



# Vomnedbrytningsprofil av fiber i helsäd – effekt av gröda, skördetidpunkt och metodik

*Ruminal degradation profile of fibre in whole crop cereals –  
effects of plant species, stage of maturity and methodology*

**Susanne Bååth Jacobsson**



---

Sveriges Lantbruksuniversitet  
Institutionen för husdjurens miljö och hälsa  
Avdelningen för produktionssystem

Skara 2005

Studentarbete 29

*Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Animal Environment and Health  
Section of Production Systems*

*Student report 29*

ISSN 1652-280X



**Vomnedbrytningsprofil av fiber i helsäd –  
effekt av gröda, skördetidpunkt och metodik**

*Ruminal degradation profile of fibre in whole crop cereals –  
effects of plant species, stage of maturity and methodology*

**Susanne Bååth Jacobsson**

**Examensarbete, 20 poäng, agronomprogrammet**

Handledare: Elisabet Nadeau, Institutionen för husdjurens miljö och hälsa, avd. för  
produktionssystem, SLU Skara



## Förord

Detta är ett examensarbete, omfattande 20 poäng, inom agronomprogrammet. Arbetet ingår i ett riksomfattande forskningsprogram om helsäd, som täcker hela kedjan från odling till utfodring och produktion, med syfte att öka kunskapen om helsäd som fodermedel samt att utveckla bättre analysmetoder för helsäd.

I detta arbete har vomnedbrytning av fiber och torrsbstans i helsäd studerats. Mitt arbete har bestått i att delta vid och genomföra analyser samt sammanställa resultat från dessa. Projektet finansierades av Agroväst, Stiftelsen lantbruksforskning och SLU.

Jag vill varmt tacka min handledare Elisabet Nadeau för stort engagemang och god vägledning under projektets genomförande. Jag vill även tacka Johanna Wallsten som tog sig tid att läsa och ge synpunkter på detta arbete.

Tack till Roland Svanberg och Leif Brohede vid AnalyCen AB, Lidköping, för ett varmt mottagande under mina besök på AnalyCen. Tack till Håkan Wallin och Camilla Andersson samt övrig personal vid Kungsängens forskningslaboratorium, Uppsala, för handledning, hjälp och stöd under mitt arbete med *in situ*-metoden. Till sist vill jag även rikta ett tack till de tre kor som lånade ut lite plats i sina vommar.

Skara, december 2004  
Susanne B. Jacobsson



# Innehåll

<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>9</b>
<b>INLEDNING</b> .....	<b>13</b>
SYFTE .....	13
<b>LITTERATURSTUDIE</b> .....	<b>15</b>
KEMISK SAMMANSÄTTNING .....	15
<i>Gröda</i> .....	15
<i>Utvecklingsstadium</i> .....	17
SMÄLTBARHET .....	19
<i>Gröda</i> .....	19
<i>Utvecklingsstadium</i> .....	20
FIBER I HELSÄD – INVERKAN PÅ KONSUMTION OCH PRODUKTION .....	21
<i>Mjölkkor</i> .....	21
<i>Växande nötkreatur</i> .....	22
METODER FÖR ANALYS AV NEDBRYTNING AV HELSÄD .....	23
<i>ANKOM Daisy<sup>II</sup> in vitro metoden</i> .....	23
<i>Olika metoders användbarhet för helsäd</i> .....	24
<b>MATERIAL OCH METODER</b> .....	<b>25</b>
VÄXTMATERIAL OCH ENSILERING .....	25
ANALYSER .....	26
<i>Kemisk sammansättning</i> .....	26
<i>In vitro-nedbrytning</i> .....	26
<i>In situ-nedbrytning</i> .....	27
SMÄLTBARHETSMODELL .....	28
STATISTISK MODELL .....	28
<b>RESULTAT</b> .....	<b>31</b>
KEMISK SAMMANSÄTTNING AV FÄRSKT MATERIAL OCH ENSILAGE .....	31
<i>År</i> .....	31
<i>Gröda och utvecklingsstadium</i> .....	31
<i>Hygienisk kvalitet</i> .....	34
LÖSLIGHET OCH VOMNEDBRYTNING AV TORRSUBSTANS OCH FIBER .....	36
<i>Vattenlöslighet av torrsubstans</i> .....	36
<i>Försvinnande av torrsubstans</i> .....	37
<i>Effekt av sköljning på fiber</i> .....	39
<i>In situ- och in vitro-nedbrytningskinetik av fiber år 2002</i> .....	40
<i>In vitro-nedbrytningskinetik av fiber år 2003</i> .....	44
<i>In vitro-nedbrytningskinetik av fiber i genomsnitt över år 2002 och 2003</i> .....	45
SAMBAND MELLAN SMÄLTBARHETSMETODER .....	46
SAMBAND MELLAN KEMISK SAMMANSÄTTNING OCH SMÄLTBARHET .....	50
<b>DISKUSSION</b> .....	<b>53</b>
KEMISK SAMMANSÄTTNING OCH NEDBRYTNING AV FIBER OCH TORRSUBSTANS .....	53
<i>Gröda</i> .....	53
<i>Utvecklingsstadium</i> .....	53
SMÄLTBARHETSMETOD .....	54
<b>SLUTSATSER</b> .....	<b>57</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>59</b>
<b>LITTERATUR</b> .....	<b>63</b>





## Sammanfattning

Helsäd är ett fiberrikt fodermedel som tillför mycket struktur i foderstaten, vilket stimulerar tuggningsaktiviteten och på så sätt stabiliserar vommiljön. Foderstater med helsäd har potential att ge hög tillväxt hos växande nötkreatur och även till mjölkkor kan helsäd med fördel användas som komplement till ett tidigt skördat klöver/gräsensilage.

Helsäd är mindre homogent än vallensilage, med en stärkelsesrik axdel med hög smältbarhet och ett fiberrikt, proteinfattigt strå med låg smältbarhet. Valet av gröda och skördetidpunkt har betydelse för helsädesensilagens kemiska sammansättning och smältbarhet. Korn är normalt den gröda som innehåller störst andel ax av totala plantan och har därmed den lägsta fiberhalten och högsta stärkelsehalten. En större andel ax i kombination med högre smältbarhet i blad, strå och ax medför även hög smältbarhet av torrsubstans (TS) i korn. När spannmålsplantan utvecklas ökar fiberhalten i blad och strå, men i samband med kärninlagringen kompenseras detta av en ökad andel stärkelse i kärnan. Detta leder till att fiberkoncentrationen i hela plantan ökar under de tidiga utvecklingsstadierna, planar ut i samband med axgång och sjunker när axet fylls. Stärkelsehalten i helsäd är relativt konstant fram till mjölk mogna för att sedan öka betydligt i samband med kärninlagringen. När tyngden i axet ökar belastas strået, vilket orsakar förändringar i sammansättningen av cellväggarna i form av ökad ligninhalt och bildandet av kovalenta bindningar mellan lignin och hemicellulosa. Dessa förändringar leder till en sänkning av stråets smältbarhet. Detta kompenseras till viss del av en ökad smältbarhet i axet i kombination med att axet utgör större del av plantan, med följd att smältbarheten av TS kan hålla sig oförändrad, eller i vissa fall öka, efter mjölk mogna.

Fiberinnehållet i foderstaten är av central betydelse för intaget av TS hos nötkreatur. I helsäd har dock innehållet av neutral detergent fibre (NDF) ensamt visats vara ett otillräckligt mått för att förutsäga produktion och konsumtion. Andra faktorer som kan vara viktiga att ta hänsyn till är fiberns nedbrytbarhet och nedbrytningshastighet, då dessa faktorer i hög grad kan variera i helsäd beroende på framför allt gröda och utvecklingsstadium. För att analysera nedbrytningsförloppet i vommen av fodermedel är *in situ*-metoden generellt ansedd som referensmetod. Denna metod är dyrbar, arbets- och tidskrävande och är svår att standardisera. Metoden lämpar sig därför inte för rutinmässiga analyser. ANKOM Daisy<sup>II</sup>-inkubatorn är en ny, enklare *in vitro*-metod som möjliggör samtidig inkubering av ett stort antal prover, vilket medför sänkta kostnader. Flera studier har gjorts där metoden jämförts med både *in situ*-metoden och konventionella *in vitro*-metoder, där Daisy<sup>II</sup>-inkubatorn gett bra skattningar av både smältbarheter och nedbrytningsförlopp i flera olika fodertyper.

Syftet med detta projekt var att studera inverkan av gröda och skördetidpunkt på kemisk sammansättning och vömnedbrytning av NDF och TS i helsäd samt att jämföra ANKOM Daisy<sup>II</sup> *in vitro*-metoden med *in situ*-metoden med avseende på nedbrytningsförloppet i vommen av NDF och TS i helsäd. Havre, korn rågvete och vårvete odlades i storrutor med tre upprepningar i fält. Hela försöket upprepades under två år (2002 och 2003). Varje storruta delades upp i två smårutor, som skördades vid tidig mjölk mogna respektive tidig deg mogna. Prover ensilerades med eller utan tillsatsmedel i 4-liters småsilar i 90 dagar. Ensilage och färskt material analyserades för kemisk sammansättning. I detta arbete redovisas kemisk sammansättning hos färskt material och ensilage utan tillsatsmedel. Vömnedbrytningsprofil av NDF utfördes endast på ensilage utan tillsatsmedel. *In vitro*-inkubering skedde med ANKOM Daisy<sup>II</sup>-inkubator av 48 prover från båda åren. Prover

vägdes in i filterpåsar som förseglades och inkuberades i vomvätska och buffert i 4-liters glasflaskor, där samtliga prover för en tid fanns i samma flaska, i värmeskåp. *In situ*-inkubering skedde av 24 prover endast från första odlingsåret. Prov vägdes in i nylonpåsar som placerades i vommen på tre fistulerade kor. Vid både *in situ*- och *in vitro*-metoden avbröts inkuberingarna vid olika tidsintervall upp till 120 timmar genom att påsarna sköljdes i vatten. Fiberdata från *in situ*- och *in vitro*-inkuberingarna anpassades till en icke-linjär modell för skattning av potentiellt nedbrytbar NDF, nedbrytningshastigheten av NDF, potentiellt icke nedbrytbar NDF och tidsfördröjning innan nedbrytning av NDF började.

Samtliga ensilage höll en god hygienisk kvalitet utom sent skördad havre och sent skördad vårvete, som hade en relativt hög halt smörsyra och innehöll mer klostridiesporer än övriga ensilage. Kemisk sammansättning skilde något mellan de båda åren, men skillnader mellan grödor och utvecklingsstadier var i de flesta fall lika båda år. Havre och vårvete innehöll mest NDF, acid detergent fibre (ADF) och lignin ( $P < 0,001$ ). Korn innehöll mer NDF än rågvete. Halten NDF och ADF minskade med senare utvecklingsstadium ( $P < 0,001$ ) samtidigt som stärkelsehalten ökade ( $P < 0,001$ ). Ligninhalten påverkades inte av utvecklingsstadium. Korn hade den högsta stärkelsehalten följt av havre och vårvete ( $P < 0,001$ ). Smältbarheten av organisk substans (OS) var högst i korn och rågvete enligt både den svenska VOS-metoden (vomvätskelöslig organisk substans) och den danska metoden EFOS (enzymfordøjeligt organisk stof;  $P < 0,001$ ). Smältbarheten av OS enligt EFOS ökade med senare utvecklingsstadium ( $P < 0,001$ ) medan VOS endast visade en ökning för rågvete ( $P < 0,05$ ). Variationen i smältbarhet av organisk substans enligt EFOS kunde till stor del förklaras av variationer i innehåll av stärkelse ( $R^2=0,40$ ), ADF ( $R^2=0,88$ ) och NDF ( $R^2=0,71$ ).

Effekten av sköljning på TS-mängden skilde inte mellan *in situ*- och *in vitro*-metoden. Däremot fanns en skillnad mellan de båda åren *in vitro*, vilket kan vara en följd av att olika vattentemperaturer kan ha använts de olika åren. Korn och rågvete gav högre TS-försvinnande (löslig + nedbrytbar TS) vid inkuberingen än havre och vårvete första året både *in situ* och *in vitro* ( $P < 0,001$ ). Andra året hade korn högre TS-försvinnande *in vitro* än rågvete som inte skilde från vårvete ( $P < 0,05$ ). Havre hade lägst TS-försvinnande båda åren. Ingen betydande effekt av utvecklingsstadium visades på TS-försvinnandet vid inkuberingen.

Havre och vårvete innehöll mer *in situ*- och *in vitro* potentiellt icke nedbrytbar NDF än korn och rågvete ( $P < 0,01$ ). Korn innehöll mest potentiellt nedbrytbar NDF *in vitro* medan det inte fanns några skillnader i innehåll av potentiellt nedbrytbar NDF mellan grödor med *in situ*-metoden. Havre och vårvete hade lägst innehåll av *in vitro* potentiellt nedbrytbar NDF ( $P < 0,05$ ). Korn hade den högsta nedbrytningshastigheten av NDF *in situ* vid båda utvecklingsstadierna. Skillnader mellan de övriga grödorna i nedbrytningshastighet *in situ* var olika vid olika utvecklingsstadium ( $P < 0,01$ ). Innehållet av potentiellt nedbrytbar NDF var högre vid tidig skörd än vid senare skörd både *in vitro* och *in situ* ( $P < 0,01$ ). Mängden potentiellt icke nedbrytbar NDF skilde inte mellan utvecklingsstadier utom för *in situ*-metoden där skillnaden troligen orsakats av några felskattade värden, samt för vårvete andra året *in vitro* där mängden icke nedbrytbar NDF ökade från tidig mjölk- till tidig degmognad. Nedbrytningshastigheten av NDF *in situ* minskade med senare utvecklingsstadium ( $P < 0,001$ ). Variationen i innehåll av *in situ* potentiellt icke nedbrytbar NDF samt TS-försvinnandet efter 120 timmars inkubering *in situ* kunde till ganska stor del förklaras av skillnader i ligninhalt ( $R^2=0,49 - 0,68$ ).

Tidsfördröjningen innan nedbrytningen av NDF startade var 15 gånger längre med *in vitro*-metoden jämfört med *in situ* ( $P < 0,001$ ). *In vitro*-metoden gav även högre

nedbrytningshastighet av NDF samt lägre total nedbrytning av NDF och TS ( $P < 0,001$ ). Den högre nedbrytningshastigheten med *in vitro*-metoden är ett resultat av den långa tidsfördröjningen innan inkuberingen började. Skillnader i nedbrytningsgrad mellan metoderna beror troligen på den högre mikrobkoncentrationen i vommen hos det levande djuret jämfört med *in vitro*, samt en onormalt lång tidsfördröjning på grund av brister i metodiken, såsom lång transport av vomvätska. Trots att *in vitro*-metoden uppvisade en större variation mellan replikat och att värden från *in vitro*-metoden passade sämre med smältbarhetsmodellen än *in situ*-metodens värden, visades en god korrelation mellan de båda metoderna vad gäller potentiellt nedbrytbar och icke nedbrytbar NDF. ANKOM Daisy<sup>II</sup> *in vitro*-metoden fungerade för skattning av nedbrytningsgraden av NDF i helsäd, men ytterligare utveckling av metoden behövs för att korta ner tidsfördröjningen och minska variationen, för att uppnå säkrare skattningar av nedbrytningskinetiken.



## Inledning

Helsäd är ett fiberrikt fodermedel som tillför mycket struktur i foderstaten. Praktiska erfarenheter visar att helsäd kan vara ett bra tillskott i foderstater baserade på ett tidigt skördat klöver/gräsensilage till mjölkkor och växande ungnöt. Nadeau *et al.* (2003) visade högre grovfoderkonsumtion när gräs/klöverensilage blandades med helsäd jämfört med gräs/klöverensilage som enda grovfoderkälla. Ett fiberrikt fodermedel som helsäd stimulerar även tuggningsaktiviteten vilket leder till ökad salivutsöndring och därmed en stabilare vommiljö (Allen, 1997).

Innehållet av neutral detergent fibre (NDF) i foderstaten är av central betydelse för intaget av torrsubstans (TS) hos nötkreatur (Miller *et al.*, 1990; Khorasani *et al.*, 1993; Okine *et al.*, 1994). Påverkan är störst för mjölkkor i tidig laktation (Khorasani *et al.*, 1993). Mängden NDF kan dock inte ensamt användas för att förutsäga TS-intag och produktion (Arieli & Adin, 1994). Även fibrernas nedbrytbarhet (Arieli & Adin, 1994; McCartney & Vaage, 1994) samt nedbrytningshastighet (Miller *et al.*, 1990) är av betydelse. Miller *et al.* (1990) visade att mjölkkor fodrade med en foderstat med snabbare nedbrytbar NDF hade högre totalt intag av NDF och acid detergent fibre (ADF) samt en tendens till högre TS-intag jämfört med foderstaten med långsammare nedbrytbar NDF. Trots att skillnaden i TS-intag var liten gav foderstaten med snabbare nedbrytning av NDF högre mjölkproduktion (Miller *et al.*, 1990) vilket även bekräftas av resultat från Varga *et al.* (1984). Fiberinnehållet, fibrernas nedbrytbarhet och nedbrytningshastighet kan i hög grad variera i helsäd och påverkas framför allt av gröda och utvecklingsstadium (Cherney & Marten, 1982a; Khorasani *et al.*, 1997), men även faktorer som sortval och årsmån spelar in (Cherney & Marten, 1982a; Weisbjerg, 2004).

## Syfte

Syftet med detta projekt var

- 1) att studera inverkan av gröda och skördetidpunkt på kemisk sammansättning och vombrytning av NDF och TS, samt
- 2) att jämföra ANKOM Daisy<sup>II</sup> *in vitro*-metoden med *in situ*-metoden med avseende på nedbrytningsförloppet i vommen av NDF och TS i helsäd.



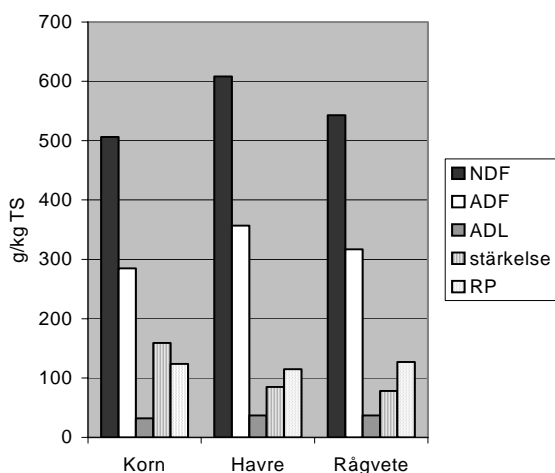
# Litteraturstudie

## Kemisk sammansättning

Ensilage av helsäd skiljer sig på flera sätt från vallensilage. Helsäd är ett mindre homogent material med en stärkelsesrik axdel med hög smältbarhet och ett fiberrikt, proteinfattigt strå med låg smältbarhet, vilket sammantaget ger ett ensilage med hög koncentration av stärkelse och låg halt råprotein (RP) jämfört med vallensilage (Ohlsson, 1996; Sjøgaard *et al.*, 2001).

### Gröda

Valet av gröda har betydelse för ensilagens sammansättning (Cherney & Marten, 1982a; McCartney & Vaage, 1994; Khorasani *et al.*, 1997). Skillnader mellan olika grödor och sorter är dock inte alltid upprepbara mellan år (Cherney & Marten, 1982a). Khorasani *et al.* (1997) ensilerade helsäd av korn, havre och rågvete skördade vid tidig degmognad. Korn hade högre andel ax av totala plantan (49 %) än havre och rågvete (43 respektive 41 %). Eftersom axet till största delen består av stärkelse resulterade detta i lägre NDF- och ADF-koncentration i ensilaget av korn. Havre hade högsta koncentrationer av NDF och ADF. Rågvete hade största andelen strå och därmed den högsta ligninhalten, bestämd som acid detergent lignin (ADL). Ligninhalten var lägst i korn (Khorasani *et al.*, 1997). Även Khorasani *et al.* (1993) visade högsta koncentrationer av NDF och ADF i havre och lägst i korn, med rågvete där emellan, vid tidig till medel degmognad (Figur 1). Cherney & Marten (1982a) visade lägre halter av ADF och ADL i korn jämfört med havre, vårsvete och rågvete. Ena året var även NDF-halten lägre i korn, men andra försöksåret visades ingen skillnad mellan grödor med avseende på NDF-innehållet (Cherney & Marten, 1982a). McCartney & Vaage (1994) visade ingen skillnad i innehåll av NDF, ADF och ADL för havre skördat vid mjölkmodning och korn skördat vid tidig degmognad, medan rågvete skördat vid mjölk- till tidig degmognad hade högre NDF-koncentration än de båda andra, samt högre halt ADF än havren. Bergen *et al.* (1991) såg ingen skillnad i NDF- och ADF-koncentration mellan höstsvete, havre och korn skördat vid mjölk- och degmognad. I tabell 1, visas en sammanställning av värden för innehåll av NDF, ADF och ADL från några olika studier.



Figur 1. Innehåll av neutral detergent fibre (NDF), acid detergent fibre (ADF), acid detergent lignin (ADL), stärkelse och råprotein (RP) i helsäd av korn, havre och rågvete skördade vid tidig till medel degmognad, g kg<sup>-1</sup> torrsbstans (TS), enligt Khorasani *et al.* (1993).

Tabell 1. Sammanställning av värden från olika studier för innehåll av NDF<sup>1</sup>, ADF<sup>2</sup> och ADL<sup>3</sup>, g kg<sup>-1</sup> torrsbstans, i helsäd av olika grödor och vid olika utvecklingsstadier.

Gröda	Utvecklingsstadium	NDF	ADF	ADL	Referens
Korn	Tidig till medel deg	506	285	32	Khorasani <i>et al.</i> (1993)
Havre		608	357	37	
Rågvete		543	317	37	
Korn	Tidig deg	499	267	33	Khorasani <i>et al.</i> (1997)
Havre		547	341	40	
Rågvete		540	303	45	
Korn	Tidig deg	550	355	25	McCartney & Vaage (1994)
Havre	Mjolk till tidig deg	535	342	42	
Rågvete	Mjolk	579	391	46	
Höstvete	Mjolk	500	345		Bergen <i>et al.</i> (1991)
	Deg	518	356		
Havre	Mjolk	547	386		
	Deg	481	367		
Korn	Mjolk	497	353		
	Deg	472	339		
Höstvete	Axvidgning	575	349	38	Crovetto <i>et al.</i> (1998)
	Blomning	594	346	47	
	Mjolk	594	350	46	
	Deg	487	310	62	
Höstvete år 1	Tidig mjolk	511	310		Adesogan <i>et al.</i> (1998a)
	Deg	467	285		
	Skördemognad	452	302		
Höstvete år 2	Tidig mjolk	584	329		
	Deg	511	305		
	Sen deg	489	284		
Vete, vintergröda <sup>4</sup> , tidig sort	Axgång	566	327	71	Ashbell <i>et al.</i> (1997)
	Blomning	604	360	91	
	Mjolk	627	355	89	
	Deg	533	312	100	
Vete, vintergröda, sen sort	Axgång	584	325	66	
	Blomning	664	404	70	
	Mjolk	655	406	84	
	Deg	620	378	109	
Vete	Blomning	537	357		Arieli & Adin (1994)
	Sen mjolk	530	355		
Korn	Axvidgning	491	311	57	Acosta <i>et al.</i> (1991)
	Tidig deg	526	339	69	
Höstvete	Axgång	611	366		Adogla-Bessa & Owen (1995)
	Mjolk	518	307		
	Medel deg	465	273		
	Sen deg	482	291		
Höstvete år 1	Tidig deg	610	331		Sutton <i>et al.</i> (2002)
	Deg	522	298		
Höstvete år 2	Tidig deg	431	274		
	Deg	370	236		
Vete, vintergröda	Blomning	537	390	72	Filya (2003)
	Mjolk	519	363	83	
	Deg	427	284	90	

<sup>1</sup>NDF=neutral detergent fibre.

