

# 日本食品保蔵科学会誌

VOL. 37 NO. 1

---

会 長	松本 信二	副 会 長	上田 悦範	小宮山美弘	早坂 薫
編集委員長	上田 悦範				
編 集 委 員	石田 裕	稲熊 隆博	井上 茂孝	内野 昌孝	竹永 章生
	寺井 弘文	津久井亜紀夫	藤島 廣二	松田 茂樹	

---

## <報 文>

蛍光ランプの照射によるイチゴ果実の着色促進効果…………… ( 3 )  
 /東尾久雄・廣野久子・佐藤文生  
 徳田進一・浦上敦子

## <研究ノート>

ジャガイモの加工性に対する内在ペクチンエステラーゼ (PE) の作用について …… ( 9 )  
 /中村 優・内野昌孝・佐藤広顕・高野克己

エディブルフラワーに対する強酸性電解水処理の除菌効果  
 ならびに処理後における微生物の変化…………… (13)  
 /阿部一博・山下祐加・塩崎修志・嘉悦佳子  
 島 昭二・下山亜美・岡井康二・阿知波信夫

## <総 説>

沖縄県産特産物の機能性成分と加工利用に関する食品化学的研究…………… (17)  
 /和田浩二

## <講 座>

身近な野菜・果物～その起源から生産・消費まで (13) リンゴ ( I ) …… (29)  
 /工藤亞義

## <情 報>

食と農の資料館めぐり ( 2 )  
 食とくらしの小さな博物館…………… (35)  
 /焼石健久

## <文献抄録>

…………… (39)

## Food Preservation Science

## CONTENTS OF VOL. 37 NO.1 (2011)

## &lt;Article&gt; (Japanese)

- Effect of Irradiation with Fluorescent Lamp on the Color Enhancement of Strawberry Fruit  
HIGASHIO Hisao, HIRONO Hisako, SATO Fumio,  
TOKUDA Shinichi and URAGAMI Atsuko ..... (3)

## &lt;Research Note&gt; (Japanese)

- Effect of Intrinsic Pectinesterase (PE) for Collapse of Potato Tuber  
NAKAMURA Yu, UCHINO Masataka, SATO Hiroaki and TAKANO Katsumi ..... (9)
- Changes of Microorganisms on Edible Flowers after Treatment with Electrolyzed Acidic Water  
ABE Kazuhiro, YAMASHITA Yuka, SHIOZAKI Shyuji, KAETSU Keiko,  
SHIMA Shoji, SHIMOYAMA Ami, OKAI Yasuji and ACHIWA Nobuo ..... (13)

## &lt;Review&gt; (Japanese)

- Food Chemical Studies on Functional Components, Processing and Utilization  
of Food Products in Okinawa Prefecture  
WADA Koji ..... (17)

## &lt;Serialization Lecture&gt; (Japanese)

- Apple (Part I)  
KUDOU Tuguyoshi ..... (29)

## &lt;Information&gt; (Japanese)

- AJINOMOTO CORPORATE MUSEUM  
YAKEISHI Takehisa ..... (35)

# 蛍光ランプの照射によるイチゴ果実の着色促進効果

東尾久雄<sup>\*1§</sup>・廣野久子<sup>\*2</sup>・佐藤文生<sup>\*3</sup>  
徳田進一<sup>\*3</sup>・浦上敦子<sup>\*3</sup>

\* 1 茨城大学農学部

\* 2 農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所

\* 3 農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所

## Effect of Irradiation with Fluorescent Lamp on the Color Enhancement of Strawberry Fruit

HIGASHIO Hisao<sup>\*1§</sup>, HIRONO Hisako<sup>\*2</sup>, SATO Fumio<sup>\*3</sup>,  
TOKUDA Shinichi<sup>\*3</sup> and URAGAMI Atsuko<sup>\*3</sup>

\* 1 College of Agriculture, Ibaraki University, 3-21-1, Chuo, Ami-cho, Ibaraki 300-0393

\* 2 National Institute of Vegetable and Tea Science, 2769, Kanaya, Idoi, Shimada, Shizuoka 428-8501

\* 3 National Institute of Vegetable and Tea Science, 3-1-1, Kannondai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8666

We investigated the effect of irradiation with 3 different types of fluorescent lamps (FL20S・BLB, FL20S・W, and FLR20S・FB) on the color enhancement of strawberry fruits. Visible light as well as Ultraviolet (UV) rays enhance the color of strawberry fruits. The effect of UV light on anthocyanin synthesis in the strawberry fruit differs greatly with the degree of ripeness of the irradiated fruit. In the fruit advanced to about half or more of the surface, coloring was inhibited with UV light. The analysis of the intensities of the UV radiation emitted by the fluorescent lamps revealed that the intensity sufficient for enhancing the color of unripe strawberry fruit was approximately  $0.14\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

(Received Sep. 6, 2010 ; Accepted Oct. 13, 2010)

**Key words** : fluorescent lamp, UV, strawberry, color, anthocyanin

蛍光ランプ, UV, イチゴ, 着色, アントシアニン

イチゴ果実の着色は糖度に加えて重要な品質構成要素となっていることから、その改善のために様々な生産技術の開発が進められ、イチゴ果実の着色が自然光に含まれる紫外線 (UV) で促進されることが明らかにされている。筆者らも、365nmに放射エネルギーのピークをもつブラックライト蛍光ランプを着色し始めた果実に24時間程度照射するとその後のイチゴ果実の着色が促進されることを明らかにし、やや未熟な硬い果実に処理すれば、収穫・調整・流通時の物理的損傷の軽減に適用できる可能性を示唆した<sup>1),2)</sup>。

一方、赤～紫色を呈する植物色素アントシアニンは自然界に多く分布しており、ソルガムのアントシアニンは可視光の赤色光で生成促進されることが示されている<sup>3)</sup>。また、リンゴ果実<sup>4)</sup>およびバラ<sup>5)</sup>の着色においては可視

光がUVと相乗的に作用することが明らかにされている。これらの知見はイチゴ果実の着色が可視光線によっても促進される可能性のあること、UVと可視光との併用処理でUV単独処理以上の効果が期待できることを示唆する。

そこで、市場に流通する各種蛍光ランプをイチゴ果実に照射し、果実着色への影響を評価した。また、UVを遮断するUV除去塩化ビニルフィルム (以下、「UVカットフィルム」と呼称) を用い、果実着色に及ぼす蛍光ランプ照射に含まれるUVの影響について解析を試みた。

## 実験方法

### 1. 供試材料

実験には「とよのか」を用いた。2005年2～3月に茨

\* 1 〒300-0393 茨城県稲敷郡阿見町中央3-21-1

§ Corresponding author, E-mail: hhisao@mx.ibaraki.ac.jp

\* 2 〒428-8501 静岡県島田市金谷猪土居2769

\* 3 〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1

城県つくば市観音台の野菜茶業研究所つくば野菜研究拠点内ハウスで栽培し、試験当日朝に一斉収穫し直ちに実験に供した。果実は果重10~20gのものを選果し、目視により果実表面の着色程度で4段階(熟度1:着色開始, 熟度2:1/3着色, 熟度3:1/2着色, 熟度4:ほぼ全面着色)に分類し、各着色程度の果実を各4個体、計16個体を選抜・供試した。

実験で用いた蛍光灯は3種である。いずれのランプも東芝ライテック(株)製のものを購入して供した。供試ランプの選定に当たっては、スペクトル分布特性(Fig.1参照)を基に赤色光放射が多い蛍光灯として、食肉展示用蛍光灯FL20S・FBを選定した。また、比較対照の蛍光灯として白色蛍光灯FL20S・Wおよび前報で報告したUV蛍光灯のブラックライト蛍光灯FL20S・BLBを併せて供試した。なお、蛍光灯から放射されるUVの影響を調べる場合には、400nm以下の紫外線をほぼ完全に遮断する厚さ0.13mmのUVカットフィルム(商品名「カットエースクリーン・キリナイン」)で蛍光灯から放射されるUVを遮断した。

果実への蛍光灯の照射は20℃に設定したインキュベーター(サンヨー, MIR-553)内において、果実表面より22cmの高さに蛍光灯4本をランプ中心間距離10cmで並列に設置し、ステンレストレイ(底寸235×155mm)に熟度別に4列に並べたイチゴ果実の日裏面に対して24時間行った。処理終了後直ちにイチゴ果実の乾燥を避けるためにトレイを厚さ0.03mmのポリエチレン袋に包み、暗黒で24時間保管した。なお、蛍光灯照射期間中も20℃暗黒に保管したイチゴ果実を対照とした。

蛍光灯照射時における蛍光灯からの放射エネルギーのスペクトル分布は波長別光エネルギー分析装置(米国ライカ, LI-1800C, 計測波長域:300~800nm)を用いて照射面中央部にて計測した。

## 2. アントシアニン含量の測定

イチゴ果実のアントシアニン含量は果実を日表面側と日裏面側(蛍光灯の照射面)に果実中央より2分割し、照射面側をカッターナイフで裁断し、室温にて5%ギ酸溶液中に一晩浸漬した。その後、ろ紙(No.2)を使ってろ過し、ろ液を100mlに定容した。そして、530nmの吸光度を分光光度計(島津, GDU-30C)にて計測し、イチゴ果実の主要なアントシアニンであるシアニジン3-グルコシドのモル吸光係数よりアントシアニン含量を算出し、生重100gに換算して表示した<sup>6)</sup>。

## 実験結果

### 1. 各種蛍光灯の分光特性とUVカットフィルムによるUV除去効果の確認

供試した蛍光灯の放射エネルギーのスペクトル分布について波長別光エネルギー分析装置を使ってイチゴ果実の照射条件で測定した結果をFig.1に示す。供試した蛍光灯について測定した300~400nmのUV強度を

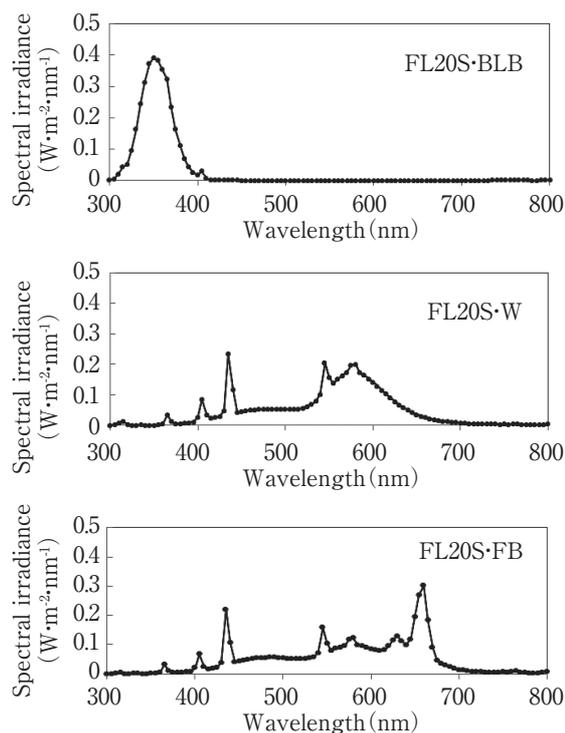


Fig.1 Irradiation spectra of FL20S・BLB, FL20S・W, and FL20S・FB

Spectral irradiance was measured at a distance of 22cm.

The total UV (300~400nm) spectral irradiance ( $W \cdot m^{-2}$ ) was as follows: FL20S・BLB: 3.43, FL20S・W: 0.14, and FL20S・FB: 0.11.

The total red (600~700nm) spectral irradiance ( $W \cdot m^{-2}$ ) was as follows: FL20S・BLB: 0, FL20S・W: 0.93, and FL20S・FB: 2.13.

比較すると、ブラックライト蛍光灯で最も多く放射され、そのピーク波長は350nm付近にあった。一方、白色蛍光灯および食肉展示用蛍光灯はほぼ同量のUVを放射し、そのピーク波長はいずれも365nm付近に認められた。しかし、Fig.1の下段に示すように、これらのランプから放射されるUV強度は0.11~0.14 $W \cdot m^{-2}$ 程度とごくわずかであった。一方、赤色光を放射する600~700nmの総放射エネルギー強度は、Fig.1の下段に示すように、食肉展示用傾向ランプが最も強く、660nmにピーク波長が認められた。しかし、白色蛍光灯の場合には赤色領域の放射が弱く、ピーク波長はみられなかった。また、ブラックライト蛍光灯の放射の中には赤色光を含む可視光は含まれていなかった。

一方、UVカットフィルムによるUVの遮断程度を白色蛍光灯の照射時に確認したところ、Fig.2に示すように、385nm以下のUVが遮断されていた。

### 2. 各種蛍光灯の照射がイチゴ果実の着色に及ぼす影響

Fig.3は異なる熟度の‘とよのか’果実に市販蛍光灯を照射した結果である。熟度1および2の果実に対して照射処理した場合には、いずれの蛍光灯におい

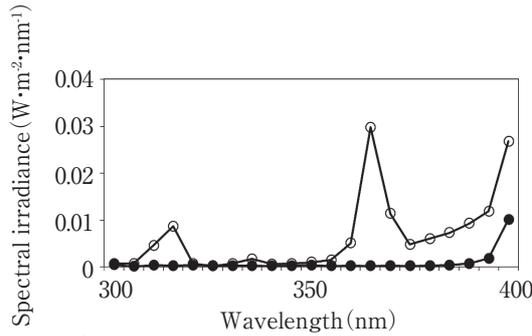


Fig. 2 Removal effect of UV irradiation with UV cut film

○: FL202·W ●: FL202·W+UV cut film

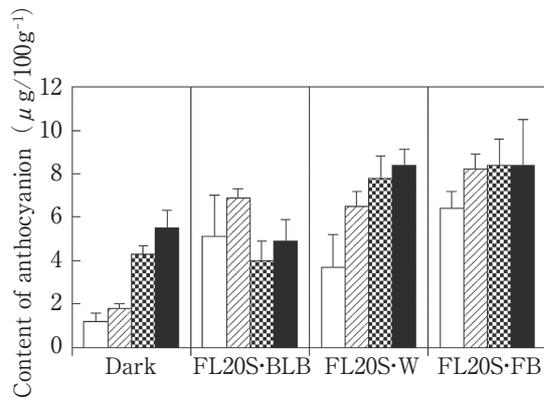


Fig. 3 Effect of FL20S·BLB, FL20S·W, and FL20S·FB on the coloration of 'Toyonoka' strawberry fruit in the different ripening stages

□: Stage1 ▨: Stage2 ▩: Stage3 ■: Stage4

The contents of anthocyanin were analyzed after incubation in dark for 24h followed by irradiation with lamp for 24h. The control fruits were analyzed after incubation in dark for 48h. The bars in the figure indicate standard error (SE). (n = 4)

でも着色が促進された。しかし、着色が進んだ熟度 3 および 4 の果実では、白色蛍光ランプおよび食肉展示用蛍光ランプの照射で着色促進がみられたものの、ブラック蛍光ランプでは、着色促進効果がみられなかった。

### 3. 各種蛍光ランプによる照射がUVカットフィルムで被覆したイチゴ果実の着色に及ぼす影響

蛍光ランプによる果実着色促進効果を解析するため、ブラックライト蛍光ランプ、食肉展示用蛍光ランプおよび白色蛍光ランプをUVカットフィルムで被覆し、果実に同様に処理を行い、果実に含まれるアントシアニン含量への影響を調べた。Fig. 4は実測値であり、Fig. 5はFig. 4の結果を踏まえてUVカットフィルム有無の影響を相対比率として示したものである。

