

식품의 색도變化 測定法

趙 成 桓

慶尙大學校 食品加工學科
(1983년 11월 23일 접수)

Physical Measurement of Color Changes in Foods

Sung-Hwan Cho

*Department of Food Science and Technology, Gyeongsang National University
(Received November 23, 1983)*

Abstract

The tools and techniques for measuring the spectral distribution of light emitted by, transmitted by, or reflected from food surfaces are described for determining the extent to which original natural color is preserved in processing and subsequent storage of foods. Color differences may be evaluated indirectly in terms of some physical characteristic of the sample or extracted fraction thereof that is largely responsible for the color characteristics.

For evaluation more directly in terms of what the observer actually seen, color differences are measured by reflectance spectrophotometry and photoelectric colorimetry and expressed as differences in psychophysical indexes such as luminous reflectance and chromaticity. The standard system, against which other systems could be compared, is the one recommended by the International Committee on Illumination and which is based on the "standard observer", which is a simulated standard eye, consisting of three primary color filters Z , with X being essentially amber in color, Y , green and Z , blue. Any spectrophotometric curve of reflectance obtained from the surface of an object can be integrated in terms of X , Y and Z . Psychophysical notation may be converted by standard methods to the colorimetrically more descriptive terms of Munsell hue, value and chroma.

I. 緒 論

식품의 색깔은 소비자의 기호성을 좌우하는 중요한 요인이다. 색깔은 종종 영양학적 요인에 관련된다는 사실은 기본적인 일이다. 예를 들면, Provitaimne A로서 영양학적으로 중요한 의미를 가지는 carotene이 그 예이다. 식물성기름과 같은 산업적 제품에 있어서 색깔과 일반적인 품질 사이에는 밀접한 관련성이 있다.

색깔이 어느정도 기호성 또는 영양학적 품질의 진정한 지표가 될 수 있음은 물론 색깔은 식품의 명백

한 특성을 나타내는 것이며 품질 등급에 중요한 인자로 인식되어진다. 식품 중 색깔이 품질표준화에 중요한 인자가 되고 있는 것들로는 천연 및 가공 과일, 채소, 유지류, 육류, 낙농제품, 가공류 및 계란 등을 들 수 있다.

식품의 색소에 영향을 주는 요인으로는 품종, 성숙도, 성장조건(온도, 수분, locality)과 제조과정 등을 들 수 있다. 품종, 성숙도, 성장조건은 천연산물에 복합적으로 작용하고 식품제조업자가 그가 천연물을 선택할 수 있는 한도에서 control 할 수 있는 original natural color를 나타낸다.

이 실험은 식품의 천연색소에 있어서 그 차이를 특징짓고 식품표면색의 반사 또는 투과곡선을 그려 가공처리와 저장조건으로 일어나는 색도의 변화를 ICI법(International Committee on Illumination)¹⁻³⁾에 의하여 측정하고 식품의 품질규격을 결정하는 좋은 자료가 될 수 있을 것으로 생각되어 이에 보고하는 바이다.

식품색도의 측정방법

1. I. C. I. System⁴⁻⁷⁾

식품표면색의 색도는 주황색, 녹색, 청색 등의 color filter로 구성되어 있는 "Standard observer"에 기초를 두고 ICI에서 추천받고 있는 Color & Color difference meter (ND-101D, 日本電工工業製品)를 사용하여 다음과 같은 순서에 의하여 측정하였다.

i) 380 nm에서부터 10 nm 간격으로 770 nm까지 각각의 파장에서 반사율을 측정한다.

ii) 각 파장에서 측정한 시료의 반사율에 Table에 표시된 respective value를 곱하고 X, Y, Z 각각의 합계를 구한다.

iii) 색도좌표 x, y, z를 다음 식에 의하여 구한다.

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

iv) x, y값으로 色度圖(Chromaticity diagram)를 작성하고 측정시료의 Color를 Color space에서 공인된 색도기준으로 동정한다.

