

Research Article

# 수 처리 방법이 근적외선분광법을 이용한 옥수수 사일리지의 화학적 조성분 및 발효품질의 예측 정확성에 미치는 영향

박형수 · 김지혜\* · 최기춘 · 김현섭

국립축산과학원

## Mathematical Transformation Influencing Accuracy of Near Infrared Spectroscopy (NIRS) Calibrations for the Prediction of Chemical Composition and Fermentation Parameters in Corn Silage

Hyung-Soo Park, Ji-Hye Kim\*, Ki-Choon Choi and Hyeon-Seop Kim

Grassland & Forages Division, National Institute of Animal Science, Cheonan 31000, Korea

### ABSTRACT

This study was conducted to determine the effect of mathematical transformation on near infrared spectroscopy (NIRS) calibrations for the prediction of chemical composition and fermentation parameters in corn silage. Corn silage samples (n=407) were collected from cattle farms and feed companies in Korea between 2014 and 2015. Samples of silage were scanned at 1 nm intervals over the wavelength range of 680~2,500 nm. The optical data were recorded as log 1/Reflectance (log 1/R) and 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 several spectral math treatments to reduce the effect of extraneous noise. The optimum calibrations were selected based on the highest coefficients of determination in cross validation ( $R^2_{cv}$ ) and the lowest standard error of cross validation (SECV). Results of this study revealed that the NIRS method could be used to predict chemical constituents accurately (correlation coefficient of cross validation,  $R^2_{cv}$ , ranging from 0.77 to 0.91). The best mathematical treatment for moisture and crude protein (CP) was first-order derivatives (1, 16, 16, and 1, 4, 4), whereas the best mathematical treatment for neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) was 2, 16, 16. The calibration models for fermentation parameters had lower predictive accuracy than chemical constituents. However, pH and lactic acids were predicted with considerable accuracy ( $R^2_{cv}$  0.74 to 0.77). The best mathematical treatment for them was 1, 8, 8 and 2, 16, 16, respectively. Results of this experiment demonstrate that it is possible to use NIRS method to predict the chemical composition and fermentation quality of fresh corn silages as a routine analysis method for feeding value evaluation to give advice to farmers.

(Key words : Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS), Chemical composition, Fermentation quality, Maize silage)

### I. 서 론

정부의 강력한 조사료 증산 정책사업 추진으로 매년 조사료 재배면적이 증가하고 있으며 또한 국내산 조사료의 공급량도 함께 증가하고 있다. 하지만 유통 조사료의 품질 평가 관리체계 미비로 품질이 불균일한 조사료가 유통되면서 국내산 조사료에 대한 품질 신뢰도가 떨어지고 이로 인해 국내산 조사료의 이용기피 현상까지 나타나고 있다. 따라서 정부에서는 국내산 조사료의 품질을 높이고 품질 규격화를 위해 2014년부터 근적외선분광법 (NIRS)을 이용한

국가 단위 조사료 품질평가·관리체계를 구축하고 있다 (MAFRA, 2014).

근적외선분광법을 이용하여 조사료의 품질을 현장에서 신속하게 분석·평가하기 위해서는 시료를 전 처리 과정 없이 원물시료를 바로 측정할 수 있는 기술이 매우 중요하다. 기존의 근적외선분광법을 이용한 조사료 품질 분석법은 시료를 건조하고 분쇄함으로써 시간 및 공간상 현장에서 직접 품질을 평가하기에는 다소 어려움이 많다. 또한 사일리지의 경우 주요 발효품질의 평가항목인 수분, pH, 유기산 등은 건조과정 중에 휘발하여 소실되기 때문에 건

\* Corresponding author : Ji Hye, Kim National Institute of Animal Science RDA, Cheonan 31000, Korea.  
Tel : +82-41-580-6771, Fax : +82-41-580-6757, E-mail : wisdomkim@korea.kr

조 분쇄 시료 상태로는 예측 정확성이 낮아질 수 있다. 건조하지 않은 원물시료는 수분, 입자 크기 및 충전 정도에 따라 스펙트럼의 변화를 초래함으로써 분석 정확성을 떨어뜨린다고 하였다 (Baker et al., 1994; Givens et al., 1997).

따라서 최근 사일리지 시료의 경우 건조하지 않고 원물 그대로 발효품질을 평가하려는 연구들이 보고되고 있다 (Reeves and Blosser, 1989; Park et al., 1998). Gordon et al. (1998)은 건조하지 않은 원물 사일리지를 분석하기 위한 시료의 전처리 방법에 따른 측정 정확성의 차이를 보고하였으며, Reeves and Blosser (1991)은 사일리지 시료의 전처리방법에 따른 정확성의 차이가 있음을 보고하였다. 하지만 근적외선분광법을 이용한 원물시료의 분석 가능성은 다양한 검량기법의 개발과 스펙트럼의 다양한 수 처리 방법 및 시료 형태에 따른 스펙트럼 수집방법을 개선함으로써 분석 예측능력을 향상시킬 수 있다고 보고하였다 (Geladi et al., 1985; Hruschka, 1987).

