

Slutrapport för SLF-projekt Mjölproduktion V1230037 – Kartläggning av den oförklarade delen i foderanalysen

Peter Udén

Avdelningen för fodervetenskap

Institutionen för husdjurens utfodring och vård, SLU

Kungsängens forskningscentrum

753 23 Uppsala, Sweden

Introduktion

De analytiska metoder som används för att värdera foder utgör grunden för att NorFor skall fungera. Fodret uppdelas i följande fraktioner: fiber (NDF), råprotein (CP), stärkelse, råfett, fermentationsprodukter (i ensilage, m.m.) och en restfraktion (RF). Den sista beräknas som skillnaden mellan 1000 och ovan nämnda analyser och utgör 25-30 % i grönmassa och ensilage även om RF korrigeras för socker och trots att råprotein i NDF dubbelräknas.

Enligt NorFor antas RF i huvudsak utgöras av lättlösliga kolhydrater (socker, pektin och β -glukaner) och benämns också 'RestCHO' i modellen (Volden, 2011) men sammansättningen har inte tidigare studerats och β -glukaner förekommer bara i spannmålskärnor. Det finns dessutom inga publikationer där man försökt kartlägga grovfodrets totala sammansättning utan sannolikt antagit att den oanalyserade fraktionen är försumbar. Detta är inte så märkligt med tanke på de svårigheter som är förknippade med att både analysera alla komponenter och att göra detta med stor noggrannhet.

Möjligheten att beräkna ensilagens sammansättning från grönmassans sammansättning skulle kunna förenkla lantbrukarens tillvaro genom bl.a. enklare provtagning. Givetvis skulle detta inte kunna ersätta upprepade kontroll av vattenhalt och hygienisk kvalitet under utfodringssäsongen men skulle kunna reducera behovet av andra analyser på ensilaget. För att detta skall vara möjligt fordras kunskap om vilka produkter som bildas och vilka som förbrukas vid ensileringen.

En aspekt på foderanalyserna är den kostnad som dessa utgör. Om samtliga analyser på foder skulle göras med de vanliga förekommande referensmetoderna skulle analysen av ett ensilageprov kosta uppskattningsvis 2000 kr. Idag görs huvuddelen av lantbrukets analyser med nära-infraröd (NIR) spektroskopi till en mycket lägre kostnad. Det stora problemet med NIR är svårigheter med kalibreringar som under vissa år ger upphov till alarmerande felaktigheter. Dessutom är skattningar av fermentationsprodukter (FP) och socker i ensilage så dåliga att de inte kan användas. Arbete har pågått på vår avdelning under flera år med utveckling av FTIR-spektroskopi på pressvatten från ensilage för att analysera socker och FP. Medel har dock inte kunnat erhållas för utveckling av denna metodik för praktisk användning i lantbruket.

Huvudmålen med denna studie har varit:

- a) Kartlägga så stor del som möjligt av ensilagens och grönmassans sammansättning för att på så vis skatta sammansättningen av NorFors RF.
- b) Kartlägga balansen av komponenter i grödan före och efter ensilering för att utröna vilka ämnen eller fraktioner som förbrukas och vilka som tillkommer under ensileringen för att undersöka möjligheten att skatta ensilagens sammansättning från grönmassans

Material och metoder

Prover och preparation

Timotej (*Phleum pratense L.*), röd- (*Trifolium pratense L.*) och vitklöver (*T. repens L.*) skördades under 2012 tidigt och sent i två skördar med undantaget att ingen sen 1:a-skörd av rödklöver kunde erhållas. Helgrödor (HG) av korn (*Hordeum vulgare L.*), vete (*Triticum aestivum*) och majs (*Zea mays*) skördades i tidigt, medeltidigt och sent utvecklingsstadium. Alla grödor odlades i området runt Uppsala (59° 49'N, 17°39'E) och korn- och veteprover togs på olika områden för olika utvecklingsstadier. Prover av 5-6 kg skördades för hand och alla främmande arter togs bort.

Vallgrödorna torkades först i en ugn med tvångscirkulation vid 60° C för att nå en torrs substans (TS)-halt av ca 400 g/kg medan HG inte förtorkades. Efter en grovhackning (majsproverna kördes genom en köttkvarn utan matris), ensilerades cirka 600 g i dubbla 1,7-L glasburkar, försedda med vattenlås, i 60 dagar. Kvarvarande provmaterial och, senare, ensilerade prover frystes vid -20° C.

