# 分光反射特性과 三刺戟値를 利用한 복숭아의 品質評價

# Quality Evaluation Using Spectral Reflectance and Tristimulus Values of Peaches

金容顯*
Y. H. Kim

## Summary

In order to evaluate the quality of peaches non-destructively, the surface color and spectral reflectances of KURAKATAWASE, MIBAEKTO, and OKUBO cultivar were measured. Also an attempt was made to correlate reflectance characteristics and tristimulus values with quality evaluation parameters such as chlorophyll content, soluble solids, anthocyanin content, and firmness. Further analysis of the correlation coefficients showed that spectral reflectance would be effective for the quality evaluation of peaches.

## 1. 緖 論

국내에서 수확된 복숭아는 다른 과실의 경우와 마찬가지로 着色度, 크기, 외관상태 등이 주로 肉眼에 의해서 선별되어 출하되고 있다. 그러나 소비자의 고품질 과실에 대한 소비 성향은 熟度 및 糖度에 기초하여 품질을 평가할 수 있는 선별 기술의 개발을 요구하고 있다.

인간의 육안은 사물의 수많은 색을 식별할 수 있으나, 대상 물체의 착색도를 반복적으로 결정하는 데 있어서 동일한 기준을 지속적으로 적용하는 능력은 빈약할 수 밖에 없다. 더구나, 육안의 피로, 색 저장 능력의 결핍, 관찰자의 심리상태 및 관찰자 사이의 식별능력의 차이, 선별 장소의 光條件등은 과실의 색상 판정에 지대한 영향을 미치게 된다. 그러므로 과실의 착색도를 결정하는 과정에서 상기의 요소를 제거하기 위하여 分光光度計 또는 色彩色差計와 같은 기구가 사용된다.

분광광도계는 파장을 변화시키는 가운데 측정된 반사도를 기준으로 표면의 색을 결정하는데 널리 사용된다. 색채색차계는 필터와 센서를 사용하여 일정한 복사에너지를 갖는 각 파장에서 單色光에 대한 三刺戟値(tristimulus values)를 결정한다. 여기에서 삼자극치는 적색, 녹색, 청색의 주어진 三原色을 더하여 어떤 색 또는 빛을

* 全北大學校 農業機械工學科

만드는 데 필요한 양을 의미하며 적색, 녹색, 청색의 해당량을 각각 X,Y,Z 로 나타낸다. 이와 같은 삼자극치는 좌표 변환에 의해서 색의 3가지 속성 즉, 색상(hue), 명도(saturation or value), 채도(intensity or chroma)로 표시할 수 있다. 색상은 적색(R), 황색(Y), 녹색(G), 청색(B), 자색(P)과 각색의 중간색에 해당되는 주황(YR), 연두(GY), 청록(BG), 남색(PB), 자주(RP)의 10가지를 기본 색상으로 정하여 반사된 빛 가운데 상기 색이 얼마나 지배하는지를 의미한다. 명도는 색의 밝기를 나타낸 것으로서 無彩色을 기본으로 하여 이상적인 흑색을 0, 이상적인 백색을 10 으로 표시한다. 채도는 색의 純度를 의미하는 것으로서 무채색의 경우를 0 으로 하고 채도 순서의 등간격에 따라 수치가 증가하여 純色의 채도가 최대로 된다.

복숭아의 果皮色으로 熟度를 정할 수 있는 기준으로 Bittner와 Norris (1968)는 550~590nm 범위의 한 波長과 600~640nm 범위의 또 다른 파장의 反射度 比率, Clark와 Shackelford(1973)는 657nm와 625nm 파장에서 反射度 比率을 제시하였다. Kawano等(1989)은 복숭아의 糖度를 측정하고자 近赤外分光法을 사용하여 680~1,235nm 범위에서 反射度를 측정하였고, 積分球를 사용한 다른 방법에서는 1,100~2,500nm 범위의 波長領域에서 反射 特性을 살펴보았다.

국내에서 과실의 광학적 특성을 이용한 품질평가 방법에 관한 연구로는 김(1992)이 사과의 후지 품종을 대상으로 400~700nm의 파장 범위에서 분광반사 특성과 비파괴 품질평가인자와의 상관관계 구명을 처음으로 시도한 바 있다. 이들은 광원과 시료, 시료와 감지기 사이에서 광의 효과적인 전달을 위하여 光纖維 다발을 제작하여 사용하였다. 한편, 노(1992)는 흑백영상처리를 이용하여 사과의 크기 및 색택을 판정하였으며, 배(1992)는 표면반사율에 의한 사과의 색상 선별을 시도하였다.

