한작지(Korean J. Crop Sci.), 53(2): 217~223(2008)

근적외선 분광분석법을 이용한 벼 유전자원의 아밀로스 함량과 단백질 함량 정량분석

김정순*,*** · 조양희* · 곽재균* · 마경호* · 최유미* · 김정봉* · 이정희** · 김태산* · 조종구**** · 이석영*†

*농촌진흥청 농업생명공학연구원 유전자원과, **농촌진흥청 작물과학원 유전육종과,
***충남대학교 농업생명과학대학 농학과, ****FOSS Korea Ltd.

Quantitative Analysis of Amylose and Protein Content of Rice Germplasm in RDA-Genebank by Near Infrared Reflectance Spectroscopy

Jeong-Soon Kim*,***, Yang-Hee Cho*, Jae-Gyun Gwag*, Kyung-Ho Ma*, Yu-Mi Choi*, Jung-Bong Kim*, Jeong-Heui Lee**, Tae-San Kim*, Jong-Ku Cho****, and Sok-Young Lee*†

*Genetic Resources Division, National Institute of Agricultural Biotechnology, RDA, Suwon 441-707, Korea
**Genetics & Breeding Division, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-707, Korea
***Department of Agronomy, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea
****FOSS Korea Ltd., Seongnam, 463-828, Korea

ABSTRACT Amylose and protein contents are important traits determining the edible quality of rice, especially in East Asian countries. Near-Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) has become a powerful tool for rapid and non-destructive quantification of natural compounds in agricultural products. To test the practically of using NIRS for estimation of brown rice amylose and protein contents, the spectral reflectances (400~2500 nm) of total 9,483 accessions of rice germplasm in Rural development Administration (RDA) Genebank ere obtained and compared to chemically determined amylose and protein content. The protein content of tested 119 accessions ranged from 6.5 to 8.0% and 25 accessions exhibited protein contents between 8.5 to 9.5%. In case of amylose content, all tested accessions ranged from 18.1 to 21.7% and the grade from 18.1 to 19.9% includes most number of accessions as 152 and 4 accessions exhibited amylose content between 20.5 to 21.7%. The optimal performance calibration model could be obtained from original spectra of brown rice using MPLS (Modified Partial Least Squares) with the correlation coefficients (r^2) for amylose and protein content were 0.865 and 0.786, respectively. The standard errors of calibration (SEC) exhibited good statistic values: 2.078 and 0.442 for amylose and protein contents, respectively. All these results suggest that NIR spectroscopy may serve as reputable and rapid method for quantification of brown rice protein and amylose contents in large numbers of rice germplasm.

Keywords : NIR spectrum, protein, amylose, germplasm evaluation, MPLS

†Corresponding author: (Phone) +82-31-299-1821
(E-mail) lsy007@rda.go.kr <Received April 11, 2008>

국내에 세계 각국에서 수집한 유전자원 중 벼는 다양한 크기와 모양, 향미, 색깔 등의 외관적 특성과 전분, 단백질, 지방질 등 이화학적 특성에서 변이가 심하다고 보고되었다(Cho, 1992; Park *et al.*, 1993).

특히 식량자원 중 벼는 세계적으로 농업생산에 큰 영향을 주는 중요 작물이며, 이러한 벼의 품질을 결정하는 중요한 이화학적 특성으로 벼의 수분함량, 아밀로스(Juliano, 1985; Choi and Choi, 1979;), 전분 및 단백질 함량(Gomez, 1979; Choi *et al.*, 1997), 등이 있다(Chikubu *et al.*, 1985; Shibuya, 1990; Son *et al.*, 2002).

근적외선(700~2,500 nm)은 가시광선과 중적외선 사이의 파장으로 주로 적외선에서 유래되는 -CH, -NH, -OH 등의 작용기의 분자진동 에너지의 결합대(1,950~2,500 nm)와 배음대(700~1950 nm)로 나타나며 필요에 따라 특정파장대만 이용하기도 한다(Abrams *et al.*, 1987; Clarke *et al.*, 1992).

근적외선을 이용한 분광분석법은 식품, 의약품, 화학분야에서 정량 및 정성적 계측에 널리 이용되고 있는 방법으로 최근 농산물이 가지는 특성을 비파괴적으로 시료를 반복 사용할 수 있어 쌀의 식미와 같은 종합적 품질 평가에 적합하

다(Stephen *et al.*, 1996; Murray and Williams, 1987; Moon *et al.*, 1994; Song *et al.*, 2006; Kwon *et al.*, 2006).

최근 일본에서는 좋은 쌀 품종을 선발, 육종하기 위한 쌀의 식미를 평가하는 NIRS 분석용 프로그램을 이용한 자동화시스템의 개발 등 다양한 응용방법을 개발하고 있으며(Natsuga *et al.*, 1992; Kawamura *et al.*, 2002, 2003), 국내에서도 백미(Song *et al.*, 2006), 현미의 성분(Kwon *et al.*, 2006; Han *et al.*, 1998), 현미의 함수율(Kim *et al.*, 1998), 미강의 성분, 벼 생체엽(Kwon *et al.*, 2005), 강낭콩 종실의 특성(Lee *et al.*, 2001) 등 다양한 농작물에 대한 품질 평가 방법으로 근적외선 분광분석법(NIRS)을 이용한 분석 사례가 증가하고 있다.

