

Research Article

근적외선분광법을 이용한 사료용 벼의 사료가치 평가

김지혜, 이기원, 오미래, 박형수*
농촌진흥청 국립축산과학원

Evaluation of Feed Values for Whole Crop Rice Using Near Infrared Reflectance Spectroscopy

Ji Hye Kim, Ki-Won Lee, Mirae Oh and Hyung Soo Park*
National Institute of Animal Science

ABSTRACT

In this study, whole crop rice samples were used to develop near-infrared reflectance (NIR) equations to estimate six forage quality parameters: Moisture, crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), Ash and relative feed value (RFV). A population of 564 whole crop rice representing a wide range in chemical parameters was used in this study. Undried finely chopped whole crop rice samples were scanned at 1 nm intervals over the wavelength range 680–2500 nm and the optical data recorded as log 1/Reflectance (log 1/R). NIRS calibrations were developed by means of partial least-squares (PLS) regression. The correlation coefficients of cross-validation (R^2_{cv}) and standard error of cross-validation (SECV) for whole crop rice calibration were 0.98 (SECV 1.81%) for moisture, 0.89 (SECV 0.50%) for CP, 0.86 (SECV 1.79%) for NDF, 0.89 (SECV 0.86%) for ash, and 0.84 (SECV 5.21%) for RFV on a dry matter (%), respectively. The NIRS calibration equations developed in this study will be useful in predicting whole crop rice quality for these six quality parameters.

(Key words): Near infrared reflectance spectroscopy, Forage quality, Moisture, Whole crop rice)

I. 서론

농식품분야의 생산물은 품질의 변이가 크다는 특징이 있는데 최근 근적외선분광법(Near infrared reflectance spectroscopy, NIRS)을 이용하여 품질을 평가 하는 기술이 활용 되고 있다. 근적외선분광법을 활용한 국내 농업분야 연구는 사료의 영양성분 분석(Ki et al., 2009; Lee et al., 2009), 토양 성분 분석(Choe et al., 2010; Shin et al., 2016), 원산지 판별(Woo et al., 1999; Ahn and Kim, 2012), 농산물 품질평가(Lee et al., 2004; Kim et al., 2008; Kim et al., 2016) 등이 주로 수행되어 현장 활용가능성을 보였다.

조사료 분야에서는 동계사료작물인 이탈리아인 라이그라스(Park et al., 2012), 청보리(Park et al., 2013), 호밀(Park et al., 2014), 동계 사료작물 전체(Kim et al., 2019) 사일리지의 사료가치와 발효품질 분석이 가능한 근적외선 DB가 구축되어 국내산 조사료의 수분함량, 품질 불균일로 인해 일어나는 문제를 해결 하는 기반이 되었다. 정부는 근적외선 DB를 활용하여 국내산 조사료의 품질

불안정 유통 신뢰저하를 극복하기 위해 정부 정책인 조사료생산 기반 확충 사업의 일환으로 ‘조사료 품질검사 및 등급제 사업’을 ’16년부터 실시하여 동계 사료작물을 대상으로 유통조사료에 대해 품질을 검사하고 등급을 부여하여 수확조제비를 차등으로 지급하고 있고, ’18년 논 타작물 지원사업을 통해 조사료품질검사 및 등급제 대상을 하계작물로 확대하였다(MAFRA, 2019).

따라서 본 연구는 논 타작물 재배지원 사업을 통해 생산 및 유통이 확대 될 사료용 벼 조사료 품질 판별을 위해 사료용 벼의 DB를 구축하여 검량식을 개발하고 활용하기 위해 수행 되었다.

II. 재료 및 방법

1. NIR 스펙트럼 수집

2018년에 조사료 품질검사 기관을 통하여 국내에서 생산된 사료용 벼 시료 564점을 채취하고 밀봉하여 수집하고, -30℃ 냉동

*Corresponding author: Hyung Soo Park, National Institute of Animal Science RDA, Cheonan 330-801, Korea.
Tel: +82-41-580-6751, Fax: +82-41-580-6757, E-mail: anpark69@korea.kr

고에 보관하였다가 4℃ 냉장상태로 해동하여 전처리하였다. 해동된 시료는 3 ~ 5 cm로 절단하여 약 150 g을 털어 대형 시료컵(15 cm 지름)에 담아 680 ~ 2,500 nm의 파장범위가 설정된 근적외선분광기(Spectrastar RTW 2,500, Unity Scientific, USA)를 이용하여 매 1 nm의 간격으로 반사도를 측정하여 변환된 흡광도(log 1/R : absorbance)를 수집하였다.

