

The analysis of oat chemical properties using visible-near infrared spectroscopy

Hyeon Jun Jang¹, Chang Hyun Choi^{1*}, Tae Hyun Choi², Jong Hun Kim³, Gi Hyeon Kwon³, Seung Il Oh³, Hoon Kim³, Yong Joo Kim⁴

¹School of Life Science and Biotechnology, Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Korea

²Sensoreye R&D Solutions, Daejeon 35255, Korea

³Korea Food Research Institute, Sunnam 13539, Korea

⁴Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: choiauto@skku.edu

Abstract

Rapid determination of food quality is important in food distribution. In this study, the chemical properties of oats were analyzed using visible-near infrared (VIS-NIR) spectroscopy. The objective of this study was to develop and validate a predictive model of oat quality by VIS-NIR spectroscopy. A total of 200 oat samples were collected from domestic and import markets. Reflectance spectra, moisture, protein, fat, Fe, and K of oat samples were measured. Reflectance spectra were measured in the wavelength range of 400 - 2,500 nm at 2 nm intervals. The reflectance spectrum of an oat sample was measured after sample cell and reflectance plate spectrum measurement. Preprocessing methods such as normalization and 1st and 2nd derivations were used to minimize the spectroscopic noise. The partial-least-square (PLS) models were developed to predict chemical properties of oats using a commercial software package, Unscrambler. The PLS models showed the possibility to predict moisture, protein, and fat content of oat samples. The coefficient of determination (R^2) of moisture, protein, and fat was greater than 0.89. However, it was hard to predict Fe and K concentrations due to their low concentrations in the oat samples. The coefficient of determinations of Fe and K were 0.57 and 0.77, respectively. In future studies, the stability and practicability of these models should be improved by using a high accuracy spectrophotometer and by performing calibrations with a wider range of oat chemicals.

Keywords: near-infrared (NIR), nondestructive quality determination, oat, partial least square (PLS), visible (VIS)

Introduction

귀리는 오토밀, 제과 및 제빵의 원료로 식이 섬유소와 불포화지방산을 다량 함유하고 있어 혈압을 떨어뜨리며, 혈중 콜레스테롤을 낮추고 변비를 예방하는 다이어트에 좋은 식품이다. 귀리에 함유된 필수아미노산 등은 성장기 어린이들의 발육을 촉진하며 칼슘, 칼륨, 철, 아연, 마그네슘, 구리 등 각종 미네랄이 풍부하여 통곡물 가운데 유일하게 각종 영양성분이 풍부하게 들어있는 슈퍼푸드로 선정되었다(Han et al., 2014). 또한 단백질 함량이 높고 피 해독 능력이 뛰어난 수



OPEN ACCESS

Citation: Jang HJ, Choi CH, Choi TH, Kim JH, Kwon GH, Oh SI, Kim H, Kim YJ. 2016. The analysis of oat chemical properties using visible-near infrared spectroscopy. Korean Journal of Agricultural Science 43:715-722.

DOI: <https://doi.org/10.7744/kjoas.20160074>

Editor: Sun-Ok Chung, Chungnam National University, Korea

Received: August 24, 2016

Revised: September 26, 2016

Accepted: September 28, 2016

Copyright: ©2016 Korean Journal of Agricultural Science.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

용성 식이섬유인 베타글루칸이 다량 함유되어 있고 심장질환, 제2형 당뇨병, 비만, 일부 암의 위험을 줄여주고 장기간 섭취하면 노화 방지에도 큰 도움을 받을 수 있어 소비자들의 많은 관심을 받고 있다(Marshall et al., 1992).

귀리의 수입량은 2011년 3,890톤이었으나 2015년 20,000톤으로 2014년 4,183톤 대비 약478.1%로 크게 증가하였고 수입량은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 국내 귀리 소비가 증가하면서 귀리의 재배면적 또한 2006년 2 ha였던 것이 2014년 350 ha 로 크게 증가하여 생산량도 꾸준히 증가하고 있다(Lee et al., 2016).