Fig. 4および5に示したように、ブラックライト蛍光ランプを照射した場合には、果実熟度でUVカットフィルム被覆による影響は大きく異なり、着色初期の熟度 1

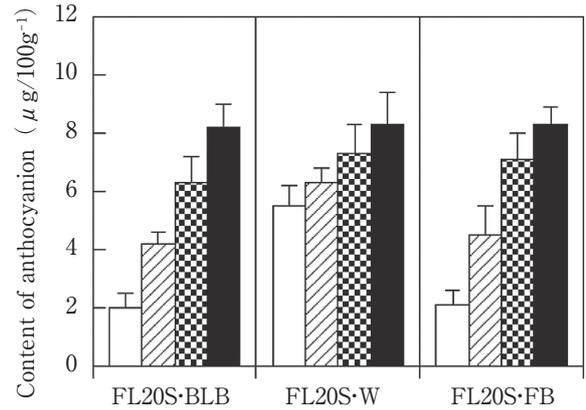


Fig. 4 Irradiation effect of FL20S·BLB, FL20S·W, and FL20S·FB covered with UV cut film on the coloration of 'Toyonoka' strawberry fruit in the different ripening stages

□: Stage1 ▨: Stage2 ▩: Stage3 ■: Stage4

The contents of anthocyanin were analyzed after incubation in dark for 24h followed by irradiation with lamp for 24h. The bars in the figure indicate SE (n = 4)

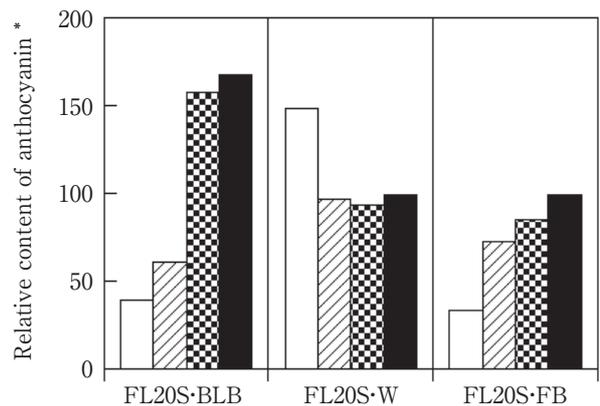


Fig. 5 Irradiation effect of FL20S·BLB, FL20S·W, and FL20S·FB covered with UV-cut film on the coloration of 'Toyonoka' strawberry fruit in the different ripening stages

□: Stage1 ▨: Stage2 ▩: Stage3 ■: Stage4

\*: the anthocyanin content of the fruit irradiated with fluorescent lamp without UV cut film was considered as 100.

および 2 の果実では被覆すると無被覆の場合と比べて着色が抑えられ、着色が進んだ熟度 3 および 4 ではUVカットフィルムで被覆するとむしろ無被覆の場合と比べて着色が促進された。しかし、白色蛍光ランプを照射した場合には、熟度 1 の果実に対する照射で無被覆と比べて着色が顕著に促進され、他の果実熟度では被覆の影響は認められなかった。一方、食肉展示用蛍光ランプの場合には、着色初期の果実でUVカットフィルムによる被覆で着色が抑えられたものの、着色が進むと被覆による影響はみられなくなった。

## 考 察

UVはその波長域によりUV-A、UV-BおよびUV-Cに分類され、それぞれの領域で生物に対するUV作用が異なるが、生育中のイチゴ果実の着色には360nm付近のUVの関与していることが吉村<sup>8)</sup>により明らかにされている。これまでに、筆者らは放射するUV領域が異なる3種類のUV蛍光灯ランプを収穫後のイチゴ果実に照射し、UV-BおよびCは着色進行を阻害すること、UV-A領域のUVを放射するブラックライト蛍光灯ランプの照射が着色を開始した収穫後のイチゴ果実着色促進に有効であることを明らかにした。また、その場合、品種によっては、処理果実の熟度にかかわらず着色促進効果が認められ、完熟時のアントシアニン含量よりも高くなることを示した<sup>1),2)</sup>。他方、可視光に含まれる赤色光照射が園芸作物のアントシアニン合成誘導に有効であることが明らかにされている<sup>3),4)</sup>。そこで、市販蛍光灯ランプの中から赤色光を多く放射するランプを選定し、ブラックライト蛍光灯ランプによるイチゴ果実の着色促進効果と比較することとした。その結果、熟度1および2の果実では、いずれの供試蛍光灯ランプによっても着色が促進されることが明らかとなった。また、熟度3および4の‘とよのか’果実では、前報<sup>2)</sup>と同様にブラックライト蛍光灯ランプ照射で処理効果が認められなかったものの、白色蛍光灯ランプおよび食肉展示用蛍光灯ランプでは果実着色の促進される傾向が認められた。

ところで、UVカットフィルムは紫外線の影響を軽減するフィルムとして開発され、野菜生産現場においても広く利用されている。本フィルムは文字どおり、UVをほぼ完全にカットするが、他の領域の可視光線については波長域にかかわらず一律90%程度に光量を減ずる<sup>7)</sup>。そこで、蛍光灯ランプの照射によるイチゴ果実の着色促進効果とUVとの関係を明らかにするため、供試蛍光灯ランプから放射されるUVをUVカットフィルムにより遮断することで各蛍光灯ランプの放射光に含まれるUVと着色促進効果との関係を調べることにした。その結果、やや未熟な果実、とりわけ熟度1の果実に対する処理において、白色蛍光灯ランプと比べてブラックライト蛍光灯ランプおよび食肉展示用蛍光灯ランプの照射でアントシアニン含量が低くなることが認められた。また、ブラックライト蛍光灯ランプによる照射の場合には処理果実の熟度で反応が異なり、処理果実の熟度が進むとブラックライト蛍光灯ランプの作用は逆転し、被覆した果実において着色が促進され、UV照射により果実着色の阻害されていることが推察された。ブラックライト蛍光灯ランプの放射光には、Fig. 1に示した放射エネルギー分布にみられるように、主としてUV-Aが放射されるが、イチゴ果実の着色を阻害するUV-B領域のUVも含まれている。このため、熟度が進むと放射光に含まれるUV-Bによる着色阻害が起きていることが推定された。しかし、その詳細を明らか

にするためには、さらに詳細な検討が必要である。また、食肉展示用蛍光灯ランプの場合、未熟な果実へのUVカット処理で着色促進効果が減少したことから、これらの熟度の果実においては主として蛍光灯ランプの放射光に含まれるUVにより着色促進効果が発現していると考えられた。また、食肉展示用蛍光灯ランプの放射UV強度から、イチゴ果実の着色促進に必要なUV強度は $0.14\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 程度であると推定された (Fig. 1の備考を参照)。一方、白色蛍光灯ランプの場合には、UVカットフィルムによるUVカットの効果はみられず、むしろ熟度1の果実で着色が顕著に促進されていることから、この熟度の果実における白色蛍光灯ランプによる着色促進には蛍光灯ランプの放射光に含まれるUVのかかわりは少なく、可視光に起因すると考えられた。また、食肉展示用蛍光灯ランプの場合の試験結果を踏まえると、赤色以外の波長域の光質もイチゴ果実の着色促進に関与していることが推察された。

本論文においては、蛍光灯ランプの照射により着色が促進された果実の糖度および食味についての試験結果がない。このため、イチゴ果実の蛍光灯ランプによる着色促進が果実熟度の促進によるのか、着色のみが促進されるのかについて明確に答えることはできない。しかし、UV-Aの照射を受けても果実硬度に影響を及ぼさないことは先に報告している<sup>2)</sup>。また、UV照射した果実の酸度や糖含量の測定、食味試験の予備試験結果からは、同程度の着色果実と比較し、UV照射により着色させた果実は硬く、糖含量が低く、食味に酸味が残る試験結果を得ている (未発表)。したがって、蛍光灯ランプの照射は果実の着色のみに作用していると考えられるが、今後、確認する必要がある。

本研究を通じて、ブラックライト蛍光灯ランプ以外の蛍光灯ランプの中にもイチゴ果実の着色促進に有効な蛍光灯ランプのあること、着色促進に有効なUV強度はそれほど多くを必要としないことが明らかとなった。また、可視光の中に着色促進作用を有する波長域のあることを明らかにすることができた。イチゴ果実は食味の点からできるだけ熟度を進ませて収穫することが望ましいが、輸送中の物理的な損傷を受け受けやすくなる。特に、収穫が高温期となる夏秋どりイチゴでは難しい。その点、蛍光灯ランプによる着色促進技術はやや未熟な硬い果実を収穫し、輸送することを可能にする。ただし、完熟時に酸味が残るため、生食用ではなく、加工用途に適用が限定される技術である。その場合、 $10^{\circ}\text{C}$ 程度の低温下での併用処理でも出庫後に効果が発現すること<sup>2)</sup>から収穫調整後の予冷との組み合わせ処理が想定される。また、加工利用時の着色の均一化・着色向上技術として適用することも考えられる。また、青果物に含まれるアントシアニンは食卓に彩りを添えるだけでなく、最近ではその生理機能性が注目されている。本技術がアントシアニンを合成する赤ネギ、赤カブ、ナス、芽物野菜、リンゴ、サクランボなどの果実類、さらには花き類などの収穫後処理技

術の一つとしてこれら農産物の品質向上（着色および機能性向上）へと広く応用されることが期待される。

### 要 約

イチゴ果実の着色は供試した白色蛍光ランプ、食肉展示用蛍光ランプのいずれを照射しても着色し始めた果実の着色を促進した。その着色促進には、UVのみならず可視光線も関与していた。また、UVの作用は処理する果実熟度で大きく異なり、着色し始めた果実ではアントシアニン合成に促進的に作用し、着色が果実表面の1/2程度およびそれ以上に進むと抑制的に作用することが推察された。一方、イチゴ未熟果実の着色促進には有効なUV強度は供試した蛍光ランプのUV領域の総放射エネルギー量より、 $0.14\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 程度で十分と思われた。

**謝 辞** 本研究において供試した蛍光ランプの放射エネルギーのスペクトル分布は波長別光エネルギー分析装置によって測定したものである。機器を貸与していただいた農研機構・花き研究所のご厚意に感謝申し上げます。

### 文 献

- 1) HIGASHIO, H., HIROKANE, H., SATO, F., TOKUDA, S. and URAGAMI, A.: Effect of UV irradiation after the harvest on the content of flavonoid in vegetables, *Acta Hort.*, **672**, 1007~1012 (2005)
- 2) 東尾久雄・廣野久子・佐藤文生・徳田進一・浦上敦子：ブラックライト蛍光ランプの照射がイチゴ果実の着色および果実硬度に及ぼす影響, *園学研*, **8**, 503~507 (2009)
- 3) YATSUHASHI, H., HASHIMOTO, T. and SHIMIZU, S.: Ultraviolet action spectrum for anthocyanin formation in bloom sorghum first internodes, *Plant Physiol.*, **70**, 735~741 (1982)
- 4) ARAKAWA, O., HORI, Y. and OGATA, R.: Relative effectiveness and interaction of ultraviolet-B, red and blue light in anthocyanin synthesis of apple fruit, *Physiol. Plant*, **64**, 323~327 (1985)
- 5) MAEGAWA, S., TERABUN, M. and NAKAMURA, N.: Effects of ultraviolet and visible light on flower pigmentation of 'Ehigasa' roses, *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **49**, 251~259 (1980)
- 6) 日本食品科学工学会：新・食品分析法（光琳，東京），新・食品分析法編集委員会編，5-9-3 アントシアニン，pp.653~656 (1996)
- 7) 大林 厚：新訂園芸用被覆資材（園芸情報センター，東京），（社）日本施設園芸協会・21世紀施設園芸研究会監修，1-1 被覆資材の種類と特性，pp.19~28 (2004)
- 8) 吉村昭信：イチゴ‘とよのか’の着色に及ぼす環境の影響（第1報）被覆資材の紫外線透過特性と果実の着色との関係，*奈良農試研報*, **26**, 31~38 (1995)  
(平成22年9月6日受付，平成22年10月13日受理)

# ジャガイモの加工性に対する 内在ペクチンエステラーゼ (PE) の作用について

中村 優<sup>\*1</sup>・内野昌孝<sup>\*1§</sup>・佐藤広顕<sup>\*2</sup>・高野克己<sup>\*1</sup>

\*1 東京農業大学応用生物科学部生物応用化学科

\*2 東京農業大学生物産業学部食品香粧学科

## Effect of Intrinsic Pectinesterase (PE) for Collapse of Potato Tuber

NAKAMURA Yu<sup>\*1</sup>, UCHINO Masataka<sup>\*1§</sup>, SATO Hiroaki<sup>\*2</sup> and TAKANO Katsumi<sup>\*1</sup>

\*1 Faculty of Applied Bioscience, Department of Applied Biology and Chemistry, Tokyo University of Agriculture, 1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya 156-8502

\*2 Department of Food and Cosmetic Science, Faculty of Bio-industry, Tokyo University of Agriculture, 196 Yasaka, Abashiri 099-2493

In this study, PE activity and the degree of pectin esterification were measured to analyze the effect of PE. PE activity was detected in all cultivars. Furthermore, the reduction in the degree of esterification due to boiling is suggestive of PE activity. PE involved in texture and potato processing by elevate action of PG on pectin during boiling in conjunction with solubilization by deesterification of pectin.

(Received Jul.16, 2010 ; Accepted Oct.27, 2010)

**Key words** : potato, collapse, pectinesterase, esterification degree, cultivar

ジャガイモ, 煮崩れ, ペクチンエステラーゼ, エステル化度, 品種

ジャガイモは、加熱による煮崩れの度合により粉質系と粘質系に大別される。この相違について、私たちは細胞間結着物質であるペクチンの性状ならびにそれを分解するポリガラクトナーゼ (PG) の作用が大きく関与すると報告した<sup>1)</sup>。

一般にPGは、低エステル化度のペクチンに対して高い分解性を示す<sup>2)</sup>。ペクチンのエステル化の度合が加工性に影響する例として、ジャガイモならびにニンジンなどの野菜においては、50℃以上の一定温度で予備加熱すると組織が硬化することが報告されている<sup>3)</sup>。さらに、缶詰製造過程においては、過度の軟化を防止するため、60～70℃の低温ブランピングにより組織を硬化させる工程がある<sup>4)</sup>。これらは、50℃以上の加熱によりペクチンエステラーゼ (E. C. 3. 1. 1. 11, pectinesterase; PE) が活性化し、ペクチンの脱エステル反応が進行し、生成したカルボキシル基がカルシウムやマグネシウムなどの金属イオンを介して架橋結合することから組織強度が高まるためとされている<sup>5)</sup>。

PEについては、組織の硬化に関連するものが多いが<sup>6)</sup>、

トマトや果実では成熟過程における組織の軟化にも関与するとされている<sup>7)</sup>。しかし、ジャガイモの煮崩れの相違に対するPE作用およびペクチンのエステル化度との関係についての報告はない。これらのことから、加熱過程中的内在PEの作用性の違いが、ペクチンのエステル化度およびそれに伴うPGのペクチンに対する分解性に影響することが考えられた。

そこで本研究では、品種間におけるPE活性量を比較すると共に、その作用によるエステル化度、ならびに加工への影響について調べることを目的とした。

## 実験方法

### 1. 実験材料

試料には、粉質系の男爵薯、トヨシロおよびキタアカリを、粘質系のとうや、メイクインおよびホッカイコガネの各品種 (平成18年度北海道産) を用いた。各個体の空中重および水中重を測定し、比重を算出した。また、煮崩れの度合は比重よっても異なることから、加工用として多用される高比重 (1.095～) の試料を以下の実験