2. Munsell color system^{8,9)}

Munsell Disc 色度計는 일정조건이 갖추어진 조명 등과 4개의 회전 disc으로 구성되어 있다. 2개는 色相(hue) 및 색의 농도(chroma)를 측정하기 위한 것이며 나머지 2개는 밝은 정도(Value)를 조정할 회색 disc으로 되어 있다. 광원은 2개의 300 watt 반사램프와 2개의 7 1/4인치짜리 filter로 구성되어 있는데 이 광원은 7500°K의 일광과 같은 빛을 조사한다. 이 色度計의 중앙부에는 color disc가 고무대에 연결되어 있고 disc들 사이의 중간에 시료를 담을 수 있는 장치가 있다. 이 비색계를 사용한 식품의 색깔 평가는 다음과 같은 두 단계를 거쳐 그 결과에 맞는 표기법으로 표시한다.

i) 몇 가지 다른 색들을 혼합하여 시료의 색깔과

일치할 때까지 노출된 각 disc의 비율이 %로 기록된다(각 색깔의 비율의 총합은 100 %이다).

ii) 이와 같이 얻은 각 색의 배합을 hue, value, chroma로 환산·표시한다.

결과 및 고찰

1. Transmittance에 의한 색도측정

식품에서의 색깔 차이를 객관적으로 지적하는 것은 보통 시료 또는 Color 특성과 관련있을 것으로 생각되는 추출부의 물리적 특성을 비교하는 등의 간단하고 간접적인 방법으로 행하여 왔다. 비록 그런 방법은 시료의 Visual color를 측정하지 못하지만 pigment의 量的인 관계, 그 추출부의 물리·화학적 특성을 비교·검토함으로써 color 간의 차이를 아주 민감하게 지적해줄 수 있다고 판명되어 왔다.

이같은 기본형의 측정에 일반적으로 사용되어지는 기구는 spectrophotometer이다. 보통 spectrophotometric curve로 그려지는 data는 여러 가지 다른 파장에서의 빛을 투과 또는 반사하는 시료의 특성을 표시하여 준다. spectrophotometric curve는 색깔관련물질의 물리적 특성을 나타내는 것이며 이들 물질의 spectrophotometric properties에 있어서의 차이는 간접적으로 식품표면의 색깔차이를 분명하게 지적해 주는 자료가 될 수 있다^{10,11)}. 따라서, 이와 같이 Texas주에서 수집한 raspberry로부터 추출·정제한 색깔관련물질의 color differences를 비교·검토한 결과는 Fig. 1과 같았다.

즉, 시료는 homogenizer로 균질화하고 100 ml tube에 넣어 2000 rpm에서 30분간 원심분리하고 맑은 즙액을 pipette으로 취하여 9배의 물로 희석하였다. 그 pH는 최초의 희석되지 않은 즙액의 pH로 조정되고 transmittance curves는 2.5 cm cells로 그려졌으며, 이때 품종간의 색깔의 차이는 spectrophotometric curves에서 분명히 나타났다. 이러한 방법은 tomato color와 녹색채소의 color변화연구에도 이용되어 왔다.

Kramer 등¹²⁾은 식품의 color difference연구에 추출색소의 spectrophotometric index를 사용하여 천연식품재료나 가공식품의 색도변화를 관찰하였다. 그러나 이 방법은 critical wavelength를 선정하는 어려움이 따르고 개개의 식품색소성분을 추출하는 방법이 선행되어야 한다는 문제점이 따른다.

