

食物の色菜管理に関する研究

南出隆久
京都府立大學

Studies on Color and Gloss as Evaluating Sensory Properties of Vegetables and Their Cooking

Dr. Takahisa Minamide

Department of Nutrition and Food Science, Kyoto Prefectural University

ABSTRACT

Color (and appearance) is one of the most important visual attributes in food. The favorite color of food is depend on the nation and its culture. Unfortunately the word on color has superseded appearance as the description of the total visual perception of food. The optical properties are color, gloss, translucency, the uniformity of these attributes over the surface of the product, and the appearance boundary condition visual flavor.

The major purpose of this lecture is to stress the importance of color and gloss on the basis of sensory evaluation for vegetables and these cooking process. These points are as follows:

1. Color and palatability
Principle of cooking; five tastes and five colors
2. Pigments and colorimeter
Plant pigments; Chlorophyll, Carotinoid, Anthocyan
Optical properites and colorimeter
Correlating instrumental and pigments data
3. Color, gloss of vegetables
Effect of color and gloss on several cooking treatments
4. The importance of color of foods to the food industry and consumer

Key words: Food color, Sensory evaluation

I. はじめに

食物のおいしさは、味や香りの化学的要因、テク

スチャー、温度、音、外観などの物理的要因、その他
心理的要因、生理的要因、環境的要因によっている
(Fig. 1). 中でも外観は、おいしさを判断する重要な

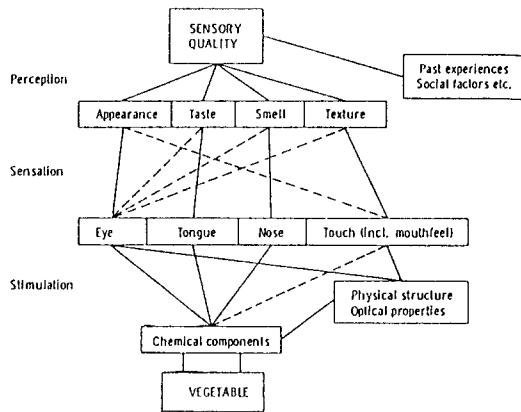


Fig. 1. Main factors involved in overall perception of sensory quality : Psychological and physiological processes in the human subject stimulated by chemical and physical properties of the vegetable. (Ref. J. B. Hutchings, 1977)

指標である。食物の外観は、色、形が様々でこれが個人、性別、年、国民性の違いをもたらしている。例えば、日米の食品の色に対する嗜好性の違いを比較した Fig. 2. からも国民性の違いがわかる。また、色から連想する食品を挙げたところ食品に特有の色をイメージすることが川染により報告されている (Fig. 3)。また、調理には「五味五色」の組合せが基本であると言われている (Table 1)。このように、食物の色は嗜好性を評価する上で大切な指標であることから、以下食物の色の測定方法、特に野菜を中心に

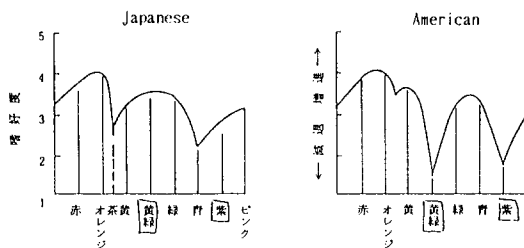


Fig. 2. Differences of likeliness on color between Japanese and American (Ref. S. Kawazome,

1991)

Table 1. 主な野菜の色素(pigments)の種類

Chlorophyll (葉緑素)
a (青緑色) → pheophytin a (褐色)
b (黄緑色) → pheophytin b (オリーブグリーン)
Carotenoid
Carotene 類 (赤色)
α-carotene ニンジン
β-carotene ニンジン, トウガラシ
γ-carotene ニンジン
lycopin トマト, スイカ
Xanthophyll 類 (黄～黄赤色)
lutein 黄葉
zeaxanthin トウモロコシ, 緑色
cryptoxanthin トウモロコシ
lycoxanthin トマト
lycophyll トマト
capanthol トウガラシ
capsanthin トウガラシ
Anthocyan (花青素) 酸
(赤, 青, 紫色) anthocyanidin + 糖
pelargonidin 系
calystephin イチゴ
fragarin エンイチゴ
cyanidin 系
cyanin フカク
shisonin チリメンシソ
chrysanthemine クロマメ
delphinidin 系
nasunin ナス
perillamin チリメンシソ
malvidin 系
neglebin ジャガイモ (紅丸)
Flavonoid (無, 白, 黄色)
apiin バセリの葉
rutin トマト, ソバ
tritin アスパラガスの莖葉
daidzin ダイズ
quercetin ダマネギの外皮