本 硏究는 可視光線 영역의 光을 이용하여 복숭아의 분광반사 특성 및 표면색의 삼자극치를 측정하여 定量化하고, 분광반사 특성 및 삼자극치를 이용하여 복숭아의 품질을 평가하고자 시도되었다.

## 2. 材料 및 方法

### 가. 공시재료

복숭아의 품질을 평가하고자 전북 완주지역의 농가에서 재배된 창방조생(Kurakatawase), 미백도(Mibaekto), 대구보(Okubo)의 3개 품종을 공시재료로 선정하였다.

공시재료 가운데 미백도와 대구보는 수확 직후 각 품종별로 육안에 의해서 未熟, 適熟 정도가 구분되는 것을 각각 20개씩 선택하여 분광반사 특성과 삼자극치를 측정하였다. 한편, 창방조생의 경우 10개를 공시재료로 사용하였다.

### 나. 표면색의 측정

공시재료의 표면색을 측정하고자 색채색차계(Minolta Chroma Meter, CR－200)를 사용하였다. 색채색차계는 국제조명위원회(Commission Internationale De L'eclarage, CIE)에서 규정한 標準光源 C를 채택하였으며, 백색교정판(Y＝93.5, x＝0.3114, y＝0.3190)을 표준반사판으로 사용한 가운데 표면색의 삼자극치 Yxy를 측정한 후 좌표변환에 의해서 $L^*a^*b^*$, Munsell 값 등을 표시할 수 있다. 표면색의 삼자극치는 복숭아의 적도 둘레를 따라 90° 간격으로 위치한 부위에서 4 회 측정한 값의 평균치에 해당된다.

### 다. 분광반사특성의 측정

복숭아의 분광반사 특성을 측정하는 데 사용된 측정 시스템은 김(1992)이 사과의 분광 반사 특성을 측정하기 위하여 제작한 시스템중의 일부를 개조한 것이다. 광원에서 발생된 광은 帶域通過필터에 의해서 單色光으로 바뀐 후 광섬유 다발의 한 가닥을 통하여 0°의 입사각으로 시료

표면에 전달되며, 시료 표면에서 반사된 광은 45°방향에 위치한 광섬유 다발의 다른 가닥을 통하여 光電子增倍管에 의해서 감지된다. 반사도는 삼자극치의 측정 부위와 동일한 곳에서 4회 측정한 값의 평균치에 해당된다.

공시재료의 반사도는 표준반사판에서 반사된 에너지에 대한 시료표면에서의 반사에너지의 比로서 정의되며 다음 식과 같이 표시된다. 표준반사판은 Minolta Camera Co. 에서 제작한 색채색차계의 백색교정판을 사용하였다.

$$R=\frac{I_r}{I_o}\times 100\ (\%) \quad \cdots\cdots (1)$$

R : 반사도(%)

Io : 표준반사판에서 반사된 에너지

Ir : 시료표면에서 반사된 에너지

### 라. 광학적 특성과 품질평가요소의 상관관계 분석

분광반사특성 및 표면색의 삼자극치 측정에 사용된 동일한 복숭아의 품질평가요소에 해당되는 葉綠素(chlorophyll) 함량, 可溶性 固形物質(soluble solids), 안토시아닌(anthocyanin) 함량, 경도(firmness)를 측정하였다. 葉綠素 含量은 분광광도계(Gilford 260)를 이용하여 651nm와 664nm 에서의 吸光度를 측정한 후 전체 엽록소 함량을 결정하였고, 안토시아닌 含量은 535 nm 에서의 흡광도에 의해서 계산되었다. 簡易屈折糖度計 (Atago No.1)가 Brix 로 표시되는 可溶性 固形物質을 측정하는데 사용되었으며, 경도는 Universal 경도계를 사용하여 측정하였다.

복숭아의 품질을 평가할 수 있는 기준을 제시하고자 공시재료의 분광반사 특성 및 표면색의 삼자극치와 품질평가요소와의 單純相關關係를 분석하였다. 분광 반사도와 품질평가 요소의 상관관계 분석을 위하여 單一波長에서의 反射度, 두 파장 사이의 反射度差 및 두파장 사이의 反射度比를 이용하였다. 삼자극치와 품질평가요소의 상관관계 분석에는 Yxy와 L*a*b*를 사용하였다.

