

신속한 사과 전분 정량을 위한 영상 분석용 전분지수

길복임¹ · 조용진*

¹안양대학교 식품영양학과, 한국식품연구원

Starch Index Derived from Stained Images for Rapid Quantification of Starch in Apples

Bogim Gil¹ and Yong-Jin Cho*

¹Department of Food and Nutrition, Anyang University
Korea Food Research Institute

Abstract

Starch content in apples is one of important quality parameters to evaluate their maturity or ripeness. This study aimed to develop a rapid and simple method for the quantification of starch content by means of computer vision. In advance, three types, or type I, type II and type III, of starch indices to indicate starch content in apples stained with KI/I₂ solution were proposed. When the proposed starch indices were correlated with total starch content and amylose content, the type I of starch index indicated total starch content of three types of starch indices. The type I index was defined as the ratio of the area with pure blue to the total area in an Hue-Lightness-Saturation (HLS) image for apple stained with KI/I₂. When the total starch content was particularly expressed on a dry basis, the highest correlation coefficient (0.811) was observed.

Key words: starch index, image, rapid quantification, apple

서 론

농산물에 대한 *in-situ* 신속측정기술은 재배 단계에서 뿐만 아니라 수확 후 관리 단계에서도 핵심요소기술로 요구되고 있다. 특히, IT(정보기술)가 농업기술과 접목하여 새로운 융합기술로 등장하고 있는 오늘날에는 더욱 중요한 위치를 차지하고 있다.

사과의 전분 함량은 성숙도(maturity) 또는 숙성도(ripeness)와 관련된 주요 지표 중의 하나이다. 사과가 생장하는 동안 생합성에 의해 다량의 전분이 축적되며, 성숙과 숙성이 진전됨에 따라 고분자인 전분은 과당과 포도당을 비롯하여 여러 가지 저분자 당으로 전환되어 사과의 단맛이 향상된다(Seymour et al., 1993). 사과의 전분 함량을 평가하게 되면 다른 품질 인자를 간접적으로 평가할 수 있을 뿐만 아니라 수확 후 저장이나 유통 관리를 위해 매우 유익하게 활용할 수 있다(Cho & Hwang, 1998; Cho et

al., 2001a). 그럼에도 불구하고 사과 생산 현장에서 사과의 전분을 신속하고 간단하게 정량하는 작업은 쉬운 일이 아니다. 현재, 사과의 품질을 평가하기 위해 주로 사용되고 있는 품질 인자는 색택, 형상, 당도, 신선도, 결점 등이 있다. 여기서 당도를 제외한 다른 품질 인자들은 아직 주관적인 평가에 의존하는 정성적 지표에 불과한 실정이다(USDA, 2010).

사과는 생육 중 성숙 단계에서 생화학적 반응에 의해 이화학적 특성이 계속 변하는 것은 물론이고 수확 이후에도 그 특성이 변하게 되므로 사과의 품질과 관련된 인자를 필요한 시기에 신속하게 측정하는 기술은 매우 중요하다. 사과의 품질을 평가하기 위해 다양한 연구들이 시도되었다. Knee et al.(1989)은 사과 수확후 장기저장을 위해 성숙도와 숙성도를 효율적으로 신속하게 평가하기 위한 지표(indicator)를 개발하고자 하였다. Cho & Hwang(1998)은 사과 수확 후 세포벽 물질의 함량, 세포벽의 표면 조직감, 밀도, 극한력, 극한변형량 등을 측정하여 인자 상호 간의 상관관을 분석하였다. Zerbini et al.(1999)은 사과의 성숙도를 평가할 수 있는 여러 가지 인자들과 관능평가와의 관계를 비교 하였다.

사과의 다양한 품질 인자 중에서 전분은 특히 사과의 생육과 수확 후 생리와 관련하여 매우 중요한 품질 인자이다.