<sup>2</sup>ADF=acid detergent fibre.

<sup>3</sup>ADL=acid detergent lignin.

<sup>4</sup>Vintergröda=höstsädd gröda skördad på våren.



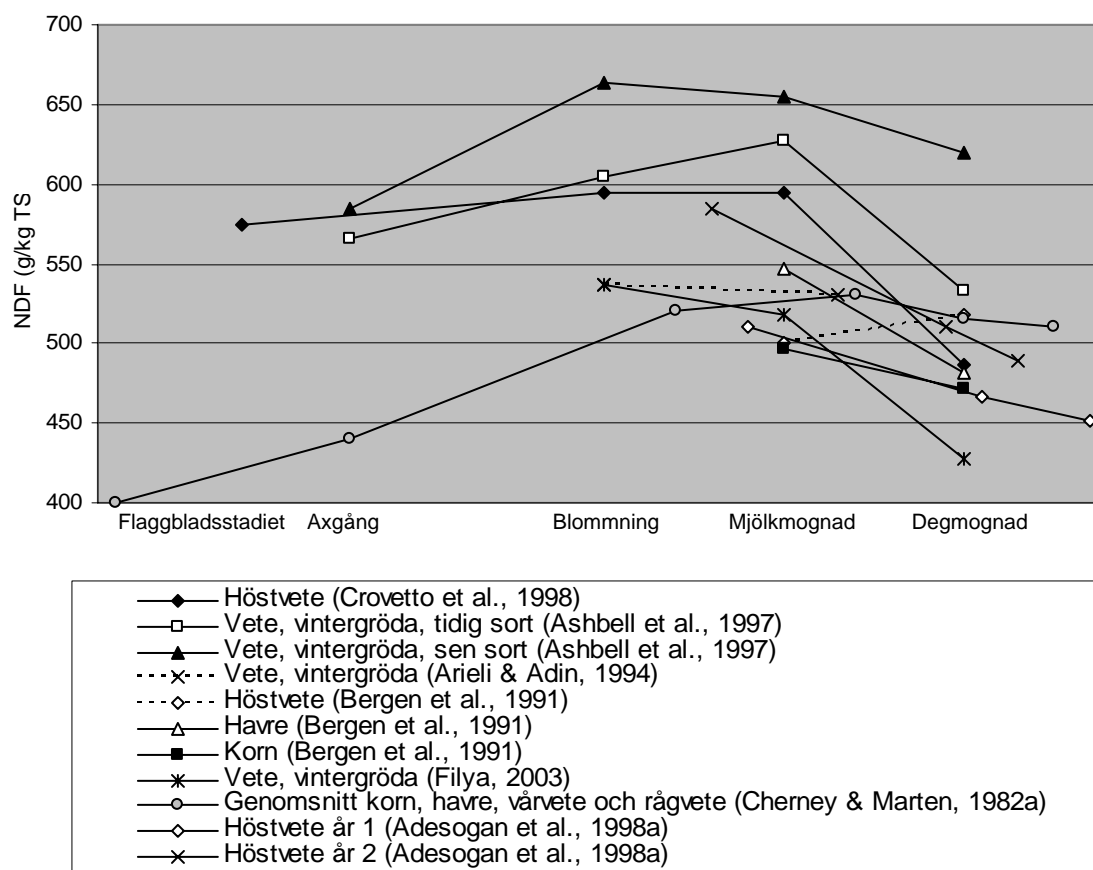
Khorasani *et al.* (1993) visade dubbelt så hög halt stärkelse i korn (159 g kg<sup>-1</sup> TS) jämfört med havre och rågvete (85 respektive 78 g kg<sup>-1</sup> TS; Figur 1), vilket kan förklaras av att korn har större andel ax av totala plantan (Cherney & Marten, 1982b; Khorasani *et al.*, 1997). Bergen *et al.* (1991) visade högst halt vattenlösliga kolhydrater (water soluble carbohydrates; WSC) i höstvete, mellan i korn och lägst i havre när samtliga grödor skördades vid mjölk- och degmognad. Khorasani *et al.* (1993), McCartney & Vaage (1994) samt Khorasani *et al.* (1997) såg endast mycket små skillnader i innehåll av RP mellan korn, havre och rågvete. Halten RP i dessa studier varierade mellan 115 och 127 g kg<sup>-1</sup> TS (Khorasani *et al.*, 1993; McCartney & Vaage, 1994; Khorasani *et al.*, 1997).

### Utvecklingsstadium

Avkastningen av TS för helsädesgrödor ökar med senare utvecklingsstadium (Cherney & Marten, 1982a; Acosta *et al.*, 1991; Garnsworthy & Stokes, 1993). Cherney & Marten (1982a) visade en linjärt ökande genomsnittlig TS-avkastning för vete, rågvete, havre och korn från 2,9 ton per hektar vid flaggbladsstadiet till 8,6 ton per hektar vid degmognad. Acosta *et al.* (1991) visade en ökning av TS-avkastningen med 138 % för korn skördat vid tidig degmognad jämfört med korn skördat vid axvidgning. En stor del av den ökade TS-avkastningen kommer av axets ökande tyngd när kärnorna fylls vid mjölk- och degmognad (Garnsworthy & Stokes, 1993). Även TS-halten i helsädesgrödor ökar med senare utvecklingsstadium (Cherney & Marten, 1982a; Khorasani *et al.*, 1997; Crovetto *et al.*, 1998). Khorasani *et al.* (1997) visade en genomsnittlig TS-halt för korn, havre och rågvete vid axvidgning på 130 g kg<sup>-1</sup>. Vid tidig degmognad hade detta värde stigit till 420 g kg<sup>-1</sup> (Khorasani *et al.*, 1997). TS-halten fortsätter att öka under hela utvecklingen och når upp till 860 till 870 g kg<sup>-1</sup> vid fysiologisk mognad (Kennely & Weinberg, 2003).

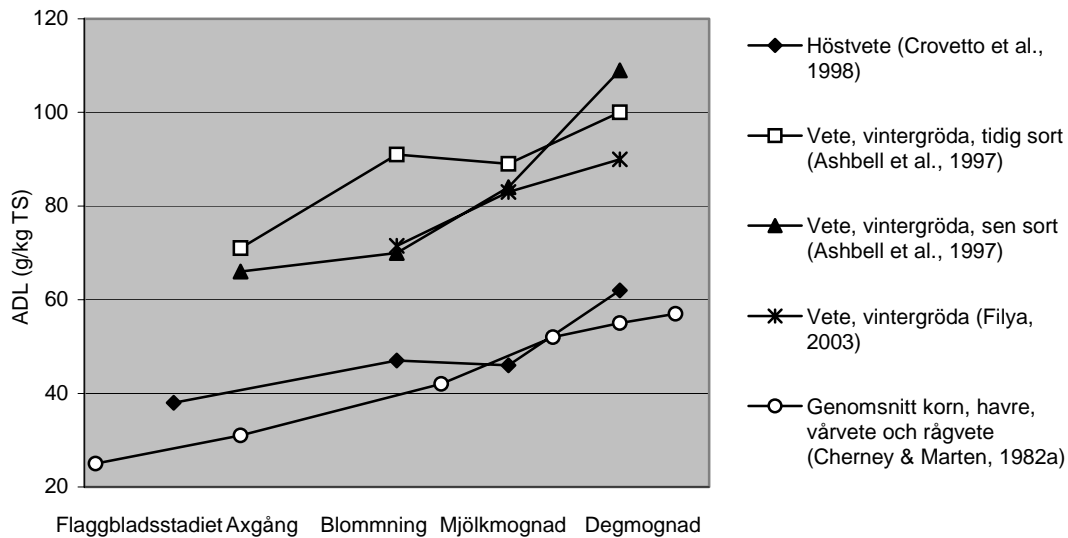
Stärkelseinnehållet ökar med senare utvecklingsstadium (Ohlsson, 1996; Adesogan *et al.*, 1998a; Crovetto *et al.*, 1998). Crovetto *et al.* (1998) visade låga och relativt oförändrade halter stärkelse för höstvete under axvidgning, blomning och mjölk-mognad, 23, 26 och 27 g kg<sup>-1</sup> TS för respektive utvecklingsstadium, för att sedan visa en väsentlig ökning vid degmognad till 188 g kg<sup>-1</sup> TS. Ohlsson (1996) visade mer än dubbelt så hög halt stärkelse vid sen degmognad jämfört med mjölk-mognad för vårkorn. Under samma period minskade halten WSC från 144 till 105 g kg<sup>-1</sup> TS, vilket förklaras med att socker omvandlas till stärkelse under kärnfyllningen (Ohlsson, 1996). Likaså visade Bergen *et al.* (1991) en minskning av halten WSC mellan mjölk- och degmognad med i genomsnitt 45 g kg<sup>-1</sup> TS för korn, havre och höstvete. Även RP-halten sjunker med senare utvecklingsstadium (Cherney & Marten, 1982a; Khorasani *et al.*, 1997; Crovetto *et al.*, 1998). Cherney & Marten (1982a) visade en halvering av RP-halten från flaggbladsstadiet till skördemognad från 240 till 120 g kg<sup>-1</sup> TS med den största minskningen fram till mjölk-mognad.

Till skillnad från vallensilage, ökar inte fiberhalten kontinuerligt med senare utvecklingsstadium i ensilage av helsäd (figur 2; tabell 1). När spannmålsplantan utvecklas ökar fiberhalten i blad och strå (Cherney & Marten, 1982b; Khorasani *et al.*, 1997), men under senare utvecklingsstadier kompenseras detta av en ökad andel stärkelse när axet fylls (Khorasani *et al.*, 1997; Crovetto *et al.*, 1998). Detta leder till att koncentrationerna av NDF och ADF i hela plantan ökar under de tidiga utvecklingsstadierna, planar ut i samband med axgång och sjunker när axet fylls (Cherney & Marten, 1982a; Ashbell *et al.*, 1997; Crovetto *et al.*, 1998).



Figur 2. Innehåll av neutral detergent fibre (NDF),  $g\ kg^{-1}\ TS$ , i helsäd skördad vid olika utvecklingsstadier från olika studier. Vintergröda=höstsådd gröda skördad på våren. TS=torrsubstans.

Koncentrationen av lignin ökar normalt med senare utvecklingsstadium (Tabell 1; Figur 3; Cherney & Marten, 1982a; Acosta *et al.*, 1991; Ashbell *et al.*, 1997; Crovetto *et al.*, 1998). Khorasani *et al.* (1997) visade ökande ligninhalt för havre och rågvete från axvidgning till tidig degmognad, medan ligninhalten i korn sjönk efter axgång. Helsel & Thomas (1987) såg endast små förändringar i ADL-koncentration när plantor av korn, havre, råg och vete utvecklades från mjölk- till degmognad. Cherney & Marten (1982b) visade att ligninhalten i blad och strå ökar när plantan utvecklas från axvidgning till tröskmognad, medan ADL-koncentrationen i axet minskar då kärnorna fylls. Axet utgör olika stor andel av plantan för olika grödor (Khorasani *et al.*, 1997) och andelen ax varierar även mellan olika studier (Cherney & Marten, 1982b; Khorasani *et al.*, 1997) vilket kan förklara de varierande resultaten. Ligninhalten har visats vara högt negativt korrelerad med smältbarheten av TS för helsäd (Cherney & Marten, 1982a och b).

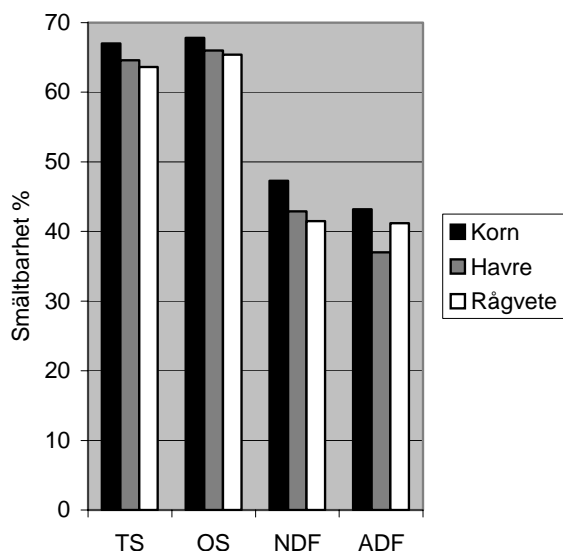


Figur 3. Innehåll av acid detergent lignin (AD),  $g\ kg^{-1}\ TS$ , i helsäd skördad vid olika utvecklingsstadiet från olika studier. Vintergröda=höstsådd gröda skördad på våren. TS=torrs substans.

## Smältbarhet

### Gröda

Smältbarheten av helsäd varierar mellan olika grödor (Cherney & Marten, 1982a; Khorasani *et al.*, 1993; McCartney & Vaage, 1994; Weisbjerg, 2004). Cherney & Marten (1982a) visade högre *in vitro*-smältbarhet av TS för korn (71,4 %) jämfört med havre (65,3 %), vilket främst beror på att korn hade högre andel ax av totala plantan, men även av att smältbarheten av TS var högre i både blad, strå och ax för korn (Cherney & Marten, 1982b). Smältbarheten varierade även mellan olika sorter inom gröda samt olika år (Cherney & Marten, 1982a). Även McCartney & Vaage (1994) visade lägre smältbarhet av TS, organisk substans (OS) och NDF, undersökt *in vivo* hos baggar, för havre än för korn, trots en snarlik kemisk sammansättning hos de båda grödorna. Smältbarheten av NDF var 46,4 % för havre och 52,0 % för korn (McCartney & Vaage, 1994). Khorasani *et al.* (1993) jämförde nedbrytningen *in situ* hos mjölkcor för prover av foderstater baserade på lika stor andel (50 %) ensilage av korn, havre eller rågvete skördade vid tidig till medel degmognad. Studien visade lägst smältbarhet av TS efter 10 timmar för foderstaten med havre, medan foderstaten med rågvete hade högst TS-smältbarhet efter 10 timmar. Efter 16 och 24 timmars inkubering sågs dock ingen skillnad mellan grödorna. *In situ*-nedbrytningen av NDF påverkades inte av gröda. *In vivo*-smältbarheten av TS, OS och NDF hos mjölkcor var högre för foderstaten med korn än för dem med havre och rågvete, vilka hade snarlik smältbarhet (figur 4). Smältbarheten av ADF skilde inte mellan grödor (Khorasani *et al.*, 1993).



Figur 4. Smältbarheten *in vivo* hos mjölkkor av torrsubstans (TS), organisk substans (OS), neutral detergent fibre (NDF) och acid detergent fibre (ADF) för foderstater innehållande lika stor andel (50 %) ensilage av korn, havre eller rågvete skördat vid tidig till medel degmognad (Khorasani et al., 1993).

Även nedbrytningskinetiken varierar beroende på gröda och sort (Ashbell *et al.*, 1997; Weisbjerg, 2004). Ashbell *et al.* (1997) visade skillnader i löslighet, potentiell nedbrytbarhet och nedbrytningshastighet av TS för en tidig och en sen sort av vete. Weisbjerg (2004) visade en betydlig variation i nedbrytningshastighet av NDF undersökt *in situ* i mjölkkor, inkubationstider från två till 168 timmar, för tio olika sorter av vårkorn respektive höstvede, samtliga skördade vid degmognad. Nedbrytningshastigheten varierade för korn från 0,0187 till 0,0315 h<sup>-1</sup> och för vete från 0,0167 till 0,0417 h<sup>-1</sup>, detta trots en endast måttlig variation i kemisk sammansättning och smältbarhet av organisk substans undersökt med enzymatisk *in vitro*-metod. Värderna för potentiellt nedbrytbar NDF *in situ* varierade för korn från 71,4 till 83,2 % och för vete från 66,5 till 76,0 %. Andelen NDF som inte var nedbrytbar var för korn 13,7 till 25,2 % och för vete 15,1 till 23,9 % (Weisbjerg, 2004).

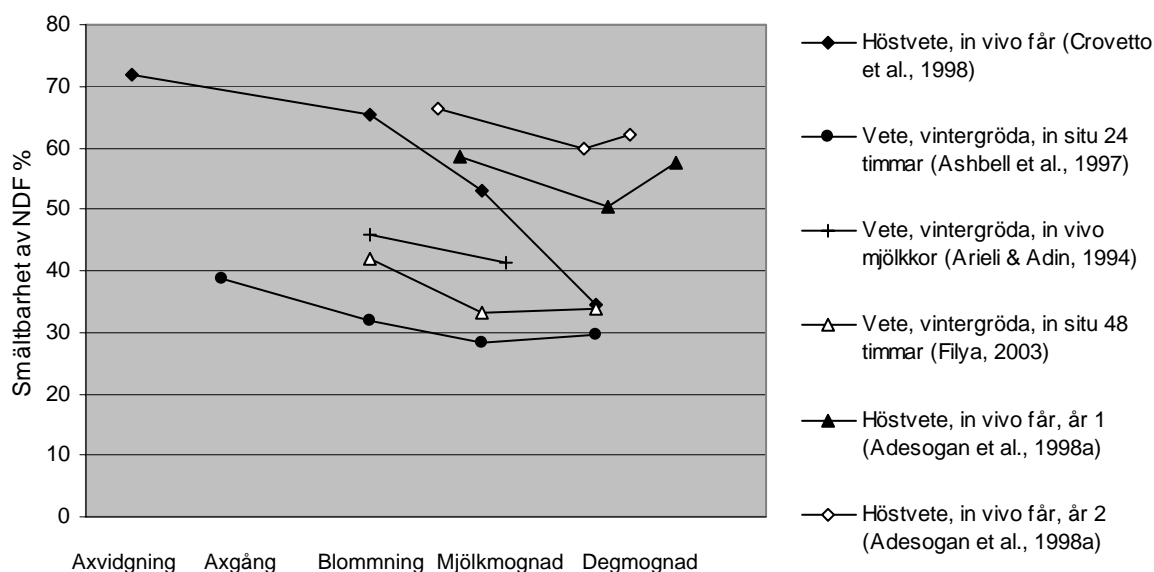
### Utvecklingsstadium

Ansamlingen av TS i axet under plantans utveckling belastar strået och orsakar därmed förändringar i sammansättningen av cellväggarna. Denna förändring leder till sänkning av stråets smältbarhet (Kennely & Weinberg, 2003).

Smältbarheten av TS i helsäd minskar med senare utvecklingsstadium (Acosta *et al.*, 1991; Arieli & Adin, 1994; Crovetto *et al.*, 1998; Micek *et al.*, 2001). Vid mjölk- till degmognad planar minskningen ut (Cherney & Marten, 1982b; Micek *et al.*, 2001), vilket orsakas av en ökad TS-smältbarhet i axet i kombination med att axet utgör en större andel av plantan (Cherney & Marten, 1982b). Micek *et al.* (2001) visade sänkt potentiell nedbrytbarhet och nedbrytningshastighet av TS *in situ* med 32 respektive 37 % från axgång till degmognad för havre och rågvete. Under samma period ökade andelen omedelbart tillgänglig TS med 21 %. Detta förklaras av den ökande andelen snabbt nedbrytbar stärkelse i kombination med sänkt smältbarhet av fiberfraktionen (Micek *et al.*, 2001). Liknande förändringar i *in situ*-nedbrytningskinetiken av TS visades av Arieli & Adin (1994) och Ashbell *et al.* (1997) för

vete. Ökningen av stärkelse kan även i vissa fall leda till en ökning av TS-smältbarheten med senare utvecklingsstadium (Arieli & Adin, 1994; Adesogan *et al.*, 1998a; Filya, 2003).

Smältbarheten av NDF och ADF minskar när plantor av helsädesgrödor utvecklas (figur 5; Acosta *et al.*, 1991; Arieli & Adin, 1994; Ashbell *et al.*, 1997; Crovetto *et al.*, 1998). Arieli & Adin (1994) studerade nedbrytningskinetiken *in situ* för NDF och ADF i vete med inkubationstider upp till 96 timmar. Nedbrytningshastigheten sjönk för NDF med 41 % från 0,022 till 0,013 h<sup>-1</sup> och för ADF med 33 % från 0,024 till 0,016 h<sup>-1</sup> från blomning till sen mjölkmodnad (Arieli & Adin, 1994). Sänkningen i smältbarhet av NDF beror på ökad halt osmältbart lignin (Cherney & Marten, 1982b; Jung & Allen, 1995) samt bildandet av kovalenta bindningar mellan hemicellulosa och lignin (Jung & Allen, 1995).



Figur 5. Smältbarhet av neutral detergent fibre (NDF), %, vid olika utvecklingsstadier från olika studier. Vintergröda=höstsådd gröda skördad på våren.

## Fiber i helsäd – inverkan på konsumtion och produktion

### Mjölkkor

Khorasani *et al.* (1993) jämförde foderstater till mjölkkor baserade på 50 % ensilage av korn, havre eller rågvete av totala TS-intaget. Ensilagen var skördade vid tidig till medel degmognad. Intaget påverkades mest för kor i tidig laktation då foderstaten baserad på kornensilage gav högst totalt TS-intag, 19,8 kg dag<sup>-1</sup>, följt av rågvete med 18,6 kg dag<sup>-1</sup>. Lägst intag gav havre med 17,1 kg TS dag<sup>-1</sup>. Hos kor i medellaktation fanns samma tendenser. Författarna anger den höga NDF-koncentrationen i havre- och rågveteensilaget som orsak till konsumtionsminskningen och anger vomfyllnadsgraden som begränsande faktor. I denna studie påverkades inte mjölkproduktionen av gröda, men kornensilage gav störst viktökning, rågvete mellan och havre lägst, vilket kan förklara varför den förväntade produktionsskillnaden inte kunde visas (Khorasani *et al.*, 1993). Samma foderstater användes av Okine *et al.* (1994) till mjölkkor i tidig laktation och även här gav korn högst (19,1 kg TS dag<sup>-1</sup>) och havre lägst (17,4 kg TS dag<sup>-1</sup>) intag av TS. Intaget av NDF påverkades däremot inte av gröda (Okine *et al.*, 1994).

Arieli & Adin (1994) fodrade ensilage av vete skördat vid blomning och mjölkmodnad till mjölkkor. Helsädesensilaget bidrog till 31 respektive 33 % av foderstaten på TS-basis. Foderstaterna beräknades så att båda grupperna fick samma NDF-koncentration, men smältbarheten av NDF och ADF *in situ* var 24 respektive 14 % högre för tidigt skördat ensilage. Resultatet blev högre mjölkavkastning, både kg mjölk (+3,2 kg dag<sup>-1</sup>) och kg energikorrigerad mjölk (ECM; +1,3 kg dag<sup>-1</sup>), samt bättre hull för kor som fick tidigt skördat ensilage än de som fick senare skördat, trots att intaget av TS inte skilde. Författarnas slutsats var att NDF-halten ensamt inte är ett bra mått på energiinnehållet i helsädesensilage och att det finns en potential i att använda smältbarheten av NDF för värdering av helsädesensilage (Arieli & Adin, 1994).

### Växande nötkreatur

Foderstater baserade på helsäd har potential att ge hög tillväxt hos växande nötkreatur (McCartney & Vaage, 1994; O'Kiely & Moloney, 1995). O'Kiely & Moloney (1995) visade ingen skillnad i intag av TS och tillväxt hos kvigor av köttras (Charolais-korsning) fodrade med 2 kg kornkross per dag kombinerat med antingen ensilage av höstvetete (3,80 kg TS dag<sup>-1</sup>, 645 g dag<sup>-1</sup>) eller gräsenilage (3,73 kg TS dag<sup>-1</sup>, 719 g dag<sup>-1</sup>).

