

技術論文

乾燥方法や前処理条件がエゴマ葉の機能性成分含量 および抗酸化活性に及ぼす影響[†]

小川哲郎^{1*}, 近重克幸², 荒木英稀³, 北川 優⁴, 勝部拓矢¹,
太田ゆかり¹, 山崎幸一⁵, 橋本道男⁶, 東 敬子⁷

¹ 島根県産業技術センター

² 島根県産業技術センター 浜田技術センター

³ 株式会社山海

⁴ 島根県農業技術センター

⁵ 島根大学産学連携センター

⁶ 島根大学医学部

⁷ 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所

Effects of Drying Methods and Pre-treatment Conditions on the Functional Component Contents and Antioxidant Activities in Egoma (*Perilla frutescens* (L.) Bitt. var. *frutescens*) Leaves

Tetsuro Ogawa^{1*}, Katsuyuki Chikashige², Hideki Araki³, Masaru Kitagawa⁴, Takuya Katsube¹,
Yukari Ohta¹, Yukikazu Yamasaki⁵, Michio Hashimoto⁶ and Keiko Azuma⁷

¹ Shimane Institute for Industrial Technology, 1 Hokuryo-cho, Matsue-shi, Shimane 690-0816

² Shimane Institute for Industrial Technology, Hamada Branch, 388-3 Shimoko-cho, Hamada-shi, Shimane 697-0006

³ Sankai Co., Ltd, 796-40 Yawata-cho, Matsue-shi, Shimane 690-0025

⁴ Shimane Agricultural Technology Center, 2440 Ashiwata-cho, Izumo-shi, Shimane 693-0035

⁵ Shimane University Collaboration Center, 2 Hokuryo-cho, Matsue-shi, Shimane 690-0816

⁶ Shimane University Faculty of Medicine, 89-1 Enya-cho, Izumo-shi, Shimane 693-8501

⁷ Institute of Vegetable and Tea Science, National Agriculture and Food Research
Organization, 360 Kusawa, Ano-cho, Tsu-shi, Mie 514-2392

We investigated the effects of drying methods and pre-treatment conditions on the functional component contents and antioxidant activities in egoma (*Perilla frutescens* (L.) Bitt. var. *frutescens*) leaves. It was found that the contents of α -linolenic and rosmarinic acids in the leaves were higher after treatment by vacuum-microwave drying than after hot-air drying; α -linolenic acid in particular retained the same level of contents after vacuum-microwave drying and after freeze drying. Vacuum-microwave drying conditions were found to be superior at high power and short drying time for the retention of functional components. An evaluation of the blanching conditions used during pre-treatment found that there was no change in α -linolenic acid contents during boiling treatment, while the rosmarinic acid contents decreased with increasing boiling time. On the other hand, the contents of both components did not change during steam-treatment. Steaming as a pre-treatment therefore prevented the loss of rosmarinic acid before freezing and thawing. The DPPH radical scavenging activities of the samples decreased less under vacuum-microwave drying. The activities of all drying treatments after steaming, freezing, and thawing were significantly higher than with no treatment other than freeze drying. For the retention of functional components and color, vacuum-microwave drying was found to be superior to the traditional method of hot-air drying, suggesting that drying the samples after pre-treatment by steaming may produce dried products with high antioxidant activities.

(Received Oct. 15, 2015; Accepted Jan. 19, 2016)

Keywords : egoma, vacuum-microwave drying, α -linolenic acid, rosmarinic acid, polyphenol, antioxidant activity
キーワード : エゴマ, 減圧マイクロ波乾燥, α -リノレン酸, ロスマリン酸, ポリフェノール, 抗酸化活性

¹ 〒690-0816 島根県松江市北陵町1, ² 〒697-0006 島根県浜田市下府町388-3, ³ 〒690-0025 島根県松江市八幡町796-40

⁴ 〒693-0035 島根県出雲市芦渡町2440, ⁵ 〒690-0816 島根県松江市北陵町2, ⁶ 〒693-8501 島根県出雲市塩冶町89-1

⁷ 〒514-2392 三重県津市安濃町草生360

*連絡先 (Corresponding author), ogawa-tetsuro@pref.shimane.lg.jp

農作物の中には、高い機能性を有するもののほとんどが未利用のまま放置、廃棄されているものが数多くある。エゴマもその一つで、主に油採取目的で種子生産のために栽培されており、これまで葉は一部がキムチ漬等に利用されているのみで、利用について顧みられることはほとんどなかった。エゴマ葉には、n-3系の必須脂肪酸の一種である α -リノレン酸やポリフェノールの一種であるロスマリン酸が含まれている。前者は、抗肥満効果¹⁾やインスリン抵抗性改善効果¹⁾²⁾、また摂取によって一部が生体内でEPA(エイコサペンタエン酸)やDHA(ドコサヘキサエン酸)に変換され³⁾、脳機能の維持・改善効果の機能性がある^{4)~6)}といわれており、後者は、高い抗酸化効果⁷⁾や抗アレルギー効果⁸⁾等の機能性があることが報告されている。一方、農作物は一般に、一時期に集中して生産されることが多いため、その保存方法が課題となる。代表的な保存性の向上方法として乾燥処理がある。乾燥方法としては温風乾燥が一般的であり、トマト⁹⁾、カットリンゴ¹⁰⁾、キウイフルーツ¹¹⁾、ホウレンソウ¹²⁾などでの報告例があるが、含まれる機能性成分が酸化されやすい場合は有効な方法とはいえない¹³⁾。低酸素、低温での乾燥方法として凍結乾燥法¹⁴⁾¹⁵⁾が考えられるが、乾燥時間が長くかかるため、ランニングコストが高くなるという欠点がある。そこで、これを改善した方法として、今回減圧マイクロ波乾燥法の適用を試みた。乾燥へのマイクロ波の適用例は、オクラ¹⁶⁾、ダイコン¹⁷⁾¹⁸⁾、ナス¹⁸⁾、トマト¹⁹⁾など比較的多いが、減圧(真空)マイクロ波の適用例はタマネギ、ニンジンなどの野菜類²⁰⁾、ハーブ類²¹⁾²²⁾などに限られているのが現状である。あわせて、一時期に集中して収穫された試料を一時的に冷凍保存する必要性を考慮して、前処理としてブランチング処理が機能性成分含量に及ぼす影響と冷凍・解凍処理が同成分含量に及ぼす影響についても検討を加えたので報告する。