2. 사료가치 분석

사료용 벼의 수분, 조단백질(CP) 함량은 AOAC (1990)법에 의거하여 Kjeldahl법 (Kjeltec™ 2400 Autosampler System)을 이용하여 분석하였고 조회분(Ash)은 400 ℃ ~ 450 ℃ 에서 4시간 ~ 4시간 30분 간 태워 측정 전 후 무게를 이용해 측정하였다. 조사료의 중성제불용성섬유소(neutral detergent fiber, NDF)와 산성제불용성섬유소(acid detergent fiber, ADF) 함량은 Goering and Van Soest(1970)법에 의거하여 Ankom fiber analyzer(ANKOM Technology Corp., Fairport, NY, USA)로 분석하였다. 사료용 벼의 상대적사료가치(Relative feed value, RFV)는 ADF와 NDF가 건물소화율 및 섭취량과 높은 상관관계를 가진다는 점에 근거하여 ADF와 NDF 분석치에 의한 계산식($RFV = (DDM \times DMI) / 1.29$)으로 산출(Holland et al., 1990)하였고, 검량선은 근적외선 분광기에 내장된 산출 프로그램(Scientific, Unity, 2010)을 통해 자동 계산되었다(Park et al, 2012, 2013, 2014).

3. NIRS 검량식 작성 및 검증

근적외선 분광법의 검량식 작성은 스펙트럼과 화학적 예측 모델을 만드는 과정이다(shenk and westerhaus, 1994). 시료의 측정하여 스펙트럼을 얻고 수학적 전처리를 수행하고 결과값을 트

리밍하여 검량식을 작성하고 PLS법으로 검증(Validation)한다(Park et al, 2004). 상업용 프로그램인 Ucal version 3.0.4.15 (Unity Scientific, Brookfield, CT, USA)를 이용해 통계적 처리하였다. Kim et al.(2019), Park et al.(2016)의 방법에 따라 검량식 결정계수(Determination Coefficient, R^2), 검량식 표준오차(Standard Error of Calibration, SEC), 상호검증표준오차(Standard Error of Cross Validation, SECV)를 이용하여 작성된 검량식의 예측 정확성에 대한 평가를 실시하였고, 최적의 검량식은 SECV가 가장 낮은 값을 갖는 것을 선택하였다.(Shenk and Westerhaus, 1991a).

III. 결과 및 고찰

1. 사료용 벼의 스펙트럼 및 이화학적 특성

사료용 벼 시료의 근적외선 영역인 680 nm ~ 2500 nm에서의 원시 NIR 스펙트라 그래프는 Fig. 1에서 보는바와 같다. 사료용 벼 시료집단의 근적외선 배역대에서의 흡수 스펙트라를 살펴보면 1,400 ~ 50과 1,850 ~ 900 nm 배역대에서 흡수피크가 가장 크게 나타났으며 나머지 배역대에서는 큰 차이를 보이지 않아 Park et al.(2012)와 Kim et al.(2019)의 결과와 같았다. 근적외선에서 흡수는 주로 자외선에서 이루어지며 IR에서 유래되는 -CH, -NH, -OH, -CO, -CC 등 작용기의 분자진동 에너지의 결합대(combination band)로 나타나고, 보통 1950 ~ 2500 nm 사이에서 결합대가 나타나고, 700 ~ 1,950 nm 사이에 배음대가 관찰된다고 Park et al.(2004)는 보고하고 있다. 모집단이 다양한 범위와 고른 분포를 갖추어야 예측 정확성이 우수한 검량식을 구성할 수 있다고 한 Valdes et al.(1987)는 모집단의 중요성을 강조