調理・加工における色彩管理について概説する。

2. 野菜の色素

食物は Table 1 に示した色素成分を含有しておりそれぞれ特有の色を呈している。

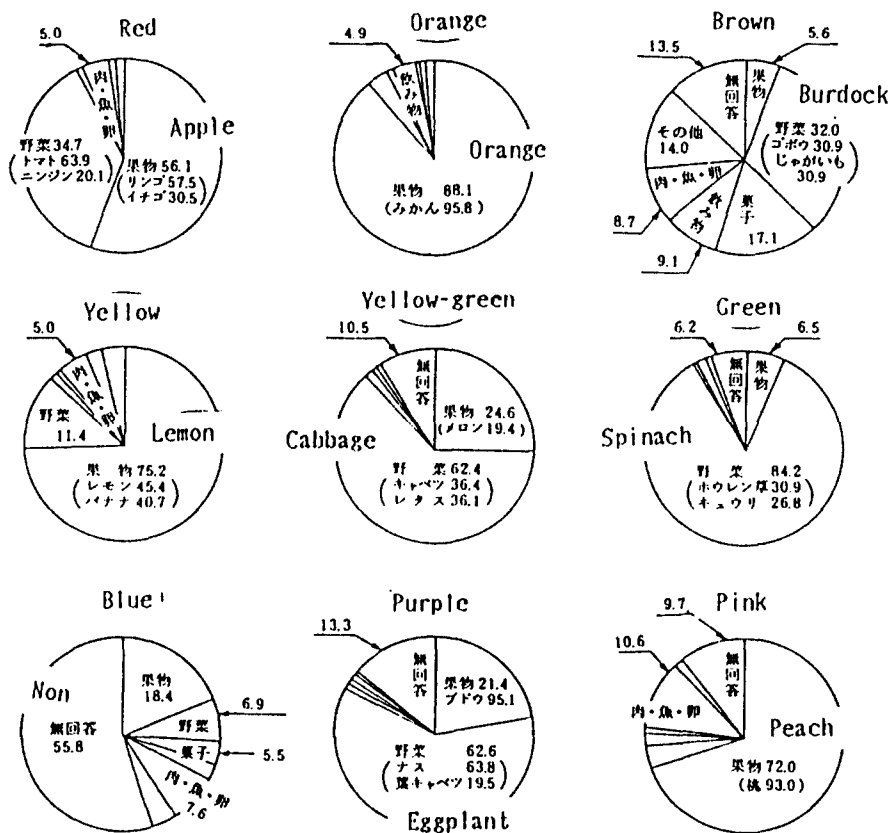


Fig. 3. Foods association by color(Ref. S. Kawazome, 1991)

Table 2.

		Treatment				
		A	B	C	D	E
Black beans	100g	○	○	○	○	○
water	800ml	○	○	○	○	○
NaCl	4g		○			○
Soy sauce	20ml			○		
Sucrose	100g				○	○

Soaking : Beans are soaked into water 8times volume of beans for 18hrs at room temp.

Boiling : It was 20min. at electric heater(600W) before boiling and then kept for 2 hrs at 300W with each treatment. New and rusty nils which were soaked with NaCl(1%) solution for 3days and then kept for 7days at room temp., were added to 7 pieces with each treatments.

1) ワロロフィル

ほうれん草、エンドウ、ピーマンなどの緑色はクロロフィル色素に由来し、ワロロフィルは熱、光などにより分解する、ワロロフィル色素の分解には、以下の反応が関与していると考えられる。

- ① クロロフィル分子のマグネシウムが水素と置き換えられフェオフィチンが生成する。
- ② 酸素クロロフィラーゼによりクロロフィルドが生成する。
- ③ クロロフィルが酸化され分解して無色になる。

2) カロチノイド

ニンジン、カボチャなどの赤、橙、黄などの色は、カロチノイド色素による。カロチノイドは緑葉や未

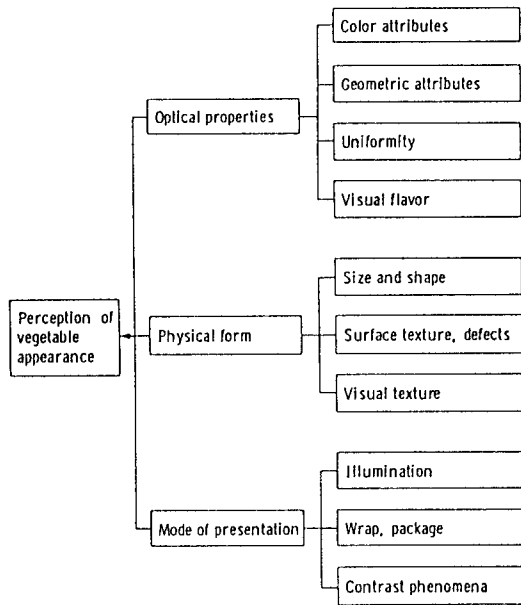


Fig. 4. Main attributes contributing to perception of vegetable appearance. (Adapted from Ref. 42.) (Ref. J. B. Hutehings, 1977.)

熟果中にクロロフィルと共存し、クロロフィルが消失するとカロチノイドの色が現れる。

3) アントシアン

黒大豆、ナスなどの赤、紫色はアントシアン色素によるもので、その色はpHにより影響を受け、熟により容易に分解する。

3. 野菜の色の測定と判定方法

野菜の色の 表し方としては、食品に含まれる色素を抽出し分光光度計で吸収波長を測定する方法、Munsell色票などの標準色と比べる方法、測色計で測定する方法などが用いられる。最近の測色計は、測色データをもとにして各種の表色系に変換し、色差を計算する²⁾。食品の色の判定には従来よりHunterのLab表色系がよく利用されてきた。ここでは色素の 測定方法の例及びHunterの表色系、CIEが推奨する(L*a*b*)表色系について述べる。

1) 色素の測定

(1) クロロフィル³⁾

85%アセトンを用いて色素を抽出後、エーテルに轉溶し、分光光度計により吸収スペクトルを求め、660nm, 642.5nmの吸光度より Comer & Zscheile による式を用いて算出する。

(2) カロチノイド⁴⁾

粉末試料をメタノール、ベンゼン法により抽出し、449nmでベンゼン層の吸光度を測定する。

(3) アントシアン⁵⁾

2) HunterのLab表色系

これは、値が色の感じにじかに結びつくように工夫されている⁶⁾。Lは明度指数、a及びbは知覚色度指数である⁷⁾。a値が十のときは赤、一のときは緑を示し、b値が十のときは黄、一のときは青を示す。また、a/b値は色の主波長と相関が高いので色相の指標となり、 $\sqrt{a^2+b^2}$ は彩度を表す。色差は $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$