따라서 본 시험은 농촌진흥청 국립농업유전자은행에 보존되고 있는 다양한 벼 유전자원의 활용을 촉진하기 위하여 유전자원에 대한 신속한 평가 및 선발체계를 구축하고자 근적외선 분광분석법을 이용하여 현미로부터 spectrum을 획득 후, 아밀로스 함량과 단백질함량의 측정을 위한 검량식 작성을 실시하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 실험에 사용한 벼 유전자원은 원산지를 바탕으로 선발한 156 자원이다.

156 자원에 대한 이화학적 특성분석을 통한 검량식 작성을 위해 10g씩 실험실용 현미기(쌍용, SY88-TH)로 탈영시켜서 사미, 피해립 등을 제거한 후, 현미상태로 NIR 스펙트럼을 작성 후, 동일한 샘플을 이화학 분석에 이용하였다. 이화학적 특성 분석용 샘플은 현미를 분쇄기로 90초 간 분쇄하여 100 Mesh의 채로 처서 균일한 현미가루를 이용하였으며, 아밀로스함량 및 단백질함량은 농촌진흥청 쌀 품질 및 식미평가서에 의거하여 조사하였다.

아밀로스함량 분석

아밀로스함량 분석은 Juliano(1971)의 비색 정량법에 따라 100 mg의 현미가루에 95% ethanol 1 ml와 1 N NaOH 9 ml를 가해 진탕항온수조에 10분간 호화시킨 후 20℃ 증류수로 100 ml을 채운 다음, 그 중 5 ml를 취해 1 N CH_3COOH (acetic acid) 1 ml와 2% I_2-KI (Iodine solution) 2 ml를 가해 증류수로 100 ml까지 채우고 30℃에서 20분간 발색 반응시켜 620 nm의 파장에서 UV/Vis분광광도계(Shimadzu, UV-2450)로 측정하였다.

단백질함량 분석

단백질함량은 micro Kjeldahl 질소정량법(Juliano, 1985)을 이용하여 다음과 같이 구하였다. 시료 500 mg을 500 ml Kjeldahl 분해병에 넣고 진한 황산(H_2SO_4) 20 ml을 가한 후 분해촉매제(Kjeltabs) 1 g을 넣고 400℃에서 2시간 동안 분해하였다. 실온에서 냉각 후 가스를 방출시키고 증류수를 300 ml 가하면서 분해병의 내벽을 세척 하고 45% NaOH 50 ml을 가하여 용액을 알칼리화 하여 Kjeldahl 증류장치로 75 ml까지 증류 한 후, 2% 붕산용액(H_3BO_4) 10 ml을 가하여 0.1 N H_2SO_4 표준용액으로 자동분석장치(FOSS, Kjeltec 2400)를 이용하여 질소함량(N)을 분석 후, 질소보정계수를 N×5.95(%)로 하여 단백질함량으로 환산하였다.

근적외선 스펙트럼 수집 및 검량식 작성

근적외선 분광분석기는 Foss NIRsystems사의 NIRsystem 6500(USA)을 사용하였으며 측정 조건은 Table 1과 같다.

분양받은 9,483 자원의 현미에 대한 NIR을 이용한 근적외선 스펙트럼을 측정하기 위해 하프컵에 현미를 채운 후 실온에서 400~2500 nm의 파장영역에서 4 nm간격으로 scanning 한 후 얻은 원시 spectrum을 standard normal variance와 detrend로 입도 차이에서 오는 산란을 보정 하였다.

원시 spectrum을 파일로 작성한 후 각 spectrum을 영역별 중첩에서 생기는 noise와 bias를 최소화하기 위해 1차미분(1st derivative)으로 spectrum을 가공하여 데이터 분석 및 아밀로스와 단백질에 대한 검량식을 작성하고 이를 9,483 자원의 현미에 적용하여 시료의 가상적인 아밀로스와 단백질 함량을 얻었다.

다음은 spectrum을 4가지 수처리방법(Math treatment method; 1, 4, 4, 1(1st derivative, 4 nm gap, 4 point smooth, and 1 point second smooth))으로 수처리된 spectrum은 회귀분석을 통해 검량식을 작성하였다. 회귀분석은 Step-up, Step-wise, 그리고 검량식 작성과 동시에 교차검증(cross validation)을 통하여 미지의 샘플에 대한 검증결과를 얻을 수 있는 Modified partial least squares(MPLS)법을 사용하여 검량식을 산

Table 1. The detection conditions of NIR spectra of the brown rice by Near Infrared Spectrophotometer (NIRsystem 6500, USA).

Range of wave length	400-2500 nm
Sampler cell type	Half cup seed holder
Detection mode	Reflectance
Instrument	Near Infrared Spectrophotometer

출하였다.