\*1 〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1

§ Corresponding author, E-mail: muchino@nodai.ac.jp

\*2 〒099-2493 北海道網走市八坂196

に供した<sup>1)</sup>。

## 2. 粗酵素液の調製

剥皮、細断した試料500 gに内在チロシナーゼによる酸化作用を阻害するために0.1%コウジ酸を含む1 M酢酸ナトリウム緩衝液 (pH6.0) 250mlを加えてワーリングブレンダーにて磨砕し、4℃にて1時間攪拌抽出後、遠心分離 (18,000G, 4℃, 30分間) を行った。この上澄液に、終濃度90%飽和となるように硫酸アンモニウムを加えて塩析し、4℃にて1時間静置後、遠心分離 (18,000G, 4℃, 30分間) を行った。この沈殿物を20 mMリン酸緩衝液 (pH7.0) に溶解し、同緩衝液にて4℃で一昼夜透析を行った。再度遠心分離 (18,000G, 4℃, 30分間) を行い、上澄液を粗酵素液とした。

## 3. エステル化度の異なるペクチンに対するPGの作用性について

2.にて調製した粗酵素液を用い、前報<sup>1)</sup>に準じて精製した各ジャガイモのPGをエステル化度の異なるペクチン (三晶株製; 23, 30, 40, 52, 65%) に作用させ、分解性の比較を行った。酵素液125 $\mu$ lに0.2M McIlvain緩衝液 (pH5.0) 125 $\mu$ lおよび基質として0.5% (w/v) ペクチン溶液250 $\mu$ lを加え、50℃にて1時間反応させ、生成した還元糖量をSomogyi-Nelson法<sup>8)</sup>にて定量し、分解性の比較を行った。

## 4. PE活性の測定<sup>9)</sup>

酵素液150 $\mu$ lに0.1Mリン酸ナトリウム緩衝液 (pH 6.5) 50 $\mu$ lおよび基質として0.5% (w/v) ペクチン溶液50 $\mu$ lを加え、37℃にて1時間反応させた。すなわち、上記反応液に20mMトリス塩酸緩衝液 (pH7.5) 1.75mlおよびアルコールオキシダーゼ (1U, *Pichia pastoris*由来, SIGMA社製) 溶液100 $\mu$ lを加え、25℃にて30分反応させた。反応によって生成したホルムアルデヒド量を定量するために、20mMアセチルアセトン1.0ml (2.0Mリン酸アンモニウム溶液にて溶解) を加え、60℃にて15分間反応後、生成した3,5-ジアセチル1,4-ジヒドロルチジンを412nmにて比色定量した。

なお、酵素力価は1分間に100nmolのメタノールを生成する活性量を1Uとした。

## 5. SDS-PAGEおよびPEの活性染色<sup>10)</sup>

メルカプトエタノールを除いたSDS-PAGE (ポリアクリルアミド濃度10%) に供した。泳動後、0.5% (w/v) ペクチン溶液 (pH6.5) を加え、酵素反応 (40℃, 6時間) 後、CBB染色法にてタンパク質バンドを、ルテニウムレッド染色にてPE活性バンドを検出した。

## 6. ジャガイモのペクチンのエステル化度の測定

(1) ペクチン画分の調製<sup>11), 12)</sup> ジャガイモに終濃度70%となるように99.5%エタノールを加えてヒスコトロンにて破砕し、遠心分離 (18,000G, 20℃, 20分間) 後、沈殿物を回収した。得られた沈殿物に純水を75ml加えて、混在するデンプンを除去するために、耐熱性 $\alpha$ -アミラーゼ (EC3.2.1.1, SIGMA社製, Type 1 II-A:

From *Bacillus sp.*, 20,000U) を用いて処理 (70℃, 8時間) 後、沈殿物を遠心分離 (18,000G, 30分間, 20℃) により回収した。

さらに、得られた沈殿物に混在するタンパク質を除去するために2% (v/v) SDSおよび2% (v/v) メルカプトエタノールにて処理後、純水にて洗浄およびアセトンにて脱水処理し、粗細胞壁画分とした。さらに、得られた粗細胞壁画分に2.5% (w/v) シュウ酸アンモニウムを加えて、振盪 (70℃, 8時間) 後、遠心分離によって得られた上澄液をペクチン画分とした。

(2) ペクチンのエステル化度の測定<sup>9)</sup> 6 (1) の方法によって得られたペクチン50mgに1N水酸化カリウム溶液25mlを加え、室温にて30分間放置後、85%リン酸溶液にてpH7.5に調整したものを試料液とした。

試料液1.0mlに20mMトリス塩酸緩衝液 (pH7.5) 1.0mlおよびアルコールオキシダーゼ (1U, *Pichia pastoris*由来, SIGMA社製) 溶液0.1mlを加え25℃にて30分間酵素反応後、生成したホルムアルデヒド量を定量することによりペクチンのエステル化度を求めた。

なおホルムアルデヒドの定量は4.の方法で行った。

## 7. 加熱過程におけるPEの脱エステル化作用がPGのペクチン分解性に及ぼす影響

加熱過程におけるPEの作用がPGのペクチンに対する作用性に及ぼす影響について確認するために、生鮮ジャガイモと同じエステル化度のペクチンを用いて分解性の比較を行った。すなわち、0.5% (w/v) ペクチン溶液 (エステル化度; 30%) 500 $\mu$ lに2.にて調製した粗酵素液 (PE; 300U, PG; 0.12U) を加えた後、IH調理器 (KZ-PH30) を用いて水温 (25℃) より加温処理した。

反応開始後、3, 5, 6, 8および10分後に反応液を0.5mlサンプリングし、それぞれの反応液についてガラクトロン酸量 (3.) を測定した。

また、精製PG (PG; 0.12U) を用いて同様に処理したものを比較対照とした<sup>1)</sup>。

## 実験結果および考察

### 1. エステル化度の異なるペクチンに対するPGの作用性

精製PGをエステル化度の異なるペクチンに作用させたところFig. 1に示したようにエステル化度0%のペクチンを最もよく分解し、同30%では分解率は1/5に低下し、同65%では全く分解できなかった。他起源由来のPGと同様<sup>2)</sup>にジャガイモPGもエステル化度が低いペクチンほど高い分解率を示した。ペクチンの脱エステル化は、PGによるペクチンの分解作用を高めると考えられることから、ジャガイモの煮崩れにおいてもPEの作用が重要な要因と考えられた<sup>3)</sup>。

### 2. 品種間におけるPE活性量の差異

すべての品種において生鮮ジャガイモ100gあたり120~1,100UのPE活性が確認され、品種により活性量に大きな差がみられた (Fig. 2)。

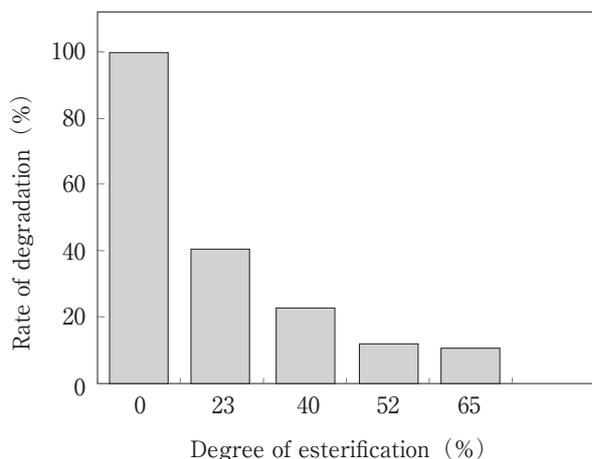


Fig. 1 Pectin degradation by PG on various degrees of esterification

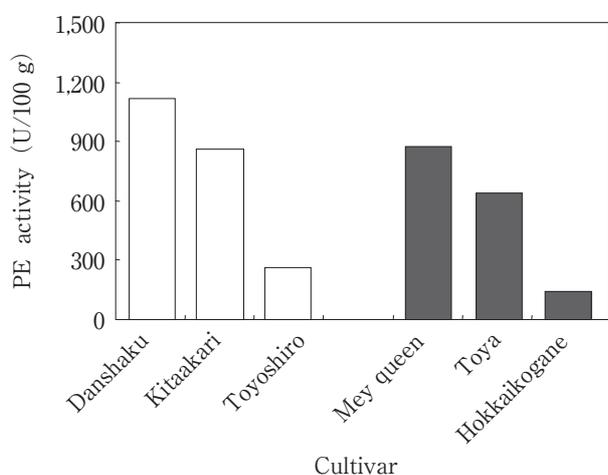


Fig. 2 Comparison of PE activity in mealy and soggy potatoes

□, Mealy-type ; ■, Soggy-type

多重比較検定 (Scheffe'sの検定,  $p < 0.05$ ,  $n = 3$ )<sup>13)</sup>の結果, 粉質系品種および粘質系品種との間にはPE活性量に有意差は確認されなかった。

また, PEの活性染色にて, すべての品種において50 kDaのみに活性バンドが確認された (トヨシロの結果を示す) (Fig. 3)。パパイヤおよびキウイフルーツ起源のPEは, それぞれ53および50kDaであると報告されている<sup>14), 15)</sup>。またPURIらは, ゲル濾過クロマトグラフィーにてジャガイモPEが25kDaであったと報告している<sup>16)</sup>。本酵素の分子量と異なっていたが, ジャガイモと同じナス属であるトマトには, PEのアイソザイムの存在が確認されていることから<sup>17)</sup>, ジャガイモのPEのアイソザイムについても今後検討する必要があると考えられた。

### 3. 加熱処理によるペクチンのエステル化度の変化

生鮮ジャガイモのペクチンのエステル化度は, Table 1に示したように20~30%であり, 品種による大きな差異はみられなかったが, 一方, 加熱処理では, すべての品種でペクチンのエステル化度は0%を示した。ジャガ

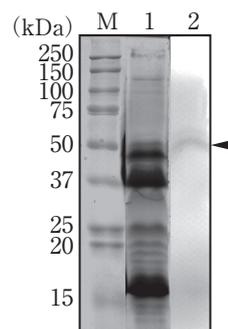


Fig. 3 Staining for pectinesterase activity using sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis

Notations : 1, staining with Coomassie Brilliant Blue R-250 ; 2, staining with Ruthenium Red ; M, molecular weight marker

Table 1 Degree of pectin esterification in cultivars

Cultivar	Degree of esterification (%)	
	Raw	Cooked
Danshaku	22	0
Kitaakari	32	0
Toyoshiro	26	0
Mey queen	33	0
Toya	30	0
Hokkaikogane	30	0

イモPEの作用最適温度は50℃であり, 加熱処理過程においてPEによるペクチンの脱エステル化が進行したことが推察された。

加熱後のペクチンのエステル化度は品種にかかわらずすべて0%であったことから, 最も活性量の低かったホッカイコガネ (144U) でも十分なPEの活性量であるものと考えられた。

### 4. 加熱処理中におけるPEの作用がPGのペクチン分解性に及ぼす影響

生鮮ジャガイモと同様なエステル化度 (20~30%) のペクチンに対するPGの作用性は, エステル化度0%のペクチンに対して20~40%であったことから, PEの作用によるエステル化度の低下はPGのペクチンに対する作用に重要であると考えられる。

そこで, エステル化度30%のペクチンに精製PG, または粗酵素液を作用させ, 加熱処理中におけるガラクトuron酸生成量を経時的に測定したところ, 精製PG処理では, 反応開始3分後に0.02~0.03mmol/mlを示し, それ以降は一定であった。一方, 粗酵素液処理では, 昇温と共にガラクトuron酸生成量は増加し, その値は精製PG処理の3倍 (0.06~0.08mmol/ml) に増加したことから, ジャガイモ加熱処理時ではPEの作用によるペクチンの脱エステル化によって, PGのペクチン分解作用が高まっていることが考えられた (Fig. 4)。

### 5. まとめ

加熱後のペクチンのエステル化度には品種や加工性に

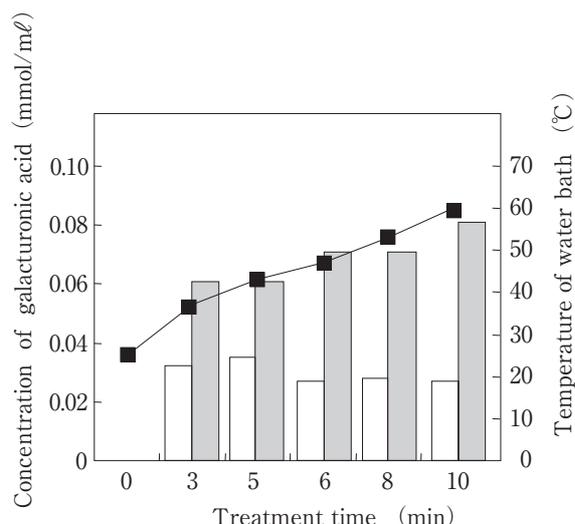


Fig. 4 Effect of PE on PG activity during boiling

□ Purified enzyme  
 ■ Crude enzyme  
 —■— Temperature of the water bath

よる差が無く、煮崩れしやすいものほどPG活性量が高いことから<sup>1)</sup>、PEの作用は、ペクチンの脱エステル化によるペクチンの水溶化およびPGの作用の促進に関与し、加熱後のジャガイモの物性および加工性に大きく影響することが考えられた。

一方、50℃以上の一定温度で予備加熱することによる組織の硬化は、従来、PEの作用により生成したカルボキシル基がカルシウムやマグネシウムなどの金属イオンを介して架橋結合することにより組織強度が高まることが要因とされてきた。

しかし、PEがPGよりも比較的熱に安定であることから<sup>3)</sup>、組織の硬化が起こる温度帯においては、PGによるペクチンの分解が抑制されることも組織硬化の要因の一つとして考えられた。

これらの知見を利用して、加熱調理時の温度を調整することにより、内在PGおよびPEの作用を利用した物性改善が可能になると考えられる。

## 文 献

- 中村 優・内野昌孝・佐藤広顕・高野克己：ジャガイモの煮崩れに対する内在ポリガラクトナーゼの影響，日本食品科学工学会誌，**56**，286～290 (2009)
  - 稲荷妙子・竹内徳男：メトキシ基含量の異なるペクチンに対するポリガラクトナーゼ (PG) と活性酸素の作用性，岐阜女子大学紀要，**34**，67～74 (2004)
  - 吉岡博人：果実・野菜組織の軟化とペクチン及びペクチン分解酵素，日本食品工業学会誌，**39**，733～737 (1992)
  - VAN BUREN, J.P.: The chemistry of texture in fruits and vegetables, *J. Texture Stud.*, **8**, 1～17 (1977)
  - 香西みどり：野菜の食味と加熱，日本食生活学会誌，**17**，100～104 (2006)
  - 本堂正明・清水条資：酵素利用技術に関する研究 ペクチンエステラーゼによるバレイショ組織の強化，北海道立工業試験場報告，**285**，189～197 (1986)
  - INARI, T., TAKEUCHI, T., YAMAUCHI, R. and KATO, K.: Changes in Pectic Polysaccharides during the Ripening of Cherry Tomato Fruits, *Food Sci. Technol. Res.*, **8**, 55～58 (2002)
  - NELSON, N.: A photometric adaptation of the somogyi method for the determination of glucose, *J. Biol. Chem.*, **153**, 375～380 (1944)
  - KLAVONS, J.A. and BENNETT, R.D.: Determination of Methanol Using Alcohol Oxidase and Its Application to Methyl Ester Content of Pectins, *J. Agric. Food Chem.*, **34**, 597～599 (1986)
  - CRUIKSHANK, R.H. and WADE, G.C.: Detection of pectic Enzymes in pectin-Acrylamide Gels, *Anal. Biochem.*, **107**, 177～181 (1980)
  - 大谷貴美子：調理特性の異なるじゃがいも (*Solanum tuberosum*) の非澱粉性多糖の構造 (第1報) 水溶性多糖について，日本家政学会誌，**40**，593～601 (1989)
  - 大谷貴美子：調理特性の異なるじゃがいも (*Solanum tuberosum*) の非澱粉性多糖の構造 (第2報) 熱水およびシュウ酸アンモニウム可溶性多糖について，**42**，313～320 (1991)
  - 中前光弘・田畑洋二・大賀泰文・角田充弘・宇都文昭・奥西孝弘・越智 保・前田 要：Scheeffeの対比較法による主観的評価法，日本放射線技術學會雑誌，**52**，1561～1565 (1996)
  - LOURENCO, E.J. and CATUTANI, A.T.: Purification and properties of pectinesterase from papaya, *J. Sci. Food Agric.*, **35**，1120～1127 (1984)
  - CIARDIELLO, M.A., TAMBURRINI, M., TUPPO, L., CARRATORE, V., GIOVANE, A., MATTEL, B. and CAMARDELLA, L.: Pectin methylesterase from kiwi and kaki fruits: Purification, characterization, and role of pH in the enzyme regulation and interaction with the kiwi proteinaceous inhibitor, *J. Agric. Food Chem.*, **52**，7700～7703 (2004)
  - PURI, A., SOLOMOS, T. and KRAMER, A.: Partial purification and characterisation of potato pectinesterase, *Food Chem.*, **8**，203～213 (1982)
  - GIOVANE, A., QUAGLIUOLO, L., SERVILLO, L., BALESTRIERI, C., LARATTA, B., LOIUDICE, R. and CASTALDO, D.: Purification and Characterization of Three Isozymes of Pectin Methylesterase from Tomato Fruit, *J. Food Biochem.*, **17**，339～349 (1994)
- (平成22年7月16日受付，平成22年10月27日受理)