McCartney & Vaage (1994) fodrade kvigor av köttras (Charolais-korsning) med ensilage av korn, havre eller rågvete, kompletterat med 1 kg kornkross per kviga och dag. Intaget av ensilage av korn och havre var 6,1 respektive 5,7 kg TS dag<sup>-1</sup>. Intaget av rågvete var 4,9 kg TS dag<sup>-1</sup> vilket var 20 respektive 15 % lägre än intaget av korn och havre. Kvigornas tillväxt var högst för korn (650 g dag<sup>-1</sup>), medel för havre (570 g dag<sup>-1</sup>) och lägst för rågvete (490 g dag<sup>-1</sup>). Skillnaden i tillväxt mellan korn och havre berodde främst på lägre smältbarhet hos havre. Den kemiska sammansättningen och intaget av TS av de båda ensilagen var lika. Samma ensilage utfodrades till tackor och även där var intaget av rågveteensilage betydligt lägre, 42 respektive 30 % lägre, än intaget av korn och havre. I båda fallen anges den grova strukturen med större andel strå och vassa stråbitar som orsak till det låga intaget av rågvete. Den större skillnaden i konsumtion hos får förklaras av att får är mer känsliga än nötkreatur för dessa faktorer (McCartney & Vaage, 1994).

O'Kiely & Moloney (1995) visade signifikant högre tillväxt för stutar av mjölkkras fodrade med höstkorn skördat vid degmodnad (869 g dag<sup>-1</sup>) jämfört med mjölkmodnad (617 g dag<sup>-1</sup>) trots att det senare skördade ensilaget hade lägre *in vitro*-smältbarhet av TS och lägre innehåll av RP. Detta förklaras av att stutarna troligtvis kompenserat det lägre näringsinnehållet med ett högre TS-intag. Intaget av TS registrerades dock inte i studien. Jämförelser gjordes även mellan tre olika kraftfoder som komplement till kornensilage. Blandning av kornkross och sojamjöl gav den högsta tillväxten (990 g dag<sup>-1</sup>), därefter enbart kornkross (831 g dag<sup>-1</sup>). Lägst tillväxt gav sojamjöl (686 g dag<sup>-1</sup>). Kornensilage kompletterat med kraftfoder, oavsett sort, gav betydligt högre tillväxt jämfört med enbart kornensilage (465 g dag<sup>-1</sup>; O'Kiely & Moloney, 1995).

## Metoder för analys av nedbrytning av helsäd

Smältbarheten är en viktig parameter när det gäller att bedöma grovfoder. Det är inte bara i vilken grad fodret kan smältas, utan även hastigheten med vilken nedbrytningen sker, som är av betydelse eftersom fodrets uppehållstid i vommen är begränsande på konsumtionen. Det finns en rad olika metoder för att fastställa smältbarhet *in vivo*, *in situ* och *in vitro* (Cherney & Cherney, 2003). För att bestämma nedbrytningsförloppet och smältbarheten i vommen för fodermedel är *in situ*-metoden generellt ansedd som referensmetod (De Boever *et al.*, 2002). Metoden kräver inkubering av fodret i fistulerade kor som ges standardiserad foderstat med rätt utfodringsintervall (Spanghero *et al.*, 2003) och metoden är svår att standardisera (Marten & Barnes, 1980). Metoden är dyrbar, arbets- och tidskrävande och passar därför inte för rutinmässiga analyser (De Boever *et al.*, 2002; Spanghero *et al.*, 2003). Det krävs därför utveckling av snabbare och billigare *in vitro*-metoder som utförs på laboratorier.

### ANKOM Daisy<sup>II</sup> *in vitro* metoden

*In vitro*-metoden beskriven av Tilley & Terry (1963) har traditionellt varit den vanligast använda *in vitro*-metoden för att studera smältbarhet (Stern *et al.*, 1997). Metoden innebär inkubering av varje prov i separata rör med vomvätska och buffert, med efterföljande filtrering (Wilman & Adesogan, 2000). Nu har dock en ny, enklare, teknik för att mäta NDF-nedbrytningen *in vitro* introducerats: Daisy<sup>II</sup> inkubatorn (ANKOM, Fairport, NJ, USA). Med denna metod försluts varje prov i en separat filterpåse och ett stort antal påsar med prov kan sedan inkuberas i samma kärl (Wilman & Adesogan, 2000). Tekniken kan vara mycket användbar för kommersiella laboratorier då den tillåter samtidig inkubering av ett stort antal prover vilket ökar effektiviteten, sänker kostnaderna och ger möjlighet att förbättra säkerheten på resultaten (Holden, 1999; Robinsson *et al.*, 1999; Wilman & Adesogan, 2000; Spanghero *et al.*, 2003). En viktig begränsning är användandet av vomvätska (Spanghero *et al.*, 2003). Det går dock att lagra vomvätska kortare perioder för transport till laboratorier som saknar donatordjur. Robinsson *et al.* (1999) visade att lagring av vomvätska i upp till 6,5 timmar inte påverkade *in vitro*-smältbarheten av NDF efter 48 timmars inkubering.

Holden (1999) jämförde Daisy<sup>II</sup> *in vitro*-metoden med den traditionella *in vitro*-metoden beskriven av Tilley & Terry (1963) för att bestämma smältbarheten av TS efter 48 timmars inkubering för tio olika fodermedel. Studien visade att data från Daisy<sup>II</sup> *in vitro*-metoden var väl jämförbara med dem från den traditionella metoden, samt att resultaten inte påverkas av att olika typer av fodermedel inkuberas tillsammans i samma kärl (Holden, 1999). Wilman & Adesogan (2000) jämförde samma metoder för bestämning av smältbarheten av TS, OS och NDF, efter 48 timmars inkubering, i italienskt rajgräs och lusern. Studien visade att Daisy<sup>II</sup> *in vitro*-metoden gav högre standardavvikelse och varians än den traditionella metoden. De såg även, till skillnad från Holden (1999), tecken på att de olika proverna i samma inkubationskärl påverkade varandra så att värdena hamnade närmare medelvärde för samtliga prover i kärlet (Wilman & Adesogan, 2000). Mandebvu *et al.* (2001) undersökte nedbrytningen och nedbrytningskinetiken av NDF med Daisy<sup>II</sup> *in vitro*-metoden för prover av majsensilage och lusernensilage. Resultaten stämde väl överens med värden i litteraturen, uppmätta med traditionell *in vitro*-metod, för likvärdiga foderprover (Mandebvu *et al.*, 2001). Även Julier *et al.* (1999) visade att metoden med filterpåsar ger korrekt förutsägning av *in vitro*-smältbarheten av NDF för lusern (Julier *et al.*, 1999).

*In vitro*-metoder kan inte exakt efterlikna alla förhållanden som råder i vommen, utan resultaten bör istället användas för att förutsäga *in vivo*-parametrar (Marten & Barnes, 1980). Resultat från Robinsson *et al.* (1999) visade att Daisy-tekniken (föregångaren till Daisy<sup>II</sup>) gav högre värden för nedbrytningen av NDF efter 48 timmar jämfört med en liknande *in situ*-metod för ensilage av flera olika grödor, bland annat helsäd av havre och vete. Även Spanghero *et al.* (2003) visade högre värden för NDF-nedbrytningen i 18 höprover med Daisy<sup>II</sup> *in vitro*-inkubering jämfört med värden för samma prover från *in situ*-inkubering. Korrelationen mellan NDF-nedbrytningen *in vitro* och *in situ* var dock hög ( $R^2=0,94$ ) och variationen var lägre för *in vitro*-metoden än *in situ* (Spanghero *et al.*, 2003). Varel and Kreikemeier (1995) jämförde Tilley and Terry *in vitro*-metoden med *in situ*-metoden för analys av nedbrytningsförloppet av lusern och foderlost. Tidsfördröjningen var kortare, hastigheten högre och nedbrytningen större för *in situ*-metoden jämfört med *in vitro*. Författarna anger den lägre koncentrationen av mikrober med *in vitro*-tekniken jämfört med mikrobkoncentrationen i vommen hos det levande djuret som orsak till skillnaden (Varel & Kreikemeier, 1995).

### Olika metoders användbarhet för helsäd

Weisbjerg (2004) använde en enzymatisk *in vitro* metod (EFOS, enzymfordøjeligt organisk stof) för att undersöka OS-smältbarheten av tio olika sorter av vårkorn samt tio olika sorter av höstvete. Resultaten jämfördes med nedbrytningen av NDF undersökt *in situ*. Studien visade signifikanta korrelationer inom gröda mellan nedbrytningshastigheten av NDF *in situ* och smältbarheten av OS *in vitro* ( $R^2=0,77 - 0,81$ ) liksom innehållet av NDF och ADF från den kemiska analysen ( $R^2=0,66 - 0,86$ ). Dock var varken fiberinnehållet eller *in vitro* smältbarheten korrelerade med smältbarheten av NDF *in situ*. Variationen i smältbarhet av NDF var liten, medan nedbrytningshastigheten varierade betydligt, vilket kan förklara skillnaderna i korrelationer. Studien visade även att det sker en betydlig nedbrytning (8-9 procentenheter) av NDF *in situ* vid ökning av inkubationstiden från 168 till 504 timmar. Det var dock en hög korrelation ( $R^2=0,71$ ) mellan nedbrytningsgraden av NDF efter 504 timmars inkubering och skattad nedbrytbar del av NDF från en smältbarhetsmodell där en längsta inkubationstid på 168 timmar användes (Weisbjerg, 2004).

Adesogan *et al.* (1998b) jämförde flera olika metoder för att analysera smältbarheten av OS i ensilage av höstvete, skördat vid tre olika utvecklingsstadier under två år. Metoderna som användes var två stegs *in vitro* beskriven av Tilley & Terry (1963), enzymatisk *in vitro*, *gas-in vitro*, *in situ* i får, nära-infraröd reflektans spektroskopi (NIRS), samt *in vivo* hos kasttrade baggar. NIRS var den enda metod som förutsade *in vivo* smältbarheten av OS, dock endast om en kalibreringskurva för veteensilage användes. Enligt författarna faller *in vitro* teknikerna på att de endast simulerar nedbrytningen i vommen och inte tar hänsyn till eventuell nedbrytning som sker i tarmen, samt att metoden inte tar hänsyn till att en del protein inte är smältbart *in vivo* på grund av Maillaird-reaktioner. Även kemisk sammansättning av ensilagen analyserades, men inget genomgående korrekt samband mellan innehållet av ADF, NDF eller ADF/NDF (innehåll av lignifierad cellvägg) med smältbarheten *in vivo* fanns (Adesogan *et al.*, 1998b).



# Material och metoder

## Växtmaterial och ensilering

Havre, korn, rågvete och vårvete odlades i storrutor med tre upprepningar i fält på Lanna försöksgård, SLU, Skara, under år 2002 och 2003. Varje ruta delades i två smårutor som skördades vid tidig mjölmognad (73, Zadoks *et al.*, 1974) respektive tidig degmognad (83, Zadoks *et al.*, 1974). Datum för sådd och skörd samt information om gödsling och kemisk bekämpning presenteras i tabell 2. Rutornas storlek var anpassad för att kunna mäta hektarsavkastningen. Vid skörden togs ett representativt prov ut som hackades till cirka 2 cm längd. Materialet från varje småruta ensilerades sedan i 4-liters småsilos. Vid inläggningen av grödan tillsattes Proens<sup>TM</sup> (4 liter per ton av 2/3 myrsyra och 1/3 propionsyra; Perstorp Speciality Chemicals AB, Perstorp, Sverige) eller Lactisil 200<sup>®</sup> NB (200 000 cfu av *Lactobacillus plantarum*, *Enterococcus faecium*, *Pediococcus acidilactici* och *Lactococcus lactis* per gram färskt material plus enzymet cellulas (6500 internationella enheter per gram) och natriumbensoat; Medipharm AB, Kågeröd, Sverige). Dessa ensilage jämfördes med ensilage utan tillsatsmedel (kontroll). En vätskemängd på 4 % av det färskas materialets vikt tillsattes samtliga ensilagebehandlingar. Totalt fanns det 72 ensilage per försöksår med 24 ensilage per tillsatsmedelsbehandling. Efter cirka 90 dagar öppnades silona och ensilagen frystes innan analys av kemisk sammansättning. I detta examensarbete redovisas endast färskt material och kontrollensilage. Resultat rörande kemisk sammansättning av ensilage behandlade med tillsatsmedel redovisas av Nadeau (2004a, b).

Tabell 2. Datum för sådd och skörd samt information om gödsling och kemisk bekämpning för samtliga grödor och utvecklingsstadiet av helsäd år 2002 och 2003.

År 2002		Gröda	Utvecklingsstadium	Sådd datum	Skörd datum
Gödsling:		Havre	Tidig mjölmognad	2002-04-17	2002-07-12
2002-04-22	50 kg N/ha till samtliga grödor	Havre	Tidig degmognad	2002-04-17	2002-07-29
2002-05-15	60 kg N/ha till samtliga grödor	Korn	Tidig mjölmognad	2002-04-17	2002-07-05
2002-05-23	20 kg N/ha till rågvete	Korn	Tidig degmognad	2002-04-17	2002-07-16
Kemisk bekämpning:		Rågvete	Tidig mjölmognad	2001-09-30	2002-06-25
2002-05-21	Ariane S 2,0 l/ha mot ogräs	Rågvete	Tidig degmognad	2001-09-30	2002-07-12
		Vårvete	Tidig mjölmognad	2002-04-17	2002-07-16
		Vårvete	Tidig degmognad	2002-04-17	2002-07-29
År 2003					
Gödsling:		Havre	Tidig mjölmognad	2003-04-17	2003-07-17
2003-05-07	100 kg N/ha till havre och vårvete	Havre	Tidig degmognad	2003-04-17	2003-07-31
	120 kg N/ha till korn	Korn	Tidig mjölmognad	2003-04-17	2003-07-11
	130 kg N/ha till rågvete	Korn	Tidig degmognad	2003-04-17	2003-07-22
Kemisk bekämpning:		Rågvete	Tidig mjölmognad	2002-09-20	2003-07-07
2003-06-01	Ariane S 1,7 l/ha + Mangan 0,8 l/ha mot ogräs	Rågvete	Tidig degmognad	2002-09-20	2003-07-17
2003-06-17	Comet 0,5 l/ha mot bladfläcksjuka	Vårvete	Tidig mjölmognad	2003-04-17	2003-07-14
		Vårvete	Tidig degmognad	2003-04-17	2003-07-29

## Analyser

### Kemisk sammansättning

Kemiska analyser genomfördes dels på torkade (60°C) prover, malda genom ett 1 mm såll, dels på pressvatten från blöta prover malda genom köttkvarn. Innehåll av RP, ammoniumkväve, stärkelse, socker, NDF, ADF, ADL, aska och vomvätskelöslig organisk substans (VOS) analyserades på torkade och malda prover av kontrollensilage vid AnalyCen AB, Lidköping. Torkade och malda prover av färskt material analyserades för innehåll av RP, ammoniumkväve, socker, stärkelse och NDF vid AnalyCen AB, Lidköping. Innehåll av TS i ensilage bestämdes vid 60°C i 24 timmar medan TS-halten i färskt material bestämdes vid 103°C i 24 timmar. Koncentrationen av RP bestämdes genom analys av totala kvävekoncentrationen enligt Kjeldahl (NMKL, 1976) i en Tecator ”autosampler 1035 analyzer”, multiplicerat med faktorn 6,25. Ammoniumkvävehalten bestämdes med Tecators ”Kjeltec Auto Sampler System 1035 Analyzer”. Stärkelse analyserades enzymatiskt enligt statens lantbrukskemiska laboratorium (SLL) 38 (1989) och socker enligt Ekelund (1966). Innehåll av NDF, ADF och ADL bestämdes enligt Goering och Van Soest (1970) och askhalten bestämdes vid 550°C i 16 timmar. Analys av organiska syror, etanol, 2,3-butandiol och pH genomfördes på pressvatten från blöta prover av kontrollensilage vid Kungsängens Forskningslaboratorium, SLU, Uppsala. Syror och alkoholen analyserades med HPLC-teknik (Andersson och Hedlund, 1983). Klostridiesporer analyserades på blöta prover av kontrollensilage endast från år 2003 enligt Jonsson (1990) vid AnalyCen AB, Lidköping. *In vitro* smältbarhet av organisk substans analyserades med VOS-metoden genom inkubering av prov i vomvätska och buffert (Lindgren, 1979) och genom inkubering av prov i buffert och tillsatta enzymer utan användning av vomvätska (EFOS) vid AnalyCen A/S, Fredricia, Danmark (Plantedirektoratet, 1993).

### In vitro-nedbrytning

*In vitro* nedbrytningskinetik av NDF och TS genomfördes på AnalyCen, Lidköping, under år 2003 för 2002 års ensilageprover, samt under år 2004 för 2003 års prover. Proverna torkades vid 60°C och maldes sedan genom ett 1 mm såll. En provmängd på 250 mg vägdes in i filterpåsar (ANKOM F57 Filter Bags, 4,5×5 cm, 57µm porstorlek) som sedan värmeförseglades.

Bufferten, ”Kansas State buffer” (Marten & Barnes, 1980), en fosfatbaserad buffert med urea, pH 6,85, spolades med CO<sub>2</sub> i två till fyra timmar före inkuberingen. Resazurin tillsattes bufferten som indikator. Färsk vomvätska från en fistulerad ko (se avsnittet om *in situ*) på Kungsängens forskningscentrum, SLU, Uppsala, transporterades i termos med flyg till Trollhättan och därifrån med bil till AnalyCen AB, Lidköping, där den silades genom två lager saftduk. Vomvätskan hölls vid en temperatur på 39°C under förberedelserna och spolades med CO<sub>2</sub> vid hantering. Bufferten berikades med mikrober genom att den sköljdes igenom foderresterna efter filtreringen av vomvätskan. En del vomvätska blandades sedan med tre delar av bufferten. Natriumsulfid och cysteinhydroklorid tillsattes som reducerande agent så att indikatorn skiftade från rosa till ofärgad. Proverna blötlades i buffert, 5 ml buffert per prov, i cirka en timme innan inkuberingen startades, genom att 20 ml per prov av den buffertutspädda vomvätskan tillsattes. Inkuberingen skedde i 4 liters glasflaskor, där samtliga påsar för en tid fanns i samma flaska, i värmeskåp, 39°C (Daisy<sup>II</sup> *in vitro* incubator, ANKOM, Fairport, NJ, USA; Figur 6 och 7). Flaskorna roterade sakta under hela inkubationstiden.



Figur 6. Utrustning för *in vitro*-inkuberingen: ANKOM Daisy<sup>II</sup> *in vitro*-inkubatorn.



Figur 7. Glasflaskor innehållande vomvätska, buffert och filterpåsar med prov i ANKOM Daisy<sup>II</sup> *in vitro*-inkubatorn.

Inkubationen avbröts efter 0, 6, 12, 18, 24, 48, 72, 96 och 120 timmar. Vid inkuberingarna år 2004 ersattes tiden 48 timmar med 36 timmar. Det användes dubbelprov för tiden 0 medan övriga tider hade enkelprover. Inkuberingen avbröts genom att proverna togs ur inkubationskärl och sköljdes i kallt destillerat vatten i cirka 15 minuter innan de sköljdes i aceton och placerades i dragskåp för att torka. För tiden 0 sköljdes påsarna med vatten omedelbart efter att vomvätskan tillsatts. Påsarna torkades sedan i torkskåp, 103°C, i minst fem timmar och vägdes för TS-bestämning. För varje tid fanns även en standard med hö samt en tom påse. Den tomma påsen användes för att korrigera för eventuellt inflöde av partiklar i påsen under inkuberingen samt innehåll av aska i påsen.

Askfri NDF analyserades på samtliga påsar efter *in vitro*-inkuberingen med ANKOM ”fiber analyzer” (ANKOM, Fairport, NJ, USA). Från vardera året uteslöts två NDF-värden och ett TS-värde av totalt 240 värden per år ur de fortsatta beräkningarna på grund av orimliga värden. För ett prov från andra året användes NDF inklusive aska på grund av fel i askningen.

### In situ-nedbrytning

*In situ* nedbrytningskinetik av NDF och TS genomfördes på ensilageprover från första året i försöket på Kungsängens forskningscentrum, SLU, Uppsala, under april och maj månad 2004 med tre vomfistulerade, icke dräktiga sinkor. Vomvätska från en av dessa kor användes också för *in vitro* inkuberingen. Korna utfodrades med 4 kg hö och 1,5 kg kraftfoder fördelat på två givor dagligen klockan 06:00 och 18:00. Först maldes torkade prover genom ett 1,5 mm såll. En provmängd på 1,5 gram vägdes in i nylonpåsar (125 x 60 mm innermått, 45 µm porstorlek). Påsarna fästes på ringar av plastslang och förslöts med självslåsande buntband av plast, sex påsar per ring. Ringarna fästes på bäkroppar av pvc-rör, fyra ringar per bäkropp, en bäkropp för varje tid och ko, som placerades i vommen på fistelkorna. Bäkropparna var fästa i fistellocket med ett snöre. Påsarna inkuberades i vommen i 0, 4, 8, 16, 24, 48, 72 och 120 timmar. Sex replikat för varje prov och tid fördelades så att varje ko fick dubbelprov av varje behandling.

Proverna inkuberades i två olika omgångar med tolv prover i varje omgång. Proverna fördelades mellan omgångarna så att samtliga kombinationer av grödor och utvecklingsstadier fanns med i båda omgångarna. Alla inkuberingar startades klockan 8 på morgonen utom 16

timmars, samt en av bärkropparna för 120 timmar som startades klockan 16. Efter inkuberingen tvättades påsarna i kallt kranvatten med en hushållstvättmaskin i ungefär 20 minuter. Proverna för tiden 0 timmar tvättades enbart, utan föregående inkubering. Efter tvätt torkades påsarna i 45°C i cirka 24 timmar och vägdes. Tre påsar av totalt 1056 uteslöts på grund av att förslutningen inte fungerat.

Askfri NDF analyserades på provresterna efter *in situ*-inkuberingen samt på ursprungsproverna på Kungsängens forskningscenter, Uppsala, med värmeskåpsmetoden (Chai & Udén, 1998). Proverna behandlades med  $\alpha$ -amylas (Termamyl<sup>®</sup>300L, NOVO Nordisk A/S) i 1,5 timme i värmeskåp, 85°C, före analys av NDF. De sex replikaten av varje prov slogs samman till ett prov för analys av NDF och TS. För tiden 0 timmar användes två upprepningar per prov, vilka analyserades separat med avseende på NDF och TS. Ursprungsprovet analyserades, malt genom ett 1 mm såll, som dubbelprov för varje invägt prov.

## Smältbarhetsmodell

Vattenlöslig TS beräknades som differensen mellan initial TS och TS i det tvättade provet ( $\text{g kg}^{-1}$  initial TS). Försvinnandet av TS (vattenlöslig + vomnedbrytbar TS) beräknades som differensen mellan initial TS och TS efter inkubering ( $\text{g kg}^{-1}$  initial TS). Effekt av vattensköljning på NDF beräknades som differensen mellan initial NDF och NDF i det tvättade provet ( $\text{g kg}^{-1}$  initial NDF).

Data för nedbrytningskinetik av NDF ( $\text{g NDF kg}^{-1}$  initial TS) passades till en första ordningens icke-linjär smältbarhetsmodell (Mertens, 1977) i SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Modellen beräknar koncentrationen av potentiellt nedbrytbar NDF, nedbrytningshastigheten av potentiellt nedbrytbar NDF samt tidsfördröjningen innan nedbrytningen börjar. Potentiellt icke nedbrytbart NDF bestämdes som skillnaden mellan NDF-halten av det tvättade provet vid tiden 0 och potentiellt nedbrytbart NDF.

