

การทำนายองค์ประกอบทางเคมีของเนเปียร์หมัก ด้วยเครื่องฟูเรียทรานสฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

Chemical composition prediction of napier grass silage
by fourier-transform near infrared (FT-NIR) spectroscopy

พิมพร คำทวี*, อภิชาติ ศรีภักย์¹, เสาวลักษณ์ แยมหมื่นอาจ¹ และ วรณพร ทะพิงค์แก¹

Pimporn Khamtavee^{1*}, Apichat Seepai¹, Saowaluck yammuen-art¹
and Wanaporn Tapingkae¹

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เทคนิคฟูเรียทรานสฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีในการทำนายองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าเนเปียร์หมัก โดยการรวบรวมตัวอย่างหญ้าเนเปียร์หมักจากฟาร์มของเกษตรกรและโครงการวิจัยทั้งหมด 132 ตัวอย่าง นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง โปรตีนโดยรวม เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จากนั้นนำตัวอย่างหญ้าเนเปียร์หมักทั้งลักษณะสดและแห้งไปวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง FT-NIRS สร้างสมการและทดสอบสมการโดยใช้โปรแกรม OPUS พบว่า FT-NIRS สามารถทำนายปริมาณวัตถุแห้งและโปรตีนได้อย่างความแม่นยำ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูง และความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายค่า สมการสามารถใช้ได้กับงานทุกประเภท แต่สมการการทำนายปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน มีความแม่นยำและความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายปานกลาง สมการเหมาะสำหรับงานคัดกรองหรือประเมินคุณภาพแบบหยาบ

คำสำคัญ: หญ้าเนเปียร์หมัก, เครื่องฟูเรียทรานสฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี, องค์ประกอบทางเคมี

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the potential of fourier-transform near infrared spectroscopy (FT-NIRS) to predict chemical composition prediction of napier grass silage. Sampling napier grass silage from commercial farm and research project total 132 sample, determine chemical composition include dry matter, crude protein, cellulose, hemicellulose, and lignin. And then sample both as fed basis and air dry basis scanned using FT-NIRS and spectrums were retained with FT-NIRS calibration and validation by OPUS program. Dry matter and crude protein of napier grass silage were predict by FT-NIRS with good degree of accuracy with high coefficient of determination and low standard errors of validation. FT-NIRS can be used to dry matter and crude protein in any application. But, cellulose, hemicellulose, and lignin were moderately predicts by FT-NIRS, can be used in screening and approximate calibration.

Keywords: Napier Grass Silage, Fourier-Transform Near Infrared (FT-NIR) Spectroscopy, Chemical Composition

¹ ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Department of Animal and Aquatic Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand

* Corresponding author: khamtavee.p@hotmail.com

บทนำ

หญ้าหมัก โดยเฉพาะหญ้าเนเปียร์หมัก เป็นพืชอาหารสัตว์ที่นำเข้าสู่กระบวนการหมักในสภาวะไร้อากาศ ซึ่งเป็นวิธีการเก็บถนอมรักษาพืชอาหารสัตว์วิธีหนึ่ง ที่สามารถเก็บรักษาพืชอาหารสัตว์ให้มีคุณค่าทางอาหารไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าสด โดยกระบวนการหมักจะเสร็จสมบูรณ์ที่อายุการหมัก 21 วัน มีความชื้นประมาณร้อยละ 70-75 และมีความเป็นกรดต่างประมาณ 4.2 ในฟาร์มของเกษตรกรผู้ใช้จริงมีลักษณะการหมักที่หลากหลาย ทั้งส่วนประกอบในการหมัก ภาชนะในการหมัก และระยะเวลาหมัก ซึ่งปกติแล้วการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าหมัก จะจัดทำโดยวิธี Proximate analysis และ Van Soest detergent fiber analysis ซึ่งยุ่งยาก สิ้นเปลืองแรงงาน ค่าใช้จ่ายสูง และใช้เวลานานในการวิเคราะห์ การวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าหมักด้วยเครื่อง FT-NIRS จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจและสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ เนื่องจากเครื่อง FT-NIRS เป็นเครื่องมือที่อาศัยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนในโมเลกุลของตัวอย่าง เมื่อฉายแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ใกล้รังสีอินฟราเรด (Near Infrared Radiation, NIR) ลงบนตัวอย่าง แสงที่มีพลังงานเพียงพอจะทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่นที่มีความถี่สูง ในการสั่นของพันธะต่าง ๆ จะเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันไป ซึ่งเป็นค่าจำเพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน $-CH$, $-N-H$, $-O-H$ และ $-C-O$ ภายในโมเลกุล (Osborne, 2006) การใช้เครื่อง FT-NIRS สามารถประเมินค่าองค์ประกอบทางเคมีได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ มีค่าอัตราส่วนสัญญาณคลื่นต่อสัญญาณคลื่นแทรก (S/N) สูง มีความเสถียรของคลื่นแสงสูงมาก ไม่ทำลายตัวอย่าง และไม่สิ้นเปลือง หากแต่ต้องมีสมการการทำนายที่ถูกต้องและครอบคลุมตัวอย่างทั้งหมด โดยสร้างสมการจากตัวอย่างจำนวนมากและหลากหลาย อีกทั้งต้องมีการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีมาตรฐาน ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เทคนิคฟูเรียทรานสฟอร์มเมอร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีในการทำนายองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าเนเปียร์หมักและเพื่อ