국내에서는 원물 시료를 이용한 이탈리아인 라이그라스, 청보리, 호밀 등 동계사료작물의 품질을 분석·평가할 수 있는 NIRS DB와 검량식이 개발되어 (Park et al., 2012; Park et al., 2013; Park et al., 2014) 조사료 생산 및 유통 현장에서 유통 조사료 품질평가에 활용되고 있다. 또한 하계사료작물인 수수 교잡종 및 수단그라스 사일리지의 품질을 분석·평가할 수 있는 NIRS DB와 검량식이 개발되었으나 (Park et al., 2015) 사료용 옥수수 사일리지의 사료가치와 발효품질을 분석·평가할 수 있는 NIRS DB는 미 구축 상태에 있다.

따라서 본 연구는 국내산 옥수수 사일리지의 품질을 신속하게 분석·평가하기 위한 NIRS DB 구축과 원물시료의 분석 예측능력을 향상시키기 위한 근적외선 스펙트라의 적정 수 처리 방법을 구명하기 위하여 수행되었다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시료 및 NIR 스펙트라 수집

사료용 옥수수 사일리지 시료는 전국 사료작물 사일리지 품질경연대회에 출품된 시료와 2014년부터 2015년까지 전국 조사료 품질검사 시범사업에 참여한 전국 조사료 생산 경영체, 농축협 TMR회사 및 생산농가에서 407점을 수집하였다. 수집된 시료는 NIR 스펙트라 측정 전까지  $-20^{\circ}\text{C}$  냉동고에 밀봉하여 보관하였다.

냉동 보관된 옥수수 사일리지 시료는  $5^{\circ}\text{C}$  냉장고에서 해동하였으며 수확시 세절된 사일리지는 특별한 전 처리과정

없이 스펙트라 측정에 이용되었으며, 일부 세절되지 않은 사일리지는 식물체를 가위로 2~3 cm 정도로 절단하여 직경 15 cm인 원형 시료컵에 약 100 g 정도를 충전하여 근적외선분광기 (Spectrastar RTW 2,500, Unity Scientific, UAS)를 이용하여 680~2,500 nm의 파장범위에서 매 1 nm의 간격으로 반사도를 측정한 후 검량식 유도를 위해서 흡광도 ( $\log 1/R$ : absorbance)로 변환시켜 수집하였다.

### 2. 사료가치 및 발효품질 분석

사료용 옥수수 사일리지의 NDF 및 ADF 함량은 Goering and Van Soest (1970)법에서 사용되어지는 시약을 이용하여 Ankom fiber analyzer (Ankom technology)로 분석하였으며 조단백질 함량은 AOAC (1990)법에 의거하여 Kjeldahl법 (Kjeltec<sup>TM</sup> 2400 Autosampler System)을 이용하고 분석하였다.

사일리지의 pH 측정은 시료 25 g에 증류수 125 ml을 첨가하여 잘 혼합하여 electrometric pH meter (HI 9024; HANNA Instrument Inc., UK)를 이용하여 측정하였다. 유기산 분석은 사일리지 추출액을 Gas Chromatography (6890N, Agilent Co., USA)를 이용하여 Fussell 및 McCally (1987)가 제시한 80/120 mesh Carbowax, B-DA/4% Carbowax (Supelco Inc., Bellefonte, PA, Catalog No. 1-1889) 컬럼을 이용하여 분석하였다.

### 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 수 처리 (Math treatment) 기법을 이용하여 보정하고 회귀분석은 부분최소 제곱법 (Partial Least Square)을 이용하여 검량식을 유도하였다. 다양한 수 처리 방법에 따른 사료가치 및 발효품질의 예측정확성을 평가하기 위하여 원시 스펙트라를 1차 미분 (1, 4, 4; 1, 8, 8; 1, 16, 16)과 2차 미분 (2, 4, 4; 2, 8, 8; 2, 16, 16) 처리하여 최적의 수처리 방법을 구명하였다. 통계적 처리는 상업용 프로그램인 U-cal Ver. 2.04 (Unity Scientific, USA)를 이용하였다. 작성된 검량식의 예측 정확성에 대한 평가에는 검량식 결정계수 (Determination Coefficient,  $R^2$ ), 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 스펙트라의 특성