## Statistisk modell

Data om näringsinnehåll i ensilage och färskt material, vattenlöslig TS och TS-försvinnande i ensilage, samt sköljningseffekt på NDF och data från smältbarhetsmodellen, analyserades i en split-plot design med gröda som storruta (main plot) och utvecklingsstadium som småruta (sub plot) i PROC GLM, SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Eventuella negativa värden sattes till noll. När näringsinnehållet i både färskt material och ensilage var analyserat, lades effekt av behandling (färskt material och ensilage) in som sub-sub plot i den statistiska modellen så att det blev en split-split-plot design. Vid jämförelse av *in situ*- och *in vitro*-metoden med avseende på vattenlöslig TS, TS-försvinnande, sköljningseffekt på NDF och nedbrytningskinetik av NDF på ensilageprov från 2002, lades effekt av metod in som sub-sub plot i modellen så att det också blev en split-split-plot design. Det fanns tre upprepningar i fält per år. Eftersom odlingsplatsen skilde mellan de två försöksåren, var replikaten nästade inom år. Huvud- och samspelseffekter med år undersöktes. Eftersom endast ett fåtal variabler hade signifikanta samspelseffekter med år, visas resultaten som medelvärden av de två åren. När  $F$ -värdet för huvudeffekt av gröda och samspelseffekterna mellan gröda, utvecklingsstadium, behandling och metodik var signifikant ( $P < 0,05$ ), fastställdes minsta signifikanta skillnader ( $\text{LSD}_{0,05}$ ) mellan enskilda behandlingars medelvärden vid en signifikansnivå på 5 %. När  $F$ -

värdet för samspelseffekterna tenderade att vara signifikant ( $P < 0,10$ ), fastställdes minsta signifikanta skillnader mellan behandlingsmedelvärden vid 10 % signifikansnivå. Signifikanta skillnader mellan två medelvärden i huvudeffekterna visas med \* ( $P < 0,05$ ), \*\* ( $P < 0,01$ ) eller \*\*\* ( $P < 0,001$ ).

Samband mellan smältbarheter av OS, TS och NDF *in situ* (TS och NDF) och *in vitro* samt mellan ensilagens kemiska sammansättning och dess smältbarhet beskrivs genom bestämning av  $R^2$ , uträknad i Microsoft Office Excel.



# Resultat

## Kemisk sammansättning av färskt material och ensilage

### År

Torrsubstanshalten var lägre och NDF- och RP-halten högre andra året jämfört med första i både färskt material och ensilage (Tabell 3). Socker och stärkelse skilde ej i färskt material mellan de båda åren, men i ensilagen var sockerhalten högre och stärkelsehalten lägre andra året jämfört med första årets ensilage. Innehållet av ADF var högre medan innehållet av ADL och aska var lägre i andra årets ensilage. Smältbarheten av OS enligt VOS var högre andra året, medan EFOS-smältbarheten inte skilde mellan åren.

Tabell 3. Kemisk sammansättning i färskt material och ensilage av helsäd ( $\text{g kg}^{-1}$  TS<sup>1</sup> eller som anges) och smältbarhet av organisk substans ( $\text{g kg}^{-1}$ ) i helsädesensilage från två olika år. Medelvärden över fyra grödor och två utvecklingsstadier med tre upprepningar per år.

	Färskt material		Ensilage	
	2002	2003	2002	2003
TS, $\text{g kg}^{-1}$	337 ***	322	307 ***	275
NDF <sup>2</sup>	515	523 *	518	540 ***
Råprotein	70	86 ***	75	95 ***
Socker	146	141	38	47 **
Stärkelse	118	117	115 *	99
ADF <sup>3</sup>	-	-	309	318 *
ADL <sup>4</sup>	-	-	50 ***	33
Aska	-	-	78 **	71
VOS <sup>5</sup>	-	-	720	754 ***
EFOS <sup>6</sup>	-	-	550	547

\*, \*\*, \*\*\*Två medelvärden inom samma rad för färskt material respektive ensilage skiljer sig signifikant (\* $P < 0,05$ , \*\* $P < 0,01$ , \*\*\* $P < 0,001$ ).

<sup>1</sup>TS=torrsubstans.

<sup>2</sup>NDF=neutral detergent fibre.

<sup>3</sup>ADF=acid detergent fibre.

<sup>4</sup>ADL=acid detergent lignin.

<sup>5</sup>VOS=vomvätskelöslig organisk substans.

<sup>6</sup>EFOS=enzymfordøjeligt organisk stof.

Skillnader mellan grödor och utvecklingsstadier var i de flesta fall lika de båda åren, det vill säga i de flesta fall fanns inga signifikanta samspel med år, varför ett medelvärde över åren redovisas nedan.

### Gröda och utvecklingsstadium

Torrsubstanshalten var högre i vårvete än i de övriga grödorna, både i ensilaget och i det färska materialet (Tabell 4). Torrsubstanshalten ökade med 30 % mellan mjölk- och degmognad och var högre i det färska materialet än i ensilaget.

Havre och vårvete hade högst halt NDF i genomsnitt över färskt material och ensilage (546 respektive 544  $\text{g kg}^{-1}$  TS). Korn innehöll mer NDF än rågvete (513 respektive 492  $\text{g kg}^{-1}$  TS;  $P < 0,001$ ). Halten NDF minskade med senare utvecklingsstadium från i genomsnitt

559 g kg<sup>-1</sup> TS vid tidig mjölkmodning till 489 g kg<sup>-1</sup> TS vid tidig degmodning ( $P < 0,001$ ). NDF-halten var något högre i ensilage jämfört med i färskt material.

Råproteinhalten ökade under ensileringen för alla prover utom havre vid tidig mjölkmodning. Den största ökningen skedde i rågvete (12 %) och vårvete (14 %) vid tidig mjölkmodning. Samtliga RP-halter minskade mellan tidig mjölk- och tidig degmodning. Mest minskade RP-halten i rågvete (17 %). Lägst var minskningen i havre och vårvete (8 respektive 9 %). Rågvete hade högst RP-halt i både färskt material och ensilage vid de båda utvecklingsstadierna. Vid tidig mjölkmodning innehöll korn mer RP än havre och vårvete. Vid tidig degmodning var det ingen skillnad mellan havre och korn, som båda innehöll mer RP än vårvete.

Socketthalten minskade under ensileringen och mer socker förbrukades i tidigt skördad (80 %) än i sent skördad gröda (46 %). Tidigt skördad havre minskade mest i sockernehåll (88 %), och var också det ensilage som innehöll minst socker. Sent skördad havre hade lägsta sockerhalten i färskt material och var också det prov som minskade minst (19 %) i sockerhalt under ensileringen. I färskt material visades en sänkning av sockerhalten mellan tidig mjölk- och tidig degmodning på i genomsnitt 65 % för havre, korn och vårvete, medan sockerhalten i rågvete endast sjönk med 21 %. Havre hade lägst sockerhalt i färskt material vid båda utvecklingsstadierna. Vid tidig mjölkmodning visades ingen skillnad mellan de övriga grödorna, medan det vid tidig degmodning var högre sockerhalt i rågvete än i vårvete och korn.

Stärkelsehalten ökade med 5 gånger från i genomsnitt 32 g kg<sup>-1</sup> TS vid tidig mjölkmodning till 192 g kg<sup>-1</sup> TS vid tidig degmodning ( $P < 0,001$ ). Korn hade den högsta stärkelsehalten (133 g kg<sup>-1</sup> TS) följt av havre och vårvete (114 respektive 113 g kg<sup>-1</sup> TS) medan rågvete hade den lägsta stärkelsehalten (89 g kg<sup>-1</sup> TS;  $P < 0,001$ ). För rågvete fanns dock en betydande skillnad mellan de båda åren. Stärkelseinnehållet i ensilagen av rågvete från år 2002 var i genomsnitt över utvecklingsstadier 118 g kg<sup>-1</sup> TS medan motsvarande värde för 2003 års prover var 44 g kg<sup>-1</sup> TS. Stärkelsehalten minskade obetydligt under ensileringen.



Tabell 4. Innehåll av TS<sup>1</sup> (g kg<sup>-1</sup>), NDF<sup>2</sup>, råprotein, socker och stärkelse (g kg<sup>-1</sup> TS) i färskt material (fm) och ensilage (ens) av helsäd av fyra grödor skördade vid tidig mjölkmodnad (t. mjölk) och tidig degmodnad (t. deg). Medelvärden över två år med tre upprepningar per år.

		Beh. <sup>3</sup> Utv. <sup>4</sup>	Gröda				P <sup>5</sup>	LSD <sub>0,05</sub> <sup>6</sup>	Medel	
			Havre	Korn	Rågvete	Vårvete			Beh. x Utv.	Beh.
TS	fm	t. mjölk	252	277	292	323	NS <sup>7</sup>		287 <sup>c</sup>	
		t. deg	368	347	350	427			373 <sup>a</sup>	
	ens	t. mjölk	233	238	252	290	0,003	6	253 <sup>d</sup>	
		t. deg	328	302	300	383			328 <sup>b</sup>	
	fm	medel	310	31,2	321	375			329 ***	
	ens	medel	281	270	276	337			291	
NDF	fm	t. mjölk	582	549	518	570	NS		555	
		t. deg	509	462	447	513			483	
	ens	t. mjölk	587	558	531	575	NS		563	
		t. deg	507	482	472	518			495	
	fm	medel	545	506	483	542			519	
	ens	medel	547	520	502	547			529 **	
Råprotein	fm	t. mjölk	79	82	99	71	0,01	3	83 <sup>b</sup>	
		t. deg	70	72	83	66			73 <sup>d</sup>	
	ens	t. mjölk	81	90	111	81	0,002	2	91 <sup>a</sup>	
		t. deg	77	78	91	72			80 <sup>c</sup>	
	fm	medel	74	77	91	70			78	
	ens	medel	79	84	101	77			85 ***	
Socker	fm	t. mjölk	118	217	226	215	0,0002	13	194 <sup>a</sup>	
		t. deg	37	82	178	77			94 <sup>b</sup>	
	ens	t. mjölk	14	38	54	56	0,0001	9	40 <sup>c</sup>	
		t. deg	30	27	78	44			45 <sup>c</sup>	
	fm	medel	78	150	202	146			144 ***	
	ens	medel	22	33	66	50			43	
Stärkelse	fm	t. mjölk	52	38	38	27	NS		39	
		t. deg	194	238	157	196			196	
	ens	t. mjölk	33	24	26	20	NS		26	
		t. deg	177	232	136	209			189	
	fm	medel	123	138	97	111			117 **	
	ens	medel	105	128	81	115			107	

<sup>a, b, c, d</sup>Medelvärden med olika bokstäver inom en variabel skiljer sig signifikant ( $P < 0,05$ ).

<sup>\*\*</sup>, <sup>\*\*\*</sup>Två medelvärden för färskt material respektive ensilage inom samma variabel skiljer sig signifikant ( $**P < 0,01$ ,  $***P < 0,001$ ).

<sup>1</sup>TS=torrsubstans.

<sup>2</sup>NDF=neutral detergent fibre.

<sup>3</sup>Beh.=behandling (färskt material respektive ensilage).

<sup>4</sup>Utv.=utvecklingsstadium.

<sup>5</sup>P-värde för samspelen gröda x utvecklingsstadium x behandling samt gröda x behandling (kursiverat).

<sup>6</sup>LSD<sub>0,05</sub>=least significant difference, minsta signifikanta skillnad vid 5 % signifikansnivå för samspelen gröda x utvecklingsstadium x behandling samt gröda x behandling (kursiverat).

<sup>7</sup>NS=not significant, samspelen gröda x utvecklingsstadium x behandling respektive gröda x behandling (kursiverat) ej signifikant.

Korn och rågvete hade lägre halt ADF och ADL än havre och vårvete som ett genomsnitt över utvecklingsstadier (Tabell 5). Halten ADF minskade mellan tidig mjölk- och tidig degmodnad medan ligninhalten inte påverkades av utvecklingsstadium. Askhalten var högre vid tidig mjölkmodnad än vid tidig degmodnad som ett genomsnitt över samtliga grödor. Havre och

korn hade högst halt aska och rågvete innehöll mer aska än vårvete som genomsnitt över utvecklingsstadier.

Smältbarheten av OS var högst i korn och rågvete enligt både VOS och EFOS. EFOS visade ingen skillnad mellan havre och vårvete, medan smältbarheten enligt VOS var högre i vårvete än i havre. Smältbarheten enligt EFOS ökade med i genomsnitt 6,3 procentenheter mellan tidig mjölk- och tidig degmognad. Med VOS visades ingen skillnad mellan utvecklingsstadier utom för rågvete där smältbarheten ökade med 5,7 procentenheter från tidig mjölk- till tidig degmognad. Den genomsnittliga smältbarheten av OS enligt VOS var 34 % högre än den enligt EFOS.

Tabell 5. Innehåll av ADF<sup>1</sup>, ADL<sup>2</sup> och aska (g kg<sup>-1</sup> torrs substans) samt smältbarheten av organisk substans (g kg<sup>-1</sup>) enligt VOS<sup>3</sup> och EFOS<sup>4</sup> i helsädesensilage av fyra olika grödor skördade vid tidig mjölk- (t. mjölk) och tidig degmognad (t. deg). Medelvärden över två år med tre upprepningar per år.

	Utv. <sup>5</sup>	Gröda				P <sup>6</sup>	LSD <sub>0,05</sub> <sup>7</sup>	Medel
		Havre	Korn	Rågvete	Vårvete			Utv.
ADF	t. mjölk	357	320	317	353	NS <sup>8</sup>		337 ***
	t. deg	305	268	274	315			290
	medel	331	294	295	334	0,0001	11,2	
ADL	t. mjölk	46,3	35,7	37,2	47,0	NS		41,6
	t. deg	46,1	35,3	34,2	46,5			40,5
	medel	46,2	35,5	35,7	46,7	0,0001	3,7	
aska	t. mjölk	78,7	83,0	77,8	72,8	0,06	2,8†	78,1 ***
	t. deg	74,8	73,2	68,5	66,2			70,7
	medel	76,8	78,1	73,2	69,5	0,0001	2,9	
VOS	t. mjölk	657	787	758	718	0,03	36	730
	t. deg	637	803	815	722			744
	medel	647	795	787	720	0,0001	22	
EFOS	t. mjölk	484	550	545	488	NS		517
	t. deg	542	626	610	543			580 ***
	medel	513	588	577	515	0,0001	15	

\*\*\*Två medelvärden inom samma variabel skiljer sig signifikant ( $P < 0,001$ ).

<sup>1</sup>ADF=acid detergent fibre.

<sup>2</sup>ADL=acid detergent lignin.

<sup>3</sup>VOS=vomvätskelöslig organisk substans.

<sup>4</sup>EFOS=enzymfordöjligt organisk stof.

<sup>5</sup>Utv.=utvecklingsstadium.

<sup>6</sup>P-värde för samspelet gröda x utvecklingsstadium samt huvudeffekt av gröda (kursiverat).

<sup>7</sup>LSD<sub>0,05</sub>=least significant difference, minsta signifikanta skillnad vid 5 % signifikansnivå för samspelet gröda x utvecklingsstadium samt huvudeffekt av gröda (kursiverat).

<sup>8</sup>NS=not significant, samspelet gröda x utvecklingsstadium ej signifikant.

†LSD vid 10 % signifikansnivå.

## Hygienisk kvalitet

De tidigt skördade ensilagen innehöll mer mjölksyra och ättiksyra jämfört med de sent skördade (Tabell 6). Det var ett bra förhållande mellan mjölksyra och ättiksyra i ensilagen. Den högre syraproduktionen vid tidig skörd ledde till lägre pH vid tidig än vid sen skörd för samtliga grödor, förutom korn, som inte skilde sig i pH mellan utvecklingsstadierna. Sent

skördad havre hade hög halt smörsyra och innehöll mycket klostridiesporer. Även sent skördat vårvete hade hög smörsyrainhalt och sporhalt samt lägre mjölksyrainhalt än de övriga ensilagen.

Tabell 6. Fermentationsprodukter ( $g\ kg^{-1}\ TS^1$ ), klostridiesporer ( $\log\ CFU^2\ g^{-1}$ ) och pH i helsädesensilage av fyra olika grödor skördade vid tidig mjölkmodnad (t. mjölk) och tidig degmodnad (t. deg). Medelvärden över två år med tre upprepningar per år. Klostridiesporer endast från år 2003.

	Utv. <sup>3</sup>	Gröda				<i>P</i> <sup>4</sup>	LSD <sub>0,05</sub> <sup>5</sup>	Medel
		Havre	Korn	Rågvede	Vårvede			Utv.
pH	t. mjölk	4,13	4,15	4,12	4,10	0,004	0,11	4,13
	t. deg	4,40	4,10	4,25	4,27			4,25***
	medel	4,27	4,13	4,18	4,18	NS <sup>6</sup>		
Mjölksyra	t. mjölk	98,8	79,7	72,7	55,9	0,001	10,3	76,8***
	t. deg	46,6	57,9	50,7	26,0			45,3
	medel	72,7	68,8	61,7	41,0	0,0001	8,8	
Ättiksyra	t. mjölk	17,1	28,4	27,4	22,5	0,0008	3,1	23,8***
	t. deg	5,6	11,8	20,2	6,3			11,0
	medel	11,3	20,1	23,8	14,4	0,0001	2,7	
Propionsyra	t. mjölk	1,3	1,3	1,2	1,0	NS		1,2
	t. deg	1,8	1,0	1,0	0,8			1,2
	medel	1,6	1,1	1,1	0,9	NS		
Smörsyra	t. mjölk	0,9	0,8	0,9	1,1	0,03	3,9	0,9
	t. deg	8,8	1,1	0,7	4,8			3,8**
	medel	4,8	1,0	0,8	3,0	0,03	2,9	
Klostridiesporer	t. mjölk	1,0	1,0	1,0	1,0	0,01	0,7	1,0
	t. deg	3,0	1,8	1,0	2,6			2,1***
	medel	2,0	1,4	1,0	1,8	0,02	0,6	
Etanol	t. mjölk	9,2	12,1	16,9	10,1	0,003	3,6	12,1
	t. deg	12,7	15,6	11,1	11,9			12,8
	medel	10,9	13,9	14,0	11,0	NS		
2-3-Butandiol	t. mjölk	4,2	5,6	7,8	9,1	0,05	2,3†	6,7
	t. deg	6,0	3,3	4,3	9,5			5,8
	medel	5,1	4,5	6,1	9,3	0,01	2,8	

\*\* , \*\*\*Två medelvärden inom samma variabel skiljer sig signifikant (\*\**P* < 0,01, \*\*\**P* < 0,001).

<sup>1</sup>TS=torrsubstans.

<sup>2</sup>CFU=colony forming units.

<sup>3</sup>Utv.=utvecklingsstadium.

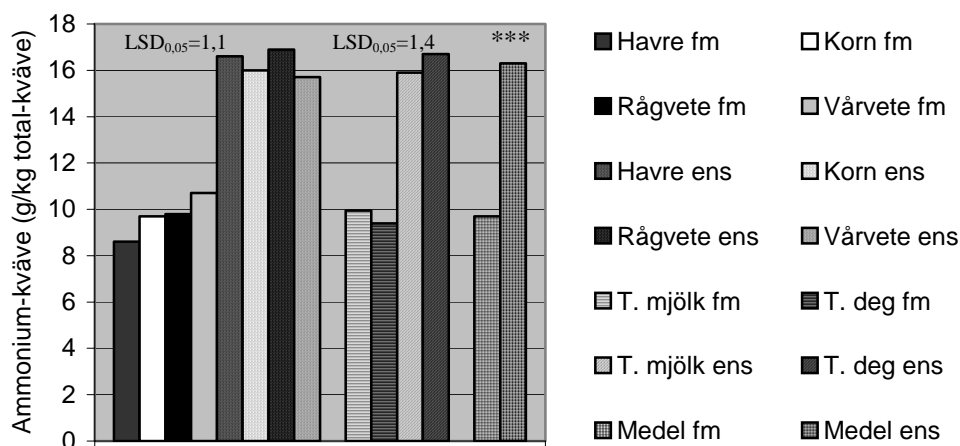
<sup>4</sup>*P*-värde för samspelet gröda x utvecklingsstadium samt huvudeffekt av gröda (kursiverat).

<sup>5</sup>LSD<sub>0,05</sub>=least significant difference, minsta signifikanta skillnad vid 5 % signifikansnivå för samspelet gröda x utvecklingsstadium samt huvudeffekt av gröda (kursiverat).

<sup>6</sup>NS=not significant, samspelet gröda x utvecklingsstadium respektive huvudeffekt av gröda (kursiverat) ej signifikant.

†LSD vid 10 % signifikansnivå.

Andelen ammonium-kväve av total-kväve ökade under ensileringen med i genomsnitt 70 % (Figur 8). Ökningen var störst i havre och lägst i vårvete. Samspelet gröda x utveckling x behandling var ej signifikant för innehåll av ammonium-kväve.



Figur 8. Innehåll av ammonium-kväve ( $\text{g kg}^{-1}$  total-kväve) i färskt material (fm) och ensilage (ens) av helsäd av fyra grödor skördade vid tidig mjölmognad (t. mjölk) och tidig degmognad (t. deg). Genomsnitt för gröda respektive utvecklingsstadium över två år med tre upprepningar per år.  $\text{LSD}_{0,05}$ =least significant difference, minsta signifikanta skillnad vid 5 % signifikansnivå för samspelet behandling x gröda respektive behandling x utvecklingsstadium; \*\*\*Två medelvärden för färskt material respektive ensilage skiljer sig signifikant ( $P < 0,001$ ).

## Löslighet och vombredbrytning av torrs substans och fiber

### Vattenlöslighet av torrs substans

Lösligheten av TS vid sköljning skilde ej mellan *in situ*- och *in vitro*-metoden för 2002 års prover ( $P = 0,8$ ) och inga samspel med metod visades (Tabell 7). Däremot fanns en betydande skillnad mellan de båda åren för *in vitro*-metoden ( $P < 0,001$ ), där första årets sköljning gav en genomsnittlig löslighet på  $377 \text{ g kg}^{-1}$  jämfört med  $288 \text{ g kg}^{-1}$  andra året. Det fanns också signifikanta samspel mellan år och utvecklingsstadium ( $P < 0,01$ ) samt mellan år x gröda x utvecklingsstadium ( $P < 0,05$ ).

För första årets prover var lösligheten högre vid tidig degmognad jämfört med tidig mjölmognad för både *in situ*- och *in vitro*-metoden. Andra året gällde samma förhållande för rågvete, medan *in vitro*-lösligheten av TS för korn och vårvete minskade med senare utvecklingsstadium. Rågvete hade högst löslighet följt av korn första året för båda metoderna, men det var endast signifikant skillnad mellan dessa grödor med *in situ*-metoden. Havre och vårvete, som inte skilde sig åt i löslighet av TS, hade lägst löslighet med båda metoderna första året. Andra året var skillnaderna mellan grödor olika vid de olika utvecklingsstadierna.

Tabell 7. Vattenlöslig TS<sup>1</sup> (g kg<sup>-1</sup> initialt TS) med sköljmetoden använd vid in situ-metoden (år 2002) och in vitro-metoden (år 2002 och 2003) för helsädesensilage av fyra grödor skördade vid tidig mjölkmodnad (t. mjölk) och tidig degmodnad (t. deg) med tre upprepningar per år.

Metod	År	Utv. <sup>2</sup>	Gröda				P <sup>3</sup>	LSD <sub>0,05</sub> <sup>4</sup>	Medel
			Havre	Korn	Rågvete	Vårvete			Utv.
<i>In situ</i>	2002	t. mjölk	299	354	399	318	NS <sup>5</sup>		342
		t. deg	390	436	466	366			414 ***
		medel	345	395	432	342			0,0003
<i>In vitro</i>	2002	t. mjölk	327	350	392	355	NS		356
		t. deg	370	410	453	358			398 *
		medel	348	380	422	356			0,03
<i>In vitro</i>	2003	t. mjölk	276	320	317	326	0,0001	26	310 ***
		t. deg	288	219	347	213			267
		medel	282	270	332	270			0,0003

\*, \*\*\*Två medelvärden inom samma metod och år skiljer sig signifikant (\* $P < 0,05$ , \*\*\* $P < 0,001$ ).