# エディブルフラワーに対する強酸性電解水処理の除菌効果 ならびに処理後における微生物の変化

阿部 一博<sup>\*1§</sup>・山下 祐加<sup>\*1</sup>・塩崎 修志<sup>\*1</sup>・嘉悦 佳子<sup>\*1,\*2</sup>  
島 昭二<sup>\*3</sup>・下山 亜美<sup>\*4</sup>・岡井 康二<sup>\*4</sup>・阿知波 信夫<sup>\*5</sup>

\* 1 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科

\* 2 大阪府環境農林水産総合研究所

\* 3 大阪女子短期大学

\* 4 大阪薫英女子短期大学

\* 5 ホシザキ電機 (株)

## Changes of Microorganisms on Edible Flowers after Treatment with Electrolyzed Acidic Water

ABE Kazuhiro<sup>\*1§</sup>, YAMASHITA Yuka<sup>\*1</sup>, SHIOZAKI Shyuji<sup>\*1</sup>, KAETSU Keiko<sup>\*1,\*2</sup>,  
SHIMA Shoji<sup>\*3</sup>, SHIMOYAMA Ami<sup>\*4</sup>, OKAI Yasuji<sup>\*4</sup> and ACHIWA Nobuo<sup>\*5</sup>

\* 1 Graduate School of Agriculture and Biological Science, Osaka Prefecture University,  
1-1 Gakuen-Cho Naka-ku, Sakai, Osaka 599-853

\* 2 Research Institute of Environment, Agriculture and Fisheries, Osaka Prefecture Government,  
442, Shankudo, Habikino-shi, Osaka 583-0862

\* 3 Osaka Women's Junior College, 3-8-1 Kasugaoka, Fujiidera, Osaka 583-8558

\* 4 Osaka Kun-ei Women's Junior College, 1-4-1 Shojaku, Settu, Osaka 566-8501

\* 5 Specialized Engineering Department, HOSHIZAKI ELECTRIC CO., LTD.,  
3-16 Minamiyakata, Sakae, Toyoake, Aichi 470-1194

Microorganisms have been reported to exist in many edible flowers and leafy vegetables. The total viable bacterial counts (TVBC) in edible flowers and leafy vegetables have been reported to have reduced after treatment with electrolyzed acidic water (EAW). In this study, we determined TVBC in chrysanthemum, roses, and flower of perilla during 2 days holding after treatment. We performed the following 3 treatments in all flowers: washing with EAW, washing with purified water, and no treatment. EAW treatment was reduced to one-tenth values immediately after treatment, however, TVBC of all materials increased to the same levels after 2 days holding of all materials. We clarified that EAW indicated the best effectiveness for reducing microorganisms, and it had better use edible flowers immediately after EAW treatment.

(Received Sep. 27, 2010; Accepted Dec. 16, 2010)

**Key words**: エディブルフラワー, 強酸性電解水, 微生物, 食品添加物, 貯蔵

*edible flowers, electrolyzed acidic water, total viable bacterial counts, food additive, storage*

強酸性電解水は、2002年に食品添加物に認定されており、次亜塩素酸ナトリウムと同等の殺菌効果がある。また、強酸性電解水は残留性が低いため塩素臭や有機塩素

化合物の発生が起りにくく、栄養成分含量にほとんど影響を及ぼさず、作業効率も高いことから、次亜塩素酸ナトリウムに代わる殺菌剤として、幅広く食材の品質管

\* 1 〒599-8531 大阪府堺市中区学園町 1-1

§ Corresponding author, E-mail: abe@plant.osakafu-u.ac.jp

\* 2 〒583-0862 大阪府羽曳野市尺度442

\* 3 〒583-0026 大阪府藤井寺市春日丘 3-8-1

\* 4 〒566-8501 大阪府摂津市正雀 1-4-1

\* 5 〒470-1194 愛知県豊明市栄町南館 3-16

理や果実・野菜の栽培時の衛生管理などに利用されている<sup>1),2)</sup>。さらに、私たちはこの強酸性電解水の効果を明らかにするための研究において微生物を減少させる効果があることのみならず<sup>1)</sup>、強酸性電解水処理がバナナ果実切片の追熟に関与すること<sup>3)</sup>やブロッコリー花蕾切片の黄化を抑制すること<sup>4)</sup>を報告している。

一方、最近の外食産業や中食産業では、エディブルフラワーや植物の葉そのもの（以下葉物と呼ぶ）を利用する機会が増えている。しかし、刺身などに添えられているキクや穂ジソあるいは葉物などの飾りにも多くの微生物が存在していることを報告しており<sup>5)</sup>、食中毒などの原因になると考えられる。

このような危険を回避するために、殺菌効果のある強酸性電解水をエディブルフラワーに処理することで、微生物数を減少させることができることを明らかにしている<sup>5)</sup>が、これまでの研究では、微生物への強酸性電解水処理直後の効果についてのみであり、処理後の微生物の変化については明らかにしていない。

そこで、本研究では強酸性電解水処理が貯蔵中のエディブルフラワーに存在する微生物に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、市場における流通量が多く、日常的に使用される機会が多いキクとバラならびに穂ジソに強酸性電解水処理を施し、処理直後ならびに貯蔵中の微生物数の変化を調査した。

## 実験材料および実験方法

### 1. 実験材料

キクとバラならびに穂ジソ（いずれも市販）を供試材料とした。3品目ともに、摂食する可能性が高い可食部の微生物を測定した。

### 2. 実験方法

実験器具と水ならびに標準寒天培地（ニッスイ）をオートクレーブ（120℃、15分間）で滅菌した。

数個体から調製した試料 1 g に対し、試料の 9 倍量の滅菌水を加えて 30 秒間破砕した後に混濁液を 1 ml 採り、滅菌水 9 ml を加えて、試料を希釈した。この操作を連続的に行い、試料を段階希釈した。希釈液を滅菌シャーレに 1 ml ずつ注ぎ、滅菌した標準寒天培地を流し込んでクリーンベンチ内に静置した。培地が固まった後、シャーレを反転させて 30℃ で 48 時間培養した。その後、寒天培地内に出現した 1 平板あたりのコロニー数を数えて生菌数とした。ひとつの試料の測定は、3 反復で行った。

強酸性電解水処理は、ROX-20TA（ホシザキ電機株式会社）からの強酸性電解水に供試材料を 60 秒間浸漬することによって行い、電解水区とした。同様に純水に 60 秒間浸漬した供試材料を純水区とし、無処理の供試材料を対照区とした。これらの供試材料は、処理後ポリエチレンフィルム包装を行い、20℃ で 2 日間貯蔵した。

## 結果および考察

キクの生菌数への強酸性電解水処理効果と貯蔵に伴う変化を Fig. 1 に示した。

処理直後の生菌数は対照区、純水区、電解水区の順に多く、電解水区は対照区の約 10 分の 1 であり、強酸性電解水による除菌効果がみられた。

処理後 1 日では、純水区で生菌数の大幅な増加がみられ、電解水区では対照区と同等の生菌数が測定された。さらに処理後 2 日では、電解水区のキクからは、純水区と同様に 10<sup>6</sup> の生菌が検出された。

バラの生菌数への強酸性電解水処理効果と貯蔵に伴う変化を Fig. 2 に示した。

処理直後の電解水区において検出された微生物は、対照区と純水区よりもわずかに少なかった。処理後 1 日では純水区と電解水区で生菌数の増加がみられた。処理後 2 日には電解水区と純水区では微生物がさらに増加して、ほぼ同等の生菌数が検出された。検出された生菌数に差

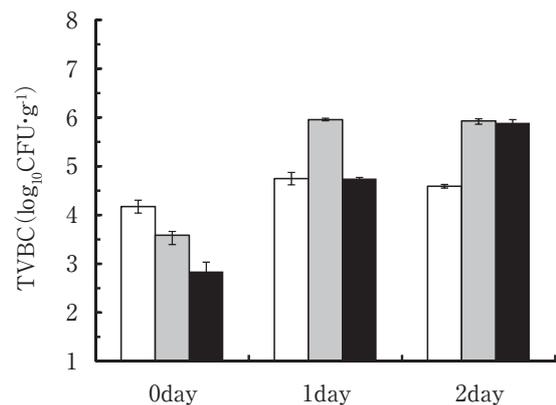


Fig. 1 Changes in total viable bacterial count in the chrysanthemums stored at 20℃ for 2 days

□ : control, ■ : purified water, ■ : electrolyzed acidic water  
n = 3

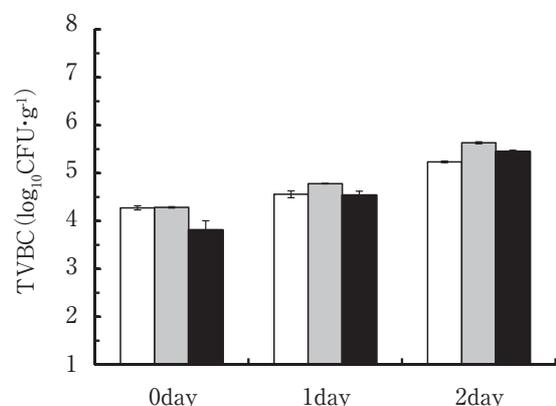


Fig. 2 Changes in total viable bacterial count in roses stored at 20℃ for 2 days

□, ■, ■ : same to Fig. 1  
n = 3

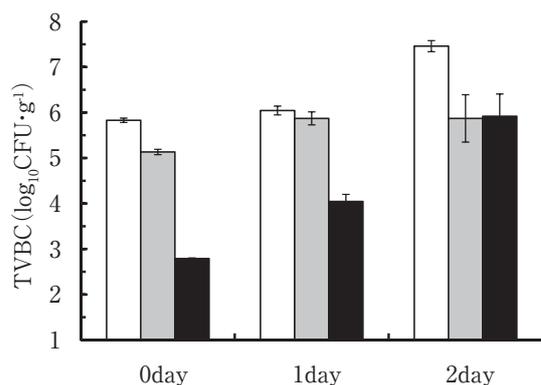


Fig. 3 Changes in total viable bacterial count in perilla stored at 20°C for 2 days

□, ■, ■ : same to Fig. 1  
n = 3

はあるが、処理区と処理後の期間による微生物の増え方は、キクとバラで同じ傾向であった。

穂ジソの生菌数への強酸性電解水処理効果と貯蔵に伴う変化をFig. 3に示した。

穂ジソはキクやバラよりも存在する生菌数が最も多かった。

穂ジソにおける強酸性電解水処理の除菌効果は非常に高く、供試した3品目中でも最も顕著であり、処理直後の電解水区の生菌数は対照区の約1,000分の1であった。

処理後1日では、純水区と電解水区では処理直後より生菌数が増加し、純水区は対照区とほぼ同じ密度になったが、電解水区は最も少なかった。処理後2日では、電解水区の生菌数と純水区の生菌数は共に10<sup>6</sup>程度検出されたが、対照区より少なかった。

品目が異なると青果物に存在する微生物の種類は異なり、微生物密度も大きな差異のあることが報告されており<sup>6)</sup>、栽培条件が異なったり<sup>5), 7)</sup>、同じ個体中でも組織が異なると微生物密度が異なることが報告されている<sup>7)</sup>。

本研究結果においても、エディブルフラワーに存在する生菌数は花の種類によって異なったが、本研究の供試材料中で、バラの微生物密度が低く、刺身に添えられる機会が多い穂ジソの生菌数が最も多いことは、過去の報告<sup>5)</sup>と一致した。

供試材料であるエディブルフラワーに存在する微生物は、強酸性電解水で処理することで減少させることができたが、強酸性電解水の効果が最も顕著に現れるのは処理直後であり、処理後1日には除菌効果は低下していることを明らかにした。

強酸性電解水は、有効塩素の残留性が低いことが特性のひとつであり<sup>1)</sup>、阿知波は、イチゴの栽培中に強酸性電解水の散布処理を継続的に行くと灰色かび病の発生を抑制できて、発病果率が低いが、散布を中止すると発病果率が高まることを報告しており、その理由として強酸性電解水の有効塩素の残留性が低いためであるとしてい

る<sup>1)</sup>。本研究においても、処理後の貯蔵中に生菌数が増加したのは、貯蔵中に有効塩素が減少しことにより微生物が増殖したためであると考えられる。

エディブルフラワーは生の野菜や動物性食品など食材に添えられることが多く、それらに直接接する食材である。そのため、微生物制御が必要であるが、利用する直前に強酸性電解水処理を施すことで、流通過程で繁殖している微生物を殺菌できる。しかし、処理後に時間が経過すると微生物は再び繁殖することが明らかになった。このことは、強酸性電解水が残留性のない食品添加物であることの証でもあり、強酸性電解水は安全で安心できる食材を提供することに貢献できると考えられる。

## 要 約

エディブルフラワーには微生物が存在するものが多いことが明らかにされているが、強酸性電解水によって微生物密度を低下させることが可能である。市販のキクとバラならびに穂ジソを電解水区や純水区あるいは対照区にわけて経時的に生菌数を測定した。その結果、処理直後では電解水区で生菌数は減少した。電解水は残留性がないために、処理後2日経過した場合には、純水区と同等まで微生物が繁殖するという結果がキクとバラならびに穂ジソのすべての試料において得られた。以上のことから、強酸性電解水はエディブルフラワーを利用する直前の処理に用いると最も効果的であることを明らかにした。

## 文 献

- 1) 阿知波信夫：電解水の利用による食品素材の品質向上と微生物的安全性確保に関する研究，日食保蔵誌，**32**，91～99（2006）
- 2) TSUCHIYA, H., ACHIWA, N., ISHIWATARI, Y., KAMITANI, Y., KATAYOSE, M., SAITO, Y., YOSHIDA, K., ABE, K. and KUSAKARI, S.: Case Study on Application of Electrolyzed Water in Agricultural Production (Productivity, Quality Improvement and Microbial Safety Assurance), *Vegetarian Research*, **7**, 13～17（2006）
- 3) 阿部一博・嘉悦佳子・石丸佳奈子・塩崎修志・草刈眞一・岡井康二・島 昭二・片寄政彦・吉田恭一郎・阿知波信夫：強酸性電解水処理による未熟バナナ果実切片の微生物的安全性の確保と生理・化学的变化への影響，日食保蔵誌，**36**，59～66（2010）
- 4) 阿部一博・森田光美・嘉悦佳子・島 昭二・阿知波信夫・草刈眞一：強酸性電解水によるブロッコリー花蕾の微生物制御と黄化抑制効果に関する研究，日本食品保蔵学会第57回大会発表要旨集（島根大学），p. 71（2008）
- 5) 阿部一博・山下祐加・小菅亜希子・芝原広恵・笹本真季子・塩崎修志・島 昭二・下山亜美・岡井康二・

