画像解析による包装ブロッコリーの果色変化の評価

石川 豊*・牧野義雄**・佐藤博実***・平田 孝****

Evaluation of Color Changes in Broccoli Packaged with Plastic Films by a Computerized Image Analysis

Yutaka ISHIKAWA*, Yoshio MAKINO**, Hiromi SATOH***
and Takashi HIRATA****

* National Food Research Institute, 2-1-2, Kannondai, Tukuba-shi, Ibaraki 305

** Kagawa Food Research Institute, 587-1, Goto-cho, Takamatsu-shi, Kagawa 761

*** Iwate Horticultural Experiment Station, 20-1, Narita, Kitakami-shi, Iwate 024

**** Faculty of Agriculture, Kyoto University, Oiwake-cho, Kitashirakawa,
Sakyo-ku, Kyoto 606

An image analysis was proposed to estimate color changes of broccoli in plastic films. Fresh broccoli was packaged with perforated low density polyethylene (P-PE), non-perforated low density polyethylene (PE : film thickness 18.7 μm) and polypropylene (PP : film thickness 30.1 μm), and stored at 15°C, 90% RH. Surface color data of the broccoli florets were taken by RGB color system (512×480 pixels, 8 bits). Transformation of the color data to Munsell color system using hue, chromaticness and lightness was proved to be effective to eliminate the various interference caused by the packaging film. Estimation of color changes using the image analysis was more closely correlative with sensory score than pigment contents including chlorophyll and carotenoid, and the Hunter Lab value.

(Received Jan. 26, 1995)

MA (Modified Atmosphere) 包装により青果物の品質保持を行うためには、適正な包装設計が不可欠であり、そのためには個々の青果物に対する適切な品質評価指標とその評価基準が必要となる。

一般に青果物の品質評価指標には、外観（大きさ・形・色など）、味、物理特性などがあるが、ブロッコリーの品質評価指標としては変色、異臭、カビ、腐敗の発生、アスコルビン酸含量などが重要である。特に輸送、貯蔵中において花らい部分に顕著な変色（黄化）が認められることが多く、花らいの色調が品質の評価指標として最も重要視される。

従来、青果物の色調を評価する方法として、目視¹⁾²⁾、

化学分析法によるクロロフィル、カロチノイド等の色素の定量^{2)~5)}、色彩計による Lab の測色⁴⁾⁵⁾ などが報告されている。しかし、MA 包装したブロッコリーの色調評価を行う上では、簡易かつ迅速である、非破壊的に測定できる、包装フィルムを開封することなくフィルムの上から測定できる、目視による評価値と一致するなど要求される条件は多く、これらを十分満足する最適な非破壊色調評価法に関する文献はほとんどない。

一方、農業用ロボットの分野では、果実収穫ロボットの視覚センサーにカラー TV カメラを用いた果実葉の識別^{6)~9)}、水稻葉身の画像データによる葉緑素含量の定量¹⁰⁾ など画像解析を用いた簡易迅速な非破壊色調評価

* 農林水産省食品総合研究所（〒305 茨城県つくば市観音台 2-1--2）

** 香川県食品試験場（〒761 香川県高松市郷東町 587-1）

*** 岩手県園芸試験場（〒024 岩手県北上市飯豊町成田 20-1）

**** 京都大学農学部（〒606 京都府京都市左京区北白川追分町）

法が導入されている。

そこで本報では、フィルム包装したブロッコリー花らい全体の貯蔵中における色調変化を、迅速かつ非破壊的に測定する画像解析法について検討した。

実験方法

1. 試料および包装材料

平成5年5月に土浦公設卸売市場で購入した埼玉県産のブロッコリー（Lサイズ、約200g～220g）を合計60点試験に供した。

包装資材として以下の1), 2), 3)の3種類のプラスチックフィルムからなる袋（21cm×29.5cm、表面積：約1240cm²）を用いた。1)袋の両面に直径6mmの穴を各面8個ずつ、計16個開けた有孔低密度ポリエチレンフィルム（以下P-PEと略記）、2)厚さ18.7μmの低密度ポリエチレンフィルム（PE）、3)厚さ30.1μmのポリプロピレンフィルム（PP）。

