

Sensorbestämning av ensilagekvalitet i samband med utfodring

Bo Stenberg^a, Mårten Hetta^b, Martin Sundberg^c

a) Institutionen för markvetenskap, SLU Skara; b) Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap, SLU Röbbäcksdalen, c) JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Slutrapport till SLF för projekt 0230045, Dnr SLF: 270/02

Introduktion

Ensilage av vallväxter är det fodermedel i mjölkproduktionen som har mest variation i sammansättning och kvalitet på gårdsnivå. Kvaliteten hos vallensilage varierar mycket både mellan och inom fält, och naturligtvis även mellan skördetillfällen. Variationerna påverkar foderstatens sammansättning från dag till dag och därmed djurens foderkonsumtion och förmåga att producera mjölk av jämn och hög kvalitet. Den viktigaste kvalitetsparametern hos ensilaget som uppvisar betydande variation är torrsubstanshalten (TS) i fodret. TS har stor betydelse för kons konsumtion och påverkar starkt näringsämnenas koncentration i det färska ensilaget. Med införandet av det nya Norfor-systemet (Gustavsson, *et al.* 2005) för fodervärdering kommer ensilagens kvalitet att få en större betydelse i förhållande till nuvarande fodervärderingssystem. Det blir därmed av stor betydelse hur mycket kon de facto äter och att i förväg känna till detta för att kunna beräkna korrekta foderstater. I avsikt att förbättra kostnadseffektiviteten och precisionen i svensk mjölkproduktion skulle därför daglig analys av vattenhalt och ensilagekvalitet i foderstaten i samband med utfodringen vara önskvärd. För att kvalitetskontrollen skall ske med en minimal arbetsinsats och till en rimlig kostnad behöver analyserna då ske med minimal provberedning, det vill säga utan torkning eller sönderdelning.

NIR (Near Infrared Reflectance) respektive NIT (Near Infrared Transmittance) är två metoder för sensorbestämning som har mycket god potential för kontinuerlig foderanalys på gårdsnivå. Med NIR/NIT kan man på ett snabbt och enkelt sätt utföra analyser eftersom behovet av provberedning är minimal jämfört med våtkemiska metoder. Själva analysen är sekundsnabb och resultatet kommer mer eller mindre momentant via en tidigare kalibrerad prediktionsmodell. Kalibreringen kräver ett referensmaterial med ett spektrum av kända foderkvaliteter som är representativa för det aktuella fodret.

Syftet med projektet är att göra det möjligt att bestämma TS och andra kvalitetsparametrar i grovfodret i samband med utfodringen och därigenom kunna anpassa foderstaten och tilldelningen av foder. I detta projekt undersöks möjligheterna att använda nära infraröd reflektans (NIR) och transmittans (NIT) för analys av färskt ensilage. Projektet syftar även till att undersöka möjligheterna att prediktera den dagliga konsumtionen av ensilage hos mjölkkor med hjälp av spektrala parametrar som beskriver ensilaget.

Material och metoder

Ensilageprover

För att beskriva en del av den variation i ensilagekvalitet som finns i den praktiska mjölkproduktionen skapade projektet en provbank med ensilageprover. Provbanken

omfattade två olika grupper av prover. Den första gruppen omfattade 69 gårdsprover tagna under vintern 2003-2004. Gårdsproverna samlades in med hjälp av Norrmejeriers producenttjänst och länsstyrelsen i Västerbotten från totalt 46 mjölkproducenter i norra Sverige samt från forskningsprojekt vid Grovfodercentrum, SLU Umeå. Materialet är insamlat från både första- (32 prover) och andraskörd (37 prover). Variationen var även stor mellan konserveringstekniker, 13 % kom från tornsilo, 26 % från plansilo, 57 % från rundbalar och 3 % från limpor. Proverna representerade en mycket bred variation i fenologisk utveckling och botanisk sammansättning av både gräs och klöver. Den andra gruppen av prover samlades in för att följa den dagliga variationen i kvalitet hos ensilage i en enskild mjölkkobesättning. Proverna kom från projektets konsumtionsstudie under våren 2005 vid Grovfodercentrum, SLU Umeå.

Alla foderproverna i projektet togs som färdigensilerade i samband med utfodring. Samlingsprover om ca 5 liter färskt prov homogeniserades manuellt och delades upp i fyra lika delar. En del av provet torkades (60° C) och maldes för kemiska- och *in vitro* analyser. En annan del av provet extraherades i destillerat vatten för analys av fermentationsprodukter, pH och ammonium-N. De två resterade delproven analyserades färska med NIR- och NIT-teknik. Dessutom analyserades de torkade och malda proven med NIR teknik liksom torkat men ej malt ensilage från gårdsproverna 2003/04.

