

## サトウキビ糖蜜の抗酸化活性に及ぼす加熱加工の影響

氏原邦博<sup>1\*</sup>, 吉元 誠<sup>2</sup>, 和田浩二<sup>3</sup>, 高橋 誠<sup>3</sup>, 須田郁夫<sup>1</sup><sup>1</sup> 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター<sup>2</sup> 鹿児島女子短期大学<sup>3</sup> 琉球大学農学部亜熱帯生物資源科学科

## Enhancement of DPPH-radical Scavenging Activity in Heat-processed Sugarcane Molasses

Kunihiro Ujihara<sup>1\*</sup>, Makoto Yoshimoto<sup>2</sup>, Koji Wada<sup>3</sup>, Makoto Takahashi<sup>3</sup> and Ikuo Suda<sup>1</sup><sup>1</sup> National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, National Agricultural and Food Research Organization, 2421 Suya, Koshi, Kumamoto 861-1192<sup>2</sup> Kagoshima Women's Junior College, 6-9 Kouraicho, Kagoshima, Kagoshima 890-0051<sup>3</sup> Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, 1 Senbaru, Nishihara-cho, Nakagami-gun, Okinawa 903-0213

The effects of heating temperature and time on browning, DPPH-radical scavenging activity and polyphenol-like activity of molasses from sugarcane were investigated. The browning, DPPH-radical scavenging activity and polyphenol-like activity of molasses heated to between 120°C and 160°C were increased in comparison with unheated molasses. The browning of molasses heated to 120°C and 140°C increased with heating time, and was nearly 9.5 times greater than unheated molasses after heating for 60 minutes. The browning of molasses heated to 160°C exponentially increased after heating for 10 minutes, and was nearly 16.7 times greater than unheated molasses after heating for 20 minutes. The DPPH-radical scavenging activity of molasses heated to 120°C for 50 minutes, 140°C for 10 minutes, and 160°C for 10 minutes was four times greater than that of unheated molasses. The alterations in DPPH-radical scavenging activity were similar to the polyphenol-like activity pattern with heat-processing. The heated molasses with the highest polyphenol-like activity, processed at 160°C for 20 minutes, showed stronger antimutagenicity than unheated molasses. These results indicate that the heat-processing of sugarcane molasses is a viable method for the enhancement of food functions in sugarcane molasses.

(Received Sep. 3, 2012; Accepted Dec. 19, 2012)

**Keywords** : sugarcane, molasses, heat-processing, DPPH-radical scavenging, polyphenol-like activity**キーワード** : サトウキビ, 糖蜜, 加熱加工, DPPH ラジカル消去活性, ポリフェノール様活性

糖蜜はサトウキビから分蜜糖を製造する際に排出される副産物として知られている。糖蜜中には抗酸化<sup>1)2)</sup>、小腸からの糖の吸収阻害<sup>3)</sup>、血糖値上昇抑制<sup>4)5)</sup>、メラニン生成阻害<sup>6)</sup>、抗う蝕<sup>7)</sup>等の機能性を発現する成分が含まれており、またアミノ酸やミネラル等の栄養成分が豊富である<sup>8)</sup> ために、その一部は家畜飼料の添加物や酵母培地の原料および調味料の原料等として利用されている。このように、糖蜜は、健康の維持・増進に有用な成分を含有する機能性食品の原料として有用な資源と考えられるものの、実際の糖蜜の利用例はごくわずかである。このため糖蜜の利活用を機能的に高めることのできる加工技術の開発が望まれてきた。

一方で、食品の加熱加工によって食品の機能性が著しく

高まることが知られている。特に食品中の還元糖およびアミノ酸の加熱時におけるメイラード反応によって生じる褐色色素（メラノイジン）に関してはその生成メカニズムや生体内および食品系での抗酸化作用、抗変異原性など既に多くの研究が報告されている<sup>9)~11)</sup>。またメラノイジンに限らず、食品の加熱操作により生ずる褐色物質にも生体内で抗酸化活性を有することが報告されている<sup>12)</sup>。従って、糖蜜についても還元糖やアミノ酸などを含有することから糖蜜を加熱加工することによって抗酸化活性などの増加が期待できる。本研究では、糖蜜の食品機能性を向上させる加工技術の開発を目的として、加熱条件による糖蜜の褐変度および抗酸化活性の関係について検討した。また、加熱加工によって最も抗酸化活性の増加を認めた糖蜜の抗変異原性についても若干の知見が得られたので報告する。