2. 貯蔵試験

ブロッコリーを上記の袋に1個ずつ入れて密封した後、15℃、90% R.H.の恒温恒湿の暗室で貯蔵した。貯蔵期間は、P-PE区は4日目では花らい全体が黄化したため4日間、PEおよびPP区は10日間とした。

3. 画像解析による測色

フィルム包装した状態のブロッコリーの画像を、距離約40cmの位置に左右1個ずつ置いた写真用ライト（岩崎電気、PRF 300w）による照明条件下で、スチルビデオ（ミノルタSB70）により撮影し、これを画像処理装置（日本アビオニクス、SPICCA-2、512×480画素、256階調）に転送し、花らい部の切り出し、濃度ヒストグラムの作成、マンセル表色系への変換などの解析処理を行った。なお、照明、スチルビデオの設定値（しぼり、シャッタースピードなど）等撮影条件は、実験期間中常に一定とした。

4. 官能評価

貯蔵中のブロッコリー花らい部の色調は、1：全体が緑色、2：よく見ると黄色がわかる、3：わずかに黄色、4：はっきりと黄色がわかる、5：ほぼ全体が黄色という5段階尺度法を用い、予め訓練した2名のパネリストにより評価し、平均値をもって官能評価値とした。

実験結果及び考察

1. 画像解析による花らい表面の測色

1.1 画像データの预处理

貯蔵前の緑色ブロッコリー花らい部分の表面色をRGB表色系の3原色である赤（R）、緑（G）、青（B）を用いて256階調（0～255）の濃度ヒストグラムで示した（Fig. 1）。R、G、B成分ともに輝度0に大きなピークがあることが認められたが、これはFig. 1に示した緑色ブロッコリーだけに見られる特徴ではなく、実験を通じすべての試料で同様の結果が観察された。R、G、B成分ともに輝度0である画素を画像処理により抽出した結果、これらの画素は花らい表面の凹凸により生じる影の部分に相当することが明らかとなった。

緑色ブロッコリーをポリエチレンフィルムで覆い、花らい部分の表面色を濃度ヒストグラムで示した（Fig. 2）。Fig. 1のようにフィルム包装していない状態で画像処理を行った場合とは異なり、R、G、B成分ともに輝度0だけでなく新たに輝度255に大きなピークが認められた。これはFig. 2に示した緑色ブロッコリーだけでなく、フィルム包装したすべての試料で同様の現象が観察された。R、G、B成分ともに輝度255を持つ画素を画像処理により抽出した結果、この画素はフィルム表面で光が反射し、白く光っている部分に相当することが明らかとなった。

以上の結果から、フィルムがない場合には輝度0、フィルムを通した場合には輝度0および255のピークに

Fig. 1 RGB density histograms of non-packaged broccoli

相当する画素部分を画像処理データから除去することにより、ブロッコリー表面凹凸により生じる影およびフィルム表面の光の反射で白く光った部分の影響を取り除くことができた。したがって以下の解析には、輝度 0 および 255 のピークに相当する画素部分を除去した画像処理データを用いた。

1.2 RGB 表色系

貯蔵前の緑色ブロッコリーを 4 個、P-PE 区 4 日目の黄化したブロッコリーを 5 個、計 9 個の試料を用意し、各試料についてそれぞれ無包装の場合、花らい表面にポリエチレンフィルムをかけた場合 (PE)、ポリプロピレンフィルムをかけた場合 (PP) の画像解析を行い、フィルムによる影響を調べた (Table 1)。各試料についてそれぞれ R, G, B 成分の濃度ヒストグラムを求め、平均値を計算した結果、無包装区に対して PE, PP 区ともに R, G, B 成分が変化することが明らかとなった。この結果は、フィルムが完全に透明ではなくフィルム自身が持つ色により画像全体がやや白色を帯びること、フィルム内

面に付着する水滴や曇りなどにより色調が変化することなどによると考えられる。従って、フィルム包装した試料の色調評価を行なう場合、フィルムの影響により変化した R, G, B 成分に対して処理、補正を行ない、その影響を除去しなければならず、R, G, B 成分から直接簡易かつ高精度に色調評価を行うことは難しいと考えられる。