Konsumtionsstudie

För att studera effekterna av variation i foderkvalitet på konsumtionen av ensilage hos mjölkkor genomfördes en konsumtionsstudie med två parallella led, ett med rundbalsensilage och ett med plansiloensilage. Studien pågick under två månader, april och maj 2005. Partierna av ensilage finns beskrivna i tabell 1. Varje enskilt parti representerade vallgräs, i huvudsak av timotej och ängssvingel, skördat under en och samma dag från enskilda fält under sommaren 2004. Från varje led togs dagliga prover av ensilaget i samband med utfodring.

Tabell 1. Medelvärde och strandardavvikelse för utvalda referensanalyser av ensilagepartierna som ingår i konsumtionsstudien

Parti	Led	N	Skörd	TS ¹	STDV	ME ²	STDV	RP ³	STDV	NDF ³	STDV
A	Rundbal	7	Andra	56,5	4,7	9,9	0,16	12,3	0,58	66,9	0,96
B	Rundbal	7	Första	32,0	6,7	11,0	0,42	16,1	1,74	55,6	4,16
C	Rundbal	7	Tredje	24,0	2,0	10,2	0,12	19,3	1,78	58,2	2,24
D	Rundbal	7	Andra	44,0	1,8	10,4	0,08	15,6	1,77	63,0	1,91
E	Rundbal	5	Andra	57,0	5,0	10,3	0,16	13,9	0,89	60,1	0,86
F	Plansilo	14	Första	27,0	1,2	11,5	0,19	18,6	1,07	48,6	2,99
G	Plansilo	11	Andra	31,0	1,7	11,0	0,17	15,3	0,32	55,8	1,56

TS=Torrsubstans, ME=Omsättbar energi, RP=Råprotein, NDF=Neutral Detergent Fibre

¹Viktsprocent av fodret, ²MJ per kg TS, ³Procent av TS

Studien omfattade mjölkkor (första- och andrakalvare) av SRB ras med en levandevikt mellan 540 och 660 kg. Djuren var i medel och sen laktation och hade en daglig mjölkavkastning på mellan 26 och 33 kg ECM i genomsnitt under försöket. Mjölproduktionen registrerades individuellt vid fyra tillfällen (ordinarie provmjölkningar) och djuren vägdes varje vecka, totalt vid sex tillfällen. Ensilagen utfodrades i fri tillgång (10 procent rester) och konsumtionen registrerades individuellt dagligen genom vägning av utfodrad mängd och rester.

Rundbalsensilage utfodrades från fem olika partier (A-E) till en grupp om 12 kor. Djuren fick varje dag foder från en ny ensilagebal. Balar från samma parti utfodrades under sju dagar.

Förutom ensilaget fick djuren ca 8 kg kraftfoder/ko/dag och mineralfoder. Plansiloensilage utfodrades från två olika partier (F-G) till en grupp om 8 kor under två perioder om cirka två veckor. Förutom ensilaget fick djuren ca 7 kg kraftfoder/ko/dag och mineralfoder.

NIR-analys

I projektet har ett bärbart NIR-instrument utrustat med en fiberoptisk prob använts (FieldSpec Pro FR, ASDI, Colorado USA, www.asdi.com). Instrumentet mäter hela det synliga området och hela det nära infraröda området (350-2500 nm) med två nm intervall. Fiberoptiken kan placeras i en uppsjö uppställningar för provpresentation där ljuskälla, vinklar och avstånd kan varieras. Fiberoptiken har en synvinkel på 25° och avståndet bestämmer därmed den yta som analyseras. I projektet jämfördes och utvärderades tre olika prober som den optiska fibern monterades i. I den ena (bar fiber, BF) användes en extern halogenlampa som ljuskälla placerad 40 cm från provet. Fibern placerades i en hållare 10 cm från provet. Mätarean var ca: 25cm². I en standardprob (ASDI Contact Probe, CP) var ljuskällan inbyggd. Fibern och lampan satt bakom ett safirglas som trycktes mot provet vid mätningen. Avståndet blev därmed alltid exakt det samma. Fiberns avstånd till provet var 3,5 cm och mätarean 0,5 cm². I den tredje proben monterades fibern endast någon mm från provet i en grund tratt (ASDI Trumpet Spacer Probe, TSP). I detta fall var den optiska fibern sammanflätad med ytterligare en fiberbunt som transporterade ljus till provet. Mätarean var ca: 0,05 cm².

NIT-analys

I projektet användes ett standardinstrument (Portable Grain Analyzer ZX50, Zeltex Inc.) som ursprungligen tagits fram för att mäta vattenhalt och protein i spannmål. Instrumentet är mycket robust och innehåller inga rörliga delar. Som ljuskälla används lysdioder med olika våglängder i intervallet 893 till 1045 nm, uppdelat i 14 band. Det prov som ska mätas placeras i en provkopp med genomskinliga väggar. Vid en mätning sänder lysdioderna ut ljus sekventiellt och det transmitterade ljuset i varje våglängd mäts med en kisel-fotodiod på mätkoppens motsatta sida. Eftersom transmittansen påverkas av temperaturen mäts även instrumentets och omgivningens temperatur.

