröda, vårplöjt	F*	0

* Här jämförs strimsåddsmetoden med två vårplöjda led, ett med mellangröda (honungsört) och ett utan mellangröda.



Bild 1. Mellangrödor hösten 2022 på Skepparslöv inför strimsådd av lök våren 2023.
Foto: David Hansson 2022-10-28.

Bestämning av mellangrödornas effekt på fröogräs

På de två försöksplatserna, Alnarp och Skepparslöv, genomfördes okulära avläsningar hösten 2022 för att fastställa marktäckningsgraden för både ogräs och mellangrödor. Vidare mättes mellangrödornas höjd.

På Skepparslöv avlästes 2023 dessutom antalet ogräs i lökraden på försommaren för de olika ogräsarterna, och deras torrsvikt bestämdes efter att proverna torkats i 65°C under tre dagar, tills vikten var stabil.

I majsen på Alnarp sommaren 2023 var ogräsförekomsten så låg på grund av effektiv flämning och torr väderlek att inget ogräs växte, vilket medförde att ingen avläsning av ogräsförekomsten i majsen genomfördes.

Provtagning av mellangrödornas biomassaavkastning

I slutet av november 2022 togs prover i fältförsöken på Alnarp respektive Skepparslöv för att mäta mellangrödornas biomassaavkastning (ovan och under jord) och utifrån avkastningen även uppskatta mellangrödornas bidrag till markkolsuppbbyggnad. I varje ruta handskördades den ovanjordiska biomassan vid markytan, på en yta av 0,5 m².

Provhantering av biomassa prover

Biomassan torkades vid 65°C i ca 48 timmar (tills vikten på provet blev stabil). Biomassaavkastningen bestämdes som mängden torrsubstans (ts) per skördeyta i ton ts per hektar. För att undersöka relationen mellan ovanjordisk och underjordisk biomassa, såväl som för relationen mellan stubb och skörd, vid en stubbhöjd på 10 cm, så skördades för varje mellangröda, i varje försöksruta 5-10 plantor. Plantorna delades upp i rot (allt underjordiskt), stubb (0-10 cm över markytan) och skördbar biomassa (>10 cm över markytan). Biomassan torkades vid 65°C i ca 48 timmar (tills vikten blev stabil).

Representativa delprover om 10-20 g från både skördefraktion och rotfraktion maldes med en IKA knivkvarn. Beroende på det förväntade kväveinnehållet vägdes 3-8 mg ±0.50 mg växtmaterial och fördes över till en tennkapsel (5×8 mm). Den exakta vikten på tennkapseln med växtmaterialet noterades och kapseln förslöts försiktigt med hjälp av en pincett.

Analys av biomassan

Analysen av kväve- och kolhalten i biomassaproverna genomfördes på följande sätt. Den totala halten av kol och kväve analyserades i rotbiomassa och i skördbar ovanjordisk biomassa, med hjälp av en elementaranalysator (Flash 2000, Thermo Scientific) med externa standarder acetanilid (N-fenylacetamid) och kända referensprov för kvantifiering. För försöksplatsen Skepparslöv analyserades bara mellangrödorna i renbestånd och doftklöver där den samodlades med oljerättika. Kväve- och kolhalter användes sedan i analysen av N-upptag och markkolsbidrag för mellangrödorna i samodling med doftklöver.

Beräkningar

Baserat på kolhalten i kol/kväve-analyserna så har dessa använts för att korrigera för föroreningar t.ex. jordpartiklar i växtmaterialet. Vikten av växtmaterialet för rotbiomassa justerades mot en referenskolhalt på 42,5 % (Ma *et al.*, 2018). Kvävehalten korrigerades med samma förhållande. Viktförhållanden för skörd och stubb beräknades liksom viktförhållanden för skörd och rotbiomassa.

Uppskattning av mellangrödornas markkolsbidrag

Markkolsbidraget från mellangrödornas olika delar (rötter, stubb och skörd) uppskattades utifrån biomassaavkastningen, viktförhållanden mellan växtdelarna (rot, stubb och skördbar ovanjordisk biomassa) och en humifieringskoefficient. Enligt Poeplau *et al.* (2015) och Barrios Latorre *et al.* (2024) ligger denna humifieringskoefficient nära 0 för jordar med en lerhalt under 15 %, som gäller båda våra försöksplatser. Humifieringskoefficienten för rotbiomassa antogs vara 0,35 (Kätterer *et al.*, 2011), och ansågs inkludera bidraget av rotextudater till markkolsuppbyggandet.

Provtagning av mineraliserat kväve, N-min (NO_3-N , NH_4-N), i jordprofilen

I december 2022 togs jordprov på båda försöksplatserna för att undersöka hur de olika mellangrödorna påverkar markens innehåll av mineraliserat kväve, N-min (NO_3-N , NH_4-N), på senhösten. I Alnarp togs proverna den 22 december på två djup i jordprofilen, 0-30 och 30-60 cm. På Skepparslöv togs prover den 16 december 2022 på tre olika djup i jordprofilen: 0-30 cm, 30-60 cm och 60-90 cm. I mars 2023 togs prover igen, denna gång från två djup: 0-30 cm och 30-60 cm.

Jordproverna analyserades på dess innehåll av NO_3-N och NH_4-N , för att bestämma hur mycket mineraliserat kväve (N-min) som det fanns i jordprofilen. Dessa N-min-provtagningar upprepades tidig vår 2023 för att 1) undersöka hur stor mängd mineraliserat kväve som fanns kvar i jordprofilen, till efterföljande huvudgröda, samt 2) för att uppskatta risken för kväveförluster under vintern i strimsådd-system respektive i de vårplöjda leden, med och utan mellangröda.

Ekonomisk analys rörande markkolsinlagring

Kostnader för etablering av mellangrödorna uppskattas enligt följande; plöjning (1200 kr/ha), såbäddsharvning (275 kr/ha) och sådd med skivbillssåmaskin (450 kr/ha), enligt vanliga taxor, plus utsädeskostnaden enligt Tabell 3. Effekten av ett markkolsbidrag på 1300 kr/ha på etableringskostnaden har undersökts.

Tabell 3. Utsädesmängder och utsädeskostnader enligt Holmberg (Pers. medd., 2024) för de undersökta mellangrödorna. För blandningarna användes hälften av utsädet för varje mellangroda jämfört med när det odlas i renbestånd

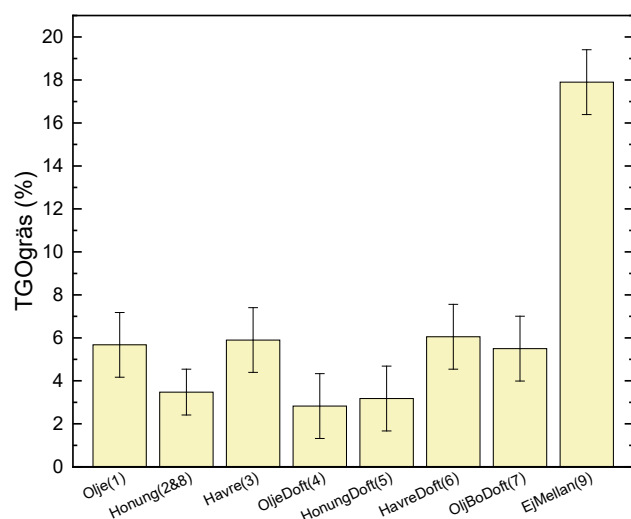
Mellangroda	Utsädesmängd		Utsädeskostnad	
	[kg/ha]	[kr/kg]	[kr/ha]	[kr/ha]
Oljerättika	15	37		555
Honungssört	12	47		564
Bovete	60	15,7		942
Havre	200	5		1000
Doftklöver	12	64		768

Resultat och diskussion

Mellangrödornas ogräseffekt och majsskörd – Alnarp

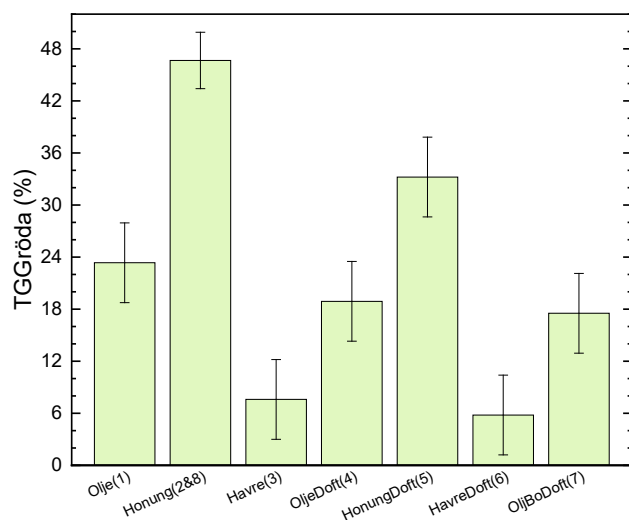
Mellangrödornas marktäckning och ogräseffekt på senhösten 2022

Alla mellangrödor i försöket på Alnarp gav på senhösten en lägre ogräsförekomst jämfört med ledet utan mellangröda, där ogräsets marktäckningsgrad var ca 18 %. De mellangrödor som hade bäst förmåga att undertrycka ogräset var de samodlade mellangrödorna; honungssört och doftklöver samt oljerättika och doftklöver. Honungssört i renbestånd hade också en lika god ogräshämmande effekt. Dessa tre mellangrödor resulterade i en likvärdig ogräskonrollerande effekt, med en marktäckningsgrad på ca 3 % (Figur 1). För övriga mellangrödor var ogräsets marktäckningsgrad, något högre, ca 6 %, d.v.s. för oljerättikan och havre i renbestånd, samt för samodling av havre + doftklöver och oljerättika + bovete + doftklöver.



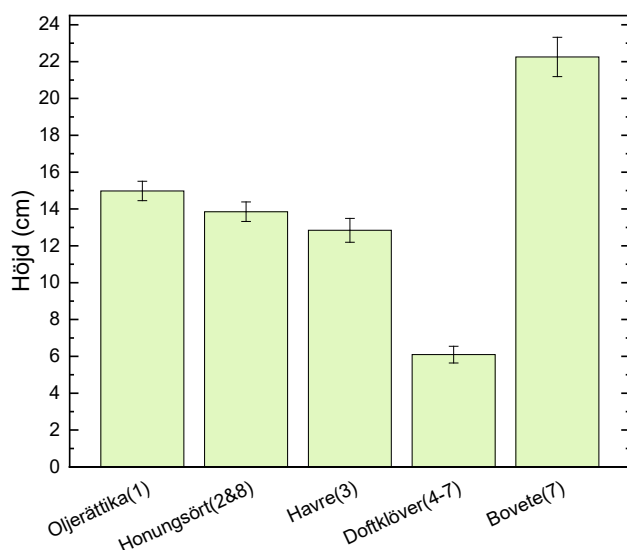
Figur 1. Ogräsets marktäckningsgrad (TGOgräs) i % (\pm S.E.) den 21 okt. 2022 för mellangrödor sådda den 18 aug. i Alnarp. Olje = oljerättika, Honung = honungssört, Doft = doftklöver och Bo = bovete. EjMellan = ingen mellangröda. (Led 2 och 8, båda med honungssört i renbestånd var vid avläsningen behandlade på samma sätt, eftersom led 8 och 9 inte var plöjda vid avläsningen. Försöksled anges i parentes.