<sup>1</sup> 〒861-1192 熊本県合志市須屋 2421<sup>2</sup> 〒890-8565 鹿児島県鹿児島市高麗町 6-9<sup>3</sup> 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1

\* 連絡先 (Corresponding author), kuji@affrc.go.jp

## 実験方法

### 1. 試薬

1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) は和光純薬工業社製, クロロゲン酸およびトロロックスは Sigma-Aldrich 社製, 2-morpholinoethanesulfonic acid, monohydrate (MES) は同仁化学社製, フェノール試薬はナカライテスク社製を使用した. 復帰突然変異試験に使用したサルモネラ菌は TA98 (*Salmonella typhimurium* TA98, 大阪発酵研究所) を用い, コファクターはオリエンタル工業酵母社より購入した. S-9mix はマウスの肝臓を phenobarbital および 5,6-benzoflavone で活性化したホモジネート上清を使用した. Dimethyl sulfoxide (DMSO)-extract from grilled beef (DEGB) は, 十分に焼いた牛肉の凍結乾燥粉末を DMSO にて室温抽出し, その遠心上清を用いた. その他の試薬は, 市販の特級試薬をそのまま使用した.

### 2. 加熱糖蜜試料の調製

糖蜜は 2008 年に南西糖業株式会社 (鹿児島県徳之島) から分譲を受けたものを使用した. 糖蜜の加熱は, 中林ら<sup>13)</sup>の方法を改変して行った. すなわち, 蒸留水で 3 倍に希釈した糖蜜 100  $\mu$ L をガラス製試験管 (直径 16 mm, 長さ 104 mm) に入れた 150 mg の吸着剤 (セライト, Celite 社製) に加えて吸着させた後, 乾熱器 (DO-450, アズワン社製) を用いて加熱を行った. 加熱温度は 100 $^{\circ}$ C, 120 $^{\circ}$ C, 140 $^{\circ}$ C, 160 $^{\circ}$ C および 180 $^{\circ}$ C の 5 段階とし, それぞれの温度で 10 分, 20 分, 30 分, 40 分, 50 分および 60 分間加熱した. 加熱後, 室温に戻した試験管に, 2 mL の蒸留水を加えて攪拌後, 沸騰水中で 1 分間加熱し, 水中で冷却後, 遠心分離機 (Himac CF7D2, HITACHI 社製) で遠心分離 (1750 $\times$ g, 30 分間) し, 上清を加熱糖蜜試料として試験に使用した.

### 3. 褐色度の測定

試料を蒸留水で適宜希釈し, 分光光度計 (U-2000, HITACHI 社製) を用いて 470 nm の波長で吸光度を測定した. 得られた吸光度に元の試料からの希釈率を乗じて褐色度とした.

### 4. DPPH ラジカル消去活性の測定

試料に等量のエタノール (99.5%) を混合して分析試料とした. DPPH ラジカル消去活性は既報<sup>14)</sup>に従って測定した. すなわち, 96 穴マイクロプレートに分析試料 100  $\mu$ L および 200 mM MES 緩衝液 (pH 6.0) 50  $\mu$ L を加え, マイクロプレートミキサー (MicroMixer E-36, TAITEC 社製) で攪拌した. これに 800  $\mu$ M DPPH/エタノール溶液 50  $\mu$ L を加えて攪拌後, 室温で 20 分間放置し, マイクロプレートリーダー (Multiskan JX, ThermoLabsystem 社製) を用いて 520 nm における吸光度を測定した. DPPH ラジカル消去活性は試料 1 g あたりのトロロックス相当量として算出した.

### 5. ポリフェノール様活性の測定

測定は, フォーリンチオカルト法<sup>15)</sup>に準じて操作を行った. すなわち, 96 穴マイクロプレートの各ウェルに試料 25  $\mu$ L および 10 倍希釈したフェノール試薬 125  $\mu$ L を加えて 3 分間攪拌した. これに, 10% 炭酸ナトリウム水溶液 125  $\mu$ L を添加し, 15 分間攪拌後, フライングスポットスキャンニングデンシトメーター (CS-9300, 島津製作所) を用いて 600 nm の波長で測定した. ポリフェノール様活性は試料 1 g あたりのクロロゲン酸相当量として算出した.