実験方法

1. 供試材料

エゴマ葉は、2008年6月~9月に採取された島根県川本町産の韓国系統の試料を用いた。

2. 前処理および乾燥の方法

前処理としてのブランチングの方法として、201容のステンレスジャーに10lの水道水を入れヒーターで加熱して沸騰させた後、10gのエゴマ生葉を投入し、1~10分間煮沸する方法と、布を敷いたセイロにエゴマ生葉30gを並べて蒸し器にセットした後、(株)前田鉄鋼所製の前田貫流ボイラSAJ-20で発生させた100℃の水蒸気を減圧弁で1kg/cm²の蒸気圧に調整して2~10分間蒸煮処理する方法を設定し、比較・検討した。このブランチング処理の影響は、ブランチング処理した葉を-20℃で冷凍後、凍結乾燥((株)アルバック製真空凍結乾燥機(DF-03H)、25℃・72時間)したものについて調査した。冷凍・解凍処理の影響は、

エゴマ生葉もしくは2分間の蒸煮によるブランチング処理した葉を-20℃で冷凍後、4℃で一晩解凍処理したものについて調査した。

乾燥方法として、エゴマ生葉もしくは2分間の蒸煮によるブランチング処理した葉を、-20℃で冷凍後凍結乾燥、温風乾燥(八尋産業(株)製減圧平衡発熱乾燥機、50℃・10時間)、減圧マイクロ波乾燥((株)山海製(マイクロ波オープンに真空チャンバーを内蔵、640W・6分(間欠照射)))を比較・検討した。また、減圧マイクロ波処理については、320W・11分、640W・6分、960W・4分の3条件を検討した。

すべての実験は3反復で行い、以下の分析に供した。

3. 測定項目

乾燥は、上記条件で水分含量が10%以下になるまで行い、(株)CMT製のVIBRATING SAMPLE MILL TI-100で微粉砕後、乾燥品の含水率を以下の方法で測定した。すなわち、試料を105℃の定温乾燥器(ヤマト科学(株)製DX300)で恒量になるまで乾燥させた後、元試料の重量から乾燥後の試料の重量を差し引き、これを元試料の重量で除して得られた値を求め、湿量基準含水率とした。この値を元に、乾燥試料中の乾物量を割り出し、以下の測定項目はすべて、この乾物あたりで計算した。

α -リノレン酸は、標準品としてCayman Chemical(USA)製を用い、試料中の含有量は以下の橋本らの方法²³⁾に準じて定量した。すなわち、試料0.5gにクロロホルム:メタノール=2:1(v/v)20mlを加え、ポリトロン式ホモジナイザーで1分間攪拌抽出した後、2000rpm(760×g)・10分・25℃で遠心した。上清100 μ lを共栓付き試験管に量り取った後、内部標準物質として100 μ g/mlのトリコサン酸100 μ lと、メタノール2mlを加えて氷冷した後、塩化アセチル200 μ lを攪拌しながら加えて、100℃で1時間加熱した。その後、氷冷し、オクタン400 μ lと11中に10%(w/v)の塩化ナトリウムと0.5molの水酸化ナトリウムを含む水溶液を5ml加え、10分間激しく攪拌した。2500rpm(1190×g)で10分遠心後、得られた上層(オクタン層)をガスクロマトグラフ(GC)用バイアル瓶に分注し、以下のGC分析に供した。

装置:SHIMADZU GC-14B、カラム:DB-WAX(0.25mm×30m、J&W Scientific製)、カラム温度:100℃・1分保持後、180℃まで20℃/分で昇温し、次いで240℃まで2℃/分で昇温後、260℃まで4℃/分で昇温し、260℃で5分間保持した。検出器はFIDとし、検出器温度は260℃、試料気化室の温度も260℃、試料注入量は1 μ lとした。

α -リノレン酸標準品の10、20、50、100、200 μ g/mlのメタノール溶液を調製し、試料と同様の方法でメチルエステル化処理した後GC分析に供し、得られた値を元に最小二乗法で検量線を作成して、試料中の含量を定量した。