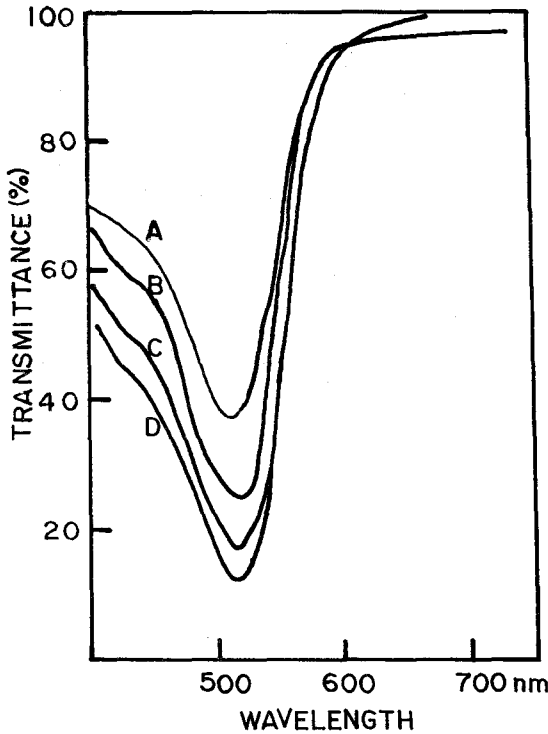


Fig. 1. Varietal differences in raspberries as indicated by transmittance of centrifuged juices.

- A: Newburg B: Tahoma
- C: Cuthbert D: Willamette

2. Reflectance spectrophotometry에 의한 색도 측정

Fig. 2는 두 개의 속도가 다른 황색 Sweet corn (whole grain)과 적당하게 가공된 tomato paste 및 과열로 인하여 변질된 paste의 반사특성에 있어서의 차이를 보여준다.

옥수수가 숙성되어감에 따라 黄色이 증가해가는데 이것은 blue reflectance의 감소 및 yellow reflectance의 증가에서 비롯된다고 볼 수 있다.

한편, 열처리된 tomato paste의 경우 표면색도는 점차 黄色에서 赤色 spectrum의 반사곡선을 그려주고 있다.

또 다른 예로 Fig. 3은 표면색감의 차이별로 5등급으로 나눈 레몬의 표면반사율을 표시한 spectrum이다.

모든 등급의 레몬이 공히 같은 파장에서 최대의 흡광도를 나타내는 peak를 보이거나 그 굴절율에는 상당한 차이를 나타내었고, 그 spectrum에도 다소 상이

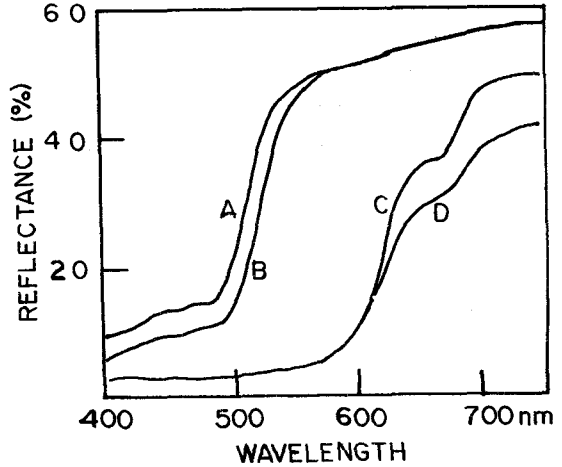


Fig. 2. Color changes indicated by reflectance spectrophotometry.

- A: Yellow Sweet Corn (Whole Grain)
- B: More Mature Corn
- C: Normally Processed
- D: Heat-Damaged Tomato Paste

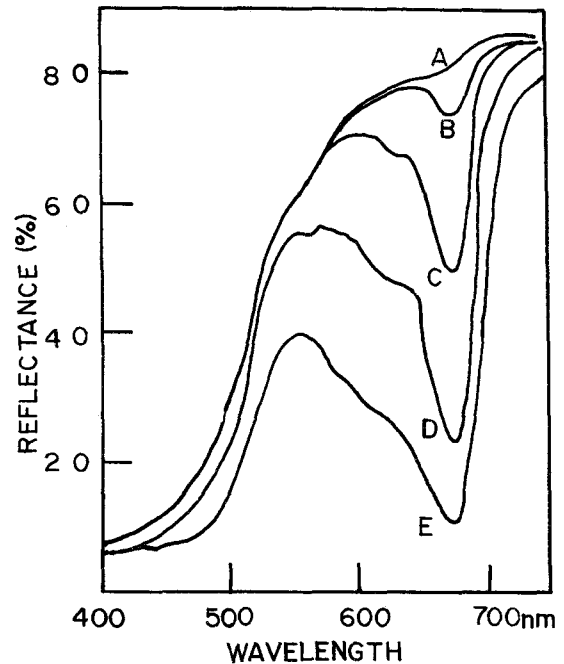


Fig. 3. Surface reflectance of lemons from five different color grades.