실험치(Lab data)와 NIR 데이터의 통계적인 모집단 분포의 해석과 그 상관관계에 관한 통계분석은 WINISI II software (Ver 1.50)를 사용하여 RSQ(R^2; squared coefficient of multiple determination in calibration), SEC(standard error of calibration), 그리고 SEP(standard error of prediction) 값을 분석하였다.

결과 및 고찰

Juliano(1985)와 Choi(1998) 등은 높은 아밀로스 함량은 취반시 흡수량이 많아 점도가 낮아지고 경도가 높아지며, 낮은 아밀로스 함량은 밥의 체적 증가가 낮고 부드럽고 점도가 있는 밥이 됨으로 아밀로스와 단백질함량은 벼 품종의 육종시 가장 중요시되는 이화학적 특성으로 특히 밥맛과 상관관계가 매우 높은 것으로 보고 하였다.

비파괴검사법 중 근적외선 분광법은 품질 평가의 시스템을 구성하기 쉽고, 분석시 숙련된 기술을 요하지 않으며, 결과의 해석이 용이할 뿐만 아니라 저비용으로 평가시스템을 구성할 수 있는 장점을 가지고 있다.

Lab data 작성을 위한 아밀로스 및 단백질함량 분석

9,483점의 벼 유전자원으로부터 선발된 156점의 현미로부터 단백질함량 및 아밀로스함량 범위를 Fig. 1에서 살펴보면 자원의 품종간 차이를 나타냄을 알 수 있다. 156 점의 선발자원이 가지는 단백질함량의 범위는 6.5~9.5%였으며, 평균 단백질함량이 8(±0.61)%인 것이 55점으로 전체의 38.2%를 차지하였다. 아밀로스함량의 범위는 18.1~21.7%였으며, 평균 아밀로스함량이 19.3(±0.52)%인 것이 91점으로 전체의 67.9%를 차지하였다.

NIR분석에 있어 객관적인 시료의 모집단을 구성하고 spectrum의 다양성을 설명하려면 많은 시료가 필요한데 각 그룹별로 작성한 검량식은 merge 기능을 이용하기 전에 작성한 것으로 품종별로 구별되는 현상이 나타나지만, 선발된 156점의 시료를 merge 기능을 이용하여 합병한 결과는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 비교적 정규분포에 가까운 양상을 나타내고 있으나, 쌀(Song *et al.*, 2006)과 강낭콩(Lee *et al.*, 2001; Kwon *et al.*, 2006)의 분석 결과에서도 이와 유사한 결과를 보고한 바 있다. 따라서 근적외선 분관분석기를 이용한 현미의 아밀로스함량 및 단백질 함량에 대한 검량식 작성에 사용될 샘플집단으로 무리가 없을 것으로 사료된다.

근적외선 spectrum 수집

Fig. 2(A)는 9,483점의 벼 유전자원에 대한 NIR 원시 spectrum을 나타낸 것으로 전체 spectrum의 양상은 Song *et al.* (2006)이 보고한 백미상태의 NIR 원시spectrum의 양상과 비슷하였으나, 400 nm에서 700 nm의 가시광선 범위에서 다소 차이를 보였다. 가시광선 범위는 chlorophyll과 같이 주로 색도와 연관된 영역으로 다양한 spectrum 양상을 나타내었다.

700 nm에서 2500 nm 사이의 근적외선 범위에서는 특정 파장대별로 큰 흡광도 차이를 나타내었다. 특정 파장 중, 1400 nm를 정점으로 가시광선범위 쪽으로 갈수록 흡광도의 증첨 현상이 보였고, 1450 nm이상의 범위에서는 spec-