ロスマリン酸は、標準物質として和光純薬工業(株)(大

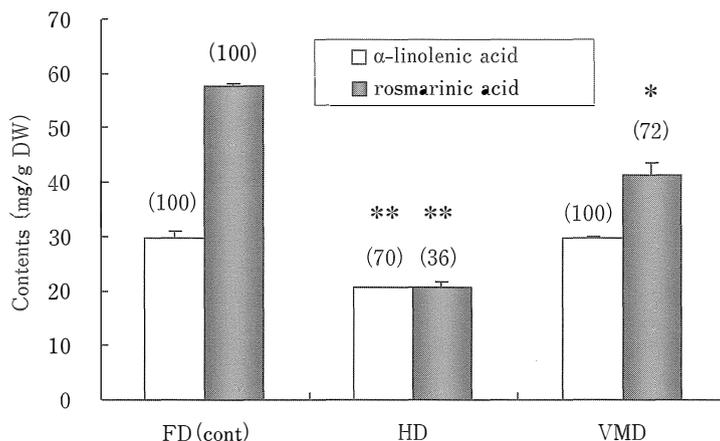


Fig. 1 Effects of drying methods on the functional component contents in egoma leaves

FD, freeze drying; HD, hot air drying; VMD, vacuum-microwave drying, treated at 640 W for 6 min. Values in parentheses are relative compared with the content of each functional component in the control (FD) as 100. All data are expressed as mean ± SE (n=3). *p<0.05, **p<0.01 (vs. control for each component).

阪) 製を用い、試料中の含有量は以下の方法で定量した。すなわち、試料 0.4 g に 80% メタノール 50 ml 加え、80℃ で 1 時間還流抽出を行った後、80% メタノールで 100 ml に定容した。0.45 μm フィルターでろ過後、以下の高速液体クロマトグラフ (HPLC) 分析に供した。

装置：SHIMADZULC-10AB, カラム：Shim-pacXR-ODS, 溶離液：A 液；20% アセトニトリル水溶液, B 液；80% アセトニトリル水溶液 (いずれも 0.2% ギ酸を含む) とし、A100% で 2 分間保持し、次いで A100% から B100% へ 2~12 分間で変化させ、B100% で 12~15 分間保持した後、A100% で 15~18 分間保持とするグラジエント溶出を行った。カラム温度：40℃, 流速：1 ml/分, 検出：UV280 nm とした。

ロスマリン酸標準品の 100, 250 μg/ml の 80% メタノール溶液を調製し、HPLC 分析に供した後、得られた値を元に最小二乗法で検量線を作成して、試料中の含量を定量した。

総ポリフェノールは、Fol in Gocal teu法²⁴⁾ で測定した。すなわち、試料 1 g に 70% エタノールを加えて一晩攪拌抽出し、この抽出液を原液として段階希釈した試料溶液 80 μl に水で 5 倍希釈したフェノール試薬と 10% 炭酸ナトリウム水溶液をそれぞれ 80 μl 加え 60 分間放置した後、マイクロプレートリーダー ((株)パーキンエルマージャパン製の Wall ac 1420 ARVosx マルチラベルカウンタ) で 650 nm の吸光度を測定した。測定値は、エゴマ葉乾燥粉末 1 g あたりの没食子酸相当量で表した。

DPPH ラジカル捕捉活性の測定において、使用する DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl), トロロックスをはじめ各種試薬は、和光純薬工業(株) (大阪) 製とした。800 μM DPPH のエタノール溶液は、分析時に随時調製した。活性は、総ポリフェノールの測定で使用したエゴマ葉抽出

液 50 μl に、30% エタノール 50 μl, 200mM MES バッファー 50 μl, 800 μM DPPH 溶液 50 μl 加え、20 分間攪拌した後、マイクロプレートリーダーで 520 nm の吸光度を測定することにより求め、エゴマ葉乾燥粉末 1 g あたりのトロロックス相当量で表した。

なお、各試料中の成分含量の分析、抗酸化活性の測定については 2 反復で行い、平均値を求めた後、実験の反復数 (n=3) で有意差検定 (t 検定) を行った。

実験結果および考察

1. エゴマ葉の機能性成分含量に及ぼす乾燥方法の影響

エゴマ生葉を各種方法で乾燥したときの主要な機能性成分含量の測定結果を Fig. 1 に示した。α-リノレン酸は、温風乾燥では凍結乾燥に比べて 7 割程度にまで減少したが、減圧マイクロ波乾燥では、凍結乾燥と同等の残存量を維持することが可能であった。これは、α-リノレン酸が温風の温度と空気によって酸化され、過酸化脂質に変化したため減少したものと考えられた。また、ロスマリン酸については、温風乾燥では凍結乾燥に比べて 3 割程度にまで激減したが、減圧マイクロ波乾燥では約 7 割の含量を維持していた。これまで野菜の品質に及ぼす各種乾燥方法の影響を調べた研究報告として、エゴマと同じシソ科植物であるバジルなどのハーブ類を対象としたものがある²⁵⁾²⁶⁾。バジルを含む 6 種のハーブを通気性の良い場所で約 14℃ での風乾、凍結乾燥、真空オーブン乾燥を施した後に -20℃ で 60 日間貯蔵した研究²⁵⁾ によると、風乾したものが凍結乾燥や真空オーブン乾燥したものよりも有意に高い全フェノールおよびロスマリン酸含量を保持し、強い抗酸化力を示したと報告されている。この結果は、風乾の優位性の点で我々の結果とは相反するものとなっているが、条件によっては風乾でも凍結乾燥に優る品質保持効果が得られることを示唆

