

근적외선 분광특성을 이용한 포도의 당도판정

손재룡*, 이강진, 강석원, 최완규
농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부

Quality Evaluation of Sugar Contents for Grapes Using NIR Spectroscopy

Jaeryong Son*, Kangjin Lee, Sukwon Kang, Wankyu Choi

National Academy of Agricultural Science, RDA

Abstract

The mean sugar content of a whole bunch of grapes and the mean sugar content distribution pattern by parts were investigated in order to determine the NIR scanning area for evaluating grape sugar content. The coefficient of determination between the mean sugar content of 20 berries (10 berries from the upper part and 10 berries from the middle part) and the mean sugar content of the whole bunch of grapes was 0.9038 and, the mean sugar content of 20 berries was close to that of the whole bunch of grapes. Thus, if prediction model is made for the non-destructive grape sugar content by the NIR spectroscopy by acquiring each spectrum of the upper part and the middle part, this sugar content representing the that of whole bunch of grapes. The sugar content evaluation model was made by using the PLS regression. As a result of conducting the sugar content evaluation test on campbell early grapes grown in a vinyl house, the standard error of calibration(SEC) was 0.40 brix, and the sugar content predictive accuracy (SEP) was 0.48 brix. As a result of conducting the sugar content evaluation test on campbell early grapes grown in outdoors, the SEC was 0.51 brix, and the sugar content predictive accuracy (SEP) was 0.62 brix, which was a little higher than the grapes grown in the vinyl house. Meanwhile, in order to investigate the reproducibility of the measured sugar content data, the sugar content of the same sample was repeatedly measured 3 times. As a result, the coefficient of determination was 0.8685 and 0.8457, showing that the repetitive error was small. The mean standard deviation was 0.21 brix.

Key words: NIR, non-destructive, grape, sugar content

서 론

최근 한·칠레와 자유무역협정(FTA)이 체결되고, 앞으로 미국, 유럽, 중국, 일본 등과도 FTA 체결 가능성이 높아지고 있는 가운데 값싼 농산물이 수입될 것이 확실시 되고 있어 국내 농가는 크게 불안해하고 있는 것이 현실이다. 이를 극복하기 위해서는 우리 재배기술을 한 단계 진일보하여 국제 경쟁력을 높여야 할 것이다. 따라서 대량으로 유입되는 값싼 외국산 포도와 차별화를 위해서는 보다 안전하고 맛있는 포도의 보급이 무엇보다도 중요하다고 할 것이다. 하나의 예로서 맛과 관련된 항목이 포함된 설문조사 결과를 보면, “안전한 농산물” 26.6%, “비싸도 좋은 품질” 및 “좋은 당도와 맛”은 각각 19.9%와 15.8%로서 품질에 대한 기대치가 높은 것을 알 수 있었다. 또

한 “신선도” 13.4%, “소포장” 9.0%, “규격상품” 6.6%, “기타” 8.8%로 나타났다. 따라서 농산물의 품질인자 중 안전하고 신선한 것과 더불어 당도가 높은 맛있는 포도를 골라내는 기술은 소비자의 만족도 제고를 위해 필요한 기술이라고 볼 수 있다.

맛있는 과일을 찾는 소비자의 기대에 부응하고자 농산물의 비파괴 당도 품질판정에 관한 연구가 지속적으로 시도되었다. 근적외선 분광법을 이용한 초기의 연구 형태는 주로 오프라인 상태에서 정밀급 분광광도계를 이용하여 스펙트럼을 측정하여 판정하는 것이 대부분 이었다. 그 예로서 후지와 스타킹 두 품종의 사과에 대해 680~1,235 nm의 반사 스펙트럼 중 912와 866 nm의 2개 파장으로 중회귀 분석에 의한 당도판정이 가능함을 보고하였다(Ama et al., 1990). 또한, 복숭아의 당도판정을 위하여 반사 스펙트럼을 이용하여 다중회귀 모델을 개발하였으며, 시험결과 당도판정 정밀도는 0.5 brix(SEP)로 나타났다고 보고한 바 있으며(Kawano et al., 1992), 감귤에 대해서도 당도판정이 가능함을 보고하였다(Kawano et al., 1993). 이 후 기술의 발전으로 인하여 오프라인 상태의 연구에서 벗어나 온라인

Corresponding author: Jae-yong Son, Researcher, National Academy of Agricultural Science, Suwon-city, Gyeonggi-do 441-100, Republic of Korea.
Tel: +82-31-290-1901; Fax: +82-31-290-1900
E-mail: son1892@rda.go.kr

시스템으로 현장에 직접 적용 가능한 연구 개발이 진행되었다(Lee et al., 1998; Lammertyn et al., 2000; Golic et al., 2006). 이때부터 단순한 당도판정 기술연구에서 벗어나 비파괴 당도선별기의 개발로 진행되었다.

