



Kväve i mark och gröda från sådd till skörd vid odling av höstraps (*Brassica napus* L.)

*Nitrogen in soil and plant from sowing to harvest during cultivation of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.)*



Examensarbete av:
Ola Sixtensson

Handledare:
Maria Stenberg, Lena Engström och Börje Lindén

Förord

Detta examensarbete startades med syfte att undersöka höstrapsens kväveupptagningsförlopp under växtodlingssäsongen och hur olika kvävegivor på höst och vår, bladförluster under vintern, bladavfall under säsongen, insådd av fånggröda samt hur dess tidiga mognad påverkar mineralkvävemängderna (nitrat- och ammoniumkväve) i marken. Fältstudien utfördes på Götala försöksgård (Skaraborgs läns Hushållningssällskap) genom att grödklippning och kväveprofilprovtagning gjordes vid olika tidpunkter under säsongen. Dessa analyserades på totalkväveinnehåll respektive mineralkväveinnehåll, vid Inst. för Markvetenskap på Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) i Uppsala. Finansiärer för projektet var Stiftelsen Lantbruksforskning, Stiftelsen Svensk Växtnäringsforskning och Stiftelsen Svensk Oljeväxtforskning

Examensarbetet har gjorts inom agronomprogrammet inriktning mark/växt vid Avdelningen för precisionsodling SLU, Skara och i samarbete med Hushållningssällskapet (HS) Skaraborg.

Först och främst vill jag tacka mina handledare Lena Engström (SLU, Skara), Maria Stenberg (HS och SLU, Skara) och Börje Lindén (SLU, Skara) för synpunkter, litteratur, idéer och resultatbearbetning under tiden som jag arbetat med försöket.

Dessutom vill jag tacka Tomas Lans, Gunilla Lennhag och Ingmar Nilsson vid fältförsöksavdelningen på HS i Skara för hjälpen med fältprovtagning och provhantering. Slutligen vill jag tacka Allan Lundqvist (Institutionen för markvetenskap, SLU, Uppsala) för all hjälp vid analys av gröd- och jordprover.

Innehållsförteckning

Förord.....	3
Innehållsförteckning.....	5
Sammanfattning.....	7
Inledning.....	9
Litteraturstudie.....	10
Kväve i mark och växter.....	10
Odling av höstraps.....	19
Höstrapsen utveckling, kväveupptag, -innehåll och -behov under säsongen.....	22
Kvävet i marken vid odling av höstraps – från sådd till skörd.....	29
Höstraps som förfrukt.....	30
Summering av litteraturstudien.....	31
Material och metoder.....	33
Försöksplats.....	33
Försöksplan.....	33
Växtprovtagning för bestämning av totalkväve i gröda.....	34
Skörd.....	35
Jordprovtagning för mineralkväveanalys.....	35
Kärlförsök – höstrapsens kväveförluster under vintern.....	36
Bladförluster under vegetationsperioden.....	36
Kväveutlakningen.....	36
Statistik.....	37
Resultat.....	38
Totalkväveinnehåll i gröda.....	38
Skördar, optimal kvävegiva och kväveutnyttjande.....	40
Markens mineralkväveinnehåll.....	41
Kärlförsök – höstrapsens kväveförluster under vintern.....	44
Bladförluster under vegetationsperioden.....	45
Kväveutlakningen.....	46
Diskussion.....	48
Kväve i gröda och mark under hösten och vintern efter sådd av höstraps.....	48
Kväve i gröda och mark från tidig vår till skörd.....	49
Bladförluster under vegetationsperioden.....	50
Tröskad skörd jämförd med klippt skörd.....	51
Höstgödslings storlek till höstraps.....	51
Slutsatser.....	52
Summary.....	53
Referenser.....	55

Sammanfattning

Branschbolaget Svensk Raps AB har under flera år haft som mål att öka andelen odlad areal av oljeväxter. Målet för 2005 var att odla 100 000 ha. Statistik från jordbruksverket visar att det år 2005 odlades oljeväxter på 82 500 ha, vilket är ca. 3 % av den totala åkermarken i Sverige, 2 688 000 ha. Av denna areal odlades 35 500 ha höstraps och 38 500 ha vårraps. Höstrapsen är en bra avbrottsgröda i stråsådesdominerande områden samt har fått en bättre lönsamhet genom introduktionen av hybridsorter och att den kan odlas som energigröda på uttagen mark (biobränsle).

Hösten 2004 startades detta examensarbete med syfte att undersöka höstrapsens kväveupptagningsförlopp under växtodlingsäsongen och hur olika kvävegivor på höst och vår, bladförluster under vintern, bladavfall under säsongen, insådd av fånggröda samt hur dess tidiga mognad påverkar mineralkvävemängderna (nitrat- och ammoniumkväve) i marken, kväveutnyttjandet och kväveutlakningen. Fältstudien utfördes på Götala försöksgård (Skaraborgs läns Hushållningssällskap) genom att grödklippning och kväveprofilprovtagning gjordes vid olika tidpunkter under säsongen. Alla led stubbearbetades på hösten och övrig bearbetning (plöjning, harvning och sådd) genomfördes i samband med sådd av respektive gröda (havre, ärt och höstraps). Havre och ärt användes som jämförelsegrödor till höstrapsen.

Höstrapsens tillväxt under hösten var bra i försöket. Det var stora skillnader i kväveupptag och biomassaproduktion mellan de rapsled som gödslats med 30 respektive 60 kg N ha⁻¹. Upptaget av kväve var 47 respektive 75 kg ha⁻¹ och biomassa var ca. 500 kg större för rapsen som gödslats med 60 kg. Under vintern minskade biomassan med omkring 1000 kg ha⁻¹ och kväveförlusterna från de ovanjordiska växtdelarna var 25 kg ha⁻¹.

I marken sjönk mineralkvävemängderna från sådd till senhösten till 55 (obevuxen mark) respektive 30 kg N ha⁻¹ (mark bevuxen med höstraps). Tydligast var skillnaderna mellan leden i andelen nitratkväve som var ca. 1/3 i rapsleden jämfört med vad som fanns i de obevuxna leden. Vid nästa provtillfälle (tidigt på våren) hade mineraliseringen i rapsleden ökat mineralkvävemängderna, främst då nitratkväve, med ca. 20 kg N ha⁻¹ och därmed innehöll samtliga led mellan 50 och 55 kg N ha⁻¹.

Under hösten och vintern genomfördes även en nitratutlakningsundersökning, där nitratkoncentrationen mättes på 80 cm djup med hjälp av sugceller, för att få ett värde på nitratutlakningen under året. I den visade det sig att de obevuxna leden läckte ungefär dubbelt så mycket som den mark som hade en växande höstrapsgröda. Läckaget från den obevuxna marken fram till tidig vår var 32 kg NO₃-N ha⁻¹ och läckagen i de olika rapsleden (30 respektive 60 kg N ha⁻¹) 14 respektive 15 kg NO₃-N ha⁻¹.

Under vintern genomfördes ytterligare en delstudie, där det undersöktes hur mycket nitratkväve som tillförs till nederbördsvattnet som når marken om det först passerar genom ett rapsbestånd med 50 plantor per m². Nitratkvävemängden i markvattnet under perioden 3/11 2004 till 11/4 2005 ökade med ca. 1 kg NO₃-N ha⁻¹ om det först passerat genom ett rapsbestånd. I denna studie förlorade de ovanjordiska växtdelarna 18 kg N ha⁻¹ under vintern, vilket ska kunna jämföras med de 25 kg N ha⁻¹ som de förlorade i den andra studien.

På våren såddes havren (kvävegiva på 100 kg N ha⁻¹), ärtan och fånggrödan (engelskt rajgräs). Till höstrapsen tillfördes olika kvävegivor (0, 100, 150 och 200 kg N ha⁻¹) under två tillfällen på våren (ca. två veckors mellanrum mellan startgivan på 75 kg N ha⁻¹ och kompletteringsgivan). Höstrapsens tillväxt kom igång sent på våren eftersom våren var torr.

Det maximala kväveupptaget i de ovanjordiska växtdelarna hos höstraps uppnås vanligen i slutet av blomningen och marken har då sitt lägsta innehåll av mineralkväve. I studien var det maximalt uppmätta kväveinnehållet i höstrapsen 223 kg N ha⁻¹ strax efter blomningen (4/7) i ledet som gödslats med 150 kg N ha⁻¹ medan det provtagningstillfälle som hade högst kväveinnehåll i ledet som gödslats med 0 kg N ha⁻¹ var vid skörd, 87 kg N ha⁻¹.

Kväveupptaget och biomassaproduktionen sjönk sedan fram till skörd i det gödslade ledet och hade ett kväveinnehåll på 199 kg N ha⁻¹ vid skörd. Vad gäller markens mineralkvävemängder var de låga vid slutet av blomningen, men inte de lägsta. Troligen orsakade ett kraftigt regn senare på säsongen ett visst läckage av kväve, vilket resulterade i det lägsta mineralkväveinnehållet. I höstrapsleden var tendensen att mineralkvävemängderna ökade successivt från blomningen (14/6) och fram till skörd (1-8/8) troligtvis delvis p.g.a. nedbrytningen av de blad som rapsen tappade i samband med blomningen. Vid skörd fanns 70 kg N ha⁻¹ i ledet som gödslats med 150 kg N ha⁻¹ och i ledet som gödslats med 0 kg N ha⁻¹ fanns 35 kg N ha⁻¹ i markprofilen. I ledet med havre minskade mineralkvävemängderna från tidig vår fram till skörd då det fanns 43 kg N ha⁻¹ och i ledet med ärter var mineralkväve i marken under säsongen och fram till skörd konstant ca. 50 kg N ha⁻¹.

En delstudie utfördes för att undersöka hur mycket kväve som de ovanjordiska växtdelarna förlorar under bladfällningen. Detta gjordes genom att ett nät på 1 m² lades ut under våren i ledet med 150 kg N. Sedan samlades de nedfallna bladen in med en veckas mellanrum. Denna undersökning visade att kväveförlusterna var 18 kg N ha⁻¹ detta försöksår. Bladen hade en ökande C/N-kvot med tiden enligt följande 14, 16, 19, 21 och 16. Den var över tiden tillräckligt låg för att kvävemineraliseringen ska gå snabbt.

Vid en jämförelse mellan olika kvävegivor till höstrapsen på våren visade resultaten att oljehalten i fröskörden och C/N-kvoten i skörderesterna sjönk samt att kväveinnehållet i fröskörden och mineralkvävemängderna i marken ökade med en stigande kvävegiva. Den optimala kvävegivan på våren till höstrapsen detta år var 150 kg N ha⁻¹. Skörderesterna för respektive gröda innehöll en kvävemängd på 41 kg N ha⁻¹ (havre), 57-60 kg N ha⁻¹ (ärt) respektive 27-87 kg N ha⁻¹ (höstraps). Höstrapsen efterlämnade större mineralkvävemängder i marken vid skörd (54-103 kg ha⁻¹, 0-led ej medtaget) än vad havre (43 kg ha⁻¹) och ärt (43-57 kg ha⁻¹) gjorde.

Fånggrödan som konkurrent och upptagare av kväve visade sig varken påverka skörden vid odling av ärt eller höstraps. Samtidigt reducerade de mängden kvarlämnad mineralkväve i marken vid skörd.

Inledning

Odlingen av oljeväxter har ökat de senaste åren efter förbättrad lönsamhet, mycket tack vare introduktionen av hybridsorterna, förädling och användning som biobränsle. Forskning och information om höstrapsens betydelse i växtföljden har lett till en ökad förståelse om rapsens betydelse för ett uthålligt lantbruk.

Oljeväxterna är betydelsefulla som avbrottsgröda vid intensiv stråsädesodling på slättbygderna. De har visat sig ha bra förfruktswärde eftersom de har en sanerande effekt mot jordburna stråsädesjukdomar (Wallenhammar, 1998) och anses efterlämna en jord med förbättrad struktur i och med dess kraftiga pålrot. Höstoljeväxter mognar vanligen tidigare än stråsäd, vilket innebär att skördetillfällena på gården sprids ut över en längre tid.

Vid odlingen av höstraps används stora mängder kväve, ofta 100-250 kg N ha⁻¹. Inte bara produktionsekonomin är viktig för kvävegivans storlek utan även risken för oönskade kväveförluster som påverkar omgivande miljö, t.ex. kväveutlakning, har betydelse i ett samhällsperspektiv. För att utveckla odlingsmetoder som minskar kväveförlusterna är det av stor vikt att följa kvävedynamiken i växt och mark under odlingssäsongen. Kväveupptaget hos höstrapsen varierar med årstiden och denna gröda har visats kunna ta upp stora mängder kväve redan under hösten då de etablerats (Engström et al, 2000). Under vintern förloras sedan en del av detta till mark och luft genom att växtceller förstörs och blad faller, men denna förlust leder ändå till en mindre utlakning av kväve i jämförelse med en mark som är bearbetad men obevuxen under vintern (Aronsson et al, 2003b). Under våren tillförs ytterligare kväve och höstrapsens tillväxt tar fart. Den når vanligen sitt maximala kväveupptag i slutet av blomningen. I och med att de blommar tidigare än stråsäd och börja tappa sina blad i samband med blomningen påbörjas mineraliseringen tidigare. Detta i kombination med dess tidiga mognad och avslutat kväveupptag ökar risken för utlakning under hösten och vintern.

Syftet med examensarbetet har varit att följa höstrapsens kväveupptagningsförlopp från sådd till skörd och att dessutom undersöka hur bladfällningen under vinter och sommar, kvävegödsling under höst och vår samt kväveupptagsförloppet påverkar dynamiken i markens mineralkväveinnehåll under växtsäsongens olika delar.

Frågor som vi ville besvara med denna undersökning var:

- *Under hösten och vintern efter sådd av höstraps:* Hur påverkas höstrapsens kväveupptag vid olika stora kvävegivor under hösten? Vilka effekter på kväveutlakningen har givans storlek och höstrapsens kväveförluster under vintern, jämfört med en stubbearbetad men obevuxen mark? Hur stora är kväveförlusterna från de köldskador som höstrapsen får under vintern?
- *Höstrapsens tillväxt fram till skörd:* Hur ser höstrapsens kväveupptag ut och hur mycket kväve kan den ta upp? Vilka effekter har höstrapsens bladfällning och tidiga mognad på mineraliseringen och anhopningen av mineralkvävemängderna i marken? Hur stora är kväveförlusterna vid bladfällningen?
- *Vid skörd:* Hur varierar mineralkvävemängderna i marken vid skörd med avseende på olika stora kvävegivor till höstrapsen? Hur varierar kväveutnyttjandet och fröskörden hos höstrapsen med olika stora kvävegivor? Vilken är den optimala kvävegödslingsnivån?
- *Fånggrödor:* Hur påverkar en insädd fånggröda fröskörden och de kvarlämnade mineralkvävemängderna vid skörd av ärt respektive höstraps?

Litteraturstudie

Kväve i mark och växter

Grundämnet kväve, N, finns i många olika kemiska former i naturen, och i vilken form det förekommer beror på de rådande förhållandena och har olika konsekvenser för naturen. För att belysa problemen och nyttan med kvävet ges nedan en bild av dess ”inre” kretslopp som sker i marken samt kvävet form och funktion i växten.

Kvävemineralisering

Mellan 95-99 % av allt kväve i marken finns i det organiska materialet (Brady et al, 1999) och detta innehåller omkring 5 % kväve. Under en vegetationsperiod kan mellan 1 och 2 % av det organiska kvävet mineraliseras (brytas ned) med bildning av ammoniak (NH₃), som i marken övergår till ammonium (NH₄⁺). Ammoniumkvävet nitrifieras sedan med bildning av nitrat (NO₃⁻). Ju större andel organiskt material marken har desto mer kväve mineraliseras under vegetationsperioden. På en organogen jord blir således mer kväve tillgängligt för grödan genom mineraliseringen än på en mineraljord. Kvävemineralisering innebär att det organiska kvävet, vanligen proteiner och humusämnen, omvandlas med hjälp av heterotrofa mikroorganismer, vilka använder organiskt kol som energikälla och strukturvävnad, till ammoniak. Processen involverar två reaktioner, deaminering (nedbrytning av proteiner till enklare kväveformer) och ammonifiering (Tisdale et al, 1999).

Deaminering (nedbrytning av proteiner till enklare kväveformer):

Proteinerna och humusämnen bryts ned till enkla aminosyror såsom lysin och alanin, aminer eller urea av bakterier eller svampar i flera steg (Brady et al, 1999). Slutprodukten efter en grups aktivitet används som substrat av en annan grupp till dess materialet är nedbrutet. Det sista steget i denna process kallas för deaminering och sker enligt följande formel (Tisdale et al, 1999)



Bakterierna dominerar nedbrytandet av proteiner i neutrala och basiska miljöer, med viss involvering av svampar, medan svampar dominerar under sura förhållanden.

Ammonifiering:

Heterotrofa mikrober hydrolyserar de enklare kväveformerna och frigör kvävet i form av ammoniumjoner (NH₄⁺), i åkerjorden nitrifieras ammonium sedan normalt till nitrat. Processen sker enligt följande formel (Tisdale et al, 1999)



De faktorer som påverkar mineraliseringshastigheten är främst markens temperatur, fuktighet, syretillgång och en diversitet bland mikroberna (Tisdale et al, 1999).

- Marktemperaturen påverkar främst mikrobernas aktivitet, där den optimala temperaturen ligger mellan 25 och 35°C.
- Fuktigheten avgör om det sker aerob eller anaerob nedbrytning. Under aeroba förhållanden sker nedbrytningen snabbare än anaeroba och snabbast går det om 50-70 % av markens porer är vattenfyllda. Om mer än 85 % är vattenfyllda spelar de anaeroba mikroberna en allt större roll i nedbrytningen. Vid aerob nedbrytning bildas

humus som en stabilare restprodukt (Persson, 2003), men under syrefria betingelser som i mossor stannar processen upp med bildning av torv.

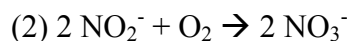
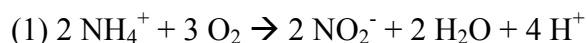
- En diversitet bland mikroberna gör jorden beredd att bryta ned det organiska materialet oavsett markförhållanden.

Mineraliseringen ökar kraftigt när det sker en bearbetning av jorden, eftersom det stimulerar markens mikrobaktivitet. Vid bearbetning frigörs organiskt material och syresättningen i marken ökar. Då bearbetningen vanligen sker strax efter skörd i en relativt varm mark leder detta till en kraftigare mineralisering än om den skulle genomföras senare på hösten eller tidigt på våren. Intensiteten och nedbrukat växtmaterial (se C/N-kvoten) påverkar också hur mycket som mineraliseras (Stenberg et al, 2000). En senare lagd bearbetning kan leda till att avkastningsnivåerna sjunker något p.g.a. att markens struktur blir något sämre, men detta varierar från plats till plats och mellan åren. En minskad mineralisering reducerar risken för kväveutlakning.

Nettomineraliseringen har visat sig utnyttjas bättre om det sker en bearbetning tidigt på våren istället för tidig höst alternativt på senhösten (Lindén et al, 1999) och en vårplöjning sänkte inte avkastningen om jorden inte innehöll mer än 15-20 % ler. Aronsson et al (2003b) visade att en lättjord i Västra Götaland hade en nettomineralisering på ca 90 kg/ha under ett år och att ungefär 40 % av detta mineraliseras mellan vår och gulgrodnad. De fann tydliga skillnader mellan bearbetningstidpunkt och hur mycket av nettomineraliseringen som skedde mellan vår och gulgrodnad. Vid en tidig bearbetning på hösten mineraliserades 33 % under denna period, medan det vid sen höstplöjning ökade till 37 % och vid vårplöjning ägde 50 % av årsmineraliseringen rum under denna period. Lindén et al (1999) visade att nettomineraliseringen mellan gulgrodnad fram till tidig vår var mellan 55-60 % vid en tidig höstplöjning, vilket kan jämföras med vårplöjning och fånggröda som reducerade nettomineraliseringen under denna period till 30 %.

Nitrifikation

I marken oxideras normalt ammoniumjoner (från mineraliseringen eller den tillförda gödseln) av speciella bakterier till nitrat genom den sk. nitrifikationen. Processen sker i två steg. Först omvandlas NH_4^+ till nitrit (NO_2^-) som sedan omvandlas till NO_3^- . Reaktionerna sker oftast snabbt efter varandra eftersom NO_2^- redan i små koncentrationer kan vara toxiska för både växter och mikrober. Båda reaktionerna fodrar syre, O_2 , varför reaktionerna främst sker i syrerika miljöer. Ur reaktionsformlerna (se nedan) går det att utläsa att det frigörs H^+ , vilket innebär att processen naturligt försurar marken (Tisdale et al, 1999).



Nitrifikationsprocesserna utförs av autotrofa bakterier, vilka får sin energi genom oxidation av N och använder vätekarbonat (HCO_3^-) i markvätskan som kolkälla istället för organiskt kol (Persson, 2004). *Nitrosomonas*-bakterier är de som främst oxiderar NH_4^+ till NO_2^- (1), medan nitritoxidationen (2) utförs av *Nitrobacter*-bakterier tillsammans med vissa heterotrofa bakterier (Tisdale et al, 1999).

Faktorer som påverkar nitrifikationen

Eftersom nitrifikationen är en mikrobiell process påverkar jordens miljöförhållanden nitrifikationsnivån (Tisdale et al, 1999). De autotrofa bakterierna ställer större krav på sin

miljö än de heterotrofa bakterierna som bryter ner det organiska materialet till NH_4^+ (Brady et al, 1999).

De viktigaste faktorerna är:

- *Tillförseln av NH_4^+* : Om det inte är rätt markförhållanden och tillgången på NH_4^+ är låg sker det ingen nitrifikation. Hög C/N-kvot i växtrester och stallgödsel leder till bildandet av NH_3 och sedan NH_4^+ vilket kan gynna nitrifikationen (Tisdale et al, 1999). Men för mycket NH_3 kan inhibera nitrifikationen. Höga koncentrationer av urea på basiska jordar kan höja ammoniaknivå till toxiska nivåer för *Nitrobacter*-bakterierna, vilket leder till att de dör och det bildas höga koncentrationer av NO_2^- istället (Brady et al, 1999).
- *Nitrifikationsbakteriernas populationsdynamik*: Nitrifikationens omfattning beror på vilka mikrober som finns och hur många de är. Oftast sker det en snabb uppförökning av populationen när det tillförs kväve till marken, men dess ursprungsstorlek har också betydelse för hur lång fördröjningen blir, innan NO_3^- blir tillgängligt för växterna (Tisdale et al, 1999).
- *Markens pH*: Nitrifikation kan ske inom ett brett pH-intervall (4,5-10) även om optimum ligger på 8,5. Så länge bakterierna har tillräcklig tillgång på Ca^{2+} , H_2PO_4^- och en någorlunda balans mellan mikronäringsämnen fungerar processen. Kalkning kan vara viktig för att uppnå lämplig pH-nivå, då processen är starkt pH-beroende (Tisdale et al, 1999).
- *Markens syretillgång*: Utan syre kommer nitrifieringsbakterier inte att bilda NO_3^- . Maximal nitrifikation sker när jorden har samma syrenehåll som atmosfären ovan, varför det är viktigt att jorden har bra genomluftning (diffusion av gaser). Jordar med god struktur eller grov textur medger bättre syretillgång för bakterierna. Jordbearbetning stimulerar syresättningen av jorden (Tisdale et al, 1999).
- *Markens fuktighet*: Nitrifikationen fungerar som bäst vid fältkapaciteten, d.v.s. vid 1m vattenavförande tryck, eller när 50-70 % av markens porer är vattenfyllda. Kapaciteten minskar om jorden blir fuktigare (Tisdale et al, 1999).
- *Temperaturen*: Den optimala marktemperaturen för nitrifieringsbakterierna är mellan 25-35°C, men nitrifikationen påbörjas redan vid en marktemperatur på -2°C och dess hastighet fördubblas mellan 0 och 5°C (Lindén et al, 2003) och fortsätter ända upp till 50°C. En kraftig nedgång sker om temperaturen överstiger 35°C (Tisdale et al, 1999).
- *Utbytbara katjoner*: I miljöer där markens buffringsförmåga är låg sker nitrifikationen snabbast. Den sker långsammast i sura miljöer eftersom H^+ kan byta plats med NH_4^+ i marklösningen och gör marken ännu surare (Tisdale et al, 1999).
- *Pesticider*: Vissa mikrober är känsliga för stora mängder pesticider, vilket kan hämma nitrifikationen. Nitrifikationen har visat sig känsligare för pesticider än de flesta andra processer i marken (Torstensson, 1994).