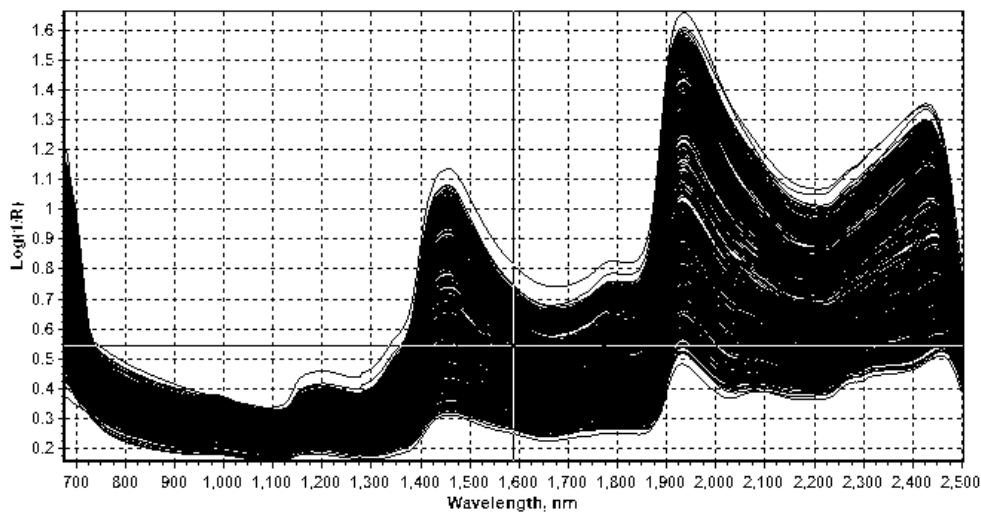


Fig. 1. NIR original spectra as log 1/R for Whole crop rice.

하였고, 넓은 범위를 가졌더라도 각 성분 요소의 분포빈도가 고르지 못하면 검량식의 예측능력이 저하된다고 보았다.

조사료의 품질평가를 위한 검량식(Calibration) 개발에 이용되어진 사료용 벼 시료집단 (Calibration set)의 화학적 조성분의 범위는 Table 1에서 보는 바와 같다. 수집된 사료용 벼 시료집단의 수분함량 범위는 18.95 ~ 82.47%로 나타났으며 Fig 2.에서 보는 바와 같이 수집된 시료의 수분함량분포를 보았을 때 대부분 45

~ 75% 범위 안에 포함되어 있고 수집된 사료용 벼의 평균 수분함량은 57.75%로 표준편차가 15.51 인 것으로 보아 수분함량이 다양한 시료가 수집된 것으로 판단한 Park et al.(2012)의 결과와 유사하였다. 조사료의 섬유소 성분인 ADF와 NDF 함량의 평균은 각각 38.33%와 55.26%로 나타났으며 이는 Park et al.(2012)이 보고한 이탈리아 라이그라스 사일리지 조사료의 섬유소 함량 ADF 39.6%와는 유사하나 NDF 60.9% 보다는 다소

Table 1. The range of chemical composition for collected Whole crop rice (calibration set)

	n	Min	Max	Mean	S.D*
Moisture(%)	564	11.52	82.47	57.75	15.54
Crude protein(%)	564	3.52	13.83	7.60	2.13
Neutral detergent fiber(%)	564	43.82	70.58	55.26	5.71
Acid detergent fiber(%)	564	29.77	47.77	38.33	3.91
Ash(%)	564	6.74	25.86	11.87	3.16
Relative Feed Value	564	71.70	136.70	100.89	15.12