근적외선 분광으로 얻어진 스펙트럼은 아주 복잡하고 피크가 중첩되어 있어 유용한 정보를 얻기 위해서는 다양한 통계적 기법이 필요하다. 이를 위해 최근 당도판정을 위해서 사용되는 대표적인 회귀법으로서 PLSR(부분최소자승회귀법)을 들 수 있다. 이와 같이 당도판정을 위한 센서의 기술개발 진전과 더불어 당도판정을 위한 모델 개발이 동시에 발전함에 따라 비파괴 당도선별기술이 현장에 적용 가능한 수준이 되었으며, 현재 전국적으로 비파괴선별기가 많이 보급되어 있다. 그러나 대부분의 비파괴 당도선별기는 주로 사과, 배, 복숭아, 수박, 감귤, 참외 등에 적용되고 있으며, 포도의 경우 한 송이 내에 여러 개의 과실이 모여서 하나의 개체를 이루는 형상적인 특징 때문에 다른 과실에 비해 비파괴적으로 당도를 판정하기가 쉽지 않아 전 세계적으로 포도의 비파괴 당도판정기계는 아직까지 개발이 되어 있지 않은 실정이다.

이 연구에서는 포도 한 송이를 대표할 수 있는 비파괴 당도판정기술을 개발하기 위하여 수행되었다. 이를 위해 포도 한 송이를 대표할 수 있는 평균당도를 측정하는 방법과 이를 이용하여 근적외선 분광 획득 시스템의 요인을 설계하고, 개발된 당도판정 시스템으로 실제 포도의 당도를 판정하는 기법을 개발하여 판정 정밀도 시험을 실시하였다.

재료 및 방법

공시포도

근적외선 분광법에 의해 포도의 당도를 판정하기 위하여 사용된 공시포도는 경기도 화성시 송산면에서 재배된 송산포도를 이용하였으며, 하우스에서 재배된 포도('07년 8월 수확)와 노지에서 재배된 포도('07년 9월 수확)의 당도판정 정밀도를 각각 비교하였다.

시험에 사용된 포도 한 송이 전체에 포함된 알 수는 적게는 68 알, 많게는 92 알이었으며, 샘플링에 의한 한 송이의 평균당도를 추정함에 있어서 20 알을 이용할 경우 작은 포도는 전체포도에 대해 29%를 차지하고, 큰 포도는 22%의 샘플링으로 대표성 있는 당도를 측정할 수 있다.

당도판정시스템 요인설계

포도의 당도를 판정하기 위한 개념도는 Fig. 1과 같으며, 당도 판정을 위하여 근적외선 획득은 반사식을 채택하였다. 이는 투과식을 이용할 경우 송이가 딱 차 있지 않은 경우에는 누광이 발생되어 당도를 측정하기가 쉽지 않기 때문이다. 포도송이를 대표할 수 있는 평균당도의 측정이 가능하도록 근적외선 스캔 면적은 70x50 mm(길이x폭)로 선정