사료용 옥수수 원물 사일리지 시료의 근적외선 영역에서의 NIR 스펙트라와 1차 미분 스펙트라는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 옥수수 사일리지의 근적외선 배역대에서의 흡수 스펙트라를 살펴보면 1,420~1,480 nm과 1,910~1,970 nm 배역대에서 흡수피크가 크게 나타났으며 나머지 성분들에 대한 흡수 스펙트럼은 큰 차이를 보이지 않았다. Deville과 Flynn (2000)은 수분함량이 높은 사일리지의 근적외선 스펙트라의 수분 흡수 배역대는 1,450과 1,940 nm에서 흡수가 일어나고 탄수화물은 2,100과 1,600 nm, 단백질은

2,180과 2,055 nm 배역대에서 흡수가 일어난다고 하였다. 또한 세포벽 물질인 NDF와 ADF는 1,555~1,674, 2,294 nm (Williams, 1987) 근처에서 흡수가 주로 일어난다고 보고 하였다. 한편 각 성분별 근적외선 흡수 스펙트럼은 연구자들에 따라 조금씩 차이를 보이는데 파장대역의 적용범위는 근적외선분광기 또는 기기조건 변화 등에 따라  $\pm 20$  nm의 차이를 보인다고 보고 하였다 (Garcia-Cuidad et al., 1993).

#### 2. 사료용 옥수수 사일리지의 이화학적 특성

사료용 옥수수 사일리지의 품질평가를 위한 NIRS DB 구축을 위한 시료 집단 (Calibration set)의 화학적 조성분의 범위는 Table 1에서 보는 바와 같다. 수집된 시료집단의 수분함량은 평균 70.07%, NDF 함량은 평균 47.77%, 조단백질 함량은 평균 8.53%로 나타났다. 각 성분에 대한 표준

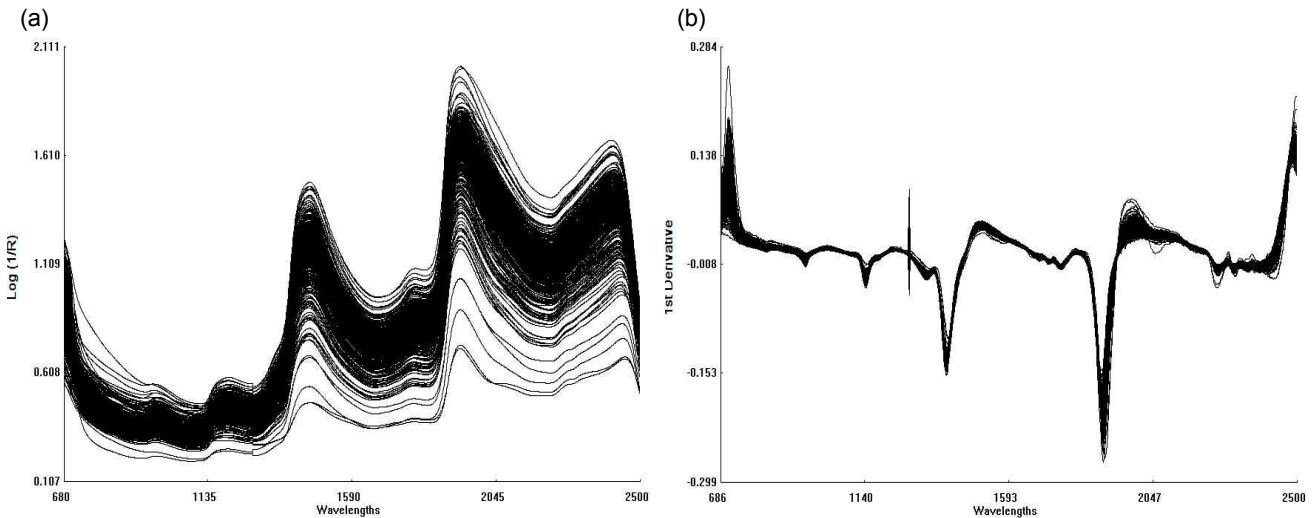


Fig. 1. NIR original spectrum as log 1/R (a) and as a first derivative (b) for fresh corn silages.

Table 1. The range in chemical composition and fermentation parameters of the 407 corn silages

Constituent	n	Mean	Min.	Max.	S.D.
<b>Chemical composition</b>					
Moisture (%)	407	70.07	34.42	88.62	7.51
Acid detergent fiber (% DM)	403	30.44	13.60	59.53	5.79
Neutral detergent fiber (% DM)	403	47.77	24.35	71.94	7.47
Crude protein (% DM)	344	8.53	4.49	12.90	1.38
<b>Fermentation parameters</b>					
pH (1:5)	363	3.98	3.39	8.24	0.62
Acetic acid (% DM)	356	2.13	0.22	5.16	1.74
Butyric acid (% DM)	111	1.02	0.06	3.17	0.98
Lactic acid (% DM)	356	5.94	0.53	12.93	2.10

편차는 수분함량과 ADF와 NDF가 높게 나타났으며 사일리지의 발효산물인 유기산 함량과 pH는 상대적으로 낮게 나타났다. 일반적으로 양질 사일리지의 적정 수분함량은 60~65% 정도로 알려져 있는데 본 연구에서 사용되어진 옥수수 사일리지의 평균 수분함량은 다소 높은 것으로 나타났으며 수분함량 범위도 34.2~88.62%로 표준편차가 상대적으로 크게 나타나 다양한 수분함량의 시료가 수집된 것으로 판단되어진다.