- 阿知波信夫：装飾・生食用のエディブルフラワーなら  
びに葉物の微生物的安全性に関する研究，ベジタリア  
ン・リサーチ，**10**，45～49（2009）
- 6）泉 秀実：カット野菜の微生物学的品質と微生物制  
御，日食工誌，**52**，197～206（2005）
- 7）阿部一博・阿知波信夫・安藤 愛・島 昭二・草刈  
真一：栽培・流通条件が異なるニンジンの組織別にみ  
た微生物数，日食保蔵誌，**30**，277～280（2004）  
（平成22年9月27日受付，平成22年12月16日受理）
-

# 沖縄県産特産物の機能性成分と加工利用に関する食品化学的研究

平成22年度日本食品保蔵科学会学会賞

和田 浩二\* §

\* 琉球大学農学部

## Food Chemical Studies on Functional Components, Processing and Utilization of Food Products in Okinawa Prefecture

WADA Koji\* §

\* Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, Senbaru-1, Nishihara-cho, Okinawa 903-0213

**Key words** : Okinawa, Sugar cane, Kokuto, Citrus depressa, Curcuma longa, food functionality  
沖縄, サトウキビ, 黒糖, シークワーサー, ウコン, 食品機能性

### 1. はじめに

沖縄県は東西約1,000km, 南北約400kmの広大な海域に、大小160ほどの島々からなる島嶼県で、日本で唯一亜熱帯地域に位置する。このような独特な地域特性を活かして、古くから基幹作物としてのサトウキビをはじめ、沖縄独特の果樹や野菜等、他府県とは異なる多種多様な農作物が生産されている。また沖縄は古い時代から中国などの近隣アジア諸国の文化を程よく吸収し、独自の文化を築き上げてきた。食文化についても例外ではなく、沖縄の食に対する伝統的な考え方は「クスイムン」でなければならなかった<sup>1)</sup>。「クスイムン」とは沖縄の方言で「薬もの」を意味し、中国や朝鮮半島でも同様の考えが息づいている「医食同源」の思想である。このような歴史的流れから、沖縄式の食スタイルは、近年豚肉からの脂肪の摂取が多くなってきたものの、緑黄色野菜、海草、葉草の摂取が多いこと、塩分の摂取が少ないことを特徴としてきた<sup>2)</sup>。

一方、食スタイルの欧米化は、高血圧症、高脂血症や糖尿病などの生活習慣病の増加の原因と考えられており、その予防やコントロールは医療費の支出増大の問題も含めて、現在の大きな社会的課題の一つとなっている。長寿県として知られてきた沖縄県も例外ではない。厚生労働省の統計によると、沖縄県の男性の平均寿命は1985年には1位であったが、1990年には5位、2000年には26位までに低下した。わずか15年の間に全国1位から26位までに低下したことは“26ショック”と呼ばれ、沖縄県にとっての大きな社会問題となった。沖縄県が歴史的背景

から国内でもいち早く食の欧米化が進んだことが直接の要因であるかは不明であるが、少なくともこの“26ショック”はかつて長寿地域であった沖縄県の伝統的な食材や食品が、近年増加する生活習慣病に対して予防作用を有する可能性があることを新ためて提唱したと考えられる。

そこで本研究では、沖縄特産の食材および食品から機能性成分の単離や構造解析を行うとともに、それらの成分について*in vitro*および*in vivo*で種々の機能性の検証を行った。また実際の食品加工利用の観点から、食品の製造や加工法と機能性成分含量との相関や新たな食品加工技術による機能性の向上についても検討した。本総説では沖縄県特産物として、黒糖、シークワーサーおよび秋ウコンに関する研究成果を紹介する。なお、その他に沖縄県産野菜<sup>3),4)</sup>やクロレラ<sup>5)</sup>、アロエベラ<sup>6)</sup>の機能性成分ならびにその機能性の評価、泡盛の香気特性<sup>7),8)</sup>を対象にした研究等も行っているが、筆者らのそれぞれの報告を参照していただきたい。

### 2. 黒糖の機能性成分とその機能性の評価

サトウキビは沖縄の持続的農業の基幹作物であり、古くから甘味資源、いわゆる甘味料である砂糖を製造するための原料として利用されてきた。その中で黒糖は、サトウキビの搾汁液を加熱しながら、そのまま濃縮してつくるため、独特の色、味、香りを持ち、さらにショ糖以外にサトウキビ由来の多くの有用成分が含まれることから、甘味料としてだけでなく、嗜好品や健康食品としての機能性も注目されてきた。

\* 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原1

§ E-mail: kojiwada@agr.u-ryukyu.ac.jp

そこで筆者らは、まず沖縄黒糖に含まれる抗酸化物質としてフェノール化合物群を単離し、それらの構造解析や*in vitro*での抗酸化能の評価を行った。また、フェノール化合物以外の機能性成分としてサトウキビ表皮部由来の高級脂肪族アルコール（ポリコサノール）の分析を行うとともに、黒糖中のそれらの含量と製造工程の関係を明らかにした。さらに、黒糖やサトウキビおよび黒糖からの抽出物を用いて*in vivo*での機能性を検証した。なお、分蜜糖の製造工程の副産物である糖蜜等からもチロシナーゼ阻害物質や抗う蝕性物質を単離し、構造解析等を行っているが、著者らのそれぞれの報告<sup>9),10)</sup>を参照していただきたい。

### (1) 黒糖からの抗酸化物質の単離と構造解析

筆者らは黒糖の溶媒抽出物および黒糖の水溶液から各種クロマトグラフィーを用いて抗酸化物質を単離するとともに、IR, MS, NMR等の機器分析により40種類以上の化合物の構造を決定した<sup>11)~14)</sup>。これらの化合物のほとんどがフェノール化合物であり、構造から低分子フェノール、フェニルプロパノイドおよびその誘導体、リグナン、配糖体等に分類され、ここでは代表的な13種の化合物を示した(図1, 図2)。化合物1~8(図1)を対象に、リノール酸に対する水/エタノール系での過酸化脂質抑制能を測定した結果、すべての化合物が $\alpha$ -トコフェロールと同等の抗酸化活性を示し、中でも化合物3, 6にはブチルヒドロキシアニソール(BHA)に匹

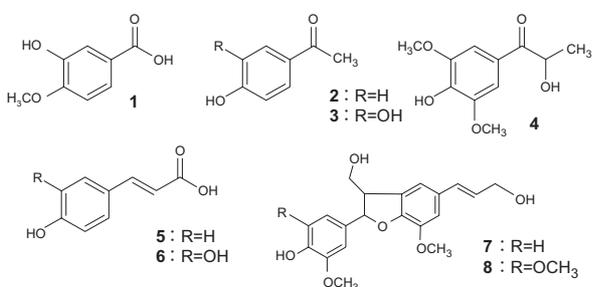


図1 黒糖中のフェノール化合物(低分子フェノール, フェニルプロパノイド, リグナン)<sup>11),12),14)</sup>

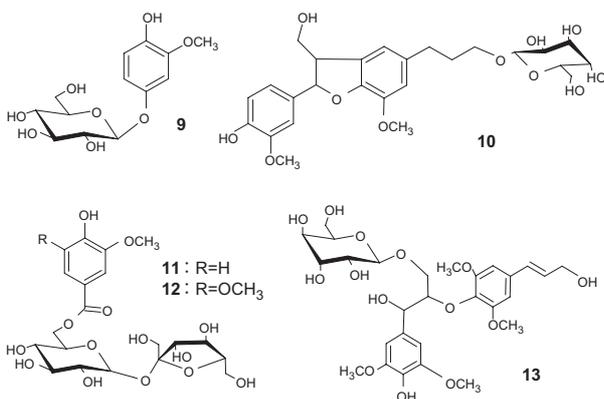


図2 黒糖中のフェノール化合物(配糖体)<sup>13)</sup>

敵する強い活性が認められた。また、2-deoxyriboseを基質としたヒドロキシラジカル消去能では、化合物2を除きすべての化合物に80%以上の強い活性が認められた。ヒドロキシラジカルは反応性の非常に高いラジカル種で細胞内の脂質, タンパク質, 核酸などの分子に障害を与えることが報告<sup>15)</sup>されていることから、分離した化合物には生体内で発生するヒドロキシラジカルを消去する効果が期待された。なお、化合物7, 8はサトウキビおよびその加工品に存在する成分として初めて単離された。

一方、配糖体である化合物9~13(図2)のヒドロキシラジカル消去能を2-deoxyriboseを基質として測定した結果、すべての化合物でラジカル消去活性が認められた。これらの化合物のラジカル補足能はフェノール性水酸基に起因すると推定されるが、さらに抗酸化力の強さはその分子が供与した電子の非局在化<sup>16)</sup>も影響することが考えられた。すなわち、化合物11, 12がBHAよりも強い活性を示したのは、フェノール性水酸基に隣接してカルボキシル基が存在するという構造上の特徴に起因することが示唆された。なお、化合物10, 11, 12, 13はサトウキビおよびその加工品に存在する成分として初めて単離された。

### (2) 黒糖のポリコサノールおよび長鎖アルデヒドの分析と製糖工程での変化

サトウキビ表皮部にはワックスの構成成分で、多様な生理活性をもつポリコサノールが多く含まれることが報告されている<sup>17)</sup>。ポリコサノールの食品機能性としては血清コレステロールの低下作用<sup>18)</sup>、血小板凝集抑制効果<sup>19)</sup>等の報告があり、またオクタコサノールは基礎代謝の向上や耐久力, 体力の増進, そして反射や鋭敏性の向上にも効果があることが注目されている<sup>20)</sup>。しかしながら、サトウキビ搾汁液を原料として製造される黒糖のポリコサノール含量や製糖工程での変化についての報告は見当たらない。そこで筆者らは、沖縄の7製糖工場で生産される黒糖中のポリコサノールについて簡易で、精度高い分析法を確立するとともに、組成や含量ならびに製糖工程での変化を明らかにした<sup>21)</sup>。

黒糖からのポリコサノールの抽出は、ヘキサン, メタノールの混合溶媒を用いることにより、ポリコサノールの高い抽出効率が得られ、また抽出物中の夾雑物も少なく、さらに誘導体化することなく直接ガスクロマトグラフ(GC)分析によりポリコサノールの定性・定量を行うことを可能とした<sup>21)</sup>。GC分析およびGC-質量分析の結果、黒糖にはC22からC30の5種類のポリコサノールとともに、同じ炭素鎖をもつC26からC30の3種類の長鎖アルデヒドが含まれることが明らかとなった(図3)。一方、各黒糖試料のポリコサノール含量は最も高いもので86mg/100g(黒糖A)、最も低いもので7mg/100g(黒糖B)と大きな違いが認められた。そこで、2つの黒糖(黒糖AおよびB)の製造工程でのポリコサノール含量の変化を分析した。ここで黒糖Aは昔ながらのオー

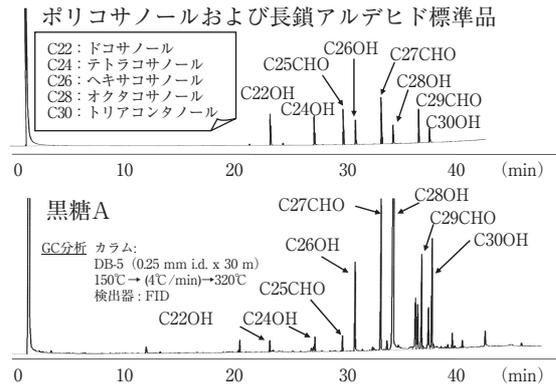


図3 黒糖のポリコサノールおよび長鎖アルデヒドのガスクロマトグラム<sup>21)</sup>

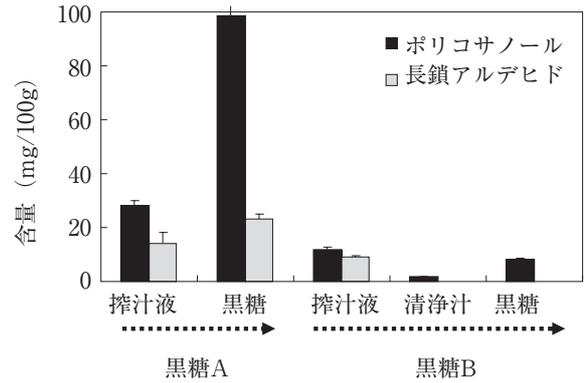


図5 製糖工程でのポリコサノールおよび長鎖アルデヒド含量の変化<sup>21)</sup>

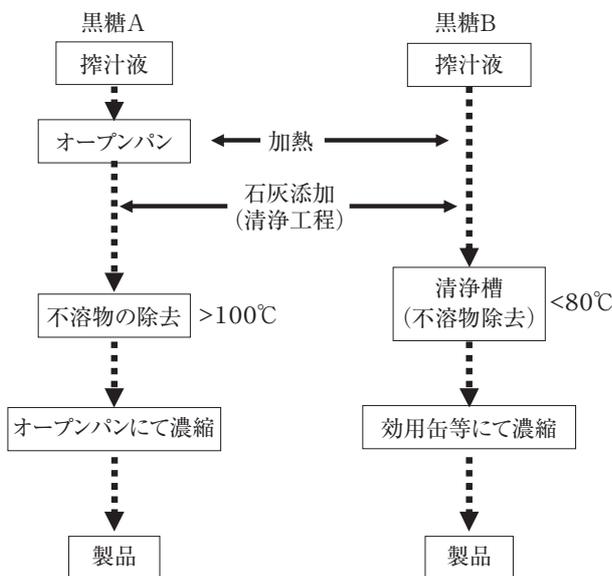


図4 黒糖の製造工程<sup>21)</sup>

ブンパンを用いた製造方法で、搾汁液はオープンパン上で加熱されながら石灰添加を行い、手作業でアクを除去することにより清浄され、その後いくつかのオープンパンを用いて加熱、濃縮される (図4-A)。これに対し黒糖Bでの搾汁液は加熱されながら石灰添加し、清浄タンクにて一旦貯められて不溶物除去が行われた後、効用缶等を用いて濃縮される (図4-B)。黒糖Aでは搾汁液の加熱による濃縮にともないポリコサノール含量が増加したのに対し、黒糖Bでは搾汁液から清浄汁で一旦減少し、その後は加熱、濃縮により黒糖Aと同様に増加した (図5)。この結果は黒糖Aの搾汁液が100℃以上の加熱状態で清浄されるのに対し、黒糖Bでは清浄汁が一旦清浄槽に貯められるため温度が下がり、ポリコサノールが溶出し、フィルタケーキとともに除去されたためと考えられた (図4)。すなわち、黒糖のポリコサノール含量は製糖工程の温度の影響を大きく受けることが明らかとなった。一方、黒糖Aの長鎖アルデヒドはポリコサノールほど製糖工程で含量が増加しなかったが、これはメイラード反応等の加熱にともなう化学反応に関与した結果