<sup>1</sup>TS=torrs substans.

<sup>2</sup>Utv.=utvecklingsstadium.

<sup>3</sup>P-värde för samspelet gröda x utvecklingsstadium samt huvudeffekt av gröda (kursiverat).

<sup>4</sup>LSD<sub>0,05</sub>=least significant difference, minsta signifikanta skillnad vid 5 % signifikansnivå för samspelet gröda x utvecklingsstadium samt huvudeffekt av gröda (kursiverat).

<sup>5</sup>NS=not significant, samspelet gröda x utvecklingsstadium ej signifikant.

### Försvinnande av torrs substans

Samspelet mellan gröda och utvecklingsstadium för försvinnandet av TS (löslig och vombredbrytbar TS) var ej signifikant varför medelvärden för gröda respektive utvecklingsstadium redovisas i tabell 8. Förloppet för försvinnandet av TS över tiden *in situ* år 2002 samt *in vitro* år 2002 och 2003 visas i figur 9, 10 och 11 som medelvärden för respektive gröda. Samspelet med metod var ej signifikanta, men i genomsnitt över gröda och utvecklingsstadium gav *in situ*-metoden större försvinnande av TS än *in vitro* ( $P < 0,001$ ; *in situ* 564, 641, 749; *in vitro* 457, 557, 660 g kg<sup>-1</sup> initialt TS för 24, 48 respektive 120 timmar) år 2002. Samspeleffekt med år för *in vitro*-metoden testades endast för 24 och 120 timmars inkubering, eftersom dessa tider var gemensamma för båda åren. Samspelet gröda x år var det enda signifikanta samspelet vid båda tiderna ( $P < 0,05$ ,  $P < 0,01$  för 24 respektive 120 timmar). Korn och rågvete hade högre *in situ*- och *in vitro*-försvinnande av TS än havre och vårvete vid samtliga tre tidpunkter år 2002. Havre hade lägre försvinnande av TS än vårvete vid 48 och 120 timmars inkubering när *in vitro*-metoden användes 2002. Korn hade det högsta *in vitro*-försvinnandet av TS 2003, följt av rågvete och vårvete, som endast skildes åt vid 120 timmars inkubering. Havre hade lägst försvinnande av TS vid samtliga tider 2003. Ingen betydande effekt av utvecklingsstadium visades på försvinnandet av TS. Det var dock signifikant större *in situ*-försvinnande vid 120 timmars inkubering för grödor skördade vid tidig mjölkmodnad än för grödor skördade vid tidig degmodnad. Det var också 8 % högre *in vitro*-försvinnande av TS vid 24 timmar år 2003 för grödor skördade vid tidig degmodnad än när de skördades vid tidig mjölkmodnad. Denna skillnad utjämnades dock senare under inkuberingen.

Tabell 8. Försvinnande av TS<sup>1</sup> (g kg<sup>-1</sup> initialt TS) in situ (år 2002) och in vitro (år 2002 och 2003) efter 24 och 48 respektive 36 samt 120 timmars inkubering av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid tidig mjölmognad (t. mjölk) och tidig degmognad (t. deg) med tre upprepningar per år.

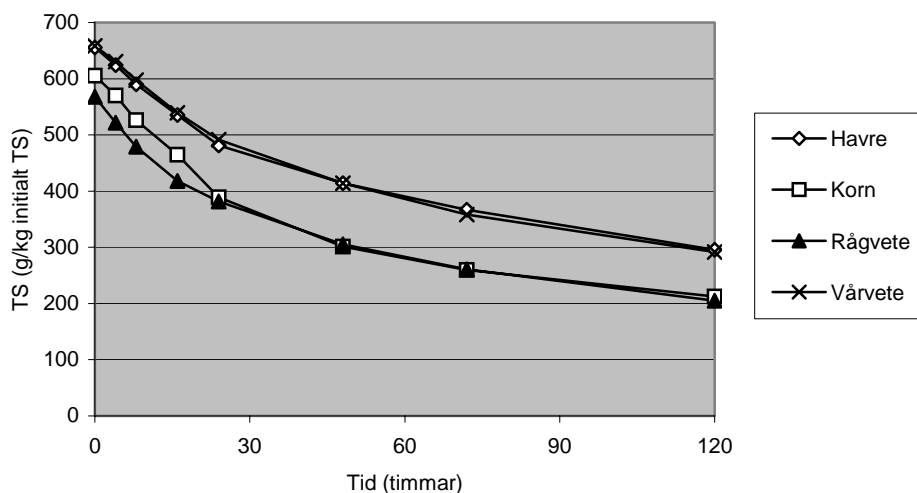
Inkubations- tid	Metod	År	Medel gröda				Medel utv. <sup>2</sup>	
			Havre	Korn	Rågvete	Vårvete	T. mjölk	T. deg
24 timmar	<i>In situ</i>	2002	519 <sup>b</sup>	611 <sup>a</sup>	619 <sup>a</sup>	509 <sup>b</sup>	563	565
	<i>In vitro</i>	2002	413 <sup>b</sup>	489 <sup>a</sup>	512 <sup>a</sup>	415 <sup>b</sup>	445	470
	<i>In vitro</i>	2003	403 <sup>c</sup>	506 <sup>a</sup>	469 <sup>b</sup>	441 <sup>b</sup>	437	472 <sup>*</sup>
48 timmar	<i>In situ</i>	2002	586 <sup>b</sup>	699 <sup>a</sup>	695 <sup>a</sup>	586 <sup>b</sup>	642	641
	<i>In vitro</i>	2002	491 <sup>c</sup>	597 <sup>a</sup>	612 <sup>a</sup>	529 <sup>b</sup>	555	559
36 timmar	<i>In vitro</i>	2003	453 <sup>c</sup>	564 <sup>a</sup>	530 <sup>b</sup>	503 <sup>b</sup>	505	521
120 timmar	<i>In situ</i>	2002	705 <sup>b</sup>	787 <sup>a</sup>	795 <sup>a</sup>	708 <sup>b</sup>	754 <sup>**</sup>	744
	<i>In vitro</i>	2002	607 <sup>c</sup>	699 <sup>a</sup>	707 <sup>a</sup>	628 <sup>b</sup>	660	660
	<i>In vitro</i>	2003	577 <sup>d</sup>	699 <sup>a</sup>	657 <sup>b</sup>	616 <sup>c</sup>	636	639

<sup>a, b, c, d</sup> Medelvärden för gröda med olika bokstäver inom samma rad skiljer sig signifikant ( $P < 0,05$ ).

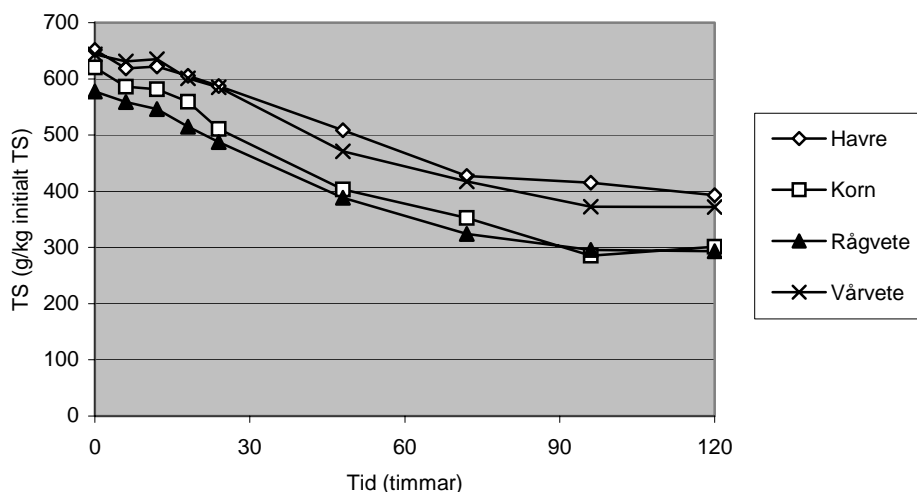
<sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> Två medelvärden för utvecklingsstadium inom samma rad skiljer sig signifikant ( $*P < 0,05$ ,  $**P < 0,01$ ).

<sup>1</sup>TS=torrsubstans.

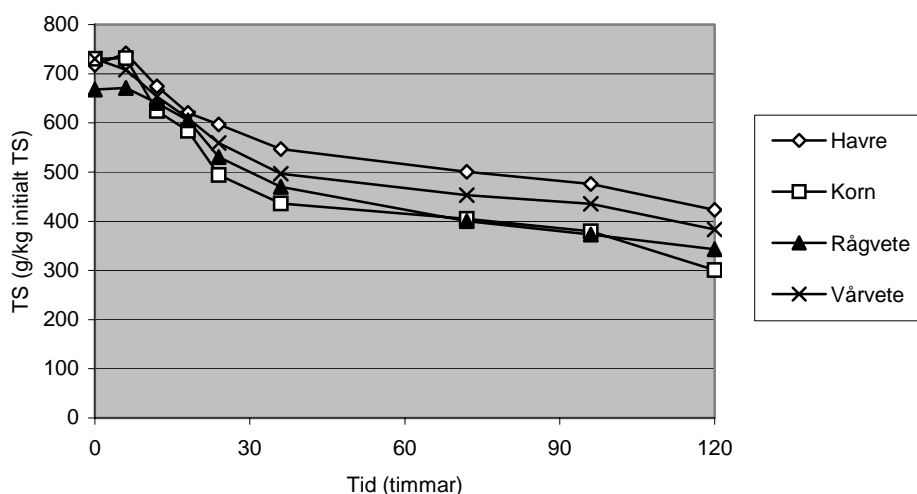
<sup>2</sup>Utv.=utvecklingsstadium.



Figur 9. Försvinnande av torrsubstans (TS) i helsädesensilage av fyra grödor under inkuberingen in situ år 2002, genomsnitt över två utvecklingsstadier (tidig mjölk- och tidig degmognad) med tre upprepningar.



Figur 10. Försvinnande av torrsubstans (TS) i helsädesensilage av fyra grödor under inkuberingen *in vitro* år 2002, genomsnitt över två utvecklingsstadier (tidig mjölk- och tidig degmognad) med tre uppreppningar.



Figur 11. Försvinnande av torrsubstans (TS) i helsädesensilage av fyra grödor under inkuberingen *in vitro* år 2003, genomsnitt över två utvecklingsstadier (tidig mjölk- och tidig degmognad) med tre uppreppningar.

### Effekt av sköljning på fiber

Inga samspelseffekter med metod visades för effekt av sköljning på NDF för 2002 års prover förutom en tendens för samspelen metod x utvecklingsstadium ( $P < 0,10$ ). *In situ*-metoden gav dock högre försvinnande av NDF vid sköljning i genomsnitt över samtliga grödor och utvecklingsstadier ( $91 \text{ g kg}^{-1}$  NDF) jämfört med *in vitro* ( $38 \text{ g kg}^{-1}$  NDF;  $P < 0,001$ ). För *in vitro*-metoden fanns ett signifikant samspel mellan år och utvecklingsstadium ( $P < 0,05$ ) samt en tendens till samspel mellan år x gröda x utvecklingsstadium ( $P < 0,10$ ). Ingen effekt av utvecklingsstadium visades för *in situ*- och *in vitro*-metoden första året utom för rågvede där försvinnandet av NDF vid sköljning var högre vid tidig degmognad än vid tidig mjölmognad

med *in vitro*-metoden (Tabell 9). Under andra året ökade *in vitro*-försvinnandet av NDF vid sköljning hos korn och rågvete från tidig mjölk- till tidig degmognad medan effekten av sköljning på NDF i havre och vårvete inte påverkades av utvecklingsstadium. Effekten av sköljning på NDF med sköljmetoden använd vid *in situ*-metoden var högst för rågvete, följt av korn, som hade högre försvinnande av NDF vid sköljning än havre.

Tabell 9. Försvinnande av NDF<sup>1</sup> vid sköljning ( $g\ kg^{-1}$  initialt NDF) med sköljmetoden använd vid *in situ*-metoden (år 2002) och *in vitro*-metoden (år 2002 och 2003) för helsädesensilage av fyra grödor skördade vid tidig mjölk- (t. mjölk) och tidig degmognad (t. deg) med tre upprepningar per år.

Metod	År	Utv. <sup>2</sup>	Gröda				P <sup>3</sup>	LSD <sub>0,05</sub> <sup>4</sup>	Medel
			Havre	Korn	Rågvete	Vårvete			Utv.
<i>In situ</i>	2002	t. mjölk	81	97	116	91	NS <sup>5</sup>		96
		t. deg	79	89	99	77			86
		medel	80	93	107	84			0,003
<i>In vitro</i>	2002	t. mjölk	24	41	0	61	0,07	33†	31
		t. deg	31	54	57	38			45
		medel	28	47	28	49			NS
<i>In vitro</i>	2003	t. mjölk	23	10	15	15	0,01	32	16
		t. deg	52	100	56	18			57 ***
		medel	37	55	35	17			NS

\*\*\*Två medelvärden inom samma metod och år skiljer sig signifikant ( $P < 0,001$ ).

<sup>1</sup>NDF=neutral detergent fibre.

<sup>2</sup>Utv.=utvecklingsstadium.

<sup>3</sup>P-värde för samspelet gröda x utvecklingsstadium samt huvudeffekt av gröda (kursiverat).

<sup>4</sup>LSD<sub>0,05</sub>=least significant difference, minsta signifikanta skillnad vid 5 % signifikansnivå för samspelet gröda x utvecklingsstadium samt huvudeffekt av gröda (kursiverat).

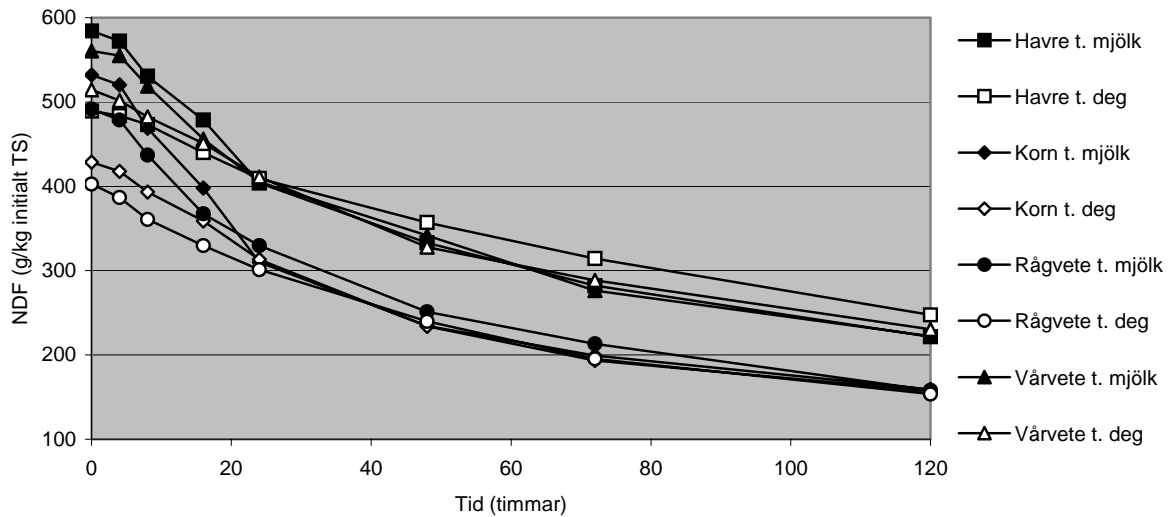
<sup>5</sup>NS=not significant, samspelet ej signifikant.

†LSD vid 10 % signifikansnivå.

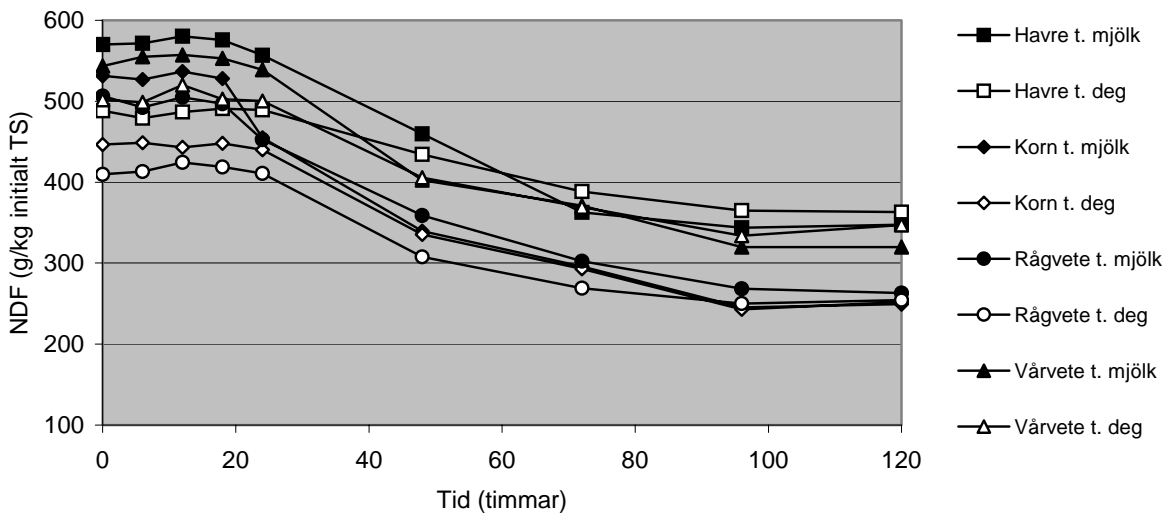
### *In situ*- och *in vitro*-nedbrytningskinetik av fiber år 2002

Nedbrytningsförloppet av NDF för 2002 års prover *in situ* och *in vitro* visas i figur 12 och 13. Den genomsnittliga standardavvikelsen från modellen var 10,0 (standardavvikelse 4,9) för *in situ*-metoden och 13,1 (standardavvikelse 6,9) för *in vitro*-metoden.



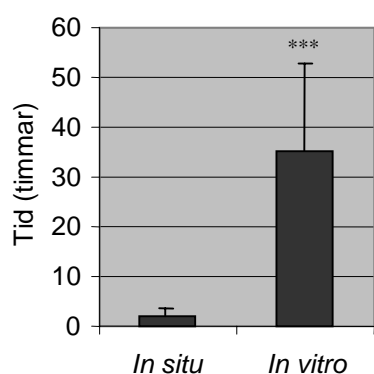


Figur 12. Nedbrytningsförloppet av NDF in situ för 2002 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid tidig mjölmognad (t. mjölk) och tidig degmognad (t. deg) med tre upprepningar. NDF=neutral detergent fibre. TS=torrsubstans.



Figur 13. Nedbrytningsförloppet av NDF in vitro för 2002 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid tidig mjölmognad (t. mjölk) och tidig degmognad (t. deg) med tre upprepningar. NDF=neutral detergent fibre. TS=torrsubstans.

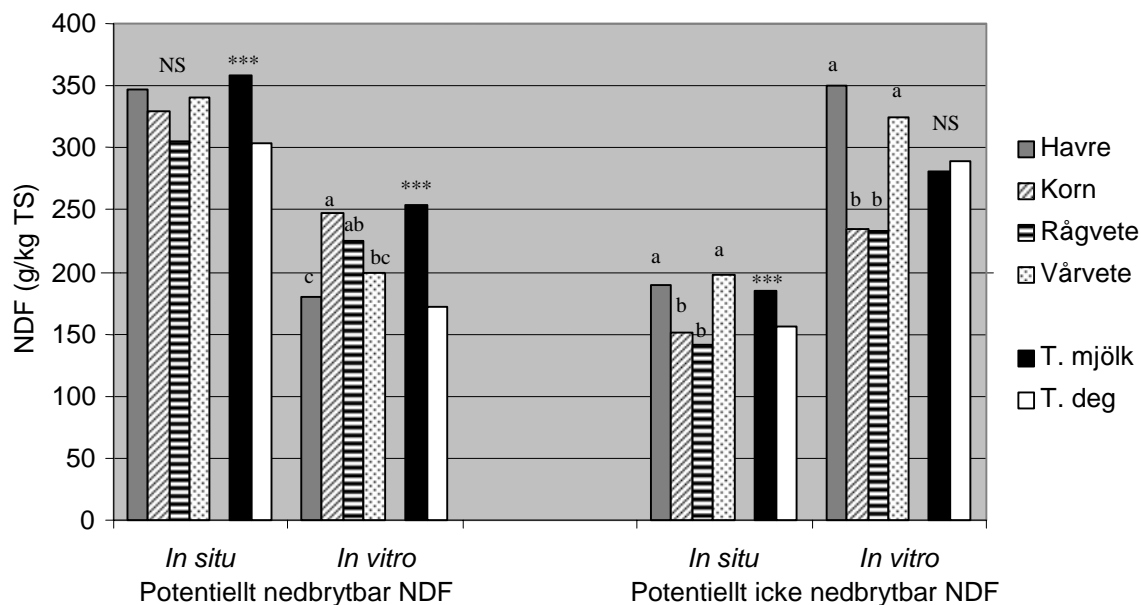
Tidsfördröjningen från att inkuberingen startades innan nedbrytningen av NDF började var 15 gånger längre med *in vitro*-metoden jämfört med *in situ* (Figur 14). Inga samspel med metod visades för tidsfördröjningen. För *in vitro*-metoden tog det längre tid för nedbrytningen att komma igång för sent skördat jämfört med tidigt skördat ensilage ( $P < 0,05$ ; 43 respektive 31 timmar) i genomsnitt över samtliga grödor. Med *in situ*-metoden visades ingen skillnad mellan utvecklingsstadier och det fanns ingen effekt av gröda för *in situ*- eller *in vitro*-metoden med avseende på tidsfördröjningen.



Figur 14. Tidsfördröjningen från att inkuberingen startades tills nedbrytningen av neutral detergent fibre (NDF) i helsädesensilage började för in situ- och in vitro-metoden (\*\*\*)  $P < 0,001$ ). Genomsnitt över fyra grödor skördade vid två utvecklingsstadier med tre upprepningar.

I genomsnitt över gröda och utvecklingsstadium visade *in situ*-metoden 56 % högre innehåll av potentiellt nedbrytbar NDF (331 respektive 212 g kg<sup>-1</sup> TS;  $P < 0,001$ ) och 41 % lägre innehåll av potentiellt icke nedbrytbar NDF (170 respektive 287 g kg<sup>-1</sup> TS;  $P < 0,001$ ) än *in vitro*-metoden. Inga samspel för gröda x utvecklingsstadium visades för potentiellt nedbrytbar NDF eller potentiellt icke nedbrytbar NDF för första årets prover varför medelvärden för gröda respektive utvecklingsstadium visas i figur 15. Samspel mellan metod och gröda fanns för potentiellt nedbrytbar NDF ( $P < 0,001$ ) och potentiellt icke nedbrytbar NDF ( $P < 0,01$ ) år 2002. Med *in situ*-metoden visades ingen effekt av gröda på potentiellt nedbrytbar NDF. *In vitro*-metoden visade högre innehåll av potentiellt nedbrytbar NDF för korn än för havre och vårvete samt högre innehåll av potentiellt nedbrytbar NDF för rågvete jämfört med havre. Mängden potentiellt icke nedbrytbar NDF var större i havre och vårvete än i korn och rågvete med båda metoderna, men skillnaderna var större med *in vitro*-metoden jämfört med *in situ*.

