

Långsiktiga effekter av växtföljd på avkastningen av vårsådd stråsäd

Long-term effects of crop rotation on the yield of spring sown cereals

Mina Sattar Panahi

Handledare: Ortrud Jäck, SLU, institutionen för växtproduktionsekologi

Bitr. handledare: Göran Bergkvist, SLU, institutionen för växtproduktionsekologi

Examinator: Anneli Lundkvist SLU, institutionen för växtproduktionsekologi

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A1E

Kurstitel: Självständigt arbete i biologi - magisterarbete

Kurskod: EX0732

Program/utbildning: Agronomprogrammet – inriktning mark/växt 270 hp

Kursansvarig inst.: Institutionen för växtproduktionsekologi

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2020

Omslagsbild: Göran Bergkvist

Nyckelord: *Avena sativa*, havre, *Hordeum vulgare*. korn, långliggande försök, Monokultur, stråsäd, *Triticum aestivum*, vete, växtföljd

Sveriges lantbruksuniversitet

NJ-fakulteten

Institutionen för växtproduktionsekologi

Sammanfattning

En varierad växtföljd är en vanlig tillämpad strategi för att öka grödornas avkastning och effektiviteten i resursutnyttjande. Motsatsen till detta kallas att odla i monokultur. Odlingsförsök har visat att stråsäd odlad i monokultur producerar lägre avkastning jämfört med när den odlas i en varierad växtföljd. Reduktionen i avkastning beror främst på ökat patogen- och ogrässtryck. Förfrukt har stor betydelse för den studerade grödan. Att plöja ned halm kan leda till immobilisering av kväve i marken, detta gör kväve otillgängligt för grödan att ta upp. Skadegörare kan också överleva på halm mellan växtsäsonger. Ett sätt att minska överföringen av sjukdomar mellan säsonger är att bränna halmen. Långliggande försök är ett viktigt verktyg för att värdera ett odlingsystem. Syftet med denna uppsats är att bestämma de långsiktiga effekterna av att odla vårsådda stråsädesgrödor i monokultur jämfört med i en växtföljd och hur effekten påverkas av tillgången på kväve och halmbränning. De fyra hypoteserna såg ut som följande, (1) att vårsådd stråsäd odlad i växtföljd avkastar mer än vårsådd stråsäd av samma art odlad i monokultur, (2) att halmbränning minskar växtföljdens betydelse på avkastningen, (3) att kvävegödsling minskar växtföljdens betydelse på avkastningen och (4) att skillnaden i avkastning mellan vårsådd stråsäd odlad i monokultur respektive växtföljd ökar med tiden. Studien har gjorts med hjälp av data från ett långliggande försök på Säby utanför Uppsala. Försöket fokuserar på vårvete, vårkorn och havre odlad i monokultur och varierad växtföljd. I försöket har fyra olika kvävemängder använts och halmen har antingen hackats eller bränts och i båda fallen plöjts ned. Data från detta försök analyserades statistiskt och en blandad modell användes för att inkludera fixa och slumpmässiga effekter. Resultatet visar att vårvete var den enda grödan med tydliga skillnader i avkastning mellan monokultur och växtföljd. Havreavkastningen skiljde inte signifikant mellan varierad växtföljd och monokultur. För vårkorn fanns ingen skillnad i avkastning mellan växtföljd och monokultur. Halmbränning gav endast ökad avkastning för vårvete. Det fanns ett samband mellan kvävegödsling och odlingsystem för havre vilket betyder att kvävegödsling minskade effekten av förfrukt. Vårvete odlad i varierad växtföljd hade en positiv avkastningstrend över tiden och monokulturerna hade negativa avkastningstrender, vilket betyder att skillnaden i avkastning mellan monokultur och växtföljd ökade med tiden. Medelavkastningarna för vårkorn och havre låg över medelavkastningarna i Uppsala län för samma grödor under samma tidperiod. Slutsatsen var att det under förhållanden som i detta långliggande försök är möjligt att odla vårsådda stråsäd i monokultur utan att avsevärt minska vårsädens avkastning. Avkastningen gynnades när halmen brändes istället för hackades och plöjdes ned. Kvävegödsling hade större betydelse för havreavkastningen odlad i monokultur än havre odlad i växtföljd.

Nyckelord: Avena sativa, havre, Hordeum vulgare. korn, långliggande försök, Monokultur, stråsäd, Triticum aestivum, vete, växtföljd

Abstract

A diversified crop rotation is a common applied strategy to improve grain yield in cereal production. The opposite is called continuous monoculture. Field trials have shown that cereals cultivated in monoculture produce lower grain yield than when grown in a diversified crop rotation. The yield reduction is due to increased pathogenic and weed pressure. The preceding crop is of great importance in a crop rotation. Straw incorporated into the soil can lead to immobilization of nitrogen, thus making the nitrogen unavailable to the crop. Diseases can survive on straw residue between growing seasons. To prevent this, a possible strategy is to burn the straw. Long-term experiments are important for examining cropping systems. The purpose of this thesis was to determine the long-term effects of growing spring sown cereals in monoculture and how it is affected by the supply of nitrogen and straw burning. The four hypotheses were as follows: (1) spring sown cereals grown in a diverse crop rotation produce higher yield than spring sown cereal of the species grown in monoculture, (2) burning of straw reduces the importance of crop rotation in terms of yield, (3) nitrogen fertilization reduces the importance of crop rotation in terms of yield, (4) and difference in yield between spring sown cereals grown in monoculture and a diverse crop rotation increases with time. The study was done using data from a long-term experiment at Säby outside Uppsala. The experiment compares spring wheat, spring barley and oats grown in monocultures with the same crops grown in a diverse crop rotation. Four different nitrogen levels were applied, and the straw was either chopped or burned and, in both cases, ploughed into the soil. Data from this experiment were statistically analyzed and a mixed model was used to include both fixed and random effects. The results showed that spring wheat was the only crop with a significant difference in yield between monoculture and a diverse crop rotation. Oats had no significant difference in yield, but there was a tendency that yields were higher in the diverse rotation. For spring barley there was no differences in yield depending on crop rotation. The burning of straw increased yield of spring wheat, but not of oats and barley. There was a significant relationship between the cropping system and nitrogen fertilization for oats, which means that nitrogen fertilization reduced the effects of the preceding crop. The yield of spring wheat grown in a diverse crop rotation tended to increase over time, while the yield of spring wheat grown monoculture tended to decrease over time. This means that the difference in yield increased over time. The average yield of spring barley and oats were above the average yield of the same cereals grown in the Uppsala region during the same period. The conclusion of this study was that in conditions such as in this long-term experiment it is possible to grow spring-sown cereals in monoculture without a significant reduction in yield. In this study, the burning of straw increased the yield of spring wheat compared to incorporating the straw. The yield of oats grown in monoculture was more affected by nitrogen fertilization than the oats grown in crop rotation.

Keywords: *Avena sativa*, barley, cereal, crop rotation, *Hordeum vulgare*. Long-term experiments, Monoculture, *Triticum aestivum*, oats, wheat

Populärvetenskaplig sammanfattning

Befolkningen i Sverige ökar, vilket ställer högre krav på en ökad livsmedelsproduktion. Eftersom marken att odla grödor till livsmedel på är begränsad i Sverige måste istället skörden av dessa grödor bli större eller importen öka. Det finns idag olika sätt att öka skörden från en gröda, ett sätt är att odla en art av gröda efter en annan art vilket vanligen ger en större skörd än när samma art odlas år efter år, detta kallas att odla grödor i en varierad växtföljd. Skördeökningen beror till stor del på att insekter, svampar och sjukdomar som endast kan angripa och skada en art inte kan överleva och göra skada när en annan art odlas. Motsatsen till detta är att odla samma art av gröda år efter år på samma fält, vilket kallas att odla i monokultur. Grödan som odlas innan årets gröda kallas förfrukt och kan ha egenskaper som gynnar årets odlade gröda. Hur halmen behandlas efter skörden och tillförseln av näringsämnet kväve kan också påverka nästkommande grödas skörd. För att studera hur skörden påverkas av olika strategier odlas grödor i försök under en längre tidsperiod. Dessa försök kallas långliggande försök och med hjälp av dessa går det att studera om en strategi påverkar odlingen olika under en längre tid och om effekten förändras över tiden. I denna studie har jag valt att studera ett långliggande försök med de tre grödorna vete, havre och korn som alla tre är sådda på våren. De tre grödorna har odlats både i en varierad växtföljd och i monokultur. Mitt syfte var att jämföra skördarna mellan de två olika odlingssätten för att se hur det påverkat skörden av de olika grödorna. Jag studerade också hur skörden påverkades när kväve och halm tillfördes till jorden där grödorna odlades. Mitt resultat visade att veteskörden blev större när den odlades i växtföljd än när den odlades i monokultur. Veteskörden blev också större om halmen brändes istället för återfördes som hackad ner i jorden. När havre odlades i monokultur hade tillförseln av kväve större betydelse för skörden än när den odlades i växtföljd. Av mina resultat drog jag slutsatsen att det i förhållanden liknande som i detta försök går att odla vårsådd vete, korn och havre i monokultur utan att dess skörd blir avsevärt mindre.

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	7
Figurförteckning	9
Inledning	11
Hypoteser	12
Litteraturgenomgång	13
Monokultur	13
Varierad växtföljd	15
Halmbehandling	17
Kvävegödsling	18
Långliggande försök	18
Material och metoder	21
Långliggande försök med vårsådd stråsäd i olika växtföljder	21
Statistisk analys	23
Resultat	25
Vårvete	25
Vårkorn	27
Havre	29
Diskussion	32
Slutsats	37
Referenser	38
Tack	45
Appendix	46
Avkastningstrend för vårvete beroende på odlingssystem	46
Avkastningstrend för vårkorn beroende på odlingssystem	46
Avkastningstrend för havre beroende på odlingssystem	46

Tabellförteckning

Tabell 1. Total mängd kväve i kg ha ⁻¹ tillfört till de olika grödorna i växtföljdsförsöket R4-0906-2 år 1967-2011. År 1974 byttes N0 ut mot N4.....	23
Tabell 2. Variansanalys av vårvetets avkastning 1977 – 1997 beroende på behandlingarna odlingssystem (varierad växtföljd eller monokultur, med eller utan halmbränning) och kvävemängd (35, 70, 105 eller 140 kg N ha ⁻¹ tillfört mineralkväve). Signifikansnivån sattes till 5%	26
Tabell 3. Vårvete, medelavkastning beroende på odlingssystem (tabell 2) 1977–1997, samt signifikansgrupp efter Tukey-test ($\alpha=0.05$)	26
Tabell 4. Vårvete, medelavkastning beroende på tillförd mängd kväve (tabell 2), samt signifikansgrupp efter Tukey-test ($\alpha=0.05$)	26
Tabell 5. Variansanalys för vårkornets avkastning 1977 – 1997 beroende på behandlingarna odlingssystem (varierad växtföljd eller monokultur, med eller utan halmbränning) och kvävemängd (35, 70, 105 eller 140 kg N ha ⁻¹ tillfört mineralkväve). Signifikansnivån sattes till 5%	28
Tabell 6. Vårkorn, medelavkastning beroende på tillförd mängd kväve (tabell 5), samt signifikansgrupp efter Tukey-test ($\alpha=0.05$)	29
Tabell 7. Variansanalys för havrens avkastning 1977 – 1997 beroende på behandlingarna odlingssystem (varierad växtföljd eller monokultur, med eller utan halmbränning) och kvävemängd (35, 70, 105 eller 140 kg N ha ⁻¹ tillfört mineralkväve). Signifikansnivån sattes till 5%	30
Tabell 8. Havre, medelavkastning beroende på odlingssystem (tabell 8) 1977–1997, samt signifikansgrupp efter Tukey-test ($\alpha=0.05$)	30
Tabell 9. Havre, medelavkastning med signifikansgrupp visat som bokstavskombinationer för kvävemängd och odlingssystem,	