Lindén et al (2003) visade att all stallgödselammonium nitrifierats inom 2-4 veckor efter det att den tillförts på hösten (fram till mitten av oktober). Detta medför en ökad risk för kväveutlakning under senhösten och vintern. De visade även att nitrifikationshastigheten inte är linjär utan går fortare vid en högre temperatur och långsammare vid en lägre temperatur, vilket innebär att de temperaturväxlingar som sker mellan senhösten och tidig vår leder till en snabbare nitratbildning vid en medeltemperatur av t.ex. 1°C än vid samma gradtal under konstanta förhållanden i laboratoriet.

Kväveimmobilisering (fastläggning av kväve)

Immobilisering är motsatsen till mineralisering, d.v.s. omvandling av mineralkväve till organiskt kväve vid mikrobiell aktivitet. Detta sker när marklösningen och/eller tillförda växtrester innehåller mindre än en kväveatom för var åttonde kolatom eller när kol-kväveknoten överstiger 20-25 (Persson, 2003). Mikroberna behöver kväve till fortplantning och uppbyggnad och konkurrerar lätt ut växterna när det råder brist på växttillgängligt kväve i marken. Mineralkvävet som immobiliserats i mikroberna blir inte tillgängligt igen förrän mikroberna dör och deras celler börjar brytas ned, med mineralisering som följd. En mindre del blir då såsmåningom tillgänglig, högst 15 % året därpå, sedan allt mindre med åren (Persson, 2003). Om det istället tillförs kväverika växtrester kommer tidsperioden för immobilisering att minska och mineralisering startar igång snabbare. Mineralisering och immobilisering sker konstant i marken, och vilket som är den dominerande formen styrs av förhållandet mellan kol och kväve, den s.k. C/N-knoten, i det organiska materialet (Tisdale et al, 1999) samt vilken form av mineralkväve som finns i marken (Persson, 2003). Markens mikroorganismer föredrar att använda ammoniumjoner framför nitratjoner.

C/N-knoten

C/N-knoten definieras som den relativa kvantiteten luft torr C (%) i förhållande till luft torr N (%) i ett organiskt material (Tisdale et al, 1999). Normalt ligger växtresters kolinnehåll omkring 42 % och markens organiska material innehåller mellan 40 och 58 % kol, medan dess kväveinnehåll ligger mellan 0,1 och 6 % (Brady et al, 1999).

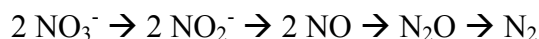
Generellt minskar mängden proteiner i växtvävnaden med grödans mognadsförlopp medan andelen lignin och cellulosa ökar med den färgskiftning som sker. C/N-knoten i stråsådeshalm är oftast över 70, och många gånger över 100. Även i mogen halm av ärter och höstraps är C/N-knoten relativt hög. Lindén och Engström (pers.medd.) erhöll i medeltal C/N-kvoter på ca. 70 och 50 i höstraps- respektive ärthalm. Växter som bildar mycket cellulosa och/eller lignin i växtresterna har en hög C/N-kvot. I åkerjordens matjord är C/N-knoten normalt 10 (Persson, 2003). Mikroberna assimilerar cirka 1/3 av det kol som de metaboliserar, resten avges som koldioxid. Kvoten i växtresterna bör inte ligga över 24 för att kvävet i växtmaterialet skall räcka till för mikroorganismerna (Brady et al, 1999). Vid en högre kvot får mikroberna svårare att få tillräckligt med kväve och redan vid C/N-knoten 30 sker enbart immobilisering av kväve. När kvoten under nedbrytningen sedan sjunker till ca. 20 mineraliseras kväve som blir tillgängligt för växterna utan någon konkurrens från mikroberna (Tisdale et al, 1999).

När växtresterna vid skörd faller till marken är alltså förhållandet oftast sådant att det finns för mycket kol i förhållande till kväve för mikroberna. Energittillgången leder dock till en snabb uppförökning av mikroberna, vilkas metabolism medför ökning av CO₂-halten i marken och immobilisering av kväve. Denna uppförökningsfas brukar även kallas ”nitrat depression period” (Tisdale et al, 1999), som innebär att växternas tillgång på nitratkväve i marken minskar. Så småningom avklingar mikrotillväxten eftersom tillgången på lätt tillgängligt oxiderbart kol minskar. Därmed minskar populationen och dess energi- och kvävebehov. Det uppstår en jämvikt mellan populationsstorlek och energittillgång och C/N-knoten har nu minskat hos växtresterna (Brady et al, 1999). Nedbrytningen leder till att markens humusmaterial och tillika kväveinnehåll fylls på. Hur lång tid nedbrytningen tar och hur långvarig nitratbristen blir beror på hur mycket växtrester som tillförs, hur pass kväverikt materialet är, hur lätt nedbrytbart det är (stora mängder innehållande lignin, vax eller fett kan fördröja nedbrytningen) för mikroberna, marktemperaturen och jordens fuktighet (Tisdale et al, 1999).

Ofta kan man utifrån de tillförda växtresternas kväveinnehåll bestämma om det kommer att bli nettomineralisering eller nettoimmobilisering av kväve. Under aeroba förhållanden blir det minimal immobilisering av kväve om växtresterna innehåller kvävekoncentrationer över 2 %. Under anaeroba förhållanden räcker det med kvävehalter över 0,5 % för att undvika immobilisering (Tisdale et al, 1999).

Denitrifikation

När marken är vattenmättad finns det inget syre kvar i marken utan alla porer är vattenfyllda och anaeroba förhållanden uppstår. Under dessa förhållanden kan nitrat genom olika reduktionsprocesser omvandlas till kvävgas (N₂) eller kväveoxider (NO och N₂O), sk. denitrifikation enligt följande (Tisdale et al, 1999):



Det är främst heterotrofa bakterier som är ansvariga för denitrifikationen, såsom *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Paracoccus*, *Micrococcus* och *Achromobacter* (Tisdale et al, 1999). Men det finns även autotrofa bakterier som är delaktiga i denitrifikationen, såsom *Thiobacillus denitrificans* och *T. Thioparus*, de får dock sin energi genom oxidation av sulfider (Brady et al, 1999).

I rhizosfären (rotzonen) finns det naturligt stora populationer av denitrifikationsbakterier. De lever på kolhaltigt exudat som rötterna utsöndrar, under aeroba förhållanden. De anaeroba förhållanden måste först uppstå för att de ska övergå till en denitrifierande metabolism och använda NO₃⁻ som en elektronacceptor istället för O₂ (Tisdale et al, 1999).

Mark- och miljöfaktorer som påverkar denitrifikationen

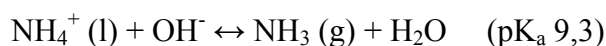
- *Tillgången och sammansättningen på det organiska materialet*; mängden nedbrytbart organiskt material påverkar denitrifikationen, ju mer vattenlösligt material desto större denitrifieringskapacitet. Nyligen tillförda växtrester kan stimulera denitrifikationen (Tisdale et al, 1999).
- *Markens pH*; i en sur jord minskar populationen av denitrifikationsbakterierna. Vid ett pH < 5 minskar denitrifikationen drastiskt. Jordens surhetsgrad är även avgörande för vilken slutprodukt som det blir efter denitrifikationen. Under pH 6-6,5 har mikroberna svårt att reducera N₂O till N₂, vilket leder till att N₂O avgången dominerar istället N₂ avgången (Tisdale et al, 1999).
- *Markens syretillgång*; för att det ska ske en denitrifikation bör jordporerna inte innehålla mer än 10 % syre. Allra snabbast är denitrifikationen när det inte finns något syre alls. Vilken slutprodukt det blir påverkas även av syretillgången i marken där N₂O gynnas av en högre syrenivå än N₂ (Brady et al, 1999). På väl-dränerade jordar kan det ske denitrifikation i anaeroba mikromiljöer, där behovet av syre överstiger tillgången (Tisdale et al, 1999).
- *Markens fuktighet*; markens vatteninnehåll är den viktigaste faktorn för denitrifikationen, vattnet hindrar syret från att komma fram till platserna för mikrobernas aktivitet. Minst 90 % av markens porer måste vara vattenfyllda. En varm och biologiskt aktiv jord om sommaren kan snabbt omvandla NO₃⁻ till N₂O eller N₂ om det kommer ett kraftigt regn. Snösmältningen på våren kan också orsaka stora förluster, hur mycket beror på snötäckets tjocklek och hur länge det ligger kvar (Tisdale et al, 1999).

- *Markens temperatur*; bakterierna är känsliga för temperaturen och ökar snabbt i population mellan 2-25°C, så även denitrifikationen (Tisdale et al, 1999). Den optimala temperaturen för denitrifikation ligger mellan 25-35°C (Brady et al, 1999) men kan ske upp till en temperatur på 60°C (Tisdale et al, 1999).
- *Nitratnivåerna*; NO₃⁻ måste finnas tillgängligt för att det skall bli någon denitrifikation. Ju högre nivåerna är i marken desto större risk för denitrifikation och N₂O och N₂ avgång (Tisdale et al, 1999).
- *Närvaro av växter*; växterna i sig kan öka denitrifikationen genom att de konsumerar syret i rhizosfären samtidigt som de förser mikroberna med kolhaltigt rotexudat. Växterna kan även begränsa denitrifikationen genom att ta upp NO₃⁻ och NH₄⁺ och reducera markens vatteninnehåll och öka syretillgången istället. Hur stor denitrifikationen blir på åkerjorden beror även på mängden tillförda växtrester (Tisdale et al, 1999).

På väl-dränerade jordar som inte är övergödslade kan förluster av N via denitrifikation ligga mellan 5-15 kg ha⁻¹, är marken dåligt dränerad och övergödslad kan förlusterna ligga så högt som mellan 30-60 kg ha⁻¹ (Brady et al, 1999).

Ammoniakavdunstning

Det tillförda ammoniumkvävet till mark, i form av stallgödsel och handelsgödsel i mineralform (speciellt urea) eller som växtmaterial (speciellt kväverika leguminoser), som ligger kvar på markytan och delvis bryts ned där, är den enskilt största orsaken till förluster av kväve via avgång av ammoniak (NH₃) (Brady et al, 1999). Det finns ett jämviktsförhållande mellan ammoniumkväve och ammoniak enligt följande:



De faktorer som påverkar hur stor ammoniakavgången blir är jordens egenskaper, årsmånen samt hur gödseln eller växtmaterialet tillförs. Markens pH spelar en viktig roll i hur stor avgången blir, då det indirekt påverkar mängden NH₄⁺ och NH₃ i marklösningen. Vid jämvikt (pK_a 9,3), d.v.s. pH 9,3 innehåller marklösningen 50 % ammoniumkväve och 50 % ammoniak. Sjunker pH-värdet förskjuts jämvikten åt vänster och vice versa. Vid pH 7,5 finns det ca. 10 % NH₃ i marklösningen. Reaktionen höjer naturligt markens pH (Tisdale et al, 1999). Ammoniakavgången ökar när marken torkar upp eller om det är en hög mark- och lufttemperatur eller ett lågt innehåll av lermineral och/eller organiskt material i marken (Brady et al, 1999). Markens buffrande förmåga är mindre vid en liten andel lermineral och/eller organiskt material i marken. Detta leder till att markens pH lättare ökar när gödsel eller kväverika växtrester tillförs, eftersom det inte finns lika många utbytbara katjoner i marken som kan medverka till att ammoniumjoner och ammoniak avlägsnas från marklösningen genom katjonutbytesprocessen (Tisdale et al, 1999). Under svenska förhållanden är pH-värdena oftast så låga i marken (pH<7), att befintlig ammoniak i jorden övergår till ammoniumjoner. Vanligen räcker det med att gödsel eller kväverika växtrester brukas ned ordentligt i jorden för att binda kvävet i form av ammonium (pers.medd., Lindén).

I dagens odlingsystem med reducerad bearbetning ligger växtresterna kvar på markytan, vilket kan öka ammoniakavgången, speciellt på jordar som har grov textur, mycket växtrester och/eller är kalkrika. Detta sker eftersom resterna behåller ett fuktigare och varmare mikroklimat och de reducerar diffusionen av ammoniak ner i marken. Växtrester har hög ammoniakaktivitet. Fullständig inblandning av växtresterna i jorden reducerar ammoniakavgången jämfört med om de ligger kvar på markytan (Tisdale et al, 1999).

På neutrala jordar ökar ammoniakavgången om kväve tillförs som urea istället för ammoniuminnehållande gödsel. Orsaken är att vätejoner (H^+) förbrukas när urea bryts ned och detta leder till att markens pH stiger snabbt till 8-9. På basiska jordar ($pH > 7,5$) orsakar urea och vissa ammoniuminnehållande gödselmedel (främst de som innehåller salterna SO_4^{2-} eller $H_2PO_4^{2-}$) ungefär lika mycket ammoniakavgång. Om däremot ammoniumet är ett salt med klor eller nitrat, blir ammoniakavgången lägre (Tisdale et al, 1999).

De största emissionerna av ammoniak sker vid spridning av stallgödsel. Svenska studier har visat att både spridningsteknik, hur lång tid det tar innan inblandning sker samt gödselslag (djupströ, fast eller flytande samt djurslag) har betydelse för hur stora emissionerna blir. Torstensson et al (2003) fann att de tre faktorer (utöver gödselslaget) som har störst betydelse för att reducera ammoniakförlusterna var; nedmyllning framför släppslangsspridning, en ordentlig kontakt mellan gödseln och jorden samt mark- och lufttemperaturen vid spridningstidpunkten (helst så låg som möjligt). Snabb nedmyllning av nötflytgödsel hade stor betydelse för förlusterna vid vårspridning på vall, dröjde det 4 timmar mellan spridning och myllning var ammoniumförlusterna i medeltal runt 50 %. Genomfördes myllningen istället omedelbart efter spridning minskade förlusterna till $< 1\%$. Ammoniakförlusterna vid spridning av svinflytgödsel blev lägre än nötflytgödsel, troligen beror det på skillnader i pH-värde mellan de olika gödselslagen vid spridning (Torstensson et al, 2001). Svinflytgödsel hade ett pH som nästa var en pH-enhet lägre än nötflytgödsel.

Kväveutlakning

Kväve kan lakas ut ur marken i olika former, såsom nitrat, ammonium, organiskt kväve eller partikelbundet. Den form som dominerar och orsakar de största problemen är nitrat eftersom jonen är negativt laddat och inte adsorberas av de negativt laddade markkolloiderna. Detta leder till att de lätt löses upp i marklösningen och rör sig snabbt i markprofilen (Brady et al, 1999).

Hur stort läckaget blir beror på koncentrationen av NO_3^- i marklösningen, hur mycket som växten tar upp under tiden, hur snabbt vattnet rör sig neråt i profilen samt tidpunkten för tillförseln av N. Perkoleringen styrs av nederbörd, avdunstning, jordens struktur och textur. Störst risk för läckage är det från senhöst fram till tidig vår, eftersom det är en långsam tillväxt på grödorna samtidigt som marken oftast är mer mättad än under övriga vegetationsperioden. Målet borde vara att minimera nitratproduktionen och maximera växtupptaget under de kritiska perioderna. Genom att ändra odlingstekniken har det visat sig möjligt att minska läckaget (Tisdale et al, 1999). Bland annat genom att:

- undvika att tillföra stallgödsel eller mineralgödsel under hösten,
- odla höstgrödor,
- anpassa näringstillförseln till växternas behov,
- reducera bearbetningen,
- insådd av fånggrödor,
- plöjning på våren istället för hösten,
- spridningsteknik av både stallgödsel och mineralgödsel,

En annan faktor som påverkar läckaget är markens CEC (katjonutbyteskapacitet). Vid en låg CEC kommer marken inte klara av att hålla kvar de ammoniumjoner som tillförs, vilket kan leda till ett läckage av kväve som ammoniumjoner istället. Detta kan ske i situationerna när temperaturen är låg eller när det inte sker någon nämnvärd perkolering i marken (Tisdale et al, 1999).

Effekterna av nitrat- och ammoniumläckage leder till övergödning (eutrofiering) i vattendrag och sjöar och medför ekonomiska förluster för brukaren i minskad produktion och ökade utgifter (Brady et al, 1999).

En senarelagd bearbetning och användande av fånggrödor i växtföljden har i flera svenska studier visat minska kväveutlakningsrisken. Bearbetning i augusti-september ökar frigörelsen av mineralkväve under hösten (Aronsson et al, 2003a & b; Engström et al, 2000b; Lindén et al, 1999; Stenberg et al, 1999; Stenberg, 1998; Torstensson et al, 2001). Aronsson et al (2003a) visade att en sådan strategi minskade kväveutlakningen med ca. 30 % under en tioårig studie. Vårplöjningen har visat sig stå för halva reduktionen av kväveutlakningen och fånggrödor för den andra halvan (Aronsson et al, 2003b). Den gröda som visat sig kunna dämpa utlakningsrisken under vintern, med undantag för fånggrödor och vall, har varit höstraps. Men höstarna efter höstrapsodlingen har det lakats ut desto större mängder, troligen p.g.a. överoptimala kvävegivor, kväverika växtrester och obefintliga utlakningssänkande effekter av höstsådder. Kväveutlakningens storlek på lätta jordar har i ovanstående studier och i andra visats vara nära förbunden med mineraliseringen och nederbörds-/avrinningsmängden under hösten fram till tidig vår.

Torstensson et al (2001) visade att tidpunkten och spridningstekniken av flytgödsel under hösten antingen påverkar utlakningen alternativt ammoniakavdunstningen. Aronsson et al (2003b) visade att kväveutlakningen ökade med ca. 10 kg/ha vid flytgödseltillförsel i jämförelse med handelsgödseltillförsel.

Kvävets olika former och funktioner i växter.

Former i växten

Växter innehåller mellan 1-5 viktsprocent N och absorberar både nitrat och ammoniumjoner. På väl-dränerade jordar förekommer vanligen nitrat i en högre koncentration än ammonium. Båda jonerna rör sig i marklösningen till växters rötter via massflöde (via en tryckgradients skillnad, hög → låg) och/eller diffusion (via en koncentrationsgradients skillnad, hög → låg) (Tisdale et al, 1999).

Upptaget av nitrat är oftast störst eftersom det gynnas av ett lågt pH i marken och förekommer vanligen i en högre koncentration. När växter tar upp mycket nitrat kompensera växten detta upptag genom att avge bikarbonat (HCO_3^-) för att behålla en elektron neutralitet mellan växt- och jordlösning. Vid ett kraftigt upptag av nitrat gynnas även upptaget av oorganiska joner som Ca^{2+} , Mg^{2+} och K^+ . Upptaget av ammonium gynnas av ett neutralt pH och stimulerar istället upptaget av jonerna H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , och Cl^- (Tisdale et al, 1999).

Växterna föredrar ammonium som energikälla eftersom de sparar energi vid själva proteinsyntesen, men stort ammonium upptag ökar mängden kolhydrater och proteiner i växten. När nitrat ska reduceras till ammonium i nitratreduktionen (se nästa avsnitt) använder växten två nitratreduktas (NADH) molekyler (Tisdale et al, 1999) och för att det inte skall finnas för mycket ammonium i växten omvandlar den det till aminosyror (Taiz et al, 2002).

Vilken kvävejon som växten tar upp påverkar dess rhizosfär. För att försöka behålla omgivningen elektronneutral eller behålla laddningsbalansen inne i växten avger den vanligen vätejoner vid upptag av ammonium och hydroxidjoner vid upptag av nitrat. Markens pH kan

variera upptill två pH-enheter beroende på vilken kvävejon som växten tar upp mest utav. Försurning genom ammoniumupptaget kan påverka både näringsupptaget och den biologiska aktiviteten i rotens närmiljö på samma sätt som ett stort upptag kan begränsa tillväxten och upptaget av kalium. När det gäller nitratupptaget är toleransnivån mycket högre och dess överskott lagras i vävnader istället för att omvandlas till proteiner (Tisdale et al, 1999).

Funktioner i växten

Växten kan inte använda upptaget nitrat direkt utan det måste reduceras till antingen ammonium eller ammoniak. I nitratreduktionen, vilken sker antingen i roten eller i bladen, sker det två enzymatiska reaktioner i serie för att undvika ackumulering av nitrit i växten, enligt följande (Tisdale et al, 1999):

	<u>Reduktionsreaktion</u>	<u>Enzym</u>	<u>Reaktionsplats i växten</u>
Steg 1	$\text{NO}_3 \rightarrow \text{NO}_2$	Nitratreduktas	Cytoplasman
Steg 2	$\text{NO}_2 \rightarrow \text{NH}_3$	Nitritreduktas	Kloroplasten

Slutprodukten (NH_4^+ eller NH_3) används sedan för att bilda aminosyror som kan användas i proteiner och nukleinsyror (växtens genetiska kod). Vilken typ av protein som bildas beror på vad växten behöver och det styrs av dioxyribonukleinsyran (DNA) och ribonukleinsyror (rRNA) i växtens cellkärna och cell. Proteiner utgör oftast stommen i olika strukturer såsom kloroplaster, mitokondrier, i vilka DNA dupliceras inför kommande celldelning, och klorofyll, vilket är den primära absorbatoren av ljusenergin som behövs i fotosyntesen.

Vid en hög tillgång på kväve i växten har den en hög fotosyntetisk aktivitet, kraftig vegetativ tillväxt och en mörkgrön färg. Ett överskott av kväve i relation till fosfor, kalium och svavel kan försena mognaden. En kraftig vegetativ tillväxt tidigt på säsongen kan vara till nackdel i regioner där markfuktigheten begränsar tillväxten senare på säsongen. En försommartorka utan att vattentillgång balanseras innan kärnfyllningsperioden kan hämma skörden. Brist på kväve ger först symtom (kloroser) på växtens äldre bladspetsar (Tisdale et al, 1999).

Vid en låg tillgången på kväve stannar kolhydraterna kvar i de vegetativa cellerna, vilket gör dem tjockare. Med lite kolhydrater i de vegetativa delarna desto mer protoplasma bildas, vilket innehåller mer vatten och växten blir klenare. Fenomenet ”liggsäd” kan bli fallet vid en kraftig blåst eller regn, speciellt om de inte tagit upp särskilt mycket kalium. Det kan även leda till att växten blir känsligare för angrepp från insekter, svampar, bakterier eller virus (Tisdale et al, 1999).

Odling av höstraps

Förfrukt till höstraps

Valet av förfrukt kan påverka höstrapsbeståndets uppkomst såväl som övervintringsförmåga och i slutändan avkastningspotentialen. Vilken förfrukt som är den bästa för året varierar dessvärre med årsmånen och bearbetningssystem.

De förfrukter som varit vanligast under senare år har varit malkorn, höstkorn eller rödsvingel i södra Sverige och träda eller vall i Mellansverige. Men med hybridsorternas intåg har det blivit möjligt att senarelägga datumet för sådd och på så vis gjort det möjligt att använda tidiga höstvetesorter som förfrukt till höstrapsodlingarna. Enligt Klingspor (2003) har hybridsorterna visat att de även är vinterhärdigare och har en högre skördepotential än de traditionella linjesorterna. En annan förfrukt som visats vara bra är konservärter. Argumenten för att använda konservärter är att höstrapsen kan ta tillvara på det N som ärten fixerat under säsongen och som mineraliseras under hösten. Mängden kväve i marken efter skörd av ärter kan vara uppåt 50 kg ha⁻¹ och studier har visat på att höstraps kan ta upp emot 100 kg N ha⁻¹ medan höstvede enbart kan ta upp mellan 10-20 kg N ha⁻¹ innan invintringen (Wikström, 1997). Höstråg är det få som pratar om men det skulle kunna vara ytterligare ett alternativ om det finns en osäkerhet i avsättningen för de tidiga höstvetesorterna (Blomqvist, 2005a).