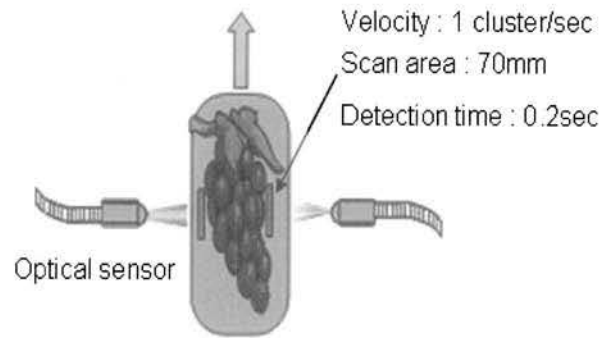


Fig. 1. Schematic diagram of sugar content detection

하였으며, 포도의 양쪽 면에서 근적외선 스펙트럼의 획득이 가능도록 양면반사 방식을 채택하였다. 반사 스펙트럼을 획득하기 위하여 동심원 형태의 광원장치와 그 안쪽에 반사 스펙트럼을 획득할 수 있는 센서로 구성된 일체형 광센서를 제작하였다. 본 연구에서 사용된 광 반사 프로브에 의해 포도 표면에 근적외선을 조사하면 약 15~25 개 정도의 포도 알에 대한 근적외선 반사 스펙트럼이 획득되도록 설계 제작되었다. 또한 포도의 이송속도는 1 개/초의 속도로 하였는데 이는 시간당 약 300 박스(5 kg/박스 기준)의 처리가 가능한 것이다.

당도판정모델

일반적으로 스펙트럼 데이터를 이용하여 당도 등의 성분 분석 혹은 측정을 위한 모델을 개발하는데 주로 이용되는 것으로서 다중선형회귀모델, 신경회로망, 주성분회귀모델 그리고 PLS(Partial Least Square)회귀모델 등이 있다. 이 중 본 연구에서는 근적외선 분광법에 의한 당도를 예측하는데 주로 많이 이용되고 안정적인 결과를 나타내는 PLS 회귀법을 이용하였으며, 모델 작성을 위해 Unscrambler 7.6(Camo., USA)의 PLS1을 이용하여 개발하였다. 개발된 당도판정모델의 예측 정밀도는 예측표준오차(SEC, Standard Error of Calibration)로 나타내었으며, 당도판정모델의 평가는 예측모델 작성에 사용되지 않은 미지시료의 예측 값과 디지털 굴절당도계의 실측값을 비교하여 검증한 검증표준오차(SEP, Standard Error of Prediction)를 구하여 평가하였다.

결과 및 고찰

포도 당도판정을 위한 스캔 면적 결정을 위한 포도의 당도 분포 특성

포도송이 전체의 평균당도와 부위별 평균당도 분포 특성
포도 한 송이 전체의 평균당도와 부위별 「상」, 「중」, 「하」 각각에 대해서 측정된 평균당도와의 관계를 조사하였다(Fig. 2). Fig. 3은 포도송이의 「상」, 「중」, 「하」

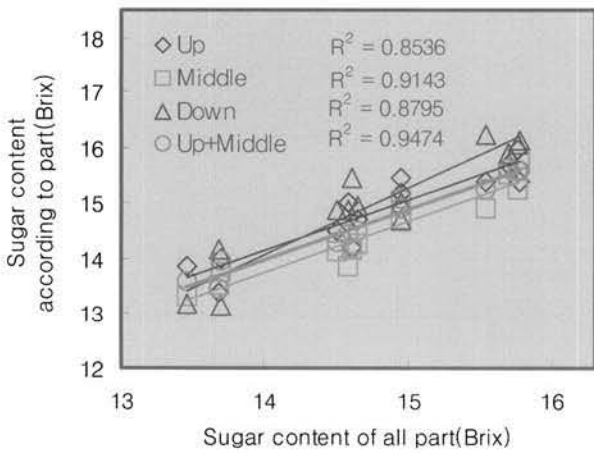


Fig. 2. Relationship between sugar content of all part and sugar content according to part

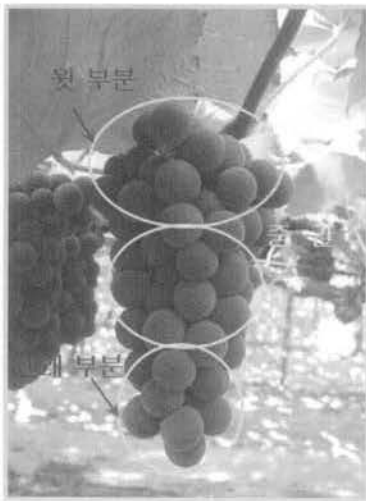


Fig. 3. Picture of grape

부위를 나타낸 그림이다. 한 송이 전체의 평균당도와 『상』 부에서 채취한 평균당도와의 상관관계(R^2)는 0.8536, 『중』 부와의 상관관계(R^2)는 0.9143, 『하』 부와의 상관관계(R^2)는 0.8795로 나타났다. 그러나 상대적으로 한 송이 전체와 『상+중』 부와의 상관관계(R^2)는 0.9474로 나타나 한 송이 전체를 대표할 수 있는 당도에 근접한 것으로 나타났다. 따라서 이를 이용하면 한 송이 전체 평균당도의 추정이 가능할 것으로 판단되었다.

