

Research Article

근적외선분광법을 이용한 동계사료작물 풀 사료의 수분함량 및 사료가치 평가

김지혜, 이기원, 오미래, 최기춘, 양승학, 김원호, 박형수*
농촌진흥청 국립축산과학원, 천안, 31000

Evaluation of Moisture and Feed Values for Winter Annual Forage Crops Using Near Infrared Reflectance Spectroscopy

Ji Hea Kim, Ki Won Lee, Mirae Oh, Ki Choon Choi, Seung Hak Yang,
Won Ho Kim and Hyung Soo Park*
National Institute of Animal Science, Cheonan, 31000, Korea

ABSTRACT

This study was carried out to explore the accuracy of near infrared spectroscopy(NIRS) for the prediction of moisture content and chemical parameters on winter annual forage crops. A population of 2454 winter annual forages representing a wide range in chemical parameters was used in this study. Samples of forage were scanned at 1nm intervals over the wavelength range 680-2500nm and the optical data was recorded as log 1/Reflectance(log 1/R), which scanned in intact fresh condition. The spectral data were regressed against a range of chemical parameters using partial least squares(PLS) multivariate analysis in conjunction with spectral math treatments to reduced the effect of extraneous noise. The optimum calibrations were selected based on the highest coefficients of determination in cross validation(R^2) and the lowest standard error of cross-validation(SECV). The results of this study showed that NIRS calibration model to predict the moisture contents and chemical parameters had very high degree of accuracy except for barely. The R^2 and SECV for integrated winter annual forages calibration were 0.99(SECV 1.59%) for moisture, 0.89(SECV 1.15%) for acid detergent fiber, 0.86(SECV 1.43%) for neutral detergent fiber, 0.93(SECV 0.61%) for crude protein, 0.90(SECV 0.45%) for crude ash, and 0.82(SECV 3.76%) for relative feed value on a dry matter(%), respectively. Results of this experiment showed the possibility of NIRS method to predict the moisture and chemical composition of winter annual forage for routine analysis method to evaluate the feed value.

(Key words: Near infrared reflectance spectroscopy, Chemical composition, Moisture, Italian ryegrass, Rye, Barely)

I. 서론

정부는 매년 국내산 조사료의 증산과 이용확대를 위해 조사료 생산기반 확충사업을 추진하고 있으며 특히 국내산 조사료의 품질 개선을 위해 전국 동계사료작물 조사료의 품질검사와 등급화 사업을 통해 품질에 따라 조사료 수확조제비를 차등 있게 지원하고 있다(MAFRA, 2019). 국내산 조사료의 소비와 유통 활성화를 위해서는 무엇보다 품질이 균일한 조사료를 생산하고 생산된 조사료의 품질을 신속하고 정확하게 평가함으로써 소비자의 국내산 조사료의 품질 신뢰도를 높이는 것이 중요하다.

최근 품질변이가 많은 농식품분야에서 다량 농산물의 품질을 신속하게 평가할 수 있는 기술로 근적외선분광법(Near infrared reflectance spectroscopy, NIRS)이 많이 이용되고 있다. 근적외선분광법은 비파괴 분석법으로 시료에 근적외선을 투여하면 각

유기성분마다 파장별로 흡수하는 빛의 양이 달라 이 차이를 이용해 성분별 함량 분석 등 품질 및 안전성을 검사하는 방법으로서 분석시간이 단축되고 동시에 여러 성분의 분석이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

국내에서 농업분야의 근적외선분광법 활용은 원산지 판별(Woo et al., 1999; Ahn and Kim, 2012), 농산물 품질평가(Lee et al., 2004; Kim et al., 2008; Kim et al., 2016), 토양 성분 분석(Choe et al., 2010; Shin et al., 2016), 사료의 영양성분 분석(Ki et al., 2009; Lee et al., 2009) 등 연구분야의 적용 가능성에 관한 연구가 주로 수행되었으나, 현장 활용은 미미한 편이다. 초자-조사료 분야는 동-하계 사료작물의 사료가치와 발효품질 분석 가능성을 타진하는 연구가 주로 수행되었으며 현장 활용은 국내산 조사료의 품질 규격화와 품질 기반 유통체계를 확립하기 위하여 2016년부터 동계사료작물을 대상으로 근적외선분광법을 이용한 조사

*Corresponding author: Hyung Soo Park, National Institute of Animal Science RDA, Cheonan 31000, Korea.
Tel: +82-41-580-6751, Fax: +82-41-580-6757, E-mail: anpark69@korea.kr

료 품질검사 및 등급제 사업을 추진하고 있다(MAFRA, 2019).