- A: Tree Ripe B: Yellow
- C: Silver D: Light Green
- E: Green

한 양상을 띄우고 있다. 곧, 레몬이 숙성되어가는데 동안 그 표면색감은 green에서 yellow를 거쳐 익은 레몬색으로 변해간다. 675 nm에서 어느 것이나 다 굴절율이 급강하는 peak를 보이거나 그 강하율은 성숙

도가 클수록 작아졌다.

앞에서 설명한 transmission방법에 의해 color change를 표시하는데 있어서 색소추출부는 특수 region에서의 변화가 총색도 변화를 표시할 만큼 충분히 간단하고 순수해야 하는데, 이러한 조건들은 가공식품계의 색소를 연구하는 데는 거의 만족될 수 없는 것들이다.

또한, color에 영향을 주는 어떤 fraction은 제거하기도 어렵고 사용된 추출법에 의해 제거되지 않을 수도 있고 비추출부색소에서 일어나는 색깔변화는 transmittance법으로는 측정이 불가능한 것이다

일반적으로 식품의 visual color는 그 반사특성에 달려있기 때문에 total differences는 reflectance spectrophotometry and colorimetry에 의하여 연구 되어질 수 있기 때문에 반사율 측정에 의한 색도판정이 더 바람직한 것이 된다.

아울러, 색깔의 변화는 매우 빠른 속도로 일어날 수 있으므로 시료를 급히 처리하고 측정하지 않으면 original color spectrum을 얻기 어렵다는 점에서도 색소추출작업 없이 직접 그 표면색의 색도를 측정할 수 있는 반사율 측정법이 용이한 작업임을 알 수 있다. 즉 Fig. 4에서 보는 바와 같이 냉동복숭아를 녹인 후 90분 이후부터는 착즙액의 색도 spectrum이 녹인 직후의 것과 전혀 다른 pattern을 보여준다.

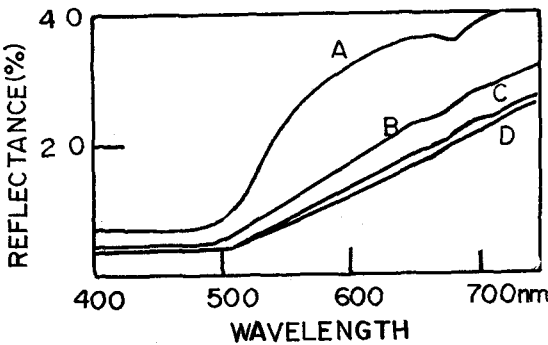


Fig. 4. Variation in reflectance of frozen peaches with time after thawing.

- A: Immediately after thawing
B: After 90 minutes
C: After 180 minutes
D: After 270 minutes

3. I. C. I System에 의한 색도변화 측정

1982년 11월 경남농촌진흥원에서 분양받은 땅콩시료를 willey mill로 분쇄하여 20 mesh sieve를 통과한 것을 일정중량씩 分取하고 100°C, 130°C 및 160°C에서 일정시간 동안 가열처리하여 일어나는 색도

변화를 ND-101D color & color difference meter로 I. C. I. system의 X, Y, Z를 측정한 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. The products of roasted peanut for X, Y, Z integrated at all wave length bands by variation of heating condition

