

비색법에 의한 후지 사과의 전분 측정

조용진 · 전 원 · 길복임*

한국식품개발연구원, *안양대학교 식품영양학과

Determination of Starch in *Fuji* Apples by a Colorimetric Method

Yong-Jin Cho, Won Jun and Bogim Gil*

Korea Food Research Institute, Songnam 463-746, Korea

*Department of Food and Nutrition, Anyang University, Anyang 430-714, Korea

Abstract

Although starch is an important factor for evaluating apple quality, it has received little attention. Especially, the composition of starch in Korean apples has not been reported in detail yet. In this study, a calibration procedure to determine the total starch, amylose and amylopectin contents by a colorimetric method was developed. By using the colorimetric method, the total starch contents of *Fuji* apples were found 7.70 to 10.9 mg/g-dry wt., which corresponded to 0.167 to 0.193% based on the average weight of an apple. The amylose contents were 44.0 to 55.4% of the total starch contents. The starch content had a positive correlation with the moisture content while it had little relationships to soluble solids content and pH.

Key words: apple, starch, amylose, amylopectin, colorimetry

서 론

사과의 품질과 상태는 여러 가지 물리화학적 인자들에 의해 평가될 수 있으며, 흔히, 색택, 형상, 당도, 신선도, 결점 등의 관점에서 평가되고 있다(농림수산부, 농협중앙회, 1994; USDA, 1978).

그러나, 사과도 세포로 구성된 생명체의 일종이기 때문에 생육 중 성숙 단계에 있는 사과는 물론이고 수확 후에도 생리적 변화에 의해 품질과 상태가 계속 변하게 된다. 또한 사과의 품질과 상태는 하나의 물리화학적 인자에 의해 설명되기보다는 여러 가지 인자들에 의해 종합적으로 다루어져야 제대로 평가될 수 있다(Shewfelt와 Bruckner, 2000).

그 동안, 사과의 품질 및 상태에 관련된 인자들에 대해서 국내외에서 많은 연구가 수행되었다. 최근에는 사과의 신선도의 평가에 관한 연구가 활발히 이루어 지기도 하였다. 신선도에는 고분자의 결합 상태, 세포

벽의 물리화학적 구조, 세포의 팽압 및 크기, 조직의 공극, 세포의 배열 상태 등이 영향을 줄 수 있다(Aguilera와 Stanley, 1990; Jackman과 Stanley, 1995). 조와 황(1998)은 사과 수확 후 시간별 세포벽 물질의 함량, 세포벽의 표면 조직감, 밀도, 극한력, 극한변형량 등을 측정하고 인자상호간의 상관관계를 분석하였다.

그런데, 전분함량은 사과의 생육과 수확후 생리와 관련하여 매우 중요한 인자임에도 불구하고 일반적 현상에 대해서만 다루어지고 있는 형편이다. 즉, 전분은 사과가 성숙될수록 함량이 감소하고, 수확 후에도 저분자의 당으로 전환된다고 언급하고 있다(Seymour *et al.*, 1993). 이러한 현상에 따르면, 전분은 수확시기의 결정과 수확 후 저장관리에서 중요한 인자가 됨을 알 수 있다. 구체적으로 살펴보면, 저장 중의 사과가 동일한 전분을 함유하고 있더라도 수확 당시의 함량과 수확 이후의 함량 변화를 구분하여 고려해 볼 필요가 있음을 짐작할 수 있다.

또한, 사과 전분의 구성 물질에 대한 이해도 필요하다. Fan *et al.* (1995)은 사과의 전분이 아밀로오스와 아밀로펙틴으로 구성되어 있으며, 아밀로오스의 함량

Corresponding author: Yong-Jin Cho, Korea Food Research Institute, Songnam 463-746, Korea. Phone: +82-31-780-9136, E-mail: yjcho@kfri.re.kr

은 전체 전분의 37~60%이며, 사과가 성숙할수록 그 비율이 감소한다고 보고하였다. 특히, 그들은 관행적으로 사용하고 있는 요오드반응에 따른 전분지수(starch index)는 전체 전분함량보다는 아밀로오스 함량을 반영한 결과라고 하여 전분지수를 활용함에 있어 문제 점을 제기하였다.

우리 나라의 경우, 과실은 전분함량이 매우 적다고 하여 인자의 중요성을 과소평가한 측면이 있다. 더구나, 전분의 구성물질에 대한 이해가 매우 부족하여 아밀로펙틴의 존재에 대해서는 인식조차 하지 못하고 있는 경우도 있다.