Analysmetoder

Analysmetoder som användes finns redovisade i Tabell 1. Torrs substans- (TS) innehållet bestämdes efter torkning i 16 h vid 103° C i ett fläktorkskåp. Ensilage-TS korrigerades för flyktiga förluster enligt Weissbach och Strubelt (2008a), med hjälp av ekvationen:

$$TS_{\text{skorr}} (\text{g/kgTS}) = Ugn\text{-TS} * (1 + (\text{LAC} * 0.08 + (\text{FOR} + \text{AC} + \text{PROP} + \text{BUT}) * (1.05 - 0.059 * \text{pH}) + \text{BUTD} * 0.87 + \text{ETOH} + \text{AMM} * 0.6) / 1000)$$
där, LAC = mjölksyra, FOR = myrsyra, AC = ättiksyra, PROP = propionsyra, BUT = smörsyra, BUTD = 2,3 butandiol, ETOH = etanol och AMM = ammoniak.

För beräkning av utbyte, var ensilageviktförlusterna också inkluderade. Här förutsattes att de var enbart CO₂. Kväve i TS och NDF (neutral detergent fiber) analyserades med Cu som en katalysator och användes för beräkning av råprotein, under antagande av 16 g N/kg råprotein. Även ammoniak analyserades i ensilageprover och uttrycktes som NH₄⁺. Total-N delades in i NDFCP, NH₄⁺ och RestCP (RestCP = CP - ammoniak-N/0.16 - NDFCP). Råfettanalys gjordes med hjälp metod B i EG (nr 152/2009).

NDF analyserades med hjälp av natriumsulfit och amylas (Termamyl®) och rapporterades utan aska (aNDFom) enligt Van Soest et al. (1991). Extraktioner gjordes enligt Chai och Udén (1998) och filtrering på 6-µm pappersporositet (Munktell 1002, Munktell Filter AB, Falun, Sverige) enligt Udén (2006). Amylasbehandling av HG prover gjordes annorlunda för att förbättra avlägsnandet av stärkelse i kärnor. Dessa prover hydrolyserades först med amylas. Prover som testade positivt för jod analyserades på nytt. Vattenlösligt socker (WSC) i HG-prover analyserades i 0.05 M acetatbuffertextrakt som antogs likna de vattenextrakt (Udén, 2010) som användes för vallproverna. Stärkelse analyserades sekventiellt med WSC och gjordes på alla prover utom på Timothy. Pektin analyserades i form av galakturonsyra, med antagande av 830 g galakturonsyra/kg pektin (Bucher, 1984).

Halten av organiska syror (OA) uppskattades samtidigt med FP men med UV- i stället för RI-detektion. Grönmassans OA antogs härröra från Krebscykeln: citron-, äppel-, bärnstens-, och fumarsyra och av oxal-, 'shikimic-', malon- och kinasyra. Totala fenoler bestämdes som gallsyraekvivalenter med hjälp av Folin-Ciocalteu-reagens.

Summan av aska, Rest-CP, NH₄⁺, aNDFom, råfett, WSC, pektin, stärkelse, fenoler, OA, och FP antogs utgöra provets TS.

Vattenextrakten från ensilagen skannades också med ett standard FTIR-('Fourier transform infrared') instrument för mjölkanalys (FT120, Foss Electric A/S, Hillerød, Danmark). Protokollet för extrakten var identiskt med den som beskrivits av Udén (2009), med undantag av att prover titrerades till pH 7.0, och att en engångsspruta användes för att injicera extraktet i kyvetten. Skattningar av koncentrationer gjordes med hjälp av tidigare utförda kalibreringar (opubl.).

Statistiska analyser och beräkningar

Deskriptiva standardmetoder såsom aritmetiska medelvärden, standard avvikelse (SD) och SDreg (standardavvikelsen från regressionslinjen) har genomgående använts. Enkla linjära regressioner beräknades för skattningar av ensilagens sammansättning från grönmassans med Microsoft Excel® och för multipla regressioner med hjälp av stegvis regresson i Minitab (Minitab® v. 16.1, State College, PA, USA). Två beräkningssätt användes RP. Den första beräknades som summan av WSC, pektin, OA och fenoler (RF1) och den senare enligt NorFor (Volden, 2011; RF2). Variansanalys med GLM i Minitab användes för att studera effekten av beräkningssätt (RF1 eller RF2), form (ensilage eller grönmassa), typ (vallgröda eller HG), och samtliga 2- och 3-vägsinteraktioner på storleken av RF.

Resultat

Kinasyra och malonsyra utgjorde problem i HPLC-analysen och kunde inte separeras. Dessutom gav majsproverna orimligt höga värden för dessa syror och resultat måste därför utslutas.