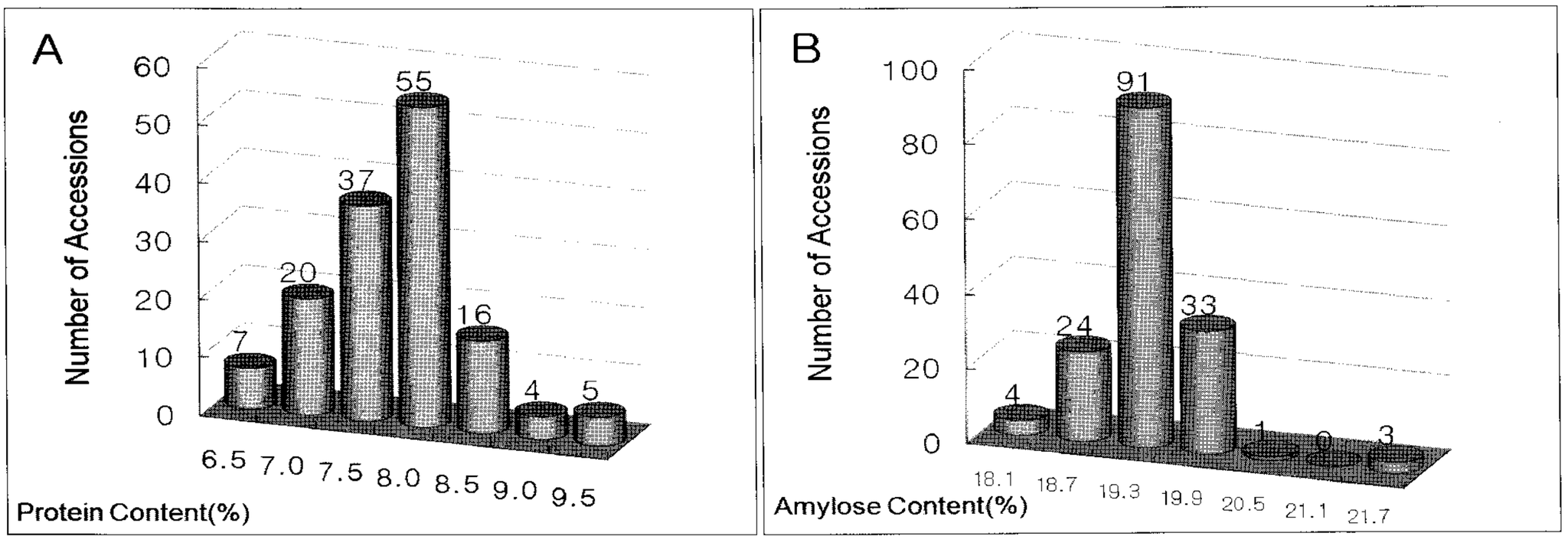

Fig. 1. The ranges of the protein (A) and the amylose content (B) of the brown rice which used to develop the calibration curve of NIR spectrum. The protein and the amylose content were calculated by Kjedhal method and Juliano method, respectively.

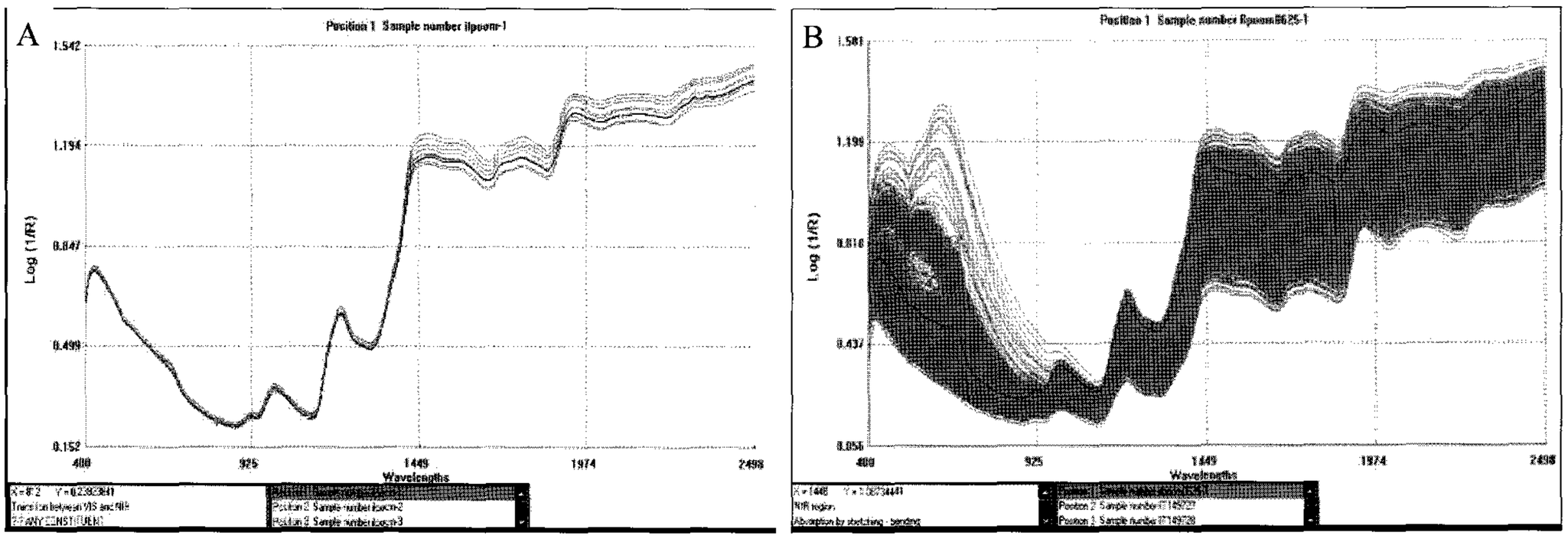

Fig. 2. The NIR spectrums of 10 replications of one brown rice accession(A) and 9,483 brown rice accessions(B) of by reflection method in RDA genebank.

trum이 포화되는 현상이 나타났다. 이는 근적외선 범위가 일반 화학성분의 변위보다도 입도 및 물성의 변위에 기인하는 기준선의 변동이 심하고 흡광도가 커질수록 다중산란현상에 의해 흡광도가 증가하기 때문인 것으로 벼(Moon *et al.*, 1994; Song *et al.*, 2006) 및 강낭콩 종실(Lee *et al.*, 2001)의 NIR분석결과가 보고되어 있다. 특히 Song *et al.*(2006) 등의 보고에 의하면 1460 nm 부근은 O-H 2차 배음대, 1570 nm 부근은 단백질과 관련된 N-H 영역 그리고 1780 nm 부근은 C-H기를 갖는 영역에서 차이를 나타낸다고 하였다. 본 실험에서도 유사한 spectrum의 양상을 관찰할 수 있었다. 이러한 결과들은 Abrams *et al.*(1987)과 Clarke *et al.*(1992)이 보고한 O-H, C-H, N-H, C=O등의 관능기는 다양한 화학결합을 나타내며 이를 응용함으로서 근적외선분광법을 이용한 수분, 단백질, 전분, 지방 등의 복수의 성분을 동시에 신속하게 측정할 수 있다고 하였다.