이와 같이 귀리의 소비는 급속도로 증가하고 있으나 국내에서 귀리의 품질 판정에 대한 연구는 부족한 실정이다(Han et al., 2008; Heo et al., 2003). 귀리의 품질판정에 대한 연구는 대부분 이화학적 분석 방법에 의존하고 있다. 이화학적 품질분석 방법은 공인된 방법이라는 장점은 있으나 오랜 시간이 걸리고 전문가를 필요로 하며 전수검사가 어렵다는 단점이 있어 지속적으로 증가하는 귀리의 물량에 대해 품질검사하기에는 한계가 있다. 이에 반해 가시광선(visible) 및 근적외선(near infrared) 스펙트럼을 이용한 방법은 시료 내·외부의 상태에 따른 광학적 특성을 화학적 전처리 없이 비파괴적으로 검사가 가능하고 하나의 스펙트럼으로 시료의 물리화화적인 다양한 성분을 동시에 측정 및 분석이 가능하다. 또한, 유통 현장에서 실시간 품질 측정이 가능하며, 분석 시 숙련된 기술이 필요 없고 결과의 해석이 간편하여 품질 측정 시간을 단축하는 장점이 있다(Kim, 2004b).

가시광선 및 근적외선 스펙트럼을 이용한 곡물의 품질판정에 관한 연구는 주로 쌀을 중심으로 연구되었다. Kim et al. (1997)은 근적외선 분광법을 이용하여 쌀의 정백수율을 측정하였으며, Kim et al. (1998)은 쌀의 함수율 및 단백질 함량 예측 모델 개발에 관한 연구를 진행하였다. 또한, 현미와 백미의 예측 모델을 개발하였으며(Kim, 2004a), 근적외선 분광 스펙트럼을 이용한 식미계를 개발하는 등(Song et al., 2006) 활발한 연구가 수행되었으나 아직까지 귀리의 품질판정에 관한 국내 연구는 부족한 실정이다. 또한, 대부분의 연구가 이화학적 방법을 이용하여 귀리의 품질을 측정하고 있어 가시광선 및 근적외선 스펙트럼을 이용하여 귀리 성분에 대한 광학적 특성을 분석하고 예측 모델을 개발한 사례는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 귀리의 실시간 품질 분석 시스템 개발을 위한 기초연구로써 귀리의 가시광선-근적외선 스펙트럼을 측정하고 귀리의 이화학적 특성과의 상관관계를 분석하여 품질예측의 가능성을 제시하였다.

Materials and Methods

귀리 시료

귀리(*Avena sativa* L.) 시료는 식용 가능한 선양, 조양, 대양, 수양 품종으로 국내산과 수입산을 대상으로 각각 100개의 시료를 수집하였다. 특히, 국내산 귀리는 대표적 귀리 재배지인 정읍시와 강진군에서 재배된 것을 사용하였다. 귀리의 이화학적 성분 분석은 한국식품연구원에 의뢰하여 식품공전에 지시된 표준방법으로 총 200개의 시료에 대해 수분(moisture), 단백질(protein), 지방(fat), 철(Fe), 칼륨(K) 성분 함량을 측정하였다(AOAC, 2005). 수분은 상압건조 방법을 이용하여 105°C에서 건조하고 정량하였으며, 단백질은 semimicro-Kjeldahl법으로, 지방은 diethyl ether로 추출하여 정량하였다. 또한, 철, 칼륨의 무기질은 질산을 이용한 습식분해법을 이용하였다(Lee et al., 2014; Shin, 1996).

스펙트럼 측정

귀리 샘플은 Fig. 1과 같이 빛의 투과율이 높은 석영으로 제작된 용기에 담아 고성능 분광광도계(NIRS 6500, FOSS, Denmark)로 400 - 2,500 nm 영역에서 2 nm 간격으로 반사 스펙트럼을 측정하였다. 반사 스펙트럼은 귀리 샘플을 측정하여 식 (1)과 같이 흡광도로 나타내었다(Noh et al., 1999). 이때, 귀리는 샘플용기에 충분히 담기도록 정밀 저울을 이용하여 20 g씩 계량한 후에 사용하였다.