근적외선분광법을 이용한 국가 전체 조사료 품질검사 및 등급제 사업을 추진하기 위하여 동계사료작물인 이탈리아 라이그라스(Park et al., 2012), 청보리(Park et al., 2013), 호밀(Park et al., 2014) 사일리지의 사료가치와 발효품질 분석이 가능한 근적외선 DB가 구축되었다. 하지만 동계사료작물 사일리지는 수분 과다 등 수분함량 불균일로 TMR 회사와 축우농가의 소비가 위축되고 있어 국산 조사료의 소비와 유통을 확대하기 위해 건초나 헤일리지와 같은 저 수분 조사료 생산을 장려하고 있다. 최근 조사료의 품질검사 및 등급제 사업의 영향으로 수분함량이 상대적으로 낮은 건초와 헤일리지의 생산이 급속히 증가하고 있다. 또한 조사료 품질검사 현장에서는 품질검사 담당자의 초종 구별에 대한 어려움으로 초종 구분 없이 통합된 단일의 동계사료작물 품질분석 근적외선 DB와 검량식이 요구되고 있다.

따라서 본 연구는 근적외선분광법을 이용한 조사료품질 검사의 현장 이용성을 확대하기 위하여 기존 사일리지 중심의 근적외선 DB에 저 수분 함량의 근적외선 DB를 추가하여 저 수분 조사료의 품질평가 가능성을 검토하고 통합된 동계사료작물 단일의 근적외선 검량식을 개발하기 위하여 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 시료 및 NIR 스펙트럼 수집

이탈리안 라이그라스, 호밀, 청보리 및 혼파재배 조사료(사일리지, 헤일리지, 건초)는 전국 동계사료작물 사일리지 품질경연대회에 출품된 것과 조사료 생산경영체, 농축협 TMR회사 및 생산농가에서 수집하였으며 또한 조사료 품질검사 및 등급화 사업에서 각 지역에서 품질검사 수행 중 이상 시료로 분류된 시료를 초종별로 각각 이탈리아 라이그라스 1,170점, 호밀 464점, 청보리 480점, 혼파 340점을 수집하였다. 수집된 시료는 NIR 스펙트럼 측정 전까지 -20℃ 냉동고에 밀봉하여 보관하였다.

냉동 보관되어진 동계사료작물 시료는 5℃ 냉장고에서 해동하여 식물체를 가위로 5~7cm정도로 절단하여 직경 15cm인 원형 시료 컵에 약 100g 정도를 충전하여 근적외선분광기(Unity SpectraStar 2500X, Brookfield, WI, USA)를 이용하여 680~2,500nm의 파장범위에서 매 1nm의 간격으로 반사도를 측정 후 검량식 유도를 위해서 흡광도(log 1/R : absorbance)로 변환시켜 수집하였다.

2. 수분함량 및 사료가치 분석

수집된 동계사료작물 시료의 수분, 조단백질 및 조회분 함량은 AOAC(1990)법에 의거하여 분석하였고 조단백질 함량은

Kjeldahl법(Kjeltec 2400 AUT, Foss Tecator, Eden Prairie, MN, USA)을 이용하여 분석하였다. 조사료의 neutral detergent fiber(NDF)와 acid detergent fiber(ADF) 함량은 Goering and Van Soest(1970)법에 준하여 Ankom fiber analyzer(ANKOM Technology Corp., Fairport, NY, USA)로 분석하였다.

조사료의 상대적 사료가치(RFV)는 ADF와 NDF가 건물소화율과 섭취량의 높은 상관관계를 가진다는 점에 근거하여 ADF와 NDF 분석치에 의한 계산식(RFV = (DDM x DMI) / 1.29)으로 산출하였으며(Holland et al., 1990) 근적외선 분광기의 내장된 산출 프로그램(Scientific, Unity, 2010)에서 자동으로 계산되어진다.