따라서, 본 연구에서는 우리 나라의 대표적 사과 품종인 후지 사과에 대해서 생산지별로 총전분을 정량하고, 아밀로오스의 구성비를 분석하며, 수분함량, 당도, pH와의 상관관계를 살펴보고자 하였다.

재료 및 방법

사과

사과는 2000년산의 후지 품종으로서 칠곡, 예산 및 장호원에서 적기에 수확하여 실험에 사용하였다. 시료는 무작위로 선별된 칠곡산 21개, 예산산 50개, 장호원산 30개를 사용하였다.

총전분, 아밀로오스 및 아밀로펙틴 정량

총전분(S), 아밀로오스(AM) 및 아밀로펙틴(AP)은 Magel (1991), Fan *et al.* (1995)의 방법을 변형하여 사용하였다. 즉, 냉동건조된 사과로부터 알콜불용성당류(AIP)를 추출한 후, AIP를 18% HCl에 녹인 용액을 KI/I₂ (2:1)의 용액과 1:1로 염색하여 UV/VIS 분광광도계(Jasco V-550, Japan)를 이용하여 530 nm와 605 nm에서의 흡광도를 측정하였다. 한편, 아밀로오스와 아밀로펙틴(Sigma Chemical Co.)을 각각 0, 10, 25, 50, 75, 90, 100%의 구성비를 갖는 전분으로 혼합하여

10~100 µg/mL 농도의 표준전분을 530 nm와 605 nm에서의 흡광도를 측정하여 검정선을 얻었다. 검정선을 개발하기 위해 총전분함량과 아밀로오스 분율에 대해서 각각 4수준과 7수준을 가지는 2원 배치로 실험설계 하였다.

수분함량, 당도 및 pH 측정

사과의 수분함량은 약 2 g의 과육을 취하여 70°C의 오븐에서 20시간 건조한 후 수분의 무게를 습량기준의 %로 나타내었다. 당도는 과육을 균질기로 분쇄하고 miracloth로 불용성 고형분을 제거한 후 굴절당도계로 측정하였다. pH는 당도의 경우와 같은 방법으로 처리한 후 pH meter로 측정하였다.

결과 및 고찰

검정선의 개발

아밀로오스와 아밀로펙틴이 정해진 비율로 혼합된 총전분을 표준물질로 하여 530 nm와 605 nm에서의 흡광도를 분석하여 검정선을 개발하였다. 동일한 전분함량에 대해서 아밀로오스와 아밀로펙틴의 구성비가 다를 경우, 530 nm 및 605 nm에서의 흡광도가 다르게 나타나므로 검정선의 개발이 단순하게 이루어지지 않는다.

Table 1은 아밀로오스와 아밀로펙틴의 구성비(0~100%)가 다른 전분농도(10~100 µg/mL)에 대해서 530 nm 및 605 nm에서의 OD를 분산분석한 결과이다. 2원 배치의 실험설계에 따라 분산분석을 실시한 결과, 530 nm에서의 OD는 유의수준 0.001에서 총전분함량별로 유의하게 다른 결과를 보인 반면에, 아밀로오스 분율은 유의하게 다르지 않은 것으로 나타났다. 그리고 605 nm에서의 OD는 유의수준 0.001에서 총전분함량과 아밀로오스 분율 모두 유의하게 다른 것으로 나타났다.

Table 1. ANOVA for OD at 530 nm and 605 nm regarding starch concentration and amylose fraction

OD at 530 nm				
Class	Level	Degree of freedom	F value	Pr>F
Starch	10, 25, 50, 100 µg/mL	3	1878.15***	0.0001
Amylose fraction	0, 10, 25, 50, 75, 90, 100%	6	1.82	0.1521
OD at 605 nm				
Class	Level	Degree of freedom	F value	Pr>F
Starch	10, 25, 50, 100 µg/mL	3	157.95***	0.0001
Amylose fraction	0, 10, 25, 50, 75, 90, 100%	6	6.85***	0.0007

***Significantly different at 0.001 significant level

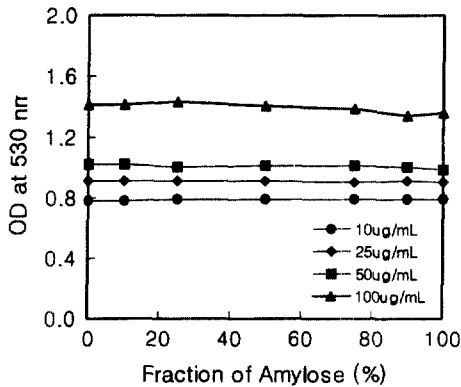


Fig. 1. Optical densities for different concentrations of starch with respect to fraction of amylose at 530 nm.