där medel¹ är medel per kvävemängd och medel² är medel
per odlingssystem. 30

Figurförteckning

- Figur 1.* Växtföljdsförsöket R4-0906-2. Försöksdesign med stora och små rutor där de små rutorna behandlats med olika kvävegivor (visat i de fyra första smårutorna i figuren, N0 – N3 se tabell 1.). B – Havre (monokultur/halm hackad/plöjd), C – Korn (monokultur/halm hackad/plöjd), D – Vårvete (monokultur/halm hackad/plöjd), E – Havre (monokultur/halm bränd/plöjd), F – Korn (monokultur/halm bränd/plöjd), G – Vårvete (monokultur/halm bränd/plöjd), A1 – Träda (växtföljd), A2 – Höstraps (växtföljd), A4 – Havre (växtföljd), A5 – Korn (växtföljd) och A6 – Vårvete (växtföljd). A1-A6 flyttar ett steg i växtföljden per år..... 22
- Figur 2.* Växtföljdsförsöket R4-0906-2. Vårveteavkastningens (vid 15% vattenhalt) utveckling 1977–1997 för de olika odlingssystemen (hackad/plöjd och bränd/plöjd i monokultur, samt hackad/plöjd i växtföljd), i genomsnitt över kvävemängderna 35, 70, 105 och 140 kg N ha⁻¹ 25
- Figur 3.* Växtföljdsförsöket R4-0906-2. Vårkornavkastningens (vid 15% vattenhalt) utveckling 1977–1997 för de olika odlingssystemen (hackad/plöjd och bränd/plöjd i monokultur, samt hackad/plöjd i växtföljd), i genomsnitt över kvävemängderna 35, 70, 105 och 140 kg N ha⁻¹ 27
- Figur 4.* Växtföljdsförsöket R4-0906-2. Vårkornsavkastningens (vid 15% vattenhalt) utveckling 1977–1997 för de olika kvävemängderna (35, 70 105 och 140 kg N ha⁻¹) i genomsnitt över de olika odlingssystemen. 28
- Figur 5.* Växtföljdsförsöket R4-0906-2. Havreavkastningens (vid 15% vattenhalt) utveckling 1977–1997 för de olika odlingssystemen (hackad/plöjd och bränd/plöjd i monokultur, samt hackad/plöjd i växtföljd), i genomsnitt över kvävemängderna 35, 70 105 och 140 kg N ha⁻¹ 29
- Figur 6.* Växtföljdsförsöket R4-0906-2. Havreavkastningens (vid 15% vattenhalt) utveckling 1977–1997 för de olika kvävemängderna (35, 70 105 och 140 kg N ha⁻¹). I genomsnitt av de olika odlingssystemen. 31

Inledning

Enligt Statistiska centralbyrån (SCB) kommer Sveriges befolkning att öka med 1 miljon till år 2029 och med 2 miljoner ytterligare till år 2070 (SCB 2020a). 2020 ligger Sveriges befolkningsmängd på cirka 10,3 miljoner (SCB 2020b). Detta ställer högre krav på produktionen av grödor till livsmedel för att klara den ökande efterfrågan (Jordbruksverket 2018). Samtidigt är marken att odla grödor på begränsad och därför ökar istället kravet på högre avkastning (Charles et al. 2010). I den nationella livsmedelsstrategin är målen bland annat att Sverige år 2030 ska ha ökat produktionen, samtidigt som relevanta miljömål nås. Syftet med detta är att skapa tillväxt och öka sysselsättningen i hela landet samt öka självförsörjningsgraden av livsmedel, vilket ska minska sårbarheten i livsmedelskedjan (Regeringskansliet 2017). Enligt regeringens handlingsplan ska 30% av den svenska jordbruksarealen bestå av certifierad ekologisk jordbruksmark år 2030 (Regeringskansliet 2017). För att uppnå dessa mål ska till exempel växtskyddet utvecklas genom att arbeta mer med integrerat växtskydd och nya bekämpningsmetoder som minskar den negativa påverkan på miljön. Kunskapen hos rådgivare och lantbrukare ska också öka för att förbättra markbördighet och säkra markens produktionsförmåga (Regeringskansliet 2017). Det finns många strategier för att optimera grödans tillväxt och avkastning. I konventionell odling används mineralgödsel med olika sammansättningar beroende på vilken gröda som ska gödglas. Insekticider och fungicider används för att bekämpa skadegörare och herbicider för att minska konkurrensen från ogräs (Liebman & Dyck 1993). I ekologisk odling är mineralgödsel och kemiska bekämpningsmedel ej tillåtna och därför används en mer förebyggande strategi för att kontrollera skadegörare, till exempel gröd- och sortval, samt att det finns ett större fokus på att återcirkulera näringsämnen till marken (Bårberi 2002; Lockeretz 2007). En annan vanlig strategi för att minska behovet av insatsmedel i både konventionell och ekologisk odling är att använda sig av en varierad växtföljd. En växtföljd kan definieras som den ordningsföljd med vilket grödor följer varandra under en bestämd tidsperiod på ett och samma fält. Motsatsen till en varierad växtföljd kallas monokultur, där samma art odlas på ett fält år efter år (Fogelfors 2015; Weidow 2018). Odlingsförsök i tempererat klimat, har visat att odling av spannmål i monokultur normalt ger

en lägre avkastning, än odling i en varierad växtföljd (Lejiņš & Lejiņa, 2007; Kirkegaard et al. 2008; Zou et al. 2015). En anledning till detta är att skadegörare som till exempel rottdödare (*Gaeumannomyces graminis*) är kortlivad utan värdväxt. Rottdödare blir ett mindre problem vid odling av grödor i växtföljd, då den inte överlever när stråsäd ej odlas. Studier har visat att infektion från rottdödare minskar efter 2 till 4 år vid odling i monokultur (Cook 2003). Detta beror på att det sker en naturlig, biologisk kontroll av rottdödare (Bailey et al. 2009). De försök som har visat att stråsädens avkastning är större då den odlas i växtföljd, sträcker sig oftast bara över en kort tidsperiod och därför går det inte att med hjälp av dessa säga hur stråsäd påverkas långsiktigt av att odlas i monokultur (Lejiņš & Lejiņa 2007; Kirkegaard et al. 2008; Zou et al. 2015). I Ungern har långliggande försök visat att vete odlad i monokultur gav mindre avkastning än när det odlades i en varierad växtföljd. Reduktionen i avkastning berodde på ökat patogentryck och storleken på patogentrycket berodde på det rådande vädret under säsongen (Berzsenyi, Gyórfy & Lap 2000). Försök i Polen visar också att andelen infekterade plantor av rot- och stråbaspatogener var större för spannmål odlade i monokultur (Kurowski & Adamiak 2007).

Syftet med denna uppsats är att bestämma de långsiktiga effekterna av att odla vårsådda stråsädsgrödor i monokultur och hur effekten påverkas av tillgången på kväve och halmbränning. Fokus är på vårvede, vårkorn och havre och hur dessa gröders avkastning påverkas av att odlas långsiktigt i monokultur jämfört med en varierad växtföljd. Stråsäden har gödslats med fyra olika kvävegivor och halmen har antingen bränts eller hackats. Studien har gjorts med hjälp av data från ett långliggande försök på Säby utanför Uppsala med beteckning R4-0906-2 som startades 1967 och som fortfarande finns kvar.

Hypoteser

- Vårsådd stråsäd odlad i varierad växtföljd avkastar mer än vårsådd stråsäd av samma art odlad i monokultur.
- Halmbränning minskar växtföljdens betydelse för avkastningen
- Kvävegödsling minskar växtföljdens betydelse för avkastningen
- Skillnaden i avkastning mellan vårsådd stråsäd odlad i monokultur respektive varierad växtföljd ökar med tiden

Litteraturgenomgång

Monokultur

En växtföljd där en gröda av samma art odlas år efter år kallas att odla i monokultur (Fogelfors 2015). Trots de bevisade fördelarna med avbrottsgrödor och varierade växtföljder blir det vanligare att odla grödor som vete i monokultur eller att odla samma art av en gröda två till tre år i följd (Angus et al. 2015). Detta beror på att pesticider och mineralgödsel blivit lättillgängliga och billiga i förhållande till priset på den gröda som produceras. Med få grödor i växtföljden behöver maskinparken inte innehålla lika många maskiner, samt att skötseln av grödorna under växtsäsongen blir enklare. Dessa faktorer gynnar en ensidig odling av de grödor som ger bäst betalt (Angus et al. 2015).

I monokulturer gynnas ogräs med samma livscykel som grödan, år efter år. Detta kan ge en uppförökning av de ogräs som konkurrerar mest med grödan om solljus, vatten och näring, vilket kan påverka både kvalitet och kvantitet negativt (Angus et al. 2015). En viktig strategi för att kontrollera ogräs blir då användning av herbicider. Risken med att använda bekämpningsmedel med samma verksamma ämne regelbundet och ofta är att ogräsen kan bli resistent. Våtarv (*Stellaria media* (Vill.) L.) och åkerven (*Apera spicaventi* L.) är två arter med stor förekomst av populationer resistent mot de i Sverige mest använda verksamma ämnena (Svenskt Växtskydd 2016). Vårsådd stråsäd kan tidigt konkurrera med ogräs då de har en tidig uppkomst och en tidig mognad vilket ger dem en bra konkurrensförmåga. Det går därför att minska herbicidanvändningen i dessa grödor, jämfört med grödor med större radavstånd. (Håkansson 2003). I ensidig odling av vårsådda stråsädesgrödor blir främst sommarannuella ogräs som till exempel flyghavre (*Avena fatua* L.), svinmålla (*Chenopodium album* L.) och dån-arter

(*Galeopsis* spp. L.) ett problem. Även fakultativt vinterannuella ogräs som våtarv (*Stellaria media* (L.) Vill.) och snärjmåra (*Galium aparine* L.) kan bli problem i vårsådd stråsädsodling, då de kan gro både på hösten och på våren (Håkansson 2003).