Grönmassa

Genomsnittligt TS-innehåll i vallgrönmassa vid skörd var 187 (106-345) och för HG 395 (151 - 757) g/kg. Klöver hade höga askhalter med tanke på de minimala jordföroreningar från den manuella skörden. Råfett och lösliga fenoler var i genomsnitt 20 och 2 g/kg TS och hade låg SD (7 och 0.5), respektive. Grönmassans sammansättning visas i sammandrag i Tabell 2. Total-N (visas ej), WSC, pektin och stärkelse varierade betydligt, som väntat, med höga värden för N och pektin i klöver. Andelen NDFCP av total-CP (ej visad) var 0.18 (0.10-0.45). OA i grönmassa var i genomsnitt 52 (61, majs exkluderat) g/kg TS och det fanns också spår av FP i grödorna. I proverna utgjorde kinasyra-malonsyra den största andelen av OA följt av äppelsyra och citronsyra (visas ej).

Ensilage

Torrsubstans i de förtorkade vallensilagen var i genomsnitt 409 (351-464) och för direkensilerade HG 393 (153-811) g/kg (ej visat). Ammoniak-N var i genomsnitt 75 (SD = 30) g/kg total N i ensilage (visas ej). Andelen NDFCP (ej visad) var lägre än för de grödor med ett genomsnitt av 0.11 (0.05-0.17). Ensilagens sammansättning visas i sammandrag i Tabell 2. Nivåerna av FP var mycket varierande som förväntat (medelvärde = 80, SD = 51 g/kg TS). Det högsta enskilda värdet (209 g/kg TS) hittades i WC majs med en TS-halt på 161 g/kg vid medelmognad. Totala OA var i genomsnitt 37 (39, majs exkluderat) g/kg TS. Kina-malonsyra utgjorde den största delen av OA följt av äppelsyra, citronsyra och bärnstenssyra (visas ej).

Analyssummor och RF

Summan av analyter i alla prover visas i Tabell 2. I grönmassa utgjorde dessa 1003 (889-1107, SD = 57) g/kg TS. Lägst medelsumma hade vitklöver på 965 g/kg TS. Hellsädsgrödorna hade högre totalsummor (1043 g/kg TS) jämfört med vallgrödorna (970 g/kg TS). I ensilage återfanns 963 (795-1019, SD = 47) g/kg TS. Lägst värde hade vitklöver med ett genomsnitt på 924 g/kg TS. Hellsädsgrödorna hade högre totalsummor (949 g/kg TS) jämfört med vallgrödorna (980 g/kg TS).

Restfraktionen beräknad enligt de två metoderna visas i Tabell 3. För grönmassa blev RF1 något högre än RF2 medan det omvände förhållandet rådde för ensilage. Skillnaden var dock inte signifikant ($P=0.77$). RF1 var högre ($P<0.001$) i vallproverna (214 g/kg TS) än i HG (138 g/kg TS) och lägre ($P<0.001$) i ensilage (116 g/kg TS) än i grönmassa (236 g/kg TS). Inga interaktioner var signifikanta ($P>0.12$). Andelen WSC, pektin och OA räknat på samtliga prover var i storleksordningen 1/3 vardera. Stora skillnader uppträdde i WSC med bara 50 för ensilage från rödklöver till 740 g/kg RF1 för grönmassa från majs. Pektinandelen var högst för rödklöver i både grönmassa och ensilage. Andelen WSC var inte oväntat högre ($P=0.011$) i grönmassa (LSM=390 g/kg TS) än i ensilage (LSM=229 g/kg TS) medan vall- och HG-proverna inte skiljde sig åt signifikant ($P=0.15$). Andelen pektin och OA kunde inte förklaras med vare sig form (grönmassa och ensilage) eller med typ (vall och HG).