## 3. 結果 및 考察

### 가. 복숭아 표면색의 판정 및 CIE 색좌표

색채색차계를 이용하여 측정한 창방조생, 미백도, 대구보의 표면색에 대한 Yxy와 L*a*b*의 평균 및 표준편차가 표 1 에 실려 있다. 국제조명위원회가 1976년에 결정한 L*a*b* 색좌표계는 均等知覺 色空間으로서 L*는 명도, a*와 b*는 색상과 채도를 표시하는 색도를 의미한다. a*가 陰의 값을 가질 때 綠色에 근사함을 의미하며, 陽의 값은 赤色에 가까움을 표시한다. 표 1로부터 미백도와 대구보의 표면색이 綠色에 근접함을 알 수 있으며 이 같은 경향은 미백도에서 두드러지게 나타났다. 창방조생의 경우 미백도 또는 대구보에 비해서 표면에 赤色이 현저하게 분포되어 있는 것으로 나타났다. 한편, 모든 공시재료의 숙도가 진행될 수록 적색이 차지하는 비중이 높게 나타났으며, 이와 같은 현상은 창방조생과 대구보에서 크게 나타났다.

창방조생, 미백도, 대구보의 색좌표가 그림 1,2 및 3 에 실려 있다. 색좌표로부터 결정된 공시재료 표면색의 主波長이 표 2에 실려 있다. 표 2에서 볼 수 있는 바와 같이 주파장의 下限은 562~572nm 로서 공시재료의 품종에 따라 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나, 주파장의 上限은 미백도에서 582nm, 대구보는 600nm, 창방조생은 780nm 로 나타나 미백도와 대구보에 비해서 창방조생의 경우에서 차이가 매우 크게 나타남을 알 수 있다. 이와 같이 창방조생에서 차이가 크게 나타난 이유로는 품종 특성상 창방조생이 공시재료의 다른 품종에 비해서 赤色의 發現이 많이 이루어진 결과로 판단된다.

### 나. 분광반사 특성

복숭아 가운데 창방조생, 미백도, 대구보 품종의 未熟, 適熟果에 대한 果皮의 분광반사특성이 그림 4, 5 및 6 에 실려있다. 그림에서 사용된 기호 LM1, LM2는 공시재료 가운데 엽록소 함량이 비교적 많은 복숭아의 반사특성을 나타내며, M

1, M2 는 상대적으로 엽록소 함량이 적은 복숭아의 반사특성을 나타낸 것이다.

창방조생의 경우 그림 4 에서 알수 있는 바와 같이 엽록소 함량이 비교적 많은 복숭아의 경우 600nm의 黃色光에 이르기까지 반사도가 증가하다가 650nm 의 赤色光 파장에서 반사도가 다소 감소한 후 다시 증가하는 것으로 나타났다. 엽록소 함량이 적은 경우 650nm 의 赤色光에 이르기까지 반사도가 계속 증가하나 그 이후 파장에서는 일정한 반사특성을 나타내었다. 한편, 엽록소 함량이 상대적으로 적은 복숭아의 경우 엽록소 함량이 비교적 많은 경우와 비교할 때 400~600nm 의 파장범위에서 반사도가 다소 낮게 나타났으나 650nm 이후에서는 오히려 높게 나타났다. 이러한 이유는 엽록소 함량의 차이와 더불어 표면에서 赤色의 着色정도가 엽록소 함량이 비교적 적은 복숭아에서 높게 나타났기 때문인 것으로 판단된다.

그림 5의 미백도 품종에 대한 반사특성을 살펴보면 400~700nm 의 파장 범위에서 엽록소 함량이 상대적으로 적은 적숙과의 반사도가 엽록소 함량이 많은 미숙과에 비해서 10~35% 정도 높게 나타남을 알 수 있다. 특히 이러한 차이는 550nm와 600nm 부근에서 높게 나타났다. 그러므로 미백도 품종의 숙도를 판정할 때 550nm와 600nm 를 이용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

그림 6 의 대구보에 대한 반사특성은 미백도의 경우에서와 마찬가지로 엽록소 함량이 적은 적숙과의 반사도가 엽록소 함량이 많은 미숙과에 비해서 전체적으로 높게 나타났는 데 이러한 차이가 600nm 부근에서 최고로 높게 나타났다. 대구보의 경우 미숙과와 적숙과 모두 600nm에 이르기까지 반사도가 증가하였으나 650nm에서 다소 감소한 후 700nm에서는 증가하는 것으로 나타났다.