Monokultur ökar risken för uppförökning av patogener. När en mottaglig gröda odlas kontinuerligt kan en patogen fortsätta infektera och fullborda sin livscykel år efter år. Försök har också visat att spridningen av fusarium (*Fusarium* spp.) och rotdödare (*Gaeumannomyces graminis* var. *Graminis*) i stråsäd odlade i monokultur är stor, jämfört med spridningen i en varierad växtföljd (Kurowski & Adamiak 2007). Kurowski & Adamiak (2007) kom fram till att andelen plantor som var infekterade med fusarium och rotdödare var större för vårkorn, höstvet, havre och råg odlade i monokultur jämfört med när de odlades i varierad växtföljd. För vårkorn var andelen plantor infekterade med bipolaris (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.)) betydligt större i monokultur än i varierad växtföljd. Vid odling av stråsäd i monokultur ökar ofta förekomsten av rotdödare under de första tre till fyra åren men sjunker sedan till lägre nivåer och stabiliseras vid fortsatt odling av monokulturen (Bailey et al. 2009). Denna effekt kallas på engelska för "the decline effect". Orsaken till effekten tros vara att dynamiska interaktioner mellan patogen, värdväxt och mikroorganismer i jorden håller tillbaka patogenen. Effekten anses vara ett resultat av en anrikning av antagonistiska mikrobiella populationer i marken, som hämmar rotdödare (Bailey et al. 2009). Denna effekt leder till att rotdödare kan ha en större påverkan på avkastningen under de första åren av monokultur men vid fortsatt kontinuerlig odling av samma stråsädesslag kommer storleken på infektionen stabiliseras på en högre nivå än under de första åren av monokultur (Macnish 1988). Förutom rotdödare finns andra vanliga patogener som orsakar sjukdomar på stråsäd som bland annat bipolaris, rostsjukdomar (*Puccinia* spp.) och bladfläcksjukdomar (*Drechslera* spp.) (Jordbruksverket 2015). Bipolaris och bladfläcksjukdomar kan bekämpas genom en varierad växtföljd då dessa överlever på växtrester i marken. Rostsjukdomar kontrolleras främst genom att odla motståndskraftiga sorter, använda friskt utsäde och vid konstaterat angrep kontrollera med fungicider (Jordbruksverket 2012, 2015). Andra skadegörare som kan angripa stråsäd kan till exempel vara fritfluga (*Oscinella frit* L.), havrebladlus (*Rhopalosiphum padi* L.), sädesbladlus (*Sitobion avenae* (Fabricius 1775)), trips (*Limothrips* spp), havrecystnematod (*Heterodera avenae* (Wollenweber)) och bladbakterios på havre (*Pseudomonas syringae* pv. *coronafaciens* (Elliott)) (Jordbruksverket 2015). Av dessa är framförallt havrecystnematod kopplat till ensidig växtföljd.

Varierad växtföljd

Avkastningen hos grödor som odlas efter en gröda av annan art är generellt högre än om den odlas efter gröda av samma art. Ökningen i avkastning beror på avbrottsgrödans egenskaper, längden på avbrottet och miljöfaktorer (Angus et al. 2015; McBeath et al. 2015; Sieling & Christen 2015). Ett syfte med en avbrottsgröda är att bryta sjukdomscykler hos värdspecifika patogener som annars hade fortskridit vid kontinuerlig odling av samma värdväxt (Kirkegaard et al. 2008). Enligt försök utförda i Sverige varierade avkastningsökningen när raps, ärt, havre och korn användes som avbrottsgröda till höstvetete mellan 12 och 145 % (Olofsson 1993).

En varierad växtföljd, fortsättningsvis kallad växtföljd, kan bestå av olika arter av grödor som odlas i en mer eller mindre bestämd följd på ett fält. Vid en varierad växtföljd fungerar grödorna som avbrottsgrödor till varandra. Förfrukten är den gröda som föregår den studerade grödan och är den gröda i växtföljden som har störst betydelse för produktionen hos den studerade grödan (Angus et al. 2015). Kvävefixerande baljväxter är ett exempel på förfrukter som har positiv effekt på efterföljande stråsåd. Baljväxter som ärt (*Pisum sativum* L.) eller åkerböna (*Vicia faba* L.) fixerar kväve från luften med hjälp av rhizobiumbakterier som infekterar rötterna (Angus et al. 2015). Det kväve baljväxter fixerar från luften byggs till stor del in i dess biomassa och förs bort vid skörden. Baljväxter behöver därför inte utnyttja markens förråd av tillgängligt kväve till lika stor del som till exempel höstvetete. Kväve frigörs också när baljväxters rötter bryts ned efter skörd. Detta kväve tillsammans med det utnyttjade kvävet kan då utnyttjas av nästkommande stråsådesgröda (Lindén & Engström 2006). Raps (*Brassica napus* L.) fixerar inte kväve men kan ändå ha en kväveefferverkan på nästkommande gröda. Detta beror på att kväveupptaget upphör tidigt under tillväxten, vilket lämnar kvar kväve i marken samt att rapsen förlorar en del kväve efter blomning när döda kväverika blomblad faller till marken (Lindén & Engström 2006). Vall med antingen gräs, kvävefixerande perenna grödor, som klöver, eller en blandning av baljväxter och gräs, är en viktig gröda i växtföljd, speciellt i ekologisk odling. Detta beror på att vall har en sanerande effekt på skadegörare, annuella ogräs och många allvarliga perenna ogräs, samt bidrar till inlagring av kol i marken. Vid odling av kvävefixerande grödor i vallen bidrar den också med kväve till efterföljande gröda (Kauppila 1990; Liebman & Dyck 1993).

Lindén (2008) kom i en sammanställning av tidigare resultat fram till att grödor som är helt obesläktade med stråsäd ger bäst förfrukteffekt, när stråsäd odlas som nästkommande gröda. Havre kan fungera som bra förfrukt till vete och korn om det inte förekommer nematoder i marken. Detta beror på att havre, odlad i Sverige, inte angrips av rotdödare eller stråknäckare. Korn som förfrukt till vete eller tvärtom är inte fördelaktigt då rotdödare och flera andra skadegörare angriper båda dessa grödor (Lindén 2008). En sammanställning av försök utförda i Australien av Kirkegaard et al. (2008) visade att vete odlad efter baljväxter fick en avkastningsrespons på 40 – 50%, när små mängder av kvävegödsel tillsattes. Responsen minskade till 10 – 17% vid optimal kvävegödsling, vilket är jämförbart med oljeväxters avkastningsrespons på vete. I absoluta tal var effekten ungefär densamma oavsett gödslingsnivå. Baljväxters kväveeffekt kan därför anses speciellt viktig om kväve tillförs i små mängder (Kirkegaard et al. 2008). Preissel et al. (2015) sammanställde europeiska försök som också visade att förfruktseffekten kan ha stor betydelse för stråsädens avkastning. I dessa försök var värdet av en förfrukt, relativt sätt, störst vid små mängder av tillförd kvävegödsel. Sammanställningen visade också det gick att minska kvävegödslingen till stråsäd med 23–31 kg ha⁻¹ om baljväxter odlats som förfrukt jämfört med stråsäd som förfrukt. Stråsädens avkastning var också 0,5–1,6 ton ha⁻¹ större om förfrukten var en baljväxt istället för stråsäd (Preissel et al. 2015). Detta stöds även av försök i Sverige utförda av Lindén & Engström (2006) som visade att höstvete, som ej kvävegödslats, efter förfrukterna höstraps och ärt hade en avkastning som var 1,5 ton ha⁻¹ respektive 1,1 ton ha⁻¹ större jämfört med när förfrukten var havre. När höstvetet kvävegödslats var avkastningen efter förfrukterna höstvete och ärt istället 1,2 ton ha⁻¹ respektive 1 ton kg ha⁻¹ större jämfört med förfrukten havre. Detta visar att efterverkande kväveeffekter från förfrukten har större betydelse vid liten till ingen kvävegödsling. Vid stor kvävegödsling blir istället de sanerande förfruktseffekterna mer betydelsefulla än den efterverkande kväveeffekten (Lindén & Engström 2006).

Förfrukters rötter och växtrester kan påverka markstrukturen. Detta genom bland annat utsöndring av stabiliserande eller destabiliserande ämnen i rhi-zosfären (Kirkegaard et al. 2008). Perenna grödor som till exempel lusern (*Medicago sativa* L.) kan också öka andelen makroporer i alven samt förbättra vattnets infiltration (Mccallum et al. 2004). I försök med oljeväxter som förfrukt till vete som utfördes i Australien ökade vetets avkastning med 0,8

t/ha i medeltal (Angus et al. 2011). Denna meravkastning beror delvis på att oljeväxter, precis som baljväxter, efterlämnar mineralkväve i marken efter skörd och effekten som avbrottsgröda, men oljeväxternas rötter är också speciellt bra för markstrukturen (Angus et al. 2011). Andelen makroporer ökar, aggregaten blir stabilare och markens andel lättillgängligt vatten ökar, vilket är positivt för utvecklingen av vetegrödan. Denna stukturförbättring blir dock kortlivad vid upprepade såbäddsberedningar inför nästkommande gröda. Detta beror på att tunga maskiner då packar marken vilket reducerar rapsens effekter på strukturen (Schönhammer & Fischbeck 1987; Chan & Heenan 1996).

Ogräs kan påverka den kvantitativa och kvalitativa avkastningen negativt (Lundkvist 2014). Beroende på vilka ogräs som finns närvarande i odlingen ska därför växtföljden planeras på ett sätt så att dessa ogräs missgynnas. Detta då ogräs kan fungera som värdväxter till skadegörare på grödor samt konkurrera om ljus, näring och vatten (Stevenson & van Kessel 1996). En varierad växtföljd där både höst- och vårgrödor odlas är ett exempel på strategi som kan minska konkurrensen från årliga ogräs då varken vinter- eller sommarårliga ogräs kontinuerligt gynnas (Bårberi 2002).

Halmbehandling

Halm från stråsödsodling kan behandlas på olika sätt. En metod är att plöja ner halmen i jorden men det går också att skörda halmen och använda i djurproduktionen eller som bränsle i värmesystem (Njøs & Børresen 1991). Tidigare var det också möjligt att bränna halmen på fältet, något som numera inte är tillåtet (SJVFS 2014:41). Fördelen med att plöja ner halmen efter skörd är att organiskt material tillförs till jorden samt att halmen förbättrar markens fysikaliska egenskaper till exempel genom att stabilisera aggregat (Njøs & Børresen 1991). En nackdel med att plöja ner halm är att på grund av halmens höga C/N-kvot finns risk för immobilisering av kväve när halmen bryts ned, vilket gör kväve otillgängligt för grödan att ta upp (Chen et al. 2014). Om halmen brukas ner grunt kan det också leda till att växtpatogener och skadegörare kan överleva på dessa och angripa nästkommande gröda (Børresen 1999). Försök i England och Mexiko har visat att avkastningen av vår- och höstveten var lägre när halmen plöjdes ner eller lämnats på markytan istället för att brännas (Graham et al. 1986; Limon-Ortega, Govaerts & Sayre 2008). I båda försöken drogs slutsatsen att halmbränning ändå inte är ett hållbart alternativt ur ett miljö- eller hälsoperspektiv, eftersom det vid halmbränning bildas sot och aska som förorenar omgivningen (Graham et al.,

1986; Limon-Ortega, Govaerts & Sayre, 2008). Resultat från norska försök visade också att medelavkastningen var högst när halmen brändes (Njøs & Børresen, 1991).

Kvävegödsling

Kväve är det näringsämne som är mest avgörande för storleken på produktionen och därför det näringsämne som tillsätts mest i odlingen (Malhi et al. 2001). Den ekonomiskt optimala kvävemängden till stråsäd ökar med ökad avkastning (Lindén 2008). Den optimala mängden tillfört kväve kan dock minska om mängden växttillgängligt kväve i marken är stor, då detta kväve kan ersätta en del av gödselkvävet (Lindén 2008). Försök har visat att för varje ton avkastning ha^{-1} av stråsäd krävs i medeltal 20 kg ha^{-1} kvävegödsel (Lindén 2008). Om en förfrukt med stor kväveefferverkan odlas och kvävegödselmängden inte modifieras efter denna förfrukt, kan detta leda till reduktion i nästkommande stråsådesgrödans avkastning och att risken för liggsäd ökar (Kirkegaard et al. 2008). Stora mängder kväve kan leda till minskad stråstyrka hos vete, korn och havre, som kan orsaka liggsäd hos dessa grödor. Enligt en litteratursammanställning av Berry et al. (2004) minskade stora mängder tillfört kväve andelen lignin i cellväggen, vilket leder till reducerad stråstyrka. Sämre rothållfasthet kan också vara en effekt av stora mängder tillfört kväve då mängden rötter minskar, samt att rötterna blir smälare med sämre böj- och sträckegenskaper (Berry et al. 2004). I torrare klimat kan också stora mängder tillfört kväve stimulera överdriven tillväxt hos vete som leder till att mycket vatten konsumeras. Detta leder till brådmognad och en reducerad avkastning när det tillgängliga vattnet är begränsat under kärnfyllningen (Kirkegaard et al. 2008). Odling av vårsådda grödor innebär att kvävet endast tas upp av grödorna under vår och sommar. Det finns därför en risk att kväve som mineraliseras under höst och vinter, då marken är obevuxen, lakas ut (Lindén 2008).