*Corresponding author: Yong-Jin Cho, Head, Food Nano-Biotechnology Research Center, Korea Food Research Institute, Seongnam 463-746, Korea

Tel: +82-31-780-9136; Fax: +82-31-780-9257

E-mail: yjcho@kfri.re.kr

Received January 17, 2012; revised February 3, 2012; accepted February 3 2012

사과의 전분 함량은 수확 시기를 결정함에 있어 주요 판단 기준으로 활용될 수 있으며, 수확 후 저장 관리에서도 전분 함량의 변화를 살펴 볼 필요가 있기 때문이다.

Fan et al.(1995)은 요오드 반응에 따른 염색도를 바탕으로 사과 전분의 구성 물질과 함량을 분석하여 보고한 바 있는데, 사과의 전분은 아밀로오스와 아밀로펙틴으로 구성되어 있다고 하였다. 아밀로오스의 함량은 전체 전분의 37-60%이며, 사과가 성숙할수록 아밀로오스의 비율이 감소한다고 보고하였다. 여기서 요오드 반응에 따른 염색도는 아밀로오스 함량에 의해 영향을 크게 받아 전체 전분 함량을 평가하기에는 적합하지 않다고 지적하였다. Cho et al.(2001b)은 비색법을 이용하여 후지 사과의 전분을 분석하여 보고하였다. 이 연구에서는 사과로부터 알코올 불용성 다당류(alcohol-insoluble polysaccharide, AIP)를 추출하고 AIP를 HCl에 녹인 용액을 KI/I₂(2:1)의 용액과 1:1로 염색한 후 흡광도를 측정하는 방법으로 사과의 전분 함량을 측정할 때, 후지 사과의 전분 함량은 사과 중량 대비 0.167-0.193%로 나타났고, 아밀로오스 구성비는 총 전분 함량의 44.0-55.4%에 해당한다고 보고하였다. 이러한 분석적 정량법은 측정 소요 시간이 매우 길고 측정 과정이 복잡하기 때문에 사과 산지에서 *in-situ* 신속측정법으로 활용하기에는 적합하지 않은 단점을 가지고 있다. Cho et al.(2001a)은 분석적 정량법의 단점을 극복하고자 사과의 절단면을 요오드 용액으로 염색한 후 컴퓨터 영상 분석을 통해 사과의 전분을 측정하는 방법을 제안하였다. 그럼에도 불구하고 아직 전분 측정을 위한 *in-situ* 신속측정법은 불완전하여 후속연구가 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 Cho et al.(2001a)의 연구결과를 바탕으로 사과의 전분 분석에 적합한 전분지수를 제안하고, 실제 전분 함량과의 상관성을 분석하여 *in-situ* 신속측정법으로서 전분지수의 활용 가능성을 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

사과는 후지 품종으로서 경북 칠곡, 충남 예산, 경기 장호원의 3 지역에서 적기에 수확하여 실험에 사용하였다. 실험에 사용한 사과는 지역별로 무작위로 각각 10 개씩 모두 30 개를 선발하였다.

전분지수의 정의

요오드 용액에 의해 염색된 전분의 발색 특성을 반영하여, KI/I₂(2:1) 용액으로 염색된 사과 절단면에 대해서 RGB(Red-Green-Blue) 영상을 원시영상으로 사용하여 다음과 같은 3 가지 유형의 전분지수를 정의하고 그 효용성을 평가하였다.

① 전분지수1(starch index 1): HLS(Hue-Lightness-Satura-

tion) 영상으로 전환 후 H 프레임에 대해서 전체 면적 대비 순청색(pure blue)에 해당하는 면적의 비

② 전분지수2(starch index 2): HLS 영상에서 H 프레임에 대해서 Munsell 5.8 PB(Mohsenin, 1984)에 해당하는 면적의 비(여기서 Munsell 5.8 PB는 실제로 사과를 요오드 용액으로 염색한 후 색도계로 측정하였을 때 얻어진 값임)

③ 전분지수3(starch index 3): rgb 영상(RGB 영상이 0-1 사이의 값으로 표준화된 영상)으로 전환 후 b 프레임(frame)의 평균화소치(average gray intensity)