3. NIR 검량식 작성

검량식 작성 알고리즘은 시료의 스펙트럼에서 입자의 크기, 수분, 밀도 등 물리적 성질에 의한 산란효과에 대한 오차를 줄이기 위해 원시 스펙트럼을 Standard Normal Variate and Detrending(SNV-D) 전처리 기법과 수처리(Math treatment) 기법을 이용하여 보정하고 회귀분석은 부분최소제곱법(Partial Least Square)을 이용하여 검량식을 유도하였다. 통계적 처리는 상업용 프로그램인 Ucal version 3.0.4.15(Unity Scientific, Brookfield, CT, USA)를 이용하였다. 작성된 검량식의 예측 정확성에 대한 평가에는 검량식 결정계수(Determination Coefficient, R²), 검량식 표준오차(Standard Error of Calibration, SEC), 상호검증표준오차(Standard Error of Cross Validation, SECV)를 이용하였다. 최적의 검량식은 SECV가 가장 낮은 값을 갖는 것을 선택하였다.

III. 결과 및 고찰

1. NIR 스펙트럼의 특성

조사료 시료에 대한 근적외선 스펙트럼은 근적외선 빛이 시료에 조사되면 시료는 분자 내 결합의 진동에 관련된 파장의 빛을 흡수하여 해당 파장의 빛의 강도가 감소한다. 이러한 강도의 변화는 시료 내 특정물질의 농도와 관련이 되며 그 변이는 검출기에 의해 검출되고 흡수 스펙트럼으로 측정되어진다. 이탈리아 라이그라스와 호밀 시료의 근적외선 영역에서의 원시 NIR 스펙트럼은 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

근적외선 분광기의 재현 및 반복성은 우수한 편이지만 항상 같은 스펙트럼을 얻는 것은 현실적으로 불가능하고 측정된 근적외선 흡수스펙트럼은 성분별 흡수피크(peak)들이 넓고 중첩되어 있으며 시료의 밀도, 온도, 입자크기 등의 차이로 인한 산란차에 의해 바탕선의 변화가 발생하게 된다(Hruschka, 1987). 이러한 변화는 검량식 작성시 많은 오차를 유발하는데 스펙트럼 수 처리 방법(미

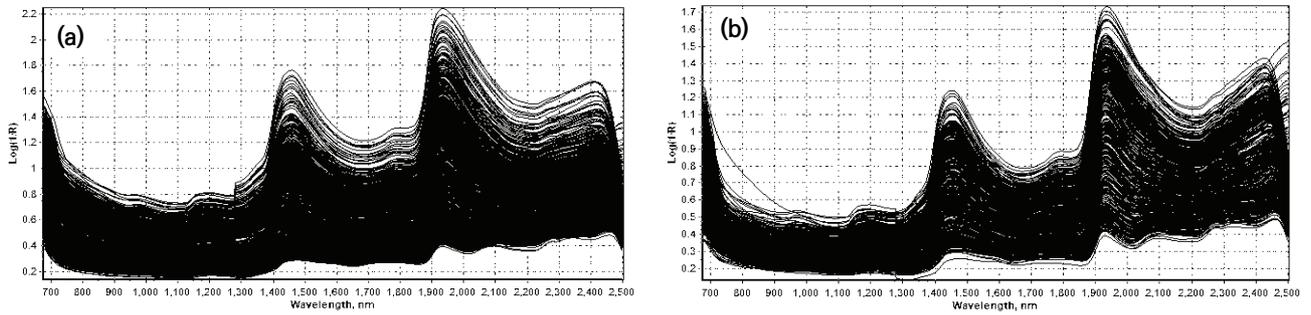


Fig. 1. NIR original spectra as log 1/R for Italian ryegrass(a) and winter rye(b).

분법은 바탕선의 변동 및 흡광도의 방해요인으로 인한 오차를 보정해주고, 검량식을 안정하게 하여 정량 및 정성분석의 필수적인 도구로 이용되어진다(Shenk and Westehaus, 1991b; Garcia-Cuidad et al., 1993).