によって與えられ、この色差の単位はほぼNBS単位である。

3) (L* a* b*) 表色系⁷⁾

L*は明度指数、a*及びb*は知覚色度指数である。色差は、 $\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ により與えられるがNBS単位で表すためには0.92倍しなければならない。また、(L* a* b*) 空間に関し新しく以下の用語が提案された。

(1) metric lightness

$$L^* = 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16 \quad Y/Y_0 > 0.01$$

上記の式により定義され、明度という概念に對し計量心理的相関がある。

(2) metric chroma

$$C_{ab}^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

上記の式により定義され、彩度という概念に對し

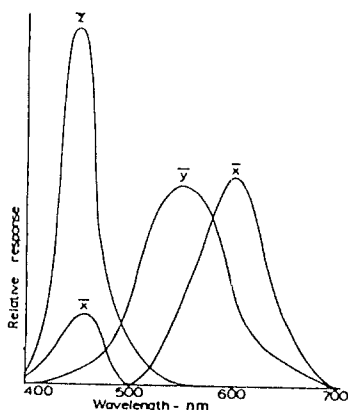


Fig. 5. The CIE tristimulus values of the standard observer for the equal energy spectrum.

計量心理的相関がある。

(3) metric hue-angle

$$H_{ab} = 180^\circ / \pi \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

上記の式により定義され、色相という概念に対し計量心理的相関がある。

4. 野菜の色の測定方法とあらわし方の実例

1) クロロフィルを含む野菜

瀬戸ら³⁾は緑葉クロロフィルの退色機構を解明し、その防止方法を確立する研究の一環として、ハウレンソウを -30°C で凍結、真空乾燥後粉末にしたものに紫外線照射を行い、光による退色について検討している。色調は、MINOLTA色彩色差計CR-100を用いてHunterのL, a, b値を測定し、色の變化を、a/b(緑色度)及び対照との色差 ΔE により比較した。紫外線照射によりa/b値が低下し、緑色は好ましくない色となり、この變化は温度、酸素により促進されることが確認された。

倉田ら⁸⁾はハウレンソウ、コマツナ、ドクダミ、アロエを用い、それらに含まれるクロロフィルの熱安定性を比較するため、 98°C におけるブランチングを行い、測色色差計(ND- $\Sigma 90$, 日本電色工業社製)でL, a, b値を測定し、a/b値を緑色の指標として検

Lab R.S.Hunter:

$$L = 10Y^{0.425}$$

$$a = \frac{17.5(1.02X - Y)}{Y^{0.725}}$$

$$b = \frac{7.0(Y - 0.847Z)}{Y^{0.725}}$$

$$\Delta E_{94} = ((\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2)^{0.5}$$

L*a*b*(CIE 1976)

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16$$

クロマティネス指数: a^*, b^*

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right]$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right]$$

$$\text{Metric Chroma (彩度): } C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$\text{Metric Hue-Angle (色相角): } h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \text{ (degree)}$$

討した。その結果、前2者はa/b値が高くなり鮮緑色化するのに対し、ドクダミは逆に黄色化し、アロエは變化がみられないことがわかった。また、この測色値の變化はクロロフィル分子の變化とは必ずしも関連せず、ブランチングによる色の變化は複雑な因子の總和によるとしている。

松本ら⁹⁾はピーマンに油通しの効果について日本電色KK製カラースタジオでUCS系L, a, bを測定し、色差 ΔE 、彩度 $\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ を求め検討した。その結果、油通ししてから炒めたものは、緑色の度合いを表すa値がマイナス方向に大きく、彩度の値も大きいことから、油通しは緑の色彩を鮮やかに保持する効果があることを認めている。

木寺¹⁰⁾はグリーンピースを用いてスープを調製し、日本電色製CS-5型色差計で、丸セルにつめた試料の色を測定し、保存時の色の變化を検討した。その結果、a値が保存中の緑色の變化をよく表し、温度が高いほどaの絶対値が減少し、顯著に褐色化することを報告している。またグリーンスクープとしての好まれる色の限界は、a値で -11 、a/b値で0.5あたりであると推定している。