Långliggande försök

Långliggande försök är ett viktigt verktyg för att studera långsamma förändringar i ett odlingsystem (Onofri, Seddaiu & Piepho 2016). Det kan också användas till att studera hur effekten av olika behandlingar skiljer sig över tiden och beror på förhållanden under enskilda år (Loughin et al. 2007). Försöket bör ligga minst 15 till 20 år för att definieras som långliggande (Berti et al. 2016). Skillnaden mellan ett kortare (1-3-årigt) och ett långliggande

försök är att i det kortvarigare försöket studeras de direkta förändringarna av en åtgärd. Ett långliggande försök gör det istället möjligt att studera långsamma förändringar på till exempel avkastning och/eller jordens egenskaper över tid (Berti et al. 2016). Odlas alla grödor i växtföljden varje år får förhållanden under enskilda år mindre betydelse för tolkningen av resultaten än om många kortvariga försök genomförs ett enskilt år (Bergkvist & Öborn 2011). Långliggande försök kan användas för att studera hur till exempel klimatförändringar påverkar jordbruket. Det går också att upptäcka förändringar i ekosystemmönster och utvärdera hur naturliga eller experimentella störningar påverkar jordbruket. Resultat från långliggande försök kan användas till att utveckla modeller för att förbättra odlingen (Berti et al. 2016).

Skötseln av långliggande försök förändras ofta över tiden. Detta beror på att dessa försök är kostsamma och för att rättfärdiga att de får fortsätta måste fler faktorer eller behandlingar studeras inom samma försök. Behandlingar kan också tas bort eller modifieras då omständigheterna kräver detta (Loughin et al. 2007; Johnston & Poulton 2018). För att kunna behålla en del äldre försök med fokus på växtnäring har dessa modifierats så att de nu också studerar effekten av olika behandlingar på ogräs och skadegörare (Johnston & Poulton 2018). Det är ofta inte intressant att bara utvärdera den huvudsakliga effekten av en behandling, utan i ett långliggande försök är det ofta mer intressant att utvärdera hur tiden påverkar effekten av behandlingen, då kumulativa effekter kan kvantifieras och jämföras (Loughin et al. 2007).

Värdet av ett bra planerat och utfört långliggande försök ökar med tiden men så gör också kostnaderna. Genom att ha fler syften och lokalisera försöket på mark som är karakteristisk för den typen av odling som är intressant, blir också försöket mer kostnadseffektivt och resultaten blir applicerbara (Johnston & Poulton 2018). Analysen av data från långliggande växtföljdsförsök kan utgöra en utmaning då det finns faktorer som skiljer sig från kortare fältförsök. Faktorer som ofta måste tas hänsyn till är att, (1) den slumpmässiga variationen kan variera mellan år, (2) korrelationen kan minska med ökat avstånd i tid då samma ruta observeras varje år (3) effekten av en gröda kan variera beroende på var i växtföljden den befinner sig, (4) det finns ofta inte någon upprepning inom år, (5) effekten av en behandling kan ackumuleras under försökets gång, samt (6) behandlingar som bearbetning, gödsling och bekämpning av skadegörare kan förändras under försökets gång för att hålla försöket relevant för aktuell odling. Dessa faktorer gör att det inte alltid finns en unik och enkel statistisk modell för att utvärdera försöket

(Payne 2015). Onofri, Seddaiu & Piepho (2016) gjorde en översiktlig granskning av litteraturen och kom fram till att de olika långliggande försökens planer skiljde beroende på vad försökets syfte var. En svårighet med långliggande försök är att, beroende på dess syfte, välja lämplig statistisk analys för att utvärdera dem.

Material och metoder

Långliggande försök med vårsådd stråsäd i olika växtföljder

Som beskrivet i inledningen var syftet med denna uppsats att bestämma det långsiktiga effekterna av att odla vårsådda stråsädesgrödor i monokultur och hur effekten påverkas av tillgången på kväve och halmbränning. Hypoteserna såg ut som följande:

- Vårsådd stråsäd odlad i varierad växtföljd avkastar mer än vårsådd stråsäd av samma art odlad i monokultur.
- Halmbränning minskar växtföljdens betydelse för avkastningen
- Kvävegödning minskar växtföljdens betydelse för avkastningen
- Skillnaden i avkastning mellan vårsådd stråsäd odlad i monokultur respektive varierad växtföljd ökar med tiden

Försök R4-0906-2 startade år 1967 på Säby utanför Uppsala som en del av en större försöksserie. Det ursprungliga syftet var att undersöka hur bra vårsådd stråsäd klarade att odlas i monokultur beroende på halmbehandling och mängd tillfört kväve. Försöket har två upprepningar i form av två block. I varje block finns 12 storrutor och i varje storruta finns fyra smårutor med olika kvävegivor (Figur 1). I storrutorna odlas vårvete, vårkorn och havre med och utan halmbränning i monokulturer, samt i en växtföljd. Stråsäden i monokultur odlas varje år i samma ruta. Växtföljden består av sex olika grödor som var och en odlas varje år och ser ut som följande:

Träda – Höstraps – Höstvete – Havre – Vårkorn – Vårvete

Block 2												
B	C	D	A1	A2	A3	A4	A5	A6	E	F	G	
N1	N2											
N3	N0											

A1	A2	A3	B	C	D	E	F	G	A4	A5	A6	
Block 1												

Figur 1. Växtföljdsförsöket R4-0906-2. Försöksdesign med stora och små rutor där de små rutorna behandlats med olika kvävegivor (visat i de fyra första smårutorna i figuren, N0 – N3 se tabell 1.). B – Havre (monokultur/halm hackad/plöjd), C – Korn (monokultur/halm hackad/plöjd), D – Vårvete (monokultur/halm hackad/plöjd), E – Havre (monokultur/halm bränd/plöjd), F – Korn (monokultur/halm bränd/plöjd), G – Vårvete (monokultur/halm bränd/plöjd), A1 – Träda (växtföljd), A2 – Höstraps (växtföljd), A4 – Havre (växtföljd), A5 – Korn (växtföljd) och A6 – Vårvete (växtföljd). A1-A6 flyttar ett steg i växtföljden per år.

Fram till 2012 behandlades halmen från monokulturen på två olika sätt. I hälften av rutorna brändes halmen före plöjning och i andra hälften hackades halmen före plöjning. Från 2013 hackades all halmen före plöjning. Datinsamling sker årligen efter skörd och sparats i en databas. I försöket används sorter som lämpar sig för det geografiska området och byte av sort har normalt skett när en sort inte längre fanns tillgänglig. Sådden sker vid normaltid för området. Ogräs och skadegörare bekämpas med kemiska bekämpningsmedel liknande bekämpningen i vanlig jordbruksdrift. Försöket gödslas med fosfor och kalium enligt gödslingsplan, och vid behov sprids mangan. Vid skörd har kärnor vägts och vikten har korrigerats för renhet och vattenhalt. Mellan 1967 och 2011 ingick en kvävegödslingsfaktor i smårutor där fyra kvävegivor (N0, N1, N2 och N3) var slumpmässigt placerade. År 1974 togs N0 bort och ersattes med N4 (tabell 2). Vid spridning av kväve har från och med 2004 ett svavelhaltigt kvävegödselmedel, innehållande cirka 27 % kväve används. Tidigare gödslades med kalksalpeter (15,5 % N).

Tabell 1. Total mängd kväve i kg ha^{-1} tillfört till de olika grödorna i växtföljdsförsöket R4-0906-2 år 1967-2011. År 1974 byttes N0 ut mot N4

	1967–1973 (kg ha^{-1})	1974 – 2011 (kg ha^{-1})
Oljeväxt¹		
N0	0	
N1	50	50
N2	100	100
N3	150	150
N4 ²		200
Höstvete		
N0	0	
N1	45	45
N2	90	90
N3	135	135
N4		180
Havre, korn & vårvete		
N0	0	
N1	35	35
N2	70	70
N3	105	105
N4		140

Statistisk analys

En modell togs fram för varje gröda, en så kallad blandad modell. Denna typ av modell kan analysera flerfaktoriella försök, samt inkludera både fixa och slumpmässiga effekter. Det är också möjligt att ta hänsyn till att effekten av faktorer närmare i tid är mer beroende av varandra. Halmbehandling, kvävegiva och den kontinuerliga parametern år bestämdes som de fixa effekterna, block, smårutor och storrutor bestämdes som de slumpmässiga. Den statistiska analysen av de blandade modellerna genomfördes i programmet R (R Core Team 2019) med hjälp av paketet 'nlme' (Pinheiro et al. 2019). Olika varians-kovarians-strukturer anpassades och bästa strukturen valdes

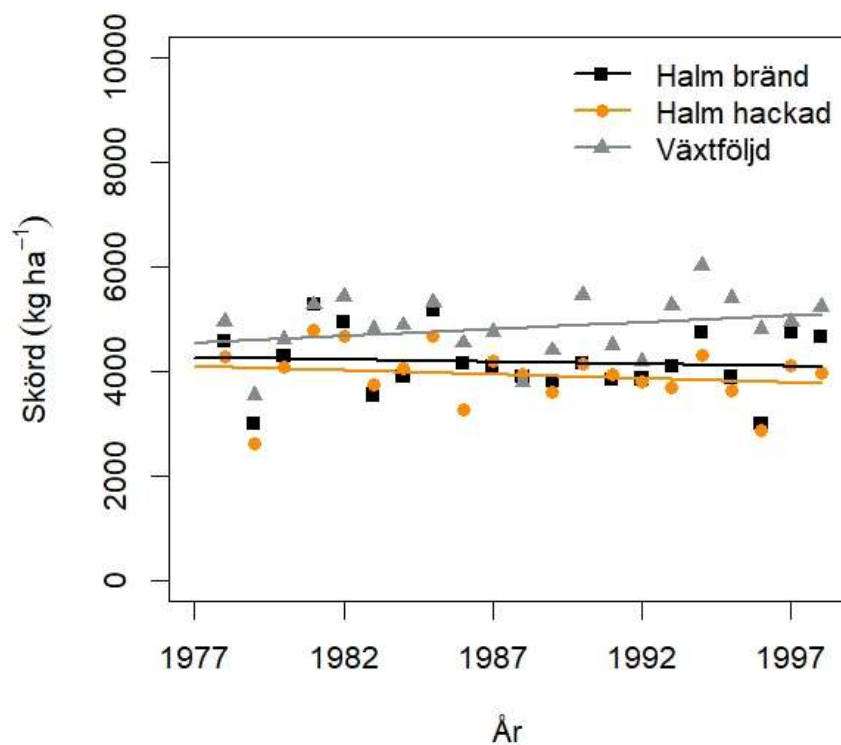
¹Fram till 2009 odlades vår- eller höstrybs beroende på förutsättningarna enskilt år. Efter 2009 byttes rybs ut mot vår- eller höstraps.

genom att jämföra AIC-värdet (Akaikes informationskriterium). Modellen med de minsta AIC-värdena valdes. Variansanalysen genomfördes för att testa effekter av försöksfaktorer. Skillnader i kärnavkastning mellan olika behandlingar, kvävegivor och år analyserades med Turkey-test på signifikansnivån 5%, med hjälp av paketen 'emmeans' (Lenth 2019) och 'multcomp' (Hothorn, Bretz & Westfall 2008). För att undvika etableringsfasen uteslöts de 10 första åren av försöket. Det fjorton senaste åren har avkastningen flera år blivit liten oavsett behandling. Detta kan betyda att någon annan faktor än de undersökta har haft stort inflytande på avkastningen. Jag valde därför att även exkludera de senaste fjorton åren (1998–2011). Detta innebär att försöksdata från tidsperioden 1977–1997 analyserades i denna studie.