2. 동계사료작물 조사료의 이화학적 특성

조사료의 품질평가를 위한 근적외선 검량식 작성에 이용되어진 동계사료작물의 시료집단(Calibration set)의 화학적 조성분의 범위는 Table 1에서 보는 바와 같다. 수집된 이탈리아 라이그라스, 호밀, 청보리 및 혼파 시료집단의 평균 수분함량은 각각 37.51%, 44.71%, 57.21% 및 41.73%으로 나타났으며 통합된 동

Table 1. The range of chemical composition for collected winter annual forage crops(calibration set)

Forage species	Constituent	n	Min.	Max.	Mean	S.D. [†]
Italian ryegrass	Moisture (%)	1106	3.32	82.70	37.51	22.50
	Acid detergent fiber (%)	1138	27.89	48.17	37.31	3.65
	Neutral detergent fiber (%)	1136	49.62	74.24	59.25	4.02
	Crude protein (%)	1066	2.21	18.22	9.46	3.24
	Ash (%)	744	2.20	13.53	7.56	1.71
Winter rye	Moisture (%)	429	4.20	80.16	44.71	22.91
	Acid detergent fiber (%)	359	28.33	69.53	40.66	5.64
	Neutral detergent fiber (%)	363	30.80	79.71	63.79	6.80
	Crude protein (%)	325	3.27	18.82	8.68	3.13
	Ash (%)	165	3.63	17.17	6.91	1.91
Barley	Moisture (%)	461	4.27	80.81	57.21	14.61
	Acid detergent fiber (%)	411	24.88	46.91	35.21	3.98
	Neutral detergent fiber (%)	426	46.25	70.69	55.79	4.36
	Crude protein (%)	428	3.33	12.74	8.47	1.89
	Ash (%)	269	2.91	15.99	7.47	2.21
Mixture	Moisture (%)	269	5.24	83.73	41.73	18.10
	Acid detergent fiber (%)	312	28.76	51.57	37.43	3.97
	Neutral detergent fiber (%)	316	48.99	74.83	59.24	4.77
	Crude protein (%)	307	3.38	16.72	8.56	2.17
	Ash (%)	130	3.89	15.84	7.58	2.05
Integration	Moisture (%)	2265	3.32	83.73	43.39	22.02
	Acid detergent fiber (%)	2220	24.88	69.53	37.48	4.44
	Neutral detergent fiber (%)	2241	30.80	79.71	59.33	5.30
	Crude protein (%)	2126	2.21	18.82	9.01	2.92
	Ash (%)	1308	2.20	17.17	7.47	1.89

[†]Standard deviation

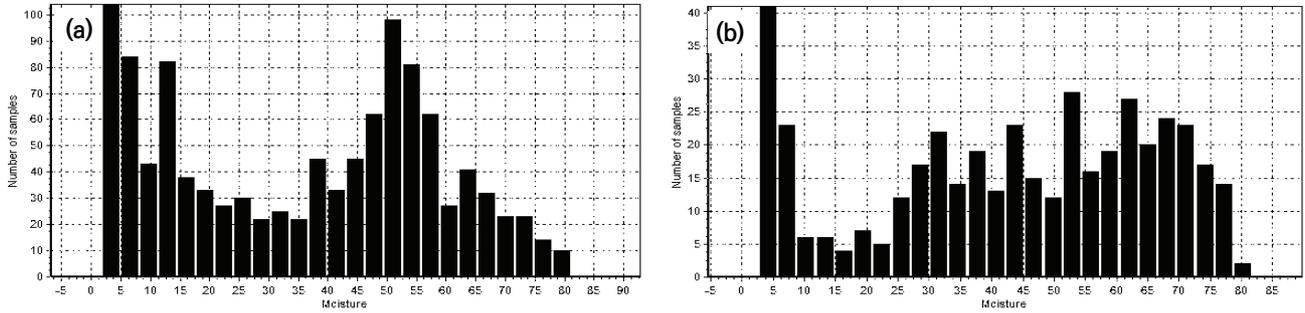


Fig. 2. Histogram of moisture content for Italian ryegrass(a) and winter rye(b) calibration set samples.