사일리지의 발효품질을 평가할 수 있는 pH와 젖산함량의 범위는 각각 3.8~8.7, 0.07~2.43%로 다른 성분과 비교하여 낮은 것으로 나타났으며 시료별 함량차이가 작은 것으로 나타났다.

Valdes et al.(1987)은 예측 정확성이 우수한 검량식을 개발하기 위해서는 검량식 작성을 위한 모집단의 중요성을 강조하였는데, 모집단은 넓은 범위와 고른 분포를 가지고 있어야한다고 보고하였다. 또한 넓은 범위를 가진 검량식

작성 모집단이라고 할지라도 각 성분과 대한 분포빈도가 고르지 못하면 그 만큼 예측 정확성이 떨어지게 된다.

### 3. 화학적 조성분 및 발효품질 예측 검량식 작성 및 검증

수집된 옥수수 사일리지 모집단의 근적외선 스펙트럼을 측정하여 얻은 흡광도 스펙트럼을 다양한 수 처리에 따른 화학적 조성분 예측능력은 Table 2와 Fig. 2에서 보는 바와 같다.

수집된 사일리지 모집단을 토대로 작성된 검량식의 평가는 검량식 결정계수 ( $R^2$ ), SEC (Standard Error of Calibration) 및 SECV (Standard Error of Cross Validation)가 이용되어 지는데 결정계수 ( $R^2$ )는 높을수록 우수한 검량식이고 SEC와 SECV는 낮을수록 우수한 검량식이라고 하였다 (Shenk and Westerhaus, 1991; Adesogan et al., 1998).

Table 2. Mathematical treatments and statistical indicators of the calibrations developed for the chemical composition parameters predicted

Constituents	Math treatment	Factors	Calibration			Validation	
			n	SEC <sup>a</sup>	R <sup>2</sup>	SECV <sup>b</sup>	R <sup>2</sup> <sub>cv</sub> <sup>c</sup>
Moisture (%)	1,4,4	9	297	1.59	0.92	1.87	0.90
	1,8,8	9	295	1.65	0.91	1.88	0.90
	1,16,16	8	291	1.56	0.92	1.68	0.91
	2,4,4	5	296	1.94	0.86	2.20	0.83
	2,8,8	8	301	1.88	0.88	2.14	0.86
	2,16,16	8	305	1.76	0.90	1.96	0.88
Neutral detergent fiber (% DM)	1,4,4	9	309	2.57	0.83	2.98	0.78
	1,8,8	10	302	2.41	0.86	2.77	0.83
	1,16,16	9	292	2.50	0.85	2.73	0.83
	2,4,4	10	365	2.97	0.81	4.46	0.60
	2,8,8	9	319	2.58	0.85	3.03	0.78
	2,16,16	10	294	2.22	0.88	2.52	0.86
Acid detergent fiber (% DM)	1,4,4	9	311	1.98	0.82	2.25	0.78
	1,8,8	10	304	1.90	0.83	2.14	0.80
	1,16,16	9	291	1.95	0.82	2.12	0.81
	2,4,4	10	380	2.50	0.77	3.79	0.49
	2,8,8	9	312	1.98	0.81	2.36	0.74
	2,16,16	10	299	1.81	0.85	2.03	0.83
Crude protein (% DM)	1,4,4	4	231	0.49	0.87	0.51	0.77
	1,8,8	12	280	0.54	0.82	0.67	0.73
	1,16,16	13	262	0.49	0.81	0.59	0.75
	2,4,4	5	257	0.56	0.72	0.63	0.65
	2,8,8	4	238	0.52	0.75	0.54	0.67
	2,16,16	12	287	0.55	0.79	0.69	0.68

<sup>a</sup> SEC: standard error of calibration, <sup>b</sup> SECV: standard error of cross validation, <sup>c</sup> R<sup>2</sup><sub>cv</sub>: coefficient of determination of cross validation.