### 6. 抗変異原性の測定

復帰突然変異試験は Yahagi ら<sup>16)</sup>の方法に変更を加えて行った. すなわち, あらかじめニュートリエントブロス培地で 37 $^{\circ}$ C, 16 時間振とう培養した TA98 菌株 100  $\mu$ L, 変異原物質として DEGB 100  $\mu$ L, 代謝活性化物質として S-9mix 500  $\mu$ L を用いて変異誘導を行い, それに試料 100  $\mu$ L を加えたものに軟寒天を加え混合し, 最小グルコースプレートに重層した. 37 $^{\circ}$ C で 48 時間培養後にプレート上に生じた復帰変異コロニー数を測定した. 復帰突然変異の阻害率は自然突然変異による復帰コロニー数 (Negative), 変異原により誘発させた復帰コロニー数 (Control), 試料添加時の変異原により誘発されたコロニー数 (Sample) より以下の計算法で行った.

$$\text{阻害率 (\%)} = 100 - \frac{\text{Sample-Negative}}{\text{Control-Negative}} \times 100$$

### 7. 統計処理

試験結果は平均値 $\pm$ 標準偏差で表した. 結果の統計分析はピアソンの相関関係数検定により行い, 危険率 1% 未満 ( $P < 0.01$ ) または 5% 未満 ( $P < 0.05$ ) の場合を有意と判定した.

## 実験結果

### 1. 加熱条件が糖蜜の褐色度に及ぼす影響

各加熱条件における糖蜜の褐色度の変化を Fig. 1 に示した. 100 $^{\circ}$ C で加熱処理した糖蜜の褐色度は加熱開始から低い値で推移し, 60 分間の加熱で非加熱糖蜜と比べて若干の増加を示した. 加熱温度が 120 $^{\circ}$ C および 140 $^{\circ}$ C の場合ではいずれの加熱糖蜜でも加熱時間の経過とともに褐色度は増加し, 60 分加熱で非加熱糖蜜の約 9.5 倍を示した. 一方で, 加熱温度が 160 $^{\circ}$ C では, 加熱開始から 10 分後に急激な褐色度の増加を示し, 20 分後には非加熱糖蜜と比べて約 16.7 倍と最も高い値を示したものの, その後の加熱によって褐色度は著しく減少し, 60 分後には加熱温度が 120 $^{\circ}$ C および 140 $^{\circ}$ C の糖蜜の褐色度よりも低い値を示した. 加熱温度が 180 $^{\circ}$ C の場合では, 加熱開始から 60 分間まで非加熱糖蜜よりも低い褐色度で推移した. 160 $^{\circ}$ C, 30 分以上, 180 $^{\circ}$ C, 10 分以上の加熱では, 蒸留水を加え, 攪拌後に遠心分離したセライトの褐色の増加が認められた (データ非掲載).

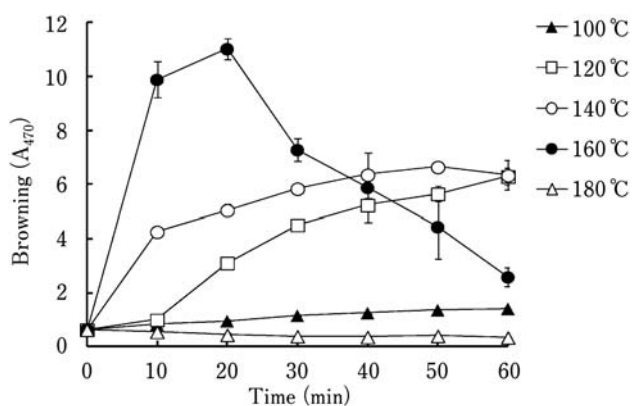


Fig. 1 Changes in browning color of heat-processed sugarcane molasses

The heating conditions of molasses were 100°C (▲), 120°C (□), 140°C (○), 160°C (●), and 180°C (△), respectively. Browning expressed in terms of absorbance at 470 nm. Values are represented as means±S.D. ( $n=3$ ).