内藤¹¹⁾は緑ピーマンの色をマンセルの表色系で測定し、生鮮状態の色は7.5GY 5/6で、加熱操作をしたものの方が鮮やかな色であることを報告している。

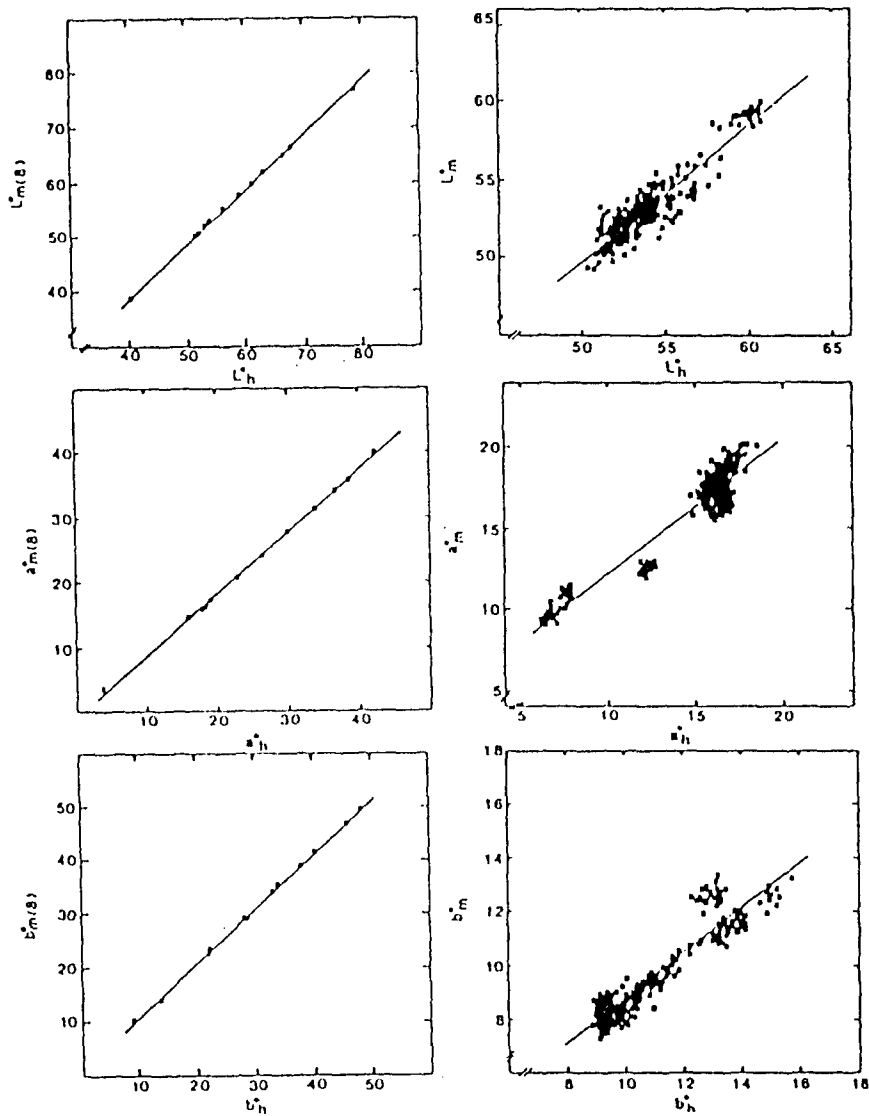


Fig. 6. CIE(1976) L^* , a^* and b^* values of salami-type dry sausage obtained from a Minolta Chroma Meter (m) versus values obtained from a HunterLab LabScan Sphers Spectrocolorimeter (h). See Fig. 1 and text for explanation of statistical parameters.

筆者ら¹²⁾は、トウガラシの揚げ操作による色の變化と、エンドウの青煮操作による色の變化を調べたので以下に結果を示す。色は測色色差計(日本電色工業社製、Z-1001DP型)を用いて、 L^* 、 a^* 、 b^* 値、 C_{ab}^* 、 H_{ab}° を求めた。

① 揚げ操作がトウガラシの色に及ぼす影響。ト

ウガラシは、油温130℃、150℃、170℃、190℃の揚げ油中で一定時間素揚げした後、外皮の中央部分の2箇所の色を測定し、 L^* 、 C_{ab}^* 、 H_{ab}° 値で比較した。結果は Fig. 1 に示したとおりである。 L^* 値は油温が190℃の場合を除いていずれの件でも大差なかった。190℃で揚げた場合、揚げ時間が15秒以上になる

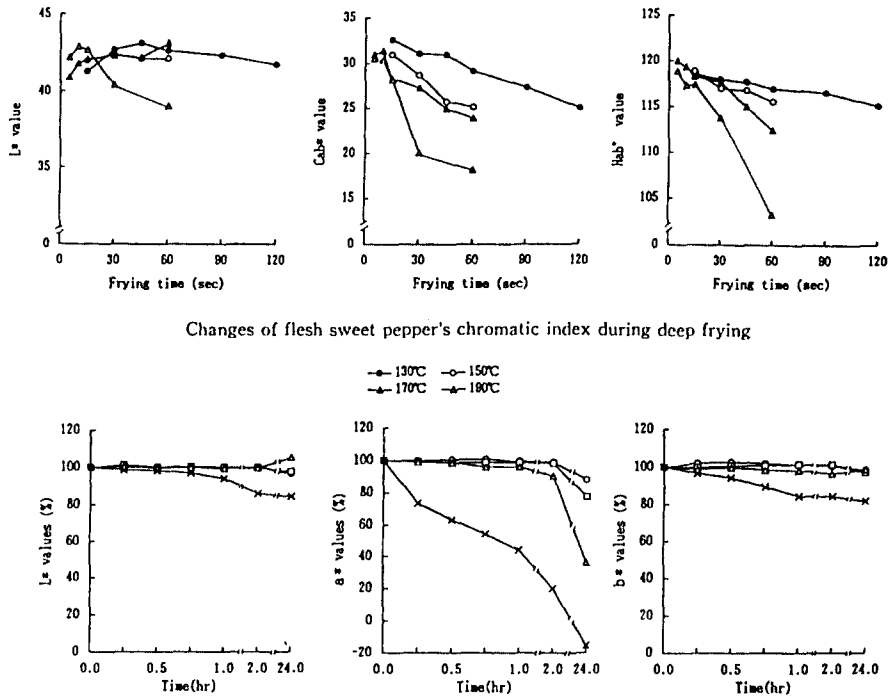


Fig. 7. Changes in chromatic index of string peas during keeping at various temperature of soaked solution