1.3 色度座標 (r, g, b) による色表現

一般に“色”を表現する場合、その色光の強度はあまり関係がない。すなわち、色光が明るくても暗くても青みや赤みなどの“色味”はそれほど変わらないと考えられる。従って R, G, B 表示から強度次元を取り除いた色度座標 (r, g, b) による色表現の方がいわゆる“色”を表現するには適していると考えられる¹¹⁾。ここで、r, g, b と R, G, B には次式の関係がある。

$$r = R / (R + G + B) \dots\dots\dots(1)$$

$$g = G / (R + G + B) \dots\dots\dots(2)$$

$$b = B / (R + G + B) \dots\dots\dots(3)$$

Fig. 2 RGB density histograms of packaged broccoli

Table 1 Effect of plastic films on density value of RGB

		non-package			PE*			PP**		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B
green broccoli	1	69	73	51	72	75	61	74	75	60
	2	79	83	58	76	78	67	69	71	52
	3	74	78	52	71	74	59	77	80	62
	4	73	76	52	78	80	69	79	80	65
yellow broccoli	1	159	127	67	154	127	84	150	122	77
	2	157	124	70	148	121	84	145	117	77
	3	157	125	68	146	118	77	154	127	83
	4	161	129	70	155	128	88	156	128	86
	5	157	123	71	150	122	89	144	114	75

* PE=polyethylene film ; ** PP=polypropylene film

r, g, b には、 $r+g+b=1$ という関係があるため、色度座標 (r, g, b) ではこのうち2つを用いればよく、一般に r, g が使われる。そこで、無包装、ポリエチレンフィルム、ポリプロピレンフィルムについてそれぞれ Table 1 に示した R, G, B 値から (1) 式により r を計算し、包装フィルムによる色調変化を色度座標を用いて表した (Fig. 3)。PE および PP のフィルムをかけることにより緑色ブロッコリー、黄色ブロッコリーとも r 濃度値は低くなる傾向が見られた。また、黄色ブロッコリーの方が緑色ブロッコリーよりその低下傾向は大きく、 r 値に及ぼすフィルムの影響はブロッコリーの色により差異があることがわかった。また、PE、PP などのフィルムの種類により r 値の変化に違いがあることも明らかとなった。さらに g 濃度についても同様の傾向が見られた。このことから、 r, g 値を包装ブロッコリーの色調評価に用いる場合、包装フィルムが r, g 値に与える影響はブロッコリーの色や包装フィルムの種類により異なるため、フィルム包装したブロッコリーの色調評価を十分な精度で行うことは難しいと考えられる。

1.4 マンセル表色系による色表現

次に、RGB 表示をマンセル表色系に変換して色調を評価する方法について検討した。 R, G, B 表示を表色系変換処理により色相、彩度、明度のマンセル表色系に変換し、各成分の濃度ヒストグラムを求め平均値を計算した。Fig. 4 にフィルムの影響による色相、彩度、明度の変化を緑色ブロッコリー、黄色ブロッコリーについてそれぞれ示した。彩度は、いずれの試料もフィルムをかけることによる低下が見られたが、フィルムの種類による影響は小さかった。明度および色相は、緑色ブロッコリー、黄色ブロッコリーともにフィルムによる影響はほとんど見られなかった。このことから、フィルムは内容

物の彩度低下、つまりより無彩色に近づくといった変化を引き起こすが、色相、明度にはあまり影響を与えないことが明らかとなった。従って、包装貯蔵中におけるブロッコリーの色変化を評価する場合、スチルビデオで撮った R, G, B の信号を色相、彩度、明度3成分への表色系変換を行ない、色相、明度の2成分はそのままの値を用い、彩度成分はフィルムによる影響を補正した値を用いれば、包装フィルムによる影響を最小限に抑えた色調評価を行うことが可能である。Fig. 4 に示したようにフィルムをかけることにより彩度が平均9.0 低くなったため、実測値に9.0を加えて彩度補正とした。

2. 包装ブロッコリーの貯蔵中における果色変化の評価

各種フィルム (P-PE, PE, PP 区) で包装したブロッコリーの貯蔵中における官能評価値の変化を Fig. 5 に示した。P-PE 区は、貯蔵後2日目で黄化が始まり、4日目には花らい全体が黄色に変色した。PE 区は、貯蔵後4日目まではあまり顕著な色調変化は見られなかったが、6日目以降で黄化が始まり、10日目には花らい全体が黄色に変色した。PP 区は、他の二つの包装区とは異なり、貯蔵期間を通して黄化は認められなかった。画像解析による色調評価値の変化を Fig. 6 に示した。P-PE 区は、貯蔵後2日目から変化が見られ、その色調変化は最も大きかった。PE 区は、貯蔵初期はあまり顕著な変化は見られなかったが、10日目には P-PE 区と同様の変化量を示した。PP 区は、他の二つの包装区に比べてその変化量は小さかった。さらに、Fig. 7 に P-PE, PE 区について、画像解析により求めた色相および明度と官能評価値との相関を示した。いずれも良い相関が得られ、画像解析手法の有効性が示唆された。