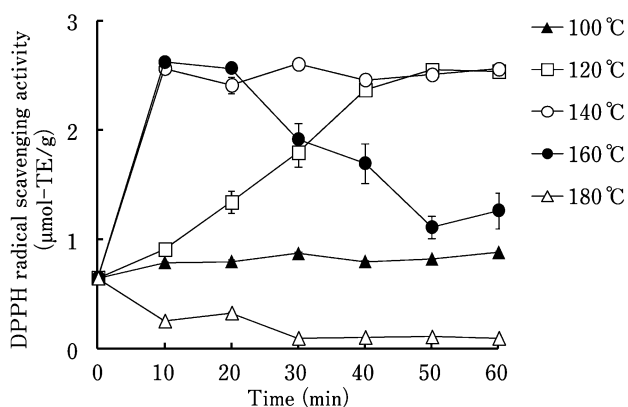


Fig. 2 Changes in DPPH radical scavenging activity of heat-processed sugarcane molasses

The heating conditions of molasses were 100°C (▲), 120°C (□), 140°C (○), 160°C (●), and 180°C (△), respectively. DPPH radical scavenging activity expressed as trolox equivalents (TE). Values are represented as means±S.D. ( $n=3$ ).

## 2. 加熱条件が糖蜜のDPPHラジカル消去活性に及ぼす影響

Fig. 2に異なる加熱温度および加熱時間における加熱糖蜜のDPPHラジカル消去活性を示した。100°Cで加熱処理した糖蜜の活性は、60分間の加熱によって非加熱糖蜜と比べて若干の増加に留まった。しかし加熱温度が120°Cの場合では、加熱時間の経過とともに活性が増加し、加熱開始後50分で非加熱糖蜜と比べて約4.2倍を示し、加熱時間が60分までは活性を維持した。加熱温度が140°Cの場合では、10分間の加熱で非加熱糖蜜と比べて約4.2倍の活性を示し、その後の加熱によって活性の減少を認めなかった。一方、加熱温度が160°Cの場合においては10分間の加熱によって非加熱糖蜜と比べて約4.3倍の活性を示し、加熱時

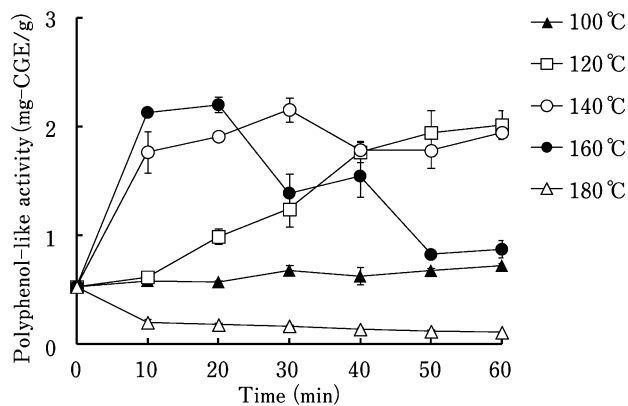


Fig. 3 Changes in polyphenol-like activity of heat-processed sugarcane molasses

The heating conditions of molasses were 100°C (▲), 120°C (□), 140°C (○), 160°C (●), and 180°C (△), respectively. Polyphenol-like activity expressed as chlorogenic acid equivalents (CAE). Values are represented as means±S.D. ( $n=3$ ).

間が20分までは活性を維持したものの、その後の加熱によって活性は著しく減少し、加熱開始から50分後には最大活性値の約42%まで減少した。加熱温度が180°Cの場合では、加熱開始から10分後には非加熱糖蜜と比べて活性の減少を示し、その後の加熱によってさらに活性の減少を示した。

## 3. 加熱条件が糖蜜のポリフェノール様活性に及ぼす影響

Fig. 3に加熱条件が糖蜜のポリフェノール様活性に及ぼす影響を示した。糖蜜のポリフェノール様活性は加熱温度が100°Cでは、加熱開始から60分間で非加熱糖蜜と比べて若干の増加に留まった。加熱温度が120°Cの場合では、緩やかにポリフェノール様活性は増加し、60分間の加熱で非加熱糖蜜の約3.8倍を示した。加熱温度が140°Cでは加熱開始から30分後に非加熱糖蜜の約4.1倍を示し、加熱時間が60分までは活性を維持した。一方、加熱温度が160°Cの場合では、加熱後20分で活性が非加熱糖蜜の4.2倍まで増加したが、その後の加熱によって活性が減少した。加熱温度が180°Cの場合では、加熱開始から60分間まで非加熱糖蜜よりも低い活性値を示した。

## 4. 加熱糖蜜の抗変異原性

非加熱糖蜜および加熱糖蜜(加熱条件:160°C,20分間)のサルモネラ菌に対する復帰突然変異試験の結果をTable 1に示した。対照区のコロニー数に対する各糖蜜試料添加群のコロニー数の割合から阻害率を算出した結果、試料添加濃度が1.0mgではいずれの試料添加群でも阻害率は38%を示した。しかし10.0mgの試料添加の阻害率では、非加熱糖蜜が56%であるのに対して、加熱糖蜜では68%を示し、糖蜜の加熱によって抗変異原性の増加を確認した。