と急速に L^* 値の低下が認められたが、これは焦げ色の影響によるものと思われる。 C_{ab}^* 、 H_{ab}° 値はそれぞれの油温の場合にも時間の経過にともない低下し、油温が高い場合ほど急激な変化が認められた。緑色野菜の色としては、 C_{ab}^* 値及び H_{ab}° 値がともに高い、鮮緑色がよいと思われことから、色の保持のためには揚げ時間はできるだけ短時間にとどめた方がよい考えられる。また、油温が高温であるほど急激な変化が起こるため、緑色野菜を揚げる場合は低温で揚げる方が最適条件が得られやすいと思われる。

(2) 青煮操作がエンドウの色に及ぼす影響

エンドウは沸騰水中で1分間ゆでて冷水中に浸漬して急冷した。これを調味液中で30秒間煮た後、液からとりだして放冷後、6℃、20℃、40℃、80℃の調味液中に一定時間浸漬した。エンドウの色はさやの中心部分1箇所を測定した。加熱による色の変化 Table 1 に示したとおり、ゆで操作により L^* 値は低

下し、 a^* 値はマイナス方向に大きくなり、 b^* 値は低下した。このことから、ゆでる操作によりエンドウの色はより濃い緑色になったように見えるが、これはエンドウの組織に水がしみ込み、表面反射が減少することによるものではないと思われる⁹⁾。その後の煮る操作により $|a^*|$ 値は低下し、若干黄色化することがわかった。調味液に浸漬した場合、 $|a^*|$ 値は液温の相違により頭著な影響を受けることがわかった。80℃の液に浸漬した場合は、浸漬直後から急速に変化し、褐変することがわかった。また、浸漬条件の相違は、総クロロフィル含量の変化に若干の影響を及ぼし、40℃、80℃の液に浸漬した場合に、減少傾向が認められた。これは、クロロフィルを弱酸性の液中に高温で保持したことによりフェオフィチンに変化したことによるものであると思われる。近等¹³⁾はキャベシを用い、異なる部位における外観の測色値とクロロフィル量との相関を調べ、クロロフィルと L 値及び a/b 値との間に高い相関係数を得たことを報告しているが、本実験の場合には高い相

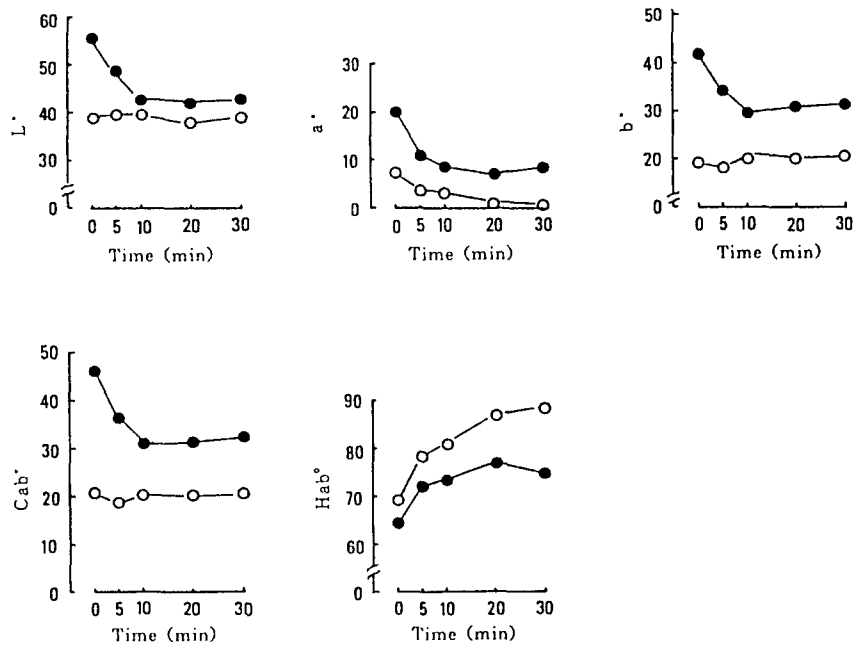


Fig. 8. Color changes in carrot tissues (c.v. T341) during boiling Boiled condition : 300W/h

○—○ pith tissue

●—● cortex tissue

関係数は得られなかった。調理操作における外観の色の變化とクロロフィル含量との関連については今後詳しく検討しなければならないと思われる。

2) カロチノイドを含む野菜

廣田等¹⁴⁾は野菜、果實類のカロチノイドの研究の一環として、外観の色調とカロチン量との相関について報告している。Hunterによる測色値のa値がマイナスでクロロフィルを含む33種の緑色野菜について、L値と、カロチン量との相関を調べたところ、あまり高い相関は認められていない。しかし、これは、野菜により材質、光澤、厚さなどが異なるためではないかと考え、1つの野菜(キャベジ)の異なる部位によって比較したところ、高い相関係数が得られ、緑色野菜の場合、L値を測定することによりカロチン量を推測できると報告している。一方、Hunterのa値がプラスの黄橙色、赤色の有色野菜において、外観のa値からカロチン量を推測できないか、12種類の野菜で検討した結果、高い相関があることが

認められた。a値が高い、すなわち、黄赤色の色が濃い程、カロチン量が多いと推測できることがわかった。

近等¹⁵⁾はカボチャを約3か月間貯蔵し、貯蔵中のカロチノイド量と果肉の色調の變化を調べた。色調は、10×3×3mmの大きさに切った試料を粉末ベースト容器にきっちりと入れ、日本電色工業ND-101D型色差計を用いてL, a, b値を測定した。その結果、貯蔵中にカロチノイドは著しく増加し、a値も増加し、両者の間には高い相関係数が得られることがわかった。このことから、a値の増加カロチノイドの増加によるものであり、a値を測定することによりカロチノイド量の増加を容易に推測できると報告している。