Vilka effekter har valet av förfrukt på höstrapsen?

Rapsen behöver en förfrukt som ger en genomsläpplig jord med bra struktur för att minska risken för vattenskador. De förfrukter som ger jorden en bra struktur är främst vall, träda och bland stråsäden så har höstvede bättre strukturförbättrande egenskaper än vår- och höstkorn. Det bör poängteras att det efter höstvede behövs en högre startgiva av kväve än efter korn, då det bortförs mer efter höstvede samt att det finns en risk för spillsäd efter stråsäd (Klingspor, 2003). Höstrapsens skördenivå blir oftast högre efter höstvede eller vall som förfrukt än efter vår- eller höstkorn (Gunnarsson, 2002). Ärtor har däremot ingen god strukturbildande egenskap, vilket kan orsaka problem med vattenskador. Vall som förfrukt torkar ut marken rejält och vid torr väderlek kan det ge problem med uppkomsten av rapsen.

Etableringen

Etableringen är ett av de viktigaste momenten vid odling av höstraps för att grödan ska klara övervintringen, ogrästrycket och angrepp från insekter, svampar mm. Men när det gäller etableringen av höstraps så finns det många alternativ och de vanligaste är (Jonsson, 2004a):

- *Konventionell*; plöjning, harvning och sådd med 12-24 cm radavstånd följt av en vältning.
- *Grundplöjning*; med t ex Ecomat
- *Radsådd/Precisionssädd*; plöjning, harvning och sådd med 24 eller 48 cm radavstånd följt av en vältning.
- *Djup stubbearbetning*; t ex Vemmerlövsmetoden eller Top Down
- *Grund stubbearbetning*; med t ex Carrier
- *Direktsådd*; antingen låter man halmen ligga kvar, bränna den eller ta bort den från fältet innan sådd sker. På senare år har även tröksådd uppmärksamats, d.v.s. ett såbord efter tröskbordet så att halmen hamnar ovanpå fröna.
- *Sådd direkt på markytan*; ca. 14 dagar innan förfrukten skördas sprids rapsfröna med en gödselspridare.

Att använda ett reducerande bearbetningssystem i kombination med en låg kvävegiva minskar fröutbytet (Sieling et al, 1999), däremot var det inga större skillnader i avkastning mellan olika bearbetningssystem vid en hög kvävegiva. Vilken metod som lämpar sig bäst beror främst på vilka maskiner, strategier och investeringsmöjligheter gården har. Varje metod har sin Akilleshäla där kostnader, intäkter och årsmån påverkar odlingsekonomin.

Såbädden

Den idealiska såbädden för höstraps skiljer sig inte från den som man vill ha till stråsäd, dvs ett fint bruk ovan den fasta såbotten med en grövre struktur i ytan. Sådjupet bör helst ligga på 1,5 cm, men vid mycket torra förhållanden kan ett djupare sådjup rekommenderas dock inte djupare än 3 cm. Att lyckas med såbädden är inte så lätt eftersom årsmånen varierar från år till år (Lyhagen, 2000).

Tidpunkt för sådd

För att nå 8-8-8 minimiregeln (för förklaring se sida 22) inför övervintringen är det viktigt att sådden varken sker för tidigt eller sent. Enligt Topinka et al (1991) leder en för tidig sådd oftast till att rapsen blivit för kraftig och att den börjat sträcka på sig. Vid en för sen sådd hinner rapsen inte bli tillräckligt motståndskraftig mot kylan. De menar att det är svårt att hitta det optimala datumet eftersom årsmånen varierar och styr vilket datum som är bra för det enskilda året.

En normal tidpunkt för sådd av höstraps ligger kring den andra veckan i augusti i södra Götaland och den första veckan i augusti i norra Götaland (Lyhagen, 2000). I Svealand borde den normala tidpunkten för sådd ligga runt sista veckan i juli. Riskerna är större vid odling i Svealand så därför bör odling endast ske vid rätt betingelser och med en ganska låg utsädesmängd (Gunnarsson, 2002). Skulle sådden försenas är det viktigt att fröna gror direkt vilket är säkrare med hybrid sorter än linjesorter. Detta ställer större krav på jordbearbetningen än vid den normala sådden (Jonsson, 2004b). Senaste datum för sådd anses vara svårt att bestämma då årsmånen kan variera men de rekommendationer som finns för södra Sverige är början på september, för norra Götaland i slutet av augusti och för Svealand (Uppland, Blomqvist, 2005b) den 20 augusti.

Utsädesmängd

Eftersom det finns både hybrid- och linjesort kan valet mellan dem vara svårt. Till hybridernas nackdel är utsädeskostnaden och till dess fördel en högre avkastningspotential och en bättre vinterhärdighet. Om valet faller på hybrid sorterna ska odlingen anpassas till en så låg utsädesmängd som man vågar samt att ge dem bra odlingsbetingelser. Riktlinjer för antalet grobara frön per kvadratmeter sammanfattas i tabell 1 (Lyhagen, 2000).

Tabell 1. *Sammanställning av antal grobara frön som bör uppnås för linje- respektive hybrid sorter vid olika såtidpunkter i enlighet med en konventionell sådd (Lyhagen, 2000).*

Tidpunkt för sådd	Antal grobara frön m ⁻²	
	Linjesorter	Hybrid sorter
Tidig	60-70	50-60
	65-75	55-65
Normal	70-90	60-75
	80-100	70-85
Sen	100-130	75-90

Anledningen till att utsädesmängden bör ökas ju senare man sår beror på att det inte är lika många plantor som klarar övervintringen i och med att fler plantor kommer att konkurrerar om utrymmet och lyfta beståndet och tillväxtpunkten på höjden (Lyhagen, 2001). En låg planttäthet ger kraftigare plantor som blir mer motståndskraftiga mot stjälkbrott, liggbildning och angrepp. Det finns dock en risk med ett allt för glest bestånd, då det kan bli luckor och ojämnt så att hela ytan på fältet inte utnyttjas. Det finns även anledning att öka utsädesmängden om det är svåra jordbearbetningsförhållanden eller risk för snigelangrepp (Nilsson, 2005).

En flerårsstudie utförd av Svensk Raps (Biärsjö, 2004b) har visat att avkastningen oftast blir störst vid en konventionell sådd med 60-80 grobara frön m^{-2} (3,5-4,5 $kg\ ha^{-1}$). Vid precisionssädd går det att minska utsädesmängden ner till 20-40 grobara frön m^{-2} (1,2-2,4 $kg\ ha^{-1}$). Vid en direktsådd bör utsädesmängden öka något för att nå runt 100 grobara frön/ m^2 (6 $kg\ ha^{-1}$). Kostnaden för en precisionsetablering av hybridrapen (1,2 $kg\ ha^{-1}$) skulle kunna likställas med en konventionell etablering av linjesorter (4 $kg\ ha^{-1}$). På hösten skulle den kemiska ogräsbekämpningen (vanligen Butisan) kunna bytas ut mot två radhackningar och om maskinerna finns i närheten skulle detta ge ungefär samma resultat och minska kemikalieanvändningen.

Enligt Gunnarsson (2002) är det viktigt att kunna avbryta höstrapsådden i Mellansverige om den blir sen eller att såbruket inte blir bra. Anledningen till detta är att det inte är lönsamt att betala den extra kostnaden det blir för att öka utsädesmängden på hybridrapen, då skördenivåerna sällan ligger över 3 ton. I en studie gjord av Engström et al (2000a) i Mellansverige, där risken för utvintring är relativt stor, visade det sig att man inte förlorar så mycket på att vänta med ogräsbekämpningen fram till våren eller helt utelämna den vid ett radavstånd på 12 cm. Det bör nämnas att ogräsförekomsten i försöken var relativt låg. Andersson et al (1992) kom fram till att en radsådd på 12 cm begränsade ogräsens tillväxt, men hade ett färre antal överlevande plantor än vid ett radavstånd på 48 cm. De fann även att det vid en sen sådd är viktigt med ett litet radavstånd och att det sker en ogräsbekämpning, antingen kemiskt eller mekaniskt, på hösten oavsett i vilken region det odlades. Det bör tilläggas att det såddes en linjesort (Brink) och att utsädesmängd var 12 $kg\ ha^{-1}$ (vid radavståndet 12 cm) och 6 $kg\ ha^{-1}$ (vid radavståndet 48 cm) och att det inte tillfördes något kväve under hösten. Det vill säga att de inte varierade utsädesmängden efter tidpunkten för sådd på samma sätt som Engström et al (2000a) gjorde.

Radhackning

Precisionssädd med radavståndet 24 eller 48 cm och radhackning har visat sig ha en högre övervintringsförmåga än konventionell sådd eller direktsådd (Biärsjö, 2004b). Jorden som vänds upp på plantornas tillväxtpunkt vid radhackning blir då ytterligare ett skydd mot kolden samtidigt som beståndet hålls nere (Biärsjö, 2002). Man kan tänka sig att radhackning påverkar avkastning i och med att jorden luftas samtidigt som ogräs bekämpas men Andersson et al (1992) såg ingen sådan effekt. På jordar som är slammingsbenägna och lite täta kan radhackning fungera som en bra metod för att tillföra syre till rötterna som stimulerar mineraliseringen i marken och tillväxten av grödan (Biärsjö, 2002).

Utvintring eller glest bestånd på våren

Om det mot förmodan skulle ske en så kraftig utvintring av höstrapsen att det blir tal om att bryta odlingen bör man först ta ställning till vilken gröda som ska odlas. Det som avgör vilken gröda som kan odlas beror på om fältet ogräsbekämpades kemiskt (Butisan) under hösten eller ej (Olsson 2002). Om behandling skett på lerjord i normal tid räcker en normal

jordbearbetning för att stråsåden skall trivas och undvika en alltför stor konkurrens från ogräsen. Har ingen Butisan behandling skett på hösten har man en större valfrihet på våren. Vid odling av vårraps bör man tänka på att höstrapsen som överlever drar till sig rapsbaggar som kan bli ett stort problem i vårrapsen.

Är beståndet ojämnt eller glest är det viktigt att ogräsbekämpa och minska mängden tillfört kväve på de delar av fältet där det inte finns många rapsplantor (Olsson, 2002). Oftast ger ett bestånd på 10-15 plantor m^{-2} en tillräckligt god skörd, rapsen har en bra förmåga att bilda sidoskott och kompensera för det tunna beståndet. Ett test för att avgöra plantans kondition är att dra upp en planta och försök slå en knut på roten. Spricker roten upp lever plantan och den kommer att tillväxa. Kan man slå knuten utan att roten spricker kan man räkna den som död.

Höstrapsen utveckling, kväveupptag, -innehåll och -behov under säsongen.

Uppkomst till senhöst

Efter etablering och uppkomst sker det främst en vegetativ tillväxt fram till senhösten genom att det bildas ett visst antal örtblad, plantorna befinner sig i det så kallade rosettstadiet. Plantorna kommer att stanna i detta stadium fram till våren, eftersom de ännu inte genomgått någon vernalisering. Det kan finnas vissa plantor som hinner komma så långt i utvecklingen att det sker en plantsträckning och till och med en påbörjad blomning men dessa kommer inte klara av vintern utan dör bort.

Höstraps är en gröda som behöver kväve både på hösten och på våren. Studier (Augustinussen, 1994; Engström et al, 2000; Hessel et al, 1998; Knudsén et al, 2000; Lindén et al, 1988) har visat att höstrapsen har en stor potential att ta upp stora mängder kväve under hösten. Upptaget i de ovanjordiska växtdelar har varierat mellan 20-110 $kg N ha^{-1}$ i Sverige och Danmark, men både en hög mullhalt eller en tillförsel av stallgödsel kan öka upptaget ännu mer. Engström et al (2000a) visade att stallgödseltillförsel ökade fröutbytet med 38 % jämfört med led utan stallgödsel och att kväveupptaget var mellan 140-200 $kg N ha^{-1}$ under hösten. Detta kan jämföras med en höststråså enligt Lindén et al (2000) som maximalt kan ta upp runt 10 $kg N ha^{-1}$ vid normal såtidpunkt under hösten. Även Sieling et al (1999) såg en ökning av fröutbytet när stallgödsel tillfördes, men att effekten av stallgödseln minskade med ökad mineralgödseltillförsel. Kombinationen av stallgödsel och mineralgödsel ökade läckaget av kväve samt att stallgödsel tillförd på hösten medförde ett större läckage än vid tillförsel på våren. Detta innebär att höstrapsen är en av få grödor som ändå kan ta tillvara kväve från stallgödsel som sprids på hösten samt att den inte utnyttjar sin avkastningspotential vid normala mineralgödselgivor.

Kvävet på hösten behövs för att grödan skall utvecklas tillräckligt inför vintern. Vid sådd av höstraps har mineraliseringen inte riktigt kommit igång och oftast kan inte marken förse grödan med tillräckliga mängder av kväve efter förfrukter som stråså eller träda/vall. I ekologiska odlingar (Gunnarsson, 2001) använder man sig av en grüngödslingsgröda eller ärt som förfrukt för att förse rapsen med tillräckliga mängder av kväve på hösten. Augustinussen (1994) såg ingen skillnad mellan fröutbytet om mineralgödseln tillfördes vid sådd eller tre veckor efter sådd, men däremot om det gödslades lite eller inget alls på hösten. I en annan studie av Augustinussen (1987) visade det sig att endast en liten del av det tillförda kvävet tas upp vid en sen sådd (21-29 augusti) och att en större mängd blir kvar i marken. Engström et al (2000a) visade på ett lika stort upptag mellan normal sådd (30 juli) och sen sådd (20 augusti) men att det fanns mer kväve kvar i marken efter en sen sådd, här ska nämnas att

utsädesmängden ökade med den sena sådden. En ökad kvävegiva kan aldrig kompensera för en för sen sådd, då tillväxten på senhösten främst begränsas av låga temperaturer (Mendham et al 1981). Enligt Olsson och Ohlander (1987) kan inte en ökad kvävegödsling vid direktsådd kompensera för den konkurrens som höstrapsen utsätts för av arvsäd och de kvarliggande skörderesterna.

Rottillväxten under hösten påverkas både av markens temperatur och av tillgången på kväve. Vos et al (1998) visade att det finns ett linjärt samband mellan grödans totala rotlängd (cm per cm^3 i jordens översta 40 cm) och de ovanjordiska växtdelarnas torrsubstans. Den största rotmassan fanns i de översta 20 cm. De såg även att den totala rotlängden minskade när det tillfördes kväve men att sådatumet inte hade någon påverkan på förhållandet mellan rotlängd och producerad biomassa ovanjord. Thorup-Kristensen (2001) fann att höstraps har en snabb tillväxt på hösten och får ett djupare och ett större rotsystem än råg, vete och havre på samma tid. Dess rotintensitet (förgrening och djupgående) var runt 12 gånger så stor som råg och havre mellan 0,5-1 m, det var små skillnader i intensiteten mellan de olika grödorna i de övre 50 cm. Det fanns en stark korrelation mellan växt- och rotparametrar om man tittade på mängden tillgänglig nitratkväve mellan 0,5-1 m. Om det inte fanns någon gröda under hösten fanns det mycket nitrat mellan 0,5-1 m, men fanns det en gröda fanns nitraten främst i de översta 50 cm. Skillnaderna mellan de olika växternas rotsystem i jordlagret 0,5-1 m och tillgången på nitratkväve i detsamma utgör en större risk för läckage under höst och vinter. Eftersom nitrat som finns i de djupare lagren har större risk för att läcka då det befinner sig närmare grundvattennivån och att skillnaden mellan olika grödors rotsystem i skiktet 0-50 cm är relativt små. Macduff et al (1987) studerade hur temperaturen runt rötterna påverkade ammonium- och nitratumtaget i ett kulturförsök. De fann att rapsen tar upp mer ammonium än nitrat vid låga temperaturer. Ammoniumupptaget låg mellan 61-65 % av det totala kväveupptaget upp till 9°C. Mellan 11 och 13°C sjunker det till 53-55 % och vid 17°C var det 47 % medan det vid 25°C var 61 % ammonium som togs upp. När de sedan undersökte hur mycket av ammoniumet och nitraten som assimilerats i växtens ovanjordiska delar visade det sig att växterna assimilerat så gott som all ammonium oavsett temperatur medan mängden nitrat som assimilerades minskade med minskad temperatur runt rötterna. Schultz (1972) fann att höstrapsens rötter innehöll runt 8 kg N ha^{-1} i november.

Gödslingsrekommendationer på hösten ligger mellan 0 och 40 kg N ha^{-1} efter vall, träda eller ärt och mellan 30 och 60 kg N ha^{-1} efter en stråsådd (Gunnarsson, 2002; Frostgård, 1999). Biärsjö (2004c) har under de senaste åren studerat kvävetillförseln under hösten och våren och det blir först lönsamt att lägga 60 kg istället för 30 kg om hösten om fröskörden ökar med minst 120 kg ha^{-1} . Kvävet tillförs vanligen med ett svavelhaltigt gödselmedel. Om rapsplantorna skulle få en lila-röd nyans under hösten har oftast tillväxten avstannat, antingen på grund av syrebrist eller av något annat problem i marken. För att åtgärda problemet är rekommendationerna att tillföra ytterligare 10-20 kg N ha^{-1} (Gunnarsson, 2002).

När temperaturen sjunker under hösten, gör sig växten redo för vintern och blomningen nästa år. Den minskar antalet ny anlagda blad och en gradvis anläggning av blomknoppar. Varje blad som bildas på hösten ger plats för ett sidoskott under nästa år. Det behövs därför en stark vegetativ utveckling fram till sen hösten för att få många blad som kan bilda sidoskott, utan att för den delen få beståndet att "sträcka sig". Vid en sen sådd ökas utsädesmängden för att kompensera det minskade antalet producerade blad och potentiella sidoskott med fler plantor för att få en bra skörd (Nilsson, 2005).

Senhöst till tidig vår

Alla höstsådda grödor (vinterannueller) har en genetisk försvarsmekanism som hindrar växterna att initiera det känsliga blomningsstadiet under senhösten/vinter även vid blidväder. Den så kallade vernaliseringen innebär att växterna måste utsättas för en köldperiod innan blomningen påbörjas. Mendham et al (1995) talar om att äldre växter inte behöver en lika lång vernaliseringsperiod som yngre växter samt att vernaliseringen sker mest effektivt mellan 3-7°C. Anledningen till detta är att vernaliseringsprocessen är energikrävande och den blir ineffektivare vid lägre temperaturer. Vilket medför att växterna blir mer köldtåliga och klarar en kall vinter bättre. Enligt Rapacz et al (1999) går det att finna sorter med en hög köldresistens bland de sorter som inte har någon längre vernaliseringsperiod bland höstoljeväxterna. Fördelen med en kort vernaliseringsperiod är att tillväxten kommer igång snabbare på våren. De fann att 00-sorter (höstoljesorter med lågt innehåll av glukosinolater och eruka syra) som odlats under 90-talet hade en kort vernaliseringsperiod, men att den varken korrelerade med frosttoleransen eller vinterhärdigheten. Däremot fann de en stark korrelation mellan plantornas frosttolerans och överlevnad samt att mikroklimatet påverkar överlevnadsgraden i stor utsträckning.

Målet inför vintern enligt Lyhagen (2000) är att nå 8-8-8 minimiregeln på plantorna. Där 8-8-8 står för att plantorna helst ska ha 8 blad och en rothals på minst 8mm, för då är oftast pålroten minst 8 cm lång. Om dessa mål nås inför vintern utan att rapsplantorna utsätts för alltför stort ogrästryck eller någon närings- eller syrebrist så talar det för en god skörd. Topinka et al (1991) fann en bra korrelation mellan plantors sträckning och rothals för en lyckad övervintring. Rothalsens tjocklek speglar plantans biomassa och sträckningen så att den känsliga tillväxtpunkten inte utsätts för kyla alltför mycket. Störst överlevnad hade plantor med en rothals på 5-16 mm och en sträckning mellan 0-3 cm. Hur långt i utvecklingen som plantorna nått avgörs till stor del av sådatumet. Mikroklimatet runt tillväxtpunkten och dess överlevnad påverkas bland annat av snölagrets tjocklek och om det finns växtrester/stubb kvar på ytan. Snödjupet påverkas av hur tillväxten har varit inför vintern, för ju större och fler blad plantorna har desto större är chansen att snön stannar kvar och skyddar tillväxtpunkten.

Stenberg et al (1998) visade i en studie att valet av etableringsteknik och gödslingsstrategi på hösten påverkar höstrapsens övervintringsmöjligheter och en tillräcklig fotosyntetiserande bladlyta på våren. Vidare visades att höstrapsen behövde vara kraftigare i det plöjda ledet än i det direktsådda ledet för att klara övervintringen och att en kvävegödsling på hösten utvecklar större plantor som kan ta tillvara på det tillförda kvävet på våren. Ett annat syfte med studien var att försöka tillvara ta det mineraliserade kvävet under hösten genom att så in höstraps i antingen engelskt rajgräs eller vitklöver, dock lyckades inte etableringen på grund av en alltför lång torka efter sådd. Men potentialen att ta upp kvävet och undvika utlakning under vinterhalvåret med en fånggröda/gröngödslingsgröda visades tydligt i jämförelse med raps i renbestånd. Det var även små skillnader i avkastning mellan direktsådd och konventionellsådd, vilket hänvisas till den låga nederbördsmängden under hösten. Under sådana omständigheter kommer det direktsådda ledet till sin rätt, i och med att det stannar kvar mer vatten i profilen. I studien fann man även att kraven på plantstorleken för överlevnad under vintern varierar efter vilken etableringsmetod som används.

Dejoux et al (1999) visade att en tidig sådd reducerar nitratläckaget under vintern, men att frosten och kölden i sin tur kunde öka förlusterna av kvävet från bladskador och bladavfall med upptill 100 kg N ha⁻¹. I en annan studie utförd av Dejoux et al (2000) fann de att rapsplantor återabsorberar cirka 40 % av det kvävet som frigörs vid mineraliseringen av bladavfallen under vintern, detta motsvarar vid fullmognaden ca. 24 % av det upptagna

kvävet. Bladen vid försöket hade en C/N-kvot på 15, vilket innebär att det är lätt mineraliserat. De menar att anledningen till att så mycket återcirkuleras är den synkronisering som finns mellan rapsens tidiga upptag på våren och tidpunkten för nedbrytningen av bladen. De fann att cirka 20 % immobiliseras, detta varierar dock med vilken jord och klimat det är, men att majoriteten av allt kväve från bladen mineraliseras under vegetationsperioden. De återstående 40 procenten är förluster som under detta försök hänvisas till avgång av kväve i gasform, eftersom bladen låg kvar på marken. Hur mycket kväve som frigörs beror till stor del på hur mycket kväve bladen innehåller som i sin tur påverkas av tillgången på kväve under hösten. Från detta försök bör man ha i åtanke att det genomfördes i Frankrike och att höstrapsen påbörjar sin tillväxt om våren så tidigt som i mitten av februari, så det skiljer sig lite ifrån Sverige. Kaiser et al (1998) fann att 50 % av de årliga förlusterna av N_2O skedde mellan oktober och februari, anledningen till de stora förlusterna under denna period var att marken tinar och fryser om vart annat och detta leder till att den mikrobiella aktiviteten i marken varierar under perioden. Gasavgången ökar om mängden torrsbstans minskar i förhållande till kväveinnehållet i de nedbrukade växtmaterialen. Förlusterna från mineralgödselkvävet varierar mellan 0.7-4.1% samt att höstvetet orsakar mindre förluster än höstraps.