Förbrukning av substrat under ensileringen

För att ta reda på vilka komponenter som utnyttjades under förjäsningen, jämfördes grönmassans innehåll med ensilagens, korrigerat för förluster under jäsningen. Viktförlusterna under ensilering var i genomsnitt 15 g/kg, men antaget att dessa förluster enbart utgjordes av organiskt material (CO_2), uppskattades förlusterna till 43 (16-93) g/kg TS. Förlust av WSC, pektin, OA, stärkelse, RestCP och aNDFom (Tabell 4) var 71, 44, 39, 19, 36 och 3 %, respektive. I fallet med stärkelse, förlorade klöver i genomsnitt 72 % av stärkelsen (20 g/kg TS), tidigt skördade vete 40 % (100 g/kg TS) och korn vid medelmognad 29 % (91 g/kg TS). Förlust av enskilda OA, utom bärnstenssyra, var 38-55 %. Bärnstenssyra ökade istället kraftigt i ensilaget, som visar att det är i första hand en förjäsningssyra. Vissa marginella ökningars sågs i aska (4 %), råfett (3 %) och total N (2 %). Summan oredovisade TS-förluster var 39.9 g/kg TS eller 1,4 (-1,4 till 5.3) mol C/kg TS. Omvandlingsfaktorer som användes var: aNDFom (korrigerad för NDFCP), stärkelse och pektin 37,04 mol C/kg; WSC, 33,33 mol C/kg; råfett, 49,1 mol C/kg; NDFCP och RestCP, 3,8 mol C/mol N. För FP, OA och gaser (CO_2), användes ämnas exakta molekylära sammansättningar.

Skattning av ensilagens sammansättning från grönmassans

Tabell 5 visar skattningar av ensilagesammansättning från den för grödan. Aska, aNDFom och CP hade alla låga CV, medan råfett hade en låg SDreg och hög CV. Resultat från multipelregressioner visas i Tabell 6. Ensilagens innehåll av NH_4^+ påverkades av gröda, CP- och TS-innehåll ($R^2 = 0.85$), FP av grödans TS- och WSC-innehåll ($R^2 = 0.80$) och att ensileringens förluster påverkades av grödans TS och pektininnehåll men med en låg R^2 (0.34). En förbättrad skattning av totala FP kunde dessutom erhållas med anpassning av en exponentialfunktion ($\text{FP} = 493.29e^{0.005x}$, $R^2 = 0.89$). Ensilagens WSC-innehåll kunde inte förutsägas från någon av grödans variabler.

Skattning av ensilagens sammansättning med FTIR

Resultaten från skattningarna av ensilagens sammansättning med FTIR kan ses i Tabell 7. Övriga vattenlösliga komponenter hade för låga koncentrationer och/eller för liten variation för meningsfulla skattningar.

Diskussion

Denna studie har bara omfattat några få vanliga grovfoderväxter i Sverige insamlade under ett år inom en snäv radie runt Uppsala. Kraftfodermedel har inte ingått i denna undersökning men de som används i Sverige har normalt en sammansättning med en låg andel RF om inte WSC och pektin utgör en betydande andel (Tabell 8). Av tabellen som är baserad på NorFors svenska databas från 2013 framgår att vissa RF-värden inte kan förklaras av WSC och pektin. Detta gäller framför allt etanol drank (4 prover), lupiner (3 prover) och sockerbetsprodukter (5 prover) där RF – WSC – pektin > 100 g/kg TS. Vad gäller lupiner kan förekomst av oligosackarider (raffinosa, m.fl.) förklara diskrepansen men för spannmålsdrank och sockerbetsprodukter är differenserna mer svåröklarliga.

Kartläggning av ensilagens och grönmassans sammansättning

Summan av analyser var nära 1000 g/kg TS både för grönmassa och ensilage men intervallet 795 till 1107 var något oroande och pekar både på brister i analytisk precision och att sammansättningen av vissa växter inte fångas upp med de genomförda analyserna. Det är påfallande att totalsummorna rankade HG>timotej>rodklöver>vitklöver både för grönmassa och för ensilage. Särskilda försiktighetsåtgärder hade ändå iakttagits både vad beträffar filtreringsförluster och reststärkelse vid aNDFom-analysen genom filtrering på 6-µm paper och särskilt noggrann amylasbehandling. En orsak kan vara beräkningen av CP i NDFCP och RestCP som kan vara en källa till underskattning av den faktiska vikten. I litteraturen saknas uppgifter på samtliga N-föreningar som finns i gröna växter. Man har antagit att ett normalprotein innehåller 160 g/kg. Uppgifter på aminosyrainnehåll i gräs och lusern (McDonald et al., 2002; Nelson och Sosulski, 1984) visar att de som redovisas totalt bara svarar för c:a 60-70 % av N-innehållet. En ytterligare komplikation är att fria aminosyror, som förekommer rikligt i ensilage, har en genomsnittlig vikt som är 17 % högre än i det intakta proteinet pga en ökning av ett vatten per/mol. Detta kan till viss del förklara de lägre totalsummorna för ensilage jämfört med grönmassa.