För mätningar på spannmål används en standardmätkammare som har en öppen sida där spannmålen fylls i och töms ur. För att användas i detta projekt specialtillverkades en tvådelad mätkammare anpassad för ensilage. Materialtjockleken som ljuset ska passera i kammaren var 8 mm. Ett generalprov för varje ensilage bereddes genom att klippa provet manuellt till ca 1 cm nominell längd. Efter omblandning togs en delmängd av generalprovet och fylldes i mätkammaren. Ensilaget fylldes under lätt komprimering upp till mätkammarens övre kant, varefter provvikten noterades och locket sattes på. Provvikterna låg i de allra flesta fall inom intervallet 3 till 6 gram torrsbstans. Mätning utfördes därefter enligt standardförfarande för instrumentet. På varje prov utfördes tre mätningar, där mätkammaren återfylldes med nytt material vid varje mätning. Medelvärden för de tre upprepningarna användes i den efterföljande bearbetningen. Mellan varje prov borstades mätkammaren ren från fasta partiklar, och mellan olika ensilage rengjordes mätkammaren med sprit.

Utvärdering av spektra

NIR- och NIT-spektra utvärderades med multivariata, s.k. kemometriska, metoder i programmet Unscrambler 9.6 (Camo Process AS, Oslo). Principalkomponentanalys (PCA, Wold et al., 1985) användes för att studera reproducerbarheten. Med PCA ersätts alla våglängder av ett fåtal, vanligen 2-4, principalkomponenter (PC) som förklarar merparten av

variationen i data. Variationen i upprepningarnas värden, scores, i PC kunde sedan användas för att studera reproducerbarheten. För kalibrering av modeller där spektrumen används för prediktion av kvalitetsparametrarna användes partial least squared regression och för NIT även multipel linjär regression (PLSr resp. MLR, Martens and Naes, 1989). NIR-data förbehandlades genom 1:a derivatan, 2:a derivatan och standard normal variate och D-trendning (SNV-dt, Barnes et al., 1993). Metoderna värderades genom korsvalidering där ett prov åt gången hålls utanför kalibreringen och predikterades. Samtliga prov kunde därför användas både för kalibrering och oberoende validering. Kalibreringarna värderades med en klassificering utifrån kvoten mellan standardavvikelsen (stdv) i referensmaterialet och medelavvikelsen för predikterade värden från korsvalidering i förhållande till referensdata (RMSECV). Denna kvot (stdv/RMSECV) kallas RPD. RPD >4 är utmärkta, RPD = 3-4 är bra, RPD = 2,25-3 är ganska bra och RPD = 1,75-2,25 är användbara i vissa situationer (Malley et al. 2004).

Resultat och diskussion

Resultaten av referensanalyserna av de båda grupperna av ensilageprover finns redovisade i Tabell 2. I tabellen redovisas även registrerad foderkonsumtion från djurförsöken.

Tabell 2. Medelvärde, standardavvikelse, min- och maxvärde för referensanalyser

Parameter	Prover från gårdar i norra Sverige Referensdata, 69 prover 2004			Prover från konsumtionsstudien Referensdata, 59 prover 2005		
	Medel	Stdv.	Min-Max	Medel	Stdv.	Min-Max
TS ¹	34,0	10,6	19-74	36,6	12,6	21-67
VOS ²	85,8	6,5	66-97	86,0	3,7	79-92
RP ³	15,4	2,6	10-23	16,2	2,5	12-22
LP ⁴	51,6	9,0	33-75	56,5	6,5	39-72
NDF ³	52,3	4,4	41-60	57,0	6,3	46-68
ADF ³	33,3	3,2	27-39	38,0	3,8	31-46
Socket ³	10,2	4,9	2-22	7,2	1,9	3-11
NDFD ⁵	-	-	-	34,6	3,7	25-43
Laktat ³	4,27	2,70	0,1-10,3	4,38	2,51	0,7-9,2
Acetat ³	1,02	0,65	0,1-2,8	1,33	0,81	0,2-2,8
Ammonium-N ⁴	5,0	2,1	1,0-10,0	6,6	2,0	3-12
Konsumtion ⁶	-	-	-	10,5	1,7	5-14

¹Viktsprocent av fodret, ² Procent av organisk substans, ³Procent av TS, ⁴Procent av RP, ⁵Smältbarhet av NDF, ⁶Kg TS ensilage per ko och dag

TS=Torrsubstans, VOS=Vomlöslig organisk substans, RP=Råprotein, LP=Lösligt protein, NDF=Neutral Detergent Fibre, ADF=Acid detergent fibre,

I jämförelse med andra studier med spektrala analyser av ensilage (Revees et al., 1989; Steen et al., 2004;) har materialet i den här studien en stor spridning i kemisk sammansättning. Detta gäller framför allt gårdsproverna från 2004 som dessutom representerar en stor variation i fenologisk utveckling och botanisk sammansättning. Proverna från konsumtionsstudien omfattade en mindre fenologisk och botaniska variation.