สร้างสมการไว้ใช้ทำนายองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าเนเปียร์หมัก

วิธีการศึกษา

เก็บตัวอย่างหญ้าเนเปียร์หมัก โดยสุ่มเก็บจากฟาร์มของเกษตรกรและงานวิจัยที่ผลิตหญ้าเนเปียร์หมัก ซึ่งจะต้องได้ตัวอย่างหญ้าเนเปียร์หมักที่หลากหลายทั้งวิธีการหมัก ภาชนะที่ใช้หมัก และสารเติมแต่งในการหมัก นำตัวอย่างมาหั่นให้มีความยาวประมาณ 1 นิ้ว วัดสเปกตรัมตัวอย่างสภาพสด (As fed basis) โดยใส่ตัวอย่างใน transport quarter cup ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 360 มม. จากนั้นนำตัวอย่างเข้าอบที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 48 ชม. เพื่อให้ตัวอย่างอยู่ในสภาวะแห้ง (Air dry basis) บดให้มีขนาด 1 มม. และวัดสเปกตรัมตัวอย่างแห้งโดยใส่ตัวอย่างใน transport quarter cup ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 มม. โดยใช้เครื่อง FT-NIRS ยี่ห้อ Bruker รุ่น MPA และใช้โปรแกรม OPUS ความยาวคลื่นที่ใช้อยู่ในช่วง 4,000 – 12,000 นาโนเมตร จากนั้นวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี โดยวิเคราะห์วัตถุแห้ง (Dry matter) และโปรตีนโดยรวม (Crude protein) (AOAC, 2006) วิเคราะห์เยื่อใยด้วยวิธี Detergent method (Van Soest et al., 1991) ซึ่งจะทราบปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF) ปริมาณเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) และ ลิกนิน (Acid insoluble lignin, ADL) เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และ เซลลูโลส (Cellulose) สร้างและทดสอบสมการทำนายหญ้าเนเปียร์หมักทั้งสภาพสดและสภาพแห้ง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป OPUS โดยบันทึกค่าองค์ประกอบทางเคมีจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานลงในสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่าง สร้างสมการทำนาย (Calibration equation) จากวิธี Full spectrum method ทำการปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์ด้วยวิธีอนุพันธ์ (Derivation) และ Standard normal variate (SNV) โดยโปรแกรมสำเร็จรูป OPUS จะเลือกวิธีปรับแต่งสมการอัตโนมัติ และทดสอบสมการ (Validation test) ทั้งวิธี cross validation และ Test set validation ซึ่ง