Samspel mellan metod och utvecklingsstadium fanns för potentiellt icke nedbrytbar NDF ( $P < 0,05$ ) samt en tendens till samspel fanns för potentiellt nedbrytbar NDF ( $P < 0,10$ ). Mängden potentiellt nedbrytbar NDF var 18 respektive 47 % större i ensilage skördat vid tidig mjölkmodnad jämfört med sent skördat ensilage för *in situ*- respektive *in vitro*-metoden i genomsnitt över samtliga grödor (Figur 15). Mängden potentiellt icke nedbrytbar NDF var i genomsnitt över gröda 19 % större vid tidig skörd jämfört med sen skörd med *in situ*-metoden, men med *in vitro*-metoden visades ingen skillnad mellan utvecklingsstadier med avseende på potentiellt icke nedbrytbar NDF. Innehållet av potentiellt icke nedbrytbar NDF var i genomsnitt 24 respektive 13 g kg<sup>-1</sup> TS lägre än analyserad restmängd av NDF i laboratoriet efter 120 timmars inkubering *in situ* respektive *in vitro* för första årets prover. För två av tre replikat av havre skördat vid tidig degmodnad från år 2002 var värdet för potentiellt icke nedbrytbar NDF *in situ* 88 respektive 111 g kg<sup>-1</sup> TS lägre än analyserad restmängd av NDF efter 120 timmars inkubering. Denna stora skillnad medförde att analyserad restmängd av NDF efter 120 timmars inkubering *in situ* var högre vid tidig degmodnad än vid tidig mjölkmodnad för havre (248 respektive 222 g kg<sup>-1</sup> TS) till skillnad från mängden potentiellt icke nedbrytbar NDF där samspelet mellan gröda och utvecklingsstadium inte var signifikant, men där medelvärdet av samtliga grödor var högre vid tidig mjölkmodnad än vid tidig degmodnad (Figur 15).



Figur 15. Potentiellt nedbrytbar och potentiellt icke nedbrytbar NDF i helsädesensilage av fyra grödor skördade vid tidig mjölmognad (t. mjölk) och tidig degmognad (t. deg) med tre upprepningar, analyserat med in situ- och in vitro-metoden. 2002 års prover. Medelvärden för gröda respektive utvecklingsstadium. NDF=neutral detergent fibre. TS=torrsubstans. NS=not significant, huvudeffekten av gröda respektive utvecklingsstadium ej signifikant. <sup>a, b, c</sup>Medelvärden för gröda med olika bokstäver inom samma variabel och metod skiljer sig signifikant ( $P < 0,05$ ). \*\*\*Två medelvärden för utvecklingsstadium inom samma variabel och metod skiljer sig signifikant ( $P < 0,001$ ).

Inga samspel med metod visades för nedbrytningshastigheten av potentiellt nedbrytbar NDF, men det fanns en tendens till samspel mellan utvecklingsstadium och metod ( $P < 0,10$ ). *In vitro*-metoden gav dock högre värden för nedbrytningshastigheten av NDF jämfört med *in situ* i genomsnitt över samtliga grödor och utvecklingsstadier ( $P < 0,001$ ;  $0,064$  respektive  $0,024 \text{ h}^{-1}$ ). Inga signifikanta huvudeffekter eller samspel för gröda eller utvecklingsstadium visades med *in vitro*-metoden (Tabell 10). *In situ*-metoden gav däremot signifikant samspel mellan gröda och utvecklingsstadium samt signifikanta huvudeffekter av både gröda och utvecklingsstadium. Nedbrytningshastigheten av NDF *in situ* var 38 % lägre vid senare skörd för samtliga grödor. Korn hade den högsta nedbrytningshastigheten *in situ* vid både tidig mjölk- och tidig degmognad. Vid tidig mjölmognad hade rågvete högre nedbrytningshastighet än vårvete. Vid tidig degmognad hade rågvete och vårvete högre nedbrytningshastighet av NDF *in situ* än havre.

Tabell 10. Nedbrytningshastighet ( $h^{-1}$ ) av potentiellt nedbrytbar NDF<sup>1</sup> in situ och in vitro för 2002 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid tidig mjölmognad (t. mjölk) och tidig degmognad (t. deg) med tre upprepningar.

Metod	Utv. <sup>2</sup>	Gröda				P <sup>3</sup>	LSD <sub>0,05</sub> <sup>4</sup>	Medel
		Havre	Korn	Rågvete	Vårvete			Utv.
In situ	t. mjölk	0,0260	0,0388	0,0289	0,0237	0,008	0,0034	0,0294 ***
	t. deg	0,0122	0,0236	0,0194	0,0177			0,0182
	medel	0,0191	0,0312	0,0241	0,0207	0,0002	0,0029	
In vitro	t. mjölk	0,0490	0,0731	0,0391	0,0577	NS <sup>5</sup>		0,0547
	t. deg	0,0631	0,0641	0,0783	0,0864			0,0730
	medel	0,0560	0,0686	0,0587	0,0720	NS		

\*\*\*Två medelvärden inom samma metod skiljer sig signifikant ( $P < 0,001$ ).

<sup>1</sup>NDF=neutral detergent fibre.

<sup>2</sup>Utv.=utvecklingsstadium.

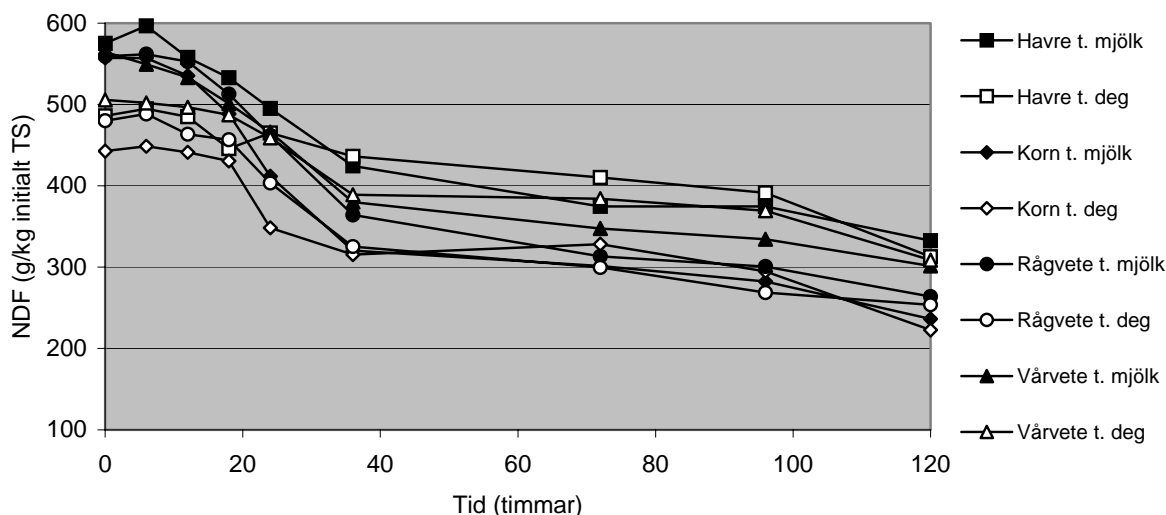
<sup>3</sup>P-värde för samspelet gröda x utvecklingsstadium samt huvudeffekt av gröda (kursiverat).

<sup>4</sup>LSD<sub>0,05</sub>=least significant difference, minsta signifikanta skillnad vid 5 % signifikansnivå för samspelet gröda x utvecklingsstadium samt huvudeffekt av gröda (kursiverat).

<sup>5</sup>NS=not significant, samspelet gröda x utvecklingsstadium respektive huvudeffekt av gröda (kursiverat) ej signifikant.

### In vitro-nedbrytningskinetik av fiber år 2003

Nedbrytningsförloppet för NDF *in vitro* för 2003 års prover visas i figur 16. För havre skördat vid tidig degmognad år 2003 kunde inget av de tre replikaten passas in i smältbarhetsmodellen, varför samtliga värden för havre uteslutits ur de fortsatta analyserna. Den genomsnittliga standardavvikelsen från modellen var 24,5 (standardavvikelse 8,0).



Figur 16. Nedbrytningsförloppet av NDF *in vitro* för 2003 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid tidig mjölmognad (t. mjölk) och tidig degmognad (t. deg) med tre upprepningar. NDF=neutral detergent fibre. TS=torrsubstans.

Inga skillnader mellan grödor eller utvecklingsstadier visades år 2003 vad gäller tidsfördröjningen från att inkuberingen startades tills nedbrytningen av NDF började. Tidsfördröjningen var i genomsnitt över gröda och utvecklingsstadium 13 timmar med en standardavvikelse på 4,7 timmar.

Innehållet av *in vitro* potentiellt nedbrytbar NDF i 2003 års prover var 46 % större vid tidig mjölmognad jämfört med vid tidig degmognad i genomsnitt över tre grödor (Tabell 11). Ingen skillnad mellan grödorna fanns för innehåll av potentiellt nedbrytbar NDF. Mängden potentiellt icke nedbrytbar NDF skilde inte mellan utvecklingsstadierna i korn och rågvete, men i vårvete ökade innehållet av potentiellt icke nedbrytbar NDF med 50 g kg<sup>-1</sup> TS från tidig mjölk- till tidig degmognad. Vid tidig mjölmognad innehöll vårvete mer potentiellt icke nedbrytbar NDF än korn och vid tidig degmognad innehöll vårvete mer potentiellt icke nedbrytbar NDF än både rågvete och korn. Innehållet av potentiellt icke nedbrytbar NDF var i genomsnitt 16 g kg<sup>-1</sup> TS högre än analyserad restmängd av NDF i laboratoriet efter 120 timmars inkubering *in vitro*.

Vårvete hade högre nedbrytningshastighet av NDF än korn vid tidig degmognad. Skillnader i nedbrytningshastighet av NDF mellan utvecklingsstadier var olika för olika grödor, där hastigheten minskade för korn, inte påverkades för rågvete och ökade för vårvete från tidig mjölmognad till tidig degmognad.

Tabell 11. Nedbrytningskinetik av NDF<sup>1</sup> *in vitro* för 2003 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid tidig mjölmognad (t. mjölk) och tidig degmognad (t. deg) med tre upprepningar.

	Utv. <sup>2</sup>	Gröda			P <sup>3</sup>	LSD <sub>0,05</sub> <sup>4</sup>	Medel
		Korn	Rågvete	Vårvete			Utv.
Potentiellt nedbrytbar NDF (g kg <sup>-1</sup> TS <sup>5</sup> )	t. mjölk	292	282	260	NS <sup>6</sup>		278***
	t. deg	205	219	149			191
	medel	249	250	205	NS		
Potentiellt icke nedbrytbar NDF (g kg <sup>-1</sup> TS)	t. mjölk	265	278	304	0,048	39	283
	t. deg	237	261	354			284
	medel	251	270	329	0,0009	18	
Nedbrytningshastighet av NDF (h <sup>-1</sup> )	t. mjölk	0,0756	0,0446	0,0345	0,03	0,0468	0,0516
	t. deg	0,0174	0,0505	0,0899			0,0526
	medel	0,0465	0,0476	0,0622	NS		

\*\*\*Två medelvärden inom samma variabel skiljer sig signifikant ( $P < 0,001$ ).

<sup>1</sup>NDF=neutral detergent fibre.

<sup>2</sup>Utv.=utvecklingsstadium.

<sup>3</sup>P-värde för samspelet gröda x utvecklingsstadium samt huvudeffekt av gröda (kursiverat).

<sup>4</sup>LSD<sub>0,05</sub>=least significant difference, minsta signifikanta skillnad vid 5 % signifikansnivå för samspelet gröda x utvecklingsstadium samt huvudeffekt av gröda (kursiverat).

<sup>5</sup>TS=torrs substans.

<sup>6</sup>NS=not significant, samspelet gröda x utvecklingsstadium respektive huvudeffekt av gröda (kursiverat) ej signifikant.

### In vitro-nedbrytningskinetik av fiber i genomsnitt över år 2002 och 2003

Vid jämförelse av *in vitro*-metoden mellan de båda åren har havre uteslutits från båda åren. Inga samspel med år visades för någon variabel varför medelvärden över två år visas i tabell 12. Inte heller huvudeffekt av år kunde visas. Det fanns dock en tendens till att tidsfördröjningen var kortare andra året jämfört med *in vitro* första året som ett genomsnitt över samtliga grödor och utvecklingsstadier ( $P < 0,10$ ; 13,0 respektive 35,3 timmar). Även för potentiellt icke nedbrytbar NDF fanns en tendens till årseffekt, där andra årets prover i genomsnitt innehöll mer potentiellt icke nedbrytbar NDF jämfört med första året ( $P < 0,10$ ; 283 respektive 264 g kg<sup>-1</sup> TS).

Inga effekter av gröda eller utvecklingsstadium fanns för tidsfördröjningen av NDF-nedbrytningen *in vitro* som genomsnitt över år. Mängden potentiellt nedbrytbar NDF var 43 % större i tidigt skördad gröda än i sent skördad som ett genomsnitt över grödor (Tabell 12). Korn innehöll 23 % mer potentiellt nedbrytbar NDF än vårvete i genomsnitt över utvecklingsstadier. Ingen effekt av utvecklingsstadium visades för korn och rågvete med avseende på potentiellt icke nedbrytbar NDF, men i vårvete ökade mängden potentiellt icke nedbrytbar NDF med 12 % från tidig mjölk- till tidig degmognad. Vårvete innehöll mest potentiellt icke nedbrytbar NDF vid både tidig mjölk- och tidig degmognad. Det fanns en tendens till samspel mellan gröda och utvecklingsstadium för nedbrytningshastigheten av NDF i vilket skillnader mellan grödor var olika vid tidig mjölk- och tidig degmognad och där effekt av utvecklingsstadium skilde mellan de olika grödorna.

Tabell 12. Nedbrytningskinetik av NDF<sup>1</sup> *in vitro* av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid tidig mjölmognad (t. mjölk) och tidig degmognad (t. deg), genomsnitt över två år med tre upprepningar per år.

	Utv. <sup>2</sup>	Gröda			P <sup>3</sup>	LSD <sub>0,05</sub> <sup>4</sup>	Medel
		Korn	Rågvete	Vårvete			Utv.
Potentiellt nedbrytbar NDF (g kg <sup>-1</sup> TS <sup>5</sup> )	t. mjölk	289	274	246	NS <sup>6</sup>	44	270***
	t. deg	208	201	157			189
	medel	248	238	202	0,01		
Icke nedbrytbar NDF (g kg <sup>-1</sup> TS)	t. mjölk	250	259	308	0,009	21	272
	t. deg	237	244	345			275
	medel	243	251	327	0,0001	32	
Nedbrytningshastighet av NDF (h <sup>-1</sup> )	t. mjölk	0,0744	0,0419	0,0461	0,07	0,0321†	0,0541
	t. deg	0,0408	0,0644	0,0882			0,0644
	medel	0,0576	0,0531	0,0671	NS		

\*\*\*Två medelvärden inom samma variabel skiljer sig signifikant ( $P < 0,001$ ).

<sup>1</sup>NDF=neutral detergent fibre.

<sup>2</sup>Utv.=utvecklingsstadium.

<sup>3</sup>P-värde för samspelet gröda x utvecklingsstadium samt huvudeffekt av gröda (kursiverat).

<sup>4</sup>LSD<sub>0,05</sub>=least significant difference, minsta signifikanta skillnad vid 5 % signifikansnivå för samspelet gröda x utvecklingsstadium samt huvudeffekt av gröda (kursiverat).

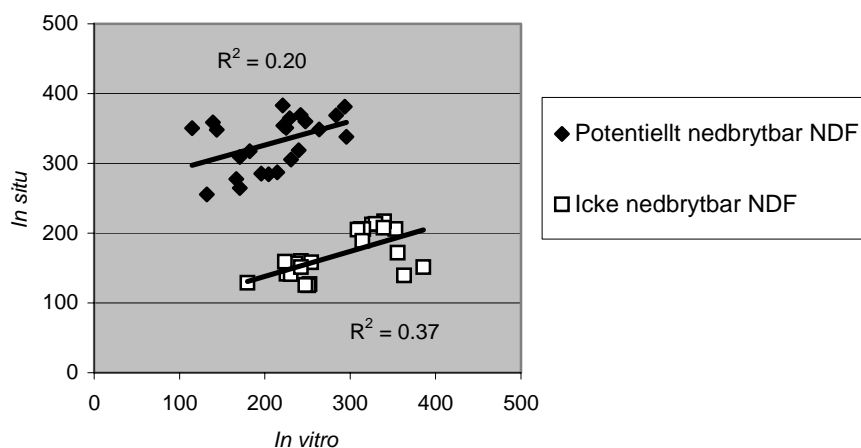
<sup>5</sup>TS=torrs substans.

<sup>6</sup>NS=not significant, samspelet gröda x utvecklingsstadium respektive huvudeffekten av gröda (kursiverat) ej signifikant.

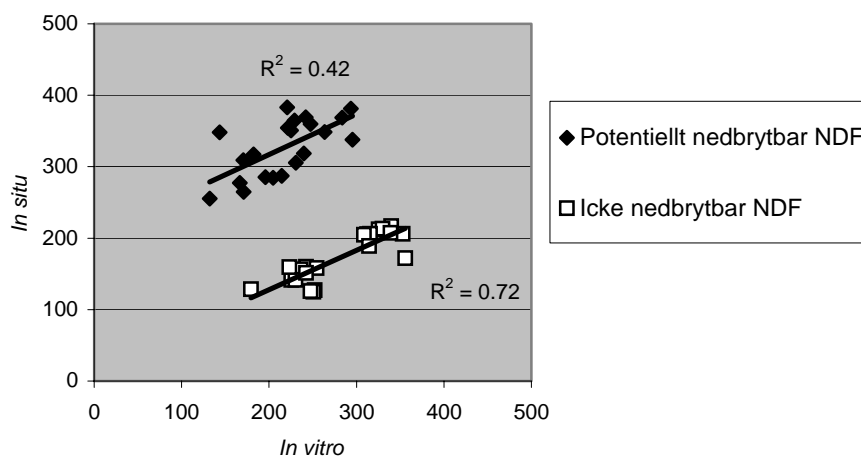
†LSD vid 10 % signifikansnivå.

## Samband mellan smältbarhetsmetoder

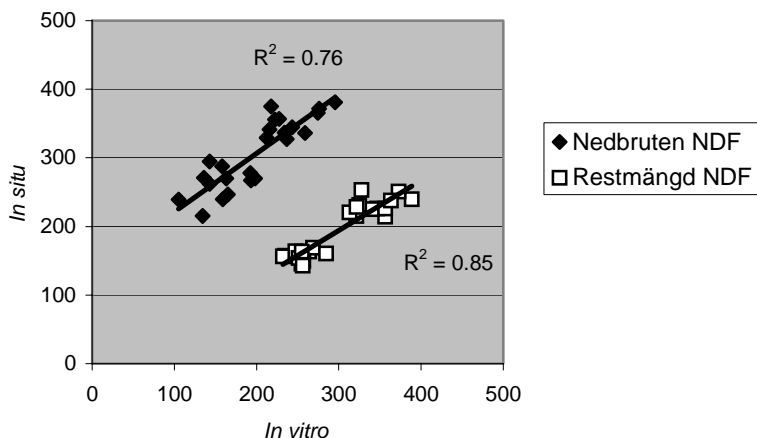
Korrelationen mellan *in vitro*- och *in situ*-metoden för mängden potentiellt nedbrytbar och potentiellt icke nedbrytbar NDF visas i figur 17 för samtliga prover från år 2002. I figur 18 visas samma samband, men de två *in situ*-värdena för havre skördat vid tidig degmognad, som överskattats i smältbarhetsmodellen, har uteslutits för både potentiellt nedbrytbar och potentiellt icke nedbrytbar NDF. Sambandet mellan *in vitro*- och *in situ*-metoden med avseende på potentiellt nedbrytbar NDF och potentiellt icke nedbrytbar NDF ökade väsentligt när två avvikande värden togs bort från datasetet. I figur 19 visas korrelationen mellan *in vitro*- och *in situ*-metoden för mängden analyserad nedbruten och icke nedbruten NDF efter 120 timmars inkubering. Sambandet var starkare när analyserade laboratorievärden användes istället för predikterade värden utifrån smältbarhetsmodellen (Mertens, 1977).



Figur 17. Samband mellan in vitro- och in situ-metoden med avseende på potentiellt nedbrytbar NDF och potentiellt icke nedbrytbar NDF ( $\text{g kg}^{-1}$  initial torrsubstans) för 2002 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid två utvecklingsstadier med tre upprepningar ( $n=23$ ). NDF=neutral detergent fibre.

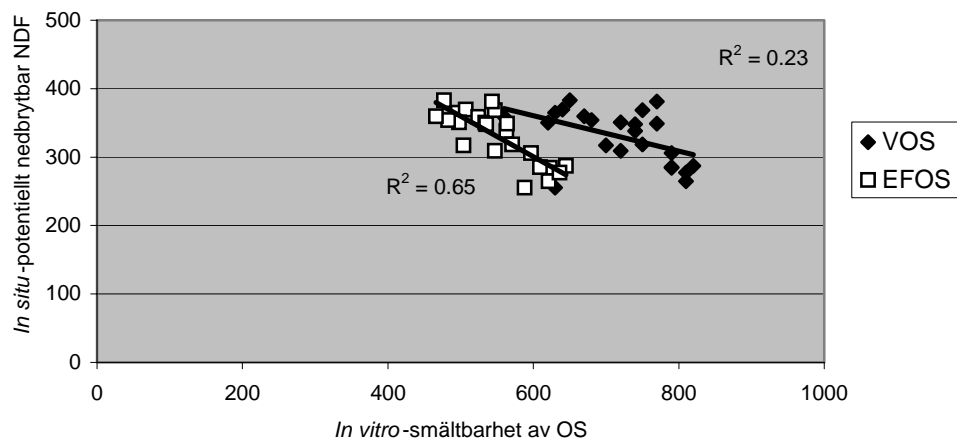


Figur 18. Samband mellan in vitro- och in situ-metoden med avseende på potentiellt nedbrytbar NDF och potentiellt icke nedbrytbar NDF ( $\text{g kg}^{-1}$  initial torrsubstans) för 2002 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid två utvecklingsstadier med tre upprepningar, två replikat för havre skördade vid degmognad uteslutna ( $n=21$ ). NDF=neutral detergent fibre.



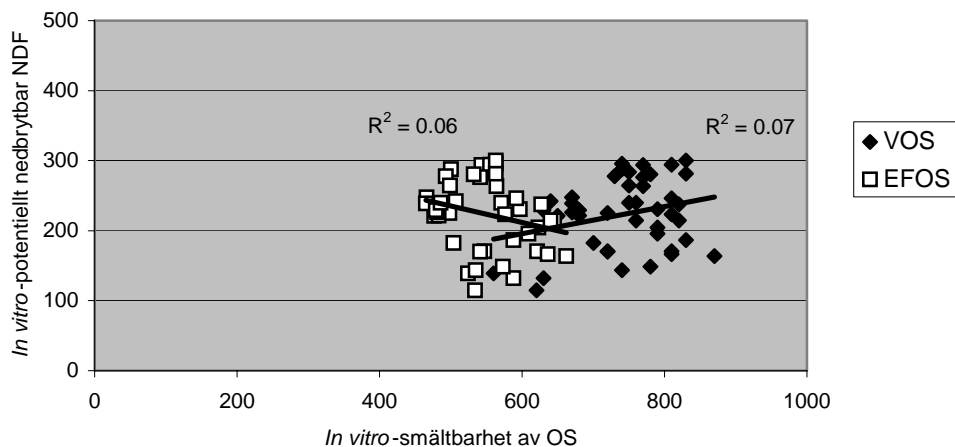
Figur 19. Samband mellan in vitro- och in situ-metoden med avseende på analyserad mängd nedbruten och icke nedbruten NDF ( $\text{g kg}^{-1}$  initial torrs substans) efter 120 timmars inkubering för 2002 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid två utvecklingsstadier med tre upprepningar ( $n=24$ ). NDF=neutral detergent fibre.