계사료작물 시료집단은 43.39%로 나타났다. Park et al.(2012, 2013, 2014)이 보고한 이탈리아 라이그라스, 호밀, 청보리 사일리지 시료집단의 평균 수분함량은 각각 57.3%, 59.8% 및 61.2%로 이탈리아 라이그라스와 호밀의 평균 수분함량이 크게 낮아졌다. 또한 이탈리아 라이그라스와 호밀 시료집단에서 수분함량 50% 이하의 시료 분포가 높아진 것으로 나타났다(Fig. 2).

검량식 작성을 위한 시료집단의 ADF 함량은 청보리가 평균 35.21%로 가장 낮았으며, 통합된 동계사료작물 시료집단은 평균 37.48%로 이탈리아 라이그라스와 혼파 시료집단과 비슷한 함량 분포를 보였다. NDF 함량은 호밀이 평균 63.79%로 가장 높게 나타났으며 청보리가 평균 55.79%로 가장 낮았다. 조단백질 함량은 이탈리아 라이그라스가 평균 9.46%로 가장 높았으며, 통합된 동계사료작물 시료집단은 9.01%로 나타났다.

Valdes et al.(1987)은 예측 정확성이 우수한 검량식을 개발하기 위해서는 검량식작성을 위한 모집단의 중요성을 강조하였는데, 모집단은 넓은 범위와 고른 분포를 가지고 있어야한다고 보고하였다. 또한 넓은 범위를 가진 검량식 작성 모집단이라고 할지라도 각 성분에 대한 분포빈도가 고르지 못하면 예측능력이 떨어지게 된다고 하였다.

3. 검량식 작성 및 검증

이탈리안 라이그라스, 호밀, 청보리 및 혼파재배 조사료의 근적외선 스펙트럼을 측정하여 얻은 흡광도 스펙트럼과 실험실 분석치간에 중회귀분석을 통해 작성된 검량식과 검증결과를 Table 2와 Fig. 3에서 보는 바와 같다.

