

FT-NIR spectroscopy를 이용한 현미의 총 식이섬유함량분석 예측모델 개발

이진철 · 윤연희 · 김선민 · 표병식 · 은종방^{1,*}

동신대학교 생물자원산업화지원센터, ¹전남대학교 식품공학과 · 생물공학연구소

Development of Prediction Model for Total Dietary Fiber Content in Brown Rice by Fourier Transform-Near Infrared Spectroscopy

Jin-Cheol Lee, Yeon-Hee Yoon, Sun-Min Kim, Byeong-Sik Pyo, and Jong-Bang Eun^{1,*}

Biotechnology Industrialization Center, Dongshin University

¹Department of Food Science and Technology and Biotechnology Research Institute, Chonnam National University

Abstract Fourier transform-near infrared spectroscopy (FT-NIRS) was evaluated for determination of total dietary fiber (TDF) content of brown rice. Enzymatic-gravimetric method was suitable to obtain reference values for calibration of NIR at 1,000-2,500 nm range. Standard error of laboratory procedure ranged 0.17 to 0.72%. Partial least square (PLS) regression was used to develop the calibration equations. Regression was performed automatically using NIRCal chemometric software. Accuracy of prediction model for TDF content was certified for regression coefficient (r), standard error of estimation (SEE) and standard error of prediction (SEP), showing 0.9780, 0.0636, and 0.0642, respectively. This prediction model can be used for determination of TDF in brown rice and would be useful for real-time analysis in food industry.

Key words: FT-NIRS, TDF, brown rice, PLS, prediction model

서 론

쌀은 국민 식생활에서 칼로리 공급량의 30% 이상을 차지하는 주식(1)으로서 국내 가장 중요한 식량자원이라 할 수 있으며, 현재 약 120만 ha의 경지에서 연간 530만 톤이 생산되고 있다(2). 쌀은 현미 상태에서 영양이 주식에 부합되게 단백질, 지질, 탄수화물이 고루 분포되어 있으며, 식이섬유도 다량 함유되어 있는 것으로 알려져 왔다(3). 기능성 식품 소재로서 식이섬유의 변비 개선(4), 성인병 예방(5) 등 다양한 생리활성이 입증되면서, 쌀의 소비 경향도 현미 섭취량이 높아지는 등, 최근 식생활 패턴이 변화되고 있으며, 주식으로서 곡류 식이섬유의 중요한 공급원으로 현미에 대한 관심이 증가되고 있다.

근적외선 분광분석기를 이용한 비파괴분석법은 신속하고도 경제적이며, 시료의 특별한 전처리 없이 동시 다분석 정량 및 정성 분석이 가능한 친환경적 분석법(6)으로, 최근 농수산물 수입의 개방화 등으로 국내산과 수입산 간의 진위여부(7)를 판정하는 정성 분석, 식품 등의 성분 분석(8), 소화흡수율 예측(9), 품질관리(10) 등 활발한 연구가 수행되어 왔다. 또한 쌀의 경우는 미질에 영향을 주는 단백질(11) 및 아밀로스 함량(12), 밥의 노화도(13) 등에 대한 연구보고는 있지만, 현미 중 기능성 소재로 인정되는 식이

섬유에 대한 연구는 국내외적으로 거의 없는 실정이다. 또한 대부분의 관련 연구보고들은 근적외선 영역에서 특정 성분에 관여하는, 주요 몇몇 파장만을 선택하여 예측 모델을 개발하였기에, 실제 측정에서는 실측치와 예측치 간의 오차가 커 실제 적용엔 무리가 있을 수 있었다.

FT-NIR spectroscopy는 컴퓨터의 발달로 기존의 방식보다 한 단계 진보한 방식으로 현재 국내 유류공장에서 품질관리를 위해 원유의 성분분석에 사용되고 있다. 또한 FT 방식은 기존의 grating이 아닌 moving mirror에 의해 파장대를 선정하므로 측정시간이 더욱 단축되고, 근적외선에 대한 신호대 잡음비를 보다 크게 하여 정확한 결과 예측이 가능하게 되었다.