Enligt Schultz (1972), Holmes (1980) och Augustinussen (1987) är plantornas kväveinnehåll, uttryckt i procentandel kväve av den totala torrsbstansen, som störst innan vintern. Även om den totala kvävemängden sedan ökar under vegetationsperioden så sjunker procentandelen konstant under hela vegetationsperioden. Under vinter uppstår det frostsador och vissa plantor tappar blad vilket får som konsekvens att mängden ovanjordiskt växtmaterial minskar fram till tidig vår. Med minskad torrsbstans minskar även mängden kväve i plantorna, deras försök resulterade i förluster av kväve mellan 15-28 kg N ha⁻¹ p.g.a. biomassaförlusten och Hessel et al (1998) runt 11 kg N ha⁻¹ p.g.a. biomassaförlusten under vintern.

Tidig vår till blomning

Tillväxten av rapsplantorna kommer igång tidigt på våren och har ett stort behov av kväve under denna period, oftast sker den så tidigt att markens egna kvävelevererande förmåga inte kommit igång (Holmes, 1980). Under hela vintern har plantan befunnit sig i rosettstadiet och när vernaliseringen väl genomgåtts så initieras blomningen och plantsträckning. Med plantsträckningen reser sig plantorna och utvecklar en större biomassa. Blomningen påbörjas i Sverige någon gång i maj och hur utdragen den blir påverkas bland annat av tillgången på kväve och årsmånen. Eftersom blomningen är relativt utdragen kommer skidorna som bildas av de första blommorna påbörjat mognaden innan de sista blommor blommat.

Under våren sker det ytterligare tillförsel av kväve och nu i betydligt större mängder än under hösten. Bernardi et al (1993) fann att tillförseln var mest lönsam någon gång mellan rosettstadiet till tidig plantsträckning. Rekommendationerna i början av 90-talet låg runt 100-120 kg N ha⁻¹ men på senare tid har rekommendationerna stigit till runt 150 kg N ha⁻¹ (Biärsjö, 2004a). Anledningen till detta beror på att det tidigare inte tillfördes svavel vid kvävegödslingen och detta har visat sig ha en stor betydelse för rapsens kväveutnyttjande vid höga kvävegivor. Tillgången på kväve stimulerar torrsbstansproduktionen (mer utdragen vegetationsperiod), senare blomning och bladfällning samt en större fröproduktion (Leleu et al, 2000). En ökning av tillförseln från 120 till 240 kg N ha⁻¹ gav en försämring i kväveeffektiviteten från 37 till 29 % (Sieling et al 1999).

Det är allt vanligare att gödslingen sker i två omgångar på våren, en mindre giva väldigt tidigt och den större i början av plantsträckningen. Barraclough (1989) såg att plantorna inte

reagerade lika tydligt av den tidiga givan som vid sträckningen men att behovet fanns av en delning på våren. De svenska rekommendationerna är att första givan ges vid vegetationsstart och den andra 2-4 veckor senare och fördelning beror på hur beståndet ser ut, ett kraftigt bestånd får mest vid andra tillfället och ett klent (dålig övervintring) bestånd får största vid första tillfället (Yngvesson, 2001). En engångsgiva är möjlig vid ett kraftigt bestånd. Enligt Holmes (1980) ger en delad giva på våren ingen större skörd. Det man bör tänka på är att använda ett svavelhaltigt gödselmedel som innehåller nitratkväve. Ju närmare rapsens sträckningstillväxt gödningen sker och att använda ammoniumkväve vid tidigare gödningar för att minimera kväveförlusterna. Det har på senare tid uppmärksammats att svaveltillförseln är ännu viktigare för fröskörden vid ökad kvävetillförsel (pers.medd. Engström, L.).

Rapsplantor som har skador på tillväxtpunkten (det apikala meristemmet) efter köldskador eller viltskador, får en försenad och ojämn mognad och sidokottens stjälkar blir oftast klenare och känsligare för vinden (Topinka et al, 1991).

I början av tillväxten på våren används näringen och energin till att öka biomassa av bladen efter ca. 14 dagar övergår det till stjälken (plantsträckningen) för att slutligen övergå till blom- och skidproduktion under vilken period även bladfällningen påbörjades (Augustinussen, 1987). Vid en tillförsel av mer än 120 kg N ha^{-1} ökade ackumuleringen av kväve i stjälken. Plantsträckningsperiodens (vegetativa perioden) längd och växtens möjligheter att producera biomassa innan blomning påverkar avkastningen (Mendham et al, 1995) och perioden i sin tur påverkas av årsmånen och näringstillgången. Under perioden fram till blomningen sker det största kväveupptaget under säsongen (Schultz, 1972; Holmes, 1980; Augustinussen, 1987).

Enligt Mendham et al (1981) sker initieringen av blomning i norra Europa när plantorna har fått runt 12 synliga blad. I samband med detta sker även plantsträckningen och de blad som då finns kommer fylla en viktig funktion för plantan vad gäller dess näringsupptag och assimilering (Mendham et al, 1995). Under sträckningen kommer de blad som finns på plantan att växa till sig och mycket av kvävet kommer därför att gå till dem och stjälken, vilket Schultz (1972) visade i sina försök. Det största kväveupptaget sker under denna vegetativa tillväxtperiod. Mendham et al (1995) nämner även att fransmannen Triboi-Blondel (1988) fann att det fjärde och femte bladet är de som får den största ytan av alla blad och att de blad som fälls kan innehålla runt 2 % kväve. Vad gäller bladstorleken verifierade Morrison et al (1992) detta samt att det tar ca. 20 daggrader för ett blad att utvecklas under plantsträckningen. De fann även att expansionen på bladen sker linjärt relaterat till temperaturen mellan $10\text{-}25^\circ\text{C}$ under plantsträckningen.

Augustinussen (1987) fann att de enda skillnaderna mellan olika gödslingsbehandlingar (0 kg N ha^{-1} och 180 kg N ha^{-1}) vad gäller utvecklingen var, att 0-ledet påbörjade sin blomning två dagar tidigare än 180-ledet. Rossato et al (2001) studerade upptag och translokering av kväve i ett kulturförsök. Det totala kväveupptaget i början av blomningen fördelade sig enligt följande: ca. 36 % i stjälk, 30 % i blad, 16 % i blommorna, 10 % i roten och 2 % i de avfallna bladen.

Ett stort LAI (Leaf Area Index) är av betydelse vid blomningen för att plantan ska kunna producera så mycket assimilat som möjligt, ett LAI på 4 är tillräckligt för att växten ska kunna utnyttja 90 % av instrålningen. Den näring som byggs upp i bladen fyller en viktig funktion vid blomningen och under bildandet av skidor. När plantan börjar blomma minskar mängden instrålningen till bladen. Mendham et al (1981) fann att blommorna reflekterar runt 60 % av det ljus som strålar in. Vilket leder till en reduktion av bladens fotosyntetiserande funktion.

När plantan märker att så sker, translokerar den näringen från bladen till rötterna, stjälken och skidorna innan bladen fälls. Rossato et al (2002) fann att hormonet metyl jasmonat (MeJa) som produceras av blommorna begränsar kväveupptaget via rötterna och inducerar mobiliseringen av näring i växten från främst bladen (minskad fotosyntes aktivitet) till stjälk, rötter och skidor, vilket leder till bladfällningen. Mängden hormon minskar sedan i växten och mobiliseringen av näring till skidorna/fröna kan sedan ske i en större utsträckning. Leleu et al (2000) fann att nitrat reduceras (ett protein som reducerar nitrat till organiska kvävekomponenter alternativt ammonium) aktiviteten skiljer sig mellan en planta med tillgång på kväve och en som saknar kväve. Där plantor med låg kvävetillgång assimilerar nitrat till lösliga proteiner som translokeras i växten, detta gör även de med god tillgång men mängden lösliga proteiner i förhållande till plantans totala kväveinnehåll är lägre. De väljer att inte omvandla all nitrat, då det är en energikrävande process och tillgången på nitrat är så stor (de tar upp mer kväve än de behöver) Tillgången på ljus, kväve och kolhydrater (assimilat) reglerar transkriptionen av proteinet.

Under tiden som bladfällningen sker utvecklas skidorna och de tillsammans med stjälken förser plantan med assimilat. Rapsplantor är som känsligast under detta skeende, då skidorna håller på att utvecklas och bladen börjar fällas. Om de inte kan få tillräckligt med assimilat för produktionen reduceras produktionen av skidor och frön (Menham et al, 1981). Morrison (1992) visade att rapsplantan är allra känsligast för torka under sent knoppstadium fram till tidig fröbildning. Skördeminskningarna blir tydliga om den utsätts för torka under denna period. Mendham et al (1981) fortsätter sitt resonemang med att skidorna och stjälken inte är lika effektiva som bladen då de inte har lika många stomata per ytenhet som bladen, så tillgången av assimilat minskar vid bladfällningen och huvudskottet är det som får mest assimilat och de sist utvecklade sidoskotten får minst. Årsmånen påverkar inte bara assimilat produktionen under denna period utan även pollineringsmöjligheterna för insekterna (bin) och skadegörarangreppen (rapsbaggar). Tayo et al (1975) visade i ett kulturförsök att det inte var många utav de blommor som kom efter 18 dagars blomning som bar frön. Lyckade befruktningar och bildade skidor minskade även från huvudskottet ner till de sist utvecklade sidoskotten. Detta stämmer ganska bra överens med när plantan har störst behov av assimilat till skidstillväxten, så återigen är det en strid om vad som ska prioriteras. Det intressanta med detta är att behovet av kväve överensstämmer bra med assimilat behovet i växten. En ökad näringstillförsel av kväve påverkar inte plantans fotosyntes kapacitet i detta skeende, men väl en ökad produktivitet genom ett större LAI och en förlängd period för fotosyntetisk aktivitet samt att den trivs bättre i varmare klimat (Kappen et al 1998). Jensen et al (1996) fann i ett kulturförsök att fotosyntes kapaciteten ökade med bladens kväveinnehåll samt att *Brassica*-arter har svårare än stråsåd att justera det osmotiska trycket i växten om de utsätts för sträng torka. I försöket fann de även att plantan hanterar torka genom att bland annat ha en känsligare bladrespons och minska dess specifika bladlyta.

Schultz (1972) studerade bland annat hur mycket kväve som fanns i bladen och hur mycket plantorna förlorade under bladfällning. Han redovisade att det mesta av bladfällningen skedde innan och i samband med blomningen, andelen kväve som förlorades via bladfällningen under denna tid var 19 %, omräknat till 22 kg N ha⁻¹. En bit in i blomningen når bladen sitt maximala kväveinnehåll mellan 55-65 kg N ha⁻¹. Under blomningen försvinner ytterligare 7 % och efter blomningen fram till mognaden slutligen 3 %. Schjoerring et al (1995) fann att 50 % av det kväve som fanns i stjälken vid begynnande blomning återfinns i skotten och att 50 % av växtens totala kväveinnehåll fanns i stjälken i mitten av blomningen. 70 % av det kväve som fanns i stjälken och skidorna i mitten av blomningen translokerades senare under säsongen. Stjälken, bladen och skidorna står enligt dem för 1/3 var av det kväve som återfinns

i fröna. Vid slutet av blomningen innehöll skidorna 30-40 % av det som kväve som fanns i skottet. När det gäller förlusterna via bladfällningen fann de en förlust på 20 kg N ha⁻¹ respektive 12 kg N ha⁻¹ om det gödslats med 200 kg N ha⁻¹ respektive 100 kg N ha⁻¹. Över 85 % av bladen hade tappats innan slutet av blomningen och ca. 50 % av det förlorade kvävet kom ifrån den tillförda mineralgödseln.

Almond et al (1984) fann att rotmassan var som störst i slutet av blomningen samt, att om direktsådd och reducerad bearbetning sker på en kompakt jord kan rotens tillväxt begränsas på djupet. Rotmassans storlek påverkas bland annat av årsmånen och möjligheterna för växten att förse rötterna med energi i form av kolhydrater från fotosyntesen. Vissa år fortsätter tillväxten av rötterna efter blomningen andra år upphör den i slutet av blomningen (Schultz, 1972; Barraclough, 1985; Kjellström, 1991; Schjoerring et al, 1995). Om det är torrt efter blomningen hämmas upptaget enligt Peterson et al (1998), medan Kjellström (1991) menar att rotmassan börjar reduceras i slutet av blomningen. Kjellström (1991) visade bland annat att upptill 85 % av rotens torrs substans fanns i de översta 23 cm, men att rotlängden och rotens kontaktyta var jämnt fördelat genom profilen. Liknande resultat visar Barraclough (1989), mellan 66-80 % i de översta 20 cm och att rotsystemet nästan är två gånger så stort som det är hos höstvetete. Barraclough (1989) fann även att rötterna kan ta sig ner till 1,8 m djup. Hur djupt rötterna utvecklas för att förse plantan med vatten och näring, beror på vilka situationer plantorna utsätts för. Är det torrt så minskar upptaget och tillväxten i matjordslagret till fördel för djupare lager, problemet är att mycket av näringen finns just i matjordslagret. Oftast är rötterna grövre i matjordslagret och blir finare och tunnare ju djupare de går. Vid god tillgång på vatten tidigt på säsongen fanns enbart 2-3 % av den totala rotlängden under 1 m, efter torkan i maj så fanns över 11 % under 1 m. Kristensen et al (2004) visade att grödor med djupa rötter såsom höstraps har möjlighet att ta upp mer nitrat på ett större djup än till exempel stråsäd. De fann även att det främst är växtens rotdjup som indikerar hur bra markens kväve tas tillvara snarare än dess ovanjordiska växtdelars kväveinnehåll. Eftersom olika grödor har olika rotdjup är det viktigt att hela plantans rotdjup tas med vid provtagningen för att följa nitratläckageproblematiken under säsongen.

Efter blomning till mognad/skörd

I och med de stora bladavfallen, påbörjandet av translokeringen av näring, minskad fotosyntes kapacitet och minskat näringsupptag kommer plantan främst att fokusera på frömodnaden.

Schultz (1972) visar att plantans torrs substans når sin topp strax efter blomningen och detsamma gäller för kväveinnehållet (230-242 kg N ha⁻¹). Schoerring et al (1995) fann också en topp strax efter blomningen med ett upptag på 170 kg N ha⁻¹. Holmes (1980) sammanfattar flera olika studier på max upptaget vid blomningen och att det kunde variera mellan 105-255 kg N ha⁻¹. Det som påverkar upptaget är tillgången på kväve och produktionen av biomassan. Engström et al (2000a) observerade ett upptag på 170-285 kg N ha⁻¹ i stadium 80 när stallgödsel tillförts på hösten. Sieling et al (1999) fann att stallgödsel som tillförs på våren ger en bättre skörd och ett högre kväveupptag än om det tillförs på hösten.

Skidorna växer till snabbt efter befruktningen och når sin fulla storlek efter 30 dagar, medan frönas snabba tillväxt sker först efter 20 dagar. Vilket innebär att fröna bara nått ca. 35 % av sin slutliga torrs substans när skidorna har nått sin storlek (Hocking et al 1993). De fann även att skidväggarna försåg frön med 25 % kväve. Schjoerring et al (1995) fann att andelen kväve ökade i växtresterna med ökad gödselgiva och att kvävet i gödseln främst används till en ökad koncentration i de vegetativa delarna än till skidorna och fröna, och att den koncentrationsökningen stimulerar till produktion av fler skidor och frön. Mendham et al (1984) visade att

antalet frö per skida ökade med grödans torrsubstans vid blomningen. Oftast ökar tusenkornvikten om antalet frö per skida minskar.

Rossato et al (2001) såg en drastisk hämning i upptaget av kväve i slutet av blomningen och hänvisar detta till en minskad tillgång på assimilata, som växten främst använder för fröproduktion framför rottillväxt och upptag av näring. Kväveupptaget varierar dock mellan olika säsonger vilket tydliggörs av Schultz (1972) där det ena säsongen sker en tillväxt efter blomningen medan torrsubstansen under andra året minskar efter blomningen. Rossato et al (2001) visade att den translokering av kväve som sker efter blomningen inom plantorna till skidorna och fröna fördelade sig enligt följande: 40 % från bladen, 30 % från stjälken och 10 % från rötterna samt att det försvann 16 % N av det totala upptaget under säsongen med de avfallna bladen och 9 % med blombladen.

I södra Sverige är det vanligt att rapsen strängläggs för att minska drösnings och klorofyllinnehållet vid tröskningen, medan direkttröskning vanligen sker i Mellansverige. Strängläggningen sker vanligen när beståndet är gulskimrande och 1/3 av fröna är brunsvarta. Vid strängläggningen fann Augustinussen (1987) att rotmassan innehöll 6 respektive 7 kg N ha⁻¹ vid en gödsling på 120 resp 180 kg N ha⁻¹. Skidorna innehöll 16 respektive 18 kg N ha⁻¹, skidornas innehåll varierade dock mellan 18-29 kg under tre olika växtsäsonger som gödslats med 180 kg N ha⁻¹. Andelen kväve i växtresterna ökade med stigande kvävegiva och mängden icke assimilerad nitrat i växtresterna ökade med ökad kvävetillförsel. Fröna innehöll en kväveandel på 77 % respektive 73 % av den totala ovanjordiska biomassan, vilket kan jämföras med havre och ärt som vanligen har runt 80 %. Det som skiljer hans resultat ifrån tidigare är att kväveupptaget inte når maximalt upptag förrän rapsen strängläggs 175 kg (120) och 185 kg (180), han såg tendens till att upptaget reducerades strax efter blomningen men kom igång igen.

Det kväve som återfanns i fröna vid skörden/strängläggningen minskade med ökad kvävetillförsel (Augustinussen, 1987). I ett av leden gödslades samtliga rutor med 60 kg N på hösten men med varierande kvävegiva på våren (0, 60, 120, 180 respektive 240 kg N). Fröutbytet, d.v.s. andelen frö av den totala biomassan vid skörd, blev följande: 18,6 %, 28,0 %, 35,1 %, 39,5 %, respektive 38,1 %. Kväveupptaget varierade även efter mängden tillförd kväve och årsmånsvariationen. Holmes (1978) fann ett samband mellan skördenivån och mängdkväve som återfanns i fröna.

Kvävet i marken vid odling av höstraps – från sådd till skörd

Grödors kväveupptag leder till en minskning av mineralkvävet i rotzonen under växtperioden och når sitt minimum när grödans kväveupptag håller på att upphöra (Lindén, 1981). När detta inträffar beror på gröda, lokalisering och årsmån (Sieling et al, 1999). Engström et al (2000a) och Schultz (1972) menar att det sker runt DC 80 (begränsande frödemognad) hos höstraps och Hessel et al (1998) att det sker runt DC 87-91 (slutet av degmognad - början av skördemognad, allmänt tal vid gulmognad) hos stråsådd. Medan Augustinussen (1987) menar att höstrapsen kan fortsätta ta upp kväve efter DC 80 om årsmånen tillåter det. Det man har sett är att grödan i vilket fall som helst inte klarar av att tömma markens förråd helt.

Efter sådd fram till sen höst, tidpunkten då tillväxten avstannar inför vintern, sker det först en ökning av markens mineralkväveförråd vilket beror på bearbetningen, mineraliseringen och gödseln som tillförs vid sådd (Hessel et al, 1998). När plantorna sedan kommer igång att växa sker det en minskning av markens kväveförråd genom upptag av grödan, immobilisering,

denitrifikation, mineralisering av det organiska materialet samt utlakning (Sieling et al, 1999). Kväveinnehållet har visat sig variera mellan 13-62 kg N ha⁻¹ på sen hösten vid odling av höstraps, vilket kan jämföras med obevuxen mark respektive stråsäd som haft mellan 25-85 kg N ha⁻¹ respektive 25-50 kg N ha⁻¹ (Engström et al, 2000). Sieling et al (1999) fann skillnader mellan olika jordbearbetningssystem, där system med reducerad jordbearbetning bildade mer mineralkväve fram till sen hösten än vad ett konventionellt system gjorde men att de hade jämförbara mängder tidigt på våren. Årsmånen går inte nog att poängtera när det kommer till vilka faktorer det är som påverkar förlusterna. Vid en varm och nederbördsrik höst mineraliseras det mer kväve än vid en torr och kall höst och risken för läckage ökar.

Under vinterhalvåret är avrinningen som störst och avdunstningen som lägst, vilket leder till att utlakningen av nitratkväve är som störst under denna period (Lindén, 1981). Hessel et al (1998) fann att utlakningen var större vid odling av höstraps än höstvetete under vinterhalvåret medan Sieling et al (1999) inte såg att höstraps ökade risken för kväveutlakning i jämförelse med höstvetete. Från sen höst till tidig vår sker det oftast ett mineraliseringstillskott i marken som till största del ägt rum efter vintern vilket därmed inte leder till någon ökad utlakningsrisk (Engström et al, 2000). Hålls marken bevuxen med en gröda under vintern ligger mineralkvävenivån relativt konstant. Men normala höstgrödor leder till ett större nitratkväve läckage under hösten och vintern än om marken lämnas obearbetad efter skörd fram till våren (Hessel et al, 1998).

Dejoux et al (2000) observerade ingen ökning av markens kväveinnehåll vid blomningen eller skörden vid en studie om bladavfall under vintern, men väl en förlust på cirka 40 % kvantifierat genom ¹⁵N-metoden. Denna förlust ansåg de enbart skett via gasform, eftersom bladen låg direkt på marken och att klimatförhållandena var som de var.

Vad som händer i marken under våren och fram till dess att grödan upphör med sitt upptag har inte följts i lika stor utsträckning som mineralkvävet förändring under vinterhalvåret. När temperaturen i marken stiger på våren ökar mineraliseringen och mineralkvävehalterna tilltar. Med vårgödslingen når halterna i marken oftast sin topp under våren (Mattson et al, 1980). Det mineralkväve som finns kvar i marken när växterna upphör med sitt upptag anses vara outnyttjbara rester. Höstrapsen har visat sig ha något högre rester kvar i marken än höstbearbetad jord efter vårstråsäd. Höstrapsens skörderester har oftast en lägre C/N-kvot än stråsäd. Höstrapsen når denna tidpunkt tidigare på säsongen än stråsäd. Konsekvensen blir att mineraliseringen kan komma igång tidigare och risken för förluster av kväve till vattendrag och luften ökar (Engström et al, 2000). Hessel et al (1998) fann att läckaget av kväve under efterföljande vinter var större än efter stråsäd.

Höstraps som förfrukt

Höstrapsen är en bra förfrukt och avbrottsgröda till stråsäd, även om risken för mineralkväveförluster ökar efter odling av höstraps, vilket kan åtgärdas med insådd av fånggröda eller en tidig etablering av efterföljande gröda. Egenskaper som brukas nämns till höstrapsens fördel är att den har en marksanerande egenskap, en pålrot som luckrar upp jorden och förbättrar markstrukturen samt stora mängder mineralkväve kvarlämnas i mängder mineralkväve. Möjligheten att tillämpa reducerad bearbetning innan sådd av efterföljande gröda nämns också ofta som en fördel.

När rapsens glukosinolater bryts ner bildas en biocid som hämmar tillväxten av jordbundna svampar och insekter. Genom förädling har koncentrationen glukosinolater minskat i fröna

medan en relativt hög koncentration fortfarande finns kvar i rötter, stjälkar och blad. Koncentrationen minskar vanligen med plantans utveckling och höstraps innehåller mindre än våraps. Tester med växtrester från raps har visat att rotdödare (*Gaeumannomyces graminisi*) är känsligaste och i fallande känslighet skarp ögonfläck (*Rhizocotonia solani*), Fusarios (*F. graminearum*), Pythium irregulare och Bipolaris (*B. sorokiniana*) (Wallenhammar, 1998). Sjöberg (2001) visade att rotdödarens förekomst reducerades i höstvetete med raps som förfrukt.