*Standard deviation

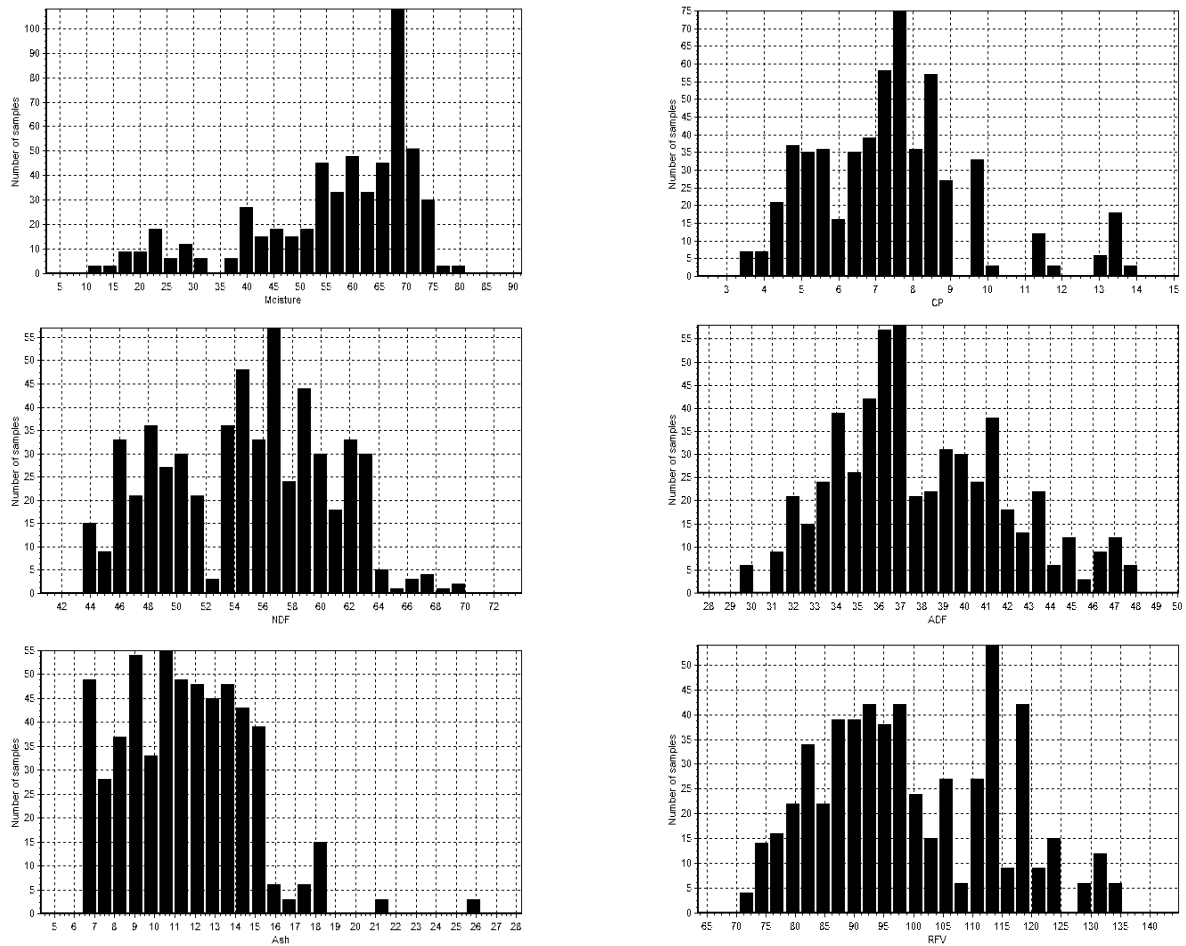


Fig. 2 Histogram of Moisture, CP, ADF, NDF, Ash, RFV contents for Whole crop rice calibration set samples.

Table 2. The calibration and validation statistics for the prediction of chemical composition of the Whole crop rice

	n	Calibration		Validation	
		SEC*	R ²	SECv**	R ²
Moisture(%)	387	1.66	0.99	1.81	0.98
Crude protein(%)	377	0.42	0.93	0.50	0.89
Neutral detergent fiber(%)	413	1.61	0.90	1.79	0.86
Acid detergent fiber(%)	392	1.25	0.84	1.42	0.78
Ash(%)	379	0.76	0.92	0.86	0.89
Relative Feed Value	423	4.67	0.88	5.21	0.84

*Standard error of calibration, **Standard error of cross validation

낮은 분포를 보인 것으로 나타났다. CP 함량과 RFV의 분포는 각각 3.52 ~ 13.83%와 71.70 ~ 136.70으로 나타났다(Fig. 2). CP, ADF, Ash의 표준편차는 4%이하로 다소 낮아 유사한 시료가 많이 수집된 것으로 보이거나 RFV의 경우 표준편차가 15.12를 보여 다양한 시료를 수집한 것으로 판단된다.

2. 검량식 작성 및 검증

2018년 생산된 국내산 사료용 벼의 흡광도 스펙트럼과 실험실 분석 결과값과의 중회귀분석을 통해 작성된 검량식의 예측능력과 검증결과는 Table 2와 Fig. 3에서 보는 바와 같다.