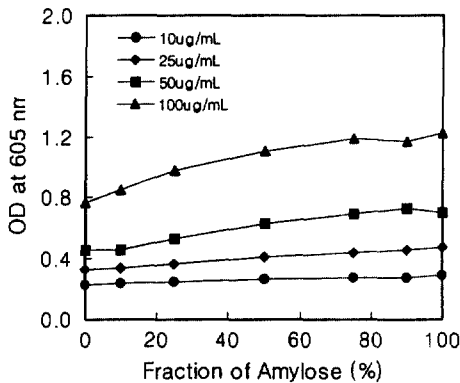


Fig. 2. Optical densities for different concentrations of starch with respect to fraction of amylose at 605 nm.

Fig. 1과 2는 각각 10~100 mg/mL의 전분 농도별로 아밀로오스 %분율에 대해서 530 nm와 605 nm에서의 O.D.를 나타낸 것으로서 Table 1에 나타난 통계적 분석결과를 그림으로 확인해 볼 수 있다. 즉, 530 nm에서의 OD를 이용하여 총전분함량을 측정할 수 있고, 605 nm에서의 OD를 이용하여 아밀로오스 분율을 측정할 수 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는, 위와 같은 분석결과를 바탕으로 하여 530 nm 및 605 nm에서의 OD를 이용하여 각각 식(1)의 총전분함량과 식(2)의 아밀로오스 분율을 평가하는 회귀모형을 개발하였다(Table 2).

$$S = -106.68 + 149.18 \text{ OD}_{530} \quad (10 \leq S \leq 100 \text{ } \mu\text{g/mL})$$

where S: total starch concentration ($\mu\text{g/mL}$)
 OD_{530} : optical density at 530 nm

$$\%A = a + b \cdot \text{OD}_{605}$$

where $a = -106.57 - 3227.8 \text{ S}^{-1}$
 $b = -28.927 + 18880 \text{ S}^{-1}$

Table 2. Regression analyses for the models of starch concentration and amylose fraction

Model	R ²	F value	Pr>F
Starch concentration	0.983	1544.05	0.0000
a in eq. (2)	0.967	58.30	0.0167
b in eq. (2)	0.997	604.05	0.0016

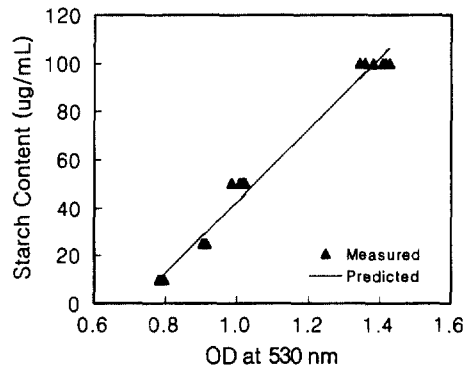


Fig. 3. Measured and predicted total starch concentrations using optical densities at 530 nm.

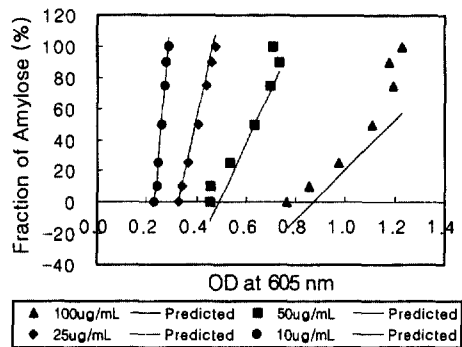


Fig. 4. Measured and predicted fractions of amylose using optical densities at 605 nm.

%A: amylose fraction (%)

S: total starch concentration ($\mu\text{g/mL}$) (2)

Fig. 3과 4는 총전분함량 및 아밀로오스 분율에 대한 실측치와 검정선에 의한 평가치를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이, 주어진 전분함량 범위 내에서 530 nm에서의 OD를 이용할 경우 총전분함량을 정확히 측정할 수 있음을 알 수 있다. 그러나, 605 nm에서의 OD를 이용하여 아밀로오스 분율을 측정하는 경우에는 총전분함량에 따라 정확도가 크게 차이가 나는 것을 알 수 있다. 즉, 총전분함량이 25 $\mu\text{g/mL}$ 이하의 농도 범위에서 아밀로오스 분율을 정확히 평가

할 수 있는 것으로 나타났으나, 그 농도가 100 µg/mL에서는 오차가 큰 것으로 나타났다. 결국, 식(2)는 총 전분함량에 따라 제한적으로 사용되어야 함을 알 수 있었다.