När det gäller mellangrödornas marktäckningsgrad, så hade honungssört i renbestånd följt av honungssört i samodling med doftklöver störst marktäckning på 46 % resp. 34 % (Figur 2). Dessa mellangrödor tillsammans med oljerättika + doftklöver gav den lägsta mängden ogräs (Figur 1). Havre i renbestånd och i samodling med doftklöver hade också en bra ogräskonkurrerande egenskaper, trots den låga marktäckningsgraden på ca 6 % (Figur 2).



Figur 2. Grödans marktäckningsgrad (TGGröda) i % (\pm S.E.) den 21 okt. 2022 för mellangrödor sådda den 18 aug. i Alnarp. Olje = oljerättika, Honung = honungssört, Doft = doftklöver och Bo = bovete. EjMellan = ingen mellangröda. (Led 2 och 8, båda med honungssört i renbestånd var vid avläsningen behandlade på samma sätt, eftersom led 8 och 9 inte var plöjda vid avläsningen. Försöksled anges i parentes.

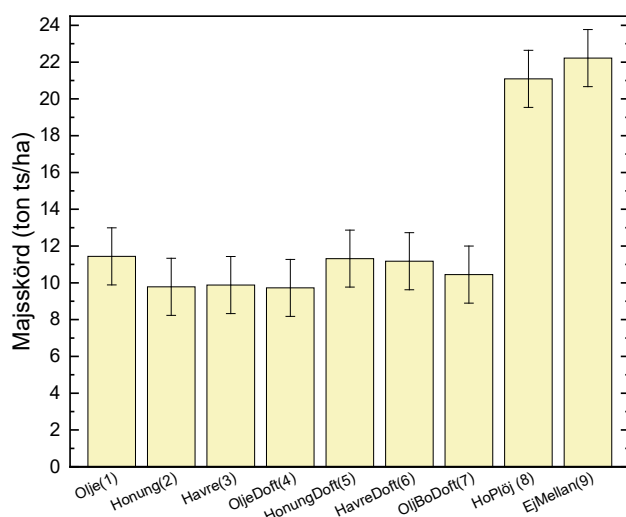
Den 21 oktober var mellangrödornas höjd 13 - 15 cm för havre, honungsört och oljerättika, medan bovetets höjd var 22 cm (Figur 3). Bovetets biomassa var dock relativt liten eftersom den var klen. Doftklövern höjd var i medeltal 4 cm i samodling med andra mellangrödor.



Figur 3. Mellangrödornas höjd (cm) (\pm S.E.) den 21 okt. 2020 för mellangrödor sådda 18 aug. i Alnarp. Försöksled anges i parentes.

Majsskörden år 2023

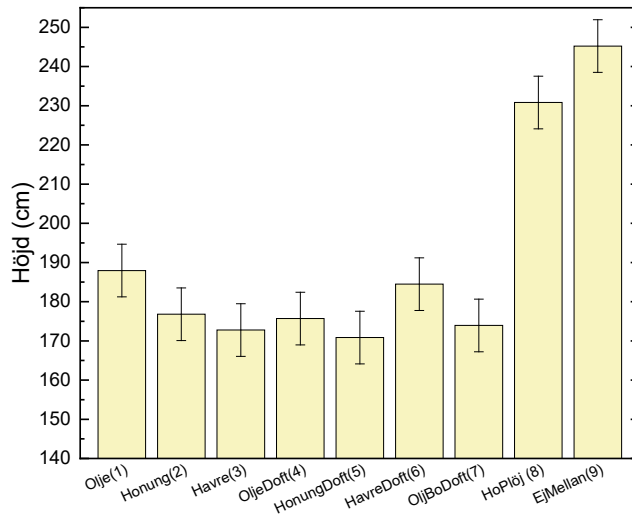
Majsskörden (stjälk, blad och kolv) uppgick för de två vårplöjda försöksleden (med och utan honungsört) till 21 respektive 22 ton ts/ha (Figur 4). Skörden var däremot avsevärt lägre i strimsådd-systemet med de olika mellangrödorna, där den varierade mellan 9,7 och 11,4 ton ts per ha. I tidigare försök har majsskörden i strimsådd-systemet med honungsört i samodling med alexandrinerklöver varit på samma nivå som i de två plöjda odlingsystemen (Hansson *et al.*, 2023). Vidare har det noterats att skörden påverkas negativt om jorden är allt för kompakt när de olika huvudgrödorna skall etableras (Hansson *et al.*, 2023). På lång sikt bör dock strimsådd-systemen kunna ge en mindre kompakt jord och högre skörd i huvudgrödan.



Figur 4. Majsskörd (stjälk, blad och kolv) (kg ts/ha) den 27 oktober, Lönnstorp. Olje = oljerättika, Ho = honungsört, Doft = doftklöver, Bo = bovete, Plöj = vårplöjt, EjMellan = ingen mellangröda.

Majsskörden var betydligt högre i de två vårplöjda försöksleden med resp. utan mellangröda. Detta resultat skiljer sig från tidigare försök med strimsådd av majs, där skörden av majs var ungefär lika stor i strimsådd-systemet med honungsört i samodling med alexandrinerklöver i plöjda system (Hansson *et al.* 2023).

Majsens tillväxt och skördenivå kan även uppskattas genom att mäta dess höjd. Vid avläsningen (26 oktober) visade det sig att försöksleden med strimsådd, så var majsplantorna 170 till 190 cm höga. Majsen i de två vårplöjda leden var signifikant högre än majsen i de strimsådda systemen. I det vårplöjda ledet med honungört var majshöjden 230 cm och i det vårplöjda ledet utan mellangröda var den 245 cm (Figur 5).

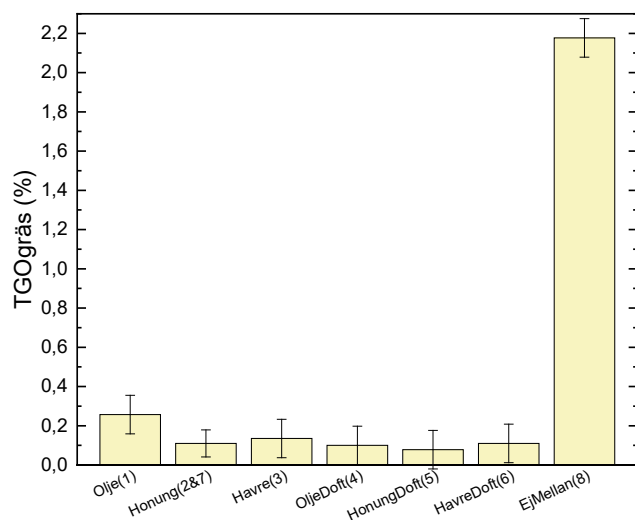


Figur 5. Majsplantornas höjd inkl. stubb (cm) den 26 oktober 2023, Alnarp. Bo = bovete, Ho = honungört, Olje = oljerättika. Doft = doftklöver. Plöj = vårplöjt. EjMellan = ingen mellangröda.

Mellangrödornas ogräseffekt och löpskörd – Skepparslöv

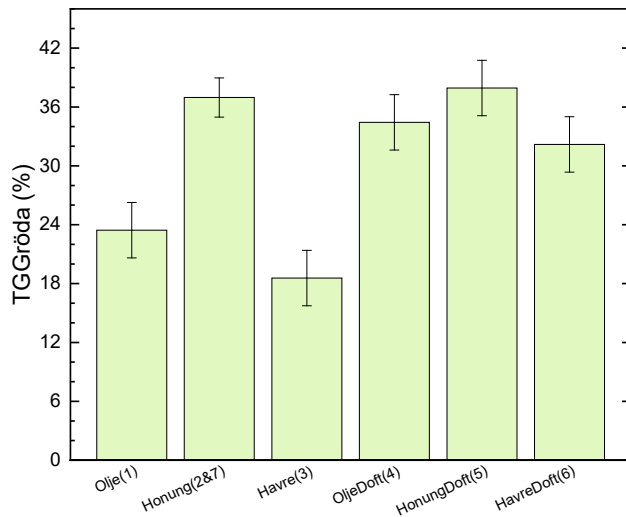
Mellangrödornas marktäckning och ogräseffekt på senhösten 2022

På Skepparslöv var ogräsets marktäckningsgrad mycket låg på senhösten i kontrolledet utan mellangröda, endast ca 2 %. Trots den relativt låga förekomsten av ogräs i försöket, så gav de olika mellangrödorna en tydlig och signifikant reduktion av ogräset (Figur 6). Det var dock ingen signifikant skillnad i ogräsets marktäckningsgrad för de olika mellangrödorna, och den låg i intervallet 0,1-0,2 %.



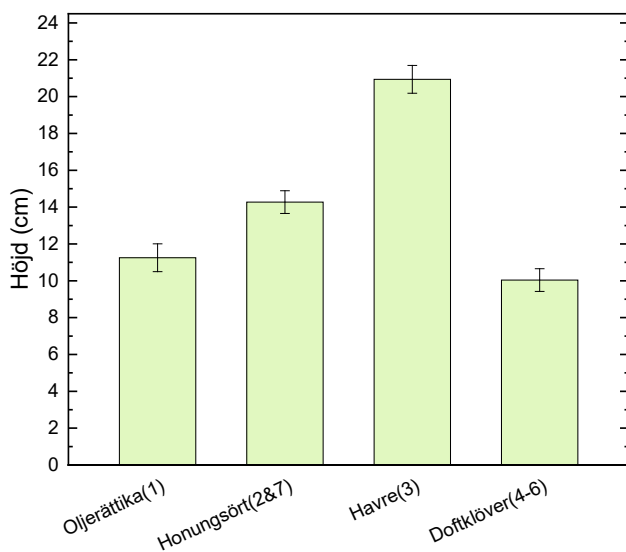
Figur 6. Ogräsets marktäckningsgrad (TGOgräs) i % (\pm S.E.) den 28 okt. 2022 för mellangrödor sådda den 26 aug. på Skepparslöv. Olje = oljerättika, Honung = honungört och Doft = doftklöver. EjMellan = ingen mellangröda. (Led 2 och 7, både med honungört i renbestånd var vid avläsningen behandlade på samma sätt, eftersom led 7 och 8 inte var plöjda vid avläsningen. Försöksled anges i parentes).

När det gäller mellangrödornas marktäckningsgrad på senhösten, så hade de bästa leden en marktäckningsgrad på 32 % till 38 %: havre + doftklöver, oljerättika + doftklöver, honungssört, och honungssört + doftklöver. Havre och oljerättika i renbestånd hade den lägsta marktäckningsgraden på 18 % respektive 23 % (Figur 7).



Figur 7. Grödans marktäckningsgrad (TGGröda) i % (\pm S.E.) den 28 okt. 2022 för mellangrödor sådda den 26 aug. på Skepparslöv. Olje = oljerättika, Honung = honungssört och Doft = doftklöver. EjMellan = ingen mellangröda. (Led 2 och 7, båda med honungssört i renbestånd var vid avläsningen behandlade på samma sätt, eftersom led 7 och 8 inte var plöjda vid avläsningen. Försöksled anges i parentes.

Den 28 oktober var höjden på mellangrödorna följande: Oljerättika 11 cm, honungssört 14 cm och havre 21 cm. Doftklöver, som odlades i samodling med andra mellangrödor, nådde en höjd på 10 cm (Figur 8).