Sambanden med potentiellt nedbrytbar och potentiellt icke nedbrytbar NDF med smältbarheten av organisk substans enligt VOS och EFOS visas i figur 20, 21, 22 och 23. Variationen i smältbarhet av OS enligt EFOS förklarade 65 respektive 63 % av variationen i *in situ*-bestämningen av potentiellt nedbrytbar och potentiellt icke nedbrytbar NDF (Figur 20 och 22), vilket var betydligt högre förklaringsgrad än vad VOS-metoden visade ( $R^2=0,23$  respektive 0,40). Däremot förklarade variationen i smältbarhet av OS enligt VOS-metoden mer av variationen i *in vitro* potentiellt icke nedbrytbar NDF än vad EFOS-metoden gjorde ( $R^2=0,59$  respektive 0,49; Figur 23).

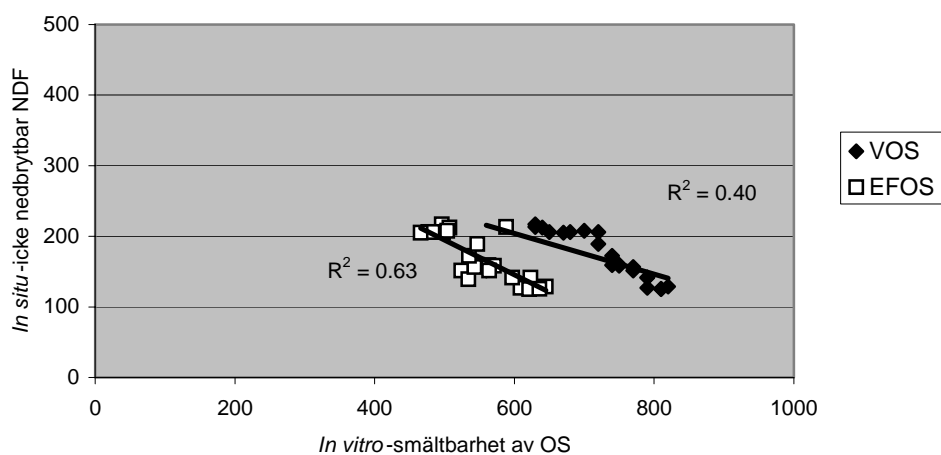


Figur 20. Samband mellan in vitro smältbarhet av organisk substans (OS;  $\text{g kg}^{-1}$ ) enligt VOS- (vovätskelöslig organisk substans) och EFOS-metoden (enzymfordøjeligt organisk stof) och in situ potentiellt nedbrytbar NDF ( $\text{g kg}^{-1}$  initial torrs substans) för 2002 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid två utvecklingsstadier med tre upprepningar ( $n=24$ ). NDF=neutral detergent fibre.

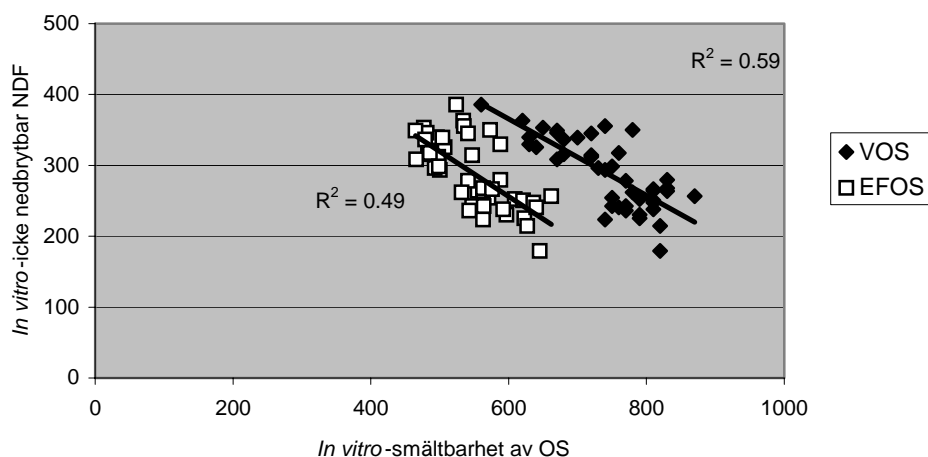




Figur 21. Samband mellan in vitro-smältbarhet av organisk substans (OS;  $\text{g kg}^{-1}$ ) enligt VOS- (vomvätskelöslig organisk substans) och EFOS-metoden (enzymfordøjeligt organisk stof) och in vitro potentiellt nedbrytbar NDF ( $\text{g kg}^{-1}$  initial torrsbstans) för 2002 och 2003 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid två utvecklingsstadier med tre upprepningar per år ( $n=43$ ). NDF=neutral detergent fibre.



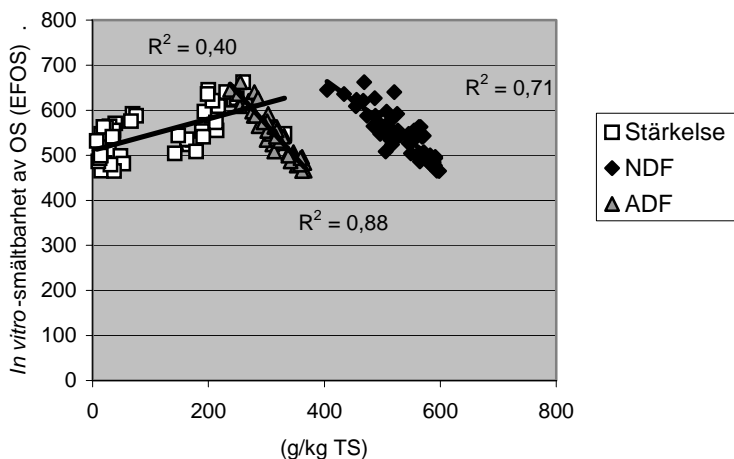
Figur 22. Samband mellan in vitro-smältbarhet av organisk substans (OS;  $\text{g kg}^{-1}$ ) enligt VOS- (vomvätskelöslig organisk substans) och EFOS-metoden (enzymfordøjeligt organisk stof) och in situ potentiellt icke nedbrytbar NDF ( $\text{g kg}^{-1}$  initial torrsbstans) för 2002 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid två utvecklingsstadier med tre upprepningar ( $n=24$ ). NDF=neutral detergent fibre.



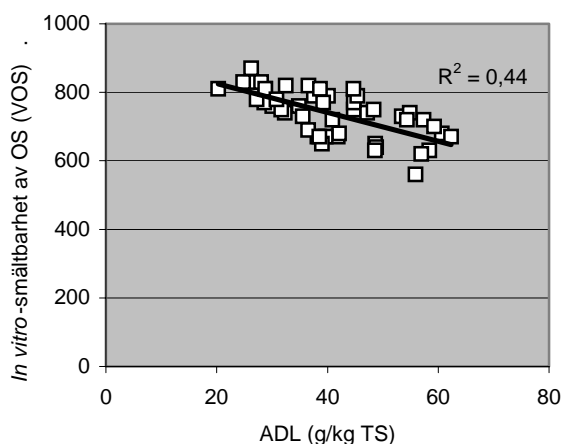
Figur 23. Samband mellan in vitro-smältbarhet av organisk substans (OS;  $g\ kg^{-1}$ ) enligt VOS- (vomvätskelöslig organisk substans) och EFOS-metoden (enzymfordøjeligt organisk stof) och in vitro potentiellt icke nedbrytbar NDF ( $g\ kg^{-1}$  initial torrsubstans) för 2002 och 2003 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid två utvecklingsstadier med tre upprepningar per år ( $n=43$ ). NDF=neutral detergent fibre.

### Samband mellan kemisk sammansättning och smältbarhet

Samband kunde visas mellan smältbarheten av OS enligt EFOS-metoden och innehåll av stärkelse, NDF och ADF (Figur 24). Sambandet mellan ADL och smältbarheten av OS enligt EFOS var svagt ( $R^2=0,17$ ). Dessutom var sambanden mellan smältbarheten av OS enligt VOS-metoden och innehåll av stärkelse, NDF och ADF svaga ( $R^2=0,007 - 0,30$ ) Ett visst samband kunde dock visas med ligninhalten (Figur 25).

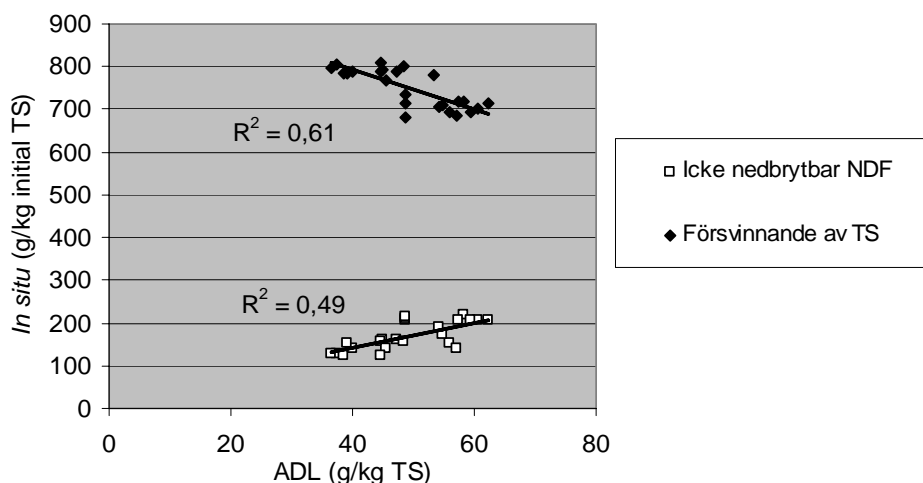


Figur 24. Samband mellan innehåll av stärkelse, NDF och ADF ( $g\ kg^{-1}\ TS$ ) och in vitro-smältbarheten av organisk substans (OS;  $g\ kg^{-1}$ ) enligt EFOS-metoden (enzymfordøjeligt organisk stof) för 2002 och 2003 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid två utvecklingsstadier med tre upprepningar per år ( $n=48$ ). NDF=neutral detergent fibre. ADF=acid detergent fibre. TS=torrsubstans.

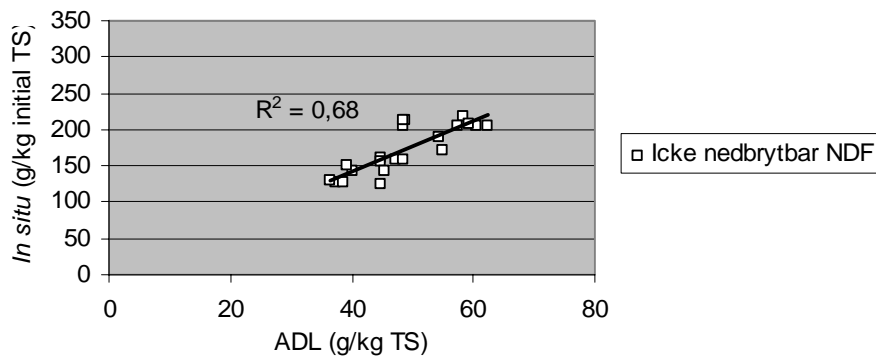


Figur 25. Samband mellan innehållet av ADL ( $\text{g kg}^{-1}$  TS) och *in vitro*-smältbarhet av organisk substans (OS;  $\text{g kg}^{-1}$ ) enligt VOS (vomvätskelöslig organisk substans) i 2002 och 2003 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid två utvecklingsstadier med tre upprepningar per år ( $n=48$ ). TS=torrsubstans. ADL=acid detergent lignin.

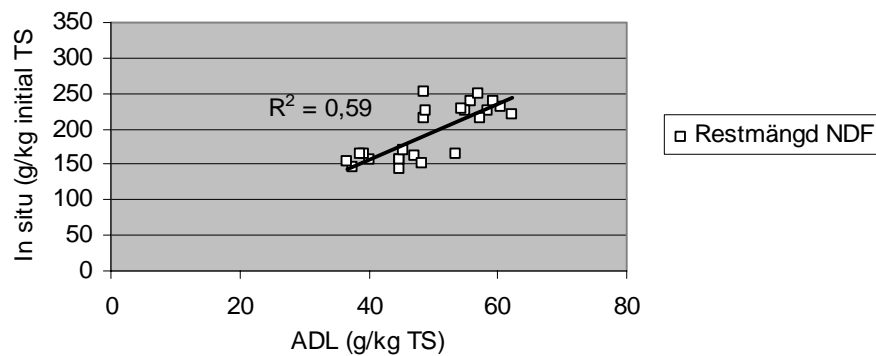
Korrelationen mellan ligninhalten och innehåll av *in situ* potentiellt icke nedbrytbar NDF samt *in situ* försvinnande av TS efter 120 timmars inkubering visas i figur 26. I figur 27 visas sambandet mellan ligninhalt och innehåll av *in situ* potentiellt icke nedbrytbar NDF när de två värden för havre skördade vid degmognad, som underskattades i smältbarhetsmodellen, har uteslutits. Sambandet mellan ligninhalt och innehåll av *in situ* potentiellt icke nedbrytbar NDF ökade markant när dessa två avvikande värden uteslöts (Figur 26 och 27). Även mellan ligninhalt och i laboratoriet analyserad mängd icke nedbruten NDF *in situ* visades ett samband (Figur 28). Med *in vitro*-metoden var sambanden mellan nedbrytningsparametrarna och ligninhalten betydligt lägre ( $R^2=0,009 - 0,21$ ).



Figur 26. Samband mellan innehåll av ADL ( $\text{g kg}^{-1}$  TS) och innehåll av *in situ* potentiellt icke nedbrytbar NDF samt TS-försvinnandet efter 120 timmars inkubering *in situ* ( $\text{g kg}^{-1}$  initial TS) för 2002 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid två utvecklingsstadier med tre upprepningar ( $n=24$ ). NDF=neutral detergent fibre; ADL=acid detergent lignin; TS=torrsubstans.



Figur 27. Samband mellan innehåll av ADL ( $\text{g kg}^{-1}$  TS) och innehåll av in situ potentiellt icke nedbrytbar NDF ( $\text{g kg}^{-1}$  initial TS) för 2002 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid två utvecklingsstadier med tre upprepningar, två replikat för havre skördade vid tidig degmognad uteslutna ( $n=22$ ). NDF=neutral detergent fibre; ADL=acid detergent lignin; TS=torrsubstans.



Figur 28. Samband mellan innehåll av ADL ( $\text{g kg}^{-1}$  TS) och analyserad mängd icke nedbruten NDF efter 120 timmars inkubering in situ (restmängd NDF;  $\text{g kg}^{-1}$  initial TS) för 2002 års prover av helsädesensilage av fyra grödor skördade vid två utvecklingsstadier med tre upprepningar ( $n=24$ ). NDF=neutral detergent fibre; ADL=acid detergent lignin; TS=torrsubstans.

## Diskussion

### Kemisk sammansättning och nedbrytning av fiber och torrs substans

#### Gröda

Korn och rågvete hade lägre halt NDF, ADF och ADL än havre och vårvete och korn innehöll mer NDF än rågvete. Dessa resultat stämmer väl med tidigare studier där högre koncentration av NDF, ADF och ADL visats i havre än i korn, med rågvete där emellan (Cherney & Marten, 1982a; Khorasani *et al.*, 1993; Khorasani *et al.*, 1997). Smältbarheten av TS, både *in situ* och *in vitro*, i ensilage från första året var högre i korn och rågvete än i havre och vårvete, vilket speglar skillnaderna i fiberinnehåll. Andra året hade rågvete lägre *in vitro*-smältbarhet av TS än korn och jämförbar smältbarhet av TS med vårvete. Denna skillnad mellan år orsakas troligen av den lägre stärkelsehalten i rågvete andra året jämfört med första året. Skillnader mellan grödor i lignininnehåll och innehåll av potentiellt icke nedbrytbar NDF *in vitro* var dock lika de båda åren. Mängden potentiellt icke nedbrytbar NDF *in vitro* var lägre i korn och rågvete än i havre och vårvete, vilket stämmer med den högre ligninhalten i de båda sistnämnda grödorna. Ligninhalten har tidigare visats vara högt negativt korrelerad med smältbarheten av TS i helsäd (Cherney & Marten, 1982a och b) och även i denna studie kunde samband visas mellan ligninhalten och TS-försvinnandet efter 120 timmars inkubering *in situ* ( $R^2=0,61$ ) samt smältbarheten av organisk substans enligt VOS ( $R^2=0,44$ ). Högre smältbarhet av TS i korn än i havre har visats tidigare (Cherney & Marten, 1982b; McCartney & Vaage, 1994) och orsakas dels av en större andel ax av totala plantan i korn och dels av högre smältbarhet i blad, strå och ax i korn än i havre (Cherney & Marten, 1982b). Smältbarheten av TS i rågvete i denna studie är högre än i tidigare studier, i vilka smältbarheten hos rågvete har varit lägre än i korn och jämförbar med den i havre (Khorasani *et al.*, 1993). I likhet med smältbarheten av TS var innehållet av potentiellt nedbrytbar NDF *in vitro* högre för korn än för havre och vårvete, men rågvete skilde sig endast från havre. Dessa *in vitro*-resultat stämmer väl överens med resultat av Khorasani *et al.* (1993) som visade högre *in vivo*-smältbarheter av TS och NDF i korn än i havre och rågvete.

Enligt de resultat som visats i denna studie borde korn vara den gröda som ger högst TS-intag och produktion följt av rågvete, på grund av låg halt potentiellt icke nedbrytbar NDF, lågt lignininnehåll, hög smältbarhet och nedbrytningshastighet av NDF samt högt TS-försvinnande. I tidigare studier med mjölkkor, där ensilage av havre, korn och rågvete jämförts, har korn visats ge högst TS-intag och produktion, främst hos höglakterande kor, följt av rågvete (Khorasani *et al.*, 1993; Okine *et al.*, 1994). Även McCartney & Vaage (1994) visade högre TS-intag och tillväxt hos kvigor fodrade med korn, jämfört med havre och rågvete. I denna studie gav däremot rågvete lägre intag och tillväxt än havre, vilket förklarades av att den grova strukturen i ensilage av rågvete sänker smakligheten (McCartney & Vaage, 1994).

#### Utvecklingsstadium

I genomsnitt över grödor var mängden potentiellt nedbrytbar NDF *in situ* och *in vitro* högre vid tidig mjölk- än vid tidig degmognad, men mängden potentiellt icke nedbrytbar NDF påverkades inte generellt av utvecklingsstadium annat än för *in situ*-metoden där skillnaden orsakades av det underskattade värdet för sent skördad havre. Det fanns dock ett signifikant samspel mellan gröda och utvecklingsstadium för *in vitro* potentiellt icke nedbrytbar NDF år

2003 samt i genomsnitt över de båda åren, i vilken vårvede ökade medan korn och rågvete var oförändrade vid senare utvecklingsstadium vad gäller innehåll av potentiellt icke nedbrytbar NDF. Eftersom mängden potentiellt icke nedbrytbar NDF var oförändrad medan innehållet av potentiellt nedbrytbar NDF minskade med senare utvecklingsstadium blev mängden potentiellt nedbrytbar NDF som andel av total NDF lägre vid senare skörd. Till följd av att smältbarheten av NDF minskade påverkades inte försvinnandet av TS eller smältbarheten av OS enligt VOS-metoden nämnvärt av utvecklingsstadium, trots lägre halt NDF vid deg- än vid mjölmognad och en betydligt högre stärkelsehalt vid senare skörd. Att en ökande stärkelsehalt i helsäd efter mjölmognad kompenserar för minskad smältbarhet av fiberfraktionen har visats tidigare (Cherney & Marten, 1982a; Micek *et al.*, 2001). Smältbarheten av OS enligt EFOS ökade däremot med senare utvecklingsstadium. Cherney & Marten (1982b) förklarade sänkningen i smältbarhet av NDF i helsäd med senare utvecklingsstadium med ökande ligninhalt. I denna studie påverkades inte ligninhalten av utvecklingsstadium. Sänkningen i smältbarhet av NDF kan istället förklaras av bildandet av kovalenta bindningar mellan hemicellulosa och lignin när växten utvecklas (Jung & Allen, 1995). Förändringar i cellväggarnas sammansättning var troligen också orsaken till att nedbrytningshastigheten av NDF *in situ* var lägre vid senare skörd (Kennely & Weinberg, 2003).

Foderstater med högre smältbarhet av NDF och högre nedbrytningshastighet av NDF kan resultera i högre TS-intag och mjölkproduktion (Miller *et al.*, 1990; Arieli & Adin, 1994). I denna studie gav en tidigare skörd högre nedbrytbarhet av NDF samt högre nedbrytningshastighet av NDF, vilket visar att tidig skörd ger ett foder bättre lämpat för höglakterande mjölkkor. O'Kiely & Moloney (1995) visade däremot högre tillväxt hos stutar fodrade med korn skördat vid degmognad jämfört med skörd vid mjölmognad. Stutarna kompenserade troligen den lägre fibersmältbarheten vid tidig degmognad med ett högre TS-intag (O'Kiely & Moloney, 1995) vilket tyder på att senare skörd kan vara ett alternativ till växande nötkreatur.

## Smältbarhetsmetod

Efter 120 timmars inkubering *in situ* var platån för nedbrytningskurvan inte nådd. Weisbjerg (2004) visade att en ytterligare *in situ*-nedbrytning av NDF med 8-9 procentenheter skedde när inkubationstiden förlängdes från 168 till 504 timmar. En längre inkuberingstid skulle ge ett säkrare resultat för potentiellt nedbrytbar och potentiellt icke nedbrytbar NDF, men nedbrytningshastigheten är mycket låg vid långa inkubationstider. Eftersom modellen antar en konstant nedbrytningshastighet skulle hastighetskonstanten underskattas om 504 timmars inkubation inkluderades i smältbarhetsmodellen. Weisbjerg (2004) visade dock en relativt stark korrelation ( $R^2=0,71$ ) mellan nedbrytningsgraden av NDF efter 504 timmars inkubering och den från modellen skattade potentiella nedbrytbarheten av NDF då en längsta inkubationstid på 168 timmar användes, vilket visar att en längsta inkubationstid på 168 timmar borde vara tillräcklig för skattning av potentiellt nedbrytbar och potentiellt icke nedbrytbar NDF. Alternativt kan nedbrytningshastigheten köras separat med en slutpunkt vid till exempel 120 timmar och nedbrytbarheten beräknas utifrån en längre inkubationstid.

*In vitro* smältbarheten av OS var i genomsnitt 26 % lägre med EFOS-metoden jämfört med VOS-metoden. En bidragande orsak till denna skillnad kan vara svårigheten att med hjälp av enzymer efterlikna den nedbrytning som sker av mikroberna i vomvätskan. *In vitro* smältbarhet av OS enligt EFOS var relativt starkt korrelerad med *in situ* potentiellt nedbrytbar

NDF ( $R^2=0,65$ ) och potentiellt icke nedbrytbar NDF ( $R^2=0,63$ ). Dessutom fanns ett samband mellan *in vitro* smältbarhet av OS enligt VOS-metoden och *in vitro* potentiellt icke nedbrytbar NDF ( $R^2=0,59$ ). Dessa samband är tillräckligt starka för att ytterligare undersökningar av möjligheten att använda rutinanalyserna EFOS och VOS, för skattning av potentiellt nedbrytbar NDF och potentiellt icke nedbrytbar NDF, med ett större antal prover, är av intresse.

Vattenlösligheten av TS med *in vitro*-metoden var högre första året jämfört med andra året. Andra året användes kallt vatten vid sköljningen i samband med *in vitro*-metoden. Första året kan varmt vatten ha använts, vilket i så fall kan förklara skillnaden i vattenlöslig TS mellan de båda åren. Högre vattentemperatur borde främst öka lösligheten av stärkelse, vilket kan vara förklaringen till att skillnaden i vattenlöslighet mellan åren var betydligt större för ensilage skördade vid degmognad, då ensilagen innehöll mycket stärkelse, än vid mjölk-mognad. Det var också en minskning av NDF-innehållet i ensilagen med 0-10%, vilken orsakades av sköljning. Liknande förluster av NDF vid sköljning vid *in situ* inkubering har påvisats av Nadeau *et al.* (1996).