### 다. 광학적 특성과 품질평가요소의 상관계수

창방조생 품종에 대한 單一波長에서의 反射度, 두 파장 사이의 反射度差 및 두 파장 사이의 反射度比와 품질평가요소의 相關係數 가운데 最高値를 비교하여 나타낸 것이 표 3에 실려있다. 표로부터 알 수 있는 바와 같이 엽록소함량에 대한 상관계수의 최고치는 단일 파장에서의 반사도 즉, 700nm 에서의 반사도($R_{700}$)에서 陰의 상관관계를 갖는 가운데 −0.8275로 가장 높게 나타나 1% 수준에서 有意性이 인정되었다. 가용성 고형물질의 경우 두 파장 사이의 반사도비 즉, 500nm 에서의 반사도에 대한 550nm 에서의 반사도비($R_{550/500}$)에서 −0.8128 의 최고치를 나타내었다. 안토시아닌 함량에 대한 상관계수의 최고치는 단일 파장에서의 반사도 $R_{700}$에서 0.7437로 나타났고, 경도는 두 파장 사이의 반사도비 $R_{700/550}$에서 0.7794의 최고치를 나타내었다.

표 4 는 미백도 품종에 대한 상관계수의 최고치를 나타낸 것이다. 상관계수의 최고치는 엽록소 함량의 경우 단일 파장에서의 반사도 $R_{500}$에서 −0.8270, 가용성 고형물질은 $R_{650}$에서 0.8754, 안토시아닌 함량은 두 파장 사이의 반사도비 $R_{700/600}$에서 −0.7651, 경도는 두 파장 사이의 반사도차 즉, 600nm 와 550nm 에서의 반사도차($R_{600-500}$) 에서 −0.8959의 최고치를 나타낸 가운데 모두 0.1% 수준에서 高度의 有意性이 인정되었다.

대구보 품종에 대한 상관계수의 최고치가 표 5에 실려 있다. 상관계수의 최고치는 가용성 고형물질과 안토시아닌 함량의 경우 두 파장 사이의 반사도차 $R_{700-500}$과 $R_{600-550}$에서 각각 0.8399 및 0.8528 을 나타내었다. 한편, 엽록소 함량과 경도에 대한 상관계수는 단일 파장에서의 반사도 $R_{650}$과 $R_{500}$에서 각각 −0.7955 및 −0.7170 로서 최고치를 나타내었다.

색차색차계를 이용하여 측정한 표면색의 Yxy 및 L*a*b*와 품질평가요소의 상관계수 및 이에 대한 유의성 검정 결과가 표 6, 7, 8에 실려 있다. 표 6은 창방조생에 대한 결과로서 경도는 x 값을

제외한 다른 모든 값에서 5% 의 유의성을 나타낸 가운데 b*의 상관계수가 −0.7417 로서 최고치를 나타내었다. 한편, 가용성 고형물질의 경우 a*에서 0.6621을 나타내었을 뿐, 나머지 요소에서는 유의성이 인정되지 않는 것으로 나타났다.

표 7에 제시한 미백도의 경우 엽록소 함량과 가용성 고형물질에 대한 상관계수의 최고치는 y 값에서 각각 0.7417 및 −0.8417을 나타내어 0.1 % 수준의 유의성이 인정되었다. 경도와 안토시아닌 함량은 a*에서 −0.7188 및 0.6322의 최고치를 나타낸 가운데 각각0.1% 와 1% 수준에서 유의성이 있는 것으로 분석되었다.

대구보에 대한 상관계수를 제시한 표 8에서 볼 수 있는 바와 같이 엽록소 함량과 가용성 고형물질에 대한 상관계수의 최고치는 모두 y 값에서 각각 0.6966 및 −0.7030 을 나타내어 0.1% 수준의 유의성이 인정되었다. 안토시아닌 함량은 a*에서 0.7646 의 최고치를 나타낸 가운데 0.1% 수준에서 고도의 유의성이 있는 것으로 분석되었다.