포도송이 전체의 평균당도와 부위별 샘플링 평균당도 분포 특성 기존의 포도 당도측정은 『상』, 『중』, 『하』 부위별 각각 한 알씩 측정하여 평균한 값으로 대표당도를 추정하지만, 이럴 경우 Fig. 4와 같이 상관관계(R^2)가 0.4803으로서 매우 낮게 나타나 한 송이를 대표할 수 없는 것으로

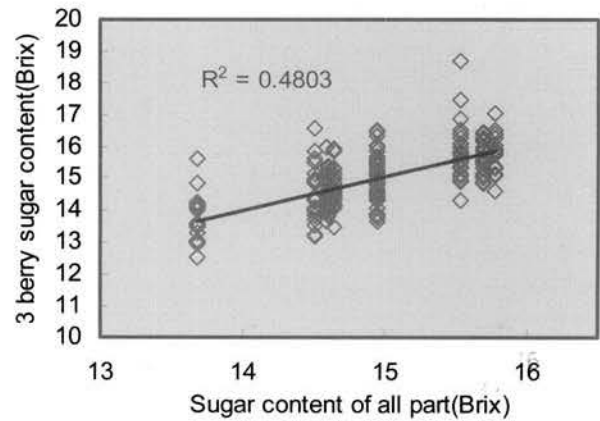


Fig. 4. Relationship between sugar content of all part and 3 berry sugar content

판단되었다. 즉 『상』, 『중』, 『하』 각 부위별 어떤 알을 채취해서 측정하느냐에 따라 한 송이의 평균당도 편차가 크게 나타나기 때문이다.

따라서 한 송이 전체 평균당도에 가장 근접하게 나타난 부위는 Fig. 2와 같이 『상+중』 부위 이었으며 이 중 몇 개의 포도 알을 채취하여 당도를 측정해야 한 송이 전체 당도와 근접하는지를 조사하였다. Fig. 5는 한 송이 전체 평균당도와 상+중부위를 10알(각각 5 알씩) 채취하여 측정 한 평균당도와의 관계를 나타낸 것으로서 결정계수 값(R^2)이 0.7214로 나타났으나 한 송이의 당도를 대표하기에는 어려움이 있었다. 그러나 Fig. 6은 한 송이 전체 평균당도와 『상+중』 부위의 20알(각각 10 알씩)을 채취하여 이 값과 한 송이 전체 평균당도와의 관계로서 결정계수 값이 0.9038로 나타났으며, 이는 한 송이의 평균당도에 근접하는 것으로 나타났다. 따라서 근적외선 분광법에 의해 포도의 비파괴 당도측정을 위해서는 상부와 중앙부의 스펙트럼을 획득하여 판정모형을 작성하면 포도송이를 대표할 수 있는

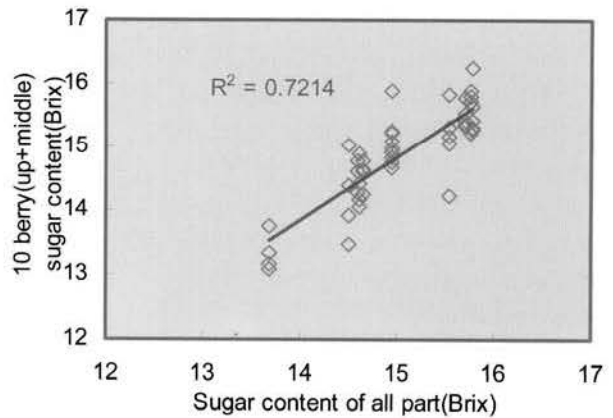


Fig. 5. Relationship between sugar content of all part and 10 berry(up+middle) sugar content