Genom höstrapsens tidiga mognad och bladfällning hinner det ske en stor frigörelse av mineralkväve under sensommaren och hösten, vilket leder till att det kvarlämnas stora mängder i marken efter skörd. Risken för kväveutlakning under hösten och vintern efter höstraps är därför stor (Engström, 2001). Rapshalmen är dock kvävefattig vid skörd och ger därför inte någon nettofrigörelse av kväve under nedbrytningen på hösten. Däremot frigörs det mer kväve i marken efterkommande vår, vilket resulterar i mer tillgängligt kväve för grödan att ta upp (Engström et al, 2005).

Kombinationen av höstrapsens sanerande egenskaper, förbättrande av markstrukturen och kvarlämnandet av de höga mineralkvävemängderna har visat sig kunna höja avkastningen på efterkommande höstvetete med 20 % och reducera kvävegödslingen med 30-40 kg N ha⁻¹ (Engström, 2001).

Summering av litteraturstudien

Markbearbetning innan sådd leder till att matjorden syresätts samt att växtrester brukas in i jorden. Konsekvensen av detta blir att markens mikrobaktivitet stimuleras och nedbrytningen av växtresterna påbörjas. Hur snabbt växtnäringen, däribland kväve, blir tillgänglig för växterna genom mineraliseringen beror på växtresternas C/N-kvot och årsmånen, det talas om en ”nitrate depression period”. För att det ska finnas tillräckligt med kväve tillgängligt för höstrapsen sker det vanligen en mineralgödsling vid sådd. För att få en jämn och bra etablering på höstrapsbeståndet är det viktigt med en bra bearbetning.

Under hösten växer plantorna till sig och reducerar markens mineralkvävemängder. Under vintern utsätts plantorna för kyla som ger skador på vävnader och celler och under stränga vintrar kan hela bestånd utvintra. Vanligt är att plantorna tappar större delen av bladen. Dessa biomassa-förluster leder till förluster av kväve till marken och under vintern sker de största kväveutlakningsförlusterna från marken eftersom det inte finns någon tillväxt och därmed inget upptag från plantorna. Blad som hamnar på marken kan även leda till gas förluster av kväve via denitrifikation och ammoniakavgång. Mineraliseringen har visat sig kunna pågå vid en temperatur ner till 0°C.

På våren kommer vanligen mineraliseringen igång tidigare än växternas tillväxt. Höstrapsen har tidigare och kraftigare tillväxtfas än stråsäd och är därför i stort behov av kväve tidigt på våren. Tillförseln brukar ske i två omgångar med 2 veckors intervall där beståndets övervintring och förväntade avkastning är avgörande för när huvudgivan ges och hur stor den blir. Beroende på årsmånen blir tillväxtperioden olika lång. Vid slutet av blomningen innehåller grödan vanligen mest kvävemängder och marken minst mineralkvävemängder. Vissa säsonger är årsmånen sådana att rotsystemet kan fortsätta växa efter blomningen vilket kan öka upptaget av näring och tillväxt av biomassa. Under blomningen börjar höstrapsen att translokera näring ifrån bladen till stjälken, rötterna och skidorna eftersom blommorna begränsar instrålningen till bladen. Bladfällningen reducerar plantornas fotosyntetiska

aktivitet och övertas mer och mer av stjälk och skidor. Tillförsel av växtrester med en låg C/N-kvot leder till ökad mikrobaktivitet och mineralisering vilket medför att mineralkvävemängderna ökar i marken. När rottillväxten avstannar i slutet av blomningen kommer mineralkvävemängderna att öka i marken fram till skörd, om den däremot kan fortsätta efter blomningen så ökar inte mängderna lika mycket fram till skörd. Höstrapsens tidiga mognad och att den efterlämnar större mineralkvävemängder i marken är antagligen bara en väl fungerande överlevnadsstrategi. Denna strategi ställer till problem när det inte odlas höstraps efter varandra och efterkommande gröda inte kan ta tillvara allt det kväve som mineraliseras vid bladfällning och från skörderester under efterkommande höst.

Material och metoder

Försöksplats

Examensarbetet utfördes i ett befintligt försök på Götala försöksgård tillhörande Hushållningssällskapet Skaraborg. Detta försök hade startats hösten 2004 och syftet var där att studera grödornas kväveupptag och mineralkväve i marken vid odling av höstraps och ärter i jämförelse med stråsäd (havre) samt deras inverkan på kvävehushållning, -utlakning och efterverkan. Matjorden (0-20 cm djup) hade på hösten 2004 ett kalium- och fosfortillstånd motsvarande P-AL-klass IV och K-AL-klass III (tabell 2).

Tabell 2. *Kemisk sammansättning i matjorden*

Djup (cm)	pH (H ₂ O)	Mullhalt (%)	mg/100g lufttorr jord				Ts (%)	% av Ts	
			P-AL	K-AL	Mg-AL	K/Mg		Totalkol	Totalkväve
0-20	6,4	2,6	11,7	14,1	6,2	2,27	98,8	1,49	0,141

Månadsmedelvärden av lufttemperatur och uppgifter om ackumulerad månadsnederbörd redovisas för Lanna försöksstation, Lidköping, ca. 2 mil sydväst om Götala (tabell 3). Vid en jämförelse mellan aktuella värden och normalvärden (medeltal för perioden 1961-1990) går det att utläsa att månadsmedel temperaturen var mycket högre under augusti (+2°C), december (+3°C) och januari (+4°C) 2004-2005. Nederbörden var mycket större än normalt under juli (+27 mm) 2004 och något större under augusti, oktober, maj och juni medan den enbart var hälften så stor under november, december och mars samt nästan 20 mm mindre i februari än normalt.

Tabell 3. *Månadsmedelvärden för lufttemperaturen och månadsnederbörd under det agrohydrologiska året 2004/2005 samt normalvärden (1961-1990) för lufttemperaturen och nederbörden på Lanna.*

	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug
Lufttemperatur (°C) 2004/2005	14,3	17,0	12,0	6,8	1,1	2,1	1,0	-2,2	-1,7	6,0	9,7	13,2	17,0	15,4
1961-1990	15,8	14,9	11	7	2,1	-1,3	-3,1	-3,4	-0,2	4,7	10,6	14,7	15,8	14,9
Nederbörd (mm) 2004/2005	178	89	49	78	23	16	29	5	12	29	72	98	90	72
1961-1990	63	62	65	61	57	39	37	24	30	30	41	51	63	62

Försöksplan

Försöket var ett randomiserat blockförsök med tre upprepningar. I varje ruta som var 6 x 30 m fanns tre sugceller för mätning av markvattnets nitratkoncentration på 80 cm djup. Förfrukten i samtliga led var höstvet. För att få en god etablering utfördes konventionell jordbearbetning och såbäddsberedning innefattande två stubbearbetningar följt av plöjning, två harvningar och sådd med Rapidsåmaskin av samtliga grödor. Marken i leden med försökets vårsådda grödor (havre och ärt) stubbearbetades två gånger på hösten. På våren genomfördes sedan plöjning och harvning innan sådd. Plöjningsdjupet var 25 cm och stubbearbetningen utfördes med en Väderstad Cultus och harvningen med en S-pinneharv. Fånggrödor (engelskt rajgräs) såddes in i ledet med höstraps den 4 april 2005 och i ledet med ärt den 6 maj 2005. En sammanställning av de olika grödorna och kvävegödslingsbehandlingarna finns i tabell 4. Höstrapsen gödslades med 50 kg P-20 per ha och 60 kg kaliumsulfat per ha vid sådd.

Kemisk insektsbekämpning mot rapsbaggar i höstrapsen gjordes tre gånger med Decis, 0,3 l ha⁻¹. Ogräsbekämpning gjordes två gånger med MCPA (1 l ha⁻¹ vid respektive tillfälle) i havren (DC 13 och 15) samt en gång med Basagran SG (1,2 l ha⁻¹) i ärterna (st. 32).

Tabell 4. *Sammanställning av de olika behandlingarna *fg = fånggröda*

Sådd			Gödsling, höst 19/8-2004		Första gödsling, vår			Andra gödsling, vår		
Led	Datum	Gröda	Medel	kg N/ha	Datum	Medel	kg N/ha	Datum	Medel	kg N/ha
A	2005-04-13	Havre			13 apr	N 26-6-Mg	100			
B	2005-04-13	Ärt								
C	2005-04-13	Ärt + fg*								
D	2004-08-18	Höstraps + fg*	Axan-S	30	4 apr	N 26-6-Mg	75	18 apr	Axan-S	75
E	2004-08-18	Höstraps	Axan-S	60						
F	2004-08-18	Höstraps	Axan-S	60	4 apr	N 26-6-Mg	75	18 apr	Axan-S	25
G	2004-08-18	Höstraps	Axan-S	60	4 apr	N 26-6-Mg	75	18 apr	Axan-S	75
H	2004-08-18	Höstraps	Axan-S	60	4 apr	N 26-6-Mg	75	18 apr	Axan-S	125
I	2004-08-18	Höstraps	Axan-S	60	4 apr	N 26-6-Mg	75	18 apr	Axan-S	75

Växtprovtagning för bestämning av totalkväve i gröda

Höstrapsens kväveupptag följdes under säsongen genom att grödan klipptes av vid markytan vid ett antal tidpunkter (tabell 5). Provtagningarna av gröda gjordes inom en yta på 0,25 m² på tre slumpmässigt utvalda platser i varje ruta vid respektive provtillfälle och med skydds zoner på minst 0,5 m från rutgränser och tidigare utförda provtagningar. Proverna torkades sedan i torkskåp vid 55°C.

Tabell 5. *Provtagningsstillfälle och respektive provtagningsled för totalkväveanalys*

Provtillfälle	Led	Provtidpunkt
Innan vintern (sen höst)	A-C, D och E-I	2004-11-05
Efter vintern (tidig vår)	D och E-I	2005-03-30
Innan blomning i raps, st. 51-57	E och G	2005-05-12
Avslutad blomning i raps, st. 69	E och G	2005-06-14
Slutet av fröutveckling i raps, st. 78	E och G	2005-07-04
Begynnande fröomognad, raps, st. 80	E och G	2005-07-18
Fullmognad (raps, st. 89)	A-I	2005-08-01-2005-08-10

De torkade växtproverna skickades för totalkväveanalys till Avdelningen för växtnärlära, SLU, Uppsala. Proverna vägdes in och de växtprover som tagits ut fram till blomningen maldes direkt, medan de som togs efter blomningen tröskades. Mängden frö vägdes för att få ett förhållande mellan frö och övriga växtrester innan halm och övriga ovanjordiska växtdelar maldes. Alla malda växt- och kärnprover utom oljeväxtfrön analyserades med en LECO (LECO[®] CNS-2000 Carbon, Nitrogen and Sulfur Analyzer). LECO analyserar en provmängd mellan 0,3 och 0,4 g från respektive prov. Förbränningsprocess medför att allt kol, svavel och kväve omvandlas till CO₂, SO₂, N₂ eller NO_x. Dessa gaser passerar sedan genom en IR (infraröd) cell för bestämning av kol- och svavelinnehållet och en TC (termisk konduktivitet) cell för att bestämma kvävgasinnehållet. Frö provtaget efter blomningen analyserades med avseende på oljehalt enligt Troëng och total-N enligt elementaranalys (Dumas) på analyslaboratoriet Cerealia, Svalöv.

Skörd

För bestämning av fröskörd tröskades 22 m² rutvis (se försöksplan) och 1000 g togs ut för bestämning av oljehalt och totalkvävehalt. Havre och ärt analyserades med avseende på kvävehalt med en Nära Infraröd Transmittans (NIT)-apparat (Infratech 1240) och höstrapsfröna analyserades på analyslaboratoriet Cerealia, Svalöv. NIT-tekniken använder sig av en NIR-ljuskälla (Nära Infraröd) med vilken provet belyses och på motstående sida till ljuskällan sker det en detektion av hur mycket ljus som passerat genom provet. Förändringen blir i detta fall ett mått på provets kväveinnehåll.

Skördeindex och kväveskördeindex beräknades för respektive ruta, vilket avser fröskörd i procent av den totala biomassan ovan jord respektive fröskördens kväveinnehåll i procent av den totala biomassans kväveinnehåll ovan jord

Jordprovtagning för mineralkväveanalys

Jordproverna togs ut rutvis på 0-30 cm, 30-60 cm och 60-90 cm djup med markkarteringsborr (i matjord) och Ultunaborr (i alven). I matjordlagret (0-30 cm) gjordes åtta slumpmässiga borrhstick i varje försöksruta och på de övriga djupen sex borrhstick. Dessa slogs sedan ihop till ett samlingsprov för respektive djup och ruta. Proverna förvarades i en kylbox och i skuggan till dess de transporterades till en frys för att djupfrysas (-18°C).

Tabell 6. *Provtagingstillfälle och respektive provtagningsled för mineralkväveanalys*

Provtillfälle	Led	Provtidpunkt
Vid sådd	A-C, D och E-I	2004-08-18
Innan vintern (sen höst)	A-C, D och E-I	2004-11-08
Efter vintern (tidig vår)	A-C, D och E-I	2005-03-30
Avslutad blomning i raps, st. 69	A, B, E och G	2005-06-14
Slutet av frötveckling i raps, st. 78	A, B, E och G	2005-07-04
Begynnande frömodnad, raps, st. 80	A, E och G	2005-07-18
Fullmodnad (raps, st. 89)	A-I	2005-08-01-2005-08-10

De djupfrysta jordproverna analyserades med avseende på mineralkväve (nitrat- och ammoniumkväve). Proverna frystes till en extra låg temperatur (-30°C) för att få jorden så spröd som möjligt före frysmalningen. Detta förfarande underlättar malningen och blandningen av provet. Vid malning på en speciell kvarn sönderfaller jorden sedan i strukturfragment på upp till 10 mm. Provet förvarades fryst fram till tillsättningen av extraktionslösningen, för att undvika bildning av mineralkväve genom mineralisering och nitrifikation.

Vid extraktionen vägdes 100 g jord in och 250 ml 2 M KCl tillsattes (Bremner & Keeney, 1966). Proven skakades under natten på rundskak (15 varv per min). Dagen efter centrifugerades (2800 varv per minut) de uppslammade proverna i 100 ml centrifugrör under 10 minuter, innan lösningen överfördes med glaspipett till provrör (12,5 ml) som passar i analysmaskinen. Analysen skedde kolorimetriskt med en AutoAnalyzer TRAACS 800 med metoderna ST9002-NH₄D och ST9002-NO₃D, där ammonium- och nitratkvävetets mätområden var mellan 0,05 och 2 mg N l⁻¹. I nitratvärdet har även nitritvärdet inkluderats. Resultatet räknades sedan om till kg ha⁻¹.

Kärlförsök – höstrapsens kväveförluster under vintern

En modellstudie i fält gjordes för att studera höstrapsens förluster av blad under vintern och uppskatta eventuella kväveförluster från dessa.

Höstraps såddes i kvävegödslad jord (75 kg N ha^{-1}) i 10 kärl (à 7 liter) 18/8 2004, samtidigt som sådden av höstrapsrutorna i fältförsöket. Kärlen hade fyra hål i botten för avdränering av överskottsvatten efter nederbörd. De stod nedgrävda i beståndet fram till början av november då de grävdes upp för att placeras i hinkar för uppsamling av vatten. Vid starten den 3/11 fanns det 4 plantor i varje kärl med 4-6 blad per planta. I fem av de 10 kärlen skars rapsplantorna av och torkades vid 55°C för att sen analyseras på kväveinnehåll vid starten. De övriga fem kärlen med rapsplantor tätades. Tätningen av kärlen gjordes genom att placera dem i likadana kärl utan hål i botten samt sätta ett ”lock” över jorden bestående av silvertejp. Detta gjordes för att kväve från jorden inte skulle störa studien och endast vatten (regn och smält snö) som passerat och sköljt av rapsens ovanjordiska växtdelar skulle hamna i uppsamlingshinkarna. När de tätats placerades de i uppsamlingshinkar (à 20 liter) som grävts ned i matjorden. En kant på 1 dm stack upp ovanför markytan som skydd mot vatten- och jordstänk utifrån och in i baljorna. I studien användes totalt fem vattenuppsamlingshinkar med rapsplantor i kärl som ett led och fem hinkar utan plantor som ett kontrollled.

Nederbördsvattnet i hinkarna vägdes vid fem tillfällen (29/11, 17/12, 11/1, 25/3 och 11/4) då också vattenprov togs för analys av kväveinnehållet (nitrat-, ammoniumkväve och organiskt kväve). Skillnaden i kväve i det uppsamlade vattnet mellan dessa två led (med och utan gröda) betraktades som de kvävemängder som utlakats ur plantorna under vintern. En temperaturlogger placerades i markytan för att följa temperaturen under vintern.

Bladförluster under vegetationsperioden

För att studera hur mycket kväve som förlorades vid höstrapsens bladfällning under sommaren placerades ett nät om en kvadratmeter under rapsplantorna tidigt på våren i tre rutor i led G. Bladfällningen påbörjades omkring den 7 juni då rapsen var i full blom (stadium 65). De blad som återfanns på det utlagda nätet samlades in vid fem tillfällen: 14/6, 27/6, 4/7, 11/7 och den 18/7. Proverna torkades och analyserades på samma sätt som övriga växtprover, se ovan.

Kväveutlakningen

Avrinningsperioden bestämdes genom att regelbundet följa grundvattennivån i grundvattenrör invid försöket samt täckdikesögon i anslutning till försöksplatsen och även med stöd av avrinningsmätningar i utlakningsförsök vid Fotegården, ca. 2 mil från Götala. Utlakningen studerades med hjälp av sugcellsteknik. Dessa sugceller ligger nedgrävda på 80 cm djup på tre olika positioner i rutorna. Provtagningen skedde varannan vecka under perioder med avrinning. Varje provtagningstillfälle omfattade två dagar:

- Dag 1 lades ett undertryck med hjälp av pump. Ca. -70 kPa eftersträvades men ibland gick det bara att nå ett undertryck på $50\text{-}60 \text{ kPa}$. Detta undertryck bibehölls sedan under ett dygn.
- Dag 2 togs prov ut ur varje sugcell genom att teknisk luft från en flaska med ett maximalt tryck på $1\text{-}1,5 \text{ bar}$ blåstes in i en slang för att trycka ut vattnet ur sugcell via en returnerings slang till en provflaska.

Statistik

Beräkning av signifikanta skillnader

Statistisk bearbetning av resultaten gjordes med hjälp av programmet MINITAB där variansanalys (GLM med Tukeys test) gjordes för att bestämma signifikanta skillnader.

Beräkning av optimal kvävegiva

Här har det antagits att förhållandet mellan fröskörd och kvävegiva bäst efterliknas av kurvan för en tredjegrads ekvation. För att bestämma den ekonomiskt optimala kvävegivan i försöket anpassades avkastningskurvan till skörderesultaten i försöket med hjälp av ett tredjegrads polynom, $y = a + bx + cx^2 + dx^3$. I denna ekvation är y fröskörd (kg ha^{-1}), x är kvävegiva (kg N ha^{-1}) och a , b , c och d är konstanter som räknats fram med hjälp av regressionsanalys. Regressionen har gjorts med programmet Excel. Genom att multiplicera ekvationen med rapsfröpriset fås en ekvation för skördevärdet. Deriveras i sin tur denna ekvation, erhålles ett uttryck som belyser värdeökningen (y_1) vid ökad kvävegödsling: $y_1 = \text{kr per kg rapsfrö} (b + 2cx + 3dx^2)$. Ekonomiskt optimum sammanfaller med den punkt på kurvan för skördevärdet där denna värdeökning (y_1) är lika stor som gödslingskostnaden (kr per kg N) d.v.s. vid ekonomiskt optimum är kostnaden för det sist tillförda kilot kväve lika stor som skördeökningens värde.

Priskvot

Priskvot 5 avser i denna undersökning kvoten av ett kvävepris på 10 kr per kg och ett rapsfröpris på 2 kr per kilo, d.v.s. $10/2 = 5$. Med en priskvot på 5 innebär det att en ökning av kvävegivan med ett kilo kräver en ökning i skörd på 5 kg frö för att betala kostnaden för insatsen i form av kväve. När man på skördekurvan har nått denna punkt har man också nått ekonomiskt optimum

Resultat

Totalkväveinnehåll i gröda

Från sådd till senhöst

Höstrapsen etablerade sig bra under hösten och tydliga skillnader i tillväxten syntes mellan de led som gödslats med 30 och 60 kg N ha⁻¹. De led som fått mest kväve hade större mängd biomassa och kväveinnehållet på senhösten var 27 kg ha⁻¹ större enligt provtagningen den 5/11 (tabell 7). Skillnaderna i kväveinnehållet var signifikanta (p < 0,05). Den höga kvävehalten i växtmaterialet på senhösten tyder på en låg C/N-kvot, om C-halten antas vara 42 %. Växtdelar som dött under vintern skulle därmed medföra nettomineralisering av kväve vid nedbrytning av växtmaterialet.

Tabell 7. *Mängd biomassa och kväveinnehåll i höstrapsens ovanjordiska växtdelar (led D-I) samt i ogräs och grodd spillsäd (led A-C) den 5/11 2004 och 30/3 2005. Led A-C stubbearbetades 12/8 2004 och var sparsamt bevuxna med ogräs och grodd spillsäd. Vid provtagningen på våren var denna vegetation nedvissnad. Övriga led (D-I) var bevuxna med höstraps och hade gödslats med två olika kvävegivor vid sådd*

Led	Senhöst			Tidig vår		
	Total biomassa kg ts/ha	Totalkväve i gröda kg N/ha	% N av ts %	Total biomassa kg ts/ha	Totalkväve i gröda kg N/ha	% N av ts %
A-C = Obevuxen mark	192	8	3,96	-	-	-
D = H-raps, 30 kg N/ha	1517	47	3,10	509	22	4,32
E-I = H-raps, 60 kg N/ha	2072	74	3,58	1117	51	4,55

Från senhöst till tidig vår

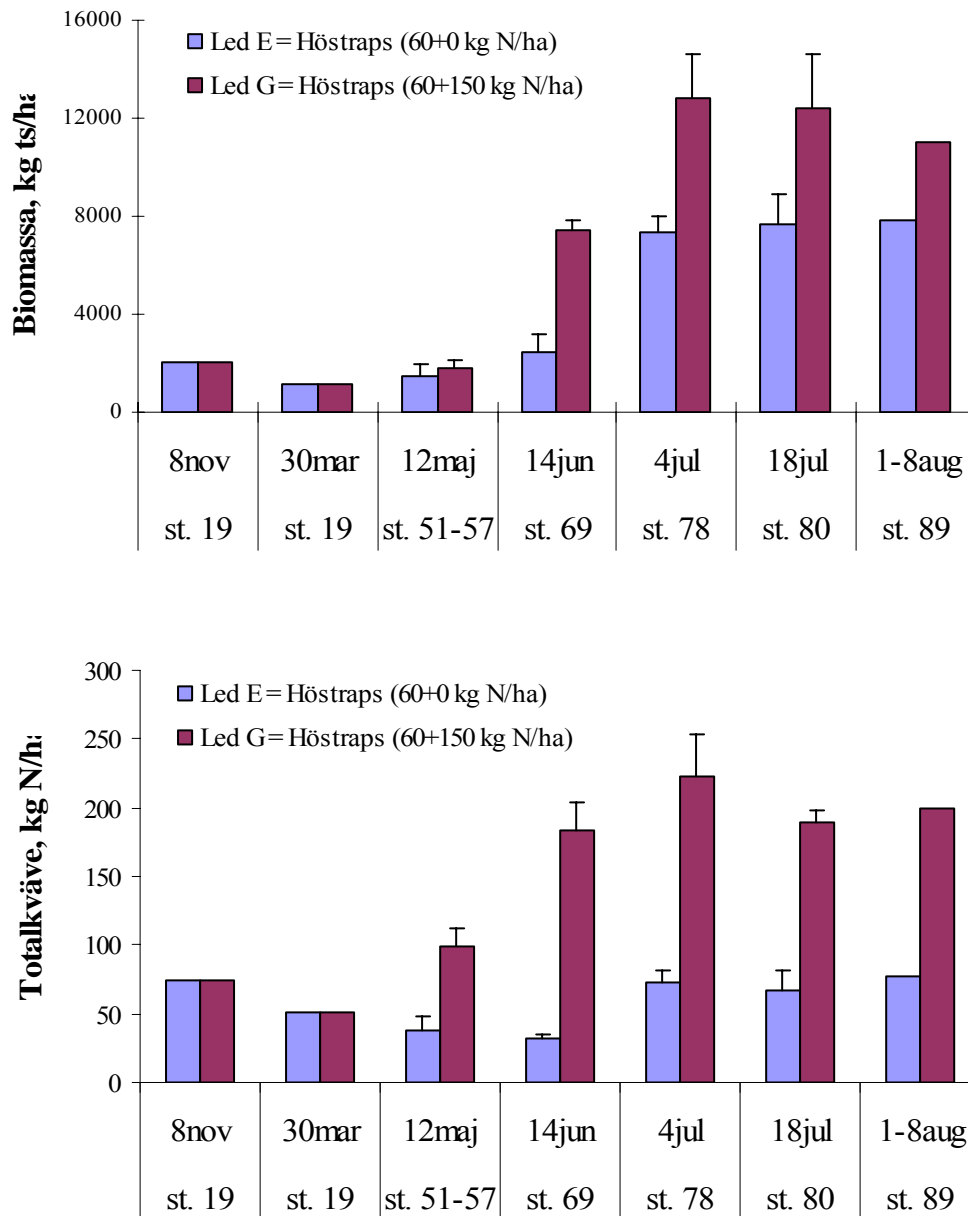
Under vintern fram till provtagningen den 29/3 2005 minskade både grödans biomassa och dess kväveinnehåll (tabell 7). Förlusterna var ca. 25 kg N ha⁻¹ för både höstraps som gödslats med 30 och 60 kg N ha⁻¹. Höstrapsen övervintrade lika bra oavsett gödselgivans storlek vid sådd.