한편, 본 연구의 방법을 후지 사과에 적용한 결과, 후지 사과의 총전분함량이 평균 27.64 µg/mL, 표준편차 4.23 µg/mL로 측정되어 식(1)과 식(2)는 후지 사과의 총전분함량과 아밀로오스 분율을 측정하는 데 사용될 수 있는 것으로 평가되었다.

후지 사과의 전분함량 및 아밀로오스 구성비

Table 3은 후지 사과의 총전분, 아밀로오스 및 아밀로펙틴 함량을 나타낸 것이다. 일반적으로 사과의 전분은 성숙과 함께 급격하게 감소하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에 사용된 사과의 경우, 총전분함량은 사과 중량 대비 0.167~0.193%로 측정되었다. 이 함량은 사과의 건물중 대비로 환산하면 7.70~10.9 mg/g-dry

wt.에 해당하며, Suni *et al.* (2000)이 보고한 후지 사과의 평균 전분함량 20 mg/g-dry wt.와 유사한 값으로 파악되었다.

또한, Table 3에서 아밀로오스 함량과 아밀로펙틴 함량을 살펴보면, 사과 중량 대비 각각 0.077~0.107%와 0.086~0.098%로 나타났다. 이러한 아밀로오스 함량을 총전분 대비의 백분율로 환산하면, 총전분의 44.0~55.4%에 해당하는 양이다. Fan *et al.* (1995)은 후지 사과의 전분 중 37~60%가 아밀로오스로 구성되어 있으며, 성숙될수록 아밀로오스 구성비가 감소한다고 보고한 바 있다. 따라서, 두 연구의 결과는 유사함을 알 수 있다.

전분, 아밀로오스, 수분, 당도 및 pH의 상관

Table 4는 후지 사과의 여러 가지 물리화학적 인자들의 상관관계를 나타낸 것이다. 총전분함량은 아밀로오스와 아밀로펙틴과 높은 정의 상관을 보였고, 수분

Table 3. Starch contents and other chemical properties of Fuji apples

Property	Production site			Total
	Chilgok	Yesan	Janghowon	
Starch (%) (mg/g-dry wt)	0.175 ± 0.030 (10.9)	0.167 ± 0.035 (7.70)	0.193 ± 0.054 (10.3)	0.176 ± 0.042 (9.6)
Amylose (%)	0.077 ± 0.012	0.079 ± 0.017	0.107 ± 0.031	0.087 ± 0.025
Amylopectin (%)	0.098 ± 0.024	0.088 ± 0.021	0.086 ± 0.025	0.090 ± 0.023
Weight (g)	265 ± 51	306 ± 39	273 ± 36	287 ± 44
moisture content (%)	83.9 ± 1.1	83.6 ± 1.5	78.3 ± 5.5	82.1 ± 4.0
Soluble solids (Brix)	14.4 ± 0.6	15.3 ± 1.0	14.4 ± 1.0	14.8 ± 1.0
pH	3.66 ± 0.12	3.78 ± 0.09	3.81 ± 0.07	3.77 ± 0.11

Notes: 1) All the % contents are based on the weight of an apple.

2) All the values are designated with mean ± standard deviation.

Table 4. The correlation among various physicochemical properties of Fuji apples

	Starch	Amylose	Amylopectin	Weight	Moisture content	Soluble solids content	pH
Starch	1						
Amylose	0.883 (0.0001)	1					
Amylopectin	0.859 (0.0001)	0.519 (0.0001)	1				
Weight	-0.087 (0.3822)	-0.076 (0.4470)	-0.077 (0.4436)	1			
Moisture content	-0.682 (0.0001)	-0.836 (0.0001)	-0.332 (0.0007)	0.032 (0.7435)	1		
Soluble solids content	0.146 (0.1441)	0.039 (0.6926)	0.223 (0.0247)	0.257 (0.0093)	-0.061 (0.539)	1	
pH	-0.195 (0.0502)	0.019 (0.8504)	-0.376 (0.0001)	0.215 (0.0305)	-0.182 (0.0675)	-0.243 (0.0143)	1

Notes: The values in parentheses are the significance probabilities.