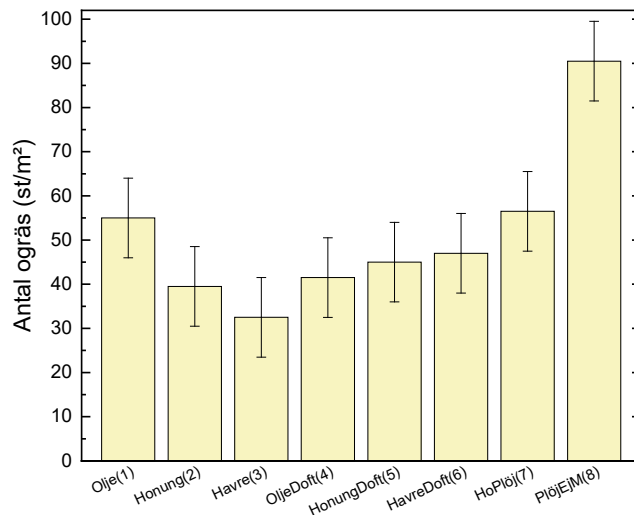
Figur 8. Mellangrödornas höjd (cm) (\pm S.E.) den 28 okt. 2022 för mellangrödor sådda 26 aug. på Skepparslöv. Försöksled anges i parentes.

Den största skillnaden i mellangrödornas höjd mellan försöksplatserna var att doftklöver och havre var betydligt högre i Skepparslöv än i Alnarp.

Mellangrödornas effekt på ogräset i lökraden och lökskörden följande år 2023

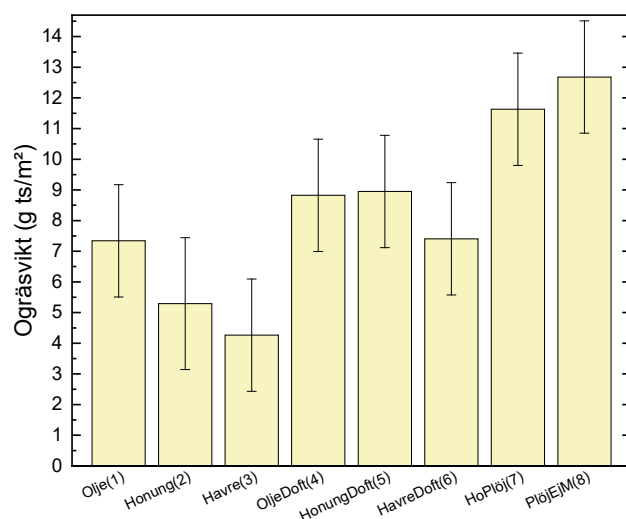
Antalet ogräs i lökraden var signifikant lägre i 5 av de 7 strimsådda leden; (honungssört (led 2), havre (led 3), oljerättika + doftklöver (led 4), honungssört + doftklöver (led 5) och havre + doftklöver (led 6)) jämfört med det vårplöjda ledet utan mellangröda (led 8). I led 8 fanns det 90 ogräs per m² (Figur 9). Det lägsta antalet ogräs i lökraden fanns i ledet med havre (led 3), med 32 ogräs per m², medan oljerättika (led 1) hade betydligt fler, 55 ogräs per m².

Flamning av ogräs i lök kan utföras fram till och med lökens bygelstadium (Ascard, 2015). I detta försök genomfördes flamningen endast två dagar efter sådd, vilket resulterade i en onödigt stor mängd fröogräs, jämfört med om flamningen hade utförts betydligt senare i lökens bygelstadium.



Figur 9. Totalt antal ogräs (st/m²) i lökraden den 19 juni 2023 efter mellangrödor sådda den 26 aug. 2022. Löken såddes den 23 maj 2023 och flammades 2 dagar senare. Bo = bovete, Ho = honungört, Olje = oljerättika. Doft = doftklöver. Plöj = plöjning. EjM = ingen mellangröda.

På samma sätt som antalet ogräs i lökraden var ogräsvikten lägst i ledet med havre som förfrukt i strimsådd-systemet. (Figur 10). Ogräsvikten var här ungefär tre gånger lägre jämfört med det vårplöjda systemet utan mellangröda. Denna skillnad var dock inte signifikant ($P = 0,064$), men en tydlig tendens på bra ogräseffekt.

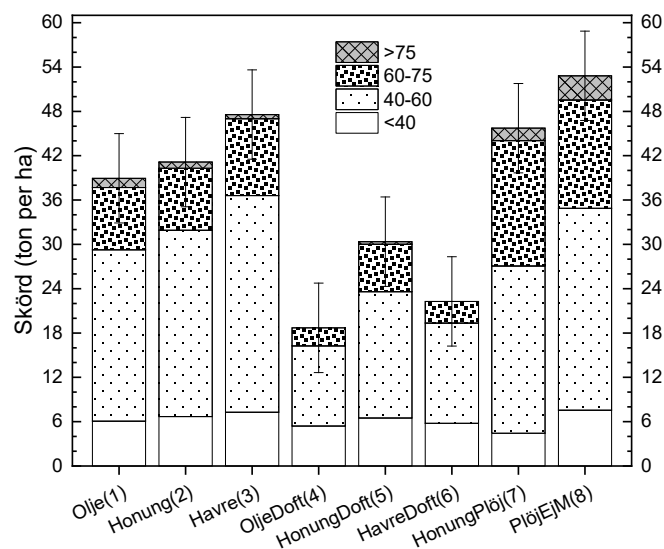


Figur 10. Ogräsets torrsvikt t_s (g/m²) i lökraden den 19 juni 2023 efter mellangrödor sådda den 26 aug. 2022. Löken såddes den 23 maj 2023 och flammades 2 dagar senare. Bo = bovete, Ho = honungört, Olje = oljerättika. Doft = doftklöver. Plöj = vårplöjt. EjM = ingen mellangröda.

Skördeprovtagning i lök

Den högsta löbskörden, 53 ton per hektar, uppnåddes i det vårplöjda systemet utan mellangröda. Därefter följde strimsådd-systemet med havre (48 ton/ha) och vårplöjd honungsört (46 ton/ha) (Figur 11). När doftklöver samodlades med oljerättika, havre eller honungsört i strimsådd-systemet, så erhöles de lägsta löbskördarna, på 19, 22 respektive 30 ton/ha.

Den mest förekommande storleksfraktionen i löben var 40-60 mm, följd av 60-75 mm. Det fanns mycket få riktigt stora löbar med en diameter över 75 mm. Vidare fanns det relativt många små löbar i alla led, ca 6 ton per hektar, som var under 40 mm i diameter. (Figur 11)



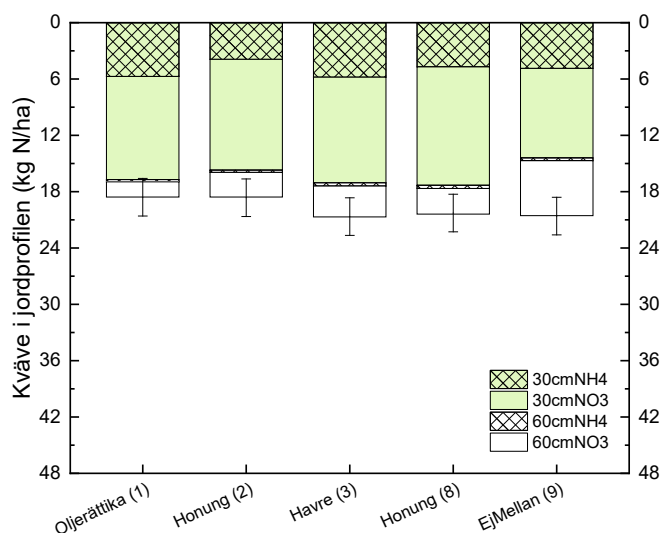
Figur 11. Löbskörd (ton per ha efter torkning och rensning) uppdelat i olika storleksklasser från <40 till >75 mm i diameter, Skepparslöv 2023. Honung = honungsört. Doft = doftklöver. Plöj = vårplöjt. EjM = ingen mellangröda.

Löbskörden var för strimsådd-systemen med havre, honungsört och oljerättika på ungefär samma nivå som de två plöjda försöksleden med resp. utan mellangröda. Detta resultat överensstämmer med tidigare försök med strimsådd av lök, där löbskörden var ungefär lika stor i strimsådd-systemet med honungsört som i vårplöjda led med honungsört eller utan mellangröda (Hansson *et al.*, 2023).

Kväve i jordprofilen efter mellangrödor – Alnarp

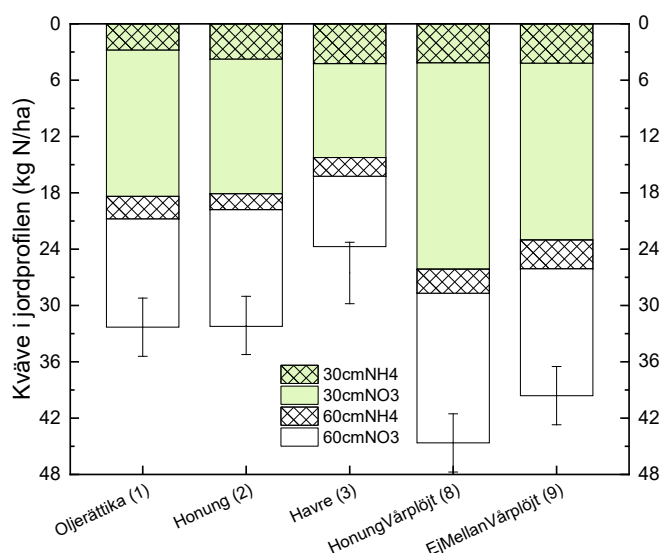
I december 2022 i Alnarp noterades ingen signifikant skillnad i mineraliserat kväve (N-min) i jordprofilen (0–60 cm) mellan de olika försöksleden. Mängden N-min varierade mellan 19 och 21 kg/ha på detta djup (se Figur 12). Vid uppdelning av N-min i NO₃-N och NH₄-N uppmättes 13-15 kg NO₃-N per ha respektive 4-6 kg NH₄-N per ha på samma djup.

I den undersökta jordprofilen (0-60 cm) återfanns i genomsnitt ca 78 % av N-min på djupet 0-30 cm och ca 22 % på djupet 30-60 cm, oavsett försöksled.



Figur 12. Mängden mineraliserat kväve, N-min (NH₄-N och NO₃-N) i jordprofilen (0–30 cm och 30–60 cm) den 22 dec. 2022 efter förfrukten vårvete. Förfrukten plöjdes strax före sådden av mellangrödorna den 18 aug. 2022 på Alnarp. Led 2 och led 8, båda med honungsört i renbestånd, hade vid avläsningen den 22 dec. 2022 genomgått samma behandling. (Led 8 och led 9 vårplöjdes den 26 april 2023, medan övriga led förblev oplöjda enligt strimsådd-systemet).

I maj hade det vårplöjda ledet med honungsört signifikant mer lätttröligt NO₃-N i jordprofilen på 0-60 cm (38 kg NO₃-N per ha), jämfört med havre i strimsådd-systemet (17 kg NO₃-N per ha) (Figur 13). Däremot var det ingen skillnad i mängden NH₄-N mellan de olika försöksleden, där nivåerna låg mellan 5 och 7 kg/ha på samma djup.