1차미분한 spectrum을 대상으로 WINISI II software(Ver 1.50)의 Score center-select 기능을 이용하여 주성분분석(Principal component analysis)을 수행한 후 center sample로부터의 각 시료간 거리(mehalanobis distance)를 구해 중복되는 샘플들을 순차적으로 제거하여 검량식에 사용한 156 자원의 sample spectrum으로부터 공간적 분포가 비교적 고르게 분포하도록 단백질 함량의 경우 144자원(Fig. 3, A)으로 아밀로스 함량의 경우 134자원(Fig. 3, B)으로 선발하여 검량식 작성에 사용 하였다.

NIR spectrum분석을 위한 검량식 작성

단백질함량(Fig. 4, B)과 아밀로스함량(Fig. 4, D)의 실험치(Lab data)와 NIR 데이터의 통계적인 모집단 분포의 해석과 그 상관관계에 관한 통계분석은 WINISI II software (Ver 1.50)를 사용하여, Step-up, Step-wise, 그리고 검량식

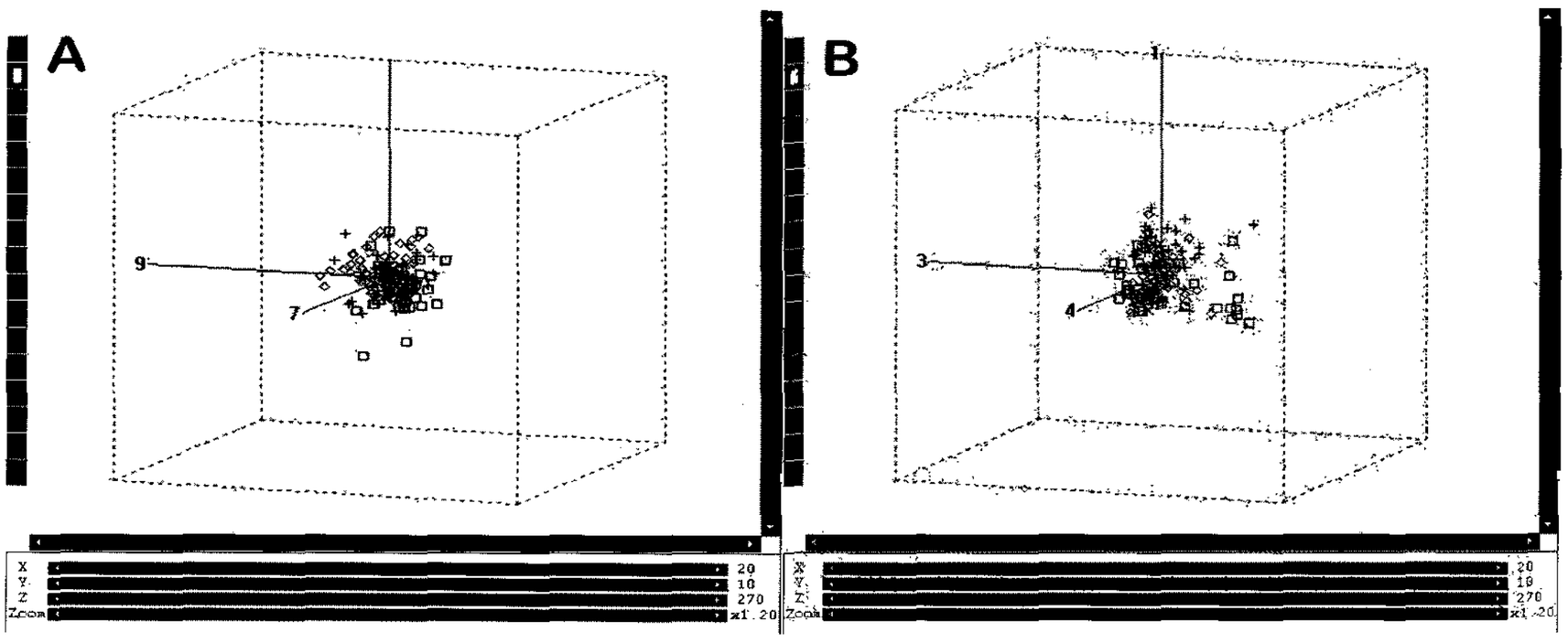

Fig. 3. Three dimensional display of 3 major principle component analysis of the protein content (A) and the amylose content (B) axis on 156 accessions of 9,483 accessions of rice in RDA Genebank.