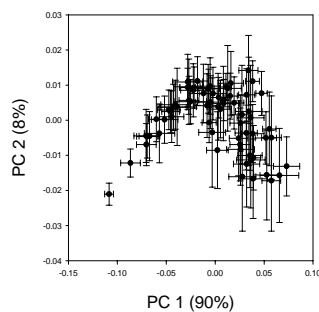
Provpresentation för NIR-analys

Inför projektet utfördes orienterande studier med de tre olika standardproberna för NIR-analys. Ett vid skörd hackat klöver/gräs ensilage som ensilerats i plansilo användes i försöket. Resultaten visade att proben med minst mätarea (TSP) hade betydligt större spridning mellan upprepningar än de två andra (BF och CP). Medelvärdena var dock lika. Utan upprepningar blev osäkerheten 75 % större med CP än med BF som mäter en ca 50 ggr större area. Med

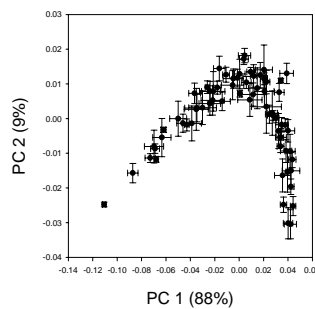
båda dessa prover befanns 15 upprepningar vara optimalt och då hade dessutom skillnaderna dem emellan jämnats ut. Eftersom 15 upprepningar är ganska mycket vid manuell provtagning konstruerades för de slutliga analyserna därför en uppställningen likt BF, men med lampan placerad på samma avstånd som fibern i en gemensam hållare. Provet placerades på en bricka med 30 cm diameter som roterade med ca: 0,4 varv per s. Provarean blev därmed ca 375 cm². Instrumentet genomför en skanning var tionde sekund, men normalt sparar man ett medelvärde av minst 10 skanningar för att reducera bruset. Med det roterande provet använde vi ett medelvärde av 100 skanningar. Denna uppställning skulle relativt enkelt kunna överföras till mätning på prov som passerar proben på ett transportband eller liknande.

I en jämförelse mellan analys på det rörliga provet och med CP blev medelspektrumen för 4 respektive 20 upprepningar av de 69 proven från 2004 mycket lika, men reproducerbarheten var betydligt bättre för det snurrande provet (Figur 1). Det visade sig också att felet vid prediktion av ensilagens kvalitetsparametrar blev endast 1-4 % större med det roterande provet. Orsaken till att felet blev något större med det rörliga provet än med kontaktprob var sannolikt att det var något svårare att kontrollera avståndet mellan prob och provyta med det roterande provet eftersom ensilaget var spretigt i varierande grad. Detta går att avhjälpa med hjälp av en glasskiva som trycker ned provet till en enhetlig och given nivå. Därmed skulle det vara möjligt att kombinera hög effektivitet med stor precision i provpresentationen.

A



B



Figur. 1. Principalkomponent 1 och 2 för de 69 ensilageproven med medelvärde och standardavvikelse mätt med kontaktprob (A) och roterande prov (B). N=69

Prediktion av kvalitetsparametrar med NIR och NIT

Vid en jämförelse av samtliga tekniker för förbehandling av data för alla parametrar konstaterades att skillnaderna var generellt små. Endast den förbehandling som fungerade bäst redovisas i tabell 3 och 4. Det samma gäller vilket våglängdsområde som använts. Antingen fungerade NIR (970-2500 nm) bäst eller NIR kombinerat med synligt (400-970 nm). I endast ett fall var enbart synligt bäst, men ändå inte särskilt bra (tabell 3). Den mesta informationen finns alltså i NIR-området, men kompletteras i vissa fall av synligt.

För både NIR och NIT kalibreringarna av färskt material skiljer det generellt mycket i prediktionsförmåga mellan det mycket divers material från 2004 och det mer enhetliga från 2005 (tabell 3, 4 och 5). Det mest utpräglade undantaget är torrs substansen som predikteras mycket väl i samtliga fall, men med NIR 2005 görs detta bäst med bara två våglängder (tabell 4). Med dessa våglängder predikterades TS 2004 nästan lika bra som med hela NIR-området ($r^2=0,94$ och RMSECV=2,17 %). För NIR är TS-kalibreringarna utmärkta enligt RPD-värdena och för NIT bra.