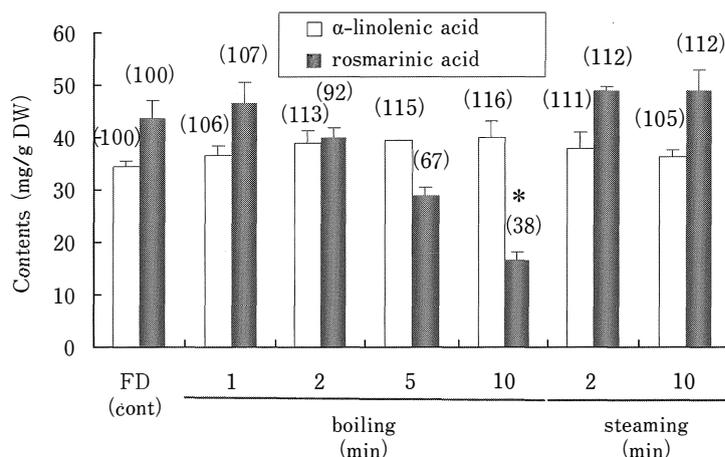


Fig. 2 Effects of blanching as a pre-treatment on the functional component contents in egoma leaves

After blanching treatment, the samples were frozen at -20°C and freeze dried at 25°C for 72 hr.

Values in parentheses are the same as those in Fig. 1.

All data are expressed as mean \pm SE ($n=3$). * $p < 0.05$ (vs. control for the component).

しているものと考えられる。また、バジルを 48°C での温風乾燥と 45°C での減圧（真空）マイクロ波乾燥を行った研究²⁶⁾によると、減圧（真空）マイクロ波乾燥したものが温風乾燥したものに比べ、約 2.5 倍のリナロールと約 1.5 倍のエストラゴールを生成し、また、乾燥時の反応により新鮮バジルよりも多量の揮発性化合物を生成しており、乾燥後の色相は温風乾燥品が減圧（真空）マイクロ波乾燥品に比べてポリフェノールオキシダーゼの影響で暗く、緑色が少なかったと報告されている。これらの結果は、減圧（真空）マイクロ波乾燥の優位性の点で今回の我々の結果と一致している。以上のことから、減圧マイクロ波乾燥は、エゴマ葉の機能性成分を保持する効果の高い乾燥法として有望であると考えられた。

2. ブランチング処理がエゴマ葉の機能性成分含量に及ぼす影響

次に、葉物野菜類の乾燥前処理として一般的に行われるブランチング処理がエゴマ葉の機能性成分含量に及ぼす影響について調べた。その結果を Fig. 2 に示した。α-リノレン酸については、10 分間以内の煮沸処理、10 分間以内の蒸煮処理ともに全く影響は認められず、原料と同等の含量を維持していた。一方のロスマリン酸は、蒸煮処理の影響は認められなかったが、煮沸処理の場合には、処理時間が長くなるにつれて残存量が減少する傾向が認められた。ただし、煮沸によるブランチングの時間は 2 分以内が一般的であるので、そのような通常の条件ではロスマリン酸の損失はほとんどないものと考えられた。Gl iszczyńska-Swigło²⁷⁾ はブロッコリーについて、ビタミン C や β-カロテン等の残存量に対する蒸煮処理と煮沸処理の影響について検討した結果、ビタミン C については、蒸煮処理では残存量に影響を与えなかったのに対し、煮沸処理の場合には残存量が有意に低下し、その原因として水中への溶出があった

と報告している。一方、脂溶性で熱に強い β-カロテンの場合には、蒸煮処理、煮沸処理ともに残存量が増加したと報告している。今回、エゴマ葉に含まれる脂溶性の α-リノレン酸はこれらのいずれの加熱処理でも残存量に影響を受けないのに対し、水溶性のロスマリン酸は蒸煮処理のみで大きく減少するという結果で、この報告と同様の傾向を示したものと考えられた。

3. 冷凍・解凍処理がエゴマ葉の機能性成分含量に及ぼす影響

一時期に集中して収穫されたエゴマ葉を保存しておくことを想定し、冷凍・解凍処理が機能性成分含量に及ぼす影響を調査した。その結果を Fig. 3 に示した。生葉をそのまま冷凍・解凍処理した場合、α-リノレン酸はほとんど影響を受けなかったが、ロスマリン酸は 8% にまで激減した。これは、冷凍・解凍処理中にポリフェノールオキシダーゼが作用したためと考えられた。一方、前処理として、酵素を失活させる効果があると考えられる蒸煮を入れることで、その後、冷凍・解凍処理を行っても、α-リノレン酸はもとより、ロスマリン酸も良好に保持することが可能となった。吉田ら¹¹⁾ は、キウイフルーツの熱湯浸漬時間がポリフェノールオキシダーゼ活性に及ぼす影響を検討し、熱湯浸漬時間が長くなるにつれて活性が低下し、 $40\sim 80^{\circ}\text{C}$ の熱風乾燥後の試料の色彩も良好に保持できることを報告している。また、細谷ら²⁸⁾ は、ホウレンソウを蒸気ブランチングし、冷凍後冷蔵庫内解凍を行うと L-アスコルビン酸や β-カロテンの残存率が高くなったことを報告している。今回の我々の結果は、これらの報告を反映する傾向を示したものと考えられた。