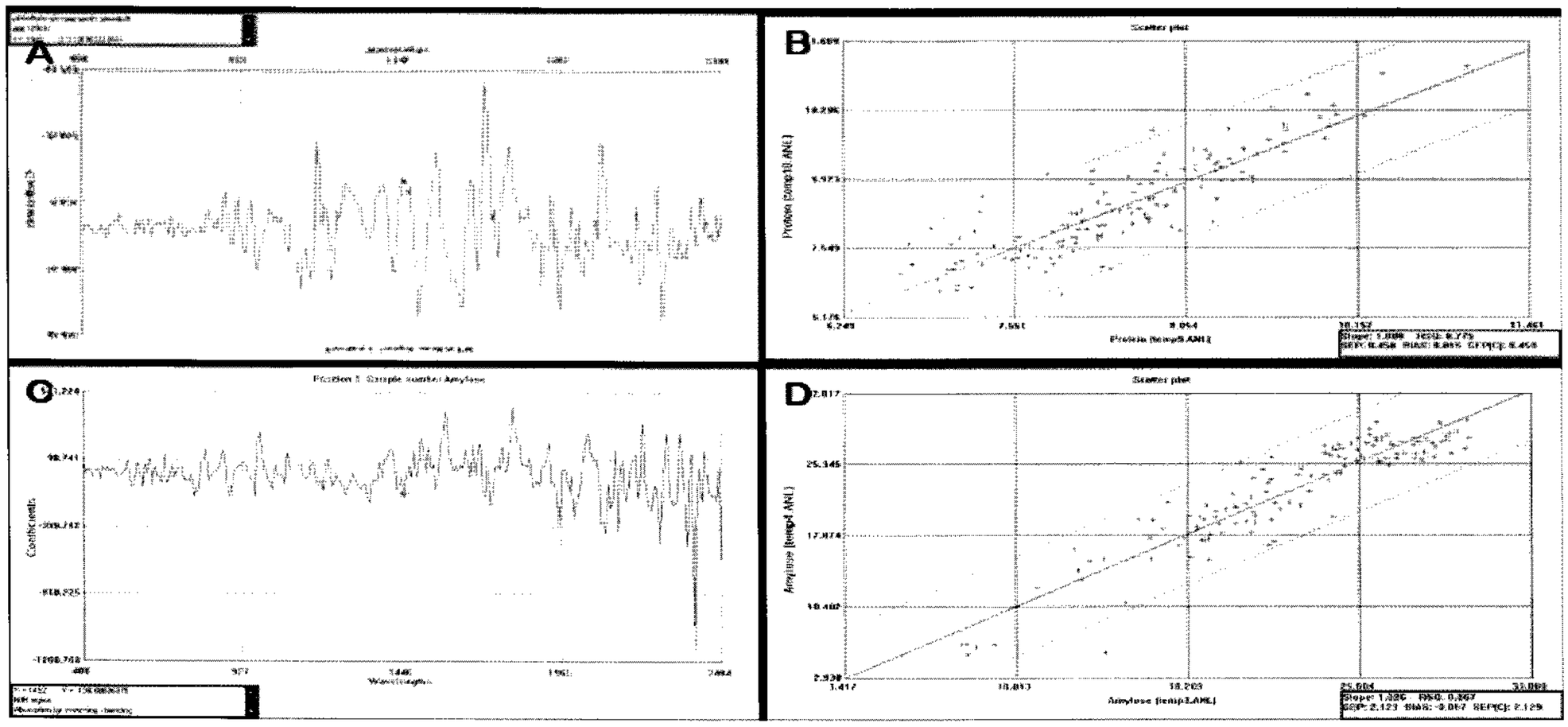

Fig. 4. First derivative absorbance spectra of protein (A) and amylose (C) content and correlation between NIR measurements and lab data for the protein (B) and the amylose (D) content which were calculated with 144 and 134 brown rice, respectively.

Table 2. Calibration and validation results for the protein and the amylose content of the brown rice. The calibration equations were developed from NIR spectra of brown rice measured in reflectance modes.

Constituent	N	Min	Max	Mean	RSQ	SEC	SECV	1-VR
Protein	144	5.52	11.25	8.39	0.786	0.442	0.541	0.680
Amylose	134	5.53	39.48	22.50	0.865	2.078	3.106	0.700

N, number of samples in calibration; RSQ (R^2), coefficient of determination in calibration ; SEC, standard error of calibration; SECV, standard error of cross-validation; 1-VR, 1-variance ratio.

작성과 동시에 교차검증(cross validation)을 통하여 미지의 샘플에 대한 검증결과를 얻을 수 있는 Modified partial least squares(MPLS)법에 의한 회귀분석 결과는 Table 2와 같았다.