따라서 본 연구에서는, 그 분석 과정이 번거롭고 시간 소요가 많은 현미 중 식이섬유 함량을, 파장 선택에 따른 오차를 최소화하도록 측정되는 전체 파장 영역에 대해서 Fourier 변환 근적외선 분광분석장치를 이용하여 보다 신속하게 분석하였으며, 이를 효소중량법과 비교하여 적용성을 검토하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용한 시료는 전남지방에서 2002년도에 재배된 국내산 멥쌀(*Oryza sativa* L.)로 수확 후, 전남농업기술원에서 일정기간의 건조과정을 거친 것으로 왕겨가 있는 벼 상태의 것을 사용하였다.

현미제조 및 전처리

각 47g 품종별 벼는 현미 제현기(SY88-TH, Ssangyong Machine Ind. Co. Ltd, Incheon, Korea)를 이용하여 2회 탈피시켜 왕겨를

*Corresponding author: Jong-Bang Eun, Department of Food Science and Technology and Biotechnology Research Institute, Chonnam National University 300 Yongbong-dong, Buk-gu, Gwangju 500-757, Korea

Tel: 82-62-530-2145

Fax: 82-62-530-2149

E-mail: jbeun@chonnam.ac.kr

Received September 23, 2005; accepted March 12, 2006

제거하였다. 제조된 현미는 0.05 mm 진공포장재(NY/PE laminated film)로 진공 포장(Vacuum packing machine, SW-600, Leetech-System, Seoul, Korea)하여 -85°C deep freezer(MDF U50V, Sanyo, Tokyo, Japan)에 보관하면서 시료로 사용하였다. 스펙트럼 측정은 현미 상태에서, 식이섬유 분석은 균질한 sampling을 위해 blender (51BL31, Waring Commercial, Torrington, USA)로 마쇄한 후 분쇄된 시료는 100 mesh sieve를 통과시켰으며 남은 잔사는 다시 마쇄하여 체를 통과시킨 것을 이용하였다. 각각의 시료는 분석과 스펙트럼 측정 하루 전에 냉동고에서 상온으로 옮겨졌으며 각각의 품종을 상온과 동일하게 한 후 실험을 행하였다.

총 식이섬유 정량

품종별 시료의 총 식이섬유 정량은 AOAC 법(14)에 준해 분석하였다. 식이섬유 분석용 효소(Sigma) α-amylase, protease 및 amyloglucosidase를 순차적으로 반응시켰다. 반응 후, ethanol 침전물은 여과하여 침전 잔사량을 구하고, 잔사 중 회분과 조단백질 함량을 감하여 시료 중 TDF 함량을 산출하였다. 위의 모든 과정은 blank를 포함하여 4반복으로 실시하였다.

스펙트럼 측정

현미 47개 품종에 대한 스펙트럼은 FT-NIR(Fourier Transform-Near Infrared, NIRLab N-200, Buchi, Postfach, Switzerland) spectroscopy를 이용하여 측정하였다(Table 1). 스펙트럼은 한 품종 당 3반복으로 11회 측정하였고, 시료는 쇄미, 이물질 등을 제거한 것을 사용하였다. 스펙트럼은 NIRLabWare 3.0(Buchi, Postfach, Switzerland)을 사용하여 근적외선 영역 1,000-2,500 nm 파장대에서 매 2 nm 간격으로 반사도(reflectance, R)를 측정 한 후, 검량식 개발을 위해서 흡광도는 측정된 반사도에 대한 역수의 대수값(Log 1/R, absorbance)으로 환산된 것을 사용하였다.