4. 前処理および乾燥方法がエゴマ葉の機能性成分含量に及ぼす影響

次に、前処理から乾燥まで一連の処理を行ったときの機

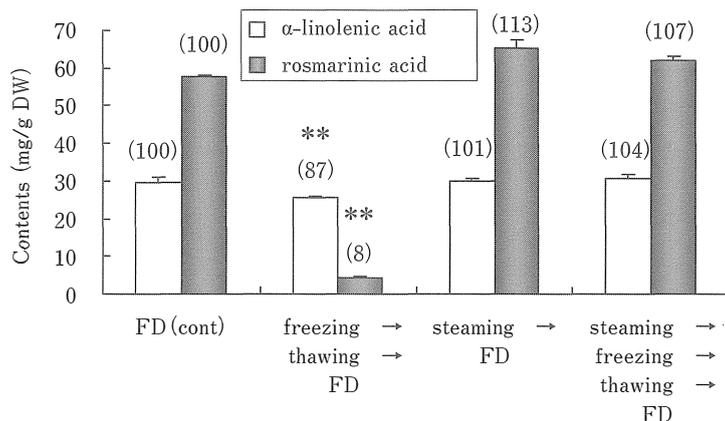


Fig. 3 Effects of freezing and thawing as a pre-treatment on the functional component contents in egoma leaves

Blanching was carried out by steaming for 2 min.

Values in parentheses are the same as those in Fig. 1.

All data are expressed as mean±SE (n=3). **p<0.01 (vs. control for each component).

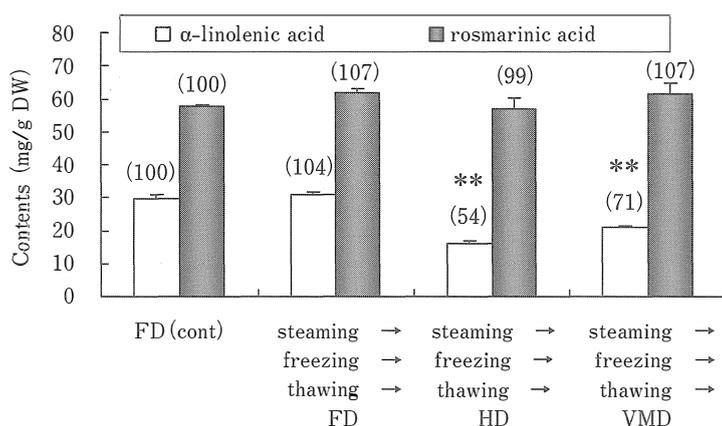


Fig. 4 Effects of pre-treatments and drying methods on the functional component contents in egoma leaves

Blanching was carried out by steaming for 2 min.

Values in parentheses are the same as those in Fig. 1.

All data are expressed as mean±SE (n=3). **p<0.01 (vs. control for the component).

機能成分の残存量を調査した。その結果を Fig. 4 に示した。ロスマリン酸は、蒸煮処理を行うことで、その後、冷凍・解凍処理を行っても、また、いずれの乾燥処理を行っても、凍結乾燥と同等のレベルで保持できることが明らかとなった。一方のα-リノレン酸に関しては、温風乾燥では凍結乾燥に比べて5割程度にまで減少したが、減圧マイクロ波乾燥ではやや減少はするものの、7割程度の残存量を維持することが可能であった。

5. マイクロ波の出力および照射時間がエゴマ葉の機能性成分含量に及ぼす影響

減圧マイクロ波での乾燥が、従来一般的に行われている温風乾燥よりも機能性成分の保持に優れていることが明らかとなったので、次にマイクロ波の処理条件について検討を行った。マイクロ波の出力を320 W から960 W に変え、それに伴い、乾燥に要する時間も変わるため、処理時間を変えて操作を行ったときの機能性成分の含量を調査した。

その結果を Fig. 5 に示した。α-リノレン酸、ロスマリン酸ともに、高出力・短時間処理が高い保持効果を示すことが明らかとなった。Howard ら²⁰⁾は、ブロッコリーを最高出力で8分間マイクロ波処理すると、スルフォラファンが発生した熱で揮発あるいはミロシナーゼの失活により著しく減少したと報告しており、成分の種類によってはマイクロ波処理条件の影響は異なると考えられた。

6. 前処理および乾燥条件がエゴマ葉の抗酸化活性に及ぼす影響

次に、各種処理がエゴマ葉の総ポリフェノール含量と抗酸化活性に及ぼす影響について調査した。その結果を Fig. 6 に示した。エゴマ葉のDPPHラジカル捕捉活性は、前処理を行わない場合、温風乾燥では凍結乾燥に比べて7割程度にまで低下したが、減圧マイクロ波乾燥では活性の低下がより小さく抑えられていた。また、生葉を冷凍保存後に解凍して用いた場合には、活性は5割弱に低下した。一方、