함량과는 부의 상관을 보였다. 아밀로오스 함량도 수분함량과 높은 부의 상관을 보였다. 그런데 당도와 pH와는 특이한 상관을 보이지 않아 흔히 사과가 성숙할수록 전분함량은 감소하고 당도는 증가한다는 경향을 보이지 않았다. 이러한 결과는 사과의 수확 및 저장관리를 보다 합리적으로 하기 위해서는 전분도 독립적으로 관심을 가져야 함을 시사한다고 볼 수 있다. 외국의 경우는 이미 전분지수를 이용하여 수확 및 저장관리에 활용하고 있으나 전분지수가 전분함량을 제대로 나타낼 수 없다는 문제점을 제기한 바 있다(Fan *et al.*, 1995). 한편, 후지 사과의 아밀로펙틴 함량은 당도와는 다소 높은 정의 상관을 보였고, pH와는 부의 상관을 보였다.

과실은 성숙될수록 당도는 증가하고 산도는 감소한다는 일반적 현상을 반영하여 당/산 비를 과실의 품질 관리에 활용하던 관행을 극복할 필요성이 있음을 최근 제기한 사례가 있다. Jordan *et al.* (2001)은 과거의 당/산 비가 과실의 품질을 제대로 평가하기 어렵다고 하여 산도에 가중치를 부여하여 당도와 산도의 관계를 표시하는 새로운 지수를 제안하고 있다.

본 연구를 통해서도 알 수 있듯이 사과의 수확 및 저장관리를 위한 합리적 품질관리는 다양한 품질인자가 종합적으로 다루어져야 한다고 생각한다.

요 약

현재까지 국내산 사과의 품질을 평가함에 있어 제한된 품질인자들만이 다루어져 왔다. 전분은 사과의 생육 또는 생리적 특성에 미치는 영향이 매우 큼에도 불구하고 그 동안 소홀히 다루어졌다. 특히, 국내 사과에 대한 전분의 구성성분에 관한 정보는 거의 없는 형편이다.

본 연구에서는 사과와 같이 전분을 소량 함유하고 있는 물질에 대해서 비색법으로 전분함량과 전분의 구성성분을 분석할 수 있는 방법을 탐색하여 검정선을 개발한 후 국내산 후지 사과에 적용하여 보았다. 칠곡, 예산, 장호원에서 생산된 후지 사과의 전분함량은

사과 중량 대비 0.167~0.193%로 측정되었고, 건물중 대비로 환산하면 7.70~10.9 mg/g-dry wt.로 나타났다. 또한, 아밀로오스 함량은 총전분 대비의 백분율로 환산하였을 때 총전분의 44.0~55.4%에 해당하는 것으로 평가되었다. 한편, 전분함량은 수분함량과는 높은 부의 상관을 보였으나, 당도 및 pH와는 고도의 상관은 보이지 않았다.

문 헌

- 농림수산부, 농협중앙회. 1994. 농산물 표준출하 규격집 II. 서울.
- 조용진, 황재관. 1998. 사과 및 토마토의 신선도 평가를 위한 물리화학적 인자 탐색. *한국농업기계학회지* **23**(5): 473-480
- Aguilera, J.M. and D.W. Stanley. 1990. *Microstructural Principles of Food Processing and Engineering*. Elsevier Applied Science, London. pp. 87-129
- Fan, X., J.P. Mattheis, M.E. Patterson and J.K. Fellman. 1995. Changes in amylose and total starch content in 'Fuji' apples during maturation. *Hort. Science* **30**(1): 104-105.
- Jackman, R.L. and D.W. Stanley. 1995. Perspectives in the textural evaluation of plant foods. *Trends in Food Science and Technology* **6**: 187-194.
- Jordan, R.B., R.J. Seelye and V.A. McGlone. 2001. A Sensory-based alternative to brix/acid ratio. *Food Technology* **55**(6): 36-44.
- Magel, E. 1991. Qualitative and quantitative determination of starch by a colorimetric method. *Starch* **43**(10): 384-387.
- Seymour, G.B., J.E. Taylor and G.A. Tucker (eds.). 1993. *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman & Hall, London. pp. 17-24.
- Shewfelt, R.L. and B. Bruckner. 2000. *Fruit and Vegetable Quality*. Lancaster, USA.
- Suni, M., M. Nyman, N.A. Eriksson, L. Bjork and I. Bjorck. 2000. Carbohydrate composition and content of organic acids in fresh and stored apples. *J. of Science of Food and Agriculture* **80**(10): 1538-1544.
- USDA. 1978. Market Inspection Instruction: Apples. USDA AMS Fruit and Vegetable Division, Washington, DC.