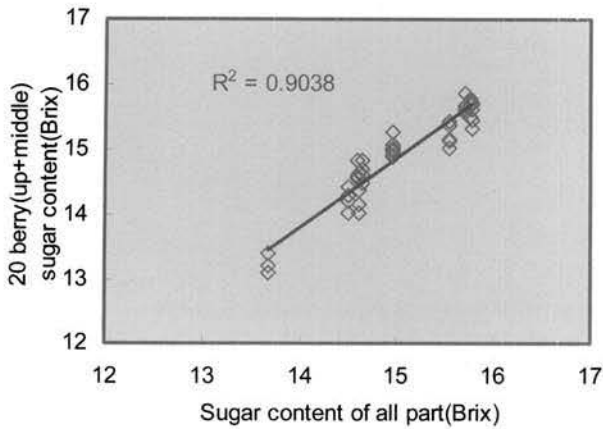


Fig. 6. Relationship between sugar content of all part and 20 berry(up+middle) sugar content

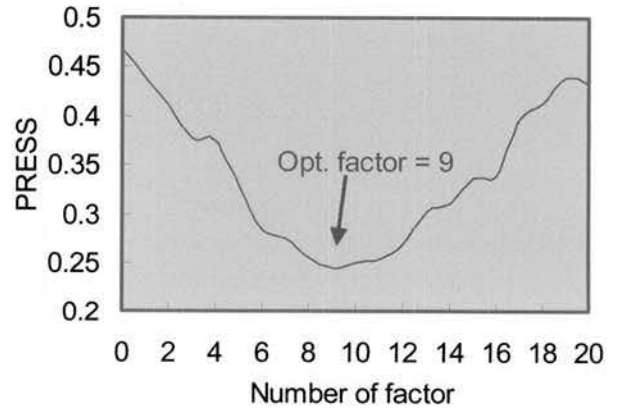


Fig. 7. PLS cumulative PRESS curve in developing sugar calibration model

당도의 비과과적인 예측이 가능할 것으로 판단되었다.

포도의 당도판정 결과

하우스 포도(캠벨얼리, 생산지 : 경기도 화성시 송산면)

캠벨얼리 포도를 대상으로 당도판정 시험을 하였으며, 당도판정을 위한 캘리브레이션 모델은 PLS 회귀법을 이용하였다. PLS를 이용하여 안정적이고 신뢰성 있는 당도 예측모델을 개발하기 위해서는 최적 팩터 수의 결정이 중요하다. 왜냐하면 팩터 수의 선택에 따라 개발된 예측모델의 오차가 크게 달라지기 때문이다. 가장 일반적으로 사용하는 방법은 최소 PRESS 값을 보이는 곳에서 팩터를 선정하는 방법으로 Fig. 7은 포도의 당도 예측 회귀모델을 개발한 경우의 PRESS 곡선이며, 이때의 최적 팩터 수는 9로 나타났다.

Fig. 8은 개발된 당도 예측 회귀모델을 이용하여 미지시료의 당도판정 결과를 나타낸 것이다. 시험시료의 당도분포는 14.0~16.5 brix 이었고, 검량식 작성에 사용된 시료 수는 115송이 이었으며, 미지시료의 검증은 45 송이를 이용하였다. 시험결과 교정오차(SEC)는 0.40 brix이였으며, 당도 예측정밀도(SEP)는 0.48 brix로 나타났다. 현재 국내에서는 비과과선별기에 대해서 성능 검증을 제도화 하고 있는데, 당도 측정정밀도의 검사기준이 수박을 제외한 과실 및 과채류는 SEP 값이 0.5 brix 이내이면 합격으로 규정하고 있다. 따라서 이 연구에서 나타난 포도의 당도측정정밀도(SEP) 0.48 brix는 현장에서의 실용 가능성이 있는 것으로 판단되었다.

노지 포도(캠벨얼리, 생산지 : 경기도 화성시 송산면)

Fig. 9는 노지에서 재배한 캠벨얼리를 대상으로 당도판정 시험한 결과이다. 검량식 작성을 위해 사용된 시료 수는

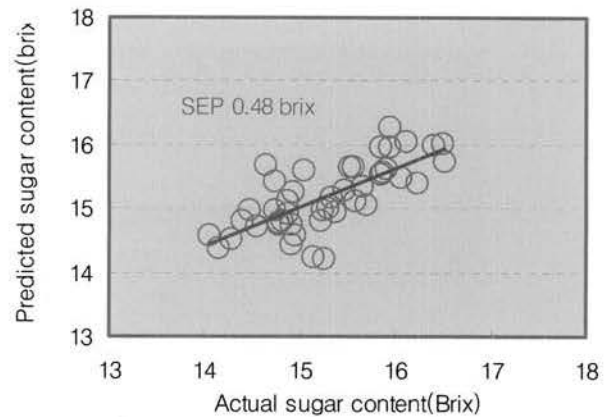


Fig. 8. Accuracy of predicted sugar content(SEP)