Heating condition	X	Y	Z
At 100°C			
0 hr.	48.0	48.5	37.4
6	44.9	45.1	34.4
12	41.4	40.6	29.3
18	39.0	37.9	24.5
24	35.8	35.7	22.1
At 130°C			
15 min.	40.8	41.5	28.8
30	40.1	40.3	25.9
45	35.2	34.2	18.0
60	31.7	30.2	14.5
90	30.4	28.7	13.4
At 160°C			
10 min.	38.2	37.9	22.7
20	32.5	31.1	15.4
30	31.4	29.8	14.4
40	15.6	13.9	6.3
50	12.0	10.7	5.3
60	11.0	9.7	4.9

이 결과로부터 색도좌표 x, y를 계산하고 이들 색도를 I. C. I. chromaticity diagram에 표시하였다(Fig. 5).

그림에서 오른쪽의 사선은 主波長, 아랫쪽의 사선은 純度를 %로 나타내는데, x, y를 이용하여 구한 主波長의 경우 100°C로 6시간 간격으로 24시간 가열하였을 때 576.5 nm에서 579.0 nm로, 즉 yellow색 계통에서 yellowish orange색 계통쪽으로 변화했다. 130°C의 경우에는 15분 가열했을 경우에 574.0 nm이던 것이 90분만에 580 nm로 100°C에서 24시간 정도 가열한 후의 색도와 일치하는 경향을 보였으나, 160°C로 가열하였을 때는 10분만에 578.6 nm의 주파장을 보이는 yellow색 계통이었고 10분 간격으로 측정된 색도의 변화는 크게 차이를 보여 가열 60분에는 585.4 nm로 orange색 계통내에서 長波長쪽으로 변화했다.

순도는 100°C로 24시간 가열하였을 때 0.228에서 0.307로 크게 증가하지는 않았으나, 130°C에서 90분 가열하여 0.491로 증가하였고, 160°C에서는 10분 가

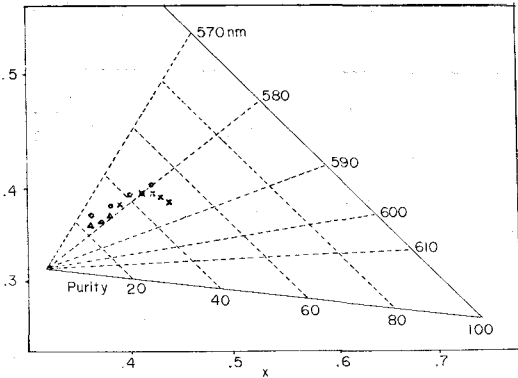


Fig. 5. Changes in the chromaticity during thermal process of peanut at 100°C, 130°C and 160°C.

△: 100°C ○: 130°C ×: 160°C

열로 0.360의 높은 수치를 보여 100°C에서 24시간 가열한 것보다 yellow색 계통에서 더 높은 색의 강도를 나타내었고 60분 후에는 0.505로 증가하였다. 이때 이들의 가열온도에 따른 純度の 증가는 主波長の 그것과 대체로 같은 경향을 나타내었으며 이러한 땅콩의 色度變化 pattern은 다른 갈색식품인 간장¹³⁾ mapple syrup, honey, caramel, liquid sugar 등과 비슷한 것으로 나타났다¹⁴⁾.

4. 客觀的인 色度判定

색도를 측정하고자 하는 시료의 입자 크기에 따라 의관에는 현저한 차이가 있다. 이러한 효과는 주로 luminous reflectance Y에 있어서의 차이에서 비롯된다(Table 2).

당근의 경우, 입자의 크기가 작을수록 색도좌표(x, y)에는 상당한 변화가 있는 반면, 양배추의 경

우에는 색도좌표(x, y)가 입자크기의 많은 차이에도 일정한 값을 보이는 것으로 미루어 보아, 식품에 따라서는 입자크기의 효과가 색깔번호로서 색도좌표를 표시하는 조건으로 선택되지 않을 수도 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 만일, 입자의 크기에 따라 작은 차이라도 측정이 가능한 식품의 경우에는 그 입자 크기는 표준화되어야 할 법하다.