수집된 동계사료작물 시료집단을 토대로 작성된 검량식의 평

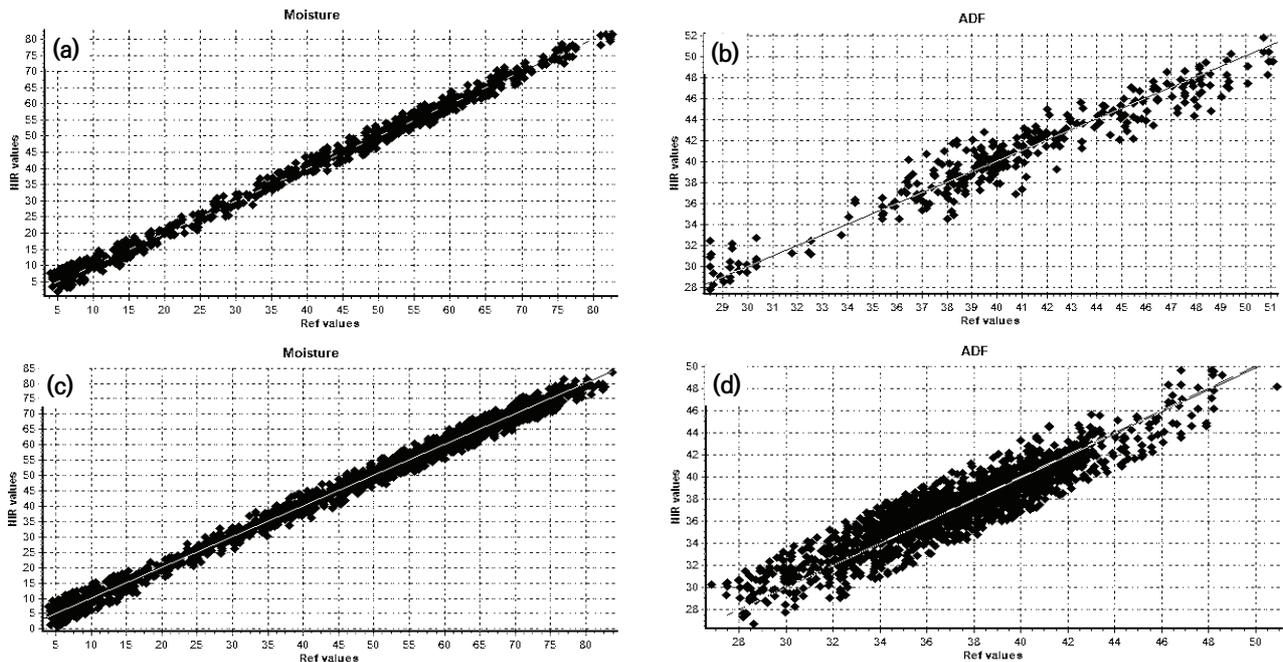


Fig. 3. Relationships between laboratory determined values and NIRS predicted values of Italian ryegrass(a), winter rye(b) and integrated winter annual forages(c, d).

Table 2. The calibration and validation statistics for the prediction of chemical composition of the winter annual forage crops

Forage species	Constituent	n	Calibration		Validation	
			SEC [†]	R ²	SECV [‡]	R ²
Italian ryegrass	Moisture (%)	746	1.16	0.99	1.27	0.99
	Acid detergent fiber (%)	770	0.86	0.93	0.96	0.91
	Neutral detergent fiber (%)	777	1.21	0.86	1.29	0.84
	Crude protein (%)	745	0.66	0.95	0.71	0.94
	Ash (%)	547	0.35	0.95	0.40	0.92
	Relative feed value(RFV)	788	2.89	0.90	3.10	0.88
Winter rye	Moisture (%)	302	1.62	0.99	1.85	0.99
	Acid detergent fiber (%)	290	1.09	0.96	1.37	0.92
	Neutral detergent fiber (%)	286	1.44	0.94	1.90	0.88
	Crude protein (%)	255	0.52	0.97	0.65	0.95
	Ash (%)	109	0.66	0.80	0.71	0.74
	Relative feed value(RFV)	286	3.81	0.92	4.41	0.88
Barley	Moisture (%)	274	1.25	0.98	1.31	0.97
	Acid detergent fiber (%)	238	1.41	0.81	1.47	0.75
	Neutral detergent fiber (%)	267	2.06	0.64	2.07	0.52
	Crude protein (%)	241	0.62	0.81	0.64	0.78
	Ash (%)	150	0.71	0.68	0.75	0.61
	Relative feed value(RFV)	272	5.94	0.68	6.35	0.58
Mixture	Moisture (%)	190	2.17	0.98	2.44	0.97
	Acid detergent fiber (%)	240	0.94	0.93	1.22	0.86
	Neutral detergent fiber (%)	255	1.35	0.90	1.67	0.84
	Crude protein (%)	251	0.62	0.90	0.79	0.83
	Ash (%)	86	0.78	0.75	0.81	0.68
	Relative feed value(RFV)	246	2.94	0.93	3.93	0.86
Integration	Moisture (%)	1480	1.53	0.99	1.59	0.99
	Acid detergent fiber (%)	1426	1.08	0.91	1.15	0.89
	Neutral detergent fiber (%)	1438	1.37	0.88	1.43	0.86
	Crude protein (%)	1349	0.59	0.94	0.61	0.93
	Ash (%)	882	0.41	0.93	0.45	0.90
	Relative feed value(RFV)	1421	3.61	0.84	3.76	0.82

[†]Standard error of calibration, [‡]Standard error of cross validation

가는 검량식 결정계수(R²), SEC 및 SECV가 이용되어지는데 결정계수(R²)는 높을수록 우수한 검량식이고 SEC와 SECV는 낮을수록 우수한 검량식이라고 하였다(Shenk and Westerhaus, 1991a).