표면색의 Yxy 및 L*a*b*와 품질평가요소의 상관계수를 살펴본 결과 공시재료 가운데 창방조생을 제외하면 엽록소 함량과 가용성 고형물질의 평가에는 y 값이, 안토시아닌 함량의 경우 a* 값이 상대적으로 有效한 것으로 판단된다. 한편, 상관계수를 기준으로 분광반사 특성 및 삼자극치와 품질평가요소의 상관관계를 비교한 결과 분광반사 특성에서의 상관계수가 삼자극치에 비해서 전체적으로 높게 나타나 복숭아의 창방조생, 미백도, 대구보 품종의 품질을 평가할 때 분광반사 특성을 이용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

## 4. 結 論

복숭아의 품질을 非破壞的으로 평가하고자 창방조생, 미백도, 및 대구보 품종에 대하여 400~700nm 에서의 分光反射特性 및 표면색의 三刺敏値를 측정하였다. 또한, 복숭아의 품질을 평가할 수 있는 기준을 제시하고자 분광반사 특성 및 삼자극치와 품질평가요소의 相關關係를 분석한 후 相關係數의 最高値를 비교하였다. 이상의 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 색좌표에서 결정된 主波長의 下限은 562~572nm 로서 공시재료의 품종에 따라 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 주파장의 上限은 미백도에서 582nm, 대구보는 600nm, 창방조생은 780nm 로 나타나 품종간의 차이가 매우 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 창방조생이 공시재료의 다른 품종에 비해서 赤色의 發現이 많이 이루어졌기 때문이다.

2) 창방조생에서 엽록소 함량이 비교적 적은 과실의 반사도가 엽록소 함량이 많은 것과 비교할 때 600nm에 이르기까지 다소 낮게 나타났으나, 650nm 이후에서는 높게 나타났다. 미백도와 대구보 품종에서는 엽록소 함량이 적은 과실의 반사도가 엽록소 함량이 많은 것과 비교할 때 400~700nm 범위에서 전체적으로 높게 나타났다. 이러한 차이는 550nm와 650nm 부근에서 높게 나타났다.

3) 單一波長에서의 반사도, 두 파장 사이의 反射度差 및 두 파장 사이의 反射度比와 품질평가요소의 相關係數를 비교하였다. 창방조생의 엽록소함량에 대한 상관계수의 최고치는 단일 파장에서의 반사도 $R_{700}$에서 陰의 상관관계를 갖는 가운데 −0.8275로 가장 높게 나타났으며, 가용성 고형물질은 두 파장 사이의 반사도비 $R_{550/500}$에서 −0.8128 의 최고치를 나타내었다. 미백도에서 상관계수는 경도의 경우 $R_{600-500}$에서 −0.8959의 최고치를 나타내었고, 가용성 고형물질은 $R_{650}$에서 0.8754, 엽록소 함량의 경우 $R_{500}$에서 −0.8270 로 나타났다. 대구보 품종에 대한 상관계수의 최고치는 가용성 고형물질과 안토시아닌 함량의 경우 $R_{700-540}$과 $R_{600-550}$에서 각각 0.8399 및 0.8528 을 나타내었다.

4) 표면색의 Yxy 및 L*a*b*와 품질평가요소의 상관계수를 살펴본 결과 창방조생을 제외하면 엽록소 함량과 가용성 고형물질의 평가에는

y값이, 안토시아닌 함량의 경우 a* 값이 상대적으로 有效한 것으로 판단된다.

5) 상관계수를 기준으로 분광반사특성 및 三刺戟値와 품질평가요소의 상관관계를 비교한 결과 분광반사특성에서의 상관계수가 삼자극치에 비해서 전체적으로 높게 나타나 공시재료의 품질을 평가할 때 분광반사 특성을 이용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

## 參 考 文 獻


1. 김용현, 김철수, 김성봉, 김몽섭, 신건철. 1992. 사과의 분광반사특성과 비파괴 품질평가인자와의 상관관계 구명. 한국농업기계학회지 17(4) : 370－381.
2. 노상하, 이종환, 이승훈. 1992. 흑백영상처리를 이용한 과실선별기 개발에 관한 연구(Ⅰ)－크기 및 색택 판정－. 한국농업기계학회지 17(4) : 354－362.
3. 배영환. 1992. 표면반사율에 의한 사과의 색상선별. 한국농업기계학회지17(4) : 382－395.
4. Bittner, D.R. and K.H. Norris. 1968. Optical properties of selected fruits vs maturity. Trans. of the ASAE 11(4) : 534－536.
5. Clark, R.L. and P. S. Shackelford, Jr. 1973. Resonance and optical properties of peaches as related to flesh firmness. Trans. of the ASAE 16(6) : 1140－1142.
6. Kawano, S., H. Watanabe, and M. Iwamoto. 1989. Measurement of sugar contents in intact peaches by NIRS. Proc. of the 2nd International NIRS Conference, Tsukuba, Japan.
7. Kim, Y.H., C.S. Kim, and C.H. Lee. 1993. Correlation between non-destructive quality evaluation parameters and spectral reflectance of peaches. Proceedings of the International Conference for Agricultural Machinery & Process Engineering. Oct. 19－22, Seoul, Korea.