Table 3은 상이한 감자시료간에 입자크기가 색도 차이에 미치는 영향을 검토한 결과이다¹⁵⁾.

이 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 입자의 크기가 작아질수록 Y값은 증가하고 색도좌표(x, y)에는 예민한 차이를 나타내었으며, 이를 Munsell 표시법으로 환산하여 그 변화를 더 뚜렷하게 알 수 있었다. 즉, 입자의 크기가 작아질수록 밝기정도(values)도 커지고 색상(hue)은 황색에 가까워지며 색의 강도(chroma)는 낮아졌다. 일반적으로 말하면 相異한 시료간의 차이는 입자크기가 큰 시료에 대하여 더 분명하다.

식품의 색도변화를 연구하는데 있어, reflectance spectrophotometry를 적용하는 것은 5개의 완두시료를 실온에서 각지체 cooking전에 여러 기간별로 보관한 실험에서 예시된다. 각지를 벗기고 조리한 시료에 대해서 측정이 이루어졌고, 완두 낱알은 flat glass cells에 포장되었다. 그 cells은 물로 채워 완두의 반사표면에서의 거울반사량(specular reflection)을 감소시켰다.

실험 결과 얻어진 I.C.I. data는 Table 4와 같다. 즉 cooking 전 보존기간이 길면 Y값(Munsell 표시법의 Value값)이 증가하는 것으로 완두색깔이 더 밝아지는 것을 알 수 있으며, 主波長の 값이 증가하는 것으로 완두표피색이 점점 黄色으로 변해가는 경향을 관찰할 수 있다.

Table 2. Color variations in certain dehydrated foods with variation of particle size

Product	Mesh size	Y	x	y
Cabbage	Underground	0.316	0.358	0.381
	10-18	0.380	0.357	0.378
	24-35	0.396	0.356	0.377
	60-80	0.440	0.351	0.375
	100-120	0.500	0.347	0.370
Carrots (diced)	Underground	0.170	0.380	0.352
	10-18	0.173	0.413	0.361
	24-35	0.252	0.416	0.373
	60-80	0.321	0.436	0.395
	100-120	0.397	0.423	0.396

5. Photoelectric colorimetry^{4,6)}

Recording spectrophotometer는 식품관계 연구에 최소한 구비되어야 할 연구기기가지만, Hunter multipurpose reflectometer가 식품산업 품질관리에 더 유용하며 그중 대표적인 기기로는 Hunter color & Color difference meter가 더 직접적으로 이용될 수 있을 것이다.

이 기기는 파장과 관련해서 시료의 특성변화를 측정하는 것이 아니고 특정 Colorimetric index가 A, B, G. 로 각각 표시되어진 amber, blue, green filer 로 입력된 각각의 값으로부터 계산되어진다. 이 기

Table 3. Effect of particle size on apparent color difference between dissimilar samples of dehydrated potatoes

Sample	Y	x	y	nm	p, %	Munsell Notation	
						Hue	Value/Chroma
Particle size, 1 to 2 mm.							
a	0.563	0.374	0.386	576.4	35.3	3.8Y	7.84/4.6
b	0.470	0.393	0.386	580.0	41.0	0.4Y	7.26/5.2
c	0.340	0.376	0.369	580.0	31.8	9.8YR	6.33/3.6
Particle size, 0.5 to 1 mm.							
a	0.605	0.369	0.383	575.9	33.9	4.1Y	8.08/4.3
b	0.524	0.385	0.384	579.0	38.1	1.4Y	7.61/5.0
c	0.390	0.371	0.368	579.8	30.2	0.4Y	6.71/3.5
Particle size, 0.25 to 0.5 mm.							
a	0.699	0.356	0.369	575.7	26.2	4.2Y	8.58/3.4
b	0.628	0.368	0.373	577.8	30.4	1.9Y	8.21/4.0
c	0.494	0.361	0.363	578.7	26.0	1.3Y	7.42/3.2
Particle size, 0.125 to 0.25 mm.							
a	0.791	0.336	0.344	576.3	14.4	2.5Y	0.03/1.8
b	0.716	0.345	0.353	570.4	19.2	2.6Y	8.66/2.3
c	0.548	0.348	0.348	570.6	16.8	2.1Y	7.75/3.0