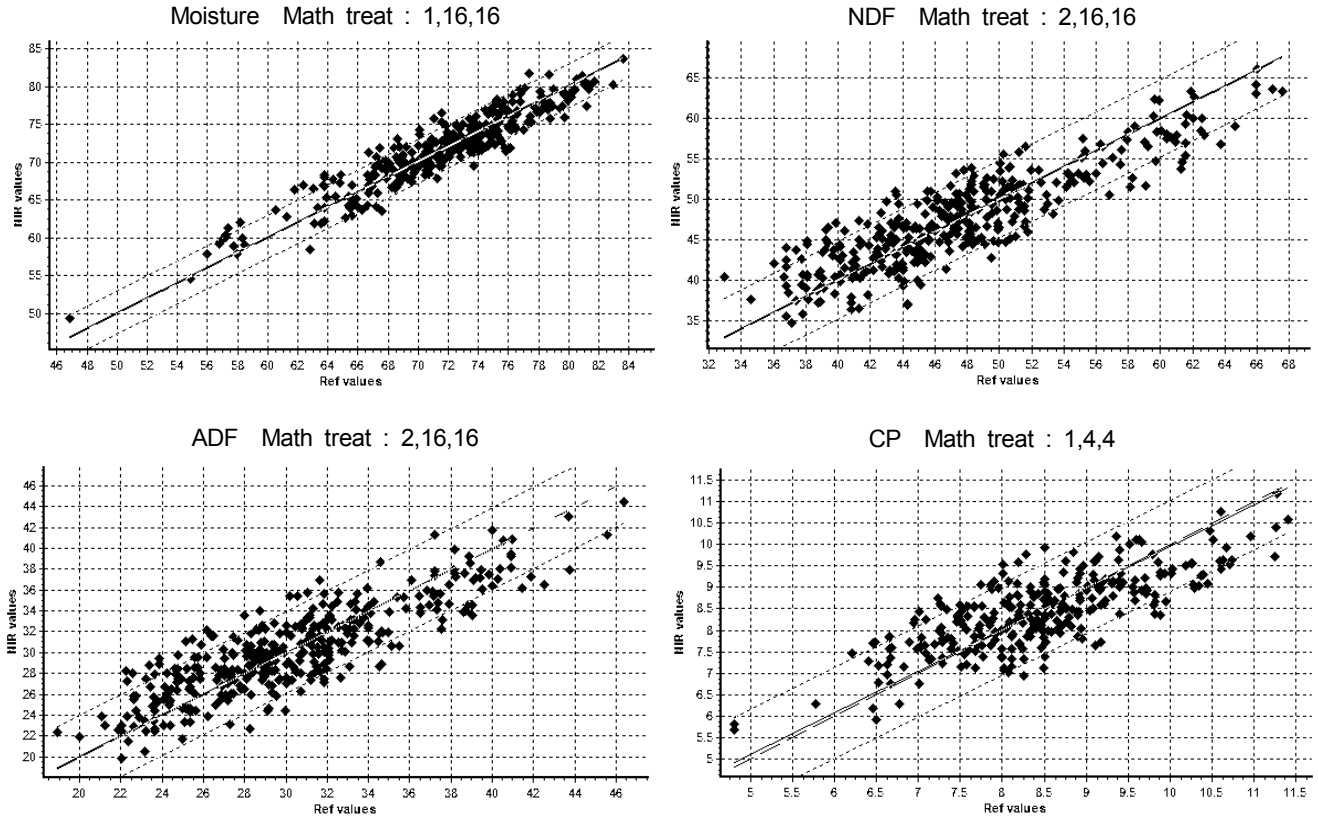


Fig. 2. Relationships between laboratory determined and NIRS predicted moisture, NDF, ADF and CP values of corn silages.

옥수수 원물 사일리지의 가장 우수한 수분함량 예측능력은 원물 스펙트라를 1차 미분처리 (1, 16, 16)한 것으로 나타났으며 검량식작성오차 (SEC)와 상호검증오차 (SECV)가 각각 1.56 및 1.68%로 나타났으며 옥수수 사일리지의 수분함량 예측능력은 미분이 증가할수록 예측 정확성이 낮아지는 경향을 보였다.

조사료의 주요 섬유소 성분인 NDF와 ADF의 최적 수 처리는 두 성분 모두에서 2, 16, 16 처리가 예측 정확성이 가장 높게 나타났으며 SECV는 ADF가 2.03%로 NDF 2.52% 보다 분석오차가 낮게 나타났다. 상호검증에 따른 검증 예측 상관계수 ( $R^2_{cv}$ )는 NDF 0.86으로 ADF 0.83 보다 높게 나타났다. 조단백질 함량의 예측능력은 1차 미분처리 (1, 4, 4)가 SECV 0.51%와  $R^2_{cv}$  0.77로 가장 우수한 예측능력을 나타내었다.

#### 4. 발효품질 예측 검량식 작성 및 검증

사일리지의 발효품질의 주요 평가항목인 pH와 유기산 함량의 다양한 수 처리에 따른 발효품질에 대한 예측능력

은 Table 3과 Fig. 3에서 보는 바와 같다.

옥수수 원물 사일리지의 산도 (pH) 예측 정확성은 원물 스펙트라를 1차 미분처리 (1, 8, 8)한 것으로 나타났으며 상호검증오차 (SECV)와 예측 상관계수 ( $R^2_{cv}$ )는 각각 0.12 및 0.77로 나타났다.