Table 1. Color space coordinates values obtained from a Minolta CR-200 chroma meter.

| Cultivar | Y | x | y | L* | a* | b* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| KURAKATAWASE | | | | | | |
| (less matured) | | | | | | |
| Mean | 36.27 | 0.386 | 0.369 | 66.51 | 7.52 | 25.03 |
| S.D. | 5.41 | 0.011 | 0.014 | 4.26 | 7.21 | 3.12 |
| (fully matured) | | | | | | |
| Mean | 30.56 | 0.401 | 0.347 | 61.46 | 18.13 | 20.24 |
| S.D. | 8.00 | 0.014 | 0.014 | 7.31 | 7.07 | 3.60 |
| MIBAEKTO | | | | | | |
| (less matured) | | | | | | |
| Mean | 43.62 | 0.369 | 0.408 | 71.86 | －10.05 | 34.22 |
| S.D. | 4.26 | 0.006 | 0.010 | 3.15 | 3.49 | 2.58 |
| (fully matured) | | | | | | |
| Mean | 44.26 | 0.369 | 0.393 | 72.10 | －5.81 | 30.54 |
| S.D. | 6.05 | 0.007 | 0.013 | 3.98 | 2.86 | 4.79 |
| OKUBO | | | | | | |
| (less matured) | | | | | | |
| Mean | 39.42 | 0.375 | 0.399 | 68.82 | －5.13 | 31.88 |
| S.D. | 6.11 | 0.011 | 0.015 | 4.49 | 7.18 | 3.45 |
| (fully matured) | | | | | | |
| Mean | 33.07 | 0.394 | 0.372 | 63.47 | 8.11 | 25.98 |
| S.D. | 8.88 | 0.024 | 0.018 | 7.83 | 10.66 | 3.71 |

Table 2. Range of dominant wavelength of the surface color of the peaches obtained from the chromaticity coordinates.

| Cultivar | Range of dominant wavelength |
|---|---|
| KURAKATAWASE | 572nm~780nm |
| MIBAEKTO | 562nm~582nm |
| OKUBO | 565nm~600nm |

Table 3. Comparison of the highest correlation coefficients for the three different model of 'KURAKATAWASE' cultivar.

| Model variable | Chlorophyll | Soluble solids | Anthocyanin | Firmness |
|---|---|---|---|---|
| Single wavelength ($R_{\lambda 1}$) | $-0.8275^{**}$ ($R_{700}$) | $0.6769^{*}$ ($R_{700}$) | $0.7437^{**}$ ($R_{700}$) | $-0.6705^{*}$ ($R_{550}$) |
| Difference ($R_{\lambda 1}-R_{\lambda 2}$) | $-0.6040$ ($R_{700-500}$) | $0.6947^{*}$ ($R_{600-550}$) | $0.6724^{*}$ ($R_{700-500}$) | $0.6510^{*}$ ($R_{700-550}$) |
| Ratio ($R_{\lambda 1}/R_{\lambda 2}$) | 0.4847 ($R_{550/500}$) | $-0.8128^{**}$ ($R_{550/500}$) | 0.4674 ($R_{650/600}$) | $0.7794^{**}$ ($R_{700/550}$) |

* means significance level at the 5%
* * means significance level at the 1%

Table 4. Comparison of the highest correlation coefficients for the three different model of 'MIBAEKTO' cultivar.