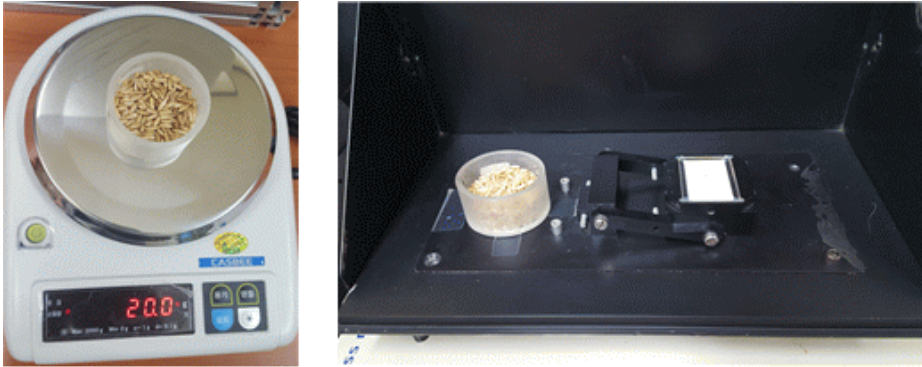


Fig. 1. Oat sample weighing (left) and measuring the reflection spectrum (right).

$$Absorbance = \text{Log}(1/Reflectance) \quad (1)$$

스펙트럼 분석

측정한 귀리의 성분에 대한 예측 모델을 개발하기 위해 200개의 시료 전체 스펙트럼 중 100개는 교정부, 100개는 검증부로 분류하였다. 예측 모델은 다양한 화학적 성분조성을 갖는 시료 분석에 적합한 부분최소자승법(Partial Least Square, PLS)을 이용하여 귀리의 스펙트럼과 이화학적 성분과의 상관관계를 분석하였으며(Park and Jung, 1993), 분석은 상용 프로그램인 Unscrambler (version 9.7, Camo, Norway)를 사용하였다. 부분최소자승법은 식 (2)와 같이 주성분 분석으로 독립변수와 종속변수를 주성분 벡터(principle component vector)와 스코어 벡터(score vector)로 각각 분해하여 종속변수의 예측 모델을 개발하는 통계적 기법으로 주성분 분석 시 독립변수와 종속변수의 정보를 동시에 이용함으로써 종속변수의 크기에 따라 독립변수에 가중치 부여가 가능한 장점이 있다(Choi et al., 2012). 예측 모델은 400 - 2,500 nm 영역에서 100 nm 간격으로 모델을 개발한 후, 우수한 영역에 대해 서로 조합하는 방법을 반복하여 각각의 귀리 성분에 대한 예측 모델을 개발하였다. 또한, 우수한 영역을 조합하여도 예측성능이 향상되지 않는 경우에는 가장 결정계수가 높은 것을 예측 모델로 선정하였다. 개발된 모델은 교차검증(cross validation)을 이용하여 신뢰성을 향상시켰으며, 주성분(Principal Component, PC) 수가 클수록 과적합(overfitting)이 발생하여 예측 모델의 신뢰성이 떨어지므로 최대 주성분은 20으로 설정하고 각각의 주성분에 대한 결정계수(R^2)와 교정부 오차(Standard Error of Calibration, SEC)를 비교하여 최적 모델을 선정하였다(Choi et al., 2008). 개발된 모델의 예측성능은 검증부 결정계수, 검증부 오차(Standard Error of Prediction, SEP)를 이용하여 검증하였다. 이때, 검증부 결정계수는 0.66 미만, 0.66 - 0.81, 0.82 - 0.90, 0.91 이상의 범위에 대해 각각 상관관계가 낮음(poor), 유의함(approximate), 높음(good), 우수함(excellent)을 의미한다(Martens and Naes, 1984).

$$\left. \begin{aligned} X &= TP^T + E \\ Y &= UQ^T + F \\ B &= T^{-1}(U - H) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