Det tog mycket lång tid för nedbrytningen av NDF att komma igång med ANKOM Daisy<sup>II</sup> *in vitro*-metoden jämfört med *in situ*-metoden. Den långa tidsfördröjningen innan nedbrytningen av NDF startade kan troligtvis förklaras av den långa transporten av vomvätskan före inkuberingen då mikrober kan ha avdödats. Det tar sedan tid för mikroberna att växa till igen efter att inkuberingen har påbörjats. Den långa tidsfördröjningen resulterade i högre skattade nedbrytningshastigheter med *in vitro*-metoden jämfört med *in situ*. Värderna från *in vitro*-metoden passade sämre med smältbarhetsmodellen, vilket fick till följd att anpassningen av datan till modellen inte lyckades i ett par fall samt att några värden blev mycket orimliga och sedan ströks ur de fortsatta beräkningarna. Variationen mellan replikat var även större med *in vitro*-metoden jämfört med *in situ*. Den totala nedbrytningen av NDF och TS var lägre med *in vitro*-metoden. Lägre nedbrytningsgrad med *in vitro* jämfört med *in situ* beror troligen på en lägre koncentration av mikrober *in vitro* jämfört med i vommen hos det levande djuret (Varel & Kreikemeier, 1995). Några studier har dock visat högre nedbrytningsgrad av NDF med ANKOM Daisy<sup>II</sup> *in vitro*-metoden jämfört med *in situ* (Robinson *et al.*, 1999; Spanghero *et al.*, 2003).

Trots problemen med *in vitro*-metoden visades en hög korrelation med *in situ*-metoden med avseende på potentiellt icke nedbrytbar NDF ( $R^2=0,72$ ) och potentiellt nedbrytbar NDF ( $R^2=0,42$ ) då de två värdena för sent skördad havre som felskattats i modellen togs bort. Ännu högre korrelation visades då analyserade värden för nedbrytbar NDF ( $R^2=0,76$ ) och restmängd NDF ( $R^2=0,85$ ) efter 120 timmars inkubering användes. Detta tyder på att metoden fungerat för skattning av nedbrytningsgraden av NDF i helsäd. Resultaten visar dock att det finns ett behov av ytterligare utveckling av ANKOM Daisy<sup>II</sup> *in vitro*-metoden, framför allt för att korta ner tidsfördröjningen och minska variationen, för att få säkra skattningar av nedbrytningskinetiken av NDF i helsäd.





## Slutsatser

- Korn, följt av rågvete, hade högre nedbrytbarhet och nedbrytningshastighet av NDF, större försvinnande av TS samt innehöll mindre mängd potentiellt icke nedbrytbar NDF än havre och vårvete. Skillnader mellan grödorna kan till viss del förklaras av skillnader i lignininnehåll.
- Innehållet av lignin och potentiellt icke nedbrytbar NDF påverkades inte av utvecklingsstadium. Däremot gav skörd vid tidig degmognad lägre nedbrytbarhet och nedbrytningshastighet av NDF än skörd vid tidig mjölmognad. Denna skillnad orsakades troligen av bildandet av kovalenta bindningar mellan hemicellulosa och lignin i strået när belastningen från axet ökade vid kärnfyllningen. Smältbarheten av TS påverkades inte av utvecklingsstadium, eftersom den sänkta nedbrytbarheten av NDF kompensades av en ökad andel stärkelse vid senare skörd.
- Korrelationen mellan *in vitro*- och *in situ*-metoden var hög och det fanns endast ett fåtal samspelseffekter mellan metod och gröda respektive utvecklingsstadium för potentiellt nedbrytbar och potentiellt icke nedbrytbar NDF, vilket visar att Daisy<sup>II</sup> *in vitro*-metoden kan användas för skattning av nedbrytbarheten av NDF i helsäd.
- ANKOM Daisy<sup>II</sup> *in vitro*-metoden gav mycket lång tidsfördröjning från att inkuberingen startades innan nedbrytningen av NDF började. Metoden gav även stora variationer mellan replikat. Ytterligare utveckling av metoden krävs för att förkorta tidsfördröjningen och förbättra säkerheten för skattning av nedbrytningsprofiler i helsäd.



## Summary

Whole crop cereals are rich in fibre and provide physical structure to the diet, which stimulates chewing activity and therefore helps to keep a stable rumen environment. Diets containing whole crop cereals have potentials to give high growth rates in growing cattle. In dairy production, whole crop cereals can advantageously be used as a complement to early harvested clover/grass silage.

The nutrients in whole crop cereals are unevenly distributed in the plant with a highly nutritious ear, rich in starch, and a less nutritious straw, mostly containing fibre. The chemical composition and digestibility of whole crop cereal differs among species and stage of development at harvest. Barley, generally, has the highest proportion of ear to total crop, and, therefore, has the lowest fibre content and the highest starch content and dry-matter (DM) digestibility. The high DM digestibility of barley also is due to a high DM digestibility of straw and ear. As small grain crops mature, the fibre content increases in the straw, while the starch content increases in the ear during grain filling. Due to these changes, the fibre content of the whole plant increases during the early maturity stages, reaches a plateau during shooting, and decreases during grain filling. The starch content in whole crop cereals is relatively constant until the milk stage of maturity after which it increases rapidly during grain filling. As the ear becomes heavier it exerts a mechanical burden on the straw, resulting in changes in the cell wall structure with increased content of lignin and the creation of cross linkages between lignin and hemicellulose. These changes cause a decreased digestibility of the straw, which partly can be offset by increasing digestibility of the ear and increasing proportion of the ear. Therefore, the digestibility of whole crop cereals can remain fairly constant, or, in some cases even increase, after the milk stage of maturity.

The fibre content of the feed ration affects DM intake. However, in whole crop cereals it has been suggested that the concentration of neutral detergent fibre (NDF) alone is an inaccurate predictor of intake and performance by ruminants. Other factors, such as the digestibility and rate of digestion of the fibre fraction, could be of interest. These parameters vary considerably in whole crop cereals and are mostly affected by species and stage of maturity at harvest. To determine rumen degradation characteristics of feed stuff, the *in situ* incubation technique is generally considered as the reference method. However, this method is expensive, labour- and time-consuming and difficult to standardize, and it is therefore not suited for routine analyses. The ANKOM Daisy<sup>II</sup> incubator is a new, simpler and less expensive *in vitro* technique, which allows simultaneous analyses of multiple feed samples. Several studies, in which this method has been compared with both the *in situ* method and conventional *in vitro* techniques, have shown that the Daisy<sup>II</sup> incubator gives accurate predictions of degradability and degradation profile of several different feed stuffs.

The objectives of this study was to determine the effect of species and stage of maturity on chemical composition and rumen degradation of fibre and dry matter (DM) in whole crop cereals and to compare the ANKOM Daisy<sup>II</sup> *in vitro* technique with the *in situ* method for analyses of rumen degradation characteristics of NDF and DM in whole crop cereals. Oats, barley, triticale and spring-sown wheat were grown in main plots with three replicates. The experiment was repeated during two years (2002 and 2003). Each main plot was divided into two sub-plots, which were harvested at the early milk or at the early dough stage of maturity. Samples were ensiled with or without using silage additives in 4-litre silos for 90 days. Silages and fresh materials were analysed for chemical composition. In this thesis, the

chemical composition is only shown for the fresh material and the silages without additives. Rumen degradation profile was only determined on silages without additives. *In vitro*-degradation was determined with ANKOM Daisy<sup>II</sup> incubators for 48 samples from both years. Samples were weighed into filter bags that were sealed and incubated in rumen fluid and buffer in 4 litres glass jars, in which all samples for each time were in the same jar, in digestion chambers. *In situ*-degradation was only determined for 24 samples from the first experimental year. Samples were weighed into nylon bags which were placed in the rumen of three cannulated cows. For both the *in situ* and *in vitro* techniques the incubations were terminated at different time intervals up to 120 hours. After incubation, the bags were rinsed with water. Fibre data from the *in vitro*- and *in situ*-incubations were fitted to a non-linear model for estimation of extent and rate of potentially digestible NDF, potentially indigestible NDF and lag time before degradation of NDF began.

All silages were of good hygienic quality, except for oats and spring-sown wheat, harvested at the early dough stage, which had a relatively high content of butyric acid and contained more clostridia spores than the other silages. Chemical composition differed somewhat between the two years, but differences between species and stages of maturity were in most cases similar in both years. Oats and wheat had the highest content of NDF, ADF (acid detergent fibre) and lignin ( $P < 0.001$ ). Barley contained more NDF than triticale. The concentrations of NDF and ADF decreased with later maturity ( $P < 0.001$ ) whereas the starch content increased ( $P < 0.001$ ). The lignin content was not affected by plant maturity. Barley had the highest starch content, followed by oats and wheat ( $P < 0.001$ ). Barley and triticale had the highest *in vitro*-degradability of organic matter (OM) both according to VOS (rumen fluid organic matter solubility; use of rumen fluid) and EFOS (enzymatic organic matter degradability; use of added enzymes instead of rumen fluid;  $P < 0.001$ ). Using EFOS, digestibility of OM increased with plant development ( $P < 0.001$ ) whereas VOS only showed an increase for triticale ( $P < 0.05$ ). The variation in digestibility of OM according to EFOS could to a great extent be explained by the variation in the content of starch ( $R^2=0.40$ ), NDF ( $R^2=0.71$ ), and ADF ( $R^2=0.88$ ).

There was no difference between the *in situ* and the *in vitro* method regarding to effect of rinsing on the amount of DM. There was, however, an effect by year on the water soluble DM, which could have been due to different temperatures of the rinse water. The disappearance of DM (soluble + degradable DM) during incubation was higher for barley and triticale than for oats and spring-sown wheat with both methods for samples from the first year ( $P < 0.001$ ). For samples from the second year, barley had higher disappearance of DM than triticale, which did not differ from wheat ( $P < 0.05$ ). Oats had the lowest disappearance of DM in both years. No effect of plant development was shown on the disappearance of DM during incubation.

Oats and spring-sown wheat contained more *in situ* and *in vitro* potentially indigestible NDF than barley and triticale ( $P < 0.01$ ). Barley had the highest concentration of potentially degradable NDF *in vitro*, whereas the *in situ* method showed no differences among species. Oats and spring-sown wheat had the lowest concentration of *in vitro* potentially degradable NDF ( $P < 0.05$ ). The rate of degradation of NDF *in situ* was highest in barley in both stages of development. Differences in *in situ* degradation rate of NDF among the other three species varied between maturities ( $P < 0.01$ ). The amount of potentially degradable NDF was higher at the early milk stage than at the early dough stage of maturity both according to the *in situ* and the *in vitro* method ( $P < 0.01$ ). The amount of potentially indigestible NDF was not affected by plant maturity, except for the *in situ* method, where the difference probably was

due to two underestimated values of oat. Additionally, spring-sown wheat from the second year had higher amount of *in vitro* potentially indigestible NDF at the early milk stage than at the early dough stage of maturity. The rate of degradation of NDF *in situ* decreased from the early milk stage to the early dough stage of maturity ( $P < 0.001$ ). The variation in *in situ* potentially indigestible NDF content and the disappearance of DM after 120 hours of incubation *in situ* could to some extent be explained by differences in lignin content ( $R^2=0.49 - 0.68$ ).

The lag time before degradation of NDF began was 15 times longer with the *in vitro* technique compared to the *in situ* method ( $P < 0.001$ ). The *in vitro* method also resulted in higher degradation rates and lower degradation of NDF and DM ( $P < 0.001$ ). The higher rate of degradation with the *in vitro* than with the *in situ* technique is a result of the longer lag time. Differences in the extent of degradation between the methods are probably due to the higher concentration of microbes in the rumen of the living animal compared to *in vitro* and the long lag time with the *in vitro* technique most likely is due to problems with the methodology, such as long transportation time of the rumen fluid before incubation. Even though the *in vitro* technique showed a larger variation among replicates and that the data from the *in vitro* incubation had a lesser fit to the degradation model than the *in situ* data, a high correlation was shown between the two methods according to potentially degradable NDF and potentially indigestible NDF. The ANKOM Daisy<sup>II</sup> *in vitro* incubator is suitable for estimating the amount of degradation of NDF in whole crop cereals, but improvements of the technique are needed to shorten lag times and to decrease the variations among replicates to achieve better estimations of the degradation patterns.



## Litteratur

- Acosta, Y. M., Stallings, C. C., Polan, C. E. & Miller, C. N. 1991. Evaluation of barley silage harvested at boot and soft dough stages. *J. Dairy Sci.* 74:167-176.
- Adesogan, A. T., Owen, E. & Givens, D. I. 1998a. The chemical composition, digestibility and energy value of fermented and urea-treated whole crop wheat harvested at three stages of maturity. *Grass and Forage Sci.* 53:66-75.
- Adesogan, A. T., Owen, E. & Givens, D. I. 1998b. Prediction of the *in vivo* digestibility of whole crop wheat from *in vitro* digestibility, chemical composition, *in situ* rumen degradability, *in vitro* gas production and near infrared reflectance spectroscopy. *Anim. Feed Sci. Technol.* 74:259-272.
- Adogla-Bessa, T. & Owen, E. 1995. Ensiling of whole-crop wheat with cellulase-hemicellulase based enzymes. 1. Effect of crop growth stage and enzyme on silage composition and stability. *Anim. Feed Sci. Technol.* 55:335-347.
- Allen, M. S. 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J. Dairy Sci.* 80:1447-1462.
- Andersson, R. & Hedlund, B. 1983. HPLC analysis of organic acids in lactic acid fermented vegetables. *Z. Lebensm. -Unters. Forsch.* 176:140-143.
- Arieli, A. & Adin, G. 1994. Effect of wheat silage maturity on digestion and milk yield in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:237-243.
- Ashbell, G., Weinberg, Z. G., Bruckental, I., Tabori, K. & Sharet, N. 1997. Wheat silage: Effect of cultivar and stage of maturity on yield and degradability *in situ*. *J. Agric. Food Chem.* 45:709-712.
- Bergen, W. G., Byrem, T. M. & Grant, A. L. 1991. Ensiling characteristics of whole-crop small grains harvested at milk and dough stages. *J. Anim. Sci.* 69:1766-1774.
- Chai, W. & Udén, P. 1998. An alternative oven method combined with different detergent strengths in the analysis of neutral detergent fibre. *Anim. Feed Sci. Technol.* 74:281-288.
- Cherney, J. H. & Cherney, D. J. R. 2003. Assessing silage quality. In: Buxton, D. R., Muck, R. E. & Harrison, J. H. (Ed.) *Silage Science and Technology*. pp. 141-198. AGRONOMY 42. ASA, CSSA and SSSA, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Cherney, J. H. & Marten, G. C. 1982a. Small grain crop forage potential. I. Biological and chemical determinants of quality, and yield. *Crop Sci.* 22(2):227-231.
- Cherney, J. H. & Marten, G. C. 1982b. Small grain crop forage potential. II. Interrelationships among biological, chemical, morphological, and anatomical determinants of quality. *Crop Sci.* 22(2):240-245.

- Crovetto, G. M., Galassi, G., Rapetti, L., Sandrucci, A. & Tamburini, A. 1998. Effect of the stage of maturity on the nutritive value of whole crop wheat silage. *Livestock Production Sci.* 55:21-32.
- De Boever, J. L., Vanacker, J. M. & De Brabander, D. L. 2002. Rumen degradation characteristics of nutrients in maize silages and evaluation of laboratory measurements and NIRS as predictors. *Anim. Feed Sci. Technol.* 101:73-86.
- Ekelund, S. 1966. Meddelande 28, bilaga VIII. Statens lantbrukskemiska kontrollanstalt.
- Filya, I. 2003. Nutritive value of whole crop wheat silage harvested at three stages of maturity. *Anim. Feed Sci. Technol.* 103:85-95.
- Goering, H. K. & Van Soest, P. J. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *Agricultural Handbook, No. 379*, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture US Government Printing Office, Washington, DC, pp 1-20.
- Garnsworthy, P. C. & Stokes, D. T. 1993. The nutritive value of wheat and oat silages ensiled on three cutting dates. *J. Agric. Sci. Cambridge.* 121:233-240.
- Helsel, Z. R., & Thomas, J. W. 1987. Small grains for forage. *J. Dairy Sci.* 70:2330-2338.
- Holden, L. A. 1999. Comparison of methods of *in vitro* dry matter digestibility for ten feeds. *J. Dairy Sci.* 82:1791-1794.
- Jonsson, A. 1990. Enumeration and confirmation of *C. tyrobutyricum* in silages using neutralred, D-cycloserine and lactate dehydrogenase activity. *J. Dairy Sci.* 73:719-725.
- Julier B., Lila M., Furstoss V., Travers V. & Huyghe C. 1999. Measurement of cell-wall digestibility in lucerne using the filter bag technique. *Anim. Feed Sci. Technol.* 79(3):239-245.
- Jung, H. G. & Allen, M. S. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *J. Anim. Sci.* 73:2774-2790.
- Kennely, J. J. & Weinberg, Z. G. 2003. Small grain silage. In: Buxton, D. R., Muck, R. E. & Harrison, J. H. (Ed.) *Silage Science and Technology*. pp. 141-198. AGRONOMY 42. ASA, CSSA and SSSA, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Khorasani, G. R., Jedel, P. E., Helm, J. H. & Kennelly, J. J. 1997. Influence of stage of maturity on yield components and chemical composition of cereal grain silages. *Can. J. Anim. Sci.* 77(2):259-267.
- Khorasani, G. R., Okine, E., Kennelly, J. J. & Helm, J. H. 1993. Effect of whole cereal grain silage substituted for alfalfa silage on performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:3536-3546
- Lindgren, E. 1979. The nutritional value of roughages determined *in vivo* and by laboratory methods. Report no. 45. Department of Animal Nutrition, The Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, 61 pp. (In Swedish).



- Mandebvu, P., Klingener, J. L., LaCoss, D. D., Ballard, C. S., Sniffen, C. J. & Kramer, S. R. 2001. Effects of source and level of nitrogen, and changing buffer/ruminal fluid at 48 h on *in vitro* digestion of feedstuffs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 93:43-54.
- Marten, G. C. & Barnes, R. F. 1980. Prediction of energy digestibility of forages with *in vitro* rumen fermentation and fungal enzyme systems. In: *Standardization of Analytical Methodology for Feeds*. Proc. Workshop Int. Dev. Res. Ctr, Ottawa, 12-14 March 1979, eds. Pigden, W. J., Balch, C. C., Graham, M. Unipub, New York, p. 61-71.
- McCartney, D. H. & Vaage, A. S. 1994. Comparative yield and feeding value of barley, oat and triticale silages. *Can. J. Anim. Sci.* 74(1):91-96.
- Mertens, D. R. 1977. Dietary fiber components: relationship to the rate and extent of digestion. *Fed. Proc.* 36:187-192.
- Micek, P., Kowalski, Z. M., Borowiec, F. & Shelford, J. A. 2001. Digestibility of whole grain crop silages determined by different methods. *J. Anim. Feed Sci.* 10:695-706.
- Miller, T. K., Hoover, W. H., Poland, W. W., JR., Wood, R. W. & Thayne, W. V. 1990. Effects of low and high fill diets on intake and milk production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 73:2453-2459.
- Nadeau, E. 2004a. Grödans, skördetidpunktens och tillsatsmedlets inverkan på helsädens foderkvalitet. pp. 53-56. Konferensrapport. Jordbrukskonferensen, 23-24/11. SLU Uppsala, Sweden.
- Nadeau, E. 2004b. Effekt av spannmålsgröda, skördetidpunkt och tillsatsmedel på foderkvaliteten hos helsäd. Rapport nr. 6. Inst. För husdjurens miljö och hälsa, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Nadeau, E. M. G., Buxton, D. R., Lindgren, E. & Lingvall, P. 1996. Kinetics of cell wall digestion of orchardgrass and alfalfa silages treated with cellulose and formic acid. *J. Dairy Sci.* 79: 2207-2216.
- Nadeau, E., Karlsson, S., Gustafsson, A. H., Lundgren, A. & Hermansson, L. 2003. Foderstater för minskat kväveläckage. Djurhälso- och utfodringskonferens, 19 – 21 augusti, Kalmar. pp 47-53. Svensk Mjök.
- NMKL. 1976. Nordisk Metodkommitté för Livsmedel, nr 6.
- Ohlsson, C. 1996. Effects of silage additives, harvest date, and particle reduction on quality of whole-crop barley – 1996. Report to Biotol Limited. Research Center Foulum, Danmark. 18 pp.
- O’Kiely, P. O. & Moloney, A. P. 1995. Performance of cattle offered whole-crop barley or wheat silage. *Irish J. Agr. Food Res.* 34:13-24.

Okine, E. K., Khorasani, G. R. & Kennelly, J. J. 1994. Effects of cereal grain silages versus alfalfa silage on chewing activity and reticular motility in early lactation cows. *J. Dairy Sci.* 77:1315-1325.

Plantedirektoratet. 1993. In vitro enzymmetode til bestemmelse af fordøjeligheden af organisk stof i foderstoffer til drøvtyggere. Metode 9.2, 7 januar, 1993, 2 version gældende fra 01-06-2002.

Robinson, P. H., Campbell Mathews, M. & Fadel, J. G. 1999. Influence of storage time and temperature on *in vitro* digestion of neutral detergent fiber at 48 h, and comparison to 48 h in sacco neutral detergent fiber digestion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 80:257-266.

SAS User's Guide: Statistics, Version 5 Edition. 1985. SAS Inst., Inc., Cary, NC.

SLL, Statens lantbrukskemiska laboratorium. 1989. Nr. 38.

Spanghero, M., Boccalon, S., Gracco, L. & Gruber, L. 2003. NDF degradability of hays measured *in situ* and *in vitro*. *Anim. Feed Sci. Technol.* 104:201-208.

Stern, M. D., Bach, A. & Calsamiglia, S. 1997. Alternative techniques for measuring nutrient digestion in ruminants. *J. Anim. Sci.* 75:2256-2276.

Sutton J. D., Phipps R. H., Deaville E. R., Jones A. K. & Humphries D. J. 2002. Whole-crop wheat for dairy cows: effects of crop maturity, a silage inoculant and an enzyme added before feeding on food intake and digestibility and milk production. *Anim. Sci.* 74(2):307-318

Søgaard, K., Weisbjerg, M. R., Thøgersen, R. & Mikkelsen, M. 2001. Laboratoriemetoder til bestemmelse af fordrøjelighed i grovfoder til kvæg med særlig vægt på stivelsesholdige helsædsafgrøder. DJF rapport Nr. 34, Husdyrbrug. Danmarks JordbrugsForskning.

Tilley, J. M. A. & Terry, R. A. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *J. Br. Grassl. Soc.* 18:104-111.

Varel, V. H. & Kreikemeier, K. K. 1995. Technical note: Comparison of *in vitro* and *in situ* digestibility methods. *J. Anim. Sci.* 73:578-582.

Varga, G. A., Meisterling, E. M., Dailey, R. A. & Hoover, W. H. 1984. Effect of low and high fill diets on dry matter intake, milk production, and reproductive performance during early lactation. *J. Dairy Sci.* 67:1240-1248.

Weisbjerg, M. R. 2004. Cellvæggens fordøjelighed i kornsorter til helsæd. Intern rapport nr. 191, januari. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Danmarks JordbrugsForskning.

Wilman, D. & Adesogan, A. 2000. A comparison of filter bag methods with conventional tube methods of determining the *in vitro* digestibility of forages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 84:33-47.

Zadoks, J. C., Cheng, T. T. & Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research.* 14:415-421.