Från tidig vår till skörd

Rapsgrödan tillväxte långsamt i mars och april eftersom det var torrt i marken. I led G med tillförsel av 150 kg N ha⁻¹ hade grödan fått en kvävegiva den 4/4 och viss effekt syntes redan av den när nästa kvävegiva spreds den 18/4. Den sista kvävegivan var troligen inte tillgänglig för grödan förrän den 2 maj p.g.a. en torrperiod. I led G uppkom sedan den största ökningen av biomassa och kväveinnehåll mellan knoppstadium (st. 50-59) och fram till avslutad blomning (st. 69) i höstrapsen (figur 1). Vid nästa provtagning efter blomningen (st. 78) blev biomassan och kväveinnehållet i höstrapsen det störst uppmätta värdet i detta led, i medeltal 12 800 kg ts ha⁻¹ (11 105 - 14 745 kg ts ha⁻¹) respektive 223 kg N ha⁻¹ (192 - 253 kg N ha⁻¹). Därefter minskade biomassan med 1 800 kg ts ha⁻¹ och kväveinnehållet med 24 kg N ha⁻¹ fram till skörd den 8/8 2005.

Det på våren icke kvävegödslade ledet (E) skilde sig från led G genom att den största ökningen av biomassa och kväveupptag uppkom något senare, mellan avslutad blomning (st. 69) och fram till slutet på frötvecklingen (st. 78). Biomassan och kväveinnehållet var på en mycket lägre nivå än i det gödslade ledet och uppgick som mest till 7 800 kg ts ha⁻¹ respektive 76 kg N ha⁻¹ vid fullmognad och skörd den 1/8 2005.

Eftersom skördenivån från de klippta leden blev mycket högre än de tröskade (tabell 8), gjordes det en omräkning av den totala biomassan och dess kväveinnehåll vid skörd i led E och G. De redovisade resultaten vid skörd i figur 1 är ett framräknat medelvärde mellan de tröskade och klippta leden för respektive led (E och G). De antagande som gjordes var att frö/halm förhållandet var lika med det klippta ledet vid skörd samt att biomassan vid sista provtagningstillfället var lika stort som vid tillfället innan, vilket ger nya värden på frö- och halmskörden i respektive led. Därefter användes det kväveinnehåll som frö och halm innehöll i det klippta ledet för att få fram ett nytt kväveinnehåll.



Figur 1. Höstrapsens biomassa (kg ts ha^{-1}) och totalkväveinnehåll (kg N ha^{-1}) vid olika utvecklingsstadier (enligt BBCH-skalan) från 5/11 2004 till 1/8 (led E) och 8/8 2005 (led G).

Skördar, optimal kvävegiva och kväveutnyttjande

Skördarna i de olika leden redovisas både som försökströskad och klippt gröda eftersom stora skillnader i resultat uppkom med dessa metoder (tabell 8).

I båda fallen ökade mängden rapsfrö med stigande kvävegödsling upptill 150 kg N ha⁻¹ och sjönk sedan vid 200 kg N ha⁻¹. Mängden bortfört kväve ökade, medan oljehalten minskade med stigande kvävegödsling. Kväveutnyttjandet steg kraftigt från 0 kg N till 100 kg N ha⁻¹ tillfört på våren, medan det sedan avtog med ytterligare ökad kvävegödsling.

Skillnaderna mellan skörd av tröskad och klippt gröda har sin grund i att ytorna som tröskades var 22 m² och grödklippningar gjordes inom totalt 0,75 m² (3 x 0,25 m² per ruta). Fröskörden i nästan alla led blev större där grödan klipptes än där den tröskats.

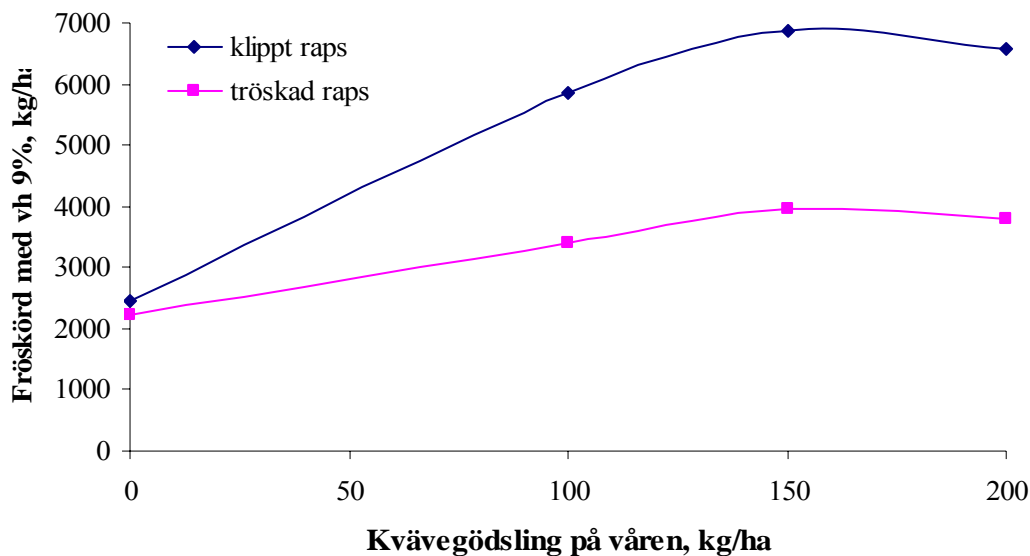
Skörden av ärter och raps blev lika stor med som utan fånggröda (inga signifikanta skillnader fanns). Således medförde fånggrödorna inte till någon sänkt skörd av huvudgrödorna. I leden med höstraps var endast skörden i det ogödslade ledet E signifikant lägre än övriga led.

Tabell 8. Ledvisa medelvärden av fröskörd, kväveinnehåll, oljehalt och kväveutnyttjande. Det sistnämnda avser kväveinnehållet i fröskörden i procent av kvävegivan på våren *fg = fånggröda

Led	Gröda	Gödsling (kg N ha ⁻¹)	Fröskörd (kg ts ha ⁻¹)		Totalkväve i fröskörd (kg N ha ⁻¹)		Oljehalt (% av ts)		Kväveutnyttjande (%)	
			Tröskad	Klippt	Tröskad	Klippt	Tröskad	Klippt	Tröskad	Klippt
A	Havre	100	4810	4790	97	90			97	90
B	Ärt		3680	4570	145	178			-	-
C	Ärt + fg*		4220	4170	162	155			-	-
D	Höstraps + fg*	30+150	3640	6290	124	218	44	44	83	145
E	Höstraps	60+0	2030	2260	55	60	50	52	-	-
F	Höstraps	60+100	3110	5370	96	178	47	46	96	178
G	Höstraps	60+150	3640	6290	129	229	44	43	86	153
H	Höstraps	60+200	3480	6030	133	243	41	40	67	121
I	Höstraps	60+150	3480	5990	123	218	43	43	82	146

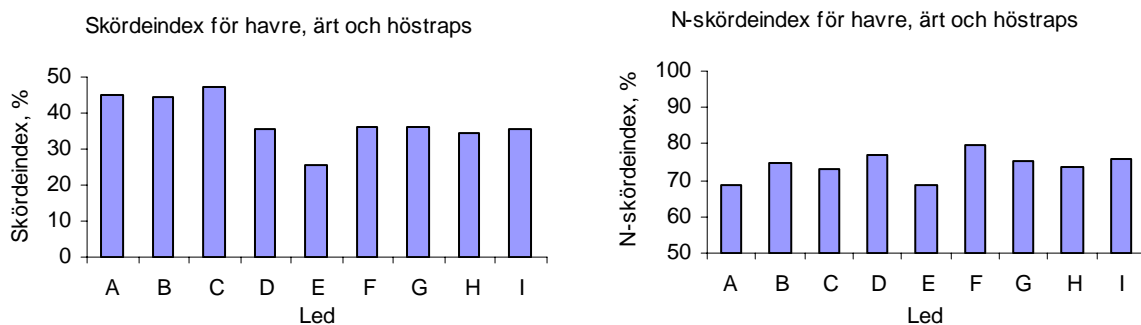
Det bästa gödselkväveutnyttjandet för höstrapsen fastställdes i ledet med gödselgivan 100 kg N ha⁻¹ på våren (led F), vilket gäller både tröskad och klippt gröda. Havren som gödslats med 100 kg N ha⁻¹ hade en lika bra utnyttjandegrad som höstrapsen som fått 100 kg N ha⁻¹ på våren, led F. Det fanns inga skillnader i fröskörd hos höstrapsen med avseende på olika stora kvävegivor vid sådd på hösten.

Den optimala kvävegödslingsnivån på våren för den tröskade höstrapsen beräknades till 150 kg N ha⁻¹, och fröskörden vid optimum uppgick till 3 650 kg ts ha⁻¹ (tröskad raps). Optimum beräknades med en priskvot på 5 (figur 2).



Figur 2. Skörd av höstraps vid mognad, tröskad (1-8/8) och klippt (1-8/8), omräknat i kg ha^{-1} med en vattenhalt på 9 %, vid stigande kvävemängder.

Skördeindex (förklaring: se figur 3) beräknat för de klippta grödproverna var havre och ärt ca. 10 % högre än höstrapsens. N-skördeindex blev däremot, speciellt för havren, lägre än för höstrapsen (figur 3). En jämförelse mellan led A och F med havre respektive höstraps, som båda gödslats med 100 kg N ha^{-1} på våren, visar att med havrens kärnskörd bortfördes 90 kg N ha^{-1} , vilket var 68 % av det ovanjordiska totalkväveinnehållet vid skörd, och med rapsens fröskörd 178 kg N ha^{-1} som motsvarar 79 % av det ovanjordiska totalkväveinnehållet vid skörd. Det fanns inga skillnader hos höstraps i skördeindex eller N-skördeindex mellan olika stora kvävegivor vid sådden på hösten.



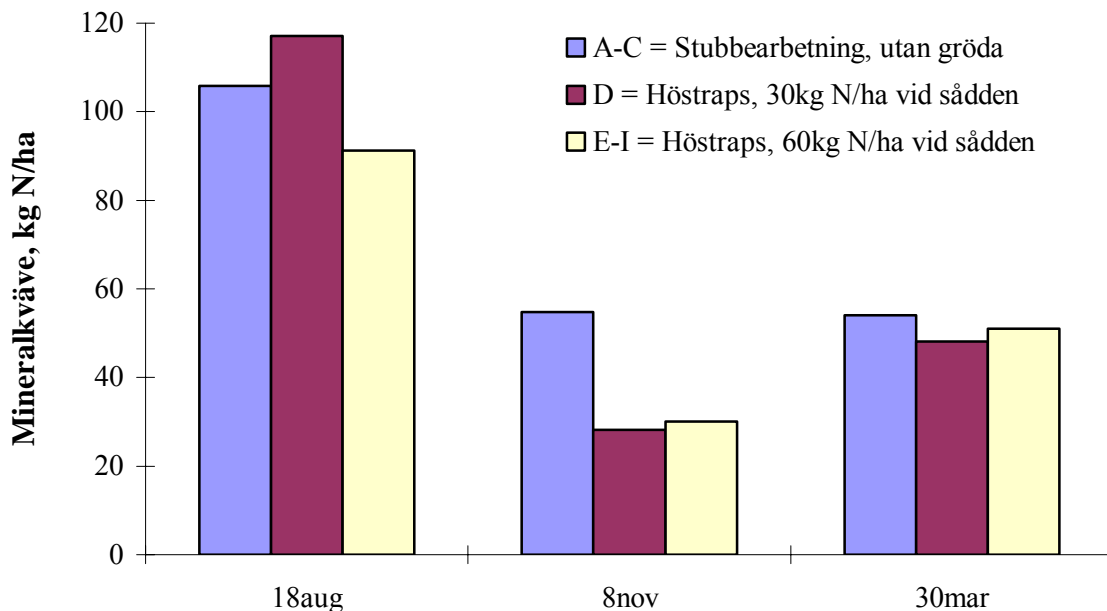
Figur 3. Skördeindex och N-skördeindex för havre (led A), ärt (led B och C) och höstraps (led D-I). Skördeindex avser fröskörd i procent av den totala biomassen ovan jord och N-skördeindex beskriver fröskördens kväveinnehåll i procent av den totala biomassans kväveinnehåll ovan jord. För ledbeskrivning se tabell 4.

Markens mineralkväveinnehåll

Från sådd till senhöst

Vid sådden 18/8 2004 utfördes den första markprovtagningen till 90 cm djup. Resultaten visade mycket stora mängder mineralkväve samt en kraftig variation mellan leden på $91\text{-}117 \text{ kg N ha}^{-1}$. De stora mängderna vid sådd kan förklaras av att gården har djurproduktion och stallgödsel sprids regelbundet i växtföljden. Fram till senhösten den 8 november minskade

mineralkvävemängderna med 50 kg N ha⁻¹ i de led som var obevuxna (A-C) samt med 90 och 60 kg N ha⁻¹ i leden med höstraps, som gödslats med 30 respektive 60 kg N ha⁻¹ vid sådden (figur 4). Nitratkvävemängden i markprofilens översta 60 cm minskade mer under hösten i leden med höstrapsgröda än i de obevuxna leden (se bilaga 1). Ingen statistisk analys gjordes av mineralkväve i marken vid sådd, senhöst och tidig vår, eftersom endast ett samlingsprov från de tre blocken analyserades.



Figur 4. Mineralkväve i marken 0-90 cm (kg N ha⁻¹) från sådd till tidig vår i led med och utan höstraps.

Från senhöst till tidig vår

Under vintern fram till tidig vår, 30 mars, förblev mineralkvävemängderna oförändrade i de obevuxna leden men ökade med ca. 20 kg N ha⁻¹ i leden med höstraps. Tidigt på våren visade det sig också att andelen nitratkväve i markprofilens översta 60 cm ökat för samtliga led (se bilaga 1) vilket tyder på att mineraliseringen i marken startat.

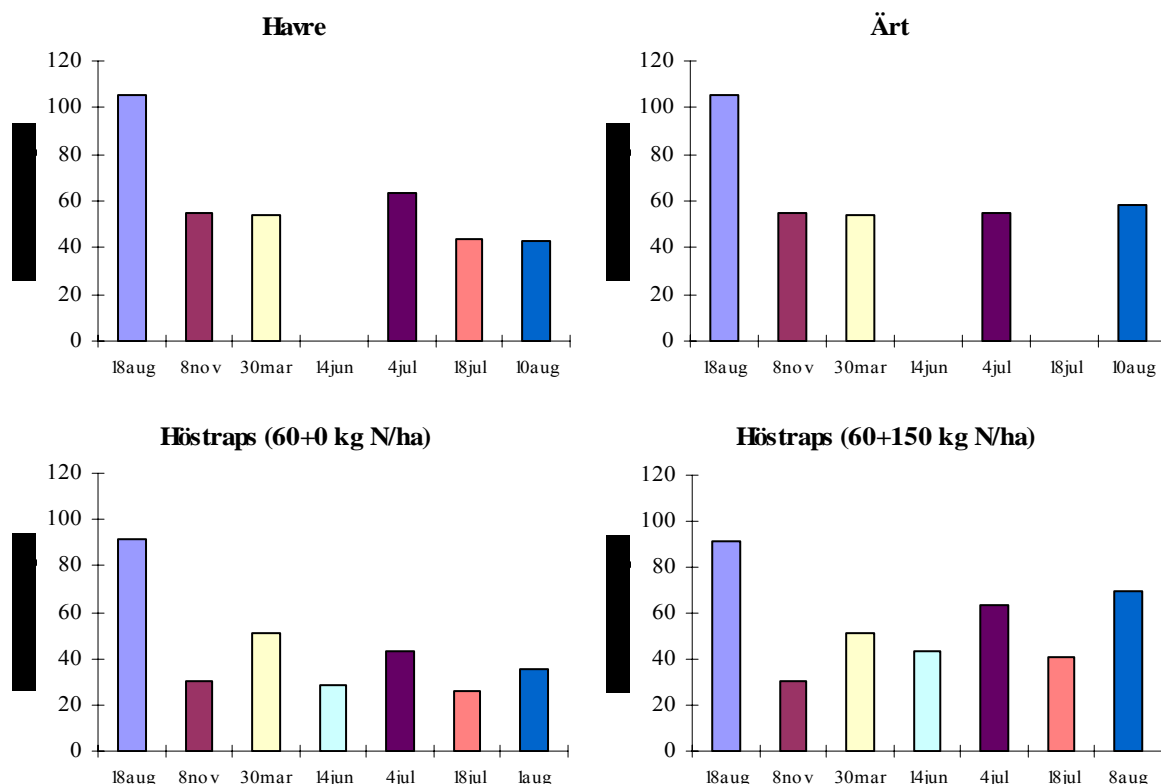
Från tidig vår till skörd

Mineralkväveförrådet i marken i ledet med havre minskade från 57 kg ha⁻¹ tidigt på våren (innan havren ännu såtts) till i medeltal 43 kg N ha⁻¹ (28-55 kg N ha⁻¹) vid fullmognad och skörd hos havren men en kvävetopp erhöles under denna period den 4/7 (ej signifikant större än vid övriga provtillfällen under sommaren). I ledet med ärter ökade däremot mineralkväveförrådet i marken från 54 kg tidigt på våren till ett maximum på 59 kg N ha⁻¹ (52-69 kg N ha⁻¹) vid fullmognad den 10/8 (se figur 5 a-d).

I ledet med höstraps som inte kvävegödslats under våren minskade mineralkväveförrådet i marken från 51 kg N ha⁻¹ tidigt på våren till 35 kg N ha⁻¹ den 1/8 men med en tillfällig ökning till 43 kg N ha⁻¹ den 4/7 (efter blomningen, st. 79). I de övriga höstrapsleden bör mineralkväveförrådet ha varit som störst omedelbart efter vårens gödsling, varefter grödans kväveupptagning minskade mängderna. Minst mineralkväve i led G (60+150 kg N ha⁻¹) fastställdes den 18/7, vilket bör ha varit en tid efter avslutad kväveupptagning. Därefter ökade mineralkväveförråden till 70 kg N ha⁻¹ den 8/8 (signifikant större än 18/7), uppenbarligen genom kväve mineraliseringstillskott. Egendomligt nog erhöles en kvävetopp den 4/7 (ej

signifikant större än vid övriga provtillfällen under sommaren) även i de båda provtagna höstrapsleden, möjligen, beroende på en tillfällig mineraliseringsstöt.

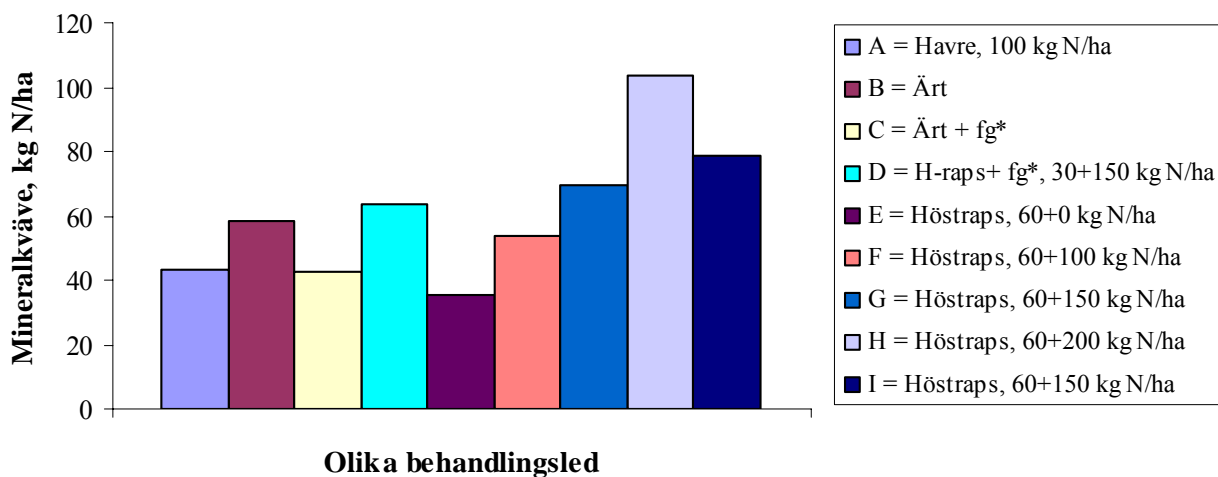
Kväveprofilerna för led E och G i bilaga 2 visar att nitrathalterna ökade i skiktet 60-90 cm strax efter blomningen 4/7, möjligen p.g.a. ökad mineralisering och rörlighet av nitrat. Mellan 4-18/7 faller det 41 mm regn, varav 40 mm mellan den 15 och 17/7, denna nederbörd kan till viss del förklara varför mineralkvävemängderna sjunker och når minimum för vår/sommar den 18/7. Efter steg mängderna troligen p.g.a. en ökad mineralisering efter det att grödan tappat huvuddelen av sina blad fram till strax innan skörd den 18/7.



Figur 5 a-d. Mineralkväve i marken (0-90 cm) från 18/8 2004 till 1-10/8 2005 i leden med havre, ärt, höstraps (60+0 kg N ha⁻¹) och höstraps (60+150 kg N ha⁻¹).

Mineralkväveförrådet i marken vid fullmognad och skörd var minst i led E med höstraps utan kvävegödsling på våren (35 kg ha⁻¹), men signifikanta skillnader fanns med led G, H och I, se figur 6. Därefter var det havren och ärter med fånggröda som hade 7-8 kg ha⁻¹ mer mineralkväve i marken i jämförelse med led E. Ca. 20 kg ha⁻¹ mer än led E återfanns i leden med ärter utan fånggröda och höstraps gödslad med 100 kg N ha⁻¹. I leden med höstraps som fått 150 kg N ha⁻¹ fanns 30-40 kg ha⁻¹ mer mineralkväve i marken än led E och 68 kg ha⁻¹ mer fanns vid fullmognad och skörd i höstraps som fått 200 kg N ha⁻¹, led H (signifikant större än A, B, C, D, E, F och G). Mängden mineralkväve i marken vid denna tidpunkt ökade med stigande kvävegivor till höstrapsen vilket innebar att det i medeltal fanns 71 kg ha⁻¹ mineralkväve vid skörd i leden som gödslats optimalt med 150 kg N ha⁻¹ (led D, G och I). Med en överoptimal kvävegiva om 50 kg N ha⁻¹ till höstrapsen (som i led H) återfanns det 34 kg N ha⁻¹ mer mineralkväve vid denna tidpunkt i jämförelse med vad som fanns i marken vid optimal gödsling.