검량식의 작성(예측모델 개발 및 검증)

예측 모델은 NIRCal Chemometric Software(Ver. 4.21, Buchi, Postfach, Switzerland)를 이용하여 분석항목에 대해 작성되었다. 정량분석 목적에 부합되도록 spectra의 수를 선정하였는데, 측정

Table 1. FT-NIR condition of scanning parameters for total dietary fiber content in brown rice

Instrument	Fourier Transform-Near Infrared Spectroscopy (Buchi NIRLab System, model NIRLab N-200/MCS 100, Switzerland)
Spectrum Range	1,000-2,500 nm (10,000-4,000 cm ⁻¹)
Interferometer	Cube Corner Michelson Interferometer
Detection mode	Diffuse Reflectance
Sample cell	Glass petri dish
Scanning interval	2 nm

된 데이터의 2/3는 검량식을 구하기 위한 검량부(calibration 부분)로 사용되었고, 나머지 1/3은 이를 확인하는 검증부(validation 부분)로 사용되었다(15). 또한 사용되어질 검량부의 범위는 실측치 범위를 포함하도록 하였고, 검증부는 검량부의 95% 이상 수용할 수 있도록 고루 분산시켰다(16). 예측 모델 개발을 위한 회귀분석 방법은 소수 몇 개의 파장만을 선택하는 기존의 방식이 아닌 측정 파장 전체영역 spectra에 대해서, 가장 일반적으로 사용되고 있는 부분최소제곱법(PLS)를 이용하여 검량식을 작성하였다(17). 얻어진 검량식의 정확도는 실측치의 오차 즉, 검량부의 오차(SEE: Standard error of estimation), 미지시료에 대한 예측 오차인 검증부의 오차(SEP: Standard error of prediction), 상관계수(r) 및 편차(bias)를 통해 확인하였다(18).

결과 및 고찰

식이섬유 함량

근적외선 분광분석법의 검량식 작성을 위한 각 품종별 현미의 총 식이섬유(TDF) 함량을 효소 중량법으로 분석 결과는 Table 2 와 같다. 현미의 TDF 함량은 2.89-4.02%, 평균 3.42 ± 0.30%로 기존의 보고(3,19,20)와 유사한 범위의 값을 나타내었다.

현미 중 총식이섬유 함량 예측 모델 개발

현미 완전립 상태의 FT-NIR 스펙트럼은 Fig. 1과 같다. 얻어진

Table 2. Total dietary fiber content in Korean brown rice as different varieties by an enzymatic-gravimetric method

Variety	Dietary fiber content (%)	Variety	Dietary fiber content (%)	Variety	Dietary fiber content (%)
Goambyeo	3.41 ± 0.47 ¹⁾	Saegyechwabyeo	3.55 ± 0.38	Ilpoombyeo	3.44 ± 0.47
Gunnambyeo	3.20 ± 0.39	Saesangjubyeo	3.69 ± 0.62	Jongnambyeo	2.89 ± 0.37
Namgangbyeo	3.19 ± 0.19	Saechucheongbyeo	3.41 ± 0.38	Junambyeo	3.34 ± 0.27
Nampyeongbyeo	3.58 ± 0.54	Seoganbyeo	3.38 ± 0.27	Joonghwabyeo	3.22 ± 0.21
Nonghobyeo	3.50 ± 0.53	Seokjeongbyeo	3.40 ± 0.28	Chucheongbyeo	3.28 ± 0.23
Damagum	3.71 ± 0.59	Seolgaeng	3.16 ± 0.21	Taebongbyeo	3.21 ± 0.18
Daepyeongbyeo	3.24 ± 0.38	Sobibyeo	3.06 ± 0.17	Haepyeongbyeo	2.98 ± 0.33
Donganbyeo	3.90 ± 0.66	Soorabyeo	2.93 ± 0.57	Hyangnambyeo	3.31 ± 0.39
Dongjin1ho	3.34 ± 0.33	Soojinbyeo	3.04 ± 0.17	Hoanbyeo	3.55 ± 0.42
Mangumbyeo	3.06 ± 0.18	Sindongjinbyeo	2.99 ± 0.45	Hojinbyeo	3.59 ± 0.49
Marweolbyeo	3.33 ± 0.29	Yangjobyeo	3.15 ± 0.16	Hwabongbyeo	3.02 ± 0.35
Manpoongbyeo	3.61 ± 0.39	Younganbyeo	3.51 ± 0.42	Hwaseongbyeo	3.64 ± 0.62
Mihyangbyeo	3.87 ± 0.52	Younghaebyeo	3.52 ± 0.41	Hwashinbyeo	3.83 ± 0.66
Bakjinju	3.19 ± 0.18	Odaebyeo	3.69 ± 0.28	Hwaanbyeo	3.98 ± 0.72
Samcheonbyeo	3.19 ± 0.19	Inweolbyeo	3.36 ± 0.29	Hwayoungbyeo	4.02 ± 0.52
Sangmibyeo	3.77 ± 0.72	Ilmibyeo	3.37 ± 0.52		

¹⁾Mean ± SD (n=4).