ประเมินคัดเลือกรูปแบบการที่ดีที่สุดโดยใช้ค่าสถิติดังนี้ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R²) หากเข้าใกล้ 1 หมายถึง สมการที่สร้างขึ้นมีความน่าเชื่อถือมาก ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำ Cross-validation (Root mean squared error of cross validation, RMSECV) หรือค่าความผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการจากการทำ test set (Root mean squared error of prediction, RMSEP และค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบกับค่าจริงกับค่าที่ได้จาก FT-NIRS (average of difference between actual value and NIRS value, Bias) ค่าที่ได้ควรมีค่าน้อย และค่าอัตราส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มทดสอบสมการต่อค่าความผิดพลาดในกลุ่มทดสอบสมการ (ratio of standard deviation of reference data in validation set to SECV or SEP, RPD) ค่าที่ได้ควรมีค่าสูง ซึ่งหมายถึง ค่าผิดพลาดที่ได้จากการทำนายมีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาดที่ได้จากการวิเคราะห์จริง

ผลและวิจารณ์ผลการศึกษา

ตัวอย่างหญ้าเนเปียร์หมักที่เก็บได้ทั้งหมดจำนวน 132 ตัวอย่าง มีความหลากหลายทั้งภาชนะที่ใช้ในการหมักที่เป็นถุงขนาดใหญ่ (big bag) ถึงพลาสติก และถุงพลาสติกขนาดต่าง ๆ อีกทั้งส่วนประกอบและสารเสริมในการหมักเช่น เชื้อจุลินทรีย์กากน้ำตาล เกลือ รำข้าว และยูเรีย และระยะเวลาการหมักต่ำสุดที่ 14 วันไปจนถึงสูงสุดที่ 84 วัน หลังจากนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีมาตรฐาน พบว่าในหญ้าเนเปียร์หมักมีร้อยละของปริมาณวัตถุแห้ง โปรตีนโดยรวม เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน มีค่าเฉลี่ยและค่าต่ำสุด – สูงสุดดัง Table 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นระยะห่างที่ค่อนข้างกว้าง แสดงถึงตัวอย่างหญ้าเนเปียร์หมักที่ถูกเก็บมาเป็นตัวอย่างที่ค่อนข้างหลากหลายและครอบคลุม

Table 1 Chemical composition of napier grass silage sample

Chemical composition	Range	Average	SD
As fed basis			
Dry matter (%)	14.38 - 27.19	19.78	2.30
Crude protein (%)	0.76 - 2.61	1.22	0.40
Cellulose (%)	5.65 - 12.43	8.31	1.34
Hemicellulose (%)	3.29 - 8.12	5.45	1.00
Lignin (%)	0.50 - 5.09	2.17	0.92
Air dry basis			
Dry matter (%)	87.04 - 94.49	92.21	2.03
Crude protein (%)	3.49 - 14.49	5.91	5.58
Cellulose (%)	24.84 - 45.42	38.65	3.72
Hemicellulose (%)	18.81 - 36.43	25.33	3.11
Lignin (%)	3.08 - 21.39	9.82	3.63

การทำนายองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าเนเปียร์หมัก พบว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติในแต่ละองค์ประกอบ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้งในสภาพสดและแห้ง แต่การสร้างสมการการทำนายจากหญ้าเนเปียร์หมักสภาพสดมีความแม่นยำต่ำกว่าสภาพแห้ง (Table 2) โดย Murray and cowe (2004) ให้เหตุผลว่าเนื้อเยื่อพืชสภาพสดเต็มไปด้วยน้ำประมาณร้อยละ 70 นำไปสู่การหักเหของแสง รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ เช่น ขนาดและการกระจายตัวของตัวอย่าง จากคำแนะนำของ Malley et al. (2004) กล่าวถึงแนวทางการพิจารณาสมการการทำนาย หาก R^2 มากกว่า 0.95 และ RPD มากกว่า 4 ถือว่าเป็นสมการการทำนายที่ดีมาก หาก R^2 อยู่ระหว่าง 0.90-0.95 และ RPD อยู่ระหว่าง 3 - 4 ถือว่าเป็นสมการการทำนายที่ประสบผลสำเร็จ แต่หาก R^2 น้อยกว่า 0.70 และ RPD น้อยกว่า 1.75 ถือว่าเป็นสมการการทำนายที่ยังใช้ไม่ได้