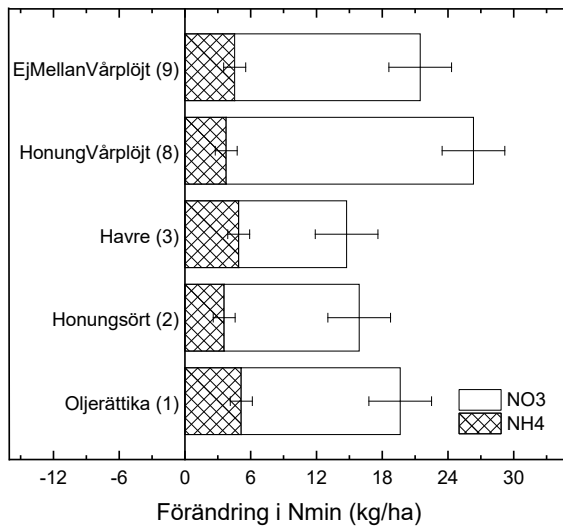


Figur 13. Mängden mineraliserat kväve, N-min (NH₄-N och NO₃-N) kg/ha i jordprofilen (0-30, 30-60 cm) den 16 maj 2023 efter olika mellangrödor på Alnarp. Led 8 och led 9 vårplöjdes den 26 april 2023, övriga led förblev oplöjda i enlighet med strimsådd-systemet.

I alla försöksled var mängden av både NO₃-N och NH₄-N högre på våren 2023 än på hösten 2022 (Figur 14). När vi jämför förändringen av mängden NO₃-N på 0-60 cm djup från höst till vår, visade det plöjda ledet med honungsört en ökning på 23 kg NO₃-N per ha, medan honungsört och havre i strimsådd-systemen ökade med 12 resp. 10 kg NO₃-N per ha.

I det plöjda systemet med honungsört ökade mängden mineraliserat kväve (N-min) med ca 24 kg per ha, medan i strimsåddssystemet med honungsört respektive oljerättika ökade N-min med ca 14 kg per ha (Figur 14).

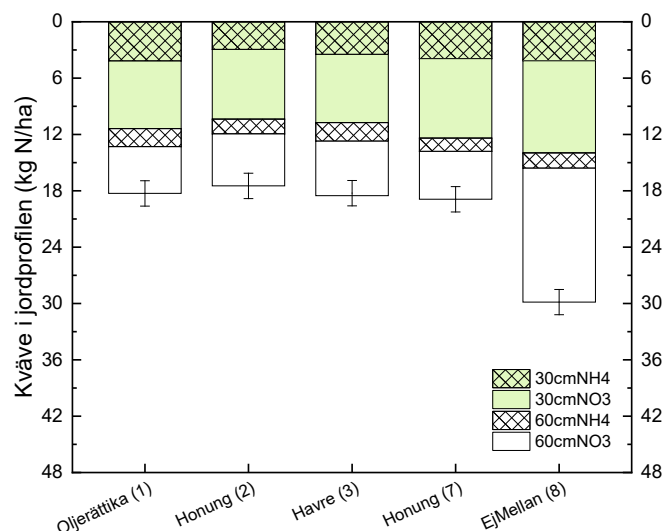
Mellan hösten 2022 och våren 2023 var mängden N-min i det vårplöjda ledet med honungsört 6 kg/ha högre, än i det vårplöjda ledet med obebuxen mark utan mellangröda i Alnarp. Mängden biomassa från honungsörten på Alnarp uppgick till ca 1030 kg ts per ha, vilket resulterade i 6 kg extra N-min per ha. Detta innebär att det krävdes 172 kg ts honungsört per ha för att på våren ge 1 kg extra N-min per ha.



Figur 14. Förändring i markens (NH₄-N och NO₃-N) (kg/ha) ±S.E. på 0-60 cm djup, i Alnarp, från 22 december 2022 till 16 maj 2023.

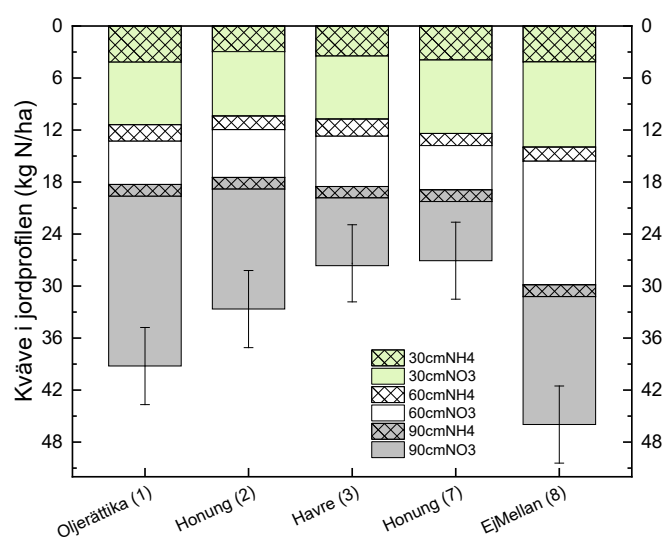
Kväve i jordprofilen efter mellangrödor – Skepparslöv

Mängden N-min i jordprofilen (0-60 cm) var i december 2022 signifikant större i ledet utan mellangröda, ca 30 kg/ha, jämfört med leden där mellangrödor odlades, ca 18 kg/ha (Figur 15). En möjlig förklaring till den högre mängden N-min i ledet utan mellangrödor kan vara att kvävet redan hade mineraliserats i detta led, medan kvävet i leden med mellangrödor ännu inte hade mineraliserats och var bundet i mellangrödornas biomassa.



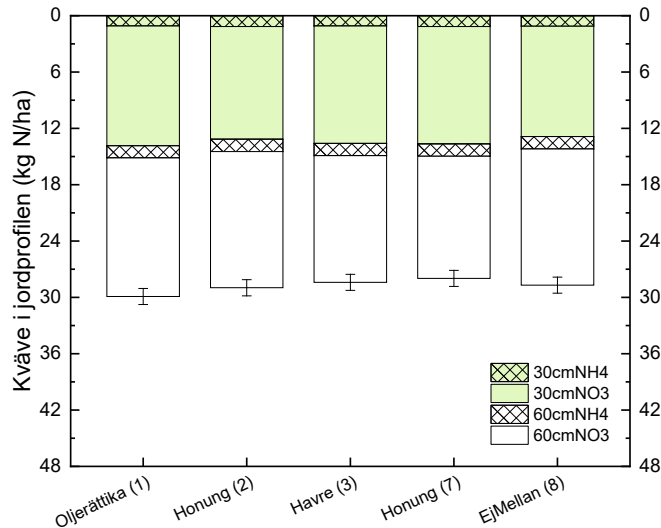
Figur 15. Mängden mineraliserat kväve, N-min, (NH₄-N och NO₃-N) kg/ha i jordprofilen (0-60 cm) den 16 december, 2022 på Skepparslöv. Led 2 och led 7, båda med honungsort, hade vid denna avläsning fått samma behandling. (Led 7 och led 8 plöjdes våren 2023, övriga led förblev oplöjda i enlighet med strimsådd-systemet).

Vid analysen av mängden N-min i jordprofilen ner till 90 cm djup, i december 2022, visade sig mängden vara signifikant högre i ledet utan mellangröda, ca 46 kg/ha, jämfört med leden där havre och honungsort odlades (led 2 och 7), som uppmätte 27 respektive 30 kg/ha (Figur 16). På samma djup var mängden NH₄-N 6-7 kg/ha för alla försöksled. För havre, honungsort och oljerättika var mängden NO₃-N på detta djup i fallande ordning 21, 24 resp. 32 kg/ha, medan det vårplöjda ledet utan mellangröda hade 39 kg/ha (Figur 16).



Figur 16. Mängden mineraliserat kväve, N-min (NH₄-N och NO₃-N) kg/ha i jordprofilen (0-90 cm) den 16 dec. 2022 på Skepparslöv. Led 2 och led 7, båda med honungsort i renbestånd, hade vid denna avläsning fått samma behandling.

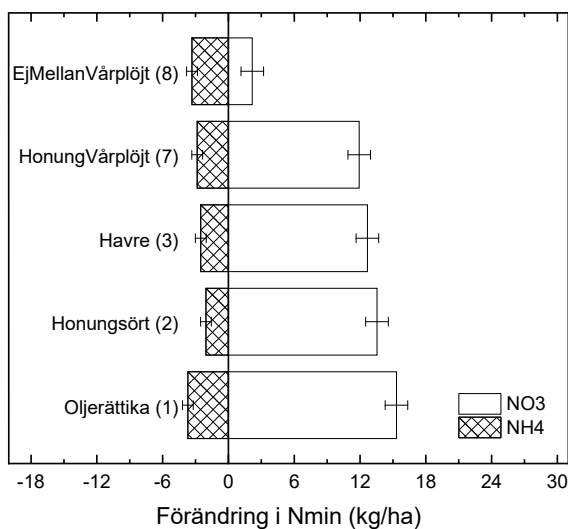
I mars fanns det inga signifikanta skillnader i mängden N-min mellan de olika försöksleden vid provdjupet 0-60 cm. Vid samma djup uppmättes mängden N-min till 28-30 kg/ha, fördelat på drygt 2 kg NH₄-N per ha och 26-28 kg NO₃-N per ha (Figur 17). Detta innebär att ungefär 8 % av mängden N-min bestod av NH₄-N och ca 92 % av NO₃-N. Ungefär hälften av N-min återfanns på ett djup av 0–30 cm, och lika mycket på djupet 30–60 cm (Figur 17).



Figur 17. Mängden mineraliserat kväve, N-min, (NO₃-N och NH₄-N) kg/ha i jordprofilen (0-30, 30-60 cm) den 28 mars 2023 på Skepparslöv.

Förändringen i N-min-halten i jordprofilen (0-60 cm djup) mellan december 2022 och mars 2023 var signifikant större i alla led med mellangrödor jämfört med det plöjda ledet utan mellangröda (Figur 18). Dessutom resulterade vårplöjningen av ledet med honungört resp. honungört i strimsådd-system i en liknande ökning av N-min-halten i jordprofilen.

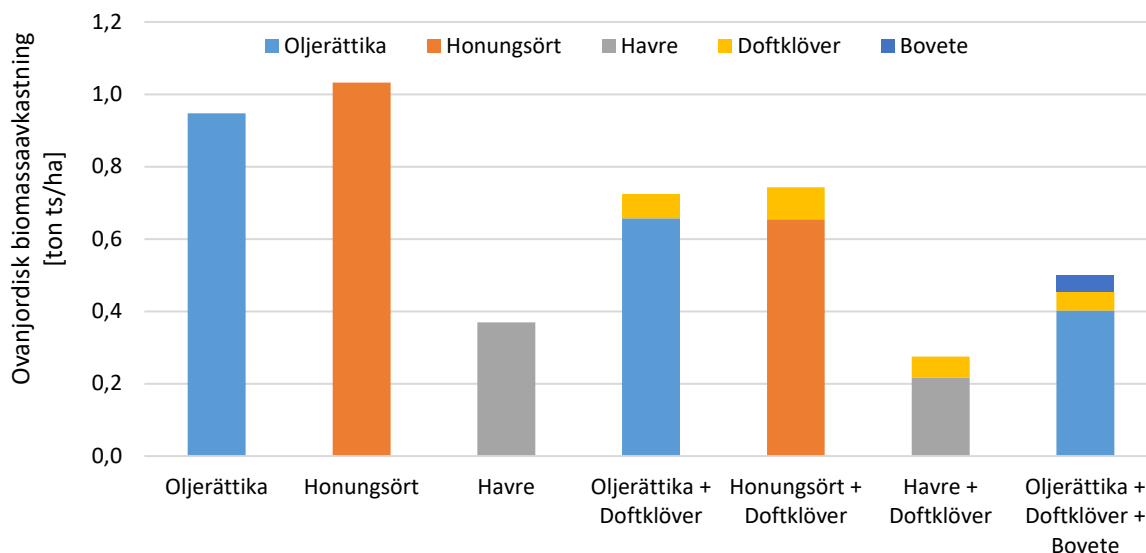
Från december 2022 till mars 2023 ökade mängden N-min i det vårplöjda ledet med honungört med 12,6 kg per ha jämfört med bar mark utan mellangröda på Skepparslöv. Mängden biomassa från honungörten uppgick till ca 2100 kg ts per hektar och bidrog till 12,6 kg extra N-min per ha i jordprofilen på 0–90 cm djup. Detta innebär att det krävdes 167 kg ts av honungört per hektar för att på våren tillföra 1 kg extra N-min per ha, i Skepparslövs jord med en lerhalt på 10 %.