と推定された<sup>21)</sup>。

### (3) 黒糖の抗動脈硬化作用の検証

動脈硬化症の一型である粥状硬化症は、先進国における様々な疾病や死因に大きく関与していることが古くから知られている<sup>22)</sup>。粥状硬化症の危険因子については多くの報告があるが、血清トリグリセリド濃度や血清コレステロール濃度、特に低比重リポタンパク質 (LDL) 濃度の上昇が危険因子として明らかにされてきた<sup>23)</sup>。また、粥状硬化症には酸化ストレスも関与することが報告されている<sup>24)</sup>。したがって、粥状硬化症の予防には脂質の吸収や血清脂質濃度の上昇を抑制、ならびに酸化ストレスを低減する食品を摂取することが有効であると期待できる。筆者らは、黒糖の非シヨ糖画分に数多くのフェノール化合物やサトウキビ外皮由来のワックス成分としてポリコサノールが含まれることを明らかにした<sup>11)~14), 21)</sup>。フェノール化合物は一般に高い抗酸化活性を有し、*in vitro*の研究ではLDL酸化の阻害活性<sup>25)</sup>、*in vivo*の研究でも実験的粥状硬化病変の発生進展を抑える働きがあることが報告されている<sup>26)</sup>。一方、沖縄産サトウキビの外皮や外皮ワックスを含む高脂肪食でラットを飼育すると、血清総コレステロールや血清トリグリセリド濃度の上昇が抑制されることが報告されている<sup>27)</sup>。そこで著者らは、粥状硬化症モデル動物として日本ウズラを用いて、黒糖摂取による抗動脈硬化作用について検証した<sup>28), 29)</sup>。

本実験ではまず試料として、3銘柄の黒糖 (黒糖A、黒糖Bおよび黒糖C) および対照に白糖を用い、日本ウズラを高脂肪食にて飼育した<sup>28)</sup>。各試料群を12週間飼育後、粥状硬化症の発生進展を病理組織学的に評価した。コントロール群ではほとんどの日本ウズラが内膜肥厚病変を発症していたが、黒糖試料群では発症した病変は脂肪斑であり、コントロール群に対し粥状硬化病変指数は有意に低い値を示し、黒糖摂取により粥状硬化病変の発生進展が低減されたことが明らかとなった<sup>28)</sup>。

さらに黒糖中の抗粥状硬化作用を示す成分を明らかにするために、日本ウズラを市販飼料に30%白糖、30%黒糖または30%白糖に30%黒糖に含まれるワックス抽出物、

オクタコサノール, フェノール化合物抽出物を加えた高脂肪食にて飼育した<sup>29)</sup>。各試料群を12週間飼育後, 粥状硬化症の発生進展を病理組織学的に評価した結果, コントロール群に比べて各試料群の粥状硬化病変指数は有意に低い値を示し, 特に黒糖群およびフェノール化合物抽出物投与群で顕著であった (図6)。一方, 黒糖中の機能性成分の摂取は日本ウズラの体重および肝臓重量に影響を及ぼさなかった (図7-A)。また, 飼育終了後の血清のパラメーターでは, 黒糖とフェノール化合物抽出物投与群で血清ラジカル消去能が有意に高い傾向を示した (図7-B)。FUHRMANら<sup>30)</sup>は, ポリフェノールを多く含む葡萄粉末の摂取によるApoE<sup>-/-</sup>マウスの血清抗酸化活性の上昇がLDLの酸化およびマクロファージ

による酸化LDLの取り込みを阻害し, 抗粥状硬化作用を示すことを提唱している。以上のことから, 黒糖中の機能性成分としてフェノール化合物が日本ウズラの粥状硬化病変の発生進展の抑制に大きく寄与していることが示唆された。今回ワックス抽出物やオクタコサノールの食餌投与では, 日本ウズラの血清総コレステロールや血清トリグリセリド濃度に有意な違いは認められなかった。これらの要因の一つとして, ワックス抽出物やオクタコサノールの投与レベル, 実験動物の種類, 飼育期間等の違いによることが考えられた。

今後は黒糖に含まれる単独成分や他の食品との組み合わせによる機能性の研究, さらにはヒトを用いたコホート研究等も必要と考えられる。

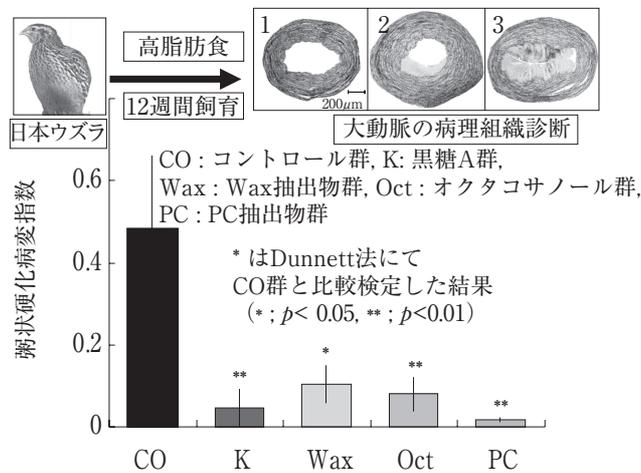


図6 動脈硬化病変の発生進展におよぼす黒糖および抽出物の影響<sup>29)</sup>

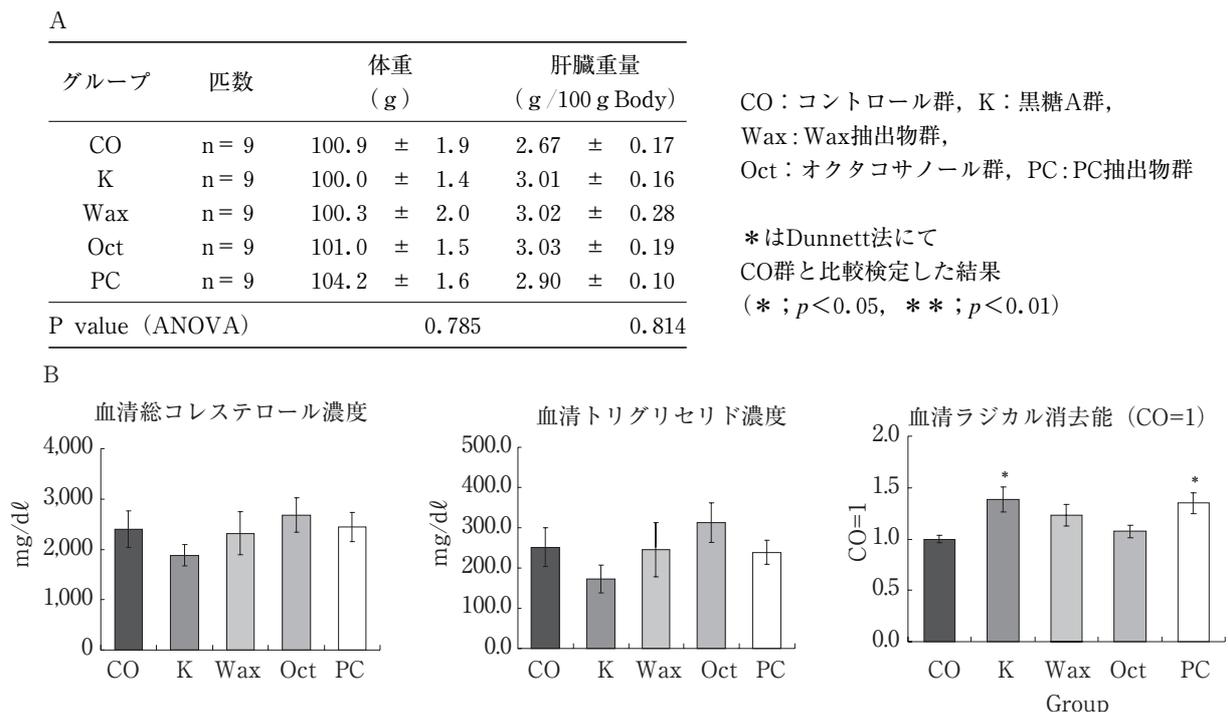


図7 飼育終了後の各測定データにおよぼす黒糖および抽出物の影響<sup>29)</sup>

### 3. シークワーサー果実および加工品の機能性成分の分析

シークワーサー (*Citrus depressa* Hayata) はカンキツ属後生カンキツ亜属ミカン区コミカン亜区に属するカンキツで、古くは南西諸島から台湾にかけて自生していたとされる。沖縄で経済的な栽培がはじまったのは1960年代とされるが、その栽培地域は現在も沖縄本島北部の大宜味村や名護市周辺の勝山、伊豆味地区などに限られている。シークワーサーの主な用途には酸味料、加工用、生食があげられるが、ほとんどは果汁飲料の原料として用いられてきた。しかしながら、その果汁の糖酸比は4~8と低く、温州ミカン果汁(糖酸比が12内外)と比較すると嗜好性はかなり劣っており、2000年までは沖縄の農産物資源としての価値は非常に低かった。一方、カンキツ類の機能性成分の研究や疫学的な研究が多くなされた結果、カンキツ類由来の新たな発ガン抑制成分としてポリメトキシフラボン(PMF)の一つであるノビレチンが見いだされ、さらにシークワーサーに多く含まれることが明らかにされた<sup>31)</sup>。ノビレチンの生理的機能性についてはその他にも、抗炎症作用<sup>32)</sup>、血糖上昇抑制作用<sup>33)</sup>、認知症予防<sup>34)</sup>等、多くの検証がなされてきた。一方で研究はノビレチンの機能性自体に注目が集まり、沖縄の生産地域や産業が必要としているシークワーサー果実やその系統と機能性成分との関連、すなわち遺伝資源的な機能性成分のデータや果汁の品質特性の解明、品質改善といった加工利用の知見はほとんど得られていなかった。

そこで筆者らは、まずシークワーサーの主な用途である果汁を対象に、簡易で精度の高いノビレチンの定量法を確立するとともに、実際の果汁製造工程におけるノビレチン含量の変化を分析した。また、種々のシークワーサー系統の果実に含まれるノビレチンをはじめとするPMFの遺伝資源的な分析を行った。さらに、新たな加工原料として期待される無核シークワーサーの果実特性およびPMF含量を分析した。なお、PMF以外の機能性成分、果汁の品質特性の解明や品質改善についての研究は、筆者らのそれぞれの報告<sup>35)~38)</sup>を参照していただきたい。

#### (1) シークワーサー果汁中のノビレチンの定量的分析

シークワーサーは果実が小さく果皮が薄いという果実特性や耐病害虫性に優れ農薬散布が少ないことから、果実を丸ごと搾汁する全果搾汁方式により果汁へと加工されている(図8-A)。このため温州ミカンに代表されるチョッパーパルパー搾汁方式の果汁に比べ、果皮の成分やパルプなどが多く含まれることも特徴のひとつと考えられている。まず筆者らは、シークワーサー果汁中のノビレチンの定量法を設定するとともに、果汁製造工程におけるノビレチン含量の変化について分析した<sup>39)</sup>。

シークワーサー果実および果汁試料は沖縄県経済農業

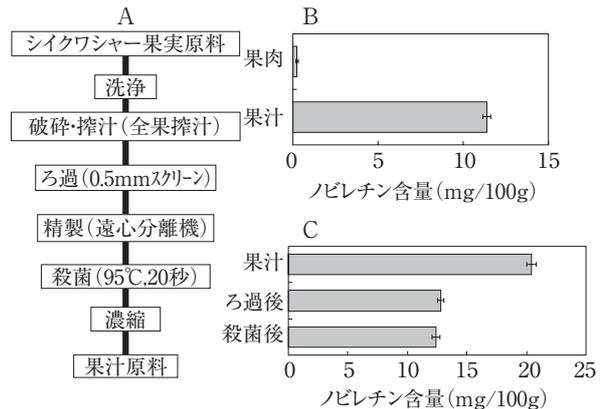


図8 シークワーサー果汁製造工程とノビレチン含量<sup>39)</sup>

協同組合連合会農産加工場(現沖縄総合農産加工株式会社)での果汁製造工程での原料果実および果汁を用いた。シークワーサー果汁からのノビレチンの抽出は、果汁試料を遠心エバポレータで濃縮後、メタノールを用いた超音波処理により行った。ノビレチン抽出物(2ml定容物)は高速液体クロマトグラフ(HPLC)を用いて分析した。本HPLC分析によるノビレチンの分析限界値は0.1mg/100g、再現精度は変動係数で1.8%、分析時間は15分であり、他のカンキツ果汁のポリメトキシフラボン分析の報告に匹敵する正確さ、精度の結果を得た<sup>39)</sup>。

一方、カンキツのフラボノイド類は可食部である果肉よりも果皮に多く含まれることが報告されている<sup>31)</sup>。本原料果実の果肉にも、ノビレチンは約0.2mg/100gしか含まれていなかった(図8-B)。したがって、果汁中のノビレチンは果実を丸ごと搾汁する全果搾汁方式により、果皮から果汁に移行した成分であることが明らかとなった。

次に果汁製造工程でのろ過後、遠心分離処理後および殺菌後の果汁試料のノビレチン含量を測定し、比較した(図8-C)。0.5mmスクリーンでろ過した果汁に遠心分離処理を行うことで、約8mg/100gのノビレチン含量の低下が認められた。これはパルプに存在したノビレチンが遠心分離処理で同時に除去されたためと推察された。シークワーサー果汁製造での遠心分離処理による一部のパルプ除去は、続く殺菌工程での熱処理による焦げ臭の発生の防御や製品での固形沈殿物の低減などを目的として行うが、果汁中の機能性成分であるノビレチン含量にも大きな影響を及ぼす処理であることが明らかとなった。成分としては異なるが、温州ミカンの果汁製造の遠心分離処理でのパルプにも機能性成分である脂溶性のβ-クリプトキサンチンをはじめとするカロテノイドが多く含まれていることが報告されている<sup>40)</sup>。一方、加熱による殺菌工程ではノビレチン含量に変化は認められず、熱処理に対してノビレチンは安定であることが判明した。

#### (2) 種々のシークワーサー系統のポリメトキシフラボンの分析

シークワーサーは枝変わりしやすいため多くの系統が

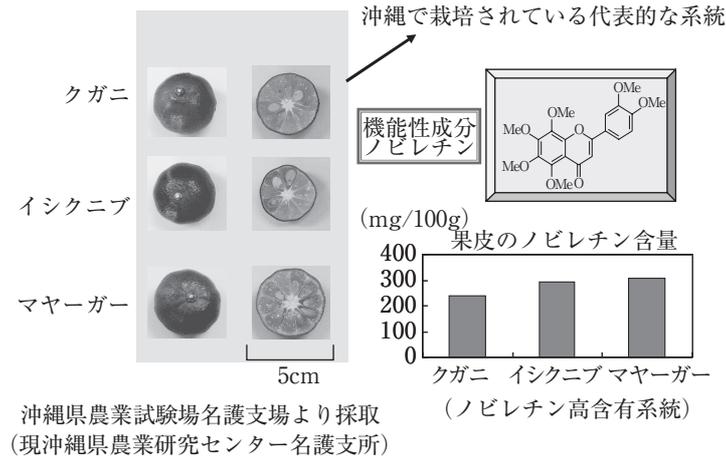


図9 シークワサー系統のノビレチン含量<sup>41)</sup>

存在するにもかかわらず、その機能性成分や加工特性については科学的に不明な点が残されていた。したがって、シークワサーからノビレチンを高濃度で含有する果汁や機能性素材を開発するには、果実特性を含めた組織的な系統の探索や選抜が必要とされた。そこで筆者らは、種々のシークワサー系統の果実特性、ノビレチン含量等を分析した<sup>41)</sup>。