Resultat

Vårvete

Figur 2 visar vårveteavkastningens utveckling mellan 1977 och 1997 beroende på odlingssystem. Analysen visade att det fanns ett signifikant samspel mellan år och odlingssystem på vårvetets kärnavkastning (tabell 2). För vårvete odlad i växtföljd ökade avkastningen över tiden, i monokulturerna minskade den istället långsamt (figur 2). Det fanns en skillnad i avkastning mellan monokultur med bränd och nedplöjd halm och monokultur med hackad och plöjd halm men skillnaden förändrades inte över tid.



Figur 2. Växtföljdsförsöket R4-0906-2. Vårveteavkastningens (vid 15% vattenhalt) utveckling 1977–1997 för de olika odlingssystemen (hackad/plöjd och bränd/plöjd i monokultur, samt hackad/plöjd i växtföljd), i genomsnitt över kvävemängderna 35, 70, 105 och 140 kg N ha⁻¹

Tabell 2. *Variansanalys av vårvetets avkastning 1977 – 1997 beroende på behandlingarna odlingssystem (varierad växtföljd eller monokultur, med eller utan halmbränning) och kvävemängd (35, 70, 105 eller 140 kg N ha⁻¹ tillfört mineralkväve). Signifikansnivån sattes till 5%*

	F-värde	P-värde
Intercept	123 333, 6	<0,0001
År	0,01	0,9
Odlingssystem	82,8	<0,0001
Kvävemängd	91,2	<0,0001
År × odlingssystem	6,2	0,002

Skillnaden i kärnavkastning var signifikant mellan de tre odlingssystemen (tabell 3). Avkastningen var störst i växtföljden, följt av monokultur med bränd halm och minst avkastning hade monokultur med hackad halm. Meravkastningen för vårvete odlad i växtföljd var 0,9 ton respektive 0,6 ton större jämfört med monokultur med bränt respektive hackad halm (tabell 3)

Tabell 3. *Vårvete, medelavkastning beroende på odlingssystem (tabell 2) 1977–1997, samt signifikansgrupp efter Tukey-test ($\alpha=0.05$)*

Odlingssystem	Kärnavkastning, medel (t ha ⁻¹)	Signifikansgrupp
Monokultur, halm hackad	3,9	A
Monokultur, halm bränd	4,2	B
Växtföljd	4,8	C

Medelavkastningen för vårvete skiljde sig signifikant mellan olika kvävenivåer. Kvävegödsling hade en positiv effekt upp till 105 kg ha⁻¹. Det fanns ingen signifikant ökning i avkastning när mängden kväve ökades ytterligare (tabell 4).

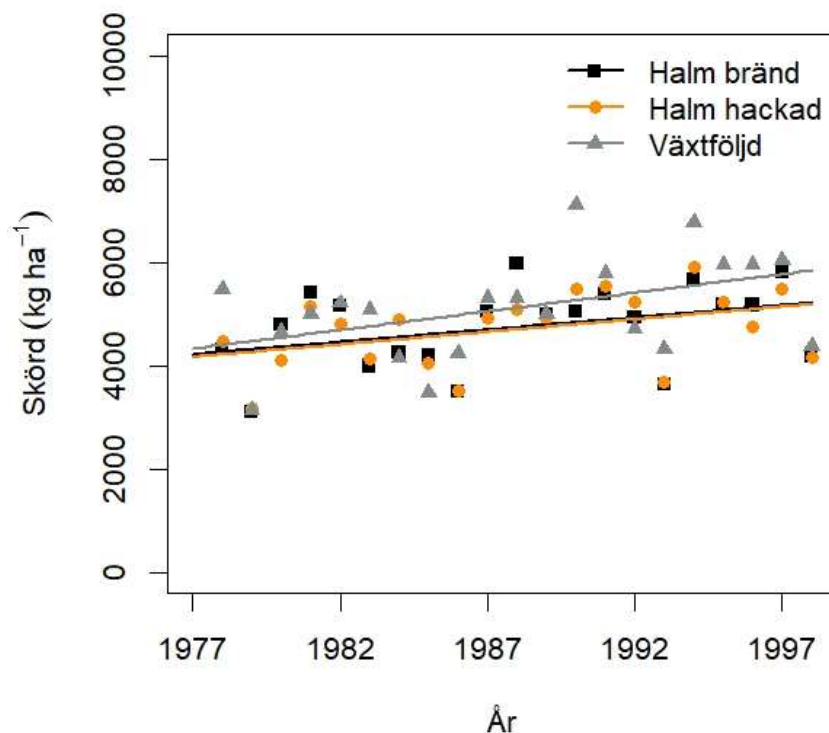
Tabell 4. *Vårvete, medelavkastning beroende på tillförd mängd kväve (tabell 2), samt signifikansgrupp efter Tukey-test ($\alpha=0.05$)*

Kvävemängd (kg ha ⁻¹)	Kärnavkastning, medel (t ha ⁻¹)	Signifikansgrupp
35	3,5	A
70	4,3	B
105	4,7	C
140	4,8	C

Det fanns inget signifikant samspel mellan odlingssystem och kvävemängd, vilket betyder att odlingssystemen påverkades på samma sätt av tillfört kväve.

Vårkorn

Figur 3 visar vårkornavkastningens utveckling mellan 1977 och 1997, beroende på odlingssystem. Tidstrenden var positiv men förändringen över tid var lika oavsett odlingssystem och kvävemängd (tabell 5). Det fanns möjligen en tendens till att avkastningen i växtföljdedet ökade mer än i de båda monokulturleden ($p=0,27$ & $p=0,30$) (figur 3).

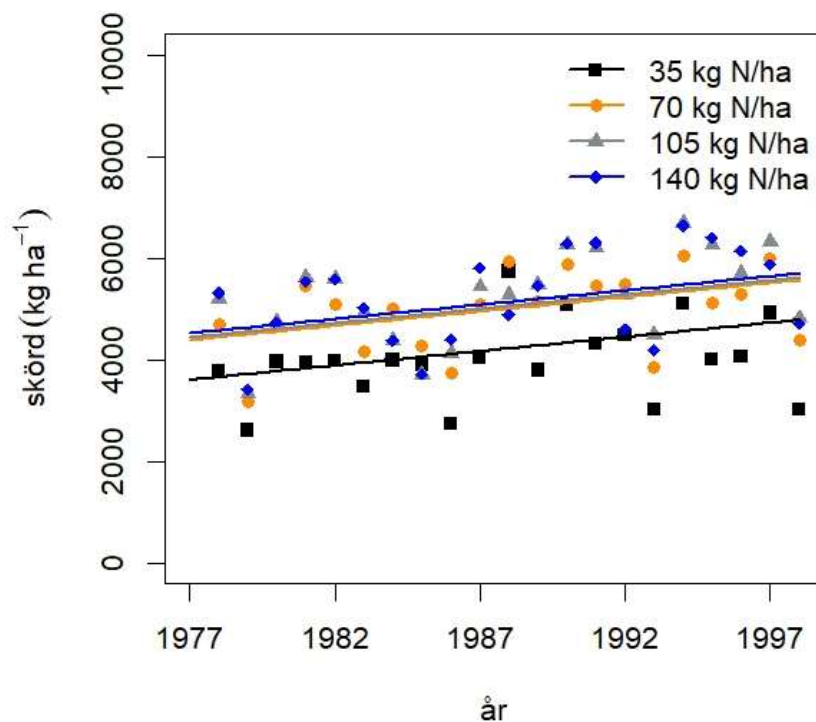


Figur 3. Växtföljdsförsöket R4-0906-2. Vårkornavkastningens (vid 15% vattenhalt) utveckling 1977–1997 för de olika odlingssystemen (hackad/plöjd och bränd/plöjd i monokultur, samt hackad/plöjd i växtföljd), i genomsnitt över kvävemängderna 35, 70, 105 och 140 kg N ha⁻¹

Tabell 5. Variansanalys för vårkornets avkastning 1977 – 1997 beroende på behandlingarna odlingssystem (varierad växtföljd eller monokultur, med eller utan halmbränning) och kvävemängd (35, 70, 105 eller 140 kg N ha⁻¹ tillfört mineralkväve). Signifikansnivån sattes till 5%

	F-värde	p-värde
Intercept	2186,1	<0,0001
År	65,9	<0,0001
Odlingssystem	1,3	0,3
Kvävemängd	712,9	<0,0001
År × odlingssystem	1,5	0,2

Kärnavkastningen ökade med ökad kvävemängd men odlingssystemet hade ingen signifikant effekt på avkastningens storlek (tabell 5). Medelavkastningen var 4,7 ton ha⁻¹ för monokulturleden med bränd/plöjd halm och hackad/plöjd halm, samt 5,1 ton ha⁻¹ för vårkorn i växtföljdsledet. Skillnaden på 0,4 ton ha⁻¹ var ej signifikant för odlingssystem medan en skillnad på 0,2 ton ha⁻¹ beroende på mängd tillfört kväve var signifikant (figur 4; tabell 6). Detta betyder att effekten av odlingssystem varierar mer utan att vara signifikant än effekten av kväve.



Figur 4. Växtföljdsförsöket R4-0906-2. Vårkornsavkastningens (vid 15% vattenhalt) utveckling 1977–1997 för de olika kvävemängderna (35, 70 105 och 140 kg N ha⁻¹) i genomsnitt över de olika odlingssystemen.

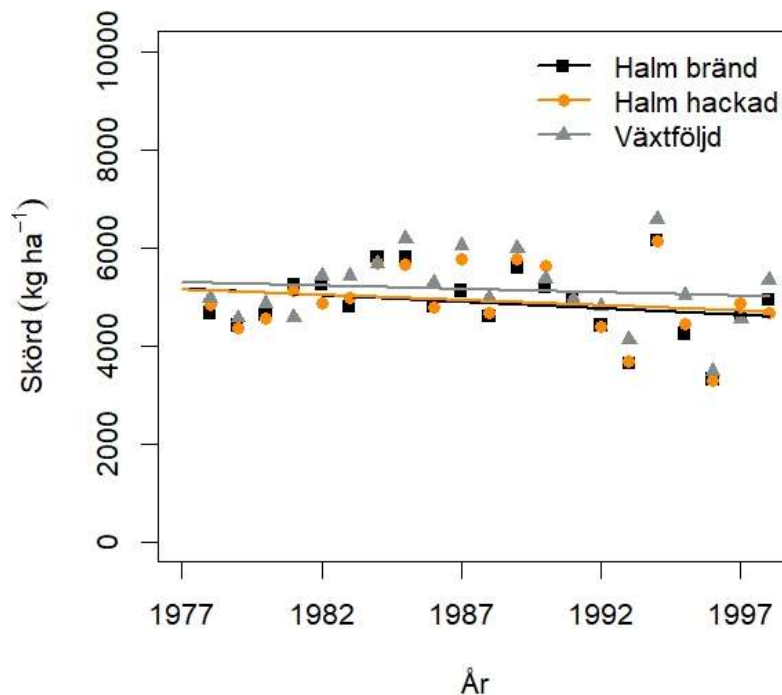
Kvävegödsling hade en positiv effekt på kornets avkastning upp till 105 kg ha⁻¹ (figur 4). Det blev ingen signifikant ökad avkastning när mängden kväve ökades ytterligare (tabell 6).