Figur 18. Förändring i markens NO₃-N och NH₄-N (kg/ha) ±S.E. på 0-60 cm djup, på Skepparslöv, från 12 dec. 2022 till 29 mars 2023.

Biomassaavkastningen av mellangrödorna

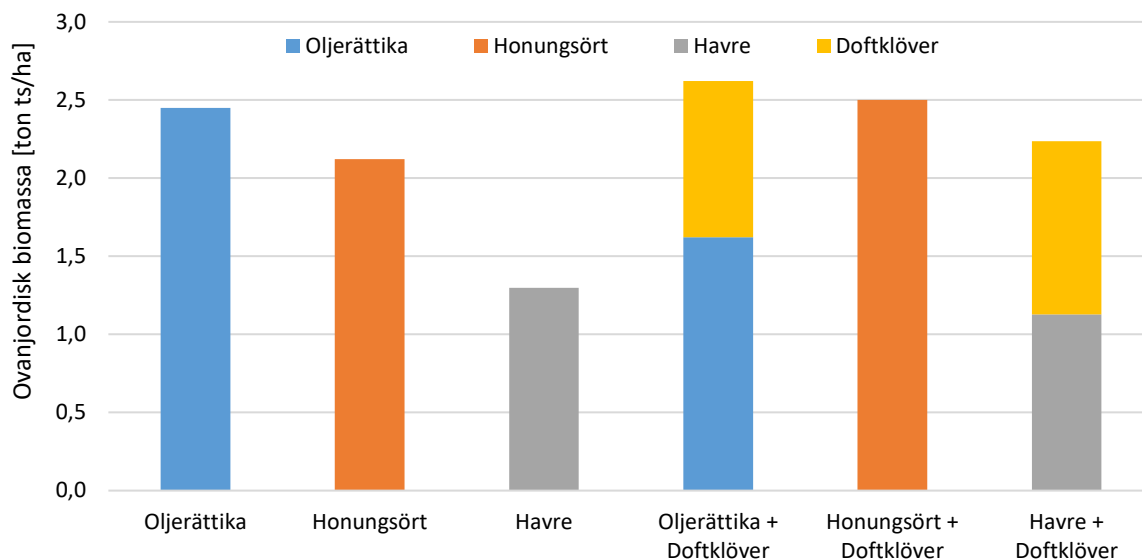
På försöksplatsen Alnarp varierade den biomassaavkastningen starkt mellan de olika mellangrödorna och låg mellan 280 och 1030 kg total ovanjordisk torrs substans per hektar (Figur 19). Bara 33-58 % av denna biomassa, eller 90-600 kg ts, var skördbar. Mellangrödorna i renbestånd gav 31-39 % högre biomassaavkastning jämfört med när de samodlades med doftklöver. Bidraget från doftklöver och bovete har varit mycket lågt, bara 50-90 kg ovanjordisk torrs substans per hektar.



Figur 19. Ovanjordisk biomassaavkastning [ton ts per ha] av mellangrödorna som odlades på Alnarp, provtagning den 24 november 2022.

Även på försöksplatsen Skepparslöv varierade den ovanjordiska biomassaavkastningen starkt mellan de olika mellangrödorna, och låg mellan 1300 och 2600 kg torrs substans per hektar (Figur 20), av vilka 500 till 1000 kg var skördbar torrs substans per hektar.

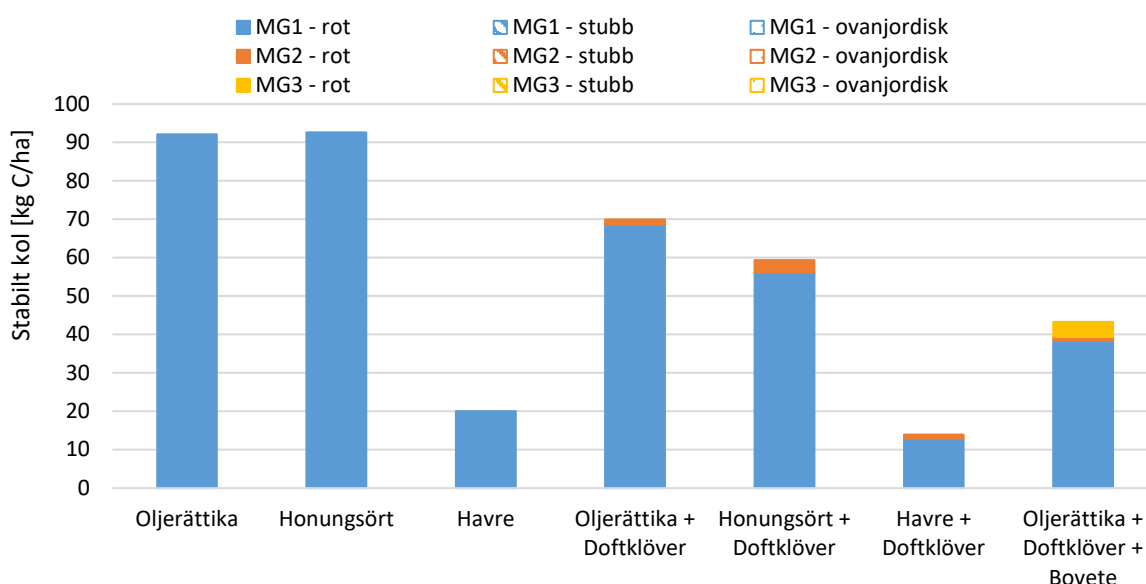
Avkastningsnivåerna låg därmed betydligt högre jämfört med försöksplatsen i Alnarp. Samodling av oljerättika, honungsört och havre med doftklöver ledde till en ökning av avkastningsnivåerna, 8 % för oljerättika och hela 69 % för havre. Bidraget från doftklöver har varit mycket betydande för samodling med mellan 1000 och 1100 kg skördbar ts per hektar när den samodlades med oljerättika respektive havre. När doftklöver samodlades med honungsört gav den dock ingen avkastning, förmodligen för att honungsörten utkonkurrerade doftklöver.



Figur 10. Ovanjordisk biomassa [ton ts per ha] av mellangröderna som odlades i Skepparslöv vid provtagningen den 30 november 2022.

Markkolsbidrag från mellangröderna

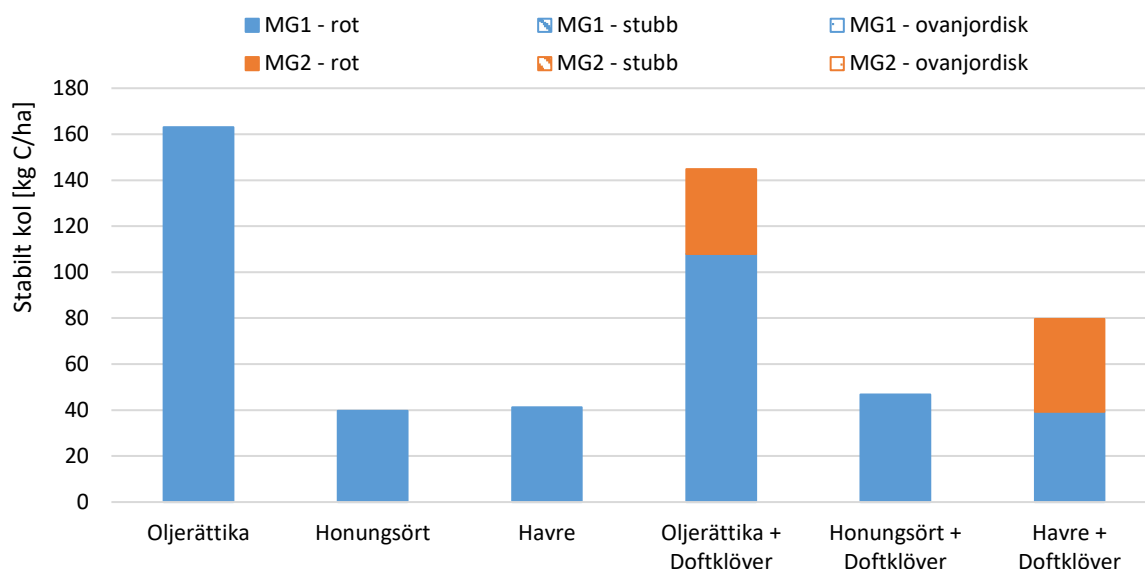
På försöksplatsen i Alnarp visade bidraget med stabilt kol till markkolspoolen (Figur 21) ett liknande mönster som biomassaavkastningen. Markkolsbidraget låg mellan 14 och 93 kg stabilt kol per hektar. Mellangröderna i renbestånd gav i snitt 44 % högre markkolsbidrag jämfört med när de samodlades med doftklöver. Skillnaden var dock mindre för oljerättika (32 %) jämfört med honungsört (56 %) eller havre (44 %). Bidraget från doftklöver och bovete har varit mycket lågt, bara 1-4 kg stabilt kol per hektar.



Figur 21. Mellangrödernas bidrag med stabilt kol [kg kol per ha] den 30 november 2022, Alnarp.