Restfraktionen beräknad enligt NorFor (Volden, 2011; RF2) eller som summan av WSC och de komponenter (pektin, fenoler och OA) som inte förekommer i NorFor (RF1) uppvisade vissa skillnader beroende på att totalsumman av samtliga komponenter aldrig exakt utgjorde torrsubstansinnehållet. Med en andel av WSC+pektin på i storleksordningen 2/3 med inte allt för oroväckande variation skulle detta möjligen kunna ligga till grund för skattningar i NorFor. Både WSC och pektin har hög nedbrytningshastighet och skulle därmed gemensamt kunna ingå i beräkningen av ”vombelastningsindexet” (rumen load index). Hur OA skall behandlas i detta sammanhang är mer osäkert men, förslagsvis skulle nedbrytningshastigheterna av dess syror kunna studeras in vitro. Sannolikt sker en mycket snabb omsättning av dessa i vommen och skulle då också kunna ingå i vombelastningsindexet.

Förluster under ensileringen

Det är lätt att anta att ensilage viktminskning på förluster av vatten i form av ånga. Förutsatt 17 g vatten per m⁻³ mättad luft, en förlust av 1000 g glukos i form av CO₂ med ett utbyte av 33 mol CO₂, resulterar i 0.74 m³ gas. Andelen vatten i förhållande till förlorad glukos blir då 0.74 * 17/1000 = 0.013 och kan för de flesta situationer därför ignoreras. Andelen WSC som återfinns i ensilage beror på omfattningen av jäsningsen som är i huvudsak beroende av vattenaktivitet och hämmare av jäsningsen. Aska, aNDFom, råfett och total-N återfanns i stort sett till 100 % (Tabell 4). Däremot hade NDFCP genomgått viss nedbrytning vilket bl.a. resulterade i nettoökningen av RestCP och ammoniak. Förjäsningsen av stärkelse antas vara liten under anaeroba förhållanden (McDonald et al., 1991) och förlust av pektin under ensilering är i stort sett okänd. Andelen förlorad stärkelse och pektin var i denna studie i genomsnitt 0.09 och 0.44. Stärkelseförlusten i klöver var dock i storleksordningen 0.72 men i HG 0.13 (visas ej). De absoluta stärkelseförlusterna liknade för båda kategorierna (20 och 25 g/kg TS grönmassa).

Skattning av ensilagens sammansättning från grönmassa

Fördelar om ensilagens sammansättning kan skattas från grödans är bland annat att uttag av representativa prover är lättare och att vinterns foderplanering kan göras redan på sommaren. Resultaten från dessa ensileringar i mini-silos visar att aska, aNDFom, CP, råfett och ammoniak kunde skattas med tillfredsställande noggrannhet för praktiskt bruk (Tabell 5 och 6). Detta förutsätter dock att ingen aerob nedbrytning och inga pressvattenförluster sker.

Användning av FTIR som ett billigt alternativ för analys av socker och fermentationsprodukter

FTIR-metoden har utvecklats med kommersiell framgång för mjölk (ISO, 1999-11-15; 9622; ISO, 2000-06-15; 8196-1; ISO, 2000-06-15; 8196-2.) och vin Patz et al., (2004) och Udén (2009, 2010) har även visat på stora möjligheter att använda den för skattning av WSC och stärkelse i hydrolysat samt för VFA i vommen (Udén och Saunja, 2009). En i huvudsak ofinansierad utveckling av metoden för FP och socker i ensilage har lett fram till kalibreringsekvationer som antyder möjligheten att åtminstone kunna klassificera ensilage i låg, medelhög eller hög koncentration med avseende på de viktigaste komponenterna i pressvatten. Underlaget i denna studie har inte varit tillräckligt omfattande för att fullt ut visa detta men antyder ändå goda möjligheter.

Konklusioner

Summan av komponenter i grönmassa och ensilage från timotej, vitklöver, rödklöver, vete, korn och majs kunde rimligt svara för det totala TS-innehållet i proverna. Dock verkar vitklöver utgöra ett oförklarligt undantag i detta fall. Förutom WSC, förbrukades pektin, OA och i viss mån stärkelse, framförallt i vallväxterna, under ensileringen. Rimliga skattningar av ensilagens sammansättning från grönmassans sammansättning beträffande aska, aNDFom, CP och ammoniak borde också kunna göras vad beträffar välensilerad grönmassa med ett torrsubstansinnehåll >400 g/kg (inget pressvatten).

När tillräckligt robusta kalibreringar för WSC och fermentationsprodukter erhållits borde ett provhanteringssystem kunna byggas upp så att ensilage kan analyseras rutinmässigt av våra kommersiella laboratorier, främst med syfte att spåra ensilage med tvivelaktig kvalitet.