また、長尾¹⁸⁾は、カボチャの貯蔵中の成分變化を調べた結果、果肉のa値と全糖含量との間に高い相関関係を認め、果肉が赤いほどより甘い果實であることを示唆している。a値から全糖含量を推測することは、品質を知る上での簡便な方法となるといえ

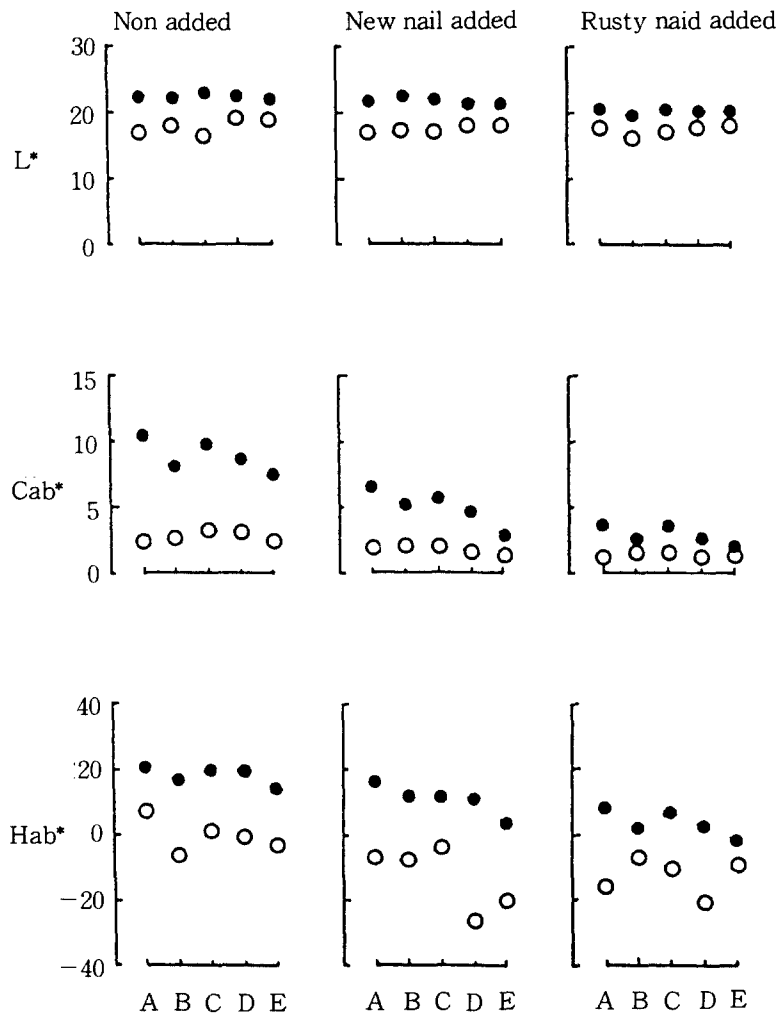


Fig. 9. Effect of soaking and boiling treatment on the color of black beans Each treatment was shown by Table

○ : Color of black beans after soaking

● : Color of black beans after boiling

る。

丸山等¹⁷⁾はニンジンダラシセを試料として、ニンジンの加熱による変化を調べている。表面色の測定は、日本電色KK製測色色差計(1001DP)により行い、色の判定はL, a, b値, ΔE 及び彩度により検討した。加熱によりL, a, b及び彩度の値が小さくなり、特にL値とa値が著しく低下することが認められ

いる。また煮る際の火力の強さによる色の相違を比較すると、600Wで煮た場合に比べ300Wで煮た場合の方が、a値の低下が大きく赤味が弱くなることがわかった。また、官能検査においても、強火で煮た方が色がよいという結果が得られている。

