

VallOptimal: Skattning av kvaliteten på vall med fältspektrometer

S. Bergqvist¹, J. Peng¹, J. Oliveira¹, J. Morel^{1,2}, H. Lindberg³, D. Parsons¹ och A.H. Gustafsson³

¹Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växtproduktionsekologi, Umeå

²European Commission, Joint Research Center, Ispra, Italy ³Växa, Uppsala

Korrespondens: anders.h.gustafsson@vxa.se

Sammanfattning

Näringsvärdet i växande vall är viktig information för att kunna göra en bra bedömning av när grödan skall skördas. Fältspektrometrar är ett intressant alternativ till analys på laboratorium eftersom transporten av prover tar tid och försenar svaret, ofta flera dagar. Fältspektrometrar kan ge näst intill realtidsinformation och följaktligen bättre komplettera andra beslutsstöd som är relevanta på den enskilda gården. Vallprognos.se samt möjligheten att skicka in gårds-specifika prognosprover är beslutsstöd som används idag. I den här studien utvärderade vi potentialen hos Yara N-sensorn, en kommersiellt tillgänglig fältspektrometer, för att skatta näringsvärdet hos slättervallar. Spektraldata insamlades under 2021 från vallar på sju gårdar lokaliserade över hela Sverige. Parallellt klipptes prover från vallarna för analys på laboratorium. Proverna analyserades med avseende på råprotein, neutral detergent fiber och smältbarhet. Regressionsmodellering i form av partiell minsta kvadrat (PLS) respektive stödvektormaskin (SVM) testades för att koppla laboratorieresultaten till de spektrala mätningarna. SVM var det bästa modellerings sättet för alla näringssegenskaper med en R^2 på minst 0,82. Skattningarna av råprotein och smältbarhet fungerade väl för de tre skördetillfällena. Resultaten indikerar att Yara N-sensorn kan vara ett effektivt verktyg för att skatta näringsvärdet hos vall.

Introduktion

Analys av innehållet av näringsämnen i vall är nyckelinformation för odlingsstrategin, särskilt för att hjälpa lantbrukaren att bestämma optimalt skördedatum. I Sverige startade på 1970-talet en uppföljning av näringsvärdet i vallprover och sedan dess har flera verktyg utvecklats. Våtkemisk analys är standarden, men den är dyr och tidskrävande. Fördröjningen mellan skörden av proverna och tillgängligheten av analysresultaten är en annan begränsande faktor. Vallprognos.se är ett flitigt använt verktyg för beslutsstöd som ger en uppskattning av det optimala skördedatomet baserat på temperatursumman. Detta verktyg fungerar dock bara för första skörd, eftersom det f.n. inte är möjligt att exakt definiera början av återväxten och den efterföljande ackumuleringen av temperatur. Fältspektrometrar är ett relevant alternativ, eftersom de möjliggör en uppskattning i nästan realtid av näringsvärdet hos en vall för alla skördar. Dessa sensorer ger ett genomsnittligt spektrum av reflektansen av beståndet, som oftast sträcker sig från de synliga till de nära infraröda delarna av ljuset (400–1000 nm). Dessa spektra innehåller information om växtens status, eftersom de är fysiskt kopplade till indikatorer såsom pigment eller vatteninnehåll. När dessa spektra används med lämpliga matematiska verktyg kan de härledas till relevant information för praktiska ändamål. Till exempel har flera studier redan bekräftat potentialen hos fältspektrometrar för att uppskatta vallars kvalitet (Morel *et al.*, 2022; Parsons *et al.*, 2020; Sun *et al.*, 2021). Dessa studier utfördes dock mestadels på ett begränsat geografiskt område, vilket gjorde det svårt att validera robustheten hos de spektrometerbaserade modellerna. Syftet med detta arbete var att utvärdera potentialen hos den kommersiellt tillgängliga Yara N-sensorn, för att uppskatta flera kvalitetsegenskaper hos vallar över ett utökat geografiskt område, omfattande regioner över hela Sverige.