## 考 察

糖蜜の加熱による褐変およびDPPHラジカル消去活性



Table 1 Antimutagenicity of the molasses samples with and without heating

Sample	Concentration (mg/plate)	His +revertant colonies/plate <sup>a</sup>	Inhibition(%) <sup>b</sup>
Molasses (Unheated)	1	244±24	38
	5	200±6	49
	10	171±18	56
Molasses (Heated <sup>c</sup> )	1	244±46	38
	5	188±22	52
	10	125±20	68
Control	—	395±20	—
Negative	—	11±3	—

<sup>a</sup>Mean±S.D. of counts from triplicate plates in the presence of DEGB, 100 µL/plate.

<sup>b</sup>Values are percentages relative to control in the absence of molasses samples.

<sup>c</sup>The molasses were heated at 160°C for 20 min.

の関係を調べたところ、60分間の加熱時間内において100°Cから160°Cまでの加熱条件では非加熱糖蜜と比べて、褐色度およびラジカル消去活性の増加が確認された。加熱温度が100°Cおよび120°Cの場合、ラジカル消去活性の経時的な変化は、糖蜜の褐色度の推移と一致しており、この温度条件における糖蜜のラジカル消去活性については褐色物質の濃度変化に依存すると考えられた。しかし、加熱温度が140°Cおよび160°Cではこれらの推移は必ずしも一致せず、加熱後10分から20分における糖蜜のラジカル消去活性については生成される褐色物質の寄与の軽重を結論づけることはできなかった。特に160°Cで加熱処理した糖蜜の場合では褐色度から期待される程のラジカル消去活性が得られず、30分以上の加熱処理では褐色度およびラジカル消去活性は減少を示した。糖蜜はスクロースを主とした糖類、アミノ酸およびフェノール化合物など様々な物質を含有している。従って、糖蜜の加熱によって生成する褐色色素は、メイラード反応における高分子化合物であるメラノイジン、糖のカラメル化反応物およびフェノールの酸化重合物などの非酵素的褐変物質であると考えられる。一般的に、非酵素的褐変物質の重合は加熱温度や加熱時間に依存し、重合の進行に従って褐色度はさらに増加する<sup>17)</sup>。この高分子化に伴い、構造に疎水性部分の割合が増加する<sup>18)</sup>、または、高分子化合物が鉄やカルシウム等の金属イオンにキレートする<sup>19)</sup>などによって、水への溶解度が著しく低下するとの報告がある。本研究でも160°C、30分以上の加熱により生成した一部の高分子褐色物質が非水溶化したために、これら非水溶性物質を沈殿除去した後の糖蜜試料では、褐色度および褐色物質に起因するラジカル消去能の低下を示したと考えられる。同様の理由で、180°Cの加熱では10分間で急激な重合反応が起こり、ほとんどの褐色物質が非水溶化したことが、褐色度およびラジカル消去活性が低下した原因の一つであると考えられた。

ポリフェノール化合物が加熱による褐変の原因となる場

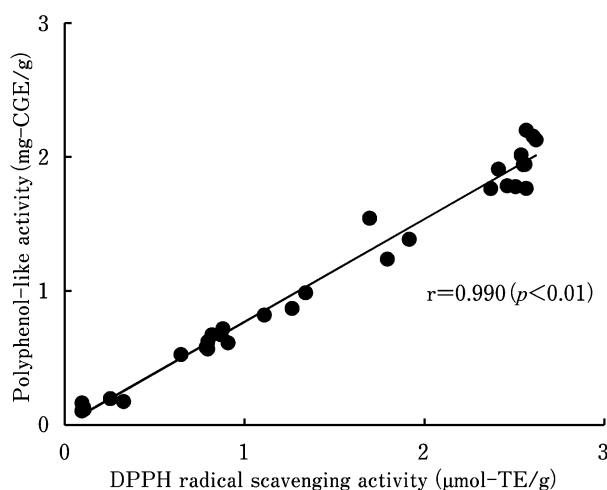


Fig. 4 Correlation between polyphenol-like activity and DPPH radical scavenging activity in heat-processed sugarcane molasses