전분의 정량

총전분(S), 아밀로오스(AM) 및 아밀로펙틴(AP)은 Magel (1991), Fan et al.(1995)의 방법을 변형한 것으로서 Cho et al.(2001b)의 방법을 사용하였다. 즉, 냉동건조된 사과로부터 알코올 불용성 다당류(AIP)를 추출한 후, AIP를 18% HCl에 녹인 용액을 KI/I₂(2:1)의 용액과 1:1로 염색하여 UV/VIS 분광광도계(V-550, Jasco, Tokyo, Japan)를 이용하여 530 nm와 605 nm에서의 흡광도를 측정하였다. 한편, 아밀로오스와 아밀로펙틴(Sigma Chemical Co. St. Louis, UAS)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. 검정식을 개발하기 위해 총전분함량과 아밀로오스 비율에 대해서 각각 4 수준과 7 수준을 가지는 2원 배치로 실험설계 하였다. 분석에 사용된 검량식은 다음의 식 (1) 및 (2)와 같다.

$$S = -106.68 + 149.18 OD_{530} \quad (10 \leq S \leq 100 \mu\text{g/mL}) \quad (1)$$

where S: total starch concentration (µg/mL)

OD₅₃₀: optical density at 530 nm

$$\%A = a + b \cdot OD_{605} \quad (2)$$

where OD₆₀₅: optical density at 605 nm

$$a = -106.57 - 3227.8S^{-1}$$

$$b = -28.927 + 1880S^{-1}$$

%A: amylose fraction (%)

S: total starch concentration (µg/mL)

영상분석

컴퓨터 비전 시스템은 2/3" one-chip 컬러 CCD 카메라(TMC-74, Pulnix, Sunnyvale, USA), 프레임 그래버(Oculus-TCX, Coreco, St. Laurent, Canada), 11-110 mm 줌렌즈, +2 디오퍼의 근접렌즈, PC 등으로 구성되었다. 미리 준비한 KI/I₂(2:1) 용액으로 사과 절단면을 염색한 후, RGB 영상을 획득하였다.

획득한 원시 영상은 앞에서 정의한 3 종의 전분지수를 산출하기 위해 각각 HLS 영상, rgb 영상으로 전환되었다.

전분지수1은 다음과 같이 산출되었다. RGB 원시영상으

로부터 전환된 HLS 영상에서 H 프레임을 분할하고, H 프레임에 대해서 순차색에 해당하는 문턱값으로 2진 영상(binary image)을 만든 후, 2진 영상에서 사과 절단면 전체 면적 대비 염색 면적의 비를 산출하는 방법으로 전분지수1을 얻었다.

전분지수2는 HLS 영상 중 H 프레임에서 Munsell 5.8 PB에 해당하는 문턱값으로 2진 영상을 만들었다. 지수 산출 방법은 전분지수1을 산출하는 방법과 같았다.

전분지수3은 RGB 원시영상을 표준화된 rgb 영상으로 전환 후 b 프레임의 평균화소치를 문턱값으로 사용하여 염색 면적을 추출하였다. 지수 산출 방법은 전분지수1을 산출하는 방법과 같았다.

전분지수의 검정력 평가

전분지수1, 2 및 3의 검정력을 평가하기 위하여 사과의 총 전분함량, 아밀로오스 함량을 습량 기준(wet basis)과 건량 기준(dry basis)으로 정량한 후, 영상 처리에 의해 얻어진 전분지수 값과 실제 총 전분 함량 또는 아밀로오스 함량과의 상관계수를 구하였다. 본 연구에서는 상관계수가 클수록 전분지수의 검정력이 큰 것으로 평가하였다.