X: spectra of oat

T: score vector of X

P: principle component vector of X

B: prediction model

Y: catabolism component of oat

U: score vector of Y

Q: principle component vector of Y

E, F, H: residual

귀리 스펙트럼은 귀리의 공극 등에 의하여 빛의 산란이 발생하게 되며, 이는 예측 모델의 성능 저하를 초래하게 된다(Park et al., 2012). 그러므로 본 연구에서는 빛의 산란 등에 의한 스펙트럼의 보정을 위하여 정규화(normalization) 및 미분(derivative)의 수학적 전처리를 적용하였다. 정규화는 스펙트럼 측정 시 외부 온도 및 광원의 미세한 변화에 따라 스펙트럼의 기준선이 상하로 이동하는 현상의 보정이 가능하며, 미분은 흡광도의 크기보다는 파장영역간의 기울기에 중점을 두므로 스펙트럼의 기준선 변화에 따른 오차를 최소화 할 수 있어 상대적으로 흡광도가 작은 스펙트럼의 강조가 가능하여 가시광선-근적외선 스펙트럼의 중첩현상을 줄일 수 있는 장점이 있다(Pravdova et al., 2001). 그러나 미분의 차수를 높이면 오차도 함께 증폭되는 단점이 있어(Noh and Ryu, 2002) 본 연구에서는 원시 스펙트럼, 정규화, 1차 미분, 2차 미분의 총 4개의 스펙트럼을 이용하여 예측 모델 개발을 개발하였다.

Results and Discussion

귀리의 이화학적 성분 분석

본 연구에서 사용한 귀리 샘플의 이화학적 성분 분석 결과는 Table 1과 같이 나타났다. 수분의 함유량은 10.4 - 13.4 g의 범위에서 평균 12 g으로 측정되었다. 단백질은 평균 12.5 g으로 측정되었으며, 전체 범위는 5.8 - 15.2 g으로 나타났다. 지방은 평균 6.3 g으로 측정되었으며, 무기질인 철과 칼륨의 평균값은 각각 4.4 mg/100 g과 363.7 mg/100 g로 나타났다. 본 연구에서 분석한 귀리의 품질 함량은 모두 국가표준식품성분표의 제시된 수분 12 g, 단백질 13.2 g, 지방 8.2 g, 철 5.8 mg/100 g, 칼륨 383 mg/100 g 값과 유사한 범위를 보여 귀리의 이화학적 성분이 적절히 분석됨을 알 수 있었다.

Table 1. Chemical properties of oats tested.

(N = 200)

	Avg.	Max.	Min.	Std.
Moisture (g)	12.0	13.4	10.4	0.75
Protein (g)	12.5	15.2	5.8	2.20
Fat (g)	6.33	9.96	4.52	1.72
Fe (mg/100 g)	4.4	5.7	3.0	0.69
K (mg/100 g)	363.7	495.4	277.5	42.78

스펙트럼 분석

귀리의 원시 스펙트럼, 정규화, 1차 미분, 2차 미분을 수행한 그래프는 Fig. 2와 같이 나타났다. 귀리의 원시 스펙트럼은 1,400 nm와 1,900 nm 영역에서 높은 흡광도를 보이고 있으며, 이는 근적외선 영역 중 O-H 결합과 지방족 C-H 결합에 의해 나타난 것으로 판단된다(Fidencio et al., 2002). 또한, 2,200 nm 영역에서도 높은 흡광도를 보이고 있는데, 이는 phenolic O-H, amide N-H, amine N-H, 그리고 aliphatic C-H에 의해 나타난 것으로 판단된다(Cozzolino and Moron, 2003). 원시 스펙트럼을 정규화한 스펙트럼은 전체적으로 각 샘플간의 흡광도 변화가 감소한 것을 알 수 있으며, 1차 및 2차 미분한 스펙트럼은 원시 스펙트럼의 변화를 강조시켜 피크(peak) 및 밸리(valley) 값의 차이를 확실하게 나타냄을 알 수 있다. 그러나 가시광선-근적외선 스펙트럼의 경우 각 화학결합이 중첩(overtone)의 영향에 의해 나타나므로(Yun, 2014) 각각의 스펙트럼과 귀리의 이화학 성분 데이터와의 상관관계를 분석하고 예측 모델을 개발하였다.