Material och metoder

Under 2021 samlades data in från jordbruksmark på sju platser över hela Sverige. Provtagningsområden på varje fält markerades med en käpp, och spektrala mätningar utfördes mot grödan vid käppens bas med en handhållen Yara N-sensor. Detta gjordes från åtta olika riktningar för att integrera effekterna av sol/sensorgeometri. Prover klipptes sedan inom en 0,5 m × 0,5 m kvadrat på ungefär 7 cm höjd över marken och fördes till laboratoriet för torkning och malning till en partikelstorlek på cirka 1 mm. Totalt samlades 78 prover från sju platser och tre skördetillfällen och motsvarande spektra mättes. Tre kvalitetsparametrar för foder är i fokus för detta projekt: råprotein (RP), neutral detergent fibre (NDF) och smältbarhet av organiskt material (OMD). RP analyserades med Kjeldahl-N-metoden enligt Nordisk kommitté för livsmedelsanalys (1976). NDF analyserades enligt Chai och Udén (1998). OMD analyserades som vomvätskelöslig organisk substans (VOS) (Lindgren, 1979). Alla parametrar mättes i relation till torrsubstans (ts). Spektra med reflektans högre än 1 togs bort p.g.a. orimliga värden, liksom prover där vissa näringsvärden inte analyserats. Detta resulterade i en slutlig datauppsättning av 65 prover till regressionsanalysen.

Laboratorieresultaten kopplades till de spektrala mätningarna med hjälp av två multivariata regressionsmetoder: partiella minsta kvadrater (PLS) och stödvektormaskin (SVM). Regressionsanalysen utfördes i programvaran RStudio med paketen pls för PLS och e1071 för SVM. En tiofaldig korsvalidering användes för att justera modellerna och utvärdera dem med hjälp av bestämningskoefficienten (R^2) och rotmedelkvadratfelet ($RMSE$).

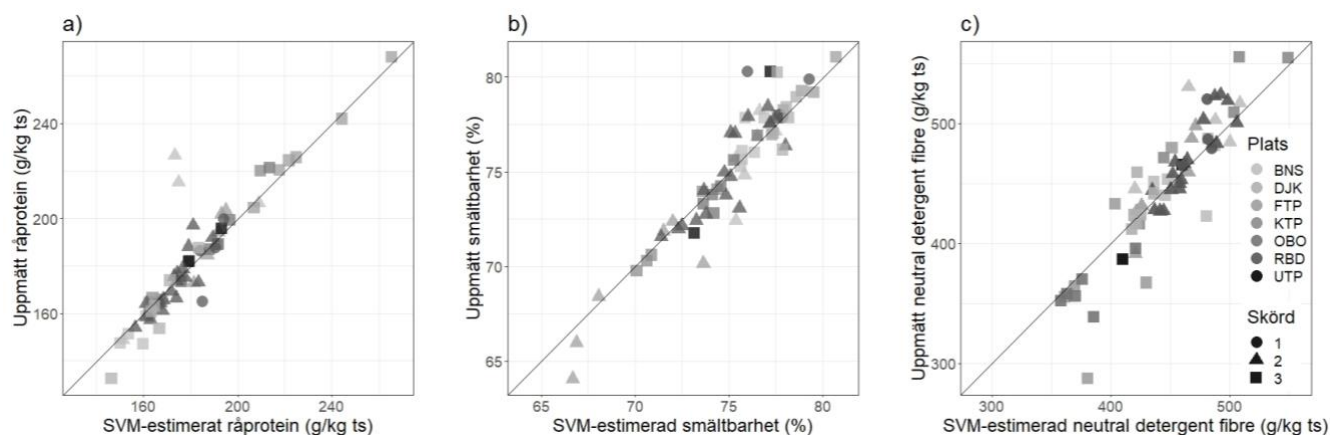
Resultat och diskussion

Resultat från modellerna visas i tabell 1. De maskinbaserade stödvektormodellerna gav bättre resultat än de PLS-baserade, med både högre R^2 och lägre $RMSE$. Modellen för OMD var bäst anpassad med en R^2 på 0,87 ($RMSE$ på 1,29 %). Råproteininnehåll uppskattades med en R^2 på 0,84 ($RMSE$ på 10,1 g/kg ts). Förutsägelsen av NDF visade också acceptabla resultat med en R^2 på 0,82 ($RMSE$ på 24,8 g/kg ts).