Tabell 6. Vårkorn, medelavkastning beroende på tillförd mängd kväve (tabell 5), samt signifikansgrupp efter Tukey-test ($\alpha=0.05$)

Kvävemängd (kg ha ⁻¹)	Kärnavkastning, medel (t ha ⁻¹)	Signifikansgrupp
35	4,0	A
70	5,0	B
105	5,2	C
140	5,2	C

Havre

Figur 5 visar havreavkastningens utveckling mellan 1977 och 1997 beroende på odlingssystem. Avkastningstrenden var negativ med tiden oberoende av odlingssystem och kvävemängd (tabell 7).



Figur 5. Växtföljdsförsöket R4-0906-2. Havreavkastningens (vid 15% vattenhalt) utveckling 1977–1997 för de olika odlingssystemen (hackad/plöjd och bränd/plöjd i monokultur, samt hackad/plöjd i växtföljd), i genomsnitt över kvävemängderna 35, 70 105 och 140 kg N ha⁻¹

Tabell 7. Variansanalys för havrens avkastning 1977 – 1997 beroende på behandlingarna odlingsssystem (varierad växtföljd eller monokultur, med eller utan halmbränning) och kvävemängd (35, 70, 105 eller 140 kg N ha⁻¹ tillfört mineralkväve). Signifikansnivån sattes till 5%

	F-värde	p-värde
Intercept	8979,5	<0,0001
År	9,3	0,002
Odlingsssystem	2,9	0,09
Kvävemängd	172,7	<0,0001
Odlingsssystem × kvävemängd	11,2	<0,0001

Det fanns inte någon signifikant skillnad i avkastningsnivå mellan de olika odlingsystemen (tabell 8), men havren svarade olika på tillförseln av kväve i de olika odlingsystemen (tabell 7; tabell 9). I genomsnitt ökade avkastningen för de tre första kvävemängderna (upp till 105 kg N ha⁻¹) och minskade sedan vid den största mängden tillfört kväve. Effekten av kväve förändrades inte signifikant enligt någon linjär trend över tiden (figur 6; tabell 9).

Tabell 8. Havre, medelavkastning beroende på odlingsssystem (tabell 8) 1977–1997, samt signifikansgrupp efter Tukey-test ($\alpha=0.05$)

Odlingsssystem	Kärnavkastning, medel (t ha ⁻¹)	Signifikansgrupp
Monokultur, halm hackad	4,9	A
Monokultur, halm bränd	4,9	A
Växtföljd	5,1	A

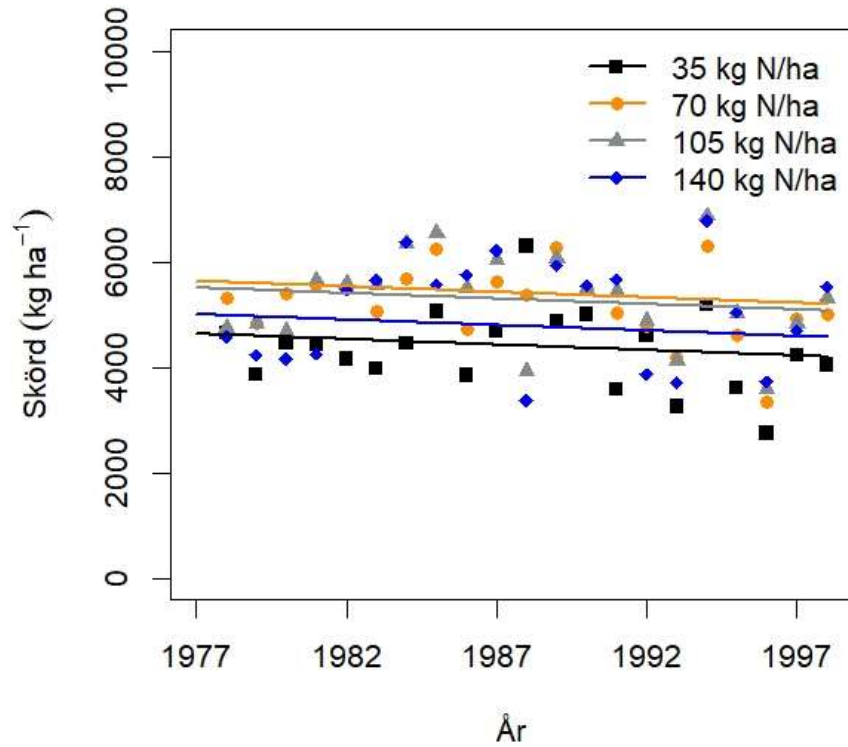
Tabell 9. Havre, medelavkastning med signifikansgrupp visat som bokstavskombinationer för kvävemängd och odlingsssystem, där medel¹ är medel per kvävemängd och medel² är medel per odlingsssystem.

Kvävemängd (kg ha ⁻¹)	Växtföljd (t ha ⁻¹)	Monokultur, halm bränd (t ha ⁻¹)	Monokultur, halm hackad (t ha ⁻¹)	Medel ¹ (t ha ⁻¹)
35	4,47 ^{ABCD}	4,46 ^{AB}	4,06 ^A	4,33 ^a
70	5,39 ^{EFGH}	5,09 ^{DGH}	5,12 ^{CDEG}	5,20 ^{bc}
105	5,42 ^{EFGH}	5,05 ^{CDEFGH}	5,35 ^{FH}	5,27 ^c
140	5,26 ^{EFGH}	4,83 ^{CEF}	5,06 ^{BCDEG}	5,05 ^b
Medel ²	5,13 ^a	4,86 ^a	4,90 ^a	

¹ Medelavkastning för havre beroende av kvävemängd

² Medelavkastning för havre beroende på odlingsssystem

Det fanns ett samspel mellan odlingsystem och kvävemängd. Det krävdes mer kväve för att monokulturen med hackad/plöjd halm skulle nå sin maximala avkastning, men i övrigt är samspelets innebörd svårt att beskriva. (tabell 9).



Figur 6. Växtföljdsförsöket R4-0906-2. Havreavkastningens (vid 15% vattenhalt) utveckling 1977–1997 för de olika kvävemängderna (35, 70 105 och 140 kg N ha⁻¹). I genomsnitt av de olika odlingsystemen.

Diskussion

Resultaten visat att vårvete odlad i växtföljd gav större avkastning vid odling i växtföljd än när det odlades i de två monokulturerna med olika behandling av halmen. Vårvetegrödan gynnades förmodligen av att andra grödor i växtföljden bidragit till att minska trycket från skadegörare. Det är möjligt att rapsen odlad i växtföljden bidragit till förbättrad markstruktur men som Chan & Heenan (1996) visade är ofta effekter på markstrukturen kortvariga. Det betyder att plöjningen som skett vid vårsådd av stråsäd kan ha reducerat dessa effekter. Eftersom förfrukten till vårvete var vårkorn och dessförinnan havre, har sommarannuella ogräs gynnats. Förfrukten har en betydande roll för hur stor konkurrensen från ogräs kommer vara mot den studerade grödan, något som också Stevenson & van Kessel (1996) har visat. I monokulturen kan nematoder ha uppförökats i marken mer än i växtföljden vilket kan ha påverkat vårveterötterna negativt. I analysen valde jag att utesluta det tio första åren, eftersom endast tre av fyra kväveled var desamma mellan 1967 och 1973 som under senare år. Detta innebär att analysen inte tar hänsyn till initiala förändringar i avkastning hos något av de tre stråsädesslagen. Enligt Bailey et al. (2009) ökar förekomsten av rotdödare under de första tre till fyra åren men minskar sedan vid kontinuerlig odling av vete. Denna s.k. "decline effect" undersöktes alltså inte här.

Havre odlad i växtföljd gav inte signifikant större avkastning jämfört med när den odlades i monokultur men det fanns tendenser till skillnad. Detta tyder på att havre kan avkastat bättre när den odlas i en varierad växtföljd. Likt vårvete kan den ha gynnats av att ha en annan förfrukt än havre. Höstvete, vid täta bestånd, har inte bidragit till någon uppförökning av sommarannuella

ogräs, därför är det möjligt ogrästrycket varit lägre för havren odlad växtföljden jämfört med den odlad i monokultur. Likt monokulturen med vårvete kan skadegörare som till exempel nematoder, uppförökats i havreodlingen vilket då lett till lägre avkastning, om detta skett har dock skadegörare inte bidragit till någon stor reduktion i avkastning i jämförelse med växtföljden.

Vårkorn odlad i växtföljd producerade inte större avkastning än vårkorn odlad i monokultur. Detta går emot det tidigare undersökningar av Sieling & Christen (2015) som visade att korn producerar större avkastning när förfrukten inte består av korn eller vete. Eftersom korn är en värdväxt för rot-dödare kan "the decline effect" skett även i monokulturen med korn. Detta skulle innebära att avkastningen de första åren av monokultur påverkades mer negativt men att angreppen sedan minskat och stabiliserats vilket lett till att kornavkastningen börjat öka igen och till sist stabiliserats på en nivå nära den för kornet i växtföljd, precis som visats av Bailey et al. (2009). Eftersom de tio första åren utslöts i analysen samt att förekomsten och angreppsgraden av rot-dödare inte mätts årligen i försöket är det dock svårt att säga om detta är en bidragande orsak till att vårkorn odlad i monokultur och i växtföljd producerar liknande avkastning. Vårkorn kan också ha missgynnats av att ha havre (vårsådd stråsäd) som förfrukt i växtföljden då detta kan bidra till stor konkurrens från sommarannuella ogräs precis som vid odlingen i monokultur.

Att bränna och plöja ned halmen gav signifikant större avkastning av vårvete, jämfört med att hacka och plöja ned den. Detta resultat stöds av resultat från undersökningar av Graham et al. (1986) och Limon-Ortega, Govaerts & Sayre (2008). När den hackade halmen plöjts ned har halmens höga C/N-kvot lett till immobilisering av mineralkväve som då har blir då otillgängligt för vårvetets rötter vilket i sin tur leder till kvävebrist i och lägre kärnavkastning (Chen et al., 2014). Havre och vårkorn visade ingen skillnad på avkastningen mellan halmbehandlingar. Vilket kan betyda att kväveimmobiliseringen orsakad av halmens höga C/N-kvot inte orsakat någon kvävebrist hos dessa grödor. En annan förklaring till större avkastning för vårvete med bränd halm kan vara att skadegörare inte överlevt på de halmrester som funnits i jorden och därför orsakat mindre angrepp i grödorna efter nysådd.