사일리지의 발효산물인 휘발성 지방산의 예측능력은 화학적 조성분 보다 낮은 것으로 나타났으며 휘발성 지방산 중 젖산의 예측능력이 가장 우수한 것으로 나타났다. 다양한 수 처리에 따른 젖산과 초산함량의 예측능력은 2차 미분처리 (2, 16, 16)에서 각각 SECV 0.81% 및 0.71%의 분석오차로 높게 나타났다.

사일리지의 이상발효의 지표로 활용되는 낙산함량은 1차 미분처리가 2차 미분 처리보다 우수한 예측능력을 나타냈으나 검량식 작성에 활용하기는 많은 검토가 필요한 것으로 사료되어진다. 본 연구결과는 다른 연구자들의 결과와 상이한 결과로 Park et al. (1998)은  $SECV = 0.54 \text{ kg}^{-1}$ ,  $R^2_{cv} = 0.83$ 의 결과로 분석 가능함을 보고하였고 또한 Abrams et al. (1988)은 혼과목초 사일리지의 낙산함량을  $SECV=0.78\%$ ,  $R^2_{cv}=0.70$ 으로 분석한 결과를 보고하였다. 이는 옥수수 사

Table 3. Mathematical treatments and statistical indicators of the calibrations developed for the fermentation parameters predicted

Constituents	Math treatment	Factors	Calibration			Validation	
			n	SEC <sup>a</sup>	R <sup>2</sup>	SEC <sup>b</sup>	R <sup>2</sup> <sub>cv</sub> <sup>c</sup>
pH (1:5)	1,4,4	14	319	0.10	0.81	0.14	0.62
	1,8,8	17	309	0.09	0.86	0.12	0.77
	1,16,16	17	298	0.09	0.85	0.12	0.72
	2,4,4	6	297	0.11	0.66	0.13	0.47
	2,8,8	10	291	0.09	0.75	0.11	0.58
	2,16,16	11	288	0.10	0.79	0.13	0.60
Lactic acid (% DM)	1,4,4	12	296	0.83	0.77	1.08	0.60
	1,8,8	16	305	0.79	0.79	1.06	0.63
	1,16,16	18	298	0.79	0.81	1.03	0.66
	2,4,4	4	278	0.99	0.49	1.12	0.29
	2,8,8	12	315	0.85	0.80	1.10	0.65
	2,16,16	9	276	0.74	0.78	0.81	0.74
Acetic acid (% DM)	1,4,4	2	260	0.54	0.10	0.54	0.06
	1,8,8	16	312	0.56	0.74	0.73	0.55
	1,16,16	17	298	0.56	0.73	0.67	0.59
	2,4,4	1	251	0.53	0.05	0.54	0.00
	2,8,8	11	284	0.46	0.62	0.61	0.32
	2,16,16	18	308	0.54	0.78	0.71	0.68
Butyric acid (% DM)	1,4,4	7	88	0.36	0.82	0.46	0.68
	1,8,8	7	83	0.33	0.82	0.40	0.70
	1,16,16	7	84	0.36	0.79	0.40	0.71
	2,4,4	6	106	0.44	0.79	0.70	0.41
	2,8,8	5	87	0.39	0.73	0.47	0.45
	2,16,16	6	85	0.37	0.76	0.44	0.58

<sup>a</sup>SEC: standard error of calibration, <sup>b</sup>SEC<sub>v</sub>: standard error of cross validation, <sup>c</sup>R<sup>2</sup><sub>cv</sub>: coefficient of determination of cross validation.