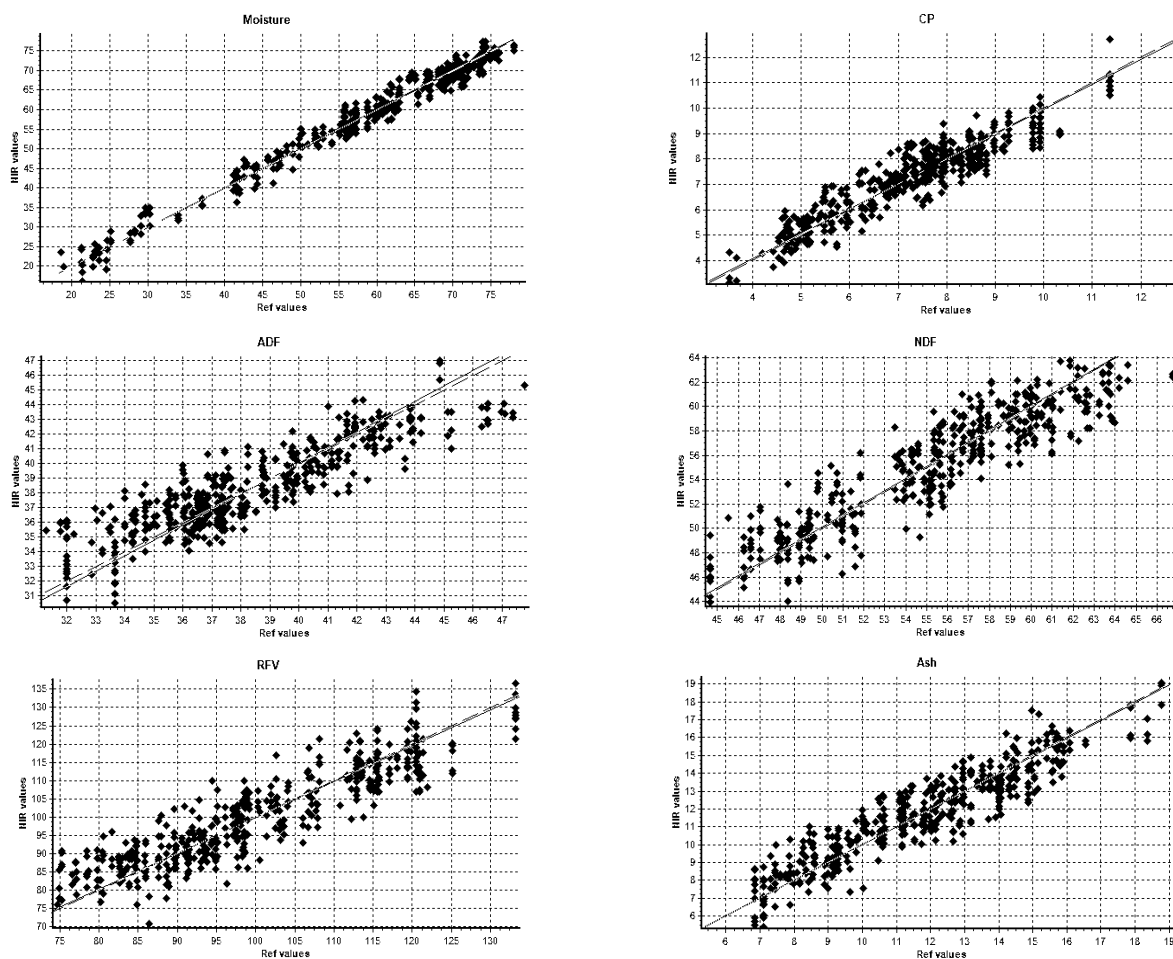


Fig. 3 Relationships between laboratory determined values and NIRS predicted values of Whole crop rice.