I led D där en fånggröda bestående av engelskt rajgräs såtts in i höstrapsen på våren var mineralkvävemängderna vid skörd (8/8) 6 och 15 kg ha⁻¹ mindre än i led G och I (båda utan fånggröda) men inga signifikanta skillnader fanns. I led C där fånggröda hade såtts in i ärter återfanns 16 kg ha⁻¹ mindre mineralkväve än led B utan fånggröda, men skillnaderna var inte signifikanta.



Figur 6. Mineralkväve i marken (0-90 cm, kg N ha⁻¹) den 1-10/8 (skördedatum för höstraps led E den 1/8 och led D + F-I den 8/8 och för havre och ärt den 10/8). *fg = fånggröda

Kärlförsök – höstrapsens kväveförluster under vintern

I kärlförsöket minskade antalet plantor under vintern från 4 till 3,4 i medeltal per kärl, vilket innebär en minskning på 15 %, se tabell 9. Kväveinnehållet minskade med i medeltal 0,02 g per planta från starten på senhösten (3/11) till avslutningen tidigt på våren (11/4). Med samma förluster av plantor och kväveinnehåll i ett bestånd med 60 plantor på hösten innebär det att det återstår 51 plantor under tidig vår, med en minskning av grödans totalkväveinnehåll med 18 kg N ha⁻¹ i beståndet.

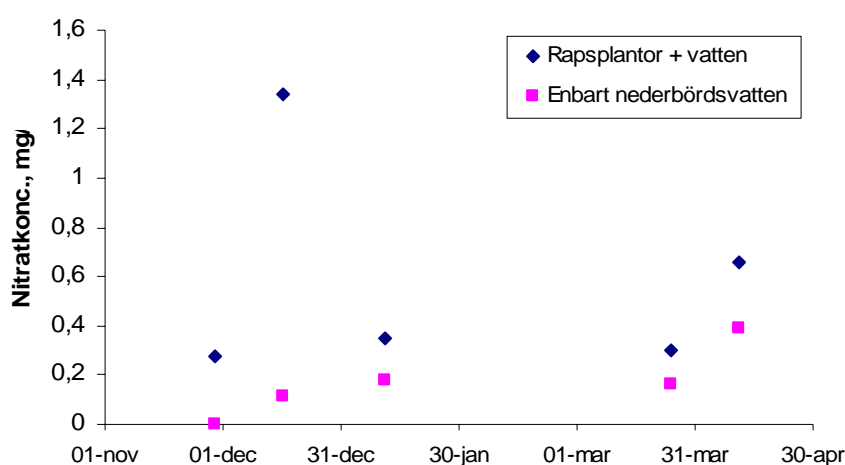
Tabell 9. Sammanställning av antal plantor och dess totala biomassa, kväveinnehåll och totalkväveinnehåll per kärl på senhösten och vid tidig vår.

Senhöst (3/11-04)				Tidig vår (11/4-05)			
Antal plantor	Grödvikt	% N av ts	Totalkväve	Antal plantor	Grödvikt	% N av ts	Totalkväve
st/kärl	g ts/kärl	%	g N/kärl	st/kärl	g ts/kärl	%	g N/kärl
4	11,5	3,3	0,38	4	6,9	4,0	0,28
4	11,7	3,4	0,39	3	6,8	4,6	0,31
4	11,9	3,4	0,40	3	7,1	4,0	0,29
4	12,0	3,3	0,40	3	5,2	4,1	0,21
4	12,9	3,5	0,45	4	7,8	4,0	0,31
Medelvärde	12,0	3,4	0,40	3,4	6,7	4,2	0,28

Figur 7 visar nitratkoncentrationerna i uppsamlingshinkarna med och utan rapsplantor i kärl vid fem olika provtagningstillfällen (29/11, 16/12, 11/1, 25/3 och 11/4). Resultatet visar att vid varje provtagningstillfälle under vintern fanns det mer nitrat i det vatten som hade passerat rapsplantorna än i det rena nederbördsvatten som samlades upp i de tomma uppsamlingshinkarna utan kontakt med några rapsplantor. Därtill kommer ammonium och

organiskt kväve som också fanns i vattnet men som inte tagits med här eftersom vattenproverna var frysta en tid och ammonium anses försvinna med tiden under sådana förhållanden.

Högsta koncentrationen nitrat i vattnet erhöles den 16/12 och då hade rapsplantornas blad p.g.a. kyla nedvissnat ned för första gången. Omkring 4-7 blad var vissna och gula per kärl (med 4 plantor). Vid provtagningstillfället dessförinnan, 29/11, befann sig rapsplantorna under ett snötäcke och var fortfarande gröna. Den totala mermängd nitrat som uppsamlats under period 3/11-11/4 i hinkar med rapsplantor jämfört med hinkar utan plantor uppgick till 6,5 mg nitrat per kärl med 4 plantor, vilket var signifikant mer än i hinkarna utan rapsplantor. Omräknat till ett bestånd på 60 plantor per m² och per ha innebär detta att det fanns 1 kg nitrat per ha mer i det vatten som passerat rapsplantorna. Dessa förluster utgjorde små mängder av de 18 kg N ha⁻¹ som plantorna totalt förlorade under perioden.



Figur 7. Nitratkoncentration vid olika tidpunkter under vintern i det nederbörsvatten som uppsamlats i hinkar med och utan rapsplantor växande i förseglade kärl.

Bladförluster under vegetationsperioden

Studierna av höstrapsens bladfällning under växtsäsongen visar att de största bladförlusterna skedde under blomningen och strax därefter samt att de totala kväveförlusterna genom bladfällning uppgick till omkring 18 kg N ha⁻¹ (tabell 10). Den relativt höga kvävehalten och den låga C/N-kvoten tyder på att kväve lätt kan mineraliseras när mikroorganismer börjar bryta ned bladen.

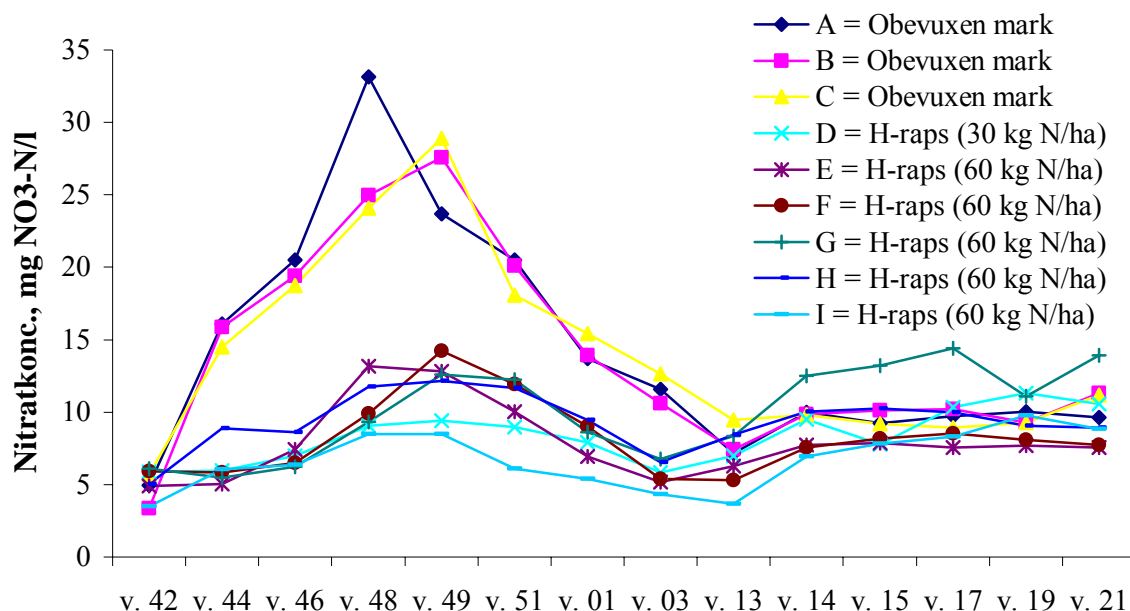
Tabell 10. Bladfällningens biomassa, kväve- och kolinnehåll under och efter blomningen i led G.

	Datum	Total biomassa kg ts/ha	% N av ts	Totalkväve kg N/ha	% C av ts	C/N-kvot
Slutet av blomning	14 jun	213	2,9	6	38,8	14
	23 jun	256	2,5	7	40,5	16
Strax efter blomning	4 jul	94	2,2	2	40,7	19
	11 jul	124	1,9	2	40,8	21
Strax innan skörd	18 jul	31	2,6	1	41,5	16
Totalt		718		18		

Kväveutlakningen

Resultatet från sugcellsmätningarna visade att nitratkoncentrationen i vattnet var högre vecka 44-03 (27/10-18/1) i den mark som endast stubbearbetas och bara var bevuxen med lite spillsäd och ogräs (led A-C) än i den mark som var bevuxen med höstraps under hösten och vintern (led D-I) (figur 8).

Statistiskt signifikanta skillnader mellan försöksleden fastställdes endast vecka 48 (30/11), då markvattnet från led A, B och C hade signifikant högre nitratkoncentrationer än övriga led.

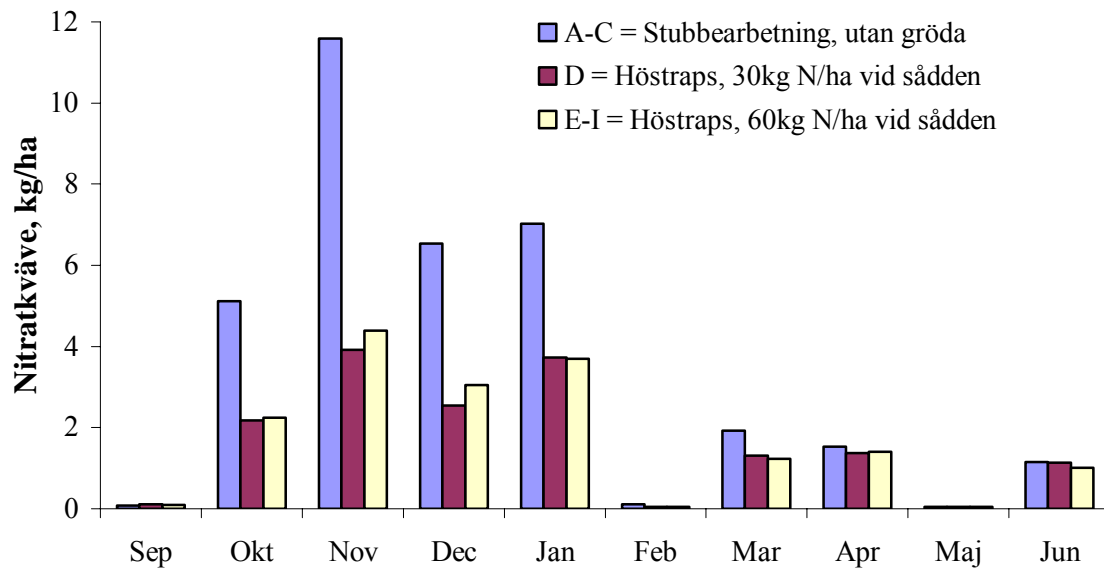


Figur 8. Nitratkoncentrationer i markvattnet på 80 cm djup mätta med sugcellsteknik i fältförsöket vid Götala försöksstation under vinterhalvåret 2004/2005.

Vid en omräkning av nitratkoncentrationer ($\text{mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$) till nitratkvävemängder (kg N ha^{-1}) som lakats ut ur marken under undersökningen användes avrinningsdata från ett utlakningsförsök på Fotegården, ca. 2 mil från Götala. Även på denna plats är det lätt jord. Mängden nitratkväve (kg ha^{-1}) som lakades ut från det att höstrapsen såtts den 15/8 2004 fram till tidigt på våren den 30/3 2005, var hälften så stor där höstraps växt jämfört med obevuxen mark som stubbearbetats tidigt på hösten den 12/8 (tabell 11). Den månadsvisa utlakningen i figur 9 visar att den största utlakningen av nitratkväve under året skedde mellan senhösten (november) fram till tidig vår (mars). En gödslingsgiva på 60 kg N ha^{-1} som led E-I gödslats med vid sådd tycks inte medföra till en större nitratkväveutlakning än vad en gödsling med 30 kg N ha^{-1} gjorde.

Tabell 11. Sammanställning av mängden kväve (kg ha^{-1}) som lakas ut när det tagits hänsyn till avrinningen från Fotegården. Sådden räknades ifrån 8/8 2004, senhöst den 10/11 2004 och tidig vår den 30/3 2005.

Led	sådd - senhöst	senhöst - tidig vår
A-C	4,9	26,4
D	2,9	12
E-I	2,8	12,7



Figur 9. Månadsvis nitratutlakning ($\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$) från september 2004 till juni 2005, beräknat på basis av avrinningsdata från ett utlakningsförsök vid Fotegården, Lidköping.

Diskussion

Kväve i gröda och mark under hösten och vintern efter sådd av höstraps

Rapsplantorna hade etablerat sig väl på senhösten och resultaten tydde på att den högre kvävegivan på hösten (60 kg N ha^{-1}) gynnade biomassaproduktionen och totala kväveupptaget under hösten mer än den lägre kvävegivan (30 kg N ha^{-1}). Kväveinnehållet i höstrapsen var på senhösten i detta försök $47\text{-}74 \text{ kg N ha}^{-1}$ vilket kan jämföras med tidigare studier där det legat inom intervallet $20\text{-}110 \text{ kg N ha}^{-1}$ (Augustinussen, 1994; Engström et al, 2000; Hessel et al, 1998; Knudsén et al 2000; Lindén et al, 1988).

Under vintern förlorar höstrapsen naturligt biomassa och kväve p.g.a. köldskador, vilket leder till att växtdelar vissnar och vissa plantor dör helt. Kylan leder även till en translokering av växtnäring från blad till stjälk och rotsystem. Schultz (1972) fann att rotsystemets kväveinnehåll ökade inför vintern med omkring 2 kg N ha^{-1} .

I försöket var kväveförlusterna i form av biomassa (i de ovanjordiska växtdelarna) lika stora i leden med de olika höstgödslingarna under vintern och fram till tidig vår. Andra studier (Augustinussen, 1987; Schultz, 1972 och Holmes, 1980) har visat att höstrapsen förlorar biomassa över vintern motsvarande $15\text{-}28 \text{ kg N/ha}$ vilket stämmer väl med resultaten i denna undersökningen. Dejoux et al. (2000) visade att ca. 40 % av det som förloras under vintern återabsorberas av grödan, 20 % immobiliseras och resten avgår som N_2O alternativt läcker ut som NO_3 vid mycket nederbörd. Detta skulle innebära att förlusterna till vatten och/eller luften från det som höstrapsen tagit upp under hösten ligger runt 10 kg N/ha och lika mycket kommer att tas upp igen under våren.

I kärlförsöket påvisades lika stora kväveförluster över vintern i form av plant- och bladförluster som i fältförsöket. Resultaten indikerar att den nedvissnade bladmassan över vintern bidrog till att koncentrationen nitrat var högre under hela vintern i nederbördsvattnet från hinkarna med rapsplantor jämfört med utan. Denna hösten/vintern sammanföll också den högsta koncentrationen nitrat i vattnet (16/12) med att plantornas blad just hade vissnat och gulnat efter en kallare period med snötäcke. Eftersom den totalt uppmätta mängden nitrat under vinterperioden endast uppgick till 1 kg ha^{-1} mer i hinkar med rapsplantor jämfört med utan kan det anses vara ett litet bidrag till eventuell utlakning som de nedvissnade rapsbladen bidrar med.

Vid sådden av höstrapsen 2004 gjordes också provtagningen av mineralkväve i marken vilket var sex dagar efter att all jordbearbetning gjorts. Denna jordbearbetning tillsammans med att det fanns stallgödsel i växtföljden (senast 2003) orsakade troligen de höga mineralkvävemängderna i marken vid sådd. Fram till senhösten minskade sedan leden med höstraps (oavsett gödslingsmängd) markens mineralkväveförråd med drygt 25 kg N ha^{-1} mer än vad som gjordes i de obevuxna leden (A-C). Detta kan förklara varför man också fick en lägre nitratutlakning i höstrapsleden med mellan $2\text{-}3,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ under hösten (8/8-10/11, 2004) jämfört med de obevuxna leden. Vos et al (1998) fann ett linjärt samband mellan den ovanjordiska biomassan och rotsystemet fram till senhösten. Detta skulle innebära att rotsystemen i försöket skulle vara större i de led som fått mer kväve på hösten då de har en större biomassa. Därmed borde också möjligheterna att ta upp mer kväve och vatten vara större i leden med en högre kvävegiva på hösten men i detta försök fanns ingen skillnad i markens mineralkväve på senhösten mellan de höstgödslade leden.

Under vintern och fram till tidig vår ökade mängden mineralkväve i marken i höstrapsleden med 20 kg ha^{-1} till ungefär samma nivå som i de obevuxna leden. Detta tyder på en större mineralisering i leden med höstraps vilken skulle kunna bero på att en mineralisering av det organiska kvävet från de nedvissnade rapsbladen kommit igång tidigt på våren. Enligt Dejoux (2000) sammanfaller mineraliseringen av vinterns nedvissnade blad väl med att rapsens kväveupptag börjar på våren. Trots denna ökning av mineralkväve i marken på våren i leden med höstraps reducerades den totala nitratutlakningen under vintern med hälften i höstrapsleden, ner till $11-13 \text{ kg N ha}^{-1}$, jämfört med de obevuxna leden. Vid ett antagande att det inte sker någon större utlakning under resten av året ligger höstrapsen detta år nära de målen som SNV har satt upp i växtföljder, dvs. ett maximalt utläckage per år av totalkväve på 15 kg/ha . Därmed dras slutsatsen att bladförlusterna sannolikt inte har bidragit med några större mängder kväve till utlakningen under vintern. Ej heller verkar den större kvävegivan på hösten till höstrapsen ha bidragit till ökad kväveutlakning. Tack vare höstrapsens stora kväveupptagningsförmåga blev kvävemängden i marken låg på senhösten oavsett gödslingsnivå på hösten och trots de stora mängderna som redan fanns i marken vid sådd.

Kväve i gröda och mark från tidig vår till skörd

Förändringen i biomassa och kväveinnehåll i höstrapsen följdes åt under växtsäsongen i både det ogödslade (0 kg N ha^{-1}) och gödslade ledet (150 kg N ha^{-1}) i försöket. Förklaringen till att den ogödslade höstrapsen ser ut att ha sin stora tillväxt något senare än den gödslade kan vara brist på kväve i marken samt att det var mycket torrt hela april. Detta verkar ha bromsat tillväxten speciellt i den ogödslade höstrapsen som i utvecklingsstadium låg något före den gödslade rapsen ända fram till skörd.

Vanligen nås det maximala kväveupptaget i slutet av blomningen (st. 67-69) (Augustinussen, 1987; Holmes, 1980; Schultz, 1972), vilket verkar stämma väl med kväveupptagningskurvan för det gödslade försöket där det största uppmätta kväveinnehållet var efter blomningen. Vanligt är också att det sker en konstant sänkning av kväveinnehållet och biomassan, genom den translokering som sker från stjälk och skidor till frö efter det maximala kväveupptaget och fram till skörd. Anledningen till att kväveinnehållet var mer eller mindre konstant efter blomningen fram till skörd i det ogödslade ledet kan bero på att väderleken gynnat kväveupptaget som fortsatt efter blomningen eller att det är ett försöksfel genom att grödproven ej representerade ett medeltal för försöksrutan. Augustinussen (1987) visade dock att höstrapsen kunde fortsätta att ta upp kväve fram till skörd.

Mineralkväve i marken varierade på samma sätt under växtsäsongen i den gödslade och ogödslade höstrapsen men på olika nivåer. Från tidig vår fram till avslutad blomning då höstrapsen tillväxte kraftigt blev det också en minskning i mineralkväve i marken. Därefter, under frötvecklingen fram till fullmognad, då grödan har passerat sitt maximala kväveupptag och translokeringen av kväve inom växten påbörjats är det normalt att mineralkväve i marken ökar fram till fullmognad vilket också var fallet i dessa försök. Schultz (1972) visade på en mineralisering på ca 20 kg N ha^{-1} från avslutad blomning och fram till fullmognad vilket överens stämmer bra med ledet med den gödslade rapsen. Resultaten avvek något från detta mönster genom att mineralkväve i marken ökade kraftigt fram till slutet av frötvecklingen och därefter minskade kraftigt vid nästa provtillfälle, vilket var begynnande mognad. Troligtvis har kväve utlakats genom ett kraftigt regn denna period, det föll $39,6 \text{ mm}$ mellan 15/7 och 17/7, vilket de stora mängderna nitrat som fanns den 4/7 (slutet av frötvecklingen) i markskiktet 60-90 cm också tyder på. Kvävetoppen som fanns den 4/7 kanske kan förklaras

av att en kraftig mineralisering ägde rum denna tidpunkt p.g.a. gynnsamma förhållanden och stallgödsel i växtföljden.

Därefter, från begynnande frömogningen och fram till fullmognad, ökade mängden kväve i marken framför allt i det gödslade ledet eftersom det kväve som mineraliserades i marken inte längre togs upp av grödan. I den gödslade höstrapsen var mineralkväve vid skörd 19 kg N ha^{-1} större än tidig vår och till detta har troligen bladavfallet bidragit med mineraliserat kväve. Däremot i den ogödslade höstrapsen minskade mineralkvävemängderna i marken med 16 kg N ha^{-1} från tidig vår till skörd vilket kan ha orsakats av flera faktorer t.ex. att höstrapsen tömmer markprofilen bättre på kväve eftersom inget gödselkväve tillförts, mindre mängd bladavfall från ett tunnare bestånd och att kväveupptaget inte såg ut att minska efter blomningen på samma sätt som i det gödslade ledet.

Mineralkväve i marken i ärtgrödan provtogs inte vid lika många tillfällen som höstrapsen men resultaten visar att kvävemängden i marken i början på juli och vid skörd i augusti låg på samma nivå som tidigt på våren. Eftersom ärtgrödan fixerar kväve och inte använder det mineraliserade kvävet i marken i samma utsträckning som höstraps eller havre kan det förklara varför kvävemängden i marken var oförändrad under växtsäsongen.

Mineralkväve i marken i havren minskar från tidig vår till skörd men med en topp den 4/7 då kvävemängderna är som störst. Havrens kväveupptagningskurva planar ut efter blomningen men kan även öka något fram till mognad till skillnad från höstrapsens som vanligtvis är avtagande under denna period. Detta kan förklara varför det blev en minskning med 11 kg N ha^{-1} i mineralkvävemängden från tidig vår fram till skörd av havren och inte en ökning som fallet var för den gödslade höstrapsen. Den stora mängden kväve i marken den 4/7 kan möjligen förklaras med att den naturliga mineraliseringen i jorden nådde en topp då och översteg grödans kvävebehov vid detta tillfälle.

I försöket hade havren, ärterna med fånggröda och det ogödslade höstrapsledet tomt markprofilen på utnyttjbart kväve vid skörd lika bra. Mineralkvävemängderna var $35\text{-}43 \text{ kg N ha}^{-1}$ vilket kan anses som små mängder i förhållande till övriga led och normala på lättare jordar. Mängden mineralkväve i marken vid skörd ökade dock med stigande kvävegivor till höstrapsen vilket innebar att det fanns i medeltal 71 kg N ha^{-1} mineralkväve vid skörd i leden som gödslats optimalt med 150 kg N ha^{-1} . En 50 kg N ha^{-1} överoptimalkvävegiva (200 kg N ha^{-1}) till höstrapsen bidrog till att det fanns 34 kg N ha^{-1} mer mineralkväve vid skörd jämfört med optimal kvävegiva. Stora mängder kväve i marken vid skörd ökar naturligtvis risken för förluster på hösten därefter och är därför viktigt att dels undvika (t.ex. genom att gödsla optimalt) men också att ta hänsyn till vid planering av efterkommande jordbearbetning och gröda så att det utnyttjas på bästa sätt.