126 송이 이었고 당도 분포는 11.2~15.8 brix 이었으며, 미지시료의 검증을 위한 시료 수는 38 송이 이었다. 시험결과 교정오차(SEC)는 0.51 brix 이었으며, 예측정밀도(SEP)는 0.62 brix로서 하우스 포도에 비해 다소 높게 나타났다. 그러나 포도의 경우 사과, 배 등의 다른 과실과 달리 포도 한 송이를 이루는데 있어서 많은 낱알들이 조합되어 한 송이가 구성되는 특징이 있고, 또한, 각 낱알들의 당도편차가 하우스에서 재배된 포도에 비해 다소 커 예측정밀도가 하우스에서 재배된 포도에 비해 높게 나타난 것으로 판단되었다. 그러나 포도의 형상적인 특성, 즉 부위별 당도편차가 다소 큰 것을 고려하면 당도 예측정밀도(SEP) 0.62 brix는 충분히 실용성이 있는 것으로 판단되었다.

당도판정의 재현성

Fig. 10은 당도판정의 재현성 시험결과를 나타낸 것으로서 동일 시료를 3반복 측정 후 첫 번째로 측정된 당도 데이터에 대한 두 번째 및 세 번째 당도 데이터와의 상관관계를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 결정계수(R²)가 각각

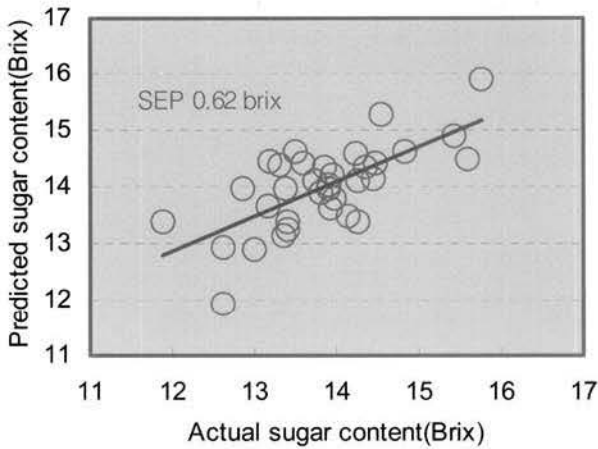


Fig. 9. Accuracy of predicted sugar content(SEP)

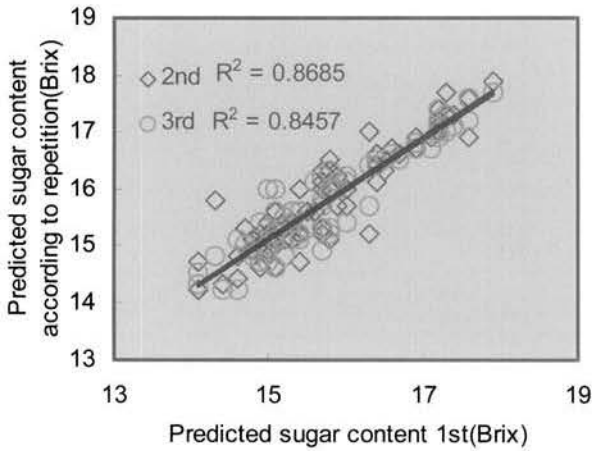


Fig. 10. Accuracy of repetition

0.8685, 0.8457로서 반복 간 오차가 크지 않은 것으로 나타났다. 반복 간 표준편차, 최대 및 최소 표준편차 등을 구하였으며, 평균 표준편차는 0.21 brix, 최대 표준편차는 0.76 brix, 최소 표준편차는 2.4×10^{-7} 으로서 반복간 오차는 양호한 것으로 나타났다. 동일한 시료의 3 반복 간 오차가 크지 않게 나타나 본 연구에서 측정된 당도판정의 재현성은 우수하였으며, 현장에서의 적용 가능성 또한 충분한 것으로 판단되었다.