Tabell 3. Bästa resultat med visNIR prediktioner från 69 prover från gårdar i norra Sverige 2004

Parameter	Våta prover 1a: Derivata				Torkade och malda prover SNV dt			
	Intervall	R ²	RMSECV	RPD	Intervall	R ²	RMSECV	RPD
TS ¹	NIR-2	0,944	2,06	5,1	-	-	-	-
VOS ²	NIR	0,278	5,50	1,2	NIR	0,385	5,25	1,2
RP ³	vNIR	0,719	1,36	1,9	NIR	0,934	0,66	3,9
LP ⁴	vNIR	0,640	5,44	1,7	NIR	0,815	3,88	2,3
NDF ³	NIR-2	0,447	3,28	1,3	NIR-1	0,823	1,77	2,5
ADF ³	NIR	0,513	2,22	1,4	NIR	0,726	1,66	1,9
Socket ³	NIR	0,646	2,88	1,7	NIR	0,817	2,08	2,4
Laktat ³	vNIR	0,731	1,39	1,9	NIR	0,710	1,45	1,9
Acetat ³	NIR	0,487	0,46	1,4	NIR	0,423	0,50	1,3
Ammonium-N ⁴	vNIR	0,244	1,84	1,1	NIR	0,337	1,80	1,2

¹ Viktsprocent av fodret, ² Procent av organisk substans, ³ Procent av TS, ⁴ Procent av RP

TS=Torrsubstans, VOS=Vomlöslig organisk substans, RP=Råprotein, LP=Lösligt protein, NDF=Neutral Detergent Fibre, ADF=Acid detergent fibre,

NIR=NIR-området 1000-2500 nm, vNIR=det synliga och NIR-området 400-2500 nm

I övrigt är NIT-analyserna (tabell 5) genomgående betydligt sämre än för motsvarande NIR-kalibrering. Det är bara VOS, RP, NDF, laktat och acetat som klarar gränsen för användbar 2005. För NIR 2004 är det bara RP och laktat som klarar användbarhetsgränsen, men för 2005 betecknas RP och NDF som bra, VOS, LP, laktat och acetat som ganska bra och ADF som användbar. Socker, NDFD, ammonium och konsumtion fungerar dåligt. I en jämförelse för några av parametrarna med torkade och malda prov, som motsvar förfarandet på kommersiella lab, är resultaten för färskare prov med något undantag sämre. För 2005 är RMSECV-värdena för VOS, RP och NDF, som mest frekvent återfinns i litteraturen, fullt jämförbart med andra studier (Roberts et al., 2004). För 2004 är resultaten något sämre och för VOS betydligt sämre. Denna skillnad för torkade prov återspeglar sannolikt den stora diversitet som finns i materialet från 2004. I kombination med det relativt lilla antalet referensprover (69) blev interpoleringsstegen i många fall för stora. I materialet från 2005 var detta problem inte så påtagligt.

Tabell 4. Bästa resultat av visNIR prediktioner av 59 ensilageprover från konsumtionsstudien 2005

Parameter	Våta prover 2a: Derivat				Torkade och malda prover SNV dt			
	Intervall	R ²	RMSECV	RPD	Intervall	R ²	RMSECV	RPD
TS ¹	1910, 2044	0,981	1,72	7,3	-	-	-	-
VOS ²	NIR	0,793	1,66	2,2	vNIR	0,861	1,37	2,7
RP ³	NIR**	0,930	0,67	3,7	NIR	0,953	0,56	4,5
LP ⁴	NIR**	0,835	2,63	2,5	NIR	0,904	2,05	3,2
NDF ³	NIR**	0,896	2,02	3,1	vNIR	0,945	1,49	4,2
ADF ³	NIR	0,761	1,80	2,1	NIR	0,789	1,75	2,2
Socket ³	vNIR	0,522	1,35	1,4	NIR	0,487	1,39	1,4
NDFD ⁵	vNIR	0,446	2,84	1,3	vNIR	0,425	2,90	1,3
Laktat ³	vNIR	0,867	0,91	2,8	NIR	0,846	1,01	2,5
Acetat ³	NIR	0,818	0,34	2,4	NIR	0,821	0,34	2,4
Ammonium-N ⁴	Vis-1	0,512	1,39	1,4	Vis-1	0,553	1,39	1,4
Konsumtion ⁶	NIR	0,507	1,37	1,2	NIR	0,358	1,62	1,0

** Första derivatan. ¹ Viktsprocent av fodret, ² Procent av organisk substans, ³ Procent av TS,

⁴ Procent av RP, ⁵ Smältbarhet av NDF, ⁶ Kg TS ensilage per ko och dag

Se tabell 3 för förklaringar av förkortningar.

Protein var den parameter som förutom TS mest stabilt kunde predikteras med nära infraröd spektroskopi, vilket är i överensstämmelse med vad som är normalt vid vallfoderanalys med NIR. Detta hänger samman med att amidbindningar absorberar starkt i NIR-området och att mängden protein på så vis mäts direkt (Roberts et al., 2004). Flera av de andra parametrarna som fiberfraktioner, smältbar energi, etc. är snarare egenskaper än komponenter och

analyseras därför indirekt. VOS är dessutom starkt påverkad av biologisk variation i referensmetoden, varför en i jämförelse med andra parametrar större andel av det totala felet i kalibreringarna sannolikt kan relateras till referensmetoden.