초종별 동계사료작물의 수분함량 예측에 대한 검량식 작성 결과는 검량식 작성시 표준오차(SEC)와 상호검증표준오차(SECV)는 이탈리아 라이그라스가 각각 1.16%(R²=0.99)와 1.27%(R²=0.99)로 가장 우수한 예측능력을 보였으며 통합된 동계사료작물은 1.53%(R²=0.99)와 1.59%(R²=0.99)로 매우 양호한 예측능력을 나타냈다. ADF와 NDF함량 평가를 위해 개발된 검량식의 초종별 상호검증(SECV) 결과는 청보리가 각각 1.47%(R²=0.75)와 2.07%(R²=0.52)

로 가장 낮게 나타났는데 이는 청보리 사료의 경우 알곡이 포함되어 있어 전체 사료에서 알곡이 차지하는 비율에 따라 섬유소 함량 차이가 발생하는 것으로 더 정확한 예측능력의 검량식을 개발하기 위해서는 다양한 알곡비율의 사료를 수집해야 할 것으로 사료된다.

조단백질 함량은 청보리(SECV=0.64%, R²=0.61)를 제외하고는 모든 초종에서 양호한 예측능력을 보였으며 특히 통합된 동계사료작물(SECV=0.61%, R²=0.93)이 가장 높은 예측결과를 나타냈다. 수확된 조사료에 휴과 같은 이물질의 혼입 여부를 판정하기 위해 개발된 초종별 조회분 함량 평가에 대한 검량식 검증결과는 청보리(SECV=0.75%, R²=0.61)와 호밀(SECV=0.81%, R²=0.68)

이 다소 낮은 예측 정확성을 나타냈으며 통합된 동계사료작물 (SECV=0.45%, $R^2=0.90$)이 가장 높은 예측결과를 나타냈다. 일반적으로 무기물은 근적외선 대역에서 흡수가 일어나지 않아 측정이 불가능한 것으로 알려졌으나(Whetsel, 1968), 근적외선 분광법을 이용하여 무기물 함량의 분석에 대한 성공사례가 많은 초종에서 보고되고 있다(Shenk and Westerhaus, 1985; Cozzolino and Moron, 2004). Clark et al.(1987)에 의하면 일반적으로 식물체 조직 내의 무기물은 단독으로 존재하지 않고 유기물과 결합되어 존재하기 때문에 유기물과의 결합에 대한 물리성을 측정함으로써 가능하다고 보고하였다.

이상의 연구결과를 종합해보면 국내산 조사료의 품질평가 측면에서 기존 사일리지 중심의 근적외선 DB에 저 수분 함량의 근적외선 DB를 추가함으로써 조사료 품질평가 품목을 사일리지에서 헤일리지와 건초까지 확대할 수 있음을 확인하였고 또한 초종별로 따로 분리되어 구축된 동계사료작물 품질평가 근적외선 DB를 하나로 통합함으로써 현장에서 분석자의 초종구분에 대한 어려움을 해결하여 현장 활용성을 더욱 높일 것으로 사료된다.

IV. 요약

본 연구는 근적외선분광법을 이용한 조사료품질 검사의 현장 이용성을 확대하기 위하여 기존 사일리지 중심의 근적외선 DB에 저 수분 함량의 근적외선 DB를 추가하여 저 수분 조사료의 품질평가 가능성을 검토하고 통합된 동계사료작물 단일의 근적외선 검량식을 개발하기 위하여 전국에서 동계사료작물 조사료 2454점을 수집하였다. 각각의 시료는 근적외선 분광기를 이용하여 스펙트럼을 측정된 후 측정된 스펙트럼과 실험실 분석값간에 상관관계를 이용한 다변량회귀분석법을 통하여 동계사료작물 초종별로 검량식을 유도한 다음 각 성분별로 예측 정확성을 평가하였다. 초종별 동계사료작물의 수분함량 예측에 대한 검량식 작성 결과는 검량식 작성시 표준오차(SEC)와 상호검증표준오차(SECV)는 이탈리아 라이그라스가 각각 1.16%($R^2=0.99$)와 1.27%($R^2=0.99$)로 가장 우수한 예측능력을 보였으며 통합된 동계사료작물은 1.53%($R^2=0.99$)와 1.59%($R^2=0.99$)로 매우 양호한 예측능력을 나타냈다. ADF와 NDF함량 평가를 위해 개발된 검량식의 초종별 상호검증(SECV) 결과는 청보리가 각각 1.47%($R^2=0.75$)와 2.07%($R^2=0.52$)로 가장 낮게 나타났다. 조단백질 함량은 청보리 (SECV=0.64%, $R^2=0.61$)를 제외하고는 모든 초종에서 양호한 예측능력을 보였으며 특히 통합된 동계사료작물(SECV=0.61%, $R^2=0.93$)이 가장 높은 예측결과를 나타냈다. 조회분 함량 평가에 대한 검량식 검증결과는 청보리(SECV=0.75%, $R^2=0.61$)와 호밀 (SECV=0.81%, $R^2=0.68$)이 다소 낮은 예측 정확성을 나타냈으