결과 및 고찰

후지 사과의 전분 함량비

Table 1은 경북 칠곡, 충남 예산, 경기 장호원에서 재배되어 적기에 수확한 후지 사과의 전분 함량을 분석하여 습량 기준(wet basis)과 건량 기준(dry basis)의 백분율로 나타낸 것이다. 여기서 습량 기준이란 수분을 포함한 사과의 총 중량을 기준으로 표시한 구성비를 말하며, 건량 기준이란 수분을 제외한 사과의 건물 중량을 기준으로 표시한 구성비를 말한다. 먼저 습량 기준으로 산출한 값을 살펴보면, 총 전분 함량은 칠곡 사과가 0.167%, 예산 사과 0.175%, 장호원 사과 0.128%이었으며, 전체 평균 0.160%로 나타났다. 아밀로오스 함량은 칠곡, 예산, 장호원의 지역별로 각각 0.068%, 0.083%, 0.056%로 나타나 전체 평균이 0.070%이었다. 한편, 아밀로펙틴 함량은 동일한 지역 순서로 0.099%, 0.092%, 0.072%로 나타났고, 전체 평균은 0.090%이었다.

이러한 결과로부터 후지 사과의 총 전분 함량 중에서 아밀로오스가 차지하는 비율은 칠곡 사과의 경우 40.7%, 예산 사과 47.4%, 그리고 장호원 사과에서는 43.8%임을 알 수 있다. 또한, 3 지역의 전체 평균은 43.8%임을 알 수 있다. 이와 같이 본 연구에서 분석한 결과에서는 수확 적기의 후지 사과의 경우, 총 전분 중에서 아밀로오스가 차지하는 비중이 아밀로펙틴의 비중보다 약간 적은 것으로 분석되었다. Fan et al.(1995)의 보고에 의하면, 후지 사과의 전분 중 아밀로오스가 차지하는 비중은 37-60%로 나타났으며, 사과가 성숙될수록 아밀로오스 비중이 감소한다고 하였다. 또한, Cho et al.(2001)은 수확 적기의 후지 사과에 대해 총 전분 함량, 아밀로오스 함량, 아밀로펙틴 함량을 분석한 바, 총 전분의 44.0-55.4%가 아밀로오스로 구성되어 있다고 보고하였다. 본 연구의 결과를 선행연구 결과와 비교해 볼 때, 후지 사과의 아밀로오스 구성비는 수확 시기에 따라 다를 수 있지만 대체로 50% 전후가 됨을 알 수 있다.

한편, 건량 기준으로 산출한 값을 살펴보면, 칠곡 사과의 총 전분 함량은 1.139%, 예산 사과 0.990%, 장호원 사과 0.986%로 나타나, 전체 평균이 1.038%이었다. 아밀로오스 함량은 칠곡, 예산, 장호원 사과에서 각각 0.460%, 0.466%, 0.488%로 나타나 전체 평균이 0.471%이었다. 이어서, 아밀로펙틴 함량은 같은 순서로 각각 0.679%, 0.524%, 0.498%로 나타났고, 전체 평균은 0.567%이었다. 즉, 건량 기준으로 전분의 구성비를 표시하면, 후지 사과의 총 전분 함량 중에서 아밀로오스가 차지하는 비율은 칠곡 사과의 경우 40.4%, 예산 사과 47.1%, 그리고 장호원 사과에서는 49.5%임을 알 수 있다. 또한, 3 지역의 전체 평균은 45.4%임을 알 수 있다. 이와 같이 건량 기준에서 3 지역 전체 평균으로 아밀로오스 구성비는 45.4%로 산출된 것을 볼 때, 습량 기준의 경우인 43.8%보다 다소 크게 평가되는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 사과의 수분 함량에 따라 전분의 구성비가 다르게 나타날 수 있기 때문이다.

영상분석 기반 전분지수의 검정력

Fig. 1에서 6은 본 연구에서 정의한 3종의 전분지수가 분석적 정량법으로 측정된 총 전분 함량 및 아밀로오스 함량을 얼마나 잘 평가할 수 있는지 파악하고자 상관관계를

Table 1. Starch composition of Fuji apples.

Component	Production site			Average
	Chilgok	Yesan	Janghowon	
Total Starch (% wet basis)	0.167	0.175	0.128	0.160
(% dry basis)	1.139	0.990	0.986	1.038
Amylose (% wet basis)	0.068	0.083	0.056	0.070
(% dry basis)	0.460	0.466	0.488	0.471
Amylopectin (% wet basis)	0.099	0.092	0.072	0.090
(% dry basis)	0.679	0.524	0.498	0.567

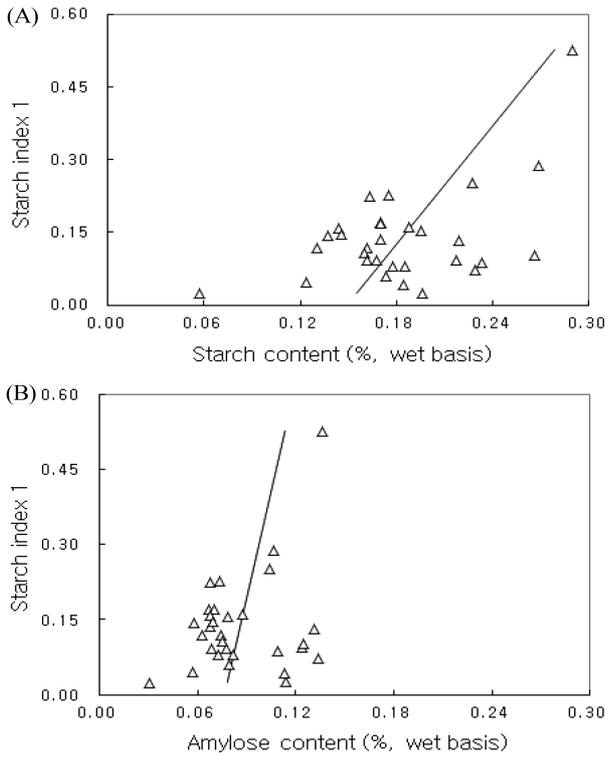


Fig. 1. Correlations between starch index 1 and total starch content (A) and between starch index 1 and amylose content indicated on a wet basis (B).

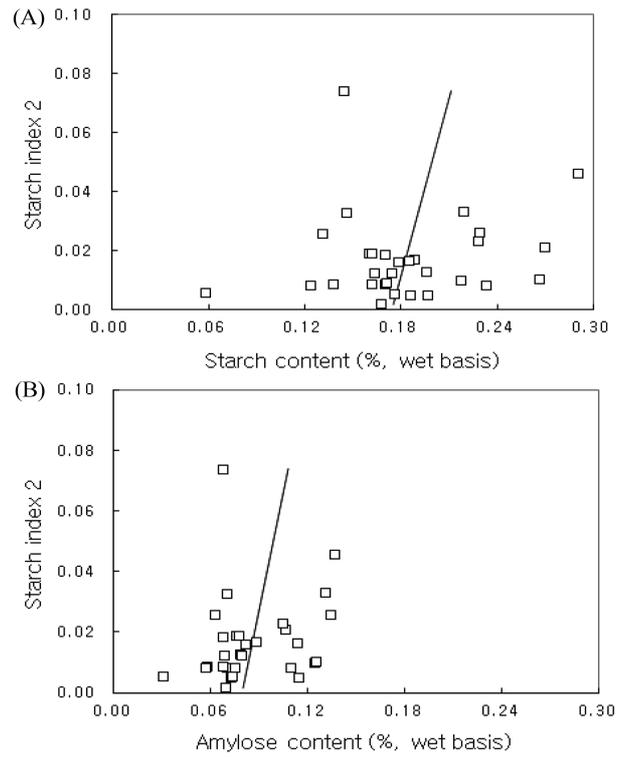


Fig. 2. Correlations between starch index 2 and total starch content (A) and between starch index 2 and amylose content indicated on a wet basis (B).

분석한 결과를 나타낸 것이다. 또한, Table 2는 Fig. 1에서 6까지의 상관에 대해서 산출된 상관계수를 나타낸 것이다. 여기서 Fig. 1에서 3은 총 전분 함량과 아밀로오스 함량을 습량 기준(wet basis)의 백분율로 표시하였을 때 전분지수와 상관의 상관관계를 나타낸 것이고, Fig. 4에서 6은 건량 기준(dry basis)의 백분율로 표시하였을 때 상관관계가 다르게 나타나는 지에 대해서도 분석하였다.

전체 분석 결과에 의하면, 전분지수1은 건량 기준의 총 전분 함량을 가장 잘 표시하는 것으로 나타나, 건량 기준의 총 전분 함량에 대한 전분지수1의 검정력이 가장 우수하다고 평가할 수 있다. 이때 상관계수는 0.811로 산출되었다. 즉, 전분지수1은 사과를 KI/I₂(2:1) 용액으로 염색하였을 때 건량기준의 총 전분 함량을 잘 표시하는 반면, 전

Table 2. Correlation coefficients between each starch index and total starch content and between each starch index and amylose content.

	Total starch content (%)		Amylose content (%)	
	Wet basis	Dry basis	Wet basis	Dry basis
Starch index 1	0.507	0.811	0.256	0.633
Starch index 2	0.154	0.132	0.210	0.272
Starch index 3	0.239	0.220	0.364	0.466

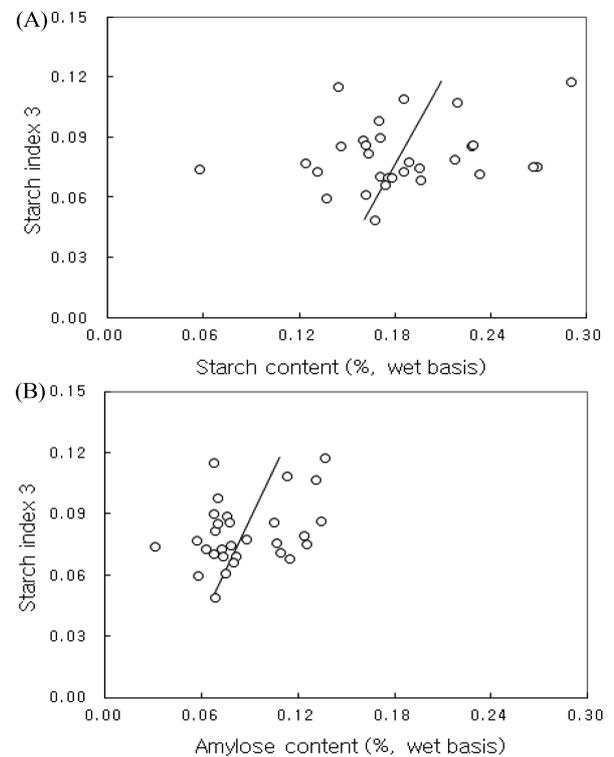


Fig. 3. Correlations between starch index 3 and total starch content (A) and between starch index 3 and amylose content indicated on a wet basis (B).

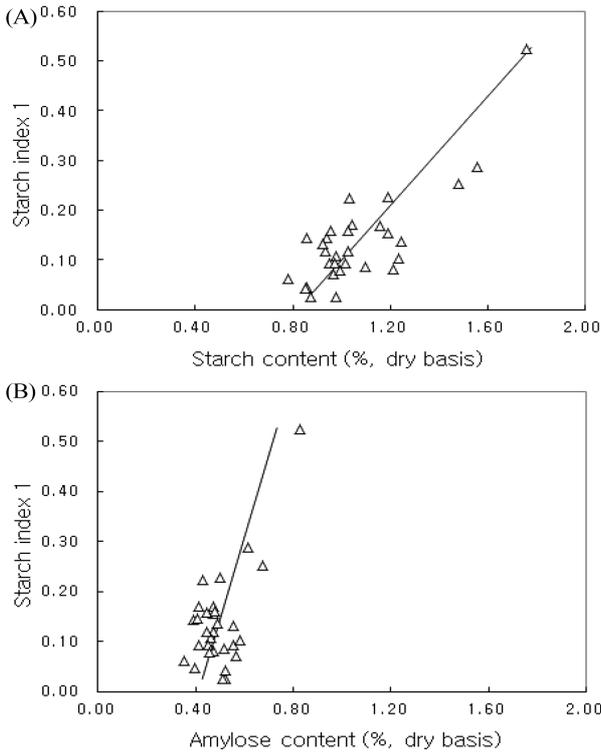


Fig. 4. Correlations between starch index 1 and total starch content (A) and between starch index 1 and amylose content indicated on a dry basis (B).

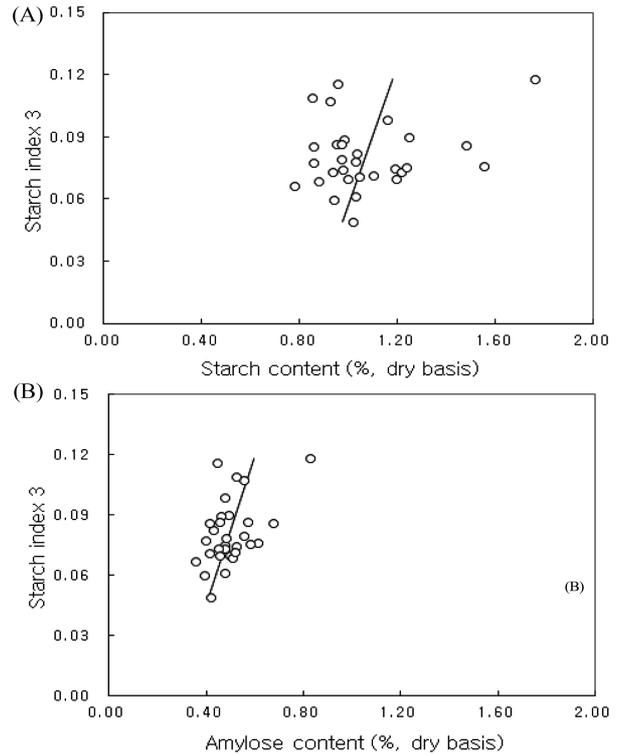


Fig. 6. Correlations between starch index 3 and total starch content (A) and between starch index 3 and amylose content indicated on dry basis (B).

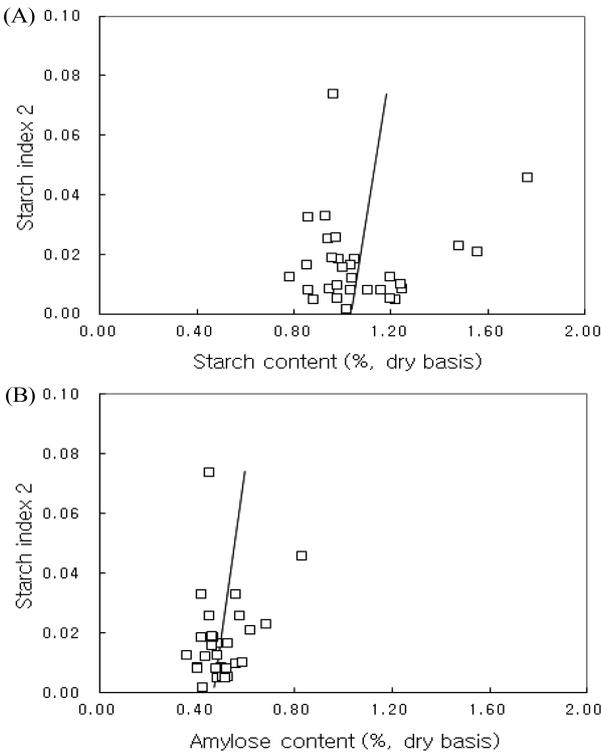


Fig. 5. Correlations between starch index 2 and total starch content (A) and between starch index 2 and amylose content indicated on dry basis (B).

분지수2 및 전분지수3은 총 전분 함량과의 상관성이 각각 0.132와 0.220에 불과하여 전분 함량을 제대로 표시하지 못하는 것으로 나타났다. 한편, 본 연구에서 사용한 염색 방법으로는 전분지수1은 사과의 아밀로오스 함량과의 관계에서 상관계수가 총 전분 함량의 경우에 미치는 못하는 0.633으로 나타나 아밀로오스 함량에 대한 전분지수1의 검정력이 총 전분 함량보다 못한 것으로 나타났다.

한편, 3종의 전분지수와 습량 기준의 총 전분 함량과의 상관성은 건량 기준에 대한 상관성에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 볼 때, 사과를 KI/I₂(2:1) 용액으로 염색하게 되면 수분 함량의 영향이 포함되어 있는 전분의 조성비 관점보다는 수분 함량의 영향을 배제한 전분의 절대량을 더 잘 반영하여 표시할 수 있다는 결론을 얻을 수 있다.

즉, 간단한 방법으로 사과를 염색한 후 HLS 영상을 획득하여 순청색만을 추출하여 염색비를 산출하면 영상 처리를 기반으로 하여 사과의 전분 함량을 신속히 평가할 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 IT(정보기술)에 융합시키게 되면 매우 효과적인 현장기술로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

농업기술을 정보기술과 융합하여 농산물에 대한 *in-situ* 신속측정기술을 개발하기 위해서는 농업기술과 정보기술에 대한 가교적 콘텐츠(bridging contents)가 요구된다. 사과의 전분 함량은 성숙도 또는 숙성도를 평가하는 주요 지표 중의 하나이다. 사과의 전분 함량을 현장에서 신속히 평가하게 되면 수확 및 저장 관리에 효과적으로 활용할 수 있다.

본 연구에서는 컴퓨터 시각에 의해 사과의 전분 함량을 신속히 평가하는 방법을 고안하고자 먼저 3종의 전분지수를 제안한 후, 총 전분 함량 및 아밀로오스 함량과의 상관관계를 분석하여 전분함량에 대한 전분지수의 검정력을 평가하였다. 분석 결과에 의하면, 전분지수를 HLS(Hue-Lightness-Saturation) 영상으로 전환 후 전체 면적 대비 순청색(pure blue)에 해당하는 면적의 비로 정의할 때 총 전분 함량을 가장 잘 표시하는 것으로 나타났다. 이때 총 전분 함량은 수분 함량의 영향을 배제한 건량 기준으로 표시할 때 전분지수의 검정력이 가장 우수한 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 개발한 전분지수 표시법을 정보기술과 접목하면 매우 효과적인 현장 기술로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국식품연구원의 연구비 지원에 의해 이루어진 것임.

참고문헌

- Cho YJ, Hwang J. 1998. Physicochemical factors for evaluating freshness of apple and tomato. *J. Korean Soc. Agric. Machinery* 23(5): 473-480.
- Cho YJ, Jun W, Kim CT, Kim CJ, Kim DM, Hwang BH, Kim JK. 2001a. Quantification of starch content in apples using image analysis and its relationships to physicochemical properties. *J. Agric. Biosys. Eng.* 2(2): 59-62.
- Cho YJ, Jun W, Gil B. 2001b. Determination of starch in *Fuji* apples by a colorimetric method. *Food Eng. Prog.* 5(4): 225-229.
- Fan X, Mattheis JP, Patterson ME and Fellman JK. 1995. Changes in amylose and total starch content in '*Fuji*' apples during maturation. *Horticultural Science* 30(1): 104-105.
- Knee M, Hatfield SGS, Smith SM. 1989. Evaluation of various indicators of maturity for harvest of apple fruit intended for long-term storage. *J. Hortic. Sci.* 64(4): 403-411.
- Magel E. 1991. Qualitative and quantitative determination of starch by a colorimetric method. *Starch* 43(10): 384-387.
- Mohsenin NN. 1984. *Electromagnetic Radiation Properties of Foods and Agricultural Products*. Gordon and Breach Science Publishers, New York, NY, USA, pp. 169-200.
- Seymour GB, Taylor JE, Tucker GA (ed.). 1993. *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman & Hall, London, UK, pp. 17-24.
- USDA. 2010. *Market Inspection Instruction: Apples*. USDA AMS Fruit and Vegetable Division, USA.
- Zerbini PE, Pianezzola A, Grassi M. 1999. Poststorage sensory profiles of fruit of five apple cultivars harvested at different maturity properties. *J. Food Qual.* 22: 1-17.