Tabell 5. Bästa resultat av NIT prediktioner

Parameter	Prover från gårdar i norra Sverige Referensdata, 69 prover 2004				Prover från konsumtionsstudien Referensdata, 59 prover 2005			
	Method	R ²	RMSECV	RPD	Method	R ²	RMSECV	RPD
TS ¹	PLS-1	0,912	2,79	3,8	MLR	0,945	2,94	4,3
VOS ²	PLS	0,171	5,92	1,1	PLS-2	0,706	1,99	1,9
RP ³	MLR	0,414	2,01	1,3	PLS-2	0,694	1,43	1,7
LP ⁴	PLS	0,278	7,64	1,2	PLS	0,616	4,08	1,6
NDF ³	PLS	-0,04	4,48	1,0	MLR	0,714	3,41	1,8
ADF ³	PLS	0,124	2,95	1,1	PLS	0,462	2,74	1,4
Socket ³	PLS	0,496	3,47	1,4	PLS	0,416	1,46	1,3
NDFD ⁵	-	-	-	-	PLS	0,360	2,97	1,2
Laktat ³	MLR	0,585	1,77	1,5	PLS	0,700	1,38	1,8
Acetat ³	PLS	0,384	0,51	1,3	PLS-2	0,678	0,46	1,8
Ammonium-N ⁴	PLS	0,225	1,87	1,1	MLR-1	0,299	1,75	1,1
Konsumtion ⁶	-	-	-	-	MLR	0,368	1,61	1,1

¹Viktsprocent av fodret, ² Procent av organisk substans, ³ Procent av TS, ⁴ Procent av RP, ⁵ Smältbarhet av NDF, ⁶ Kg TS ensilage per ko och dag
PLS=Partial Least Squares, MLR=Multiple Linear Regression, i övrigt se tabell 3.

Att det är svårare att göra bra prediktioner i färskt material än i torkat och malt är uppenbart och förväntat. Att en variabel vattenhalt eller vattnet i sig till stor del är orsak till detta visades av att enbart torkning av färskt prov minskade skillnaden till torkat och malt med omkring 50 % (43-68%). I den utsträckning en variabel vattenhalt är orsaken kan fler referensprov hjälpa till en del. Att begränsa användningen till prover torrare än t. ex. 30 % TS skulle också kunna vara en lösning och vi kunde i detta material se en antydning till detta, men eftersom antalet prov då reducerades ytterligare blev kalibreringarna osäkra av den orsaken.

Gör man istället avkall på möjligheten till on-line analys på gården och enbart torkar representativa prov skulle man också kunna få säkrare analyser av i första hand protein och fibrer. Hackning av proverna hjälper däremot inte eftersom enbart hackning av proven till enhetlig strållängd för alla prov (ca 4 cm) genomgående försämrade resultaten. En trolig orsak är att hackningen smetar proven och gör dem vattnigare, vilket stör eftersom fritt vatten absorberar mycket starkt. Hackning eller malning måste alltså kombineras med torkning, men inte tvärt om.

Prediktion av konsumtion med hjälp av spektrala data

Resultaten visar klart att det finns en betydelsefull daglig variation i konsumtionen av ensilage både inom och mellan partier (Figur 2). Studien visar också att variationen i konsumtion var betydligt större vid utfodring av rundbalsensilage i förhållande till ensilage från plansilo. Vi fann att det går att prediktera konsumtionen med hjälp analyser av ensilaget i kombination med djurvariabler (ex. laktationsvecka och levande vikt) (Tabell 6).

Jämförelserna av olika modeller och analysfrekvenser i tabell 6 visar att prediktionerna blir betydligt bättre om man har tillgång till dagliga analyser (e.g. en analys per bal) i förhållande till om man utnyttjar en analys per parti ensilage. Vid den jämförelsen bör man

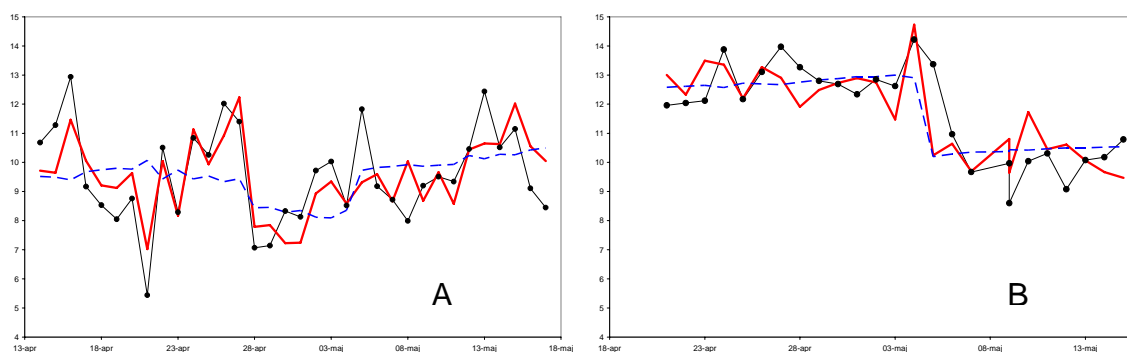
Tabell 6. Resultat av korsvaliderade modeller för prediktion av konsumtionen (kg TS/ko/dag) med olika analysmetoder från konsumtionsstudien. Modellerna är framtagna med stegvis multipel linjär regression (MLR).