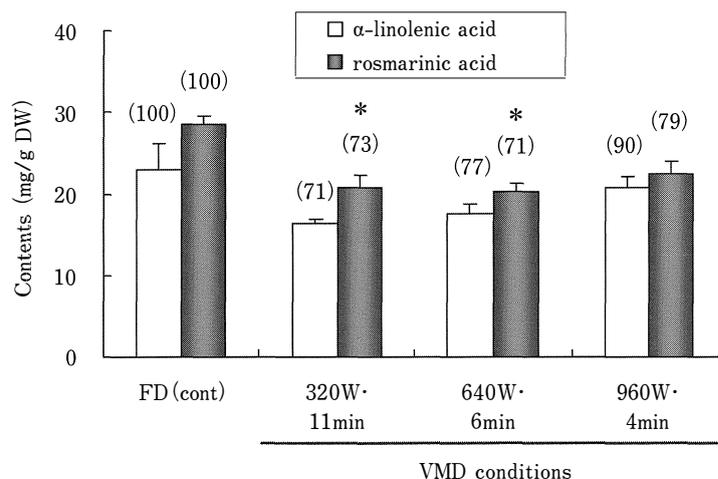


Fig. 5 Effects of vacuum-microwave drying conditions (power and drying time) on the functional component contents in egoma leaves

Values in parentheses are the same as those in Fig. 1.

All data are expressed as mean \pm SE ($n=3$). * $p < 0.05$ (vs. control for the component).

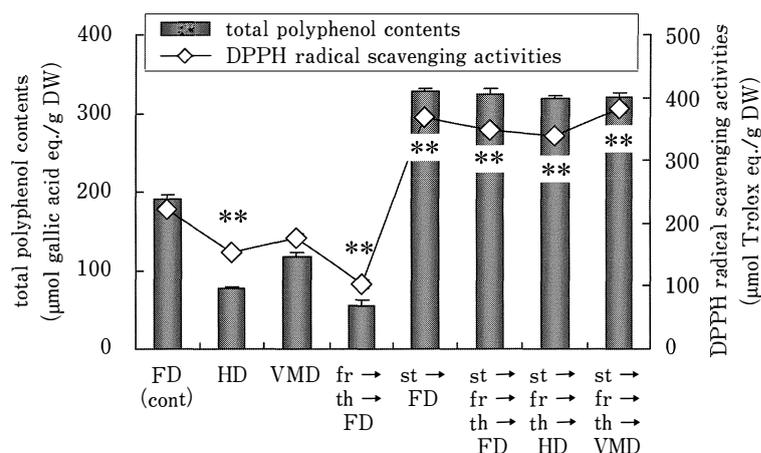


Fig. 6 Effects of pre-treatments and drying methods on antioxidant activities in egoma leaves

fr, freezing; th, thawing; st, steaming.

All data are expressed as mean \pm SE ($n=3$). ** $p < 0.01$ (vs. control on the DPPH radical scavenging activities).

蒸煮による前処理を行うことで活性は高まり、その後、冷凍・解凍や、いかなる乾燥処理を行ってもそのまま維持されることが明らかとなった。また、このDPPHラジカル捕捉活性は、可溶性総ポリフェノールの含量と正によく相関($r=0.989$)していた。Gliszczynska-Swigloら²⁷⁾は、ブロッコリーの蒸煮処理によって、グルコシノレート類やポリフェノール類が増加すると報告している。その要因として、グルコシノレート類の増加は、加熱による植物組織の破壊によって細胞壁に結合しているグルコシノレート類が遊離してくるためであり、ポリフェノール類の増加は、ポリフェノール類とタンパク等との複合体が壊れて抽出しやすくなったためであろうと推察している。Jimenez-Monrealら³⁰⁾は、様々な野菜を煮沸、マイクロ波、高圧など種々の方法で処理したときの抗酸化活性に及ぼす影響を検討した

ところ、野菜や加熱処理条件で活性は異なり、セロリ、ニンジンなどで抗酸化活性の増大が認められたと報告している。この要因として、以下の4つの可能性を指摘している。(1)細胞壁や細胞コンパートメントの熱破壊による抗酸化成分の遊離、(2)熱化学反応による、より強いラジカル捕捉抗酸化成分の生成、(3)酸化酵素の熱不活性化による、抗酸化物質の酸化の抑制、(4)メイラード反応生成物のような抗酸化活性を持つ新奇化合物の生成。しかし、これらの各要因が抗酸化活性増大にどの程度寄与しているかは不明としている。また、Dewantoら³¹⁾は、トマトを88℃で加熱すると、加熱時間とともにビタミンC含量は低下、リコペン含量と抗酸化活性は増大し、総フェノールや総フラボノイドの含量は有意な変化がなかったと報告している。著者らは、リコペンは大部分がトマトの外部果皮中に不溶性

Table 1 Colors of sample powders produced under different pre-treatments and drying methods

	L	a	b
	(mean±SE*)		
FD (cont)	54.4±0.8	-17.6±0.2	24.0±0.1
HD	36.9±1.2	-4.3±0.2	14.5±0.5
VMD	46.0±1.8	-9.4±0.3	19.3±0.4
fr → th → FD	48.6±0.7	-9.5±0.3	18.2±0.3
st → FD	45.6±0.1	-11.8±0.3	18.6±0.6
st → fr → th → FD	50.5±0.6	-14.1±0.1	20.9±0.1
st → fr → th → HD	45.2±0.7	-9.3±0.4	16.0±0.6
st → fr → th → VMD	47.8±1.1	-11.9±0.3	19.4±0.3

fr, freezing; th, thawing; st, steaming.