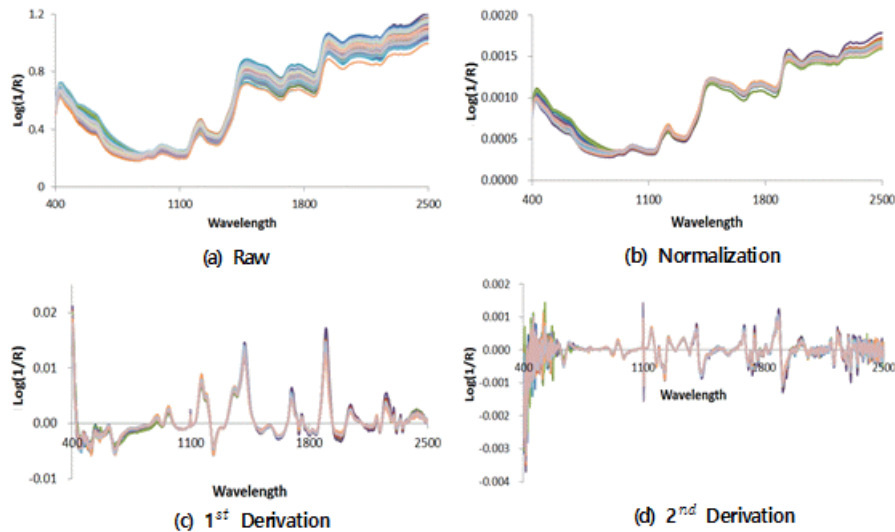


Fig. 2. Various pre-processing spectra of oats.

예측 모델 개발

부분최소자승법을 이용하여 귀리의 이화학적 성분과 스펙트럼과의 예측 모델을 개발한 결과는 Table 2와 같이 나타났다.

수분의 예측 모델은 스펙트럼의 수학적 전처리에 상관없이 900 - 1,000 nm에서 우수한 상관관계를 보여 주었다. 특히 정규화를 한 스펙트럼의 예측 모델이 교정부 결정계수 0.99, 검증부 결정계수 0.98로 가장 우수한 상관관계를 보여 주었으며, SEC는 0.08 g, SEP는 0.13 g으로 나타났다. 단백질의 예측 모델은 정규화, 1차 및 2차 미분을 수행하면, 예측 성능이 향상되는 경우도 있었으나 1,600 - 1,700 nm의 원시 스펙트럼을 이용한 경우의 예측 모델이 교정부 결정계수 0.99, SEC 0.07 g, 검증부 결정계수 0.89, SEP 0.79 g으로 가장 우수한 결과를 보여 주었다. 지방의 예측 모델은 1,100 - 1,300 nm 영역에서 우수한 상관관계를 보여주었으며, 단백질과 마찬가지로 원시 스펙트럼(1,100 - 1,200 nm)을 이용한 경우가 교정부 결정계수 0.99, SEC 0.15 g, 검증부 결정계수 0.97, SEP 0.31 g으로 가장 우수한 결과를 보여 주었다. 철의 예측 모델은 원시 스펙트럼이 1,100 - 2,500 nm, 정규화가 700 - 1,100 nm, 1차 미분이 700 - 1,100 nm, 2차 미분이 1,100 - 1,200 nm에서 가장 높은 상관관계를 보였으나 전체적으로 수분, 지방, 단백질에 비해 낮은 상관관계를 보여주었다. 특히, 정규화 스펙트럼의 교정부 결정계수는 0.99로 높게 나타났으나 검증부 결정계수가 0.57로 낮게 나타났는데, 이는 주성분 수가 16으로 높게 나타나 과적합(overfitting)이 발생하였기 때문임을 알 수 있다. 이러한 과적합은 다변량분석에서 예측모델은 우수하게 개발되었으나 검증 시 큰 오차를 보이는 것으로 다변량분석을 위한 데이터수의 부족, 불필요한 변수의 선정 등에 의하여 발생된다. 그러나 본 연구에서 개발한 철의 예측 모델은 대부분 과적합이 발생하여 예측 성능을 향상 시키기 위해서는 정밀도가 높은 가시광선-근적외선 영역의 분광분석 장비를 사용하거나 적외선 등의 다양한 영역의 스펙트럼을 이용하여 예측모델을 개발하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 칼륨의 예측 모델은 원시 스펙트럼이 1,000 - 1,100 nm, 정규화가 1,000 - 1,100 nm, 1차 미분이 400 - 2,500 nm, 2차 미분이 900 - 1,000 nm에서 각각 우수한 상관관계를 보여 주었다. 특히 원시 스펙트럼을 이용한 경우가 교정부 결정계수 0.98 SEC 4.95 mg/100 g, 검증부 결정계수 0.77, SEP 22.14 mg/100 g로 가장 우수한 예측결과를 보여 주었다.