Modell	Analysfrekvens(n)	Analysmetod	Parametrar	R ²	RMSECV
I	Daglig (59)	Våtkemiskt och in vitro	LV, TS och VOS	0,638	1,17
II	En per parti (7) ¹	Våtkemiskt och in vitro	LV, TS och VOS	0,464	1,43
III	Daglig (59)	NIR färsktprov	LV, TS(NIR) och VOS(NIR)	0,579	1,27
IV	Daglig (59)	NIT färsktprov	LV, TS (NIT) och VOS (NIT)	0,534	1,33
V	Daglig (59)	NIR färsktprov	LV, och PCA ²	0,598	1,23
VI	Daglig (59)	visNIR färsktprov	Levande vikt, LV och PCA ²	0,702	1,06
VII	Daglig (59)	NIR torkat och malt	LV och PCA ²	0,489	1,39
VIII	Daglig (59)	visNIR torkat och malt	LV och PCA ²	0,555	1,30
IX	Daglig (59)	NIT färsktprov	LV och PCA ²	0,553	1,30

LV= Laktationsvecka, TS=Torrsubstans, VOS=Vomlöslig organisk substans, (NIR/NIT)=parameter bestämd med NIR/NIT

¹Medelvärde av de dagliga analyserna, ²Principalkomponenter av spektrala data

uppmärksamma att de periodmedelvärden som vi har använt i modell II är betydligt mer representativa för partierna av ensilage i förhållande till de analyser som finns tillgängliga på kommersiella gårdar. I jämförelsen av modeller finner man även att modellerna som bygger på NIR-data av färskt ensilage ger lika bra prediktioner av konsumtionen i förhållande till modell I som bygger på våtkemiskt mätta parametrar. Det är till och med så att där NIR-data använts i modellen direkt utan att först prediktera referensparametrar (modell VI) är resultatet något bättre. Dessa observationer gäller endast NIR-analys på färskt ensilage, sannolikt eftersom TS är en viktig parameter. Resultaten stämmer väl överens med applicering av NIR teknik i det nya fodervärderingssystemet Feed into Milk i Storbritannien. Systemet använder tekniken för att beräkna konsumtionspotentialen hos ensilage (Keady et al., 2004). Med möjlighet till dagliga analyser av grovfodrets sammansättning kan utnyttjandet av ensilage i utfodringen förbättras och våra resultat visar att med tillgång till NIR-teknik i produktionen skulle detta kunna göras möjligt.



Figur 2. Daglig konsumtion (Kg TS/ko/dag) (●) av rundbalsensilage (A) och plansiloensilage (B). Helden röd linje visar predikterad konsumtion med modell VI i tabell 6 (daglig analys med NIR) streckad blå linje visar prediktionen med modell II i tabell 6 (en referensanalys per parti).

Slutsatser

NIR-analyser är med de i studien givna instrumenten genomgående mer användbara för kvalitetsanalys av färskt ensilage än NIT-analys. Skillnaden är dock inte så stor för TS-bestämning.

Torrsubstans går mycket bra att bestämma med både NIT och NIR. Med NIR förefaller det tillräckligt att använda endast två våglängdsband (1910 och 2044 nm), vilket torde göra det möjligt att konstruera en relativt billig TS-mätare med höga prestanda och stor effektivitet.

För ensilage med begränsad fysiologisk variation är det möjligt att med NIR-analys bestämma i första hand RP och NDF, men även VOS, LP, laktat och acetat fungerar ganska bra. Socker, NDFD och ammonium fungerar dåligt medan ADF intar en mellanställning.

Konsumtionen går dåligt att prediktera med NIR enbart. Däremot går det med ganska stor precision att prediktera konsumtionen med en kombination av djurdata och analyser av ensilagekvalitet. NIR-data från färskt ensilage i detta sammanhang fungerar lika bra eller till och med bättre än våtkemiskt bestämda kvalitetsparametrar.

Allt för stor spridning, framförallt fysiologisk, försvårar kalibreringsförfarandet av kvalitetsparametrar och ger sämre prediktionsmodeller. Våra resultat tyder dock på att en större referensdatabas skulle kunna förbättra resultaten, men också på att NIR/NIT inte medger analys av allt för blött ensilage.