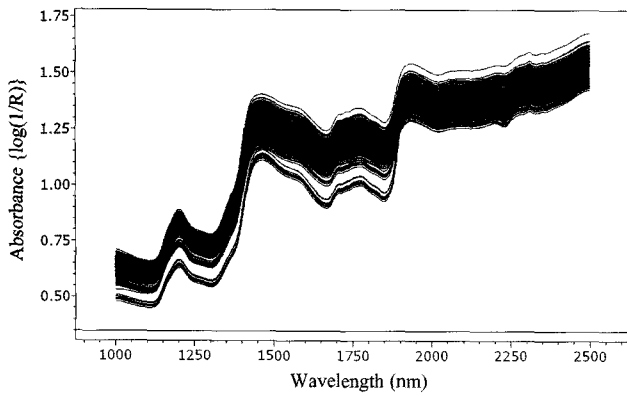


Fig. 1. Fourier transform-near infrared reflectance spectra* of brown rice (n = 517, 47 varieties). *measured on 3 times and expressed as a mean spectrum.

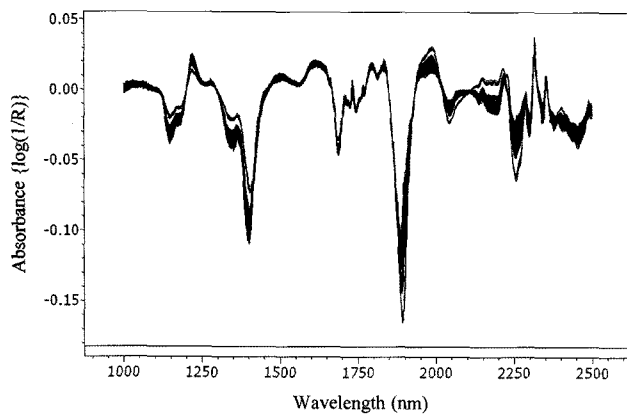


Fig. 2. Pre-treated* spectra of total dietary fiber content in brown rice (n = 512). *1st derivative, normalization and smoothing

raw spectrum은 시료에서 오는 다양한 원인에 의거하여 band의 겹침, base line의 변동(13) 등이 있으므로, 회귀분석 시 변수를 줄이고 안정된 검량식을 위해 스펙트럼을 1차 미분하고 측정 파장 영역에서 normalization 후, 9 point(18 nm) smoothing과 같은 수학적 처리를 병행하였다(Fig. 2). 전처리된 스펙트럼의 피크는 아래로 돌출될수록 흡광도가 강함(21)을 의미하는데 1,900 nm와 1,420 nm 부근에서 강한 흡광도를 나타내었고, 이는 수분과 전분을 많이 함유한 식품에서 보이는 전형적인 피크 양상으로 생각된다. 다당류의 신호대로 생각되는 2,100 nm에서도 비교적 강한 흡광대를 형성하였다. Kim(22)의 보고에 따르면, starch와 cellulose의 spectrum은 유사하며, cellulose의 peak는 1,450 nm 부근과 2,100 nm 부근에서 나타난다고 하였다. 또한 보리(23-25)의 경우,