며 통합된 동계사료작물(SECV=0.45%, $R^2=0.90$)이 가장 높은 예측결과를 나타냈다.

V. 사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(국산 조사료 품질평가 NIRS DB 확장 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/Hanguk Jakmul Hakhoe Chi*. 57(3):296-300.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- 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(6):968-974.
- Clark, D.H., Mayland, H.F., and Lamb, R.C. 1987. *Mineral Analysis of Forages with near Infrared Reflectance Spectroscopy I*. *Agronomy Journal*. 79(3):485-490.
- Cozzolino, D. and Moron, A. 2004. Exploring the use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict trace minerals in legumes. *Animal Feed Science and Technology*, 111(1-4):161-173.
- García-Ciudad, A., García-Criado, B., Pérez-Corona, M.E., De Aldana, B.R.V., and Ruano-Ramos, A.M. 1993. Application of near-infrared reflectance spectroscopy to chemical analysis of heterogeneous and botanically complex grassland samples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 63(4):419-426.
- Goering, H.K. and Van Soest, P.J. 1970. *Forage Fiber Analysis*. *Agric. Handb.* 379. US Department of Agriculture, Washington, DC.
- Holland, C.W., Kezar, W.P. Kautz, E.J. Lazowski, W.C. Mahanna, and Reinhart, R. . 1990. *The Pioneer Forage Manual-A Nutritional Guide*. Pioneer Hi-Bred Int. Inc., Des Moines, IA.
- Hruschka, W.R. 1987. Data analysis: wavelength selection methods. In P. Williams and K. Norris (eds.) *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. St. Paul, MN: Am. Assoc. of Cereal Chemists Inc.. p. 35-55.
- 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(3):253-262.
- 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(6):603-610.
- Kim, K., Kang, C., Choi, I., Kim, H., Hyun, J., and Park, C. 2016. Analysis of grain characteristics in Korean wheat and screening wheat for quality using near infrared reflectance spectroscopy. *Korean Journal of Breeding Science*. 48(4):442-449.
- Lee, H.W., Kim, J.D., Kim, W.H., and Lee, J.K. 2009. Prediction on the Quality of Forage Crop by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science*. 29(1):31-36.
- 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., 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(3):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(3):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(3):171-176.
- Scientific, U. 2010. Ucal version 1.10 operation manual. Unity Scientific, LLC., Columbus, MD.
- Shenk, J.S. and Westerhaus, M.O. 1985. Accuracy of Nirs Instruments to Analyze Forage and Grain 1. *Crop science*, 25(6):1120-1122.
- Shenk, J. S., and Westerhaus, M. O. 1991a. Population definition, sample selection, and calibration procedures for near infrared reflectance spectroscopy. *Crop science*. 31(2):469-474.
- Shenk, J.S. and Westerhaus, M.O. 1991b. Population structuring of near infrared spectra and modified partial least squares regression. *Crop Science*. 31:1548-1555.
- 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(3):89-101.
- Valdes, E.V., R.B. Hunter and Pinter, L. 1987. Determination of quality parameters by near infrared reflectance spectroscopy in whole-plant corn silage. *Canadian journal of plant science*. 67(3):747-754.
- Whetsel, K.B. 1968. Near-infrared spectrophotometry. *Applied Spectroscopy Reviews*. 2(1):1-67.
- 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(2):407-413.

(Received : May 24, 2019 | Revised : June 19, 2019 | Accepted : June 19, 2019)