NIR-tekniken medger analys av ensilage on-line i och med att det kan ske utan beröring och under det att ensilaget är i rörelse. För att skapa möjligheter för kommersiell applicering av tekniken on-line i grovfoderkedjan krävs fortsatta studier med tyngdpunkt på provpresentation och uppbyggnad av kalibreringsmodeller.

Referenser

- Barnes, R. J., Dhanoa, M. S. & Lister, S. J. 1993. Correction to the description of Standard Normal Variate (SNV) and De-Trend (DT) transformations in Practical Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis - 2nd edition. *J. Near Infrared Spectrosc.* 1, 185-186.
- Gustafsson, A H., Volden, H., Mehlqvist, Larsen, M. Gudmundsson, G. & Aaes O. 2005. NorForTM - the new Nordic feed evaluation system for cattle. *Article from the 56 Annual meeting of the European Association for Animal Production, Uppsala, Sweden, June 2005. 1-8.*
- Keady, T. W. J. Mayne, S. Offer, N. W. and Tomas, C. 2004. Prediction of voluntary feed intake. In *Feed into milk a new applied feeding system for dairy cows Advisory manual Mimeo* pp 68.
- Malley, D.F., Martin, P.D. & Ben-Dor, E. 2004. Applications in analysis of soil. In: Roberts, C. A., Workman Jr, J. & Reeves III, J. B. (eds.) *Near-Infrared Spectroscopy in Agriculture*. 729, ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Martens, H. & Naes, T. 1989. *Multivariate calibration*. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 419 pp.
- Reeves J.B., Blosser T.H. and Colenbrander V.F. 1989. Near-infrared reflectance spectroscopy for analyzing undried silage. *J. Dairy Sci.* 72, 79-88.
- Roberts, C. A., Stuth, J. & Flinn, P. 2004. Analysis of Forages and Feedstuffs. In: Roberts, C. A., Workman Jr, J. & Reeves III, J. B. (eds.) *Near-Infrared Spectroscopy in Agriculture*. 321, ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Steen R.W.J., Gordon F.J., Dawson L.E.R., Park R.S., Mayne C.S., Agnew R.E., Kilpatrick D.J. and Porter M.G. (1998) Factors affecting the intake of grass silage by cattle and prediction of silage intake. *Animal Science* 66, 115-127.
- Wold, S., Albano, C., Dunn III, W. J., Esbensen, K., Geladi, P., Hellberg, S., Johansson, E., Lindberg, W., Sjöström, M., Skagerberg, B., Wikström, C. & Öhman, J. 1985. Multivariate data analysis: Converting chemical data tables to plots. VII:th International Conference on Computers in Chemical Research and Education. Garmisch-Partenkirchen, FRG,

Resultatförmedling

Vetenskapliga konferenser

Regional Jordbrukskonferens i Umeå, Samarrangemang mellan SLF, RJN och SLU
Hetta, M. Stenberg B., Gilbertsson, M. Sundberg, M., 2003, Foderanalys varje dag , NIR/NIT gör det möjligt. 11:e regionala lantbrukskonferensen för norra Sverige, Umeå Röbbäcksdalen meddelar No. 2: 2003 pp. 45-48.

Jordbrukskonferensen 23–24 november 2004. Uppsala, SLU.
Stenberg, B., Sundberg M., Hetta M. & Gilbertsson, M., 2004. Daglig ensilageanalys för bästa grovfoderutnyttjande görs möjligt med sensorer. SLF-rapport nr 68, s.186.

NIR in Action – Making a Difference, 12th International Conference on Near Infrared Spectroscopy, Sky City, Auckland, New Zealand. 9-15 april 2005. Stenberg, B., Sundberg M., Hetta M. & Gilbertsson, M. Abstract: Near infrared sensors for daily analyses of silage quality.

Populärvetenskapliga artiklar

Foderbordskamera kan kolla ensilagens kvalitet Ann Christin Olsson
Artikel i tidningen Husdjur nr 9, 2003.

Möjligheter med on-line analys av ensilaget i samband med utfodring
Mårten Hetta, Bo Stenberg och Martin Sundberg, manuskript till Svenska Vallbrev för publicering i nr 1:2007.

Seminarium där projektet har presenterats

2004-05-28

Internationellt Seminarium i Umeå: Forage and Feed evaluation in Ruminants,

2004-10-21

Seminarium på Nötcenter Viken med Agrovästs vall- och mjölkprogram.

2005-02-15

Studies of the feed utilisation in ruminants at the Forage Research Centre in Umeå, presented at the Norwegian University of Life Sciences, Department of Animal and Aquacultural Sciences, Norway

2006-07-28

Valldag i Skåne

Sambandet mellan ensilagekvalitet och kons konsumtion. Seminar at a forage day at, Råbelöfs Gods Arrangemang mellan Skåne semin och Svenska vallföreningen.