β -D-glucan의 근적외선 흡수 영역은 단일 파장일 때, 2,264 nm 혹은 2,348 nm이며, 3파장을 선택할 때에는 2,260-2,380 nm 사이에 흡수 band가 존재한다고 보고한바 있다. 전처리된 본 spectra에서도 위의 보고들의 흡수 파장대에서 유사한 흡수 band들을 보이고 있다. 하지만, 기존의 보고들은 기기적 혹은 시스템적인 차이로 분석항목에 대한 파장을 선택해야 했었다. 또한 선택한 파장에서 반드시 2차 미분을 통해 측정 항목의 농도와 흡광도 간의 상호관계를 확인해야만 했다. 이러한 한정된 파장 선택은 정해진 파장 개수 내에서 최적의 조합을 해야 하고, 선택한 파장의 개수가 충분한 정보를 전달하기에는 부족하였다. 따라서 검량식의 정확도를 떨어뜨리게 되는데 파장 선택의 한계는 결국 예측 모델 개발 여부를 결정하게 된다(22). 또한, 기존의 보고들(22-25)의 경우처럼 파장 선택은 실험자간의 차이가 있었고, 이는 파장 선택에 따라 개발된 검량식의 정확도가 달라진다는 것을 의미한다. 따라서 특정 파장 몇 개만을 선택하여 작성된 검량식은 실제 적용에서의 오차를 야기할 수 있으므로, 본 실험에서와 같이 측정 파장 전체 영역에 대한 회귀식이 개발되어야 할 것으로 여겨진다.

Table 3에는 화학분석 값과 전처리한 spectra의 회귀분석에 대한 검량 및 검증 결과를 나타내었다. 회귀분석을 위해 측정된 spectra의 방향성을 부여하고 과도적합(overfitting)을 방지하는 factor가 primary factor의 경우 X-PRESS(predicted residual error sum square of spectra X)의 값이 최소화되는 factor 15개를 사용하였고, secondary factor는 1차 factor 범위 내에서 SEP값을 확인하면서 1-15개로 결정하였다. 그 결과 예측 모델의 전체적인 평가를 보여주는 Q-value(quality value)가 0.9484로 매우 높았고, 검량식의 SEE 0.0636, 상관계수 0.9780으로 개발된 검량식의 정확도가 우수하게 평가되었다. 예측 모델의 검증결과에서도 bias -0.0095, SEP 0.0642, 상관계수는 0.9692로 개발된 총 식이섬유 예측 모델이 현장 적용 가능성이 높게 인정되었다. Fredstrom 등(9)의 연구에서는 식이섬유의 흡수율을 NIRS를 이용하여 측정하였는데, SEE가 1.27, SEP는 1.83 및 R²이 0.99로 작성된 검량식이 높은 상관관계를 보였다. 또한, 섭취된 식이섬유원에 따른 유의적인 차이가 없기 때문에, NIR이 *in vivo* 상태에서 사람의 식이섬유 소화와 흡수에 관한 연구에는 응용이 가능하다고 보고하였다. 하지만 이들 역시 파장 선택에 의한 예측모델로 정확도를 높이고 적용 범위를 넓히기 위해서는 본 연구에서와 같은 전체 파장을 대상으로 한 예측모델이 개발되어야 할 것으로 생각된다.

Fig. 3은 현미의 TDF 함량에 대해 근적외선 예측 값과 표준 분석한 결과를 검량선으로 표현한 것으로, TDF 함량을 표준분석법과 NIR 예측 값과의 상관관계를 1차 함수 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 실제 분석 값과 예측 값이 측정될 범위 내에 균집을 잘 이루고 있음이 확인되었다. 또한 앞서 언급한 바와 같이, 각각의 상관계수가 높고 함수 기울기가 1에 가까우므로 예측 성능이 뛰어난 좋은 검량 및 검증 결과로 판단된다.

Table 3. Calibration and validation results of partial least square regression analysis for total dietary fiber content in brown rice

Item	Parameter	Calibration			Validation			Q-value ⁶⁾	
		n ¹⁾	r ²⁾	SEE ³⁾	n	r	SEP ⁴⁾		Bias ⁵⁾
Total dietary fiber		352	0.9780	0.0636	160	0.9692	0.0642	-0.0095	0.9484

¹⁾Number of calibration or validation spectra.

²⁾Regression coefficient.

³⁾Standard error of estimation.

⁴⁾Standard error of prediction.

⁵⁾Difference between reference and NIR values (predicted values).

⁶⁾Quality value.