L, lightness; a value, green (-) ~ red (+); b value, blue (-) ~ yellow (+).

*n=3

食物繊維に結合して存在していることから、加熱処理が細胞壁を壊して不溶性部位からリコペンを遊離させたため、抽出されやすくなり、抗酸化活性に寄与するリコペンの含量が増えたものと推察している。以上の報告をふまえ、今回の結果を考察すると、蒸煮処理で抗酸化活性が高くなる一因としては、細胞壁の崩壊により、内部のポリフェノールをはじめとする抗酸化物質が遊離してきたことが関係している可能性があるため、今後の検討が必要である。

7. 乾燥後のエゴマ葉粉末の色調

機能性ととも品質面での評価として、乾燥処理後の色調の変化を調査した。その結果を Table 1 に示した。生葉を処理した場合、温風乾燥では a 値が高くなり、茶色くくすんだ色に変色してしまっていたが、減圧マイクロ波乾燥では a 値が比較的低いままで、鮮やかな緑が残っていた。さらに、蒸煮の前処理を行うことで、温風乾燥では緑は残るものの若干くすんでいたのに対し、減圧マイクロ波乾燥では a 値が比較的低いままで、より鮮やかな緑を残すことが可能となった。Boehmら²¹⁾は、パセリを減圧(真空)マイクロ波乾燥したところ、75℃で熱風乾燥した場合よりも緑色が濃く残存したと報告している。また、Rochaら²²⁾は、35~60℃の熱風乾燥の前処理として、100℃の水蒸気でブランチングしたものが、無処理や界面活性剤に浸漬処理したものに比べてクロロフィルの保持率が高かったと報告している。今回の我々の結果は、これらの報告と同様のメカニズムでクロロフィルの保持率が高くなるため、より緑色が維持されているものと考えられた。

要 約

エゴマ葉の機能性成分含量や抗酸化活性に及ぼす乾燥方法や前処理条件の影響について検討したところ、以下の知見が得られた。

(1) エゴマ葉の α -リノレン酸とロスマリン酸は、温風乾

燥に比べて減圧マイクロ波乾燥でよく保持され、特に α -リノレン酸は、凍結乾燥と同レベルの含量であった。

(2) 減圧マイクロ波乾燥条件は、高出力・短時間処理が機能性成分の保持に優れていた。

(3) 蒸煮による前処理は、冷凍・解凍処理によるロスマリン酸の損失を防ぐことができた。

(4) エゴマ葉の DPPH ラジカル捕捉活性は、減圧マイクロ波乾燥では低下が少なく、さらに、蒸煮による前処理を行い、冷凍・解凍後に乾燥することで、無処理(凍結乾燥のみ)に比べて有意に高まった。また、これは、可溶性総ポリフェノール含量とよく相関していた。

(5) 減圧マイクロ波乾燥は、従来法の温風乾燥に比べて、エゴマ葉の機能性成分や色調の保持の点で優れ、蒸煮による前処理を行うことで抗酸化活性を高めた乾燥品を製造できるものと考えられた。

文 献

- Chicco, A.G., D'Alessandro, M.E., Hein, G.J., Oliva, M.E. and Lombardo, Y.B., Dietary chia seed (*Salvia hispanica* L.) rich in α -linolenic acid improves adiposity and normalises hypertriglycerolaemia and insulin resistance in dyslipaemic rats. *Br. J. Nutr.*, **101**, 41-50 (2009).
- Muramatsu, T., Yatsuya, H., Toyoshima, H., Sasaki, S., Li, Y., Otsuka, R., Wada, K., Hotta, Y., Mitsuhashi, H., Matsushita, K., Murohara, T. and Tamakoshi, K., Higher dietary intake of alpha-linolenic acid is associated with lower insulin resistance in middle-aged Japanese. *Prev. Med.*, **50**, 272-276 (2010).
- Ezaki, O., Takahashi, M., Shigematsu, T., Shimamura, K., Kimura, J., Ezaki, H. and Gotoh, T., Long-term effects of dietary alpha-linolenic acid from perilla oil on serum fatty acids composition and on the risk factors of coronary heart disease in Japanese elderly subjects. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **45**, 759-772 (1999).
- 野村正彦, 奥山治美, α -リノレン酸の弁別学習行動に及ぼす影響, *神経化学*, **25**, 499-501 (1986).
- 奥山治美, 栄養による脳機能の活性化-DHA, *日本農芸化学会誌*, **69**, 583-585 (1995).
- 奥山治美, 池本 敦, 食品の脳機能の老化制御機能の評価と解明に関する研究 2. 脳卒中を予防する食品成分の解明と応用に関する研究 2.1. 脳の老化制御をめざした安全性の高い油脂食品の開発, 高齢社会に向けた食品機能の総合的解析とその利用に関する研究成果報告書, 平成 9-11 年度, 162-176 (2000).
- Meng, L., Lozano, Y.F., Gaydou, E.M. and Li, B., Antioxidant activities of polyphenols extracted from *Perilla frutescens* varieties. *Molecules*, **14**, 133-140 (2008).
- Takano, H., Osakabe, N., Sanbongi, C., Yanagisawa, R., Inoue, K., Yasuda, A., Natsume, M., Baba, S., Ichiishi, E. and Yoshikawa, T., Extract of *Perilla frutescens* enriched for rosmarinic acid, a polyphenolic phytochemical, inhibits seasonal allergic rhinoconjunctivitis in humans. *Exp. Biol. Med.*, **229**, 247-254 (2004).
- 折笠貴寛, 田川彰男, 小川幸春, 乾燥トマトの吸水特性と表面の軟化, *日本食品科学工学会誌*, **53**, 522-525 (2006).
- 森房素乃子, 折笠貴寛, 村松良樹, 田川彰男, カットリングの熱風乾燥における溶液散布処理が表面硬化および褐変に