Kvävegödsling hade en signifikant effekt på vårvete och vårkorns avkastning, men det fanns inget samspel mellan kvävegödsling och odlingssystem för dessa grödor. Det betyder att kvävegödslingen inte minskade betydelsen av växtföljd. Detta kan betyda att andra egenskaper än kväveeffekten är viktiga för vårvetets avkastning. För havre hade kvävemängden en signifikant effekt på avkastningen och det fanns också ett samspel mellan kvävegödsling och odlingssystem. Havre i monokultur med nedplöjd halm gynnas till en högre grad än havre odlad i växtföljd av ökad kvävemängd. Havre i monokulturen med hackad och plöjd halm vid liten mängd tillfört kväve men vid större kvävemängd var avkastningen i stället lägre i monokulturen med bränd halm. Detta kan betyda att mycket av kvävet tillfört i monokultur med nedplöjd halm används av mikroorganismer för att bryta ned halmen. Detta skulle betyda att havren i detta led inte kunnat tillgodogöra sig kvävet från gödsel vilket påverkat avkastningen negativt. I ledet med större mängd tillsatt kväve kan lägre andel av det totala kvävet ha immobiliserats och då har också havren bättre kunnat utnyttja kvävet för ökad avkastning. I ledet med havre odlad i monokultur med bränd halm har mindre kväveimmobilisering skett på grund av mindre halmrester och därför har avkastningen blivit större än med hackad halm vid små mängder tillfört kväve. De större mängderna tillgängligt kväve i det brända ledet kan ha bidragit till ett överskott av kväve. Detta kan i sin tur ha bidragit till en ökad frekvens av liggsäd vilket skulle kunna förklara varför avkastningen i detta led inte ökar lika mycket som i ledet med hackad och nedplöjd halm när gödslingen ökade. Det fanns ingen positiv respons på avkastningen av havre odlad i växtföljd när kvävemängden ökades över 70 kg N ha^{-1} . Detta kan betyda att en större mängd kväve till viss del kan kompensera för förfruktseffekter och att kvävegödsling då kan minska betydelsen av en växtföljd vid odling av havre.

För vårvete finns ett samband mellan år och odlingssystem. Detta innebär att skillnaden i avkastning ökar med tiden mellan växtföljd och monokultur. I detta försök har avkastningen från växtföljden en positiv trend medan den för de två monokulturen har en negativ trend med tiden. Den ökande skillnaden kan bero på att vårvete gynnas av att odlas i en växtföljd då trycket från skadegörare inte blir lika stort. Vårvetet i denna växtföljd har vårkorn som förfrukt. Dessa två stråsädesslag har gemensamma skadegörare. Detta innebär att detta kan ha påverkat avkastningen. Om förfrukten istället varit vall finns en möjlighet att skillnaden mellan växtföljd och monokultur

ökat ytterligare. Beroende på vallens sammansättning skulle den bidra med både ökad kvävemängd och minskat tryck från skadegörare och ogräs, något som Kauppila (1990) och Liebman & Dyck (1993) också visat. För vårkorn och havre finns det signifikanta skillnader i avkastning mellan år men det finns inget samspel mellan år och odlingssystem. Detta innebär att skillnaden i avkastning mellan monokultur och växtföljd inte ökade med tiden. Vårkorn hade dock en positiv avkastningstrend med tiden för alla odlingssystem. Detta kan innebära att vårkorn inte påverkades lika negativt av att odlas i monokultur som vårvede, eller att förfrukten som i detta fall är havre inte bidrar med några stora förfruktseffekter. Havre som istället hade en negativ avkastningstrend i alla odlingssystem kan delvis ha missgynnats med tiden av att ha höstvede som förfrukt. Höstvede som förfrukt är positivt för att minska trycket från skadegörare och ogräs men kan ta upp mycket kväve från marken och det finns därför en möjlighet att det fanns mindre mängd markkväve efter höstvetet i växtföljden än efter havre i monokulturerna. Detta styrks också av det faktum att det finns en signifikant skillnad i skörd beroende på kvävemängd men det finns inget samspel mellan kvävemängd och odlingssystem. Havren har då i växtföljden påverkats lika positivt av större kvävegödsling som när den odlats i monokulturen då höstvede utnyttjat det kväve som funnits i marken.

Växtföljden inkluderade en oljeväxt som är känd för sin goda förfruktseffekt. Denna gröda odlades dock inte året innan något av de studerade stråsädesslagen. Det är därför svårt att säga om den bidragit till större avkastning genom efterverkande kväve eller förbättrad markstruktur. Om växtföljden istället hade bestått av en kvävefixerande baljväxt och den vårsådda stråsäden var mer utspridd i växtföljden skulle resultatet möjligen blivit annorlunda. Enligt Kirkegaard et al. (2008), Preissel et al. (2015) och Lindén & Engström (2006) minskar behovet av kvävegödsling med en baljväxt som förfrukt. Detta skulle då förmodligen ha stärkt samspelet mellan kvävegödsling och odlingssystem i resultatet.

Eftersom resultatet är baserat på över 20 års data skulle det vara intressant att se hur klimatet påverkat avkastningen under denna tid. Det skulle varit möjligt att studera hur torra eller blöta år påverkat odling i monokultur jämfört med odling i växtföljd. Det skulle också ge en tydligare bild av hur klimatförändringar kan tänkas påverka odling åt det ena eller andra hållet. Det skulle

därför vara intressant att studera hur vädret långsiktigt påverkar betydelsen av en varierad växtföljd och om vädrets betydelse förändras med tiden. I det här försöket har inte enskilda arter av skadegörare studerats. Om detta hade gjorts skulle det ha varit möjligt att bedöma om hur monokultur under lång tid påverkar dess arter. Vid förekomsten av rotdödare har "the decline effect" konstaterats i framförallt vetemonokulturer men forskning kring hur förekomsten av andra arter förändras över tid är inte lika väldokumenterad. Det hade därför varit intressant att undersöka hur förekomsten skilde sig över tid och om det fanns ett samband med förekomsten och stråsädens avkastningsnivå i de olika växtföljderna.

I försöket var medelavkastningen av vårvete odlad i monokultur och växtföljd mellan åren 1977 – 1997 likadan som medelavkastningen för vårvete odlad i Uppsala län under samma tidperiod, Uppsala läns medelavkastning var 4,1 ton ha⁻¹ (SCB 2020c). Medelavkastningen av vårkorn- och havre odlad i monokultur och växtföljd var dock större än medelavkastningen för dessa grödor i Uppsala under samma tidsperiod, där vårkorn hade en medelavkastning på 4,1 ton ha⁻¹ och havre hade en medelavkastning på 3,9 ton ha⁻¹ (SCB 2020c). Detta innebär att vårkorn och havre odlade i monokultur avkastat bättre i försöket än samma grödor gjort inom samma geografiska område. Detta kan bero på att bekämpning av skadegörare och ogräs samt kvävegödsling skett med större noggrannhet, men ännu troligare är att jorden är bördigare än genomsnittsjorden i länet. Vid skörd tröskas endast en del av varje ruta och sedan omvandlas denna avkastningsmängd till kg ha⁻¹, vilket kan överskatta avkastningen genom att hjulspår, vändtegar och fältkanter inte ingår i den skördade ytan.

Vid odling av vårsådd stråsäd i monokultur kommer sommarannuella arter av ogräs att uppförökas. Det finns då en risk att ensidig herbicidanvändning leder till att dessa arter av ogräs utvecklar resistens. Detta är mycket negativt och trots att vårkorn och havre inte visade eller bara antydde någon skillnad i avkastning mellan monokultur och växtföljd är detta något som förespråkar växtföljd. Detta gäller också skadegörare som kan utveckla resistens mot pesticider. En växtföljd som skapar mer variation i odlingen kan förutom större avkastning ha andra positiva effekter där minskad herbicid- och pesticidanvändning är en viktig faktor.

Slutsats

Resultaten visade att det fanns ett signifikant samspel mellan avkastning och odlingssystem för vårvete där avkastningen var större när vårvete odlades i växtföljd jämfört med i monokultur. Resultatet visade också att det fanns ett signifikant samspel mellan år och odlingssystem, vilket innebär att skillnaden i avkastning av vårvete mellan en varierad växtföljd och monokultur ökar med tiden. Detta stödjer min hypotes att vårsådd vete avkastar bättre när den odlas i växtföljd jämfört med i monokultur. Det fanns också ett signifikant samspel mellan odlingssystem där avkastningen av vårvete var större när halmen brändes och plöjdes ned istället för hackades och plöjdes ned. Detta stödjer min hypotes att halmbränning kan minska växtföljdens betydelse på vårvetes avkastning

Resultaten visade att det för havre fanns ett signifikant samspel mellan kvävemängd och odlingssystem. Där större mängd tillfört kväve hade en större betydelse för havrens avkastning när den odlades i monokultur. Detta stödjer min hypotes att kvävegödsling minskar växtföljdens betydelse på havres avkastning

Av resultaten i denna analys drar jag slutsatsen att det under förhållanden som i detta långliggande försök är möjligt att odla vårsådda stråsädesgrödor i monokultur utan att avsevärt minska vårsädens avkastning.

Trots att det inte gick att visa att vårkorn och havre gynnades av växtföljd finns andra faktorer som gör odling av vårkorn och havre mer hållbar vid odling i växtföljd. Risker för resistens bland ogräs och skadegörare kan komma att öka vid långsiktig monokultur.

Referenser

Andersson, G., Gerdsson, A., Gustafsson, G., Johansson, L., Lindgren, A. & Norrlund, L. (2015) *Skadegörare i jordbruksgrödor*, [Broschyr]. Jönköping: Jordbruksverket. Tillgänglig: <https://www2.jordbruksverket.se/download/18.4c8614ac1602a4751f8c6ab4/1513167676577/be26v5.PDF> [2020-02-18]

Angus, J., Kirkegaard, J., Peoples, M., Ryan, M., Ohlander, L. & Hufton, L. (2011) A review of break-crop benefits of brassicas. I: *Proceedings of the 17th Australian Research Assembly on Brassicas*, Wagga Wagga, Australia, ss. 123 – 127. Tillgänglig: http://www.australianoilseeds.com/conferences_workshops/ARAB/arab_2011/conference_proceedings [2019-10-18]

Angus, J., Kirkegaard, J., Hunt, J., Ryan, M., Ohlander, L. & Peoples, M. (2015) Break crops and rotations for wheat. *Crop and Pasture Science*, vol 66, ss. 523 – 552. DOI: 10.1071/CP14252

Bailey, D., Paveley, N., Spink, J., Lucas, P. & Gilligan, C. (2009) Epidemiological Analysis of Take-All Decline in Winter Wheat. *Phytopathology*, vol 99 (7), ss. 861 – 868. DOI: 10.1094/PHYTO-99-7-0861

Bärberi, P. (2002) Weed management in organic agriculture: are addressing the right issues? *Weed Research*, vol 42, ss. 177 – 193. DOI: 10.1046/j.1365-3180.2002.00277.x

Bergkvist, G. & Öborn, I. (2011) Long-term field experiments in Sweden – what are they designed to study and what could they be used for? *Aspects of Applied Biol-*

ogy, vol 113, ss. 75 – 86. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/288260970_Long-term_field_experiments_in_Sweden_-_what_are_they_designed_to_study_and_what_could_they_be_used_for [2020-02-17]

Berry, P., Sterling, M., Spink, J., Baker, C., Sylvester – Bradley, R., Mooney, S., Tams, S. & Ennos, A. (2004) Understanding and and reducing lodging in cereals. *Advances in Agronomy*, vol 84, ss. 217 – 271. DOI: 10.1016/S0065-2113(04)84005-7

Berti, A., Dalla Marta, A., Mazzoncini, M. & Tei, F. (2016) An overview on long-term agro-ecosystem experiments: Present situation and future potential. *European Journal of Agronomy*, vol 77, ss. 236 – 241. DOI: 10.1016/j.eja.2016.01.004

Berzsenyi, Z., Györfy, B. & Lap, D. Q. (2000) Effect of crop rotation and fertilisation on maize and wheat yields and yield stability in long-term experiment. *European Journal of Agronomy*, vol 13, ss. 225 – 244. DOI: 10.1016/S1161-0301(00)00076-9

Børresen, T. (1999) The effect of straw management and reduced tillage on soil properties and crop yields of spring-sown cereals on two loam soils in Norway. *Soil & Tillage research*, vol 51, ss. 91 – 102. DOI: 10.1016/S0167-1987(99)00030-6

Chan, K. & Heenan, D. (1996) The influence of crop rotation on soil structure and soil physical properties under conventional tillage. *Soil & Tillage research*, vol 37, ss. 113 – 125. DOI: 10.1016/0167-1987(96)01008-2

Charles, H., Godfray, J., Beddington, J., Crute, I., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. & Toulmin, C. (2010) Food Security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, vol 327 (5967), ss. 812 – 818. DOI: 10.1126/science.1185383

Chen, B., Liu, E., Tian, Q., Yan, C. & Zhang, Y. (2014) Soil nitrogen dynamics and crop residue. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, vol 34, ss. 429 – 442. DOI: 10.1007/s13593-014-0207-8

Cook, R. (2003) Take-all of wheat. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, vol 63, ss. 73 – 86. DOI: 10.1016/S0885-5765(03)00042-0

Fogelfors, H. (2015) *Vår mat: odling av åker- och trädgårdsgrödor: biologi, förut-sättningar och historia*. 1. Uppl. Lund: Studentlitteratur.