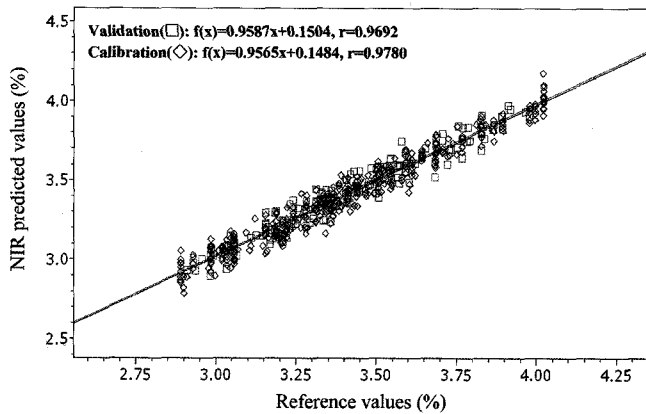


Fig. 3. Linear correlation between NIR predicted and enzymatic-gravimetric method for determining the content of total dietary fiber in brown rice. $n = 512$ (calibration set = 352, validation set = 160), $SEP = 0.0642$, $bias = -0.0095$ ($r =$ regression coefficient).

이상의 결과를 볼 때 현미 식이섬유 측정에 영향을 주로 미치는 특정 파장이 존재하기는 하나, 측정되는 NIR 전 영역에 대해서 영향을 받으므로, 그 함량을 결정하는 몇몇 파장대를 선택할 수밖에 없다면, 그 검량식의 오차는 커지게 된다. 또한 검량식 개발 과정이 복잡하고 적절한 프로그램을 제공할 소프트웨어가 구축되지 못했기 때문에 과거 방식의 한계로 생각한다. FT 방식으로 얻어진 spectrum은 종전의 방식에 비해 신호대 잡음비가 커 시료의 정보를 충분히 얻을 수 있으므로 검량식의 정확도가 높아진다. 그러므로 측정 파장 전체를 대상으로 적절한 PC 프로그램을 통해 회귀분석이 행해졌을 때, 개발된 예측 모델 오차의 폭을 최소화할 수 있을 것으로 생각된다. 더불어 이 예측 모델은 현미에 국한된 것이므로 백미나 다른 주요 곡류에 대한 연구가 더 수행된다면 분석이 복잡했던 식이섬유 정량을 손쉽게 빠르게 비파괴적으로 분석 가능할 것으로 기대된다.

요 약

분석이 번거로웠던 현미의 총 식이섬유(TDF) 함량을 신속하면서도 친환경적인 비파괴 분석방법인 FT-NIRS를 이용하여 예측 모델을 개발하였다. 현미는 국내산으로 전남 지방에서 재배된 47개 품종(516개 시료)에 대해서 AOAC 방법에 준한 효소법에 의해 각 측정 시료별 TDF 함량을 분석하였다. 습식 분석된 TDF 함량의 분석오차범위는 0.17-0.72% 이었다. FT-NIRS로 측정된 스펙트럼의 검량식은 빛의 산란 효과를 최소화하기 위해 수학적 처리를 하였고, 몇 개의 특정 파장이 아닌 전 파장 영역(1,000-2,500 nm)에 대해서 PLS법으로 작성하였다. 회귀분석과 검량식은 NIRCal chemometric software에 의해 작성되었다. 얻어진 검량식의 정확도는 상관계수(r), SEE 및 SEP로 확인하였다. 현미 중 총 식이섬유 함량에 대한 회귀분석을 행한 결과, 상관계수는 0.9780, SEE는 0.0636, SEP는 0.0642로 측정 정확도가 우수함으로 현상 적용을 위한 실용화도 가능할 것으로 판단된다.