På försöksplatsen i Skepparslöv visade bidraget med stabilt kol till markkolspoolen (Figur 22) ett liknande mönster som biomassaavkastningen. Markkolsbidraget låg mellan 40 och 160 kg stabilt kol per hektar. Oljerättika hade liknande bidrag med stabilt kol i renbestånd jämfört med när den samodlades med doftklöver. Samodling av havre med doftklöver gav

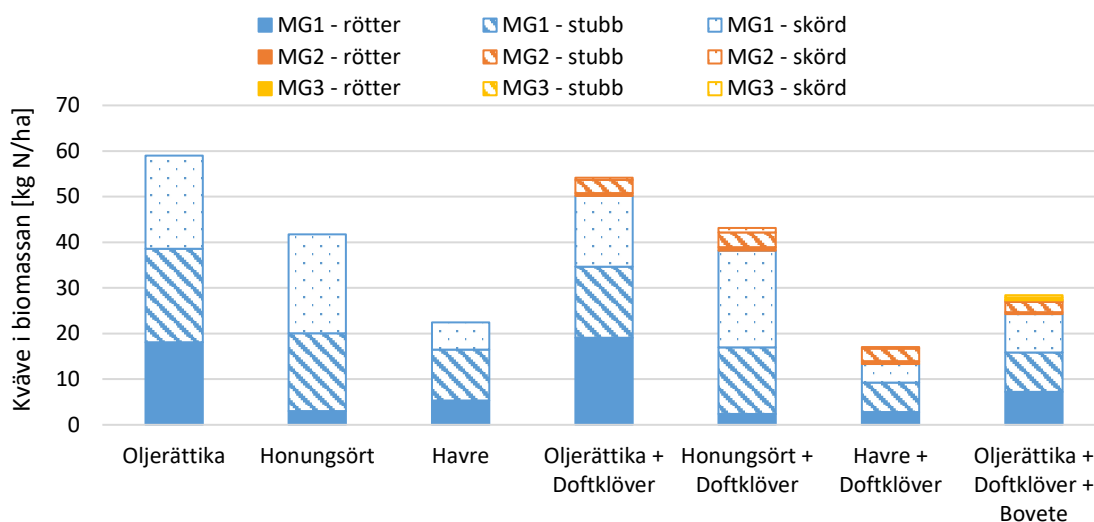
dock en 94 % högre markkolsbidrag jämfört med när havre odlades i renbestånd. Bidraget från doftklöver i Skepparslöv var betydligt högre jämfört med försöksplatsen i Alnarp, ca 40 kg stabilt kol per hektar, förutom för samodling med honungsört som konkurrerade ut doftklöverna.



Figur 22. Mellangrödornas bidrag med stabilt kol [kg kol per ha] den 30 november 2022, Skepparslöv.

Kväveupptag i mellangrödorna

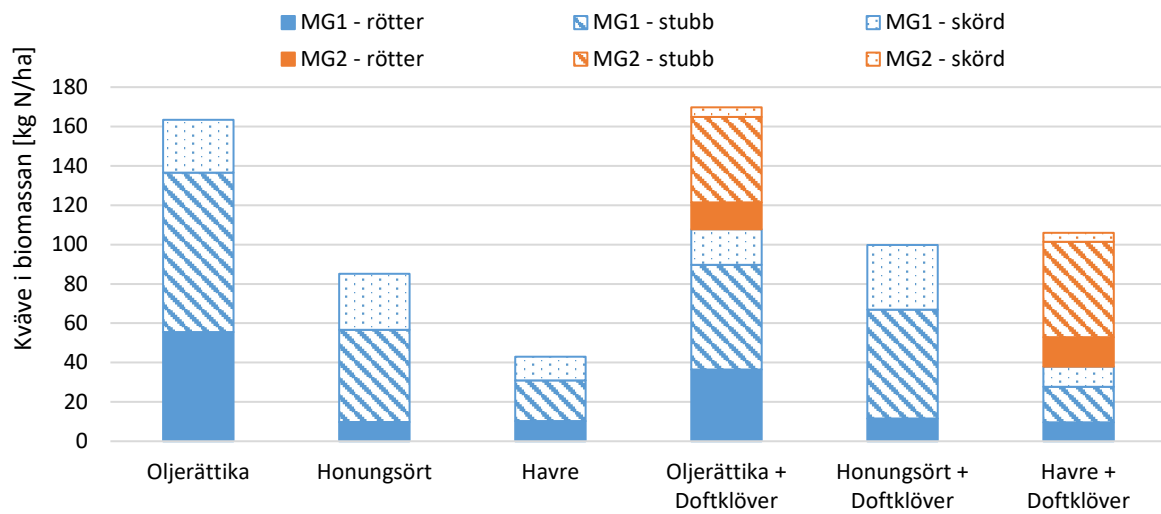
För försöksplatsen Alnarp, varierade kväveupptaget i mellangrödornas biomassa stort, 17-59 kg N per hektar (Figur 23). Oljerättika i renbestånd och samodlad med doftklöver lagrade in överlägset mest kväve, 54-59 kg N per ha. Honungsört i renbestånd och samodlad lagrade in 34-42 kg N per ha, medan havre i renbestånd och samodlade lagrade in 17-22 kg N per ha. Baljväxterna bidrog med hela 17-54 kg N per ha, betydligt mer jämfört med vår tidigare studie (Hansson *et al.*, 2023).



Figur 23. Kväveupptag [kg N per ha] av mellangröda vid provtagningen den 24 november 2022, Alnarp.

För försöksplatsen Skepparslöv, varierade kväveupptaget i mellangrödornas biomassa stort, 43-170 kg N per ha (Figur 24). Oljerättika i renbestånd och samodlad med doftklöver lagrade

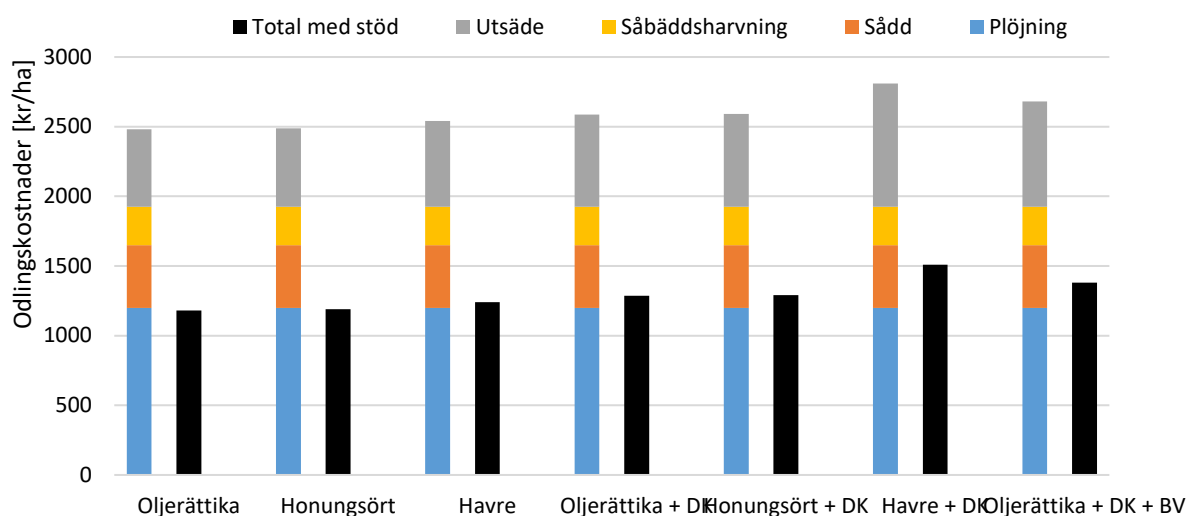
in överlägset mest kväve, 163-170 kg N per ha. Honungssört och havre i renbestånd och samodlade lagrade in 43-106 kg N per ha. Baljväxterna bidrog med hela 62-68 kg N per ha, betydligt mer jämfört med vår tidigare studie (Hansson *et al.*, 2023).



Figur 24. Kväveupptag [kg N per ha] av mellangröda vid provtagningen den 30 november 2022, Skepparslöv.

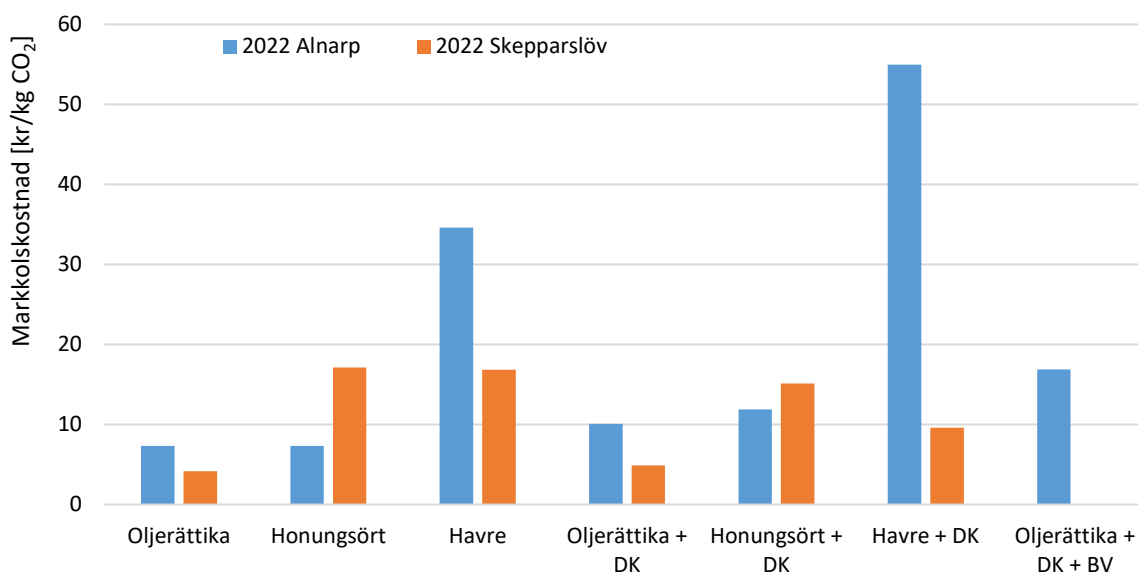
Ekonomisk analys för mellangrödorna

Odlingskostnaderna varierade från 2500-2800 kr/ha (Figur 25). Vi utgick ifrån att maskininsatserna var samma för alla mellangrödor. Skillnaderna mellan de olika mellangrödorna baseras alltså bara på skillnaderna i utsädeskostnader som varierade från 560-880 kr/ha. Med ett markkolsstöd på 1300 kr/ha, som motsvarar stödet för mellangrödor under 2024 (omräknat från 128 €/ha), blev den totala etableringskostnaden 1200-1500 kr/ha. Havre och bovete har fortfarande ganska höga utsädeskostnader ca 1000 kr/ha, som driver etableringskostnaderna i höjden. I jämförelse med tidigare analyser (Hansson *et al.*, 2023) har kostnaderna för oljerättika och havre stigit, medan den minskade för honungssört, vilket för att mellangrödorna oljerättika, honungssört och havre nu ligger på ungefär samma nivå.



Figur 25. Odlingskostnader utan och med markkolsstödet på 1300 kr/ha. För båda odlingsplatserna var kostnaden (utan stöd) för markkolsinlagring lägst för oljerättika, följd av oljerättika samodlat med doftklöver, honungssört odlat i renbestånd i Alnarp samt havre samodlat med doftklöver i Skepparslöv, 4,1-10,1 kr/kg undviken emission

av koldioxid (CO₂). Dock skilde sig kostnaderna mellan platserna där den högre biomassaavkastningen och till följd den högre potentiella kolinlagringen resulterade i kostnader på 4,1-17,1 kr/kg CO₂ i Skepparslöv och 7,3-55 kr/kg CO₂ i Alnarp (Figur 26), eller 15,2-62,8 respektive 26,9-201,6 kr/kg stabil markkolsinlagring (visas inte). Jämfört med tidigare försök (Hansson *et al.*, 2023), var det bara oljerättika renodlad och i samodling med doftklöver på Skepparslöv som levererade över 130 kg stabilt C/ha and därmed hade acceptabla markkolskostnader på under 5 kr/kg.



Figur 26. Kostnad för markkolsinlagring (utan stöd) för de undersökta mellangrödorna per enhet av undvikna växthusgasemissioner [kr/kg CO₂] baserat på resultaten från Alnarp och Skepparslöv 2022. DK = doftklöver; BV = bovete.