| Model variable | Chlorophyll | Soluble solids | Anthocyanin | Firmness |
|---|---|---|---|---|
| Single wavelength ($R_{\lambda 1}$) | $-0.8270^{***}$ ($R_{500}$) | $0.8754^{***}$ ($R_{650}$) | $-0.6816^{***}$ ($R_{550}$) | $-0.8623^{***}$ ($R_{600}$) |
| Difference ($R_{\lambda 1}-R_{\lambda 2}$) | $0.7232^{***}$ ($R_{700-600}$) | $-0.7425^{***}$ ($R_{700-650}$) | $-0.7650^{***}$ ($R_{700-600}$) | $-0.8959^{***}$ ($R_{600-500}$) |
| Ratio ($R_{\lambda 1}/R_{\lambda 2}$) | $0.7603^{***}$ ($R_{700/500}$) | $-0.7562^{***}$ ($R_{700/650}$) | $-0.7651^{***}$ ($R_{700/600}$) | $0.8623^{***}$ ($R_{700/600}$) |

* * * means significance level at the 0.1%

Table 5. Comparison of the highest correlation coefficients for the three different model of 'OKUBO' cultivar.

| Model variable | Chlorophyll | Soluble solids | Anthocyanin | Firmness |
|---|---|---|---|---|
| Single wavelength ($R_{\lambda 1}$) | $-0.7955^{***}$ ($R_{650}$) | $0.8112^{***}$ ($R_{700}$) | $0.8115^{***}$ ($R_{700}$) | $-0.7170^{***}$ ($R_{500}$) |
| Difference ($R_{\lambda 1}-R_{\lambda 2}$) | $-0.7702^{***}$ ($R_{600-500}$) | $0.8399^{***}$ ($R_{700-500}$) | $0.8528^{***}$ ($R_{600-550}$) | $0.5468^{***}$ ($R_{700-650}$) |
| Ratio ($R_{\lambda 1}/R_{\lambda 2}$) | $0.7563^{***}$ ($R_{700/650}$) | $0.7559^{***}$ ($R_{650/550}$) | $0.8078^{***}$ ($R_{600/550}$) | $0.5750^{***}$ ($R_{700/650}$) |

* * * means significance level at the 0.1%

Table 6. Comparison of the correlation coefficients for the tristimulus values of 'KURAKATAWASE' cultivar.

| Tristimulus values | Chlorophyll | Soluble solids | Anthocyanin | Firmness |
|---|---|---|---|---|
| Y | 0.1871 | −0.3646 | −0.2428 | −0.6767* |
| x | −0.4260 | 0.5879 | 0.5517 | 0.6209 |
| y | 0.4448 | −0.6209 | −0.4697 | −0.6992* |
| L* | 0.1707 | −0.3266 | −0.1936 | −0.6762* |
| a* | −0.4805 | 0.6621* | 0.5643 | −0.6528* |
| b* | 0.3797 | −0.5626 | −0.3644 | −0.7417* |

* means significance level at the 5%

Table 7. Comparison of the correlation coefficients for the tristimulus values of 'MIBAEKTO' cultivar.

| Tristimulus values | Chlorophyll | Soluble solids | Anthocyanin | Firmness |
|---|---|---|---|---|
| Y | −0.3142 | 0.2025 | −0.3384 | −0.0710 |
| x | 0.1723 | −0.3290 | 0.1559 | −0.1199 |
| y | 0.7417*** | −0.8417*** | −0.5468* | 0.6358** |
| L* | −0.2622 | 0.1561 | −0.3823 | −0.0429 |
| a* | −0.7163*** | 0.7757*** | 0.6322** | −0.7188*** |
| b* | 0.6498** | −0.7597*** | −0.5668** | 0.5224* |

* means significance level at the 5%
** means significance level at the 1%
*** means significance level at the 0.1%

Table 8. Comparison of the correlation coefficients for the tristimulus values of 'OKUBO' cultivar.

| Tristimulus values | Chlorophyll | Soluble solids | Anthocyanin | Firmness |
|---|---|---|---|---|
| Y | 0.2094 | −0.4923* | −0.5692** | −0.3559 |
| x | −0.4002 | 0.5841** | 0.6631** | −0.1159 |
| y | 0.6966*** | −0.7030*** | −0.7545*** | 0.1916 |
| L* | 0.1948 | −0.4852* | −0.5687** | −0.3724 |
| a* | −0.6260** | 0.7025*** | 0.7646*** | −0.0906 |
| b* | 0.6547** | −0.6750** | −0.7206*** | 0.1279 |

* means significance level at the 5%
** means significance level at the 1%
*** means significance level at the 0.1%

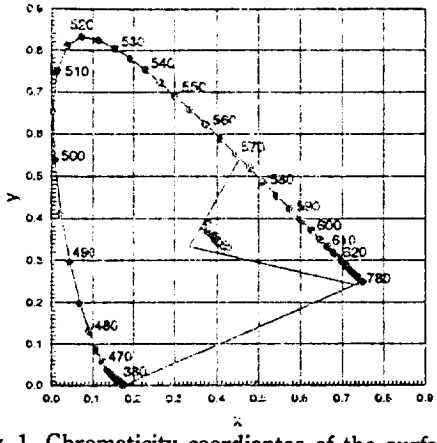


Fig. 1. Chromaticity coordiantes of the surface color of 'KURAKATAWASE' peaches.