Fånggröda i ärter och höstraps påverkade inte skördarna negativt och minskade mineralkväve i marken vid skörd med 16 respektive 11 kg N ha^{-1} i medeltal jämfört med ärter och höstraps utan fånggröda.

Bladförluster under vegetationsperioden

Under blomningen minskar tillgängligheten av assimilat i växten, p.g.a. att blommorna fångar upp 60 % av det instrålade ljuset. Vid en konkurrenssituation som denna prioriterar grödan att förse knoppar, skidor och frö med assimilat och minskar tillväxten. Den hämmade tillväxten leder till att höstrapsen börjar att translokera växtnäring från bladen till stjälk,

skidor och rötter. När plantan inte kan tillgodogöra sig mer näring släpper den bladen. Tribou-Blondel (1988) fann att bladen som plantan tappar innehåller 2 % kväve. Detta bekräftas i försöket då kväveinnehållet låg mellan 1,9-2,8 % i de blad som samlades upp. Höstrapsens totala kväveförluster genom bladfällningen är jämförbara med de mängder som Schjoerring et al (1995) och Schultz (1972) presenterat, d.v.s. mellan 12-22 kg N ha⁻¹. Vanligen tappas de största bladmängderna i samband med blomningen vilket det enligt provtagning i försöket också tyder på. Bladens C/N-kvot låg mellan 13-21, vilket innebär att de lätt skulle kunna mineraliseras och därmed bidra till ökningen av utlakningsbart kväve i marken vid skörd. Detta konstaterades i leden med höstraps. Avgång till luften kan också vara en möjlig förlustväg för detta bladkväve som ligger på marken under sommaren.

Tröskad skörd jämförd med klippt skörd

Fröskörden bestämd genom klippning var mycket över det normala, speciellt för höstrapsen. Orsakerna till varför fröskörden blir så mycket högre när det klipps kan vara att det omedvetet sker en provtagning på lite bättre platser samt att det vid tröskning drösar mer. Däremot är det svårt att tro att tröskningen orsakar en drösningsförlust på 40-45 %. Denna stora skillnad fanns inte i ärt- eller havreskördarna även om skörden blev högre i de klippta rutorna för dessa grödor också.

Höstgödslingens storlek till höstraps

Ekonomiskt sett måste fröskörden öka med ca. 120 kg ha⁻¹ för att det ska bli lönsamt att gödsla med 60 kg N ha⁻¹ istället för 30 kg N ha⁻¹ (Biärsjö, 2004 (c)). Varken i de tröskade eller klippta rutorna blev skörden 120 kg ha⁻¹ större och det var då inte motiverat att gödsla med 60 kg N ha⁻¹ på hösten istället för 30 kg detta år. Med tanke på de stora mängderna mineralkväve vid sådd i detta försök borde inte en större kvävegiva med handelsgödsel på hösten varit befogad.

Slutsatser

- Höstrapsen tar upp mer kväve om den får en högre kvävegiva på hösten. Den högre kvävegivan på hösten bidrog inte till ökad kväveutlakning och gav inga merskördar.
- Höstrapsens blad- och plantförluster under vintern bidrog mycket lite till kväveutlakningen under vintern.
- Trots höstrapsens förluster av biomassa och kväve under vintern minskade den kväveutlakningen till hälften i jämförelse med en obevuxen mark som stubbearbetats på hösten.
- Höstrapsens bladfällning under växtsäsongen bidrog med 18 kg N ha^{-1} till marken. Bladfällningen och höstrapsens tidiga mognad (i förhållande till havren) är troligtvis orsaken till en ökad kväveminalisering och därmed en anhopning av utlakningsbart kväve vid skörd.
- Markens innehåll av mineralkväve ökade vid skörd med stigande kvävegivor till höstrapsen. En kvävegiva som översteg optimum med 50 kg N ha^{-1} orsakade en ökning av mineralkväve vid skörd med 34 kg N ha^{-1} . Kväveutnyttjandet hos höstrapsen var högst med en giva på 100 kg N ha^{-1} .
- Den optimala kvävegivan på våren var detta år och på denna plats 150 kg N ha^{-1} .
- Fånggrödan i höstrapsen och ärterna fyllde sin funktion genom att mängden mineralkväve i marken vid skörd minskade utan att skördarna påverkades negativt.

Summary

For several years, a goal of the Oilseed Rape Society of Sweden has been to increase the area cropped nationally with oilseed crops. The goal for 2005 was to establish 100 000 ha. According to the Swedish Board of Agriculture (Jordbruksverket), 82 500 ha oilseed crops were harvested in Sweden 2005. This was about 3% of the total arable area in Sweden (2 688 000 ha). Winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) was grown on 35 500 ha, spring rape on 38 500 ha and the rest was turnip rape and linseed (*Linum usitatissimum* L.). Winter rape is highly valued in areas dominated by cereal crops such as wheat and barley. The profitability of oilseed crops has been improved in recent years by the introduction of hybrids and by their acceptance by the EU as energy crops on set-aside land (biofuel).

This study was established in autumn 2004, with the aim of determining the nitrogen uptake of winter rape during the winter and the growing season, the effects of different nitrogen applications in the autumn and spring, leaf losses during winter and flowering, effects of a catch crop and how the early maturity of winter rape affects the content of mineral nitrogen in the soil profile, nitrogen efficiency and nitrogen leaching. The field experiment was performed at Götala research station (The Rural Economy and Agricultural Society of Skaraborg) with sampling of crop and soil carried out at time intervals adapted to the growing season of the crops. Spring-sown oats and peas were used as reference crops to the winter rape. All experimental plots were stubble-cultivated in the autumn and mouldboard ploughing and harrowing were carried out some days prior to sowing.

The winter rape was well established in the autumn, but there were differences in nitrogen uptake and biomass production due to the fertilizer rate used (30 and 60 kg N ha⁻¹ respectively). During the winter, the rape crop lost about 1000 kg dry matter and 25 kg N ha⁻¹ from above-ground vegetative parts.

In the soil profile, the mineral nitrogen content decreased from 90-120 kg N ha⁻¹ to 55 (stubble-cultivated soil) and 30 kg N ha⁻¹ (soil with growing winter rape crop) in late autumn. In the early spring, the soil nitrogen content was between 50 and 55 kg N ha⁻¹, due to mineralization and leaching.

During autumn and winter, measurements of nitrate leaching at 80 cm below the soil surface showed that the stubble-cultivated soil leached twice as much as the growing winter rape crop (32 compared to 15 kg NO₃-N ha⁻¹).

The amount of nitrate leached from above-ground parts of the winter rape crop to the soil due to chill damage was measured. The NO₃-N content in the rainwater increased by 1 kg N, leached to the soil, between 3 November 2004 and 11 April 2005.

In spring, oats (100 kg N ha⁻¹) and peas were sown. Different amounts of fertilizer (0, 100, 150 and 200 kg N ha⁻¹) were applied to the winter rape on two different occasions (approx. two weeks between the first, 75 kg N ha⁻¹, and the second application). During the growing season measurements were made in the unfertilized treatment (0 kg N) and the treatment with 150 kg N. Crop growth was delayed because of a dry spring. In Sweden, winter rape usually reaches its peak in nitrogen content at the end of flowering (14 June). However, in our study it took almost 3 weeks longer (4 July) for the rape crop that received 150 kg N in the spring to reach its peak N level (223 kg N ha⁻¹), after which there was decreasing tendency, both in

nitrogen content and biomass production, and the crop contained 199 kg N ha⁻¹ at harvest. The rape that received 0 kg N did not reach its peak (87 kg N ha⁻¹) until harvest.

The mineral nitrogen content of the soil was low after flowering, but there was a tendency for an increase all the way to harvest. The soil N levels at harvest were 70 kg ha⁻¹ (150 kg N), 35 kg ha⁻¹ (0 kg N), 43 kg ha⁻¹ (oats, 100 kg N) and 43-57 kg ha⁻¹ (peas).

In a study during the summer, we examined the nitrogen losses from winter rape during leaf fall around flowering and afterwards. We collected fallen leaves at one week intervals using a 1 m² plastic net placed close to the ground. This study showed that the losses were on average 18 kg N ha⁻¹, with a C/N ratio between 14 and 21.

Comparing different levels of nitrogen fertilizer applied to winter rape in the spring showed that the oil content in the seeds and the C/N ratio decreased with increasing nitrogen application level, whereas the nitrogen content in the seeds and the soil mineral nitrogen content increased with increasing nitrogen fertilization. The optimal nitrogen spring fertilization rate for the winter rape was 150 kg N ha⁻¹ in the experiment. The winter rape left a higher level of mineral nitrogen in the soil at harvest (54-103 kg ha⁻¹) than oats (43 kg ha⁻¹) and peas (43-57 kg ha⁻¹).

A perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) catch crop undersown in winter rape and peas, did not affect the yield, but it reduced the level of mineral nitrogen left in the soil after harvest.

Referenser

- Andersson, B., Bengtsson, A., 1992. Influence of row spacing, tractor hoeing and herbicide treatment on weeds and yield in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). Swedish Journal of Agriculture Research **22**, 19-27.
- Almond, J. A., Dawkins, T. C. K., Done, C. J., Ivins, J. D., 1984. Cultivations for winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). Aspects of Applied Biology **6**, 67-79.
- Aronsson, H., Torstensson, G., 2003 (a). Höstgrödor - fånggrödor - utlakning. Kvävedynamik och kväveutlakning i två växtföljder på moränlätter i Skåne. Resultat från 1993-2003. SLU, Uppsala, Inst. för markvetenskap, avd. för vattenvårdslära, Ekohydrologi **75**
- Aronsson, H., Torstensson, G., Lindén, B., 2003 (b). Långliggande utlakningsförsök på lätt jord i Halland och Västergötland. Effekter av flytgödseltillförsel, insådda fånggrödor och olika jordbearbetningstidpunkter på kvävedynamiken i marken och kväveutlakningen. Resultat från perioden 1998-2002. SLU, Uppsala, Inst. för markvetenskap, avd. för vattenvårdslära, Ekohydrologi **74**
- Augustinussen, E., 1987. Kvælstofgødsningens indflydelse på vækst og udvikling af vinterraps. Tidsskr. Planteavl **91**, 301-311.
- Augustinussen, E. 1994. Kvælstof hos vinterraps i efterårsperioden. Slutrapport under formskningsprogrammet ”Grønne marker”. SP rapport nr. **21**, 2 årgang, pp.4-16.
- Barraclough, P. B., 1989. Root growth, macro-nutrient uptake dynamics and soil fertility requirements of a high-yielding winter oilseed rape crop. Plant and Soil **119**, 59-70.
- Bernardi, A. L., Banks, L. W., 1993. Petiole nitrate nitrogen: is it a good indicator of yield potential in irrigated canola? In: Wratten, N. and Mailer, R. J., (eds) Ninth Australian Research Assembly on Brassicas, Wagga Wagga, New South Wales, p. 51-56.
- Biärsjö, J., 2002. Precision eller bredsådd – Hur skall vi så hybridrapen?. Svensk Frötidning Nr. **4** juni, 21-23.
- Biärsjö, J., 2004 (a). Kväve till mer än höstrapsen. Svensk Frötidning Nr. **7** December, 6-8.
- Biärsjö, J., 2004 (b). Höstraps hybrid, såsteknik, OS 180. Försök gjorda av Svensk Raps AB 2000-2004
- Biärsjö, J., 2004 (c). Kväve till höstraps. Försök gjorda av svensk Raps AB 2002-2004.
- Blomqvist, J., 2005 (a). Tidigheten döljs i försöken. Svensk Frötidning Nr. **5** augusti, 9.
- Blomqvist, J., 2005 (b). Wij väljer tidigt vete. Svensk Frötidning Nr. **5** augusti, 6-7.
- Brady, N. C., Weil, R. R., 1999. The nature and properties of soils 12th edition. ISBN 0-13-852444-0.
- Cumbus, I. P., Nye, P. H., 1981. Root zone temperature effects on growth and nitrate absorption in rape (*Brassica napus* cv. Emerald). Journal of Experimental Botany, Vol. **33**, 1138-1146.
- Dejoux, J-F., Meynard, J-M., Reau, R., 1999. Rapeseed new crop management with very early sowing in order to reduce N-leaching and N-fertilization. In: New Horizons for an Old Crop. Proc. Of the 10th International Rapeseed Congress, GCIRC: CD-RON, Canberra- Australia.
- Dejoux, J-F., Recous, S., Meynard, J-M., Trinsoutrot, I., Leterme, P., 2000. The fate of nitrogen from winter-frozen rapeseed leaves: mineralization, fluxes to the environment and uptake by rapeseed crop in spring. Plant and Soil **218**, 257-272.
- Engström, L., 2001. Odlå oljevåxter och minska kvåvetillförseln i efterkommande gröda. Svensk Frötidning Nr 7 september, 4-6.

- Engström, L., Lindén, B. 2000 (a). Höstraps i Mellansverige, inverkan av såtid och ogräsbekämpning på övervintring, skörd och kvävehushållning. SLU, Skara, Inst. för jordbruksvetenskap, rapport 3.
- Engström, L., Lindén, B., 2000 (b). Hur jordbearbetning och fånggräda påverkar kväveutlakningen från mo- och lerjord i Västra Götaland. SLF Rapport 47 ISSN 1104-6082.
- Engström, L., Lindén, B., 2005. Ökad veteskörd trots minskat N-behov efter raps. Svensk Frötidning Nr 7 december, 6-9.
- Geisler, G., Kullman, A., 1991. Changes of dry matter, nitrogen content and nitrogen efficiency in oilseed rape (*Brassica napus* L.) In Relation To Nitrogen Nutrition, In: McGregor D. I. (ed.) Proceedings of the 8th International Rapeseed Congress, Saskatoon, Canada, p. 1175-1179.
- Gunnarsson, A., 2000. Höstoljeväster – det gula guldet? Svensk Frötidning Nr. 6 juli, 4-6.
- Gunnarsson, A., 2002. Välj rätt förfrukt till oljeväxterna – odla på trädan. Svensk Frötidning Nr. 5 september, 4-7.
- Hessel, K., Aronsson, H., Lindén, B., Stenberg, M., Rydberg, T., Gustafsson, A., 1998. Höstgrödor – Fånggrödor – Utlakning. Kvävedynamik och kväveutlakning på en moränlättna i Skåne. SLU, Uppsala. Inst. för markvetenskap, avd för vattenvårdslära, Ekohydrologi 46.
- Hocking, P. J., Mason, L., 1993. Accumulation, distribution and redistribution of dry matter and mineral nutrients in fruits of canola (oilseed rape), and the effects of nitrogen fertilizer and windrowing. Australian Journal of Agricultural Research 44, 1377-1388.
- Holmes, M. R. J., Ainsley, A. M., 1978. Seedbed fertilizer requirements of winter oilseed rape. Journal of the Science of Food and Agriculture 29, 657-666.
- Holmes, M. R. J., 1980. Nutrition of the oilseed rape crop. Applied Science Publishers, London.
- Jensen, C. R., Mogensen, V. O., Mortensen, G., Andersen, M. N., Schjoerring, J. K., Thage, J. H., Koribidis, J., 1996. Leaf photosynthesis and drought adaption in field-grown oilseed rape (*Brassica napus* L.). Australian Journal of Plant Physiology 23, 631-644.
- Jonsson, H., 2004 (a). Välj och vraka bland bra etableringsmetoder. Svensk Frötidning Nr. 4 juni, 24-25.
- Jonsson, H., 2004 (b). Så sår man sent. Svensk Frötidning Nr. 5 september, 6-8.
- Kaiser, E-A., Kohrs, K., Kücke, M., Schnug, E., Heinimeyer, O., Munch, J. C., 1999. Nitrous oxide release from arable soil: Importance of N-fertilization, crops and temporal variation. Soil Biology and Biochemistry Vol. 30 No. 12, 1553-1563
- Kamh, M., Wiesler, F., Ulas, A., Horst, W. J., 2005. Root growth and N-uptake activity of oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars differing in nitrogen efficiency. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 168, 130-137.
- Kappen, L., Hammler, A., Schultz, G., 1998. Seasonal changes in the photosynthetic capacity of winter rape plants under different nitrogen regimes measured in the field. Journal of Agronomy and Crop Science 181, 179-187.
- Kjellström, C., 1991. Growth and distribution of the root system in *Brassica napus*. In: McGregor D. I. (ed.) Proceedings of the 8th International Rapeseed Congress, Saskatoon, Canada, 722-726.
- Klingspor, J., 2003. ”Ny” förfrukt till höstraps. Svensk Frötidning Nr. 4 juni, 4-5.
- Kristensen, H. L., Thorup-Kristensen, K., 2004. Root growth and nitrate uptake of three different catch crops in deep soil layers. Soil Science Society of America Journal 68, 529-537.

Rossato, L., MacDuff, J. H., Laine, P., Le Deunff, E., Ourry, A., 2002. Nitrogen storage and remobilization in *Brassica napus* L. during the growth cycle: effects of methyl jasmonate on nitrate uptake, senescence, growth and VSP accumulation. *Journal of Experimental Botany*, Vol. **53** No. 371, 1131-1141.

Schjoerring, J. G. H., Bock, L., Gammelvind, L., Jensen, C. R., Mogensen, V. O., 1995. Nitrogen incorporation and remobilization in different shoot components of field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) as affected by rate of nitrogen application and irrigation. *Plant and Soil* **177**, 255-264.

Schultz, J. E. R., 1972. Undersøgelser af vinterrapsens (*Brassica napus* L.) tørstofproduktion og næringsstofoptagelse gennem vækstperioden. *Tidsskrift for Planteavl*, **76**, 415-435

Sieling, K., Christen, O., 1999. Yield, N uptake and N-use efficiency of and N leaching after oilseed rape grown in different crop management systems in northern Germany. In: *New Horizons for an Old Crop. Proc. Of the 10th International Rapeseed Congress, GCIRC: CD-RON, Canberra- Australia.*

Sieling, K., Günther-Borstel, O., Teebken, T., Hanus, H., 1999. Soil mineral N and N net mineralization during autumn and winter under an oilseed rape – winter wheat – winter barley rotation in different crop management systems. *Journal of Agricultural Science*, **132**, 127-137.

Sjöberg, A., 2001. Bra förfrukter viktigt i kampen mot rotdödare. *Svensk Frötidning* Nr **7** september, 8-9.

Stenberg, M., 1998. Soil tillage on nitrogen conservation. *SLU, Agraria* **129** ISSN 1401-6249.

Stenberg, M., Myrbeck, Å., Arvidsson, J. och Lindén, B., 2000. Optimal bearbetningsstrategi. *Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF) rapport nr. 47*, ISSN 1104-6082.

Svensk Raps AB. Höstoljeväxter 2002/2003 – De bästa sorterna, hög skördepotential, mervärde i växtföljden.

Taiz, L., Zeiger, E., 2002. *Plant Physiology* 3rd edition. ISBN 0-87893-823-0.

Tayo, T. O., Morgan, D. G., 1975. Quantitative analysis of the growth, development and distribution of flowers and pods in oil-seed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **85**, 103-110.

Thourp-Kristensen, K., 2001. Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? *Plant and Soil* **230**, 185-195.

Tisdale, S. L., Havlin, J. L., Beaton, J. D., Nelson, W. L., 1999. *Soil Fertility and Fertilizers – An Introduction to Nutrient Management* 6th edition. ISBN 0-13-626806-4.

Topinka, A. K. C., Downey, R. K., Rakow, G. F. W., 1991. Effect of agronomic practices on the overwintering of winter canola in Southern Alberta. In *New Horizons for an Old Crop. Proc. Of the 8th International Rapeseed Congress, GCIRC: CD-RON*, 665-670.

Torstensson, G., Ekre, E. 2003. Kväveutlakning på sandjord - motåtgärder med ny odlingsteknik. Miljöanpassad stallgödsel användning och odling i realistiska odlingssystem. Resultat från en grovmojord i södra Halland, perioden 1999-2002. *SLU, Uppsala, Inst. för markvetenskap, avd. för vattenvårdslära, rapport 71.*

Torstensson, G., Håkansson M., 2001. Kväveutlakning på sandjord - motåtgärder med ny odlingsteknik. Miljöanpassad stallgödsel användning och odling i realistiska odlingssystem. *SLU, Uppsala, Inst. för markvetenskap, avd. för vattenvårdslära, rapport 57.*

Torstensson, L., 1994. *Bekämpningsmedlen, marken och miljön*, SLU, Institutionen för växt- och skogsskydd.

Triboi-Blondel, A. M., 1988. Mise en place et fonctionnement des feuilles de colza d'hiver: relations azote-carbone et senescence. *Agronomie* **8**, 779-786.

Vos, J., van der Putten, P. E. L., Muktar Hassan Hussein, van Dam, A. M., Leffelaar, P. A., 1998. Field observations on nitrogen catch crops II. *Root length and root length distribution in relation to species and nitrogen supply*. *Plant and Soil* **201**, 149-155.

Wallenhammar, A-C., 1998. Oljevaxter - Avbrottsgröda som stoppar jordbundna svampar. Svensk Frötidning Nr **6** juli, 4-5.

Wikström, L., 1997. Vårda växtföljden: Raps efter konservärter en hållbar kombination. Svensk Frötidning Nr. **7** september, 8-10.

Yngveson, N., 2001. Kvävegödsling till höstraps. Svensk Frötidning Nr. **9** december, 5-10.

**Förteckning över rapporter i serien *Examens- och seminariearbete*
utgivna vid Avdelningen för precisionsodling:**

1. Karlsson, L. 2004. Inventering av socker i grönmassa och ensilage i västra Sverige. A survey of water-soluble carbohydrate (WSC) content in herbage and silage in west Sweden.
2. Sixtensson, O. 2006. Kväve i mark och gröda från sådd till skörd vid odling av höstraps (*Brassica napus* L.). Nitrogen in soil and plant from sowing to harvest during cultivation of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.)

Avdelningen för precisionsodling, Institutionen för markvetenskap, SLU, Skara, bedriver forskning med precision i odlingen som mål. Detta forskningsarbete tar sikte på att utveckla metoder för bättre utnyttjande av markens resurser samt styrning av processer som inverkar på grödornas tillväxt, framför allt genom bättre växtnäringshushållning, bl.a. platsspecifikt för tillämpning inom precisionsjordbruket. Forskning bedrivs främst i fältstudier och fältförsök. Huvudsyftet med denna forskning är att förstärka den ekonomiska uthålligheten i svenskt lantbruk genom att förbättra grödornas avkastning och jordbruksprodukternas kvalitet och samtidigt utnyttja våra naturliga tillgångar på ett miljövänligt och resursbevarande sätt. Forskning, utbildning och information präglas av helhetssyn och sker i nära samarbete med näringsliv, myndigheter och rådgivning. Lanna försöksstation, är en viktig resurs för avdelningen, övriga institutioner vid SLU samt andra samarbetspartners.

I serien *Examens- och seminariearbeten* publiceras examensarbeten (motsvarande 10 eller 20 poäng i agronomexamen) och seminariearbeten utförda vid Avdelningen för precisionsodling, SLU, Skara.

Examens- och seminariearbetena kan beställas från avdelningen, se nedan. Förteckning över samtliga publikationer i avdelningens olika rapportserier erhålles kostnadsfritt. Rapporterna finns också tillgängliga på nedanstående internetadress.

Distribution:

Sveriges lantbruksuniversitet
Avdelningen för precisionsodling
Box 234
532 23 Skara
Tel. 0511-670 00, fax 0511-67134
Internet: <http://po-mv.slu.se/>