シークワサーの果実は、9月から12月に沖縄県農業試験場名護支場（現沖縄県農業研究センター名護支所）の圃場で保存管理されている系統樹木より1か月ごとに採取した。各系統の果実重量は生育とともに増加し、果汁量も果実重量にほぼ比例したが、主要栽培系統であるクガニが最も高い果汁量を示した。次に、各系統の部位別（果肉および果皮）のノビレチン含量を経時的に測定した結果、果肉のノビレチン含量はいずれの時期も1mg/100g以下であり、ほとんど含まれていなかった。一方、果皮のノビレチン含量は各系統とも果実の生育とともに減少したが、100g生果皮当たり140~350mgあり、マヤーガー、イシクニブといった系統はクガニよりもノビレチンを高含有する系統であることが明らかとなった（図9）。さらに、各系統果実について小型遠心搾汁機を用いた全果搾汁によるノビレチンの果汁への移行を分析した結果、同一遠心力では果汁のノビレチン含量は果皮中の含量にほぼ比例することを確認した。以上のことから、ノビレチンを高含有する系統を原料とすることで、高い機能性をもつ果汁飲料の製造が可能であることが示唆された。

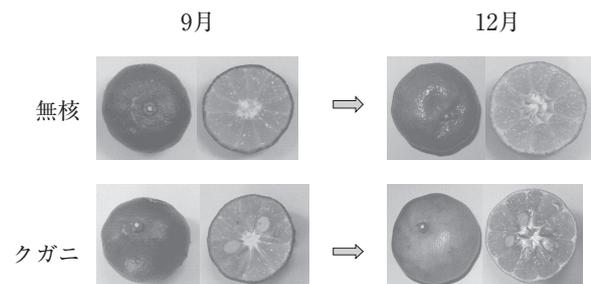
### (3) 無核シークワサーの果実特性とポリメトキシフラボンの分析

シークワサーの多くは果汁に加工されるが、果汁加工期である11月以降でも果実の酸味は強く、種子も多いことから、嗜好性や果汁加工に優れた系統の選抜が期待されている。このような中で沖縄県農業試験場名護支場（現沖縄県農業研究センター名護支所）では無核のシークワサー系統が保存されており、新たな果汁加工用の

系統として注目されてきた。この無核シークワサー系統は偶発実生の樹で、1980年代に実生樹から穂木を取り、台木を用いて接木されたとされている。しかしながら、シークワサー系統の遺伝資源的な研究は、筆者らの報告を除いて樹性や一部の果実特性についての報告<sup>42)</sup>があるだけで、果実に含まれる機能性成分にまで言及したものは見当たらない。そこで筆者らは、無核シークワサー系統と現在の主要栽培系統であるクガニの果実特性ならびに果実のPMF含量を分析し、果汁飲料などへの新たな加工原料としての可能性を検討した<sup>43)</sup>。

クガニおよび無核シークワサーの果実は、9月から12月にかけて1か月ごとに採取した。生育期間を通してクガニでは1果当たり9~11個の種子が含まれたが、無核シークワサーでは種子は認められなかった（図10）。また、果実の肥大や酸含量の減少から無核シークワサーはクガニに比べ早熟の系統であると考えられ、糖酸比の上昇からクガニよりも1か月早く果汁の加工に利用できる系統であることが示唆された。

次に両系統の部位別（果肉および果皮）のPMF含量を経時的にHPLC分析した結果、果皮からはシネンセチン（20~40mg/100g生果皮）、ノビレチン（130~260mg/100g生果皮）、デメチルノビレチン（8~26mg/100g生果皮）およびタンゲレチン（50~120mg/100g生果皮）が定量的に、ナツダイダインが定性的に検出され、果肉



沖縄県農業研究センター名護支所より採取

図10 クガニと無核シークワサー<sup>43)</sup>

に含まれた含量 (0.1~0.6mg/100g) よりも著しく高い値を示した<sup>43)</sup>。また両系統とも生育にともない個々のPMF含量は減少する傾向を示したが、クガニと無核シークワサーを比較すると、9月から11月まではいずれのPMF含量も無核シークワサーの方が高いことが明らかとなった<sup>43)</sup>。

以上のように、無核シークワサーは現在の主要な栽培系統であるクガニに比べて早期に果汁加工に利用できる系統であり、果汁加工の適期においてクガニよりもPMF含量が高い果汁が得られることを明らかにした。さらに果実に種子が無いということは、果汁飲料における種子由来の苦味成分の軽減による嗜好性の向上や副産物である果皮残渣の利用のし易さなどの利点をもっていると考えられる。なお、本無核シークワサーは2009年3月9日に種無し(無核)のシークワサー品種「仲本シードレス」として品種登録された。

### 3. 秋ウコンエキスのリポソーム化による食品機能の向上

秋ウコンは、南アジアを中心に熱帯から亜熱帯にかけて自生しているショウガ科の多年草で、日本では主に沖縄で生産されている<sup>44)</sup>。秋ウコンに含まれる機能性成分には、クルクミノイドとセスキテルペン系の精油成分があるが、特にクルクミノイドに属するクルクミンは肝保護作用をはじめ、多くの生体調節機能が報告されている<sup>45)~47)</sup>。しかしながら、クルクミンは難水溶性で凝集しやすく<sup>48)</sup>、また消化液により分解しやすい<sup>49)</sup>ために、生体利用率が低いという欠点をもっていた。筆者らは、秋ウコン中のクルクミンをナノサイズでリポソーム化する方法に着目した。リポソームとは、レシチンのような両親媒性物質が水中に分散することにより、水溶性のリン酸ドメインが外側へ、疎水性の脂質ドメインが内側へと自発的に並んだ二分子層からなる乳化小胞体である<sup>50)</sup>。医薬品材料としてはよく利用されているが、食品分野においては高コストかつ煩雑な調製法のために未だ実用化には至っていない。そこで筆者らは、食品用レシチンを用いて簡便で低コストの食品用リポソームの製造プロセスの開発と機能性の評価を行った。また、秋ウコンエキスやクルクミンのリポソーム化を行い、得られたリポソームの消化液耐性、腸管吸収性および食品機能性について検証した。

#### (1) リポソーム化秋ウコンの調製とその特性

食品用途としてのリポソームの応用例はほとんどない。その理由として、カプセル原料が高コストであること、調製に有機溶媒を使用すること、複雑な乳化方法をともなうこと等があげられる。そこで筆者らは、リポソームの調製に最適な食品用レシチンの探索を行うとともに、選択した食品用レシチンを用いてホモキサー処理および超高压ホモジナイザー処理を組み合わせたメカノケミカル法によりリポソーム化秋ウコンエキス(LUE)を

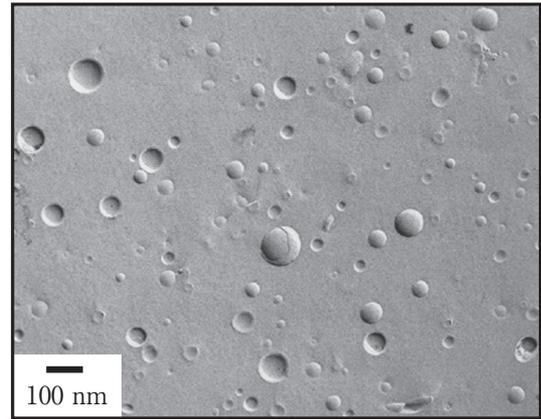


図11 リポソーム化秋ウコンエキス(LUE)の電子顕微鏡写真<sup>51)</sup>

調製し、そのリポソームの物性や構造から、処理条件の最適化を行った<sup>51)</sup>。

食品用レシチンとして高純度大豆レシチン(SLP-WHITE)、分別レシチン(SLP-PC70)および卵黄レシチン(PL-30S)を用いて調製したリポソームの構造および物性から、SLP-WHITEが最も小さく均一なリポソームであり、分散性も1か月安定であった<sup>51)</sup>。そこで、SLP-WHITE(最終濃度5wt%)および秋ウコンエキス(最終濃度2.5, 5.0および10.0wt%)を用いてメカノケミカル法によりリポソームの調製を検討した結果、LUEの粒子径は秋ウコンエキスの濃度に依存して大きくなることを確認した。さらに、超高压ホモジナイザーの処理圧力および処理回数の増加とともにLUEの粒子径は減少し、特に200nm以下のLUEを調製する場合では、超高压ホモジナイザーの処理圧力が100MPa、1パスが最適であることを明らかにした。また、この条件で調製したLUEは平均粒子径100nm程度の一枚膜であり、クルクミンの内封率が85%以上と良好であった(図11)。

#### (2) リポソーム化秋ウコンの安定性と機能性

機能性食品を経口投与した場合、消化液のpH環境や消化酵素等により有効成分が分解されるものがある。秋ウコンの有効成分であるクルクミンはその消化過程において、その一部が分解されて活性が低下することが報告されている<sup>49)</sup>。一方、秋ウコンエキスのリポソーム化により、クルクミンの体内での消化液耐性が向上すれば、秋ウコンエキスの肝障害抑制効果をはじめとする機能性が賦活されることが予想された。そこで筆者らは、まず体内消化液に対するLUEのクルクミン保護効果を明らかにするために、人工胃酸および人工胆汁処理後の対照群(秋ウコンエキス)とLUE中のクルクミン残存率を比較、検証した<sup>52)</sup>。また、秋ウコンエキスのリポソーム化による機能性の賦活を明らかにするために、対照群とLUEの肝障害抑制効果を血清中のアスパラギン酸トランスフェラーゼ(AST)およびアラニンアミノトランスフェラーゼ(ALT)活性を指標として検証した<sup>52)</sup>。

人工胃酸試験ではリポソーム化の有無によらず、クル

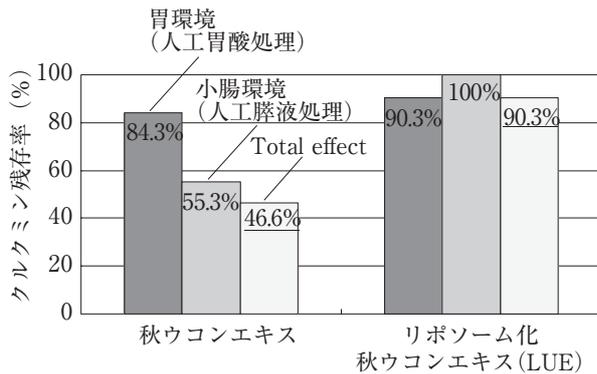


図12 人工消化液に対するクルクミンの残存率<sup>52)</sup>

クミンは高い残存率を示したが、人工腸液試験では対照群のクルクミンが45%分解したのに対し、LUEでは完全にクルクミンの分解を抑制した(図12)。人工胃酸および人工腸液の各消化効果を加味したクルクミンの残存率は、対照群の47%に対しLUEでは90%であり(図12)、秋ウコンエキスのリポソーム化によりクルクミンを経口摂取した場合でも安定に腸管までデリバリーできることが示唆された。また、ICRマウスに秋ウコンエキスおよびLUEを3日間投与した後、四塩化炭素で肝障害を誘発させてASTおよびALT酵素活性を測定した結果、秋ウコンエキス投与群では肝障害抑制を認めなかった投与量以下(10mg/kgBW)で、LUE投与群に有意な肝障害抑制効果を認めた<sup>52)</sup>。以上のことから、LUEは秋ウコンエキスと比較して消化管での安定性が高いため、小腸上皮細胞に到達したクルクミンの濃度も高く、また吸収も促進されることで、肝障害抑制効果が賦活されることが示唆された。

### (3) リポソーム化クルクミンのラットにおける血中動態

経口摂取したクルクミンの生体内への吸収代謝はほとんど分かっていない。これは従来の分析手法の検出感度が低いことなども要因であるが、その薬理活性は消化管での作用に限定されると考えられてきた。一方、HOLDERら<sup>53)</sup>は経口投与と実験で、トリチウム標識したクルクミンの6%が尿中に回収されることを示した。この結果はクルクミンの一部が体内に吸収されることを意味する。しかしながら、クルクミンのリポソーム化による体内吸収に関する報告は見当たらない。そこで筆者らは、クルクミンのみをリポソーム化したリポソーム化クルクミン(LEC)をSDラットに投与後、血漿中のクルクミンをHPLC等により分析し、リポソーム化によるクルクミンの吸収性や血漿の抗酸化能を検証した<sup>54)</sup>。

SDラットにおけるLECの摂取は、クルクミンのみの摂取に比べて有意に血中クルクミン濃度を上昇させていた(図13)。MAITIら<sup>55)</sup>はクルクミンとレシチンの同時投与によってクルクミンの吸収率が促進することを報告しているが、その投与量は筆者らの投与量の10倍であった。本研究におけるクルクミンとレシチンの混合物の投

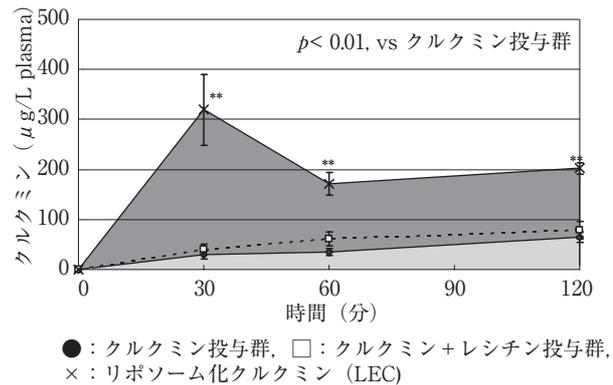


図13 リポソーム化クルクミン(LEC)投与における血漿中のクルクミンの動態<sup>54)</sup>

与では、血中クルクミン濃度はクルクミンのみの投与と比べて差が認められなかった(図13)。したがって、LECのクルクミンの吸収促進の要因はリポソーム化によることが明らかとなった。さらに、血漿中のクルクミン濃度は血漿の抗酸化活性と相関しており、クルクミンのリポソーム化は生理的機能性に大きく影響を与えることが示唆された。以上のことから、筆者らが報告したLUEの摂取における肝障害抑制賦活効果<sup>52)</sup>についても、クルクミン等の抗酸化成分の腸管吸収が増加し、血中抗酸化活性を向上させることによるものと考えられた。

本研究は秋ウコンエキスを内包したリポソームの量産方法としては初めての報告であり、リポソームの食品分野への応用がより加速することを期待したい。

## 5. おわりに

沖縄では古くから「医食同源」の思想があり、沖縄県特産の食材や食品のよさ(機能性)が伝承されてきた。また、近年増加する生活習慣病の予防や改善には、食品由来の生理活性成分の摂取が安全性の面からも非常に有効であることが提唱されている。このような背景から、沖縄県特産物に含まれる生理活性成分の機能性に関する基礎研究が積極的に行われるようになった。しかしながら、多くの研究は機能性やそのメカニズムに着目したもので、沖縄の生産地域や産業が必要としている機能性成分に関する遺伝資源情報や加工利用特性の知見についてはまだまだ不十分である。一方、地方においては1次産業(生産)、2次産業(加工・流通)および3次産業(販売)が一体となった6次産業を想定した効率的な総合利用システムを構築し、地域の食素材や食品を周年的に取り扱うことで生産農家や地元加工業者の経営を安定化させる取り組みが求められている。したがって、沖縄県特産物についても研究機関で得られた基礎的知見をもとに、今後は産学官連携での応用的研究や実用化を積極的に進める必要がある。

最後に沖縄県産特産物を対象とした機能性成分の分析や加工利用に関する研究を通じて、今後も地域産業の活

性化へ貢献できればと考える。

**謝 辞** 本研究は、琉球大学農学部（農芸化学科、生物資源科学科を経て現在は亜熱帯生物資源科学科）において行ったものであり、本研究に対して学会賞の栄誉を与えていただきました日本食品保蔵科学会ならびに学会関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