Table 4. Color changes in peas as a function of delay before cooking

Days held before cooking	Y	x	y	nm	p, %	Munsell Notation	
						Hue	Value/Chroma
1	0.254	0.360	0.442	565.1	47.2	5.1GY	5.58/5.6
2	0.270	0.366	0.437	567.7	47.6	3.8GY	5.73/5.4
3	0.292	0.367	0.438	567.8	48.0	3.7GY	5.93/5.6
4	0.296	0.365	0.436	567.6	47.0	3.8GY	5.96/5.6
7	0.319	0.368	0.428	569.0	45.8	2.8GY	6.15/5.2

Table 5. Effects of storage temperature on color of dehydrated carrots

	Yellowness(A-B)/G		Luminous Reflectance G, %	
	a	b	a	b
Original sample	1.33	1.27	16.7	17.8
Stored 3 months in air at 30°F	1.34	1.29	17.3	17.8
Stored 3 months in air	1.31	1.30	17.2	16.4
Stored 3 months in air at 70°F	1.26	1.41	18.4	13.6
Stored 3 months in air at 100°F	1.20	1.43	20.8	14.2

a. Treated with starch

b. Treated with ascorbic acid

기를 적용한 예로서 여러 다른 온도에서 저장한 당근에 있어서의 색깔변화에 관한 연구결과를 들 수 있다(Table 5).

즉 이 결과는 수확 후 전분 또는 ascorbic acid로 처리한 당근을 30°, 40°, 70°, 100°F에서 3개월간 저장하는 동안 일어나는 색도의 변화를 관찰한 것이다.

표에서 보는 바와 같이 저장온도는 당근색소의 변화의 주요인자임을 알 수 있으며 처리방법이 다른 온도증가에 따라 다른 양상의 색깔변화를 초래한다는 사실을 주목할 수 있다.

G factor가 고려될 때, 전분으로 처리된 시료는 lighter & less red가 되는 반면, ascorbic acid로 처리된 시료는 저장온도가 높아짐에 따라 darker &

less red로 변화된다. 즉 전분으로 처리된 시료는 표백되어 선명한 색으로 나타나고, ascorbic acid로 처리된 당근은 흐릿하고 어두운 색깔로 변한다.

앞에서 설명한 방법들은 식품의 색깔을 측정하거나 평가하는 과정에서 품질결정에 人的 要素가 크게 작용하지 않는 객관적인 방법이다. 그러나 특수한 색깔을 色度の 값(Y, x, y)로나 主波長 및 純度만으로 표시하는 것은 어려운 일이다. 또한 측정에 사용되는 기계 자체의 고유한 오차로 인하여 다소 다른 색도의 차이를 조래할 수 있으며 I.C.I. 色度圖에서 길이의 차이에 따라 동일한 색도 변화를 의미할 수 없다는 점에 유의하여야 할 것이다. 이런 이유로 해서 I.C.I. data를 다른 표기방법으로 전환하는 표나 chart를 이용해서 측정된 색도 차이를 더 쉽게 표시할 수 있는 방법이 요구되었고, 객관적 기기 분석 결과로 얻어진 I.C.I. Value는 세 개의 심리적 색깔 속성인 색상(hue), 명도(value), 純度 또는 색의 강도(chroma)로 표시되는 Munsell 표기법으로 바꿀 수 있게 되었다¹⁷⁾. 더우기 사람의 눈은 색깔의 조그마한 차이에도 예민하지만 색깔에 대한 기억력은 신뢰성이 적은 편이어서 이러한 결점을 보완하기 위하여 도안된 Munsell 색깔도표를 이용하여 직접적인 색깔 비교가 가능하게 되었다.