Table 2에서 단백질 함량과 아밀로스함량의 상관관계 분석결과 단백질의 R^2(RSQ) 값은 0.786이었으며, 아밀로스함량의 R^2(RSQ) 값은 0.865로 양호한 검량식을 나타내었다. 검량식으로부터 얻은 단백질함량과 아밀로스함량은 각각 8.39(%)와 22.5(%)였으며 검량식을 구할 때 발생한 단백질 함량과 아밀로스함량의 검량식 표준오차(SEC)는 각각 0.442과 2.078로 매우 유의한 값을 나타내었다. 또한 작성된 검량식의 정확도를 검증(validation)하기 위하여 cross validation한 결과 검량식 검정 표준오차(SECV)는 단백질 함량이 0.541이며 아밀로스 함량은 3.106으로 매우 유의한 값을 나타내었고 검증시 상관정도(1-VR)는 단백질 함량이 0.68이며 아밀로스 함량이 0.70으로 검량식 작성시보다 다소 낮은 경향을 보였으나 현미의 단백질함량과 아밀로스함량을 근적외선분광분석기로 손쉽게 분석할 수 있는 가능성을 제시할 수 있었다. 이러한 결과는 Song *et al.*(2006)에 의한 백미의 식미치분석을 위한 근적외선분석결과에서도 나타났다.

다만 검량식 검증시 상관계수가 다소 낮아 범용적인 검량식으로 사용하기엔 다소 보안이 필요하지만 이러한 원인으로 현미 자체를 이용하여 근적외선스펙트럼을 획득하였기 때문에 벼 품종별 입도 및 샘플 충진 밀도 등의 차이로부터 기인된 근적외선 흡광장치의 차이에서 오는 영향과 검량식 작성에 사용된 샘플이 가지는 변이인자 등에 의한 영향이므로 향후 상호 상관성을 높일 수 있도록 실험 보완하면 근적외선스펙트럼을 이용하여 벼와 같은 대량의 유전자원을 화학적 특성을 평가하는데 충분히 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

본 시험은 종자은행이 보유하고 있는 다양한 벼 유전자원의 활용을 촉진하기 위하여 비파괴적인 분석방법의 하나인

근적외선 분광분석법을 이용한 유용유전자원의 대량 선발 체계 구축을 위해 실시하였다.

1. NIR스펙트럼은 700 nm 이하의 가시광선 범위에서 다양한 범위의 spectrum을 보였으며, 700 nm에서 2500 nm의 근적외선 파장에서도 spectrum의 차이가 크게 나타났고, 1400 nm에서 전체 spectrum의 정점을 나타냈으며 그 이상의 spectrum에서는 포화현상을 나타내었다

2. NIR 검량식 작성에 이용된 144점의 선발자원이 가지는 단백질함량의 범위는 6.5~9.5%였으며, 134점의 선발자원이 가지는 아밀로스함량의 범위는 18.1~21.7%이었다.

3. 단백질함량과 아밀로스함량의 실험치(Lab data)와 NIR 데이터의 모집단 분포의 해석과 상관관계에 관한 통계분석 결과, 단백질함량과 아밀로스함량의 R^2(RSQ) 값은 각각 0.786과 0.865로 높게 보였으며, 검량식 표준오차(SEC)는 각각 0.442와 2.078로 유의한 값을 보였고, 또한 검량식 검정 표준오차(SECV)도 각각 0.541과 3.106으로 유의한 값을 보였지만 검증시 상관정도(1-VR)는 0.68과 0.70로 검량식 작성시보다 낮은 유의성을 보였다

사 사

본 연구는 농촌진흥청 농업생명공학연구원의 2007년도 일몰형과제로 수행하였다.

인용문헌

Abrams, S. M., J. S. Shenk, M. O. Westerhaus, and F. E. Barton. 1987. Determination of forage quality by near infeared reflectance spectroscopy: Efficiency of broad based calibration quations. J. Diary Sci.. 70 : 806-813.

Chikubu, S., S. Watanabe, T. Sugimoto, N. Manabe, F. Sakai, and Y. Taniguchi. 1985. Relation between palatability evaluation of cooked rice and physicochemical properties of rice (part2) establishment of palatability estimation formula of rice by multiple regression analysis. J. of the Japanese Soc. of Starch Sci. 31(1) : 51-60 (in japanese).

Cho, S. Y. 1992. The staple food of rice and Health. Proceedings of the Rural Development Agricultural Conference. pp. 43-72.

Choi H. C., H. C. Hong, and B. H. Nahm. 1997. Physicochemical and Structural Characteristics of Grain Associated with Palatability in Japonica Rice. Korean J. Breeding. 29(1) : 15-27.

Choi, H. C. 1998. Current achievement and prospect of grain quality improvement in rice breeding. Proceedings of the Korean Society of Crop Science Conference. 1-10.

Choi, S. J. and B. Y. Choi. 1974. A study on rice quality-especially, the amylose content of rice. A thesis of graduate schools of Chungnam National University.

Clarke, M. A., E. R. Arias, and C. McDonald-Lewis. 1992. Near infra-red analysis in the sugarcane factory. Sugary Azucar. press. at Ruspam Commun. Inc. USA.

Gomez, K. A. 1979. Effect of environment on protein and amylose content of rice, chemical spects of rice grain quality. IRRI. 59-68.