En möjlighet för skattning av komponenterna i RF från grovfoder för praktiskt bruk skulle kunna bestå av analys av WSC och 'defaultvärden' för pektin, fenoler och OA efter en utvidgad kartläggning av variationen med avseende på art, växtplats, utvecklingsstadium, mm. Ett enklare alternativ vore att, om WSC, pektin och OA kunde anses ha samma egenskaper i vommen, beräkna summan av dessa från RF och eventuellt minus fenoler. Detta skulle möjliggöra en reformering av NorFor-modellen med avseende på beräkningar av vombelastning. Ett allvarligt problem med beräkningen av RF som en differens är dock att noggrannheten kommer att påverkas av den analysnoggrannheten som gäller för övriga komponenter.

Referenser

- Bucher, A. C., 1984. A comparison of solvent systems for extraction of pectic substances from fruits and vegetables. MS thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
- Chai, W. and 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.
- Ericson, B., André, J., 2010. Proc. HPLC – applications for agricultural and animal science 1st Nordic Feed Sci. Conf. June 22-23, Uppsala, Sweden, p 36-40.
- Gnanasambandam, R., Proctor, A., 1999. Preparation of soy hull pectin. *Food Chem.* 65, 461-467.
- Golovchenko, O.V., Saiko, V.F., Fartushnjak, A.T., Pruidze, G.V., 2000. Sweet white lupin seeds as a source of pectin and protein for human nutrition. Proc. 9th Int. Lupin Conf., Klink/Muritz, Germany, 20-24 juni, 1999, s. 451-452.
- McDonald P., Henderson A. R., Heron S. J. E., 1991. *The Biochemistry of Silage*. Marlow, Bucks, UK, Chalcombe publications.
- Nelson, S.H., Sosulski, F.W., 1984. Amino acid and protein content of *Poa pratensis* as related to nitrogen application and color. *Can. J. Plant Sci.* 64, 691-697.
- Odensten, M., 2001. Pektin – analysmetoder och dess nedbrytning i vommen. Examensarbete vid Institutionen för husdjurens utfodring och vård, Uppsala, SLU.
- Patz, C.-D., Blicke, A., Ristow, R., Dietrich, H., 2004. Application of FT-IR spectrometry in wine analysis. *Anal. Chim. Acta* 513, 81-89.
- Singleton, V.L., Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic – phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Viticult.* 16, 144-158.
- Theander, O., Åman, P., Westerlund, E., Andersson, R., Pettersson, D., 1995. Total dietary fiber determined as neutral sugar residues, uronic acid residues and Klason lignin (The Uppsala method): collaborative study. *J. AOAC Int.* 78, 1030-1044.

Udén, P., 2006. Recovery of insoluble fibre fractions by filtration and centrifugation. *Anim. Feed Science Technol.* 129, 316-328.

Udén, P., 2009. Estimating residual starch from in vitro fermentations by Fourier transform mid-IR transmission spectroscopy. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 152, 123-132.

Udén, P., 2010. The influence of sample preparation of forage crops and silages on recovery of soluble and non-structural carbohydrates and their predictions by Fourier transform mid-IR transmission spectroscopy. *Anim. Feed Sci. Tech.* 160, 49–61.

Udén, P., Sjaunja, L.-O., 2009. Estimating volatile fatty acid concentrations in rumen samples by Fourier transform mid-IR transmission spectroscopy. *Anim. Feed Sci. Technol.* 152, 133-140.

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583–3597.

Volden, H., 2011. Overall model description, in: Volden, H. (Ed.), *NorFor-The Nordic Feed Evaluation System*, EAAP Publ. no. 130, Wageningen Acad. Publ., Wageningen, pp. 23-26.

Weißbach, F., Strubelt, C., 2008. Correcting the dry matter content of grass silages as a substrate for biogas production. *Landtechnik* 63, 210-211a.

Åkerlind, M., Weisbjerg, M., Eriksson, T., Tøgersen, R., Udén, P., Ólafsson, B.L., Harstad, O.M., Volden, H., 2011. Feed analyses and digestion methods, in: Volden, H. (Ed.), *NorFor-The Nordic Feed Evaluation System*, EAAP Publ. no. 130, Wageningen Acad. Publ., Wageningen, pp. 41-54.