เมื่อพิจารณาค่าสถิติของสมการทำนายปริมาณวัตถุแห้ง มีการตรวจสอบสมการแบบ cross validation ในตัวอย่างสภาพสด สเปกตรัมถูกปรับแต่งด้วยวิธี 1st derivative และ Standard normal variate (SNV) และในสภาพแห้งสเปกตรัมถูกปรับแต่งด้วยวิธี SNV เนื่องจากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีดังกล่าว เป็นการช่วยแก้ปัญหาค่าดูดกลืนแสงของสเปกตรัมที่มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดช่วงความยาวคลื่นหรือการเลื่อนตัวของสเปกตรัมตามแกน Y ที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของความชื้นและขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน (จันทกานต์และคณะ, 2553) สมการทำนายหญ้าเนเปียร์หมักทั้งในสภาพสดและแห้งมีความแม่นยำสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการทดสอบความถูกต้องของสมการ (coefficient of validation, R^2V) เท่ากับ

0.87 และ 0.98 ตามลำดับ และมีค่า RPD เท่ากับ 2.79 และ 7.77 ตามลำดับ แสดงถึงสมการที่ได้สามารถนำไปใช้ทำนายปริมาณวัตถุแห้งได้ อีกทั้ง RMSECV ไม่เกิน 1 ถือว่าเป็นสมการทำนายที่ความผิดพลาดต่ำมาก

ค่าสถิติของสมการทำนายปริมาณโปรตีนโดยรวมของหญ้าเนเปียร์หมักทั้งในสภาพสดและสภาพแห้ง มีการตรวจสอบสมการแบบ cross validation สเปกตรัมถูกปรับแต่งด้วยวิธี SNV สมการมีค่าแม่นยำสูงทั้งในสภาพสดและแห้ง มีค่า R^2V เท่ากับ 0.87 และ 0.98 ตามลำดับ และมีค่า RPD เท่ากับ 2.78 และ 7.20 ตามลำดับ แสดงถึงสมการที่ได้สามารถนำไปใช้ทำนายได้อย่างแม่นยำ โดยเฉพาะในหญ้าเนเปียร์หมักสภาพแห้งสามารถใช้สมการทำนายปริมาณโปรตีนโดยรวมได้ในงานทุกประเภท ทั้งงานวิจัยผลงานประกันคุณภาพสอดคล้องกับการศึกษาของ Cozzolino et al. (2006) พบว่า สมการทำนายโปรตีนโดยรวมในหญ้าหมักสภาพสดมีค่า RPD มากกว่า 2 ซึ่งอยู่ในระดับพอใช้ แต่ในสภาพแห้งพบว่าในหลายการศึกษา (Cozzolino et al. (2000), Kalyana (2015)) ที่สมการทำนายมีความแม่นยำสูง แต่เมื่อพิจารณาค่าสถิติสมการทำนายปริมาณของเยื่อใยจากการวิเคราะห์แบบ Detergent method ของหญ้าเนเปียร์หมัก ถือว่ามีความแม่นยำและความเสี่ยงในความผิดพลาดปานกลาง โดยค่าสถิติของสมการทำนายปริมาณเซลลูโลสทั้งในสภาพสดและแห้ง มีการตรวจสอบสมการแบบ cross validation สเปกตรัมถูกปรับแต่งด้วยวิธี 1st derivative สมการมีค่า R^2V เท่ากับ 0.71 และ 0.63 ตามลำดับ และมีค่า RPD 1.84 และ 1.64 ตามลำดับ ค่าสถิติของสมการทำนายปริมาณเฮมิ