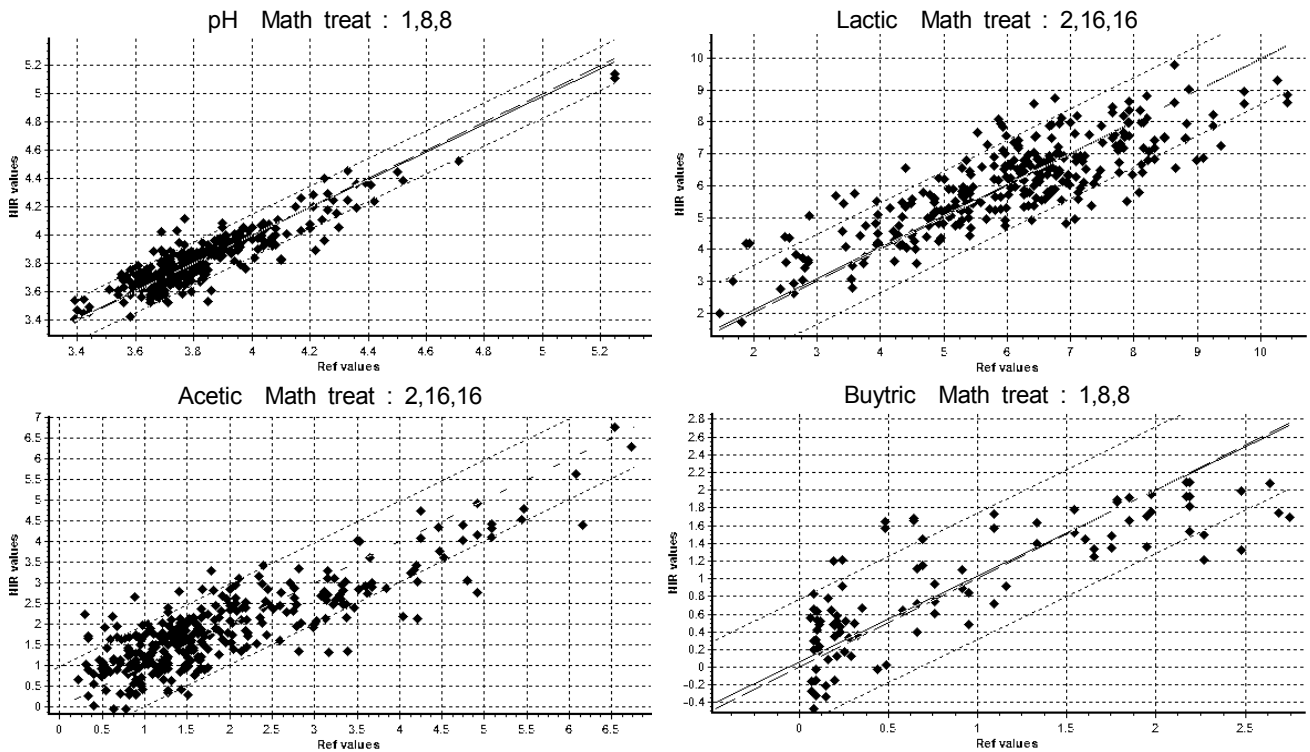


Fig. 3. Relationships between laboratory determined and NIRS predicted pH, lactic, acetic and butyric acids of corn silages.

일리지 내 낙산함량이 매우 낮거나 거의 검출이 되지 않은 점이 가장 큰 이유라고 하였다. 특히 낙산 함량의 경우 사일리지의 품질 저하 물질로 옥수수과 같이 일반적으로 발효가 잘 진행되는 사일리지에서는 거의 측정되지 않는다. 본 시험에 사용되어진 옥수수 사일리지의 경우도 낙산 함량이 극히 소량존재 했으며 또한 몇몇 시료에서 만 극한적으로 측정되어졌다.

이상의 연구결과를 종합해보면 근적외선분광법을 이용한 옥수수 원물 사일리지의 사료가치와 발효품질의 예측 정확성은 다양한 수 처리 방법에 따라 매우 큰 것으로 나타났다. 특히 조사료의 발효 품질평가 항목은 수 처리의 효과가 다양하게 나타났으며 특정 수 처리 방법에서 예측 정확성이 개선되는 것으로 나타났다. 따라서 근적외선분광법으로 원물 조사료의 품질을 평가할 때 예측 정확성을 높이기 위해서는 각 성분마다 최적의 수 처리방법을 검토해야하며 또한 수 처리 효과를 높이기 위해서는 가능한 측정하고자 하는 원물 시료의 입자도를 동일화하는 작업이 필요한 것으로 생각된다.

#### IV. 요약

본 연구는 국내산 원물 옥수수 사일리지의 품질을 신속하게 분석·평가하기 위한 NIRS DB 구축과 원물시료의 분석 예측능력을 향상시키기 위한 근적외선 스펙트라의 적정 수 처리 방법을 구명하기 위하여 수행되었다. 옥수수 사일리지는 전국 사료작물 사일리지 품질경연대회에 출품된 시료와 2014년부터 2015년까지 전국 조사료 품질검사 시범사업에 참여한 조사료 생산경영체, 농축협 TMR회사 및 생산농가에서 407점을 수집하였다. 옥수수 사일리지의 품질평가를 위한 NIRS DB 구축을 위해 수집된 시료를 근적외선 분광기를 이용하여 스펙트라를 측정하고 측정된 시료는 실험실에서 화학적 분석을 실시하였다. 다양한 수 처리 방법에 따른 사료가치 및 발효품질의 예측정확성을 평가하기 위하여 원시 스펙트라를 미분처리하여 최적의 수 처리 방법을 구명하였다. 옥수수 원물 사일리지의 수분함량 예측능력은 1차 미분처리 (1, 16, 16)한 것으로 나타났으며 NDF와 ADF의 최적 수 처리는 두 성분 모두에서 2, 16, 16 처리가 예측 정확성이 가장 높게 나타났다. 조단백질 함량의 예측능력은 1차 미분처리 (1, 4, 4)가 SECV 0.51 과  $R^2_{cv}$  0.72로 가장 우수한 예측능력을 나타내었다. 옥수수 사일리지의 발효산물인 산도(pH) 예측 정확성은 원물 스펙트라를 1차 미분처리 (1, 8, 8)한 것으로 나타났으며 젖산과 초산의 예측능력은 2차 미분처리 (2, 16, 16)에서 각각

SECV 0.81% 및 0.71%의 분석오차로 높게 나타났다.