요 약

본 연구에서는 포도의 비파괴 당도판정기술을 개발하기 위하여 수행하였으며, 포도의 당도판정에 최적인 시스템을 설계하기 위하여 요인을 구명하였고, 포도의 비파괴 당도판정 시험을 수행하였다.

포도의 당도판정을 위한 근적외선 스캔 면적 결정을 위

하여 포도송이 전체의 평균당도와 부위별 평균당도 분포 특성을 조사하였다. 한 송이 전체의 평균당도에 가장 근접한 부위별 평균당도는 『상+중』 부위 이었으며, 이때의 상관관계는 결정계수(R^2)가 0.9474이었다. 따라서 포도송이 전체의 평균당도에 근접하는 샘플링 개수를 선정하기 위하여 『상+중』 부위의 포도 알을 각각 10 알과 20 알을 채취하여 이때의 평균당도와 한 송이 전체의 평균당도와의 관계를 조사하였다. 10 알(각각 5 알씩)을 채취하여 측정된 평균당도와 한 송이 전체의 평균당도와의 관계는 결정계수(R^2) 값이 0.7214로 나타났으나, 20 알(각각 10 알씩)을 채취하여 측정된 평균당도와의 관계는 결정계수(R^2) 값이 0.9038로 나타나 한 송이 전체의 평균 당도에 근접하는 것으로 나타났다. 따라서 근적외선 분광법에 의해 포도의 비파괴 당도측정을 위해서는 상부 및 중앙부의 스펙트럼을 획득하여 판정모델을 작성하면 포도송이를 대표할 수 있는 당도의 측정이 가능할 것으로 판단되었다.

당도판정 모델은 PLS 회귀법을 이용하였다. 하우스에서 재배된 캠벨얼리 포도를 대상으로 당도판정 시험결과 교정 오차(SEC)는 0.40 brix이었으며, 당도 예측정밀도(SEP)는 0.48 brix로 나타났다. 노지에서 재배된 캠벨얼리 포도의 당도판정 시험결과 교정오차(SEC)는 0.51 brix 이었으며, 예측정밀도(SEP)는 0.62 brix로서 하우스 포도에 비해 다소 높게 나타났다. 그러나 포도의 특성상 부위별 각 난알들의 당도편차가 다소 큰 것을 고려하면 실용성이 있을 것으로 판단되었다. 한편, 측정된 당도데이터의 재현성을 조사하기 위하여 동일 시료를 3반복 측정 후 첫 번째로 측정된 당도 데이터에 대한 두 번째 및 세 번째의 당도 데이터와의 상관관계를 조사하였다. 결정계수가 각각 0.8685, 0.8457로서 반복간 오차가 크지 않은 것으로 나타났으며, 평균 표준편차는 0.21 brix, 최대 표준편차는 0.76 brix, 최소 표준편차는 2.4×10^{-7} 으로서 반복간 오차는 양호한 것으로 나타났다.

참고문헌

Ama T, Ueda E, Matsue H, Shiniki H, 1990. Determination of brix in intact apple by NIRS. Abstract of the 6th non-destructive measurement symposium. 98-102.
 Gplic M, Walsh KB. 2006. Robustness of calibration models based on near infrared spectroscopy for the in-line grading of stonefruit for total soluble solids content. *Analytica Chimica Acta*. 555(2):286-291.
 Kawano S, Watanabe H, Iwamoto M. 1992. Determination of sugar content on intact peaches by near infrared spectroscopy with fiber optis in interactance mode. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 61(2):445-451.
 Kawano S, Fujiwara T, Iwamoto M. 1993. Nondestructive determination of sugar content in satsma mandarin using near infrared(NIR) transmittance. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 62(2):465-470.
 Lammertyn J, Peirs A, Baerdemaeker JD, Nicolai B. 2000. Light

- penetration properties of NIR radiation in fruit with respect to non-destructive quality assessment. *Postharvest biology and technology*. 18:121-132.
- Lee K J, Hruschka WR, Abbott JA, Noh SH, Park BS. 1998. Predicting the soluble solids of apples by near infrared spectroscopy(I) -multiple linear regression models. *J. Korean Society for Agricultural Machinery*. 23(6):561-570.
- (접수 2008년 9월 11일, 수정 2008년 10월 30일, 채택 2008년 11월 3일)