เซลลูโลส มีการตรวจสอบสมการแบบ test set validation ในสภาพสเปกตรัมถูกปรับแต่งด้วยวิธี SNV สมการมีค่า R²V เท่ากับ 0.48 และมีค่า RPD เท่ากับ 1.38 และในสภาพสเปกตรัมถูกปรับแต่งด้วยวิธี 1st derivative และ SNV สมการมีค่า R²V เท่ากับ 0.48 และมีค่า RPD เท่ากับ 1.39 และค่าสถิติของสมการทำนายปริมาณลิกนินทั้งสภาพสดและแห้ง มีการตรวจสอบสมการแบบ test set validation สเปกตรัมถูกปรับแต่งด้วยวิธี 1st derivative และ SNV สมการมีค่า R²V เท่ากับ 0.63 และ 0.70 ตามลำดับ และมีค่า RPD เท่ากับ 1.72 และ 1.82 ตามลำดับ ดังนั้นสมการการทำนายเยื่อใยจากการวิเคราะห์แบบ Detergent method สมการที่ได้สามารถนำไปใช้ทำนายได้ในระดับการคัดแยกหรือการจำแนกกลุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chakravarthi (2015) ที่ศึกษาการประเมินอาหารสัตว์ด้วยเครื่อง NIRS พบว่าค่า R² ของปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในข้าวฟ่างหมักสภาพสด มีค่า 0.66, 0.75 และ 0.36 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่า R² ที่ค่อนข้างต่ำ นั้นหมายถึงความถูกต้องและแม่นยำในการทำนายค่อนข้างต่ำ อีกทั้งการศึกษาของ Soldado et al. (2013) ที่สร้างสมการทำนายปริมาณ NDF หรือ Neutral Detergent Fiber ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ที่ไม่สามารถละลายในสารละลาย detergent ที่เป็นกลาง ประกอบด้วยพวกเยื่อใยทั้งหมด พบว่ามีค่า RMSEP เท่ากับ 2.61 ซึ่งเป็นค่าที่สูง หมายความว่าสมการที่สร้างขึ้นที่ความแม่นยำต่ำอาจมีความผิดพลาดขณะใช้งาน โดยจันทกานต์ และคณะ (2553) ให้เหตุผลว่าสมการการทำนายเยื่อใยที่มีค่า R² ต่ำกว่า 0.9 อาจมีสาเหตุมาจากเทคนิค

NIR จะใช้ได้ดีกับสารอินทรีย์ที่มีพันธะ -C-H, -N-H, -O-H, -S-H, และ -C=O ในขณะที่เยื่อใยมีโครงสร้างที่ซับซ้อน โดยเซลลูโลสเป็นส่วนที่อยู่

ภายในสุดของโครงสร้างพืช ประกอบไปด้วยกลุ่มของน้ำตาลกลูโคสประมาณ 50,000 โมเลกุลขึ้นไป เชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ยาวเหมือนตาข่าย ทำให้ลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นใยสำหรับเฮมิเซลลูโลส ประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด มีองค์ประกอบหลักคือ glucomannan ที่มี galactose side branch เชื่อมต่อแบบ α -(1-6) กับ monanose main chain ทำหน้าที่เชื่อมระหว่างโครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลสและลิกนินร่วมกับเพคติน โดยลิกนินจะเป็นส่วนประกอบที่อยู่นอกสุดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีขนาดใหญ่ ประกอบไปด้วยสารในกลุ่มคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมตัวกันเป็นวงแหวนที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะอีเทอร์ (C-O-C และ O-C-O) และ -C-C และยังจับกับคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นอีกด้วย (สุริยวัณย์, 2560) การปรับปรุงสมการการทำนายปริมาณเยื่อใยในอนาคต จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนตัวอย่างและข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีให้มากกว่านี้

สรุปผลการศึกษา

FT-NIRS สามารถใช้ทำนายปริมาณวัตถุแห้งและโปรตีนโดยรวมของหญ้าเนเปียร์หมักทั้งในสภาพสดและแห้งได้อย่างแม่นยำ และสามารถให้บริการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแก่เกษตรกรและผู้สนใจได้อย่างรวดเร็ว สำหรับสมการทำนายปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงให้มีความแม่นยำเพิ่มขึ้น