筆者らもニンジンを用い、炒め操作¹⁸⁾ 及びゆで操作¹⁹⁾が色に及ぼす影響を検討したので、以下にその

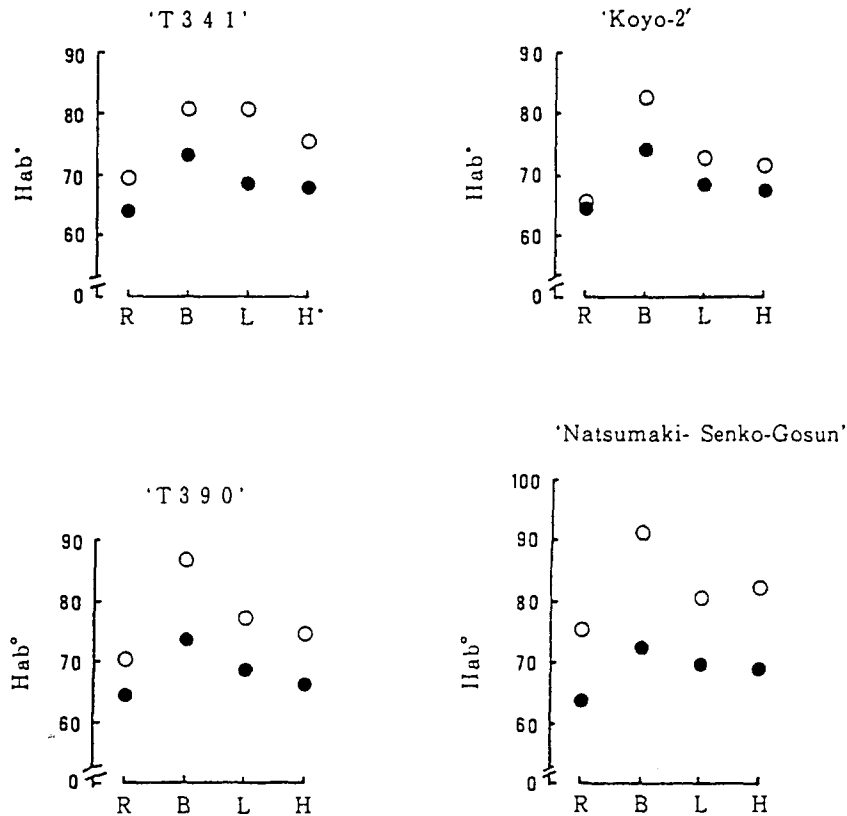


Fig. 10. Effect of heating treatments on color of carrot tissues

※ R : Raw material

B : Boiled material:300W/h, 10min

L : Sautéed material:2300kcal/h, 2min

H : Sautéed material:4600kcal/h, 1min

○-○ pith tissue

●-● cortex tissue

結果の一部を示す。色は測色色差計(日本電色工業社製, Z-1001DP)を用い, L*, a*, b* 値を測定した。

(1) 炒め調理における火力の影響

ニンジン厚さは6mmのいちよう切りにし, 2300 kcal/h 及び 4600kcal/h の火力のガスコンロを用いて炒め調理を行った。炒めた試料は冷凍粉末にした後, 解凍してペースト状にして測定に供した。

L*, a*, b* 値は炒め時間の経過にともない低下した。特に, 4600kcal/h の火力で炒めた場合に顯著

であった。一方, カロチノイド含量は加熱2分まではほとんど損失はなくその後減少した。また, 4600kcal/hの火力で炒めた方が多く残存していた。黄橙色, 赤色の有色野菜のカロチノイド含量とa値との間には高い相関が認められている¹³⁾¹⁴⁾が, 本実験の場合には必ずしも一致せず, 炒め操作におけるa値の低下には, カロチノイド量の減少より, フェノル化合物の増加による焦げが大きな影響を及ぼしているのではないと考えられた。

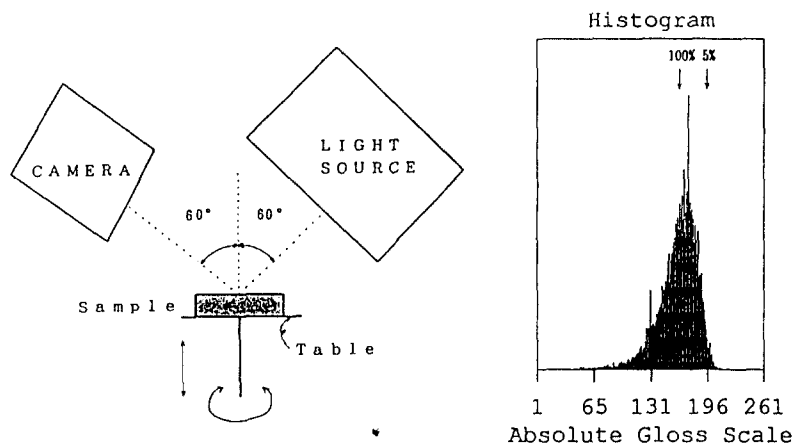


Fig. 11. TRICOR 801A

(2) 煮る操作がカロチノイド含量及び色調に及ぼす影響

4品種のニンジンを用い、6mm厚さの輪切りにして煮る操作を行い、髓部、皮相部の部位別に、カロチノイド含量と輪切りにした試料の断面の色調とを調べた。品種により色の相違及びカロチノイド含量の相違が認められた。10分煮たニンジンのカロチノイド含量は、いずれの品種においても生鮮状態のものに比べてほとんど変化しなかった。廣田ら¹⁴⁾はニンジン煮熟した場合のカロチノイドの損失はほとんどなかったと報告しているが、本実験においても同様の結果であった。一方、 L^* 、 a^* 、 b^* 値は煮ることによりそれぞれ低下した。この変化は10分間までの間に起こり、その後はあまり変化しないことがわかった。生鮮状態の色と比較すると暗く、赤みが薄い色に変化したといえる。10分間煮てもカロチノイド含量にほとんど変化がなかったことから、この色の変化は、煮ることによる組織の水分含量の変化、フェノール化合物の増加¹⁵⁾などの影響ではないかと思われる。また、田中ら²⁰⁾は、ニンジン煮沸水中で加熱したときの色相の変動の原因について、結晶状であったカロチノポデインが他のセルラーリポイドに溶解するためではないかと推定しているが、本実験の場合にも同様の変化が起こった可能性も考えられた。

3) アントシアニンを含む野菜

河村等²¹⁾は黒大豆を煮る場合の鉄の影響を日本電色工業カラースタジオを用いて検討し、黒大豆を鐵粉水あるいは鐵鍋で煮ると水煮に比較して、 a 、 b 値とも低下し黒色になると報告している。鐵鍋で煮る際に、重曹を添加すると、 a 、 b 値は高くなり赤っぽく脱色されるが、食鹽を加えると脱色されないことがわかった。

上里等²²⁾は種類の溶媒中で加熱したときの小豆の色調を日本電色工業(株)製のND-101型測色色差計で測定した。 L 値は溶媒のpHが6付近の時に最高となった。 a 値はpHが高くなるにつれ減少した。

筆者ら²³⁾は黒大豆の色に及ぼす調理条件の影響を検討し、以下の結果を得た。色調は測色色差計(日本電色工業社製、Z-1001DP)を用いて測定し、 L^* 、 C_{ab}^* 、 H_{ab}° 値を求め比較した。 L^* 値は低いほど暗い色、 C_{ab}^* 値は低いほど無彩色に近い色、 H_{ab}° 値は高くなるほど赤みがかった色を表すため黒大豆の色としてはいずれの値も低い方が望ましいといえる。