Han, C. S., K. S. Yon, and J. R. Warashina. 1998. Development of a constituent prediction model of domestic rice using near infrared refelctance analyzer (II)-Prediction of brown and milled rice protein content and brown rice yield from undried paddy. J. Korean Soc. Agric. Machin. 23(3) : 253-258.

Heu, M. H., H. S. Suh, K. H. Kim, S. Z. Park, and H. P. Moon. 1976. The environmental variation of protein content, amylose content and akali digestibility of rice grain. Seoul Nat'l Univ., Coll. of Agric. Bulletin 1(1) : 21-37.

Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Sci. Today 16 : 334-340.

Juliano, B. O. 1985. Criteria and tests for rice grain qualities rice: Chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists. pp. 443-524.

Juliano, B. O. *et al.* 1979. Proceedings of the workshop on chemicla aspects od rice grain quality. pp. 69-90. IRRI. Los Banos.

Juliano, B. O., G. B. Cagampang, L. J. Cruz, and R.G. Santigo. 1964a. Some properties of rice in Southeast Asia Cereal Chem. 41 : 275-286.

Juliano, B. O., G. M. Bautista. J.C. Lugay. and A.C. Reyes. 1964b. Studies on the physicochemical properties of rice. jour. Agric. & Food Chem. 12 : 131-138.

Kawamura, S., M. Natsuga, K. Takekura, and K. Itoh. 2003. Development of an automatic rice-quality inspection system. Computers and Electronics in Agriculture. 40 : 115-126.

Kim, J. M., C. H. Choi, B. K. Min, and J. H. Kim. 1998. Development of prediction model for moisture and protein content of single kenel rice using spectroscopy. J. Korean Soc. Agric. Machin. 23(1) : 49-56.

Kim, Y. H., C. S. Kang, and Y. S. Lee. 2004. Quantification of tocopherol and tocotrienol content in rice bran by near infrared reflectance spectroscopy. Korean J. Crop Sci. 49(3) : 211-215.

Kwon, Y. R., M. H. Baek, D. C. Choi, J. S. Choi, and Y. G. Choi. 2005. Determination of calibration curve for total nitrogen contents analysis in fresh rice leaves using visible and near infrared spectroscopy. Korean J. Crop Sci. 50(6) : 394-399.

Kwon, Y. R., S. H. Cho, Y. E. Song, J. H. Lee, and C. H. Cho. 2006. Nondestructive measurement of chemical compositions in polished rice and brown rice using NIR spectra

of hulled rice acquired in transmittance and reflectance modes. Korean J. Crop Sci. 51(5) : 451-457.

Lee, B. Y. 1987. Studies on properties of high yield line Korean rice. Ph. D. Thesis : 100-110.

Lee, H. B., B. R. Choi, C. S. Kang, Y. H. Kim, and Y. J. Choi. 2001. Determination of seed protein and oil concentration in Kiddny bean by near infrared spectroscopic analysis. Korean J. Crop Sci. 46(3) : 248-252.

Moon, S. S., K. H. Lee, and R. K. Cho. 1994. Application of near infrared reflectance spectroscopy in quality evaluation of domestic rice. Korean J. Food Sci. Technol. 26(6) : 718-725.

Murray, I. and P. C. Williams, 1987. Chemicla principals of Near Infrared technology. Pages 17-34 in : Near Infrared technology in the agricultural and food industries. P. C. Wiliams and K. H. Norris, eds. American Association of Cereal Chemistries: st. Paul. MN.

Natsuga, M., S. Kawamura, and K. Itoh. 1992. Precision and accuracy of near-infrared reflectance spectroscopy in determining constituent content of grain. J. of the Japanese Soci. of Agri. Machinery. 54(6) : 89-64 (in Japanese with English abstract).

Okamoto M, T. Horono, and Ma Sakai. 1992. Relation of nitrogen content and Mg/K ratio of brown rice to stickiness of cooked rice. Japan J. Breed. 42 : 595-603.

Park, S. J., H. C. Choi, M. H. Hue, and H. J. Ko. 1993. Improvement of eating quality of rice and development of new materials. Special report of the Rural Development Agricultural. pp. 88-143.

Perez, C. M., and B. O. Juliano. 1979. Food Chem. 4.

Shibuya, N. 1990. Chemical structure of cell walls of rice grain and grain quality(in Japanese). Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi 37(9) : 740-748.

Son .J. R., J. H. Kim, J. I. Lee, Y. H. Youn, J. K. Kim, H. G. Hwang, and H. P. Moon. 2002. Trend and further research of rice quality evaluation. Korean J. Crop Sci. 47(5) : 33-54.

Song, Y. J., Y. E. Song, N. K. OH, Y. G. Choi, and K. C. Cho. 2006. Relationship between Near Infrared Reflectance Spectra and mechanical snesory score of commercial brand rice produced in Jeonbuk. Korean J. Crop Sci. 51(5) : 42-46.

Stephen, R. D., K. S. Mckenzie, and B. Webb. 1996. Quality characteristics in rice by Near Infrared Reflectance analysis of whole grain milled samples. Cereal Chem. 73(2) : 257-263.