개발된 귀리의 예측 모델은 수학적 전처리를 사용하면 예측성능이 향상되는 경우도 있었으나 전체적으로 원시 스펙트럼을 사용한 경우가 우수한 상관관계를 보였으며, 이는 귀리의 이화학적 성분과 상관관계가 높은 파장영역이 수학적 전처리에 의하여 왜곡 및 잡음에 의한 변화가 증폭되었기 때문으로 판단된다. 귀리의 이화학적 성분 중 수분,

Table 2. PLS results with mathematical preprocessing of oats.

Oat properties	Preprocessing	Calibration				Prediction	
		Wavelength	PC	R ²	SEC	R ²	SEP
Moisture (g)	Raw	900 - 1,000	5	0.98	0.11	0.96	0.17
	Normalization	900 - 1,000	5	0.99	0.08	0.98	0.13
	1st Derv.	900 - 1,000	4	0.98	0.10	0.96	0.16
	2nd Derv.	900 - 1,000	4	0.98	0.09	0.96	0.17
Protein (g)	Raw	1,600 - 1,700	11	0.99	0.07	0.89	0.79
	Normalization	700 - 1,100	10	0.98	0.27	0.83	0.96
	1st Derv.	1,600 - 1,700	4	0.91	0.66	0.84	0.95
	2nd Derv.	1,600 - 1,700	3	0.95	0.49	0.82	1.01
Fat (g)	Raw	1,100 - 1,200	7	0.99	0.15	0.97	0.31
	Normalization	1,200 - 1,300	5	0.98	0.19	0.97	0.32
	1st Derv.	1,200 - 1,300	3	0.98	0.18	0.98	0.25
	2nd Derv.	1,100 - 1,200	4	0.99	0.15	0.98	0.25
Fe (mg/100 g)	Raw	1,100 - 2,500	6	0.87	0.25	0.56	0.50
	Normalization	700 - 1,100	16	0.99	0.01	0.57	0.49
	1st Derv.	700 - 1,100	1	0.10	0.66	0.13	0.80
	2nd Derv.	1,100 - 1,200	4	0.70	0.38	0.20	0.67
K (mg/100 g)	Raw	1,000 - 1,100	10	0.98	4.95	0.77	22.14
	Normalization	1,000 - 1,100	10	0.97	7.32	0.73	24.11
	1st Derv.	400 - 2,500	1	0.66	25.06	0.46	33.93
	2nd Derv.	900 - 1,000	2	0.58	27.88	0.31	38.36

단백질, 지방의 경우 가시광선-근적외선 영역의 스펙트럼과 높은 상관관계를 보여주었고 칼륨의 모델은 다소 낮은 검증결과를 보여주었으나 예측 모델의 보완을 통하여 현장에서 귀리의 품질 판정이 가능함을 알 수 있다. 그러나 철의 예측 모델은 아주 낮은 상관관계를 보여 다양한 수학적 전처리 및 예측 알고리즘 적용을 통한 예측 모델 향상이 필요함을 알 수 있다.