Graham, J., Eliis, F., Christian, D. & Cannell, R. (1986) Effects of straw residues on the establishment, growth and yield of autumn-sown cereals. *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol 33, ss. 39 – 49. DOI: 10.1016/S0021-8634(86)80028-2

Hannukkala, A., Korva, J. & Tapio, E. (1990) Conventional and organic cropping systems at Suitia I: Experimental design and summaries. *Journal of Agricultural Science in Finland*, vol 63, ss. 295 – 307. DOI: 10.23986/afsci.72936

Håkansson, S. (2003) *Weeds and weed management on arable land: An ecological approach*. Wallingford: CABI Publishing. DOI: 10.1079/9780851996516.0000

Johnston, A. & Poulton, P. (2018) The importance of long-term experiments in agriculture: their management to ensure continued crop production and soil fertility; the Rothamsted experience. *European Journal of Soil Science*, vol 69, ss. 113 – 125. DOI: 10.1111/ejss.12521

Jordbruksverket (2018) *Den globala matproduktionen behöver öka*. Tillgänglig: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/handelmarknad/allmantomhandel-sochjordbrukspolitik/fragorsomberorutvecklingslander/globalamatproduktionen-behoveroka.4.5da42c07159ce43e6207796d.html> [2019-10-22]

Kirkegaard, J., Christen, O., Krupinsky, J. & Layzell, D. (2008) Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crops Research*, vol 107, ss. 185 – 195. DOI: 10.1016/j.fcr.2008.02.010

Kurowski, T. & Adamiak, E. (2007) Occurrence of stem base diseases of four cereal species grown in long-term monocultures. *Polish Journal of Natural Science*, vol 22 (4), ss. 574 – 583. DOI: 10.2478/v10020-007-0050-3

Lejiņš, A. & Lejiņa, B. (2007) The grain crop yield in different crop rotation and efficiency of herbicides and fungicides treatment. I: Proceedings of the international scientific and practical conference, Jelgava, Latvia, ss. 125 – 131. Tillgänglig: <http://jourhttp://journals.ru.lv/index.php/ETR/article/view/1729/1549> [2019-09-06]

Liebman, M. & Dyck, E. (1993) Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological Applications*, vol 3 (1), ss. 92 – 122. DOI: 10.2307/1941795

Limon-Ortega, A., Govaerts, B. & Sayre, K. (2008) Straw management, crop rotation, and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency. *European Journal of Agronomy*, vol 29, ss. 21 – 28. DOI: 10.1016/j.eja.2008.01.008

Lindén, B. (2008) *Efterverkan av olika förfrukter: inverkan på stråsädesgrödors avkastning och kvävetillgång – en litteraturöversikt*. Skara: Avdelningen för precisionsodling (Rapport 14) Tillgänglig: <https://pub.epsilon.slu.se/3288/1/porapp14.pdf> [2019-10-18]

Lindén, B. & Engström, L. (2006) *Höstraps, havre och ärter som förfrukt till höstvete – inverkan på kvävedynamiken i marken och på vetes avkastning*. Skara: Avdelningen för precisionsodling (Rapport 4) Tillgänglig: <https://pub.epsilon.slu.se/3278/1/porapp4.pdf> [2020-01-29]

Lockeretz, W. (2007) What explains the rise of organic farming? I: Lockeretz, W. (red.), *Organic farming – An international history*. Trowbridge: Cromwell press, ss. 1 – 8

Loughin, T., Roediger, M., Milliken, G. & Schmidt, J. (2007) On the analysis of long-term experiments. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A: Statistics in society*, vol 170 (1), ss. 29 – 42. DOI: 10.1111/j.1467-985X.2006.00435.x

Lundkvist, A. (2014) *Ogräskontroll på åkermark*. 3. Uppl. Jönköping: Jordbruksverket. Tillgänglig: <https://www2.jordbruksverket.se/download/18.3b9afa9e14ff69c6f6174608/1443007152050/ovr28.pdf> [2019-11-11]

MacNish, G. (1988) Changes in take-all (*Gaeumannomyces graminis var. tritici*), rhizoctonia root rot (*Rhizoctonia solani*) and soil pH in continuous wheat with annual applications of nitrogenous fertiliser in Western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol 28, ss. 333 – 341. DOI: 10.1071/EA9880333

Malhi, S., Grant, C., Johnston, A. & Gill, K. (2001) Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian great plains: a review. *Soil & Tillage Research*, vol 60, ss. 101 – 122. DOI: 10.1016/S0167-1987(01)00176-3

McBeath, T., Gupta, V., Llewellyn, R., Davoren, C. & Whitbread, A. (2015) Break-crop effects on wheat production across soils and seasons in a semi-arid environment. *Crop and Pasture Science*, vol 66 (6), ss. 566 – 579. DOI: 10.1071/CP14166

McCallum, M., Kirkegaard, J., Green, T., Cresswell, H., Davies, S., Angus, J. & Peoples, M. (2004) Improved subsoil macroporosity following perennial pastures. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol 44, ss. 299 – 307. DOI: 10.1071/EA03076

Njøes, A. & Børresen, T. (1991) Long-term experiments with straw management, stubble cultivation, autumn and spring ploughing on a clay soil in S.E. Norway. *Soil & Tillage Research*, vol 21, ss. 53 – 66. DOI: 10.1016/0167-1987(91)90005-1

Olofsson, S. (1993) Influence of preceding crop and crop residue on stand and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in different tillage systems, including zero tillage. *Crop production Science*, vol 18, ss. 1 – 211.

Olvång, H. (2012) *Utsädesburna sjukdomar på jordbruksväxter – samt skadedjur som motverkas genom betning*. Jönköping: Jordbruksverket. (Jordbruksinformation 2-2012) Tillgänglig: http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/JO12_3.pdf [2020-02-18]

Onofri, A., Seddaiu, G. & Piepho, H-P. (2016) Long-term experiments with cropping systems: Case studies on data analysis. *European Journal of Agronomy*, vol 77, ss. 223 – 235. DOI: 10.1016/j.eja.2016.02.005

Payne, R. (2013) The design and analysis of long-term rotation experiments. *Agronomy Journal*, vol 107 (2), ss. 772 – 785. DOI: 10.2134/agronj2012.0411

Preissel, S., Reckling, M., Schläfke, N. & Zander, P. (2015) Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. *Field Crops Research*, vol 175, ss. 64 – 79. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.01.012

Regeringskansliet (2017) *Regeringens handlingsplan del 1: En livsmedelsstrategi för Sverige - fler jobb och hållbar tillväxt i hela landet*. Stockholm: Regeringskansliet. (N2017/00647/KOM)

SCB (2020a) *Befolkningsprognos för Sverige*. Tillgänglig: <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/befolkningsprognos-for-sverige/> [2019-10-22]

SCB (2020b) *Befolkningsstatistik*. Tillgänglig: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/befolkning/befolkningens-sammansattning/befolkningsstatistik/pong/tabell-och-diagram/manadsstatistik--rikt/preliminar-befolkningsstatistik-2020/> [2020-06-12]

SCB (2020c) *Skördar efter län/rikt och gröda, År 1965 – 2019*. Tillgänglig: http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__JO__JO0601/SkordarL/table/tableViewLayout1/ [2020-02-11]

Schönhammer, A. & Fischbeck, G. (1987) Investigation about cereal crop rotations and monocultures. III. Changes in soil properties. *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch*, vol, 64, ss. 681 – 694.

Sieling, K. & Christen, O. (2015) Crop rotation effects on yield of oilseed rape, wheat and barley and residual effects on subsequent wheat. *Archives of Agronomy and Soil Science*, vol 61 (11), ss. 1531 – 1549. DOI: 10.1080/03650340.2015.1017569

Stevenson, F. & van Kessel, C. (1996) A landscape-scale assessment of the nitrogen and non-nitrogen rotation benefits of pea in a crop rotation. *Soil Science of America*, vol 60 (6), ss. 1797 – 1805. DOI: 10.2136/sssaj1996.03615995006000060027x.

Svenskt Växtskydd (2016) *Herbicidresistens Fungicidresistens Insekticidresistens*, [Broschyr]. Stockholm: Svenskt Växtskydd. Tillgänglig: http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/ovr292.pdf [2019-10-17]

Weidow, B. (2018) *Växtodlingens grunder*. Skara: Bengt Weidow.

Zou, L., Yli-Halla, M., Stoddard, F. & Mäkelä, P. (2015) Effects of break crops on yield and grain protein concentration of barley in a boreal climate. *PLoS ONE*, vol 10 (6), ss. 1 – 13. DOI: 10.1371/journal.pone.0130765

Tack

Jag vill börja med att rikta ett stort tack till min handledare Ortrud Jäck som hjälpt mig under hela detta arbete, både genom den (ibland lite tunga) data-analyseringen och statistiken samt genom uppsatsskrivandets olika delar. Jag vill också tacka min biträdande handledare Göran Bergkvist som bidragit med bra kommentarer och funderingar på min uppsats. Till sist vill jag tacka mina två kursare Åsa Larsson och Elizabeth Lövfstaf som taggat mig när det gått tungt, bollat uppsatsen när jag fastnat och firat när det gått vägen!

Appendix

Avkastningstrend för vårvete beroende på odlingssystem.

Tabell 10. Vårvete, avkastningstrend beroende på odlingssystem 1977–1997, samt signifikans-grupp efter Tukey-test ($\alpha=0.05$)

Odlingssystem	Trend	Signifikansgrupp
Växtföljd	26,08	A
Monokultur, halm bränd	-8,33	B
Monokultur, halm hackad	-15,52	B

Avkastningstrend för vårkorn beroende på odlingssystem

Tabell 11. Vårkorn, avkastningstrend beroende på odlingssystem 1977–1997, samt signifikans-grupp efter Tukey-test ($\alpha=0.05$)

År	Trend	Signifikansgrupp
Växtföljd	72,1	A
Monokultur, halm bränd	47,5	A
Monokultur, halm hackad	48,7	A

Avkastningstrend för havre beroende på odlingssystem

Tabell 12. Havre, avkastningstrend beroende på odlingssystem 1977–1997, samt signifikans-grupp efter Tukey-test ($\alpha=0.05$)

År	Trend	Signifikansgrupp
Växtföljd	-13,7	A
Monokultur, halm bränd	-27,0	A
Monokultur, halm hackad	-48,7	A