合では、主にポリフェノール化合物の酸化分解や重合の関与の割合が大きく、様々な分子量からなる複雑な化合物群<sup>17)</sup>となるために、このような化合物群におけるポリフェノールの定量は困難であると考えられる。そこで本研究における加熱糖蜜について、フォーリンチオカルト法<sup>15)</sup>に基づいた測定を行い、得られた結果をポリフェノール様活性値(クロロゲン酸当量)として評価した。その結果、すべての加熱糖蜜についてポリフェノール様活性値はそれぞれのラジカル消去活性値と同様の傾向で推移しており、単回帰において高い相関( $r=0.990$ ,  $P<0.01$ )が得られた(Fig. 4)。よって、本加熱糖蜜のラジカル消去活性は、加熱によって変化を受けたフェノール由来の物質の関与が高いことが示唆された。特にポリフェノール様活性が高い120°C、140°Cおよび160°C加熱糖蜜の中で、最も高いポリフェノール様活性値を示したのは160°C、20分加熱、次いで140°C、30分加熱、160°C、10分加熱、120°C、60分加熱の順であ

り、値の間に差はなかった。これらの糖蜜の褐色度を比較すると、120℃、60分加熱と140℃、30分加熱は同程度の値であったが、160℃、10分および20分加熱は、120℃、60分加熱と140℃、30分加熱よりも2倍近い値となった。120℃、60分加熱と140℃、30分加熱でのポリフェノール性化合物の種類や組成は類似しており、160℃、10分および20分加熱ではより褐色度の高いポリフェノール性化合物あるいは他の褐変に関与するメラノイジンやカラメル反応物質等も総合的に関与していると考えられた。このように加熱温度や時間によりラジカル消去活性に関与する褐色物質の種類については一定の知見が得られたが、主体となる褐色物質の同定や合成メカニズムなど不明な点が多く、更なる検討が必要である。

ラジカル消去活性物質は様々な生理活性に関与する可能性が示唆されているが、ヒトのガンの発生や形成に関与している因子として知られる変異原の活性を抑制する抗変異原性もその1つである<sup>11)</sup>。本研究における加熱糖蜜(160℃、20分間)についても、非加熱糖蜜と比べて高い抗変異原性を示したことは、本加熱糖蜜が非加熱糖蜜と比べて強いDPPHラジカル消去活性を示したことから理解できる。しかし本研究で、加熱糖蜜(160℃、20分間)と同程度のラジカル消去活性を示した他の加熱糖蜜(120℃、60分間および140℃、30分間)についてのラジカル消去物質は、抗変異原性に対しても異なる影響を与えると推測されることから、この点での更なる検討も必要であると考えている。本研究では、糖蜜を一定の条件で加熱加工(120℃、50分間；140℃、10分間；160℃、10分間)することで非加熱糖蜜と比べてラジカル消去活性が増加することを見出した。しかし、更なる加熱時間の延長が褐色度、ポリフェノール様活性およびラジカル消去活性に及ぼす可能性があり、またラジカル消去活性に起因する抗変異原性以外の機能性を示す可能性もあるため、これらの点についても今後の課題としたい。

## 要 約

本研究では、異なる温度および時間で糖蜜の加熱加工を行い、処理された糖蜜の褐色度、DPPHラジカル消去活性およびポリフェノール様活性を評価した。糖蜜の褐色度は120℃～160℃の加熱によって、非加熱糖蜜よりも増加した。加熱温度が120℃および140℃の場合では加熱時間の経過とともに褐色度は増加し、60分処理で非加熱糖蜜の約9.5倍を示した。加熱温度が160℃では、加熱開始から10分後に褐色度は急激に増加し、20分後には非加熱糖蜜と比べて約16.7倍と最も高い値を示した。糖蜜のDPPHラジカル消去活性も120℃～160℃の加熱によって、非加熱糖蜜よりも増加し、120℃、50分加熱、140℃、10分加熱、および160℃、10分加熱した糖蜜は非加熱糖蜜と比べて4倍のDPPHラジカル消去活性を示した。糖蜜のポリフェノール