Conclusion

본 연구는 귀리의 실시간 품질 판정 시스템 개발을 위한 기초 연구로써 가시광선-근적외선 스펙트럼을 이용하여 귀리 이화학적 성분의 예측 모델을 개발하였다. 귀리 샘플은 20 g씩 정량한 후에 스펙트럼을 측정하였으며, 원시 스펙트럼을 정규화, 1차 및 2차 미분하여 총 4개의 스펙트럼으로 귀리의 수분, 단백질, 지방, 철, 칼륨과의 예측 모델을 개발하였다. 예측 모델은 다변량 분석에 주로 사용되는 부분최소자승법을 이용하였으며, 그 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 귀리의 이화학적 성분을 분석한 결과, 수분은 10.4 - 13.4 g, 단백질은 5.8 - 15.2 g, 지방은 4.52 - 9.96 g, 철은 3.0 - 5.7 mg/100 g, 칼륨은 277.5 - 495.4 mg/100 g의 범위를 보여주었으며, 모두 국가표준식품성분표와 유사한 범위를 보여 주었다. 둘째, 부분최소자승법을 이용하여 예측 모델을 개발한 결과, 정규화, 1차 미분, 2차 미분 등의 수학적 전처리를 사용하면, 예측능력이 향상되는 경우도 있었으나 대부분 원시 스펙트럼을 이용한 경우가 가장 우수한 상관관계를 보여 주었다. 셋째, 수분, 단백질, 지방의 예측 모델은 대체로 높은 상관관계를 보여 주었다. 수분의 예측 모델은 900 - 1,000 nm에서 검증부 결정계수 0.98, SEP는 0.13 g으로 나타났다. 단백질은 1,600 - 1,700 nm에서 검증부 결정계수 0.89, SEP 0.79 g으로 나타났다. 지방은 1,100 - 1,200 nm에서 검증부 결정계수 0.97, SEP 0.31 g으로 나타났다. 마지막으로 귀리의 무기질 성분은 다른 성분에 비하여 다소 낮은 상관관계를 보여 주어 성능 향상을 위해서는 다양한 수학적 전처리 및 예측 모델의 적용이 필요함을 알 수 있다. 철의 예측결과는 700 - 1,100 nm에서 검증부 결정계수가 0.57, SEP 0.49 mg/100 g로 다소 높은 오차를 보여 주었으며, 칼륨의 예측 모델은 1,000 - 1,100 nm에서 검증부 결정계수 0.77, SEP 22.14 mg/100 g로 나타났다.