Diskussion om markkols effekt och markkolskostnader

Med rätt val av mellangröda, t.ex. oljerättika i renbestånd eller samodlad med doftklöver, kunde en markkols effekt på 145-160 kg stabilt kol (C) per ha uppnås, dock bara i försöken på Skepparslöv. Det är nivå med andra studier med en liknade så- och provtagningstidpunkt, där 90-200 kg stabilt C per ha uppnåddes (Hansson *et al.*, 2023; Hansson *et al.*, 2021; Prade *et al.*, 2022). Resultaten från försöksplatsen i Alnarp har dock varit betydligt lägre än förväntat, under, i flera fall tydligt, under 100 kg stabilt C per ha. Omvända effekter har visats tidigare mellan försöksplatserna (Hansson *et al.*, 2023).

Bovetet, som bara fanns med i samodling med oljerättika och doftklöver, hade mycket låga bidrag i form av biomassa och stabilt kol. Det är en mycket tidigt mognande mellangröda och då kan markkolsbidraget underskattas om provtagningen sker efter att bovetet har börjat vissna. Under liknande förutsättningar kunde bovete bidra med betydlig mer till markkols effekten när den etablerades tidigare, i slutet av juli. Då bidrog bovetet med 100-250 kg stabilt C per ha i september till november (Hansson *et al.*, 2021; Prade *et al.*, 2022). På grund av dess frostkänslighet är bovetet mindre lämpligt för en sen etablering, dvs. efter mitten av augusti.

För mellangrödorna som levererade mer än 130 kg stabilt C per ha var kolinlagringskostnaden utan stöd inräknat 15,2-17,9 kr/kg stabilt kol, eller 4,1-4,9 kr/kg CO₂ som bundits i marken, dvs i samma nivå jämfört med en tidigare studie (Hansson *et al.*, 2023). De allmänt

högre maskinkostnaderna för odling av mellangrödan jämfört med den tidigare studien kompenseras delvis genom högre tillskott av stabilt kol till marken i den här studien. Med stödet på 1300 kr/ha för mellangrödor inräknat, blev kolinlagringskostnaden 7,2-27,6 kr/kg stabilt kol, eller 2,0-7,5 kr/kg CO₂ som bundits i marken. Kostnaderna för kolinlagring i marken via mellangrödor ligger därmed i samma nivå eller högre jämfört med koldioxid-skatten som för närvarande ligger på 1,15 kr/kg CO₂. Utöver det så kan kolinlagringen även bidra till ökade skördar, minskat växtnäringsbehov och en fortsatt hög eller ökad markbördighet, vilket ger ekonomiska fördelar. En hög och bibehållen bördighet är en grundförutsättning för hållbar livsmedelsproduktion. Spannmålsdominerade växtföljder, vilka är vanligt förekommande på Götalands södra och norra slättbygder (Björnsson *et al.*, 2016), kan leda till en kontinuerlig reduktion av markens mullhalt. Mellangrödor kan därmed vara en mycket viktig åtgärd för att öka inflödet av organisk kol i marken.

Mellangrödornas potential för produktion av biogas och biogödsel

Flera vetenskapliga studier med mellangrödor som biogassubstrat har genomförts, bland annat av Molinuevo-Salces *et al.* (2013a); Nilsson *et al.* (2024), Słomka & Pawłowska (2024). Molinuevo-Salces beräkningar anger att mellangrödor, ur ekonomisk synpunkt, kan användas som biogassubstrat om skördarna överstiger 1,8 till 2,7 ton ts per ha. Variationen på ca 1 ton ts per ha i deras beräkningar, beror på att mellangrödornas biomassamängd, ts-halter och specifika metanpotentialer (liter CH₄ per kg ts) varierar vid olika skördetidpunkter.

Vår studie i Skepparslöv under 2022, visade att leden med oljerättika och honungssört i renbestånd, eller i samodling med doftklöver, gav de högsta avkastningarna av ovanjordisk biomassa, 2 till 2,5 ton ts per ha (Figur 20). Detta resulterade i en skördbar mängd biomassa på 500 till 1000 kg ts per ha.

Inga lab-analyser av mellangrödornas specifika metanpotential har gjorts i denna studie, men bland annat Molinuevo-Salces *et al.* (2013b) visar att mellangrödor kan ha en hög specifik metangaspotential. Deras artikel anger t.ex. att mellangrödornas metangaspotential låg i intervallet 315 – 380 m³ CH₄ per ton ts. I en nyare studie anger Słomka & Pawłowska (2024) t.ex. att oljerättika har en specifik metangaspotential på 312 – 382 m³ CH₄ per ton ts (omräknat med VS ≈ 0,85 * ts, i enlighet med Brown *et al.*, 2020).

Antar vi en snittskörd på 1 ton ts per ha för mellangrödorna, så kan metanproduktionen uppskattas till ca 300 m³ CH₄ per ha, motsvarande energiinnehållet i 300 liter diesellojja, när mellangrödorna skördas med ca 10 cm stubbhöjd och vid en antagen specifik metanpotential hos mellangrödorna på 300 m³ CH₄ per ton ts. I våra tidigare projekt har vi uppnått betydligt högre mängd skördbar biomassa, ca 6 ton ts per ha i mitten av september och ca 4 ton ts per ha i mitten av oktober (Prade *et al.*, 2022). Den skördbara biomassan från dessa mellangrödor skulle generera i 1800 resp. 1200 m³ CH₄ per ha. Även Lorin & Kårlin (2024) och Gustafsson (2024) rapporterar betydligt större mängd biomassa för ogödslad oljerättika, ca 3 ton ts per ha, vid sådd i början av augusti.

Mellangrödorna kan även innehålla stora mängder kväve i den ovanjordiska biomassan, från 40-160 kg kväve per ha (Figur 24). Av denna kvävemängd uppskattas ca 75 % i biomassan bortföras med skörden. Om mellangrödorna används som biogassubstrat kan större delen av detta kväve och övriga växtnäringssämnen i mellangrödorna överföras till en ny huvudgröda följande växtsäsong med den producerade biogödseln.

Mellangrödornas potential för reduktion av klimatgaser

För att kunna ge svar på vilket som är bäst ur klimatgassynpunkt, att skörda mellangrödorna med ca 10 cm stubb på senhösten, som biogassubstrat, eller låta den stå kvar i fält och vissna ner under vintern, så gör vi en överslagsmässig kolbalansberäkning för oljerättika.

Beräkningarna baseras på oljerättikans biomassaskörd samt dess markkolsbidrag, med data från Figurerna 20 och 21. Oljerättikan odlad i renbestånd på sandjorden, med <15 % ler på Skepparslöv, beräknas kunna skördas från mitten av oktober till mitten av november och antas ge en skördbar biomassa på ca 1 ton ts per ha.

Beräkningarna i tabell 4 visar att det är ca 2,6 gånger bättre ur klimatgassynpunkt, att skörda oljerättikan som biogasråvara, för att producera biometan (biodrivmedel) och biogödsel, jämfört med att låta oljerättikans biomassa vissna ner under vintern, och på så sätt maximera erosionskyddet från biomassan.

I kolbalansberäkningen för oljerättikan gör vi följande antaganden:

- 1) av kvävet i mellangrödans ovanjordiska biomassa (stubb + skördbar biomassa), ca 100 kg N per ha på senhösten (Figur 24), så blir ca 30 %, dvs. ca 30 kg N per ha av detta tillgängligt för nästa års huvudgröda, efter mellangrödans nervissning under vintern,
- 2) och av den skördbara biomassan blir ca 90 %, dvs. ca 22,5 kg N per ha av mellangrödans bladmassa tillgängligt via gödsling med biogödseln följande vår till en ny huvudgröda,
- 3) av mellangrödans skördbara bladmassas energiinnehåll, i form av metangas, 1000 kg ts * 300 l CH₄ per kg ts = 300 m³ CH₄, motsvarande 300 liter diesel, avräknas 25 %, ca 75 liter diesel, för skörd och transport av mellangrödan, spridning av den biogödsel som mellangrödan producerar.

Tabell 4. Kolbalansberäkning [kg C per ha] över oljerättika när sådden gjordes i mitten av augusti och skörden genomfördes från mitten av oktober till mitten av november

Oljerättika	Nermyllning	Skörd
Ovanjordisk biomassa [kg ts/ha]	1000	1000
Biometanpotential [m ³ /ha]	0	300
Kolbalansberäkning		
Markkolsbidrag från skördbar biomassa, < 15 % lerhalt ger 0 kg C i bidrag	(50)	0
Återfört stabilt kol med biogödseln ^{a)}	0	25
Markkolsbidrag från mellangrödans rötter	90	90
Undviken fossil kol via växttillgängligt N till nästa huvudgröda ^{b)}	54	95
Biometan som ersätter fossil diesel ^{c)}	0	165
Summa climateffekt [kg C per ha]	144	375
Klimat-effekt-kvot; skörda C / nervissnad C ^{d)}		2,6 ^{d)}

a) Hälften av det ”stabila” kolet i mellangrödan återförs med biogödseln: 50 % * 50 kg C = 25 kg C/ha.

b) 1,8 kg C per kg tillverkat N är beräknad via faktorn 12/44 (andelen C i CO₂) från 6.6 kg CO₂-ekv per kg N (Börjesson m.fl. 2010). 30 kg N/ha * 1,8 kg C/kg N = 54 kg C/ha. 52,5 kg N/ha * 1,8 kg C/kg N = 95 kg C/ha.

c) 1 liter diesel MK1 = 2,69 kg CO₂-ekv enligt Energimyndigheten Växthusgasutsläpp (2021). 300 m³ CH₄ * (100 % - 25 %) = 225 m³ CH₄ = 225 l diesel * 2,69 kg CO₂ per l diesel = 605 kg CO₂ * 12/44 = 165 kg C/ha.

d) Klimat-effekt-kvoten för de två systemen, skördad mellangröda till biogas respektive nervissnad mellangröda som vinderosionskydd, beräknas som: 375 (kg C per ha) / 144 (kg C per ha) = 2,6

Kolbalansberäkningen, i tabell 4, visar att det ur climateffektsynpunkt är ca 2,6 gånger bättre att skörda oljerättikan, som biogasråvara på senhösten, jämfört med att låta hela mellangrödans biomassa vissna ner under vintern, för att maximera skyddet mot vinderosion.

Observera dock att eventuella utsläpp i form av lustgas eller andra växthusgaser från nervissnad mellangröda inte har beaktats i dessa beräkningar. Lashermes m.fl. (2022) pekar dock på att vi hitintills kan ha underskattat risken för N₂O-utsläpp från skörderester, mellangrödor etc, som är färska och som har en låg kol-kväve-kvot vid nervissningen.

Även Guenet m.fl. (2021), som utvärderat mängden kol som kan lagras in i marken via olika grödor, och som samtidigt studerat förändringarna i N₂O-utsläpp, menar att för att kunna beräkna klimatförändringarna med en ökad kolinlagring i marken, så måste tillhörande N₂O-utsläpp beaktas, annars sker generellt sett en överskattning av kolinlagringens betydelse.