- 及ぼす影響, 日本食品科学工学会誌, **59**, 583-590 (2012).
- 11) 吉田裕史, 折笠貴寛, 小出章二, 松村良樹, 田川彰男, キウイフルーツの熱風乾燥における短時間熱湯浸漬前処理の適用, 日本食品科学工学会誌, **61**, 151-159 (2014).
 - 12) 廣田智子, 田畑広之進, 井上喜正, 中川勝也, 熱風乾燥法による乾燥ホウレンソウの製造, 兵庫農技研報 (農業), **48**, 54-57 (2000).
 - 13) Luning, P.A., Ebbenhorst-Seller, T. and De Rijk, T., Effect of hot-air drying on flavour compounds of bell peppers (*Capsicum annum*). *J. Sci. Food Agric.*, **68**, 355-365 (1995).
 - 14) 宮坂正昭, 乾燥野菜について, 調理科学, **20**, 97-103 (1987).
 - 15) 山口明子, 西 麗, 廣瀬潤子, 浦部貴美子, 灘本知憲, 乾燥技術の違いによる食品中の有用成分の変化, 日本食品保蔵科学会誌, **38**, 169-176 (2012).
 - 16) Dadali, G., Apar, D.K. and Oezbek, B., Microwave drying kinetics of okra. *Dry Technol.*, **25**, 917-924 (2007).
 - 17) 折笠貴寛, 柴田高志, 根井大介, ロイ ポリトッシュ, 中村宣貴, 椎名武夫, 田川彰男, マイクロ波を利用した千切りダイコンの乾燥特性, 日本食品科学工学会誌, **55**, 350-354 (2008).
 - 18) 玉木由佳莉, 折笠貴寛, 村松良樹, 田川彰男, マイクロ波乾燥によって得られた乾燥野菜の空隙率が吸水性に及ぼす影響, 日本食品科学工学会誌, **59**, 401-408 (2012).
 - 19) 安藤泰雅, 折笠貴寛, 椎名武夫, 五月女格, 五十部誠一郎, 村松良樹, 田川彰男, 調理用トマトの乾燥およびプランチングへのマイクロ波の適用, 日本食品科学工学会誌, **57**, 191-197 (2010).
 - 20) 寺西隆敏, 注目の食品乾燥技術③ マイクロ波減圧乾燥法による高品質な乾燥野菜の開発, 食品と開発, **23**, 43-46 (1988).
 - 21) Boehm, M.E., Bade, M. and Kunz, B., Quality stabilization of fresh herbs using a combined vacuum-microwave drying process. *Adv. Food Sci.*, **24**, 55-61 (2002).
 - 22) Therdthai, N. and Zhou, W., Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* opiz ex fresen). *J. Food Eng.*, **91**, 482-489 (2009).
 - 23) Hashimoto, M., Gamoh, S., Tanabe, Y., Hossain, M. S., Masumaru, S., Shinozuka, K., Kwon, T.M., Hata, N. and Misawa, Y., The hypotensive effect of docosahexaenoic acid is associated with the enhanced release of ATP from the caudal artery of aged rats. *J. Nutr.*, **129**, 70-76 (1999).
 - 24) Singleton, V.L. and Rossi, J.A., Colorimetry of total phenolics with phosphomolibdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Viticult.*, **16**, 144-158 (1965).
 - 25) Hossain, M. B., Barry-Ryan, C., Martin-Diana, A. B. and Brunton, N.P., Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs. *Food Chem.*, **123**, 85-91 (2010).
 - 26) Yousif, A.N., Scaman, C.H., Durance, T.D. and Girard, B., Flavor volatiles and physical properties of vacuum-microwave- and air-dried sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *J. Agric. Food Chem.*, **47**, 4777-4781 (1999).
 - 27) Gliszczynska-Swiglo, A., Ciska, E., Pawlak-Lemanska, K., Chmielewski, J., Borkowski, T. and Tyrakowska, B., Changes in the content of health-promoting compounds and antioxidant activity of broccoli after domestic processing. *Food Addit. Contam.*, **23**, 1088-1098 (2006).
 - 28) 細谷圭助, 倉富直行, ほうれんそうの冷凍貯蔵におけるプランチング条件と解凍条件が β -カロチンとL-アスコルビン酸含量に及ぼす影響, 和歌山大学教育学部紀要自然科学, **41**, 95-101 (1992).
 - 29) Howard, L.A., Jeffery, E.H., Wallig, M.A. and Klein, B.P., Retention of phytochemicals in fresh and processed broccoli. *J. Food Sci.*, **62**, 1098-1104 (1997).
 - 30) Jimenez-Monreal, A.M., Garcia-Diz, L., Martinez-Tome, M., Mariscal, M. and Murcia, M. A., Influence of cooking methods on antioxidant activity of vegetables. *J. Food Sci.*, **74**, H97-H103 (2009).
 