#### V. 사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업 (과제명 : 국산 조사료 품질평가 NIRS DB 확장 및 고도화 기술 개발, 과제번호 : PJ012012032016)의 지원에 의해 연구되었다.

#### VI. REFERENCES

- Abrams, S.M., Shenk, J.S. and Harpster, H.W. 1988. Potential of near infrared reflectance spectroscopy for analysis of silage composition. *Journal of Dairy Science*. 71(7):1955-1959.
- Adesogan, A.T., Owen, E. and Givens, D.I. 1998. Prediction of the *in vivo* digestibility of whole crop wheat from *in vitro* digestibility, chemical composition, *in situ* rumen degradability, *in vitro* gas production and near infrared reflectance spectroscopy. *Animal Feed Science Technology*. 74:259-272.
- AOAC, 1990. Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis. 15th Edition. Washington, DC.
- Baker, C.W., Givens, D.I. and Deaville, E.R. 1994. Prediction of organic matter digestibility *in vivo* of grass silages by near infrared reflectance spectroscopy: Effect of calibration method, residual moisture and particle size. *Animal Feed Science Technology*. 50:17-26.
- Deaville and Flynn. 2000. Near infrared reflectance spectroscopy: An alternative approach to forage quality evaluation. In Givens et al. 2000. Forage evaluation in animal nutrition. Page 201. CAB, Wallingford.
- Fussel, R.J. and McCalley, D.V. 1987. Determination of volatile fatty acids(C2-C5) and lactic acid in silage by gas chromatography. *Analyst*. 112:1213-1216.
- Garcia-Cuidad, A., Garcia-Criado, B., Pérez-Corona, M.E. Vázquez de Aldana, B.R. and Ruano-Ramos A.N. 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*. 63:419-426.
- Geladi, P., MacDougall, D. and Martens, H. 1985. Linearization and scatter-correction for near-infrared reflectance spectra of meat. *Journal of Applied Spectroscopy*. 39:491-500.
- Givens, D.I., De Boever, J.L. and Deaville, E.R. 1997. The principles, practices and some future applications of near infrared spectroscopy for predicting the nutritive value of foods for animals and humans. *Nutrition Research Reviews*. 10: 83-114.
- Goering, H.K. and Van Soest, P.J. 1970. Forage Fiber Analysis.

- Agric. Handb. 379. US Department of Agriculture, Washington, DC.
- Gordon, F.J., Cooper, K.M., Park, R.S. and Steen, R.W.J. 1998. The prediction of intake potential and organic matter digestibility of grass silages by near infrared spectroscopy analysis of undried samples. *Animal Feed Science Technology*. 70:339-351.
- MAFRA. 2014. The complementary measure for increased production of forage. pp. 10-11.
- Park, H.S., Lee, S.H., Choi, K.C., Lim, Y.C., Kim, J.G., Jo, K.Y. 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):30-308.
- Park, H.S., Lee, S.H., Lim, Y.C., Seo, S., Choi, K.C., Kim, J.G., Kim, J.G. 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.
- Park, H.S., Lee, S.H., Choi, K.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., Choi, K.C., Kim, J.H., So, M.J. and Kim, H.S. 2015. Prediction of Chemical Composition and Fermentation Parameters in Forage Sorghum and Sudangrass Silage Using Near Infrared Spectroscopy. *Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science*. 35(3):257-263.
- Park, R.S., Agnew, R.E., Gordon, F.J. and Steen, R.W.J. 1998. The use of near infrared reflectance spectroscopy on undried samples of grass silage to predict chemical composition and digestibility parameters. *Animal Feed Science and Technology*. 72:155-167.
- Reeves III J.B. and Blosser T.H. 1989. Near infrared reflectance spectroscopy for analyzing undried silages. *Journal of Dairy Science*. 72: 79-88.
- Reeves J.B. III. and Blosser, T.H. 1991. Near infrared spectroscopic analysis of undried silages as influenced by sample grind, presentation method, and spectral region. *Journal of Dairy Science*. 742:882-895.
- 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.
- 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.
- Williams, P.C. 1987. Variables affecting near-infrared reflectance spectroscopic analysis. In P. Williams and K. Norris (eds.) *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists Inc., pp. 143-167.

(Received March 3, 2016 / Revised March 10, 2016 / Accepted March 14, 2016)