사료용 벼의 사료가치 평가를 위한 성분별 예측에 대한 검량식 작성(SEC)과 검증결과(SECV)는 대부분 우수한 예측능력을 보였다. 수분함량 평가에 대한 예측능력은 각각 SEC 1.66% ($R^2=0.99$)와 SECV 1.81% ($R^2=0.98$)로 가장 우수한 예측능력을 보였는데, 이는 Park et al. (2019)이 보고한 근적외선분광법을 이용한 동계 사료작물의 수분함량 예측능력(SEC=1.53%, SECV =1.59%)보다 조금 높게 나타났고, Park et al.(2012)이 연구한 근적외선 분광법을 이용한 이탈리아 라이그라스 사일리지의 품질평가의 수분함량 예측능력(SEC=0.94%, SECV=1.27%)의 결과와 비교해 볼 때 SEC는 높고, SECV는 더 높게 나타났다. CP 함량은 각각 SEC 0.42%($R^2=0.93$)와 SECV 0.50%($R^2=0.89$)로 우수한 예측능력을 나타내었다. 질소화합물과 조단백질 함량의 예측능력이 가장 우수한 결과를 얻었다는 Roberts et al.(2003)의 보고와는 다른 결과를 보였다. 조사료의 섬유소 함량 평가 항목인 ADF와 NDF 함량의 예측능력은 각각 SEC 1.25% ($R^2=0.84$), SECV 1.42% ($R^2=0.79$) 및 SEC 1.61% ($R^2=0.90$), SECV 1.79% ($R^2=0.86$)로 나타났다. 사료용 벼 이물질(돌, 흙 등) 섞임 정도를 판정하기 위한 Ash 함량의 예측결과는 SEC 0.76% ($R^2=0.92$), SECV 0.86% ($R^2=0.89$)로 Kim et al.(2019)이 보고한 국내산 동계사료작물의 조회분 예측결과와 유사한 결과를 보였다. 사료용 벼의 품질 등급인 RFV의 예측 능력은 각각 SEC 4.67% ($R^2=0.88$), SECV 5.21% ($R^2=0.84$)로 나타났으며 RFV 평가는 섬유소 성분인 ADF와 NDF 함량을 이용하여 산출되어진 값으로 근적외선분광법을 이용하여 적은 오차범위 내에서 분석하고 평가가 가능한 것으로 나타났다. 수집된 사료용 벼의 시료집단을 토대로 작성된 검량식의 평가는 R^2 , SEC 및 상호검증 SECV가 이용되어지는데 R^2 는 높을수록 우수한 검량식이고 SEC와 SECV는 낮을수록 우수한 검량식이라고 하였다(Park et al, 2012; Kim et al, 2019).

연구결과 근적외선분광법을 이용하여 국내산 사료용 벼의 수분함량과 분석항목(CP, ADF, NDF, RFV, Ash)을 적은 오차범위에서 분석·평가가 가능하였다. 따라서 본 결과를 토대로 사료용 벼 검량식을 작성하여 사료용 벼 품질검사 및 등급화 사업에 사용하여 효율적인 국내산 사료용 벼 조사료의 품질관리가 가능할 것으로 판단된다.

IV. 요약

본 연구는 국내산 사료용 벼를 수집하여 근적외선분광법을 이용한 신속한 품질평가를 위하여 2018년 조사료 품질분석 기관의뢰된 시료 564점을 수집하여 품질평가 NIR-DB를 구축하고 구축된 DB를 바탕으로 최적의 품질평가 검량식을 개발하고 검증하였다. 각 성분별로 예측 정확성을 평가하기 위해 스펙트라를

측정한 값과 실험실 분석값 간의 상관관계를 이용한 다변량분석법을 이용하였다. 사료용 벼의 수분함량 평가에 대한 예측능력은 각각 SEC 1.66% ($R^2=0.99$)와 SECV 1.81% ($R^2=0.98$)로 나타나 사료가치 평가 성분 중 가장 우수한 예측 능력을 보였으며, CP 함량 각각 SEC 0.42% ($R^2=0.93$)와 SECV 0.50% ($R^2=0.89$)로 나타났다. ADF와 NDF 함량의 예측능력은 각각 SEC 1.25% ($R^2=0.84$), SECV 1.42% ($R^2=0.79$) 및 SEC 1.61% ($R^2=0.90$), SECV 1.79% ($R^2=0.86$)로 나타났다. 사료용 벼의 품질 등급인 RFV의 예측 능력은 SEC 4.67% ($R^2=0.88$), SECV 5.21% ($R^2=0.84$)로 나타났다. 이상의 결과를 종합해보면 근적외선분광법을 이용하여 국내산 사료용 벼의 수분함량과 각종 영양성분을 적은 오차범위에서 분석·평가가 가능하였다.