Tabell 2. Resultat av tiofaldig korsvalidering för PLS- och SVM-modellering, bestämningskoefficienten (R^2) och rotmedelkvadratfelet ($RMSE$). Rader med fet stil indikerar modellen med bäst prestanda för varje parameter. Enhet $RMSE$, RP: g/kg ts, NDF: g/kg ts, OMD: %.

Parameter	Modell	R^2	$RMSE$
RP	PLS	0,67	14,5
RP	SVM	0,84	10,1
NDF	PLS	0,72	28,7
NDF	SVM	0,82	24,8
OMD	PLS	0,83	1,4
OMD	SVM	0,87	1,3

Figur 1 visar spridningsdiagram för värden uppskattade med SVM mot de laboratorieanalyserade värdena för RP, OMD och NDF. Det finns ingen tydlig effekt av plats eller skördeperiod, vilket tyder på god robusthet hos modellerna.



Figur 4. Spridningsdiagram av SVM-uppskattade kontra uppmätta egenskaper för (a) RP, (b) OMD och (c) NDF. Färgerna i figuren korresponderar till de olika platserna och formerna till de olika skördetillfällena.

Ett antal avvikande värden kan observeras för varje egenskap (figur 1) där ytterligare undersökning krävs för att förstå varför de inte uppskattades korrekt av regressionsmodellerna. Trots detta är noggrannheterna i denna studie högre än vad som rapporterats från tidigare studier. Exempelvis erhöll Pullanagari *et al.* (2012) R^2 på 0,78 och 0,75 för RP respektive NDF. Vi använde en tiofaldig korsvalidering för att justera PLS- och SVM-modellerna, eftersom denna konfiguration har rapporterats ge balanserade felfrekvenser jämfört med andra kalibrerings-/valideringsmetoder (James *et al.*, 2013). De föreslagna modellerna utvärderades dock inte formellt med ett oberoende dataset från andra fält och år, och de resultat som presenteras här återstår att bekräfta. Inledningsvis kommer detta att ske med hjälp av ett dataset som samlades in 2022, där proverna i skrivande stund analyseras på laboratorium. Fler regressionsmodeller kommer också att testas, inklusive artificiella neurala nätverk och s.k. ”slumpmässig skog”, som används flitigt för regressionsuppgifter.

Resultaten verkar hittills vara korrekta, robusta och oberoende av plats eller skörd. I likhet till Zhou *et al.* (2019) som tittade på möjligheten att bestämma råprotein i vall, behövs dock mer data då dessa resultat än så länge bara är baserade på data från 2021. Om de bekräftas skulle detta stödja utvecklingen av ett Yara N-sensorbaserat verktyg för att underlätta vallodlingen. Ett sådant verktyg kan vara en värdefull resurs både för rådgivare och lantbrukare eftersom det kan hjälpa till att förbättra kvaliteten inte bara på den första utan även senare skördar. Det kan också vara ett tidseffektivt komplement till att skicka prover för laboratorieanalys, vilket underlättar snabba beslut när det är nära till skörd. Införandet av detta verktyg skulle sannolikt inte ha någon betydande inverkan på kostnaderna för att producera fodret, men det skulle resultera i tillgång till mer högkvalitativt foder. Mer högkvalitativt foder skulle i sin tur kunna leda till en minskning av köpt kraftfoder, vilket gynnar jordbrukarnas ekonomi.