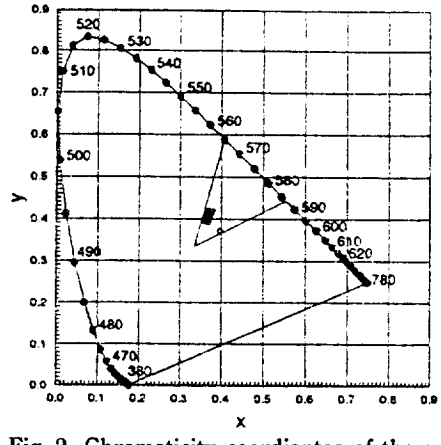


Fig. 2. Chromaticity coordiantes of the surtace color of 'MIBAEKTO' peaches.

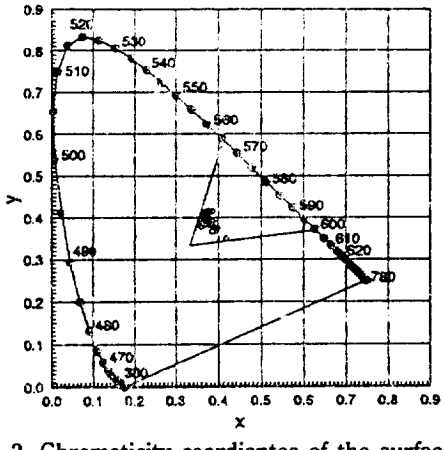


Fig. 3. Chromaticity coordiantes of the surface color of 'OKUBO' peaches.

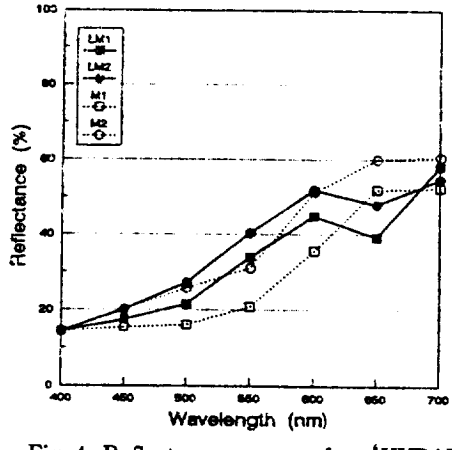


Fig. 4. Reflectance curves for 'KURAKATA-WASE' cultivar of peaches.

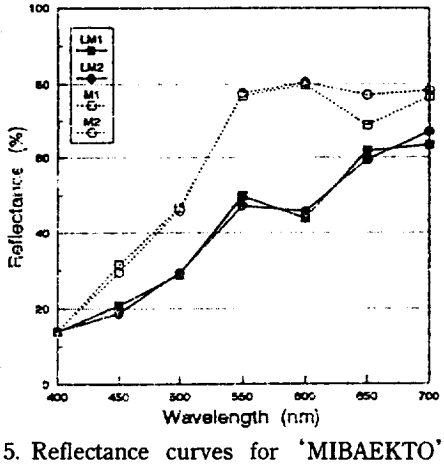


Fig. 5. Reflectance curves for 'MIBAEKTO' cultivar of peaches.

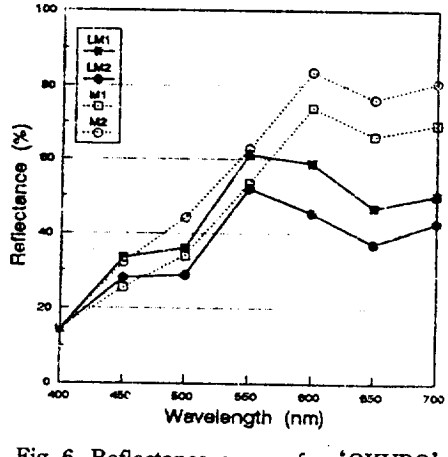


Fig. 6. Reflectance curves for 'OKUBO' cultivar of peaches.