Tabell 1. Fördelning av analyser i projektet

Växt	Provtyp ^a	Form	Analys	Antal	Referens
Alla	GRM/ENS	Torkat	Fett	42	Åkerlind et al (2011)
Alla	GRM/ENS	Torkat	Pektin	84	Bucher (1984)
Alla	GRM/ENS	Torkat	Fenoler	42	Singelton et al (1965)
Alla	GRM/ENS	Färskt	Torrsubstans	42	Åkerlind et al (2011)
Alla	GRM/ENS	Torkat	Aska	42	Åkerlind et al (2011)
Alla	GRM/ENS	Färskt	Råprotein	84	Åkerlind et al (2011)
Alla	GRM/ENS	Torkat	NDF	84	Udén (2006); Chai och Udén (1998)
Alla	GRM/ENS	Färskt	WSC	42	Udén (2010)
Helsäd	GRM/ENS	Färskt	Stärkelse	42	Udén (2010)
Alla	GRM	Extrakt	Org. Syror	21	Utvecklas
Alla	ENS	Extrakt	Ammoniak	21	Åkerlind et al (2011)
Alla	ENS	Extrakt	Ferm.prod.	21	Ericson och André (2010)
Alla	GRM/ENS	Alla	Alla	567	

^aGRM=grönmassa; ENS=ensilage.

Tabell 2. Sammansättning av grönmassa och ensilage från vallväxter och helsädesgrödor

Form	Typ	Art	Aska	Råfett	N-fraktioner			Stärkelse	WSC	Pektin	Fenoler	OA	FP	Summa ^a	
					aNDFom	NH4+	NDFCP ^b								
Grönm.	Vall	Tim.	84	19	576		38	69		99	49	1.5	61	6	963
		R-kl	131	28	304		52	161	28	63	175	2.3	80	11	984
		V-kl	128	27	285		21	193	28	78	154	2.0	59	10	965
	HG	Korn	85	18	460		10	93	242	71	39	1.0	48	5	1061
		Vete	84	13	479		10	87	251	30	40	0.9	55	3	1043
		Majs	58	9	510		11	59	61	240	73	1.3	7	6	1024
Medel			96	20	435		25	112	116	96	90	1.5	52	7	1003
Max			177	30	613		64	220	402	314	185	2.6	98	12	1107
Min			53	7	252		9	38	12	17	36	0.7	5	3	889
SD			32	7	121		17	56	130	72	62	0.5	26	3	57
Ensilage	Vall	Tim.	91	22	582	2	14	87		61	30	3.2	36	63	977
		R-kl	144	32	319	4	35	176	7	9	114	3.2	47	93	946
		V-kl	140	29	313	4	19	197	9	31	79	3.6	60	58	924
	HG	Korn	88	19	434	2	9	96	228	19	28	1.4	23	70	1008
		Vete	87	12	465	1	10	83	222	28	28	1.4	20	37	986
		Majs	64	8	520	1	8	60	48	12	33	1.7	25	174	946
Medel			104	21	440	2	16	119	97	29	52	2.5	36	80	963
Max			187	40	635	5	43	231	430	140	124	4.2	81	209	1019
Min			54	6	275	0	7	56	3	1	3	0.6	14	5	795
SD			36	9	113	1	10	56	131	34	39	1.1	17	51	47

^aKorrigerad för råprotein in aNDFom; ^baNDFom=fiber extraherade med neutrala detergenter, amylas och utan aska; NDFCP=råprotein i fiber (NDF); RestCP=råprotein-ammoniak (räknat som råprotein)-NDFCP; WSC=vattenlösligt socker.

Tabell 3. Restfraktionen (RF1 och RF2 i proverna samt fördelningen av vattenlösligt socker (WSC), fenoler, pektin och organiska syror i restfraktion (g/kg RF1)

Form	Typ	Art	RF1 ^a	RF2 ^a	WSC	Fenoler	Pektin	Org.syror
Grönmassa	Vall	Timotej	210	209	470	7	233	290
		Vitklöver	293	307	269	7	513	210
		Rödklöver	321	285	193	7	549	250
		Medel	271	265	322	7	421	250
	HG	Vete	127	73	236	7	334	423
		Korn	159	88	402	7	293	299
		Majs	321	285	740	4	235	21 ^b
		Medel	202	149	459	6	287	248
		Medel	240	213	384	7	361	249
	Ensilage	Vall	Timotej	131	140	348	28	270
Vitklöver			173	231	190	22	423	365
Rödklöver			173	192	50	19	663	269
Medel			158	187	209	23	433	335
HG		Vete	77	81	350	18	372	261
		Korn	72	55	223	20	412	345
		Majs	72	117	175	24	467	334 ^b
		Medel	74	84	249	21	417	313
		Medel	120	141	227	22	426	325
		Medel	180	177	305	14	393	287

^aRF1=Restfraktionen beräknat som summan av WSC, fenoler, pektin och organiska syror; RF2=Restfraktionen beräknat enligt NorFor som 1000-aska-aNDFom-råprotein (korrigerat för ammoniak)-råfett-stärkelse-fermentationsprodukter.