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จันทกานต์ อรณนันท เจลา พิทักษ์สินสุข และ
สุรนนท์ น้อยอุทัย. 2553. การทำนายส่วนผสม
ประกอบทางเคมีของหญ้าแพงโกลาด้วย
เครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี.
รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ ประจำปี
ปี พ.ศ. 2553 กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตร
และสหกรณ์. 309-327.
- สุริยวัณย์ สิทธิจินดา. 2560. “หญ้าเนเปียร์” กับ
พลังงานทดแทน. วารสารสิ่งแวดล้อม.
21:19-24.
- AOAC. 2006. Official Methods of Analysis. 18th
ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington,
VA.
- Chakravarthi, K. 2015. Validation of portable
near infrared reflectance spectroscopy
(NIRS) for the evaluation of feed and
fodders in the development of ruminant
production systems. Dr. Thesis. Tirupati
sri venkateswara veterinary university,
India.
- Cozzolino D., A. Fassio, and A. Gimenez. 2000.
The use of near-infrared reflectance
spectroscopy (NIRS) to predict the
composition of whole maize plants. J
Sci Food Agric 81:142-146.
- Cozzolino, D., A. Fassio, E. Fernández, and E.
Restaino, and A. La Manna. 2006.
Measurement of chemical composition
in wet whole maize silage by visible and
near infrared reflectance spectroscopy.
Anim. Feed Sci. Technol. 129:329–336.
- Kalyana C. 2015. Validation of portable near
infrared reflectance spectroscopy
(NIRS) for the evaluation of feeds and
fodders in the development of ruminant
production systems. Ph.D. Thesis. sri
venkateswara veterinary university.
- Malley D., P.D. Martin, and E. Ben-Dor. 2004.
Application in analysis of soils. In:
Roberts CA, Workman Jr J, Reeves JB,
eds. Near infrared spectroscopy in
agriculture. Madison: American Society
of Agronomy, Crop Science Society of
America, and Soil Science Society of
America, 729-784.
- Murray, I., and I. Cowe. 2004. Sample
Preparation. In: Roberts, C.A., Workman,
J., Reeves, IIIJ.B., (Eds.), Near Infrared
Spectroscopy in Agriculture, ASA,
CSSA, SSSA, Madison, USA, pp. 75–
115, Chapter 5.
- Osborne B.G., 2006. Near-infrared
Spectroscopy in Food Analysis.
Encyclopedia of Analytical Chemistry
Encyclopedia of Analytical Chemistry,
Online © 2006 John Wiley & Sons, Ltd.
- Soldado A., T. Fearn, A. Martí'nez-Ferna'ndez,
and B. de la Roza-Delgado. 2013. The
transfer of NIR calibrations for undried
grass silage from the laboratory to on-
site instruments: Comparison of two
approaches. Talanta 105:8–14.

Van Soest, P.J., J. Robertson, and B. Lewis.

1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74:3583-3597.

Table 2 Summary of FT-NIRS statistic for predict chemical composition of napier grass silage.

Chemical composition	Validation type	Scattering pretreatments	Calibration			Validation			
			R ² _c	RMSEE	R ² _v	RMSECV	RMSEP	bias	RPD
As fed basis									
Dry matter (%)	Cross validation	1 st derivative + SNV	0.90	0.68	0.87	0.75	-	-0.0016	2.79
Crude protein (%)	Cross validation	SNV	0.90	0.13	0.87	0.14	-	-0.0004	2.78
Cellulose (%)	Cross validation	1 st derivative	0.76	0.70	0.71	0.73	-	-0.0126	1.84
Hemicellulose (%)	Test set validation	SNV	0.41	0.80	0.48	-	0.67	0.0006	1.38
Lignin (%)	Test set validation	1 st derivative + SNV	0.41	0.65	0.63	-	0.56	0.1530	1.72
Air dry basis									
Dry matter (%)	Cross validation	SNV	0.99	0.23	0.98	0.26	-	-0.0012	7.77
Crude protein (%)	Cross validation	SNV	0.99	0.30	0.98	0.35	-	-0.0033	7.20
Cellulose (%)	Cross validation	1 st derivative	0.67	2.76	0.63	2.91	-	-0.0004	1.64
Hemicellulose (%)	Test set validation	1 st derivative + SNV	0.40	2.16	0.48	-	1.92	-0.2320	1.39
Lignin (%)	Test set validation	1 st derivative + SNV	0.45	3.01	0.70	-	2.05	-0.0353	1.82