Studier från Plazas *et al.* (2012) visar att när mellangrödor lämnas kvar på marken över vintern, så är markens mineralkvävemängd lägre på våren, jämfört med när mellangrödorna myllas ner på hösten, vilket kan tyda på kväveförluster från nedvissnad mellangröda under vintern. Dock räddas i vårt försök ca 22,5 kg växttillgängligt kväve per ha ($52,5 - 30 = 22,5$ kg N per ha) från att "försvinna" från markprofilen under vintern, om mellangrödan skördas som biogassubstrat i stället för att vissna ner under vintern, när oljerättikans biomassaskörd uppgår till ca 1 ton ts per ha.

Referenser

- Ahlqvist, A (2019) Summer cover crops after harvest of early potatoes control seed weeds. Sommarmellangrödor etablerade efter färskpotatis kontrollerar fröogräs. Master's Thesis Project in Horticultural Science. SLU, Alnarp. 54 p. [Link](#)
- Aronsson H., Ernfors M, Kätterer T, Bolinder M, Svensson SE, Hansson D, Prade T & Bergkvist G (2023) Mellangrödor i växtföljden – för kolinlagring och effektivt kväveutnyttjande. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. (Ekohydrologi, 179).
- Ascard J (2015) Ogräsreglering. Ekologisk grönsaksodling på friland. Jordbruksverket. 42 s.
- Barrios Latorre SA, Björnsson L & Prade T (2024) Managing soil carbon sequestration: an assessment of potential soil organic carbon development affected by intermediate crop cultivation and application of digestate from anaerobic digestion, GCB Bioenergy (submitted).
- Björnsson L, Prade T, & Lantz M (2016) Grass for biogas - Arable land as carbon sink. An environmental and economic assessment of carbon sequestration in arable land through introduction of grass for biogas production.
- Blanco-Canqui H, Ruis S J, Proctor CA, Creech CF, Drewnoski ME & Redfearn DD (2020) "Harvesting cover crops for biofuel and livestock production: Another ecosystem service?" *Agronomy Journal* **112**(4): 2373-2400.
- Blanco-Canqui H, Shaver T M, Lindquist J L, Shapiro C A, Elmore R W, Francis C A & Hergert G W (2015) Cover Crops and Ecosystem Services: Insights from Studies in Temperate Soils. *Agronomy Journal* 107(6): 2449-2474.
- Bleeker P *et al.* (2007) New ways of sowing or planting onions for innovative intra-row weeders. 7th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control. S103 Salem, Germany.
- Bolinder M A, Janzen H H, Gregorich E G, Angers D A & VandenBygaart A J (2007) "An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada." *Agriculture, Ecosystems & Environment* **118**(1-4): 29-42.
- Brown A E, Ford J S, Bale C *et al.* (2020) An assessment of road-verge grass as a feedstock for farm-fed anaerobic digestion plants. *Biomass and Bioenergy*. Vol 38, July 2020. [Link](#)
- Börjesson, P., L. Tufvesson and M. Lantz (2010). Livscykelanalys av svenska biodrivmedel. Lund, Sweden, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University: 1102-3651.
- Chaput J (1998) Management of Organic Soils. Factsheet. M.R. McDonald - Muck Research Station. Ministry of Agriculture, food and rural affairs. Toronto Ontario. Canada.
- Dabney S M, Delgado J A & Reeves D W (2001) Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, 7 & 8 (32), pp. 1221-1250.
- Dabney S M, Delgado J A, Meisinger J J *et al.* (2010) Using cover crops and cropping systems for nitrogen management. *Advantages in Nitrogen Management*, Chapter 9. pp. 230-281. FAO (2019) Food and Agriculture Organization. [Link](#)

- Energimyndigheten. (2021). "Växthusgasutsläpp." Hemsidan besöktes; 2021-01-28
<http://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/drivmedelslagen/vaxthusgasutslapp>
- FAO (2019) Food and Agriculture Organization.
- Garland G, Edlinger A, Banerjee S *et al.* (2021) Crop cover is more important than rotational diversity for soil multifunctionality and cereal yields in European cropping systems. *Nature Food* 2(1):28-37. DOI: 10.1038/s43016-020-00210-8 [Link](#).
- Gustafsson, K. (2024). Kan vi höja stärkelseskörden med hjälp av mellangrödor? Lyckeby Concept Odling, Januari 2024:1 [Link](#).
- Hallama M, Pekrun C, Lambers H, *et al.* (2019) Hidden miners – the roles of cover crops and soil microorganisms in phosphorus cycling through agroecosystems. *Plant Soil* 434: 7.
- Hansson D, Svensson S-E, Nilsson A & Andersson L (2017a) Bekämpningsstrategier med miniträda och avbrottsgrödor mot nattskatta och bägarnattskatta i en ekologisk växtföljd – Slutrapport till SLF för projekt H1356158. 10 s.
- Hansson D, Björkholm A-M & Svensson S-E (2017b) Integrerad ogräsbekämpning i sådd lök. SLU Alnarp. LTV-fakultetens faktablad 2017:36. 4s. [Link](#)
- Hansson D, Prade T, Tufvesson L & Svensson S-E (2018) Sommarmellangrödors ogräsbekämpande egenskaper – resultat från ett fältförsök 2017. Inst. för biosystem och teknologi, SLU Alnarp. September 2018. 16 s.
- Hansson, D., S.-E. Svensson and T. Prade (2021) Etableringstidpunktens inverkan på sommarmellangrödors ogräsbekämpande egenskaper, markkolsbidrag och potential som biogasråvara – fältförsök Norra Åsum 2018. Landskapsarkitektur, trädgård, växtproduktionsvetenskap: rapportserie. Alnarp, Biosystem och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Hansson D, Prade T, Svensson S-E (2023) Strimsådd av ekologiska specialgrödor i utvintrande mellangrödor. LTV-fakultetens rapportserie 2023:11. 62 s. Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap, SLU Alnarp. <https://doi.org/10.54612/a.73np5qelup>. ISBN: 978-91-8046-923-4.
- Herbstritt S, Richard TL, Lence SH, Wu H, O'Brien PL, Emmett BD, Kaspar TC, Karlen DL, Kohler K & Malone RW (2022) Rye as an Energy Cover Crop: Management, Forage Quality, and Revenue Opportunities for Feed and Bioenergy. *Agriculture*, 12, 1691.
- Hoeping C (2019) Expanding the use of Brassica cover crops in onion production. Cornell Cooperative Extension Vegetable Program. SARE. USA.
- Holmberg, Maria (2024) Personligt meddelande Olssons frö, Helsingborg.
- Kätterer T, Bolinder M A, Andrén O, Kirchmann H & Menichetti L (2011) "Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 141(1–2): 184-192.
- Lagerquist E & Bergkvist G (2021) Halva ytan bearbetas - Odling utan tung jordbearbetning i ett system med radhackning och insådda mellangrödor. SLU Ekoforsk. [Link](#)
- Launay C, Houot S, Frédéric S, Girault R, Levvasseur F, Marsac S & Constantin J (2022) Incorporating energy cover crops for biogas production into agricultural systems: benefits and environmental impacts. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42: 57.
- Lorin D & Kårlin J (2024) Vart tar kvävet i gödslade mellangrödor vägen? Självständigt arbete. SLU Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap Inst. för biosystem och teknologi, Lantmästarprogrammet Alnarp. [Link](#)
- Ma S, He F, Tian D, Zou D, Yan Z, Yang Y, Zhou T, Huang K, Shen H & Fang J (2018) Variations and determinants of carbon content in plants: a global synthesis, *Biogeosciences* 15(3), 693-702. <https://doi.org/10.5194/bg-15-693-2018>.
- Malone W R, Radke A, Herbstritt S, *et al.* (2023) Harvested winter rye energy cover crop: multiple benefits for North Central US. *Environ. Res. Lett.* 18, 074009.

- Molinuevo-Salces, B, Larsen S U, Biswas R, Ahring B K & Uellendahl H (2013a) Key factors for achieving profitable biogas production from agricultural waste and sustainable biomass. Recovering (bio) resources for the world: Proceedings of the 13th World Congress on Anaerobic Digestion, Santiago de Compostela, Spain, IWA
- Molinuevo-Salces, B, Larsen S U, Biswas R, Ahring B K & Uellendahl H (2013b) "Biogas production from catch crops: Evaluation of biomass yield and methane potential of catch crops in organic crop rotations." *Biomass and Bioenergy* 59(0): 285-292.
- Morris NL, Miller PCH, Orson JH & Froud-Williams RJ (2010) The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment—A review. *Soil & Tillage Research* 108, 1–15.
- Niléhn F (2016) Strip tillage sjätte året i rad. *Betodlaren* 2, 16-17.
- Nielsen O (2022) Sukkerroer i andre omgivelser. *NBR*. 2, 8-9.
- Olofsson F & Ernfors M (2022) Frost killed cover crops induced high emissions of nitrous oxide. *Science of the Total Environment* 837. [Link](#)
- Olsen P & Dubgaard A (2008) Sustainable agriculture and soil conservation. Case Study Report (WP2 findings) – Denmark. 33 p.
- Peoples M B, Herridge D F & Ladha J K. (1995) Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant Soil* 174:3–28.
- Poeplau C, Kätterer T, Bolinder MA, Börjesson G, Berti A & Lugato E (2015) Low stabilization of aboveground crop residue carbon in sandy soils of Swedish long-term experiments, *Geoderma* 237–238(0), 246-255. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.09.010>.
- Plaza A, Ceglarek F, Gasiorowska B & Buraczyńska D (2012) Effect of undersown catch crops cultivated in conventional and organic farming systems on the mineral nitrogen content of soil determined in autumn and spring. January 2012 *Fresenius Environmental Bulletin* 21(12):3966-3970.
- Prade T, Hansson D & Svensson S-E (2022) Etableringstidpunktens inverkan på sommarmellangrödors markkolsbidrag och ogräsbekämpande egenskaper - fältförsök på Helgegården 2019. LTV-Rapport 2022:1. Inst. för biosystem och teknologi, SLU Alnarp. ISBN 978-91-576-9003-6.
- Shelton R E, Jacobsen K L & McCulley R L (2018) Nitrogen Loss in Organic and Conventional Conservation Agriculture Systems. *Frontiers in Plant Science*, Volume 8, 14 p. Article 2260. [Link](#)
- Słomka A & Pawłowska M (2024) Catch and Cover Crops' Use in the Energy Sector via Conversion into Biogas - Potential Benefits and Disadvantages. *Energies*, 17, 600. <https://doi.org/10.3390/en17030600>
- SNP (1989) Utredning om förädling av majs för det nordiska området. SNP-publikation nr 20, maj 1989. [Link](#)
- Sturm D J (2018) Cover cropping in integrated weed management. Dissertation. Faculty of Agricultural Sciences. University of Hohenheim. [Link](#)
- Szerencsits M, Weinberger C, Kuderna M, Feichtinger F, Erhart E & Maier S (2015) Biogas from Cover Crops and Field Residues (2015) Effects on Soil, Water, Climate and Ecological Footprint. *World Acad. Eng. Technol. Int. J. Environ. Ecol. Eng.* 9, 413–416.
- Thorup-Kristensen K (1994) The effect of nitrogen catch crop species on the nitrogen nutrition of succeeding crops. *Fertilizer Research* 37: 227-234.
- Wang K, McSorley R, Gallaher R N & Kokalis-Burelle N (2008) Cover crops and organic mulches for nematode weed and plant health management. *Nematology* 10:231–242.
- Yorgey G & McGuire A (2018) Strip-tillage for onions and sweet corn. Pacific Northwest Extension publications. Washington State University. 14 p. [Link](#)