黒大豆を煮ると、 L^* 、 C_{ab}^* 、 H_{ab}° 値はいずれも増加し、脱色が進むことがわかった。煮る際に鐵釘を添加することにより、この変化は抑制され、鐵釘の場合に顕著に効果が認められた。また、煮汁に鹽化ナトリウムやサッカロースを添加することにより脱色

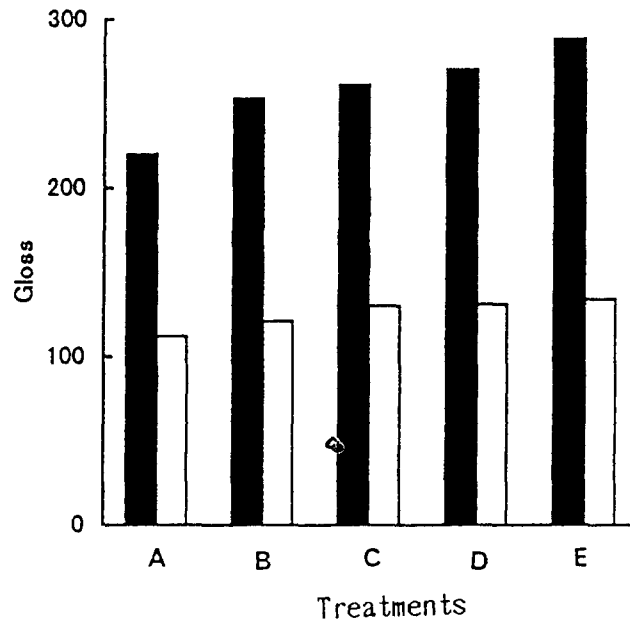


Fig. 12. Effect of seasoning on the gloss of soy bean
 ■ 5% □ 100%

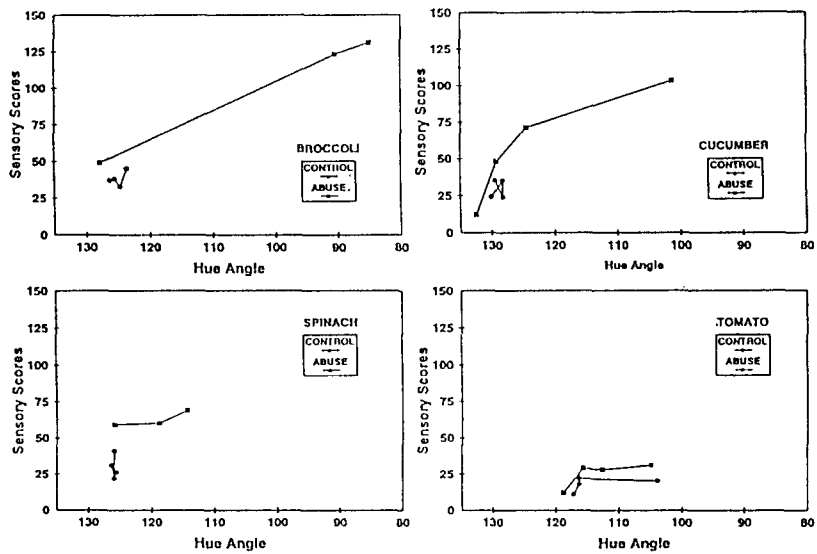


Fig. 13. Relationship of sensory scores as a function of hue angle for storage treatments as described in the Materials and Methods.

(Ref. V. GNANPSEKHARAN, et. al : Volume 57, No. 1, 1992-JOURNAL OF FOOD SCIENCE-153)

は抑制された。

参考文献

1. Eskin, N. A. M. (川村信一郎譯) : 植物性食品の色素・香味・組織, p.4(1983) 醫齒薬出版株式会社.
2. 日本色彩學會編 : 色彩科學ハンドブック, p. 191-205(1985) 東京大學出版會.
3. 瀬戸美江, 佐伯俊子, 中西洋子, 梶田武俊 : 調理科學, 23, 367(1990).
4. 鎌田榮基, 片山條 : 食品の色, p.17(1977). 光琳
5. 日本色彩學會編 : 色彩科學ハンドブック, p. 135(1985) 東京大學出版會.
6. 倉田元子, 鹿毛千津子, 塚本久美子, 石井千恵美, 表美守 : 調理科學, 25, 138(1992).
7. 松本 (ピーマン油通し)
8. 本寺 (グリーンピーススープ)
9. 内藤 (緑ピーマン)
10. 畑明美, 南出隆久, 長谷川明子 : 京都府立大學學術報告・理學・生活科學, 46, B1(1995).
11. 近雅代 : (キャベツ)
12. 廣田 (カロチノイド)
13. 近雅代 : (かぼちやの貯藏とカロチノイド)
14. 長尾 (かぼちやの成分)
15. 丸山 (人參グラッセ)
16. 南出隆久, 饗庭照美, 畑明美 : 調理科學, 26, 230.(1993).
17. 畑明美, 南出隆久, 長谷川明子 : 京都府立大學學術報告・理學・生活科學, 45, B1(1994).
18. 田中巳哉子, 田中陸子, 唐澤郁夫, 家政誌, 30, 679(1979).
19. 河村フジ子(黒豆, 鐵)
20. 上里 (小豆)
21. 南出隆久, 長谷川明子, 畑明美.