^bVärdet för lågt på grund av analysproblem.

Tabell 4. Beräknade ensileringsförluster av olika komponenter

Komponent	Förluster:	
	g/kg TS	%
Aska	-3.4	-4%
aNDFom	13.8	3%
Råprotein	-3.4	-2%
NDFCP	8.8	36%
RestCP	-6.8	-6%
Ammoniak	-2.3	
WSC	68.6	71%
Stärkelse	18.0	19%
Råfett	-0.5	-3%
Fenoler	-0.9	-61%
Pektin	39.4	44%
Organiska syror	23.4	39%

NDFCP=råprotein i fiber (NDF); RestCP=råprotein-ammoniak (räknat som råprotein)-NDFCP; WSC=vattenlösligt socker.

Tabell 5. Regressionsskattningar av ensilagetts innehåll från grönmassans (g/kg TS)

Komponent	Form	Medelvärde	Regression:			
			Intercept	Lutning	SDreg	CV
Aska	Grönmassa	96.1	-1.3	1.1	5.1	0.053
	Ensilage	103.6				
	Diff	-7.6				
aNDFom	Grönmassa	435.0	45.2	0.9	27.5	0.063
	Ensilage	439.7				
	Diff	-4.7				
Råprotein	Grönmassa	136.8	-2.6	1.1	7.0	0.051
	Ensilage	146.1				
	Diff	-2.0				
Stärkelse	Grönmassa	184.6	-12.1	1.0	42.1	0.228
	Ensilage	166.1				
	Diff	18.5				
Råfett	Grönmassa	19.5	-2.1	1.2	3.1	0.161
	Ensilage	20.9				
	Diff	-1.3				
Pektin	Grönmassa	89.6	2.9	0.5	16.7	0.186
	Ensilage	52.2				
	Diff	37.4				
Org. syror	Grönmassa	60.5	15.0	0.3	17.9	0.296
	Ensilage	38.5				
	Diff	22.0				

SDreg =standardavvikelse från regressionen; CV= SDreg/medelvärdet för grödan

Tabell 6. Skattning med multipelregression av ammoniakhalt och fermentationsprodukter (syror och alkoholer) i ensilage (g/kg TS) från grödans sammansättning

Komponent	Intercept	X-variabler:				SD	R2 (just.)
		Råprotein	TS	WSC	Pektin		
NH4+	0.4519	0.0201	-0.00216			0.557	0.85
Fermentationsprod.	116.5		-0.166	0.33		23.1	0.80

TS=torrsubstans; WSC=vattenlösligt socker; SD=standardavvikelse från regressionen.

Tabell 7. Skattning av lösliga komponenter i ensilage med FTIR

	Mjölksyra	Etanol	VFA	WSC	NH4+
Analysmedelvärde (g/kg TS)	38.0	6.0	21.5	28.6	2.3
Skattningsavvikelse	-16%	0%	-32%	-48%	-53%
CV	16%	33%	45%	100%	59%

Medelavvikelse=medeldifferens: analyserat-skattat; CV=standardavvikelse från regressionen/medelvärdet.

Tabell 8. Restfraktionen i några svenska kraftfodermedel och ungefärliga pektininnehåll (g/kg TS)

Fodermedel	Form	NorFors svenska databas			Pektin	Pektinreferenser
		RF	WSC	RF-WSC		
Spannmål	Hel	40	24	16	20	Odensten (2001)
	Biprod	69	42	27	20	Odensten (2001)
	Drank	217	20	197		
	Drav	42	20	22	29	Odensten (2001)
Raps	Hel	49	60	-11	25	Odensten (2001)
	Expeller	170	81	89	57	Odensten (2001)
	Mjöl	191	100	91	52	Odensten (2001)
Soja	Hel	164	50	114		
	Expeller	210	123	87		
	Mjöl	221	121	100	50	Odensten (2001)
	Skal	126	19	107	300	Gnanasambandam och Proctor (1999)
Oljepalm	Expeller	45	30	15	17	Odensten (2001)
	Mjöl	51	32	19	17	Odensten (2001)
Lupin	Hel	265	47	218	100	Golovchenko et al. (2000)
Ärter	Hel	103	41	62	45	Theander et al. (1995)
Åkerböna	Hel	61	4	57		
Sockerbeta	Fiber	427	40	387	200	Odensten (2001)
	Betför	494	172	322	150	Odensten (2001)