V. 사사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(국산 조사료 품질평가 NIRS DB확장 및 고도화 기술 개발, PJ01201203)의 지원에 의해 연구되었다.

VI. REFERENCES

- Ahn, H. and Kim, Y. 2012. Discrimination of Korean domestic and foreign soybeans using Near Infrared Reflectance Spectroscopy. Korean Journal of Crop Science. 57:296-300.
- AOAC. 2011. Association of official and analytical chemists. Official methods of analysis. 18th.
- Choe, E.Y., Hong, S.Y., Kim, Y.H. and Zhang, Y.S. 2010. Estimation and mapping of soil organic matter using visible-near infrared spectroscopy. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. 43:968-974.
- Goering, H.K. and Van Soest, P.J. 1970. Forage Fiber Analysis. Agric. Handb. 379. US Department of Agriculture, Washington, DC.
- Holland, C., Kezar, W., Kautz, W.P., E.J. Lazowski, E.J., Mahanna, W.C. and Reinhart, R. 1990. The Pioneer Forage Manual-A Nutritional Guide. Pioneer Hi-Bred Int. Inc., Des Moines, IA.
- Ki, K.S., Kim, S.B., Lee, H.J., Yang, S.H., Lee, J.S., Jin, Z.L. and Cho, J.K. 2009. Prediction on the quality of total mixed ration for dairy cows by near infrared reflectance spectroscopy. Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science. 29:253-262.
- Kim, J.H., Lee, K.W., Oh, M., Choi, K.C., Yang, S.H., Kim, W.H. and Park, H.S. 2019. Evaluation of moisture and feed values for winter annual forage crops using near infrared reflectance spectroscopy. Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science. 39:114-120.

- Kim, J.S., Song, M.H., Choi, J.E., Lee, H.B. and Ahn, S.N. 2008. Quantification of protein and amylose contents by near infrared reflectance spectroscopy in aroma rice. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 40:603-610.
- Kim, K.H, Kang, C.S., Choi, I.D., Kim, H.S, Hyun, J.N. and Park, C.S. 2016. Analysis of grain characteristics in Korean wheat and screening wheat for quality using near infrared reflectance spectroscopy. *Korean Journal of Breeding Science*. 48:442-449.
- Lee, K.J., Kang, S.W. and Choi, K.H. 2004. Nondestructive quality measurement of fruits and vegetables using near-infrared spectroscopy. *Food Engineering Progress*.
- MAFRA. 2019. Business Enforcement Policy on Government's Support for Forage Production Enlargement. Minister of Agriculture Food and Rural Affairs.
- Park, H.S., Kim, J.H., Choi, K.C. and Kim, H.S. 2016. Mathematical transformation influencing accuracy of near infrared spectroscopy (NIRS) calibrations for the prediction of chemical composition and fermentation parameters in corn silage. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 36:50-57.
- Park, H.S., Lee, S.H., Choi, K.C., Lim, Y.C., Kim, J.G., Jo, K.C. and Choi, G.J. 2012. Evaluation of the quality of Italian ryegrass silages by near infrared spectroscopy. *Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science*. 32:301-308.
- Park, H.S., Lee, S.H., Choi, K.C., Lim, Y.C., Kim, J.H., Lee, K.W. and Choi, G.J. 2014. Prediction of the chemical composition and fermentation parameters of winter rye silages by near infrared spectroscopy. *Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science*. 34:209-213.
- Park, H.S., Lee, S.H., Lim, Y.C., Seo, S., Choi, K.C., Kim, J.H. and Choi, G.J. 2013. Prediction of the chemical composition of fresh whole crop barley silages by near infrared spectroscopy. *Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science*. 33:171-176.
- Roberts, C.A., Stuth, J. and Finn, P.C. 2003. NIRS applications in forages and feedstuffs. *Near Infra-spectroscopy in Agriculture. Agron. Monogr*, 321.
- Shenk, J.S. and Westerhaus, M.O. 1991. Population definition, sample selection, and calibration procedures for near infrared reflectance spectroscopy. *Crop science*. 31:469-474.
- Shenk, J.S. and Westerhaus, M.O. 1994. The application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage analysis. Forage quality, evaluation, and utilization, (foragequalityev). pp. 406-449.
- Shin, J.H., Yu, J., Jeong, Y.S., Kim, S., Koh, S.M. and Park, G. 2016. Spectral characteristics of heavy metal contaminated soils in the vicinity of Boksu mine. *Journal of the Mineralogical Society of Korea*. 29:89-101.
- Valdes, E.V., Hunter, R.B. and Pinter, L. 1987. Determination of quality parameters by near infrared reflectance spectroscopy in whole-plant corn silage. *Canadian Journal of Plant Science*. 67:747-754.
- Woo, Y.A., Kim, H.J., Cho, J. and Chung, H. 1999. Discrimination of herbal medicines according to geographical origin with near infrared reflectance spectroscopy and pattern recognition techniques. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 21:407-413.

(Received : December 5, 2019 | Revised : December 9, 2019 | Accepted : December 12, 2019)