画像解析による評価手法は、スチルビデオにより画像

Fig. 3 Effects of plastic films on density values of "r"
 $r = R / (R + G + B)$

Fig. 4 Effects of plastic films on density values of chromaticness, lightness and hue

データを取り込み処理するだけであるため、簡易迅速であり、また非破壊測定であるので包装したままのブロッコリーの経時的色彩変化をとらえることが可能である。マンセル表色系における色相、明度、彩度の各パラメータを使えばフィルムの影響を排して色調評価を行なうことが比較的簡単にできることが明らかとなった。さらに

この画像解析手法により品質変化モデルを構築すればMA包装条件下において官能評価値と相関の高い品質変化シュミレーションを行うことが可能であると考えられ、現在検討中である。

要 約

フィルム包装したブロッコリー花らい部の色調を簡易迅速かつ非破壊的に評価することを目的として、貯蔵中

Fig. 5 Effects of plastic films on sensory scores of broccoli during storage at 15°C

● : P-PE, ■ : PE, ▲ : PP

Fig. 6 Effects of plastic films on density values of hue and lightness during storage at 15°C

● : P-PE, ■ : PE, ▲ : PP

Fig. 7 Correlation of sensory score with hue or lightness during storage at 15°C

に変化するブロッコリーの色調を、スチルビデオで撮った画像を解析することにより評価する方法について検討し、次の結果を得た。

(1) ブロッコリー花らい部分の表面色を赤 (R), 緑 (G), 青 (B) を用いて 256 階調 (0~255) の濃度ヒストグラムで示した結果, 花らい表面の凹凸により生じる影, およびフィルム表面の光沢が色彩測定ノイズ要因になることが明らかになった。

(2) これら要因に相当する信号を濃度ヒストグラムから除去することにより, 影の部分とフィルム表面の光沢の影響を除去することができた。

(3) 貯蔵中に変化するブロッコリーの色調は, RGB 表色系を色相, 彩度, 明度成分からなるマンセル表色系に変換し, 得られる各成分の濃度ヒストグラムの平均値により適切に表現できた。画像解析により求めた色相および明度は, 官能評価値と高い相関を示した。

(4) 3 種類 (有孔低密度ポリエチレン, 18.7 μm 厚低密度ポリエチレン, 30.1 μm 厚ポリプロピレン) のプラスチックフィルムで包装し, 15°C, 90% R.H. で貯蔵したブロッコリーの色調を, 画像解析により評価したところ, 花らい部の色調変化を適切に評価することができた。

文 献

- BALLANTYNE, A., STARK, R. and SELMAN, J.D.: *Int. J. Food Sci. Technol.*, **23**, 353 (1988).
- 宮崎丈史: 包装研究, **6**, 1 (1985).
- LEBERMANN, K.W., NELSON, A.I. and STEINBERG, M.P.: *Food Technol.*, **22**, 143 (1968).
- MAKHLOUF, J., CASTAIGNE, F., ARUL, J. and GOSSELIN, A.: *HORTSCIENCE*, **24**, 637 (1989).
- WANG, C.Y.: *J. Food Sci.*, **44**, 1478 (1979).
- 近藤 直・遠藤俊三: 農業機械学会誌, **49**, 476 (1987).
- 近藤 直・遠藤俊三: 農業機械学会誌, **49**, 563 (1987).
- 近藤 直・遠藤俊三: 農業機械学会誌, **50**, 83 (1988).
- 田中芳夫・小川洋司: 農業機械学会誌, **52**, 61 (1990).
- 大角雅晴・中村喜彰: 農業機械学会誌, **55**, 75 (1993).
- 内川恵二: 計測と制御, **31**, 1075 (1992).

(平成 7 年 1 月 26 日受理)