様活性も120℃～160℃の加熱により増加し、その増減はDPPHラジカル消去活性それと類似していた。これらの結果から、加熱糖蜜について、加熱によって生成したポリフェノール性化合物がラジカル消去活性および褐変に大きく関与していることを明らかにした。その中でも、160℃の加熱では、褐色度のより高いポリフェノール性化合物あるいは他の褐変に関与するメラノイジンやカラメル反応物質等も総合的に関与していると考えられた。さらに、加熱加工によって最もポリフェノール様活性の増加を認めた糖蜜についての抗変異原性の増加も確認した。即ち、本研究によって、加熱糖蜜のラジカル消去活性への褐色物質の関与および抗変異原性を明らかにするとともに、本加熱加工が糖蜜の食品機能性を向上させる加工技術として有用であることが示唆された。

## 文 献

- 1) 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, **74**, 885-890 (2000).
- 2) Nakasone, Y., Takara, K., Wada, K., Tanaka, J. and Yogi, S., Antioxidative compounds isolation from Kokuto, non-centrifugal cane sugar. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **60**, 1714-1716 (1996).
- 3) Matuura, Y., Kimura, Y. and Okuda, H., Effect of aromatic glucosides isolated from black sugar on intestinal absorption of glucose, 和漢医薬学会誌, **7**, 168-172 (1990).
- 4) Kimura, Y., Okuda, H. and Arichi, S., Effects of non-sugar fraction in black sugar on lipid and carbohydrate metabolism ; part1. *Planta Media*, **92**, 465-468 (1984).
- 5) Kimura, Y., Okuda, H. and Arichi, S., Effects of non-sugar fraction in black sugar on lipid and carbohydrate metabolism ; part 2 new compounds inhibiting elevation of plasma insulin. *Planta Media*, **92**, 469-473 (1984).
- 6) Takara, K., Otsuka, K., Wada, K., Iwasaki, H. and Yamashita, M., 1, 1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical scavenging activity and tyrosinase inhibitory effects of constituents of sugarcane molasses. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **71**, 183-191 (2007).
- 7) 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).
- 8) 山根獄雄, 甘蔗糖製造法, (光琳書院, 東京), pp. 33-40 (1963).
- 9) 福田靖子, 小泉幸道, 井藤龍平, 並木満夫, 焙煎ゴマ油の抗酸化成分の相乗効果, 日食工誌, **43**, 1272-1277 (1996).
- 10) 福田靖子, 中田徳実, スライスアーモンドとゴマ種子の焙煎温度が抗酸化性に及ぼす影響, 日食工誌, **46**, 786-791 (1999).
- 11) Lee, I. N., Chuyen, N. G., Hayase, F. and Kato, H., Desmutagenicity of melanoidins against various kinds of mutagens and activated mutagens. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **58**, 18-23 (1996).
- 12) Yamaguchi, T. and Iki, M., Inhibitory effect of coffee extract against some mutagens. *Agric. Biol. Chem.*, **50**, 2983-2988 (1986).
- 13) 中林敏郎, 渡辺千賀子, コーヒーの品質に関する化学的研究(第4報) 焙煎によるクロロゲン酸より褐色色素の形成, 日食工誌, **24**, 124-129 (1977).

- 14) 沖 智之, DPPH ラジカル消去活性評価法, 食品機能性評価マニュアル集, 第II集, (日本食品科学工学会, 茨城), pp. 71-78 (2008).
- 15) Islam, M.S., Yoshimoto, M., Yahara, S., Okuno, S., Ishiguro, K. and Yamakawa, O., Identification and characterization of foliar polyphenolic composition in sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes. *J. Agric. Food Chem.*, **50**, 3718-3722 (2002).
- 16) Yahagi, T., Nagao, M., Seino, Y., Matsushima, T., Sugimura, T. and Odaka, M., Mutagenicities of N-nitrosoamines on Salmonella. *Mutant, Res.*, **48**, 121-129 (1977).
- 17) Es-Safi, N. E., Cheynier, V. and Moutounet, M., Study of the reaction between (+)-catechin and furfural derivatives in the presence or absence of anthocyanins and their implication in food color change. *J. Agric. Food Chem.*, **48**, 5946-5954 (2000).
- 18) Motai H., Viscosity of melanoidins formed by oxidative browning validity of the equation for a relationship between color intensity and molecular weight of melanoidin. *Agric. Biol. Chem.*, **40**, 1-7 (1976).
- 19) Migo, V.P., Del Rosario, E.J. and Matsumura, M., Flocculation of melanoidins induced by inorganic ions. *J. Ferment. Bioeng.*, **83**, 287-291 (1997).

(平成 24 年 9 月 3 日受付, 平成 24 年 12 月 19 日受理)

---