문 헌

1. Lee KO. Rice consumption and market trends of instant rice. The Monthly Food World 6: 76-82 (2005)
2. Chae JC, Jung MS, Jun DK, Son YM. Relationship between

- yield and quality of rice varieties grown in reclaimed saline paddy field. Korean J. Crop Sci. 47: 259-262 (2002)
3. Choi JS, Ahn HH, Nam HJ. Comparison of nutritional composition in Korean rices. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 31: 885-892 (2002)
4. Sung CJ. Utilization and physiological activities of dietary fiber. Food Sci. Ind. 28: 2-23 (1995)
5. Harris SS. Health claims for foods in the international market. Food Technol. 46: 92-92 (1992)
6. Williams PC, Norris KH. Qualitative applications on near-infrared reflectance spectroscopy. Vol. 15, pp 241-243. In: Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. Williams P, Norris K (eds). AACC, St. Paul, MN, USA (1990)
7. Sato T. Application of principal-component analysis on near-infrared spectroscopic data of vegetable oils for their classification. J. Am. Oil Chem. Soc. 71: 293-298 (1994)
8. Kim YH, Kang CS, Lee YS. Quantification of tocopherol and tocotrienol content in rice bran by near infrared reflectance spectroscopy. Korean J. Crop Sci. 49: 211-215 (2004)
9. Fredstrom SB, Jung HG, Halgerson JL, Eyden CA, Slavin JL. Trial of near-infrared reflectance spectroscopy in a human fiber digestibility study. J. Agric. Food Chem. 42: 735-738 (1994)
10. Bae YM, Cho SI, Chun, JG. Measurement of fat content in potatochips by near-infrared spectroscopy. Korean J. Food Sci. Technol. 28: 916-921 (1996)
11. Han CS, Natsuga MY. Development of a constituent prediction model of domestic rice using near infrared reflectance analyzer (I)-Constituent prediction model of brown and milled rice. J. Korean Soc. Agric. Mech. 21: 198-210 (1996)
12. Moon SS, Lee KH, Cho RK. Application of near-infrared reflectance spectroscopy in quality evaluation of domestic rice. Korean J. Food Sci. Technol. 26: 718-725 (1994)
13. Cho SY, Choi, SG, Rhee C. Determination of degree of retrogradation of cooked rice by near-infrared reflectance spectroscopy. Korean J. Food Sci. Technol. 26: 579-584 (1994)
14. AOAC. Official Method of Analysis of AOAC Intl. 17th ed. Method 985.29. Association of Official Analytical Chemists International, Gaithersburg, MD, USA (2000)
15. Reeves JB. Discriminant analysis of selected food ingredients by near infrared diffuse reflectance spectroscopy. J. Near Infrared Spectrosc. 5: 209-221 (1997)
16. ASTM. Standard practices for infrared, multi-variate, quantitative analysis. Vol. 03.06, Doc. E1655-94. In: American Society of Testing and Materials Annual book of standards. ASTM, West Conshohochen, PA, USA (1995)
17. Chung HI, Kim HJ. Near-infrared spectroscopy: principles. Anal. Sci. Technol. 13: 1A-14A (2000)
18. Sohn MR, Cho RK. Possibility of nondestructive evaluation of pectin in apple fruit using near-infrared reflectance spectroscopy. J. Korean Soc. Hort. Sci. 41: 65-70 (2000)
19. Kim EH, Maeng YS, Woo SJ. Dietary fiber contents in some cereals and pulses. Korean J. Nutr. 26: 98-106 (1993)
20. Lee HJ, Byun SM, Kim HS. Studies on the dietary fiber of brown rice and milled rice. Korean J. Food Sci. Technol. 20: 576-584 (1988)
21. Cho HJ, Ha YL. Determination of honey quality by near infrared spectroscopy. Korean J. Food Sci. Technol. 34: 356-360 (2002)
22. Kim YB. Utilization on the near-infrared (NIR) for the chemical composition analysis of foods (I). Food Technol. 9: 24-37 (1996)
23. Czuchajowska Z, Szczodrak J, Pomeranz Y. Characterization and estimation of barley polysaccharides by near-infrared spectroscopy. I. Barleys, starches, and β -D-glucans. Cereal Chem. 69: 413-418 (1992)
24. Szczodrak J, Czuchajowska Z, Pomeranz Y. Characterization and estimation of barley polysaccharides by near-infrared spectroscopy. II. Estimation of total β -D-glucans. Cereal Chem. 69: 419-423 (1992b)
25. Kim BJ, Park EH, Suh HS. Use of near infrared reflection spectroscopy for determination of grain components in barley. Korean J. Crop Sci. 40: 716-722 (1995)