研究を遂行するにあたり、長年にわたり同じ研究室でご協力をいただきました高良健作准教授に衷心より感謝申し上げます。また多くの研究は琉球大学内外の多くの先生や研究者の皆様から多大なご助言、ご指導、ご鞭撻をいただきました。黒糖につきましては琉球大学分子生命科学センター（現熱帯生物圏研究センター）の屋宏典教授、稲福征志博士、岡部貴史博士、シークワサーにつきましては中村学園大学栄養科学部の太田英明教授、果樹研究所（当時、現在は生物系特定産業技術研究支援センター）の矢野昌充博士、秋ウコンにつきましては産業技術総合研究所の北本大博士、金秀バイオ株式会社の高橋誠博士（当時、現在は株式会社沖縄TLO）に厚く感謝申し上げます。また、実験試料を快く提供いただきました沖縄県農業試験場（現沖縄県農業研究センター）、沖縄県経済農業協同組合連合会農産加工場（現沖縄総合農産加工株式会社）、金秀バイオ株式会社の関係者の皆様に御礼申し上げます。さらに、ともに苦労しながら研究を進めていただいた食品化学研究室の多くの大学院生ならびに学部学生の皆様に心より感謝いたします。最後に、長年にわたり研究者の道をご指導いただきました九州大学名誉教授の箴島豊先生に深く感謝と御礼を申し上げます。

## 文 献

- 1) 外間守善：沖縄の食文化（新星出版、沖縄），pp. 34～36（2010）
- 2) 終山幸志郎編：長寿の要因（九州大学出版会、福岡），pp. 111～124, pp. 177～124（2000）
- 3) MAEDA, G., TAKARA, K., WADA, K., OKI, T., MASUDA, M., ICHIBA, T., CHUDA, Y., ONO, H. and SUDA, I.: Evaluation of antioxidant activity of vegetables from Okinawa prefecture and determination of some antioxidative compounds, *Food Sci. Tech. Res. earch*, **12**, 8～14（2006）
- 4) 前田剛希・広瀬直人・屋 宏典・高良健作・和田浩二：ホソバワダン（*Crepidiastrum lanceolatum*）のLDL抗酸化成分とラットにおける血中動態，*食科工*，**53**，627～633（2006）
- 5) 高橋 誠・島田ほしの・高良健作・和田浩二：高血圧自然発症ラットの血圧上昇に及ぼすリポソーム化クロレラエキスの影響，*食科工*，**56**，573～578（2009）
- 6) TAKAHASHI, M., KITAMOTO, D., ASIKIN, Y., TAKARA, K. and WADA, K.: Liposomes encapsulating Aloe vera leaf gel extract significantly enhance proliferation and collagen synthesis in human skin cell lines, *J. Oleo Sci.*, **58**, 643～650（2009）
- 7) 玉村隆子・和田浩二・高良健作・石川信夫・岩淵久克・仲宗根洋子・知念 功：ポーラスポリマービーズを用いた固相抽出法による泡盛の香気分析，*食科工*，**48**，202～209（2001）
- 8) 玉村隆子・和田浩二・種岡文恵・高良健作・石川信夫・仲宗根洋子・知念 功：泡盛製造工程における香気特性の変化，*食科工*，**50**，90～95（2003）
- 9) TAKARA, K., IWASAKI, H., UJIHARA, K. and WADA, K.: Human Tyrosinase Inhibitor in Rum Distillate Wastewater, *J. Oleo Sci.*, **57**, 191～196（2008）
- 10) TAKARA, K., USHIJIMA, K., WADA, K., IWASAKI, H. and YAMASHITA, M.: Phenolic compounds from sugarcane molasses possessing antibacterial activity against cariogenic bacteria, *J. Oleo Sci.*, **56**，611～614（2007）
- 11) NAKASONE, Y., TAKARA, K., WADA, K., TANAKA, J., YOGI, S. and NAKATANI, N.: Antioxidative compounds isolated from Kokuto, non-centrifugal cane sugar, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **60**，1714～1716（1996）
- 12) 高良健作・金城聡子・松井大吾・和田浩二・仲宗根洋子・与儀誠一：黒糖の非ショ糖画分におけるフェノール性抗酸化成分，*農化誌*，**74**，885～890（2000）
- 13) TAKARA, K., MATSUI, D., WADA, K., ICHIBA, T. and NAKASONE, Y.: New antioxidative phenolic glycosides isolated from Kokuto non-centrifuged cane sugar, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **66**，29～35（2002）
- 14) TAKARA, K., MATSUI, D., WADA, K., ICHIBA, T., CHINEN, I. and NAKASONE, Y.: New phenolic compounds from Kokuto, non-centrifuged cane sugar, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **67**，376～379（2003）
- 15) GUTTERIDGE, J. M. C.: Ferrous-salt-promoted damage to deoxyribose and benzoate, *Biochem. J.*, **243**，709～714（1987）
- 16) CUVELIER, M. E., RICHARD, H. and BERSSET, C.: Comparison of the antioxidative activity of some acid-phenol: structure-activity relationship, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **56**，324～325（1992）
- 17) IRMAK, S., DUNFORD, N. T. and MILLIGAN, J.: Policosanols contents of beeswax, sugar cane and wheat extracts, *Food Chem.*, **95**，312～318（2006）
- 18) SINGH D. K., LI, L. and PORTER, T. D.: Policosanols inhibits cholesterol synthesis in hepatoma cells by activation of AMP-Kinase, *J. Phar. Exp. Ther.*, **318**，1020～1026（2006）
- 19) CASTAFIO, G., ARRUAZABALA, M. L., FERNANDEZ,

- L., MAS, R., CARBAJAL, D., MOLINA, V., IINAIT, J., MENDOZAL, S., GAMEZ, R., MESA, M. and FERNANDEZ, J.: Effects of combination treatment with policosanol and Omega-3 fatty acids on platelet aggregation: A randomized, double-blind clinical study, *Curr. Ther. Res.*, **67**, 174~192 (2006)
- 20) TAYLOR, J.C., RAPPORT, L. and LOCKWOOD, G. B.: Octacosanol in human health, *Nutr.*, **19**, 192~195 (2003)
- 21) ASIKIN, Y., CHINEN, T., TAKARA, K. and WADA, K.: Determination of long-chain alcohol and aldehyde contents in the non-centrifuged cane sugar, *Food Sci. Tech. Res.*, **14**, 583~588 (2008)
- 22) TEJADA, C., STRONG, J. P., MONTENEGRO, M. R., RESTREPO, C. and SOLBERTG, L. A.: Distribution of coronary and aortic atherosclerosis by geographic location, race, and sex, *Lab. Invest.*, **18**, 509~526 (1968)
- 23) CHOY, P. C., SIOW, Y. L., MYMIN, D. and O, K.: Lipids and atherosclerosis, *Biochem. Cell Biol.*, **82**, 212~224 (2004)
- 24) KALIORA, A. C., DEDOUSSIS, G. V. Z. and SCHMIDT, H.: Dietary antioxidants in preventing atherogenesis, *Atherosclerosis*, **187**, 1~17 (2006)
- 25) KUROSAWA, T., ITOH, F., NOZAKI, A., NAKANO, Y., KATSUDA, S., OSAKABE, N., TSUBONE, H., KONDO, K. and ITAKURA, H.: Suppressive effects of cacao liquor polyphenols on LDL oxidation and the development of atherosclerosis in Kurosawa and Kusanagi - hypercholesterolemic rabbits, *Atherosclerosis*, **179**, 237~246 (2005)
- 26) HAKEY, T., FUHRMAN, B., VAYA, J., ROSENBLAT, M., BELINKY, P., COLEMAN, R., ELIS, A. and AVIRAM, M.: Reduced progression of atherosclerosis in apolipoprotein E-deficient mice following consumption of red wine, or its polyphenols quercetin or catechin, is associated with reduced susceptibility of LDL to oxidation and aggregation, *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.*, **17**, 2744~2752 (1997)
- 27) SHO, H., CHINEN, I. and FUKUDA, N.: Effect of Okinawan sugar cane wax and fatty alcohol on serum and liver lipids in the rat, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **30**, 553~539 (1984)
- 28) INAFUKU, M., TODA, T., OKABE, T., WADA, K., TAKARA, K., IWASAKI, H. and OKU, H.: Effect of Kokuto, a non-centrifugal cane sugar, on the development of experimental atherosclerosis in Japanese quail and apolipoprotein E deficient mice, *Food Sci. Tech. Res.*, **13**, 61~66 (2007)
- 29) OKABE, T., TODA, T., INAFUKU, M., WADA, K., IWASAKI, H. and OKU, H.: Antiatherosclerotic function of Kokuto, Okinawan noncentrifugal cane sugar, *J. Agric. Food Chem.*, **57**, 69~75 (2009)
- 30) FUHRMAN, B., VOLKOVA, N., COLEMAN, R. and AVIRAM, M.: Grape powder polyphenols attenuate atherosclerosis development in apolipoprotein E deficient (E0) mice and reduce macrophage atherogenicity, *J. Nutr.*, **135**, 722~728 (2005)
- 31) KAWAIL, S., TOMONO, Y., KATASE, E., OGAWA, K. and YANO, M.: Quantification of flavonoid constituents in Citrus fruit, *J. Agric. Food Chem.*, **47**, 3565~3571 (1999)
- 32) EGUCHI, A., MURAKAMI, A., LI, S., HO, C. T. and OHIGASHI, H.: Suppressive effects of demethoxylated metabolites of nobiletin on phorbol ester-induced expression of scavenger receptor genes in THP-1 human monocytic cells, *Biofactors*, **31**, 107~116 (2007)
- 33) LEE, Y. S., CHA, B. Y., SAITO, K., YAMAKAWA, H., CHOI, S. S., YAMAGUCHI, K., YONEZAWA, T., TERUYA, T., NAGAI, K. and WOO, J. T.: Nobiletin improves hyperglycemia and insulin resistance in obese diabetic ob/ob mice, *Biochem. Pharmacol.*, **79**, 1674~1683 (2010)
- 34) NAKAJIMA, A., YAMAKUNI, T., HARAGUCHI, M., OMAE, N., SONG, S-Y., KATO, C., NAKAGAWASAI, O., TADANO, T., YOKOSUKA, A., MIMAKI, Y., SASHIDA, Y. and OIZUMI, Y.: Nobiletin, a citrus flavonoid that improves memory impairment, rescues bulbectomy-induced cholinergic neurodegeneration in mice, *J. Pharmacol. Sci.*, **105**, 122~126 (2007)
- 35) MIYAGI, K., FUJISE, T., KOGA, N., WADA, K., YANO, M. and OHTA, H.: Synephrine in shiikuwasha (*Citrus depressa* Hayata): Change during fruit development, and its distribution in citrus varieties, *Food Sci. Tech. Res.*, **15**, 389~394 (2009)
- 36) 宮城一葉・藤瀬朋子・古賀信幸・和田浩二・矢野昌充・太田英明: 数種の搾汁方式と保温温度がシークワシャー果汁の品質安定性に及ぼす影響—ポリメトキシフラボン類およびシネフリンの安定性—, 日食保蔵誌, **35**, 3~9 (2009)
- 37) 宮城一葉・和田昌子・藤瀬朋子・古賀信幸・和田浩二・矢野昌充・太田英明: イオン交換樹脂処理と不溶性パルプ添加の併用効果によるシークワシャー(*Citrus depressa* Hayata) 果汁の品質改善, 食科工, **56**, 193~199 (2009)
- 38) 宮城一葉・古賀信幸・和田浩二・矢野昌充・太田英明: 季節変化がシークワシャー果汁の品質特性に及ぼす影響, 日食保蔵誌, **36**, 17~21 (2010)

- 39) 和田浩二・上原真希子・高良健作・當銘由博・矢野昌充・石井利直・太田英明：シークワサー果汁中のノビレチンの定量的分析, 日食保蔵誌, **32**, 29~33 (2006)
- 40) 隅田孝司・東 誠広・濱田 智・小川浩史・多田幹郎・温州ミカン果汁からの高カロテノイド含有パルプの調製, 食科工, **46**, 404~409 (1999)
- 41) WADA, K., TOME, Y., TAKARA, K., YANO, M., ISHII, T., and OHTA, H., : Determination of polymethoxylated flavones from shiikuwasha (*Citrus depressa* HAYATA) during growth period, *22th International Conference on Polyphenols*, Finland (2004)
- 42) 高原利雄：シイクワシャー, 特産果樹情報提供事業報告書, 中央果実基金調査資料No.173, pp.13~20 (2000)
- 43) 和田浩二・上原真希子・高良健作・當銘由博・矢野昌充・石井利直・太田英明：シークワサー果汁中のノビレチンの定量的分析, 日食保蔵誌, **32**, 29~33 (2006)
- 44) 多和田真淳・大田文子：おきなわの薬草百科, p.66 (那覇出版, 沖縄)
- 45) REYES, G. K., SEGOVIA, J., SHIBAYAMA, M., VERGARA, P., MORENO, M. G. and MURIEL, P.: Curcumin protects against acute liver damage in the rat by inhibiting NF- $\kappa$ B, proinflammatory cytokines production and oxidative stress, *Biochem. Biophys. Acta.*, **170**, 989~996 (2007)
- 46) KIM, H. Y., PARK, E. J., JOE, E. H. and JOU, I.: Curcumin suppresses janus kinase - STAT inflammatory signaling through activation of Src homology 2 domain - containing tyrosine phosphatase 2 in brain microglia, *J. Immunol.*, **171**, 6072~6079 (2003)
- 47) KAPOOR, S. and PRIYADARSINI, K. I.: Protection of radiation-induced protein damage by curcumin, *Biophys. Chem.*, **92**, 119~126 (2001)
- 48) ANANT, P., ANSHUMAN, A. A., BHIMRAO, K., J. and MAHADIK, K. R.: Characterization of curcumin-PVP solid dispersion obtained by spray drying, *Int. J. Pharm.*, **271**, 281~286 (2004)
- 49) IRESON, C. R., JONES, D. J. L., ORR, S., COUGHTRIE, M. W. H., BOOCOCK, D., J., WILLIAMS, M. L., FARMER, P. B., STEWARD, W. P. and GESCHER, A. J.: Metabolism of the cancer chemopreventive agent curcumin in human and rat intestine, *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.*, **11**, 105~111 (2002)
- 50) ABE, M., HIRAMATSU, T., UCHIYAMA, H., YAMAUCHI, H. and OGINO, K.: Molecular interactions between phospholipid and nonionic surfactants in a lipid bilayer, *J. Jpn. Oil Chem. Soc.*, **41**, 136~141 (1992)
- 51) TAKAHASHI, M., INAFUKU, K., MIYAGI, T., OKU, H., WADA, K., IMURA, T. and KITAMOTO, D.: Efficient preparation of liposomes encapsulating food materials using lecithins by a mechanochemical method, *J. Oleo Sci.*, **56**, 35~42 (2007)
- 52) TAKAHASHI, M., KITAMOTO, D., IMURA, T., OKU, H., TAKARA, K. and WADA, K.: Characterization and bioavailability of liposomes containing a Ukon extract, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **72**, 1199~1205 (2008)
- 53) HOLDER, G. M., PLUMMER, J. L. and RYAN, A. J.: The metabolism and excretion of curcumin (1,7-bis-(4-hydroxyl-3-methoxyphenyl)-1,6-heptadiene-3,5-dione) in the rat, *Xenobiotica*, **8**, 761~768 (1978)
- 54) TAKAHASHI, M., UECHI, S., TAKARA, K., ASIKIN, Y. and WADA, K.: Evaluation of an oral carrier system in rats: Bioavailability and antioxidant properties of liposome-encapsulated curcumin, *J. Agric. Food Chem.*, **57**, 9141~9146 (2009)
- 55) MAITI, K., MUKHERJEE, K., GANTAIT, A., SAHA, P. and MUKHERJEE, P. K.: Curcumin-phospholipid complex: Preparation therapeutic evaluation and pharmacokinetic study in rats, *Int. J. Pharm.*, **330**, 153~163 (2007)