Inom ramen för denna studie har vi även genomfört djupintervjuer med åtta mjölkproducenter. I intervjuerna framkom att olika typer av beslutsstöd är viktiga för att optimera vallfodret och därmed besättningens produktion. I beslutet är grödans näringsinnehåll samt uppskattning av den totala mängden biomassa viktiga. Väderprognoser angavs vara av yttersta vikt, men det stöd som erbjuds genom Vallprognos.se och möjligheten att ta fältprover från den egna gården för att uppskatta näringsinnehåll angavs även de som viktiga. En nackdel med Vallprognos.se

och att skicka in egna gårdsprover är tiden det tar från provtagning till resultatrapportering. En teknik som är mindre arbetskrävande och som kan ge snabbare svar är därför önskvärd. Det skulle också ge ökade möjligheter till bättre beslutsstöd vid återväxtskördarna, något som upplevs saknas idag. De flesta intervjuade lantbrukare efterfrågade en teknik kopplad till en rådgivningstjänst. De ville få möjlighet att diskutera beslutsunderlaget med en rådgivare. En teknik med fältspektrometer för prognoser i växande gröda skulle ge större möjligheter att optimera vallproduktionen på den enskilda gården. Tekniken ger också möjlighet till mer precisa rådgivningsinsatser, speciellt om tekniken även kan användas för att uppskatta mängden biomassa i fält vid en viss tidpunkt. Tekniken skulle också ha potential att sortera olika partier/silos av foder som lämpar sig för behoven hos olika kategorier av djur.

Denna studie finansierades av Werner von Seydlitz-stiftelsen.

Referenser

- Chai W. och Udén P. (1998) An alternative oven method combined with different detergent strengths in the analysis of neutral detergent fibre. *Animal Feed Science and Technology* 74, 281–288. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(98\)00187-4](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(98)00187-4)
- James G., Witten D., Hastie T. och Tibshirani R. (eds.) (2013) An introduction to statistical learning: with applications in R. Springer texts in statistics. Springer, New York.
- Lindgren E. (1979) The nutritional value of roughages determined *in vivo* and by laboratory methods. Swedish University of Agricultural Sciences. *Department of Animal Nutrition and Management. Report 45*. (In Swedish with English summary).
- Morel J., Zhou Z., Monteiro L. och Parsons D. (2022) Estimation of the nutritive value of grasslands with the Yara N-sensor field spectrometer. *The Plant Phenome Journal* 5. <https://doi.org/10.1002/ppj2.20054>
- Nordic Committee on Food Analysis. (1976) Nitrogen. Determination in foods and feeds according to Kjeldahl, Third ed.
- Parsons D., Zhou Z. och Morel J. (2020) Mätning av foderkvalitet med fältspektrometern Yara N-sensor. Sveriges lantbruksuniversitet. Inst. för växtproduktionsekologi, Uppsala. Rapport 30, s. 34–37.
- Pullanagari R.R., Yule I.J., Tuohy M.P., Hedley M.J., Dynes R.A. och King, W.M. (2012) In-field hyperspectral proximal sensing for estimating quality parameters of mixed pasture. *Precision Agriculture* 13, 351–369. <https://doi.org/10.1007/s11119-011-9251-4>
- Sun S., Zuo Z., Yue W., Morel J., Parsons D., Liu J., Peng J., Cen H., He Y., Shi J., Li X. och Zhou Z. (2021) Estimation of biomass and nutritive value of grass and clover mixtures by analyzing spectral and crop height data using chemometric methods. *Computers and Electronics in Agriculture* 106571. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106571>
- Zuo Z., Morel J., Parsons D., Kucheryavskiy S.V. och Gustavsson A.M. (2019) Estimation of yield and quality of legume and grass mixtures using partial least squares and support vector machine analysis of spectral data. *Computers and Electronics in Agriculture* 162, 246–253. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.038>