References

- AOAC. 2005. Official methods of analysis. 18th edition. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- Choi CH, Kim YJ, Kim KS, Choi TH. 2008. Development of measuring technique for somatic cell count in raw milk by spectroscopy. *Journal of Biosystems Engineering* 33:210-215. [in Korean]
- Choi CH, Yun HW, Kim YJ. 2012. Development of measuring technique for milk composition by using visible-near infrared spectroscopy. *Korean Journal of Food Preservation* 19:95-103. [in Korean]
- Cozzolino D, Moron A. 2003. The potential of near-infrared reflectance spectroscopy to analyze soil chemical and physical characteristics. *The Journal of Agricultural Science* 140:65-71.
- Fidencio PH, Poppi RJ, Andrade JC, Cantarella H. 2002. Determination of organic matter in soil using near-infrared spectroscopy and partial least squares regression. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33:1607-1615.
- Han OK, Park HH, Park TI, Seo JH, Park KH, Kim JG, Heo HY, Hong YG, Kim DH. 2008. A new early-heading and high yielding naked oat cultivar for human consumption, 'Choyang'. *Korean Journal of Breeding Science* 40:512-516. [in Korean]
- Han OK, Park TI, Park HH, Park KH, Oh YJ, Kim KJ, Song TH, Jang YJ, Kim DH, Hwang JJ, Kwon YU. 2014. "'Suyang'" A new naked oat cultivar with early-heading and high yielding. *Korean Journal of Breeding Science* 46:323-327. [in Korean]
- Heo HY, Park HH, Kim MJ, Choi SW, Park KG, Nam JH, Lee CK and Kwon YU. 2003. A new cold tolerant, high forage and grain yielding winter oat cultivar "'Samhan'". *Korean Journal of Breeding Science* 35:331-332. [in Korean]
- Kim HI. 2004a. Comparison of Korean and Japanese rice cultivars in terms of physicochemical properties (I) The comparison of Korean and Japanese rice by nir and chemical analysis. *The East Asian Society of Dietary Life* 14:135-144. [in Korean]
- Kim JM, Choi CH, Min BK, Kim JH. 1998. development of prediction model for moisture and protein content of single kernel rice using spectroscopy. *Journal of the Korean society for agricultural machinery* 23:49-56. [in Korean]
- Kim JM, Min BK, Choi CH. 1997. determination of rice milling ratio by visible/near-infrared spectroscopy. *Journal of the Korean society for agricultural machinery* 22:333-342. [in Korean]
- Kim YH. 2004b. Evaluation of seed quality by near infrared spectroscopy analysis. *Korean Journal of Crop Science* 49:250-258. [in Korean]
- Lee SY, Park SY, Shin KS, Lee JH, Lim MH, Lee SM, Oh SW, Jeong EG, Yeo YS. 2014. Analysis of key nutrients and anti-nutrients in insect-resistant transgenic rice. *Korean Journal of Breeding Science* 46:400-407. [in Korean]
- Lee YY, Ham HM, Kim YK, Lee MJ, Han OK, Kim YH, Park HM, Lee BW, Park JY, Sim EY, Lee CW, Kim WH. 2016. The physicochemical properties and dietary fiber contents in naked and hulled Korean oat cultivars. *Korean Journal of Breeding Science* 48:37-47. [in Korean]
- Marshall HG, Sorrels ME, Kelling KA, Peterson DM, Schrickel DJ, Simons MD. 1992. Oat science and technology. pp. 1-28, p. 180, pp. 197-198. American society of agronomy Publishing, USA.
- Martens H, Naes T. 1984. Multivariate calibration. I. Concepts and distinctions. *Trends in Analytical Chemistry* 13:204-210.
- Noh SH, Kim HU, Kim KB. 1999. Nondestructive Determination of sugar content in apples using ratio or difference of NIR spectral absorbance. *Food Engineering Progress* 3:8-14. [in Korean]
- Noh SH, Ryu DS. 2002. Preprocessing of transmitted spectrum data for development of a robust non-destructive sugar prediction model of intact fruits. *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing* 22:361-368. [in Korean]
- Park HS, Lee SH, Choi KC, Lim YC, Kim JG, Seo S, Jo KC. 2012. Effect of sample preparation on predicting chemical composition and fermentation parameters in Italian ryegrass silages by near infrared spectroscopy. *Journal of livestock housing and environment* 18:257-266. [in Korean]

- Park JP, Jung WT. 1993. Regression diagnostic based on partial least square. *Journal of Kyungnam regional studies* 5:47-54. [in Korean]
- Pravdova V, Walczak B, Massart DL, Kawano S, Toyoda K, Tsenkova R. 2001. Calibration of somatic cell count in milk based on near-infrared spectroscopy. *Analytica Chimica Acta* 450:131-141.
- Shin MG. 1996. Near-infrared reflectance spectroscopy in determining constituent content of Korea rice. *Journal of Woosong University* 1:171-182. [in Korean]
- Song YJ, Song YE, Oh NK, Choi YG, Cho KC. 2006. Relationship between near infrared reflectance spectra and mechanical sensory score of commercial brand rice produced in Jeonbuk. *Korean Journal of Crop Science* 51:42-46. [in Korean]
- Yun HW, Choi CH, Kim YJ, Hong SJ. 2014. Development of real-time chemical properties analysis technique in paddy soil for precision farming. *Journal of Agricultural Science* 41:59-63. *Anal Chim Acta* 450:131-141. [in Korean]