따라서, Table 3 및 Table 4에서 보는 바와 같이 식물성 또는 동물성 식품재료의 일차크기, 성숙도, 품종별, 성장조건 등에 따라 품종의 등급을 결정하거나 또는 냉동과일의 해동시간별 조직변화, 조리된 저장기간 및 저장온도별 식품의 물리·화학적 특성을 측정하는데 I.C.I. System 및 Munsell 표기법 등을 併用함으로써 식품의 색도변화를 측정하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

要 約

식품이 가지고 있는 고유한 색깔은 소비자의 기호성 또는 영양학적 가치의 지표가 될 수 있으며 가공 및 저장처리조건에 따른 식품의 중요한 인자로 작용할 수 있다. 따라서, 본 실험에서는 식물성 식품재료의 품종, 성숙도, 성장조건(온도, 수분, 제조공정별)에 따른 Surface color change를 color & color difference meter와 Munsell disc 色度計로 X, Y, Z 값을 측정하고 공식에 의하여 Y (one of variation in luminous reflectance), x, y (chromaticity)를 구하여 이로부터 작성한 색도좌표상에서 식품의 색상(hue) 및 강도(chroma)를 산출하여 식품의 색도

변화를 검토하였다.

이와 같이 color & color difference meter와 같은 reflectometer를 이용하여 얻은 data를 중심으로 각각의 chromaticity diagram을 작성, 식품의 저장 및 가공처리별 색도변화를 측정하여 이것을 토대로 식품 품질의 특성을 판정할 수 있는 좋은 기초자료를 얻을 수 있었다.

謝 辭

본 연구수행에 있어 시료의 구입, 기기사용, 표준 spectrum의 제공 등 협조와 조언을 주신 Texas Tech Univ.의 Dr. Anderson 및 Dr. Eastmond께 깊은 감사를 드리는 바입니다.

文 獻

1. Grassman, H.: *Philosophical Mag. and J. Sci.*, 7(4), 254(1854)
2. Grassman, H.: *Ann. der Physik und Chemic.*, 89, 69(1853)
3. Judd, D. B.: *Color in Business Science and Industry*, John Wiley & Sons, New York, 401(1952)
4. Hunter, R. S.: *Nat'l Bur. Stand. Citc.*, 429 (1942)
5. Wright, W. D.: *The Measurement of Color*, 3rd Ed. D. Van Nostrand Co., New York, N. Y., (1964)
6. Mackinney, G. and Little, A.C.: *Color of Foods*, Avi Publishing Co., Westport, Conn., (1962)
7. Hardy, A. C. and M.I.T. staff members: *Handbook of Colorimetry*. Technology Press Cambridge, Maa., 8(1936)
8. Nickerson, D.: *Use of I. C. I. Tristimulus values in disc colorimetry*, U. S. Dept. Agr. Prelim. Rept., (1938)
9. Nickerson, D.: *Color measurement and its application to the grading of agricultural products*. U. S. Dept. of Agr. Misc. Publ., 580(1946)
10. McCollum, J.P.: *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 44, 398(1944)

11. Mackinney, C. A., Little, A. C. and Brinner, L.: *Food Tech.*, **20**, 1300(1966)
12. Kramer, A. and Smith, H. R.: *Food Research*, **11**, 14(1946)
13. Chung, K. M., Cho, S. H. and Kim, Z. U.: *J. Korean Agricultural Chemical Society*, **24**, 200(1981)
14. Francis, F. J. and Clydesdale, F. M.: *Food, Colorimetry, Theory and Application*, AVI., 439(1975)
15. Smith, O. and Davis, C. O.: *Am. Pot. J.*, **39**, 135(1962): *Potato Chipper*, **21**, 84(1962)
16. Hunter, R. S.: *J. Opt. Soc. Am.*, **48**, 985 (1958)
17. Kramer, A. and Twigg, B. A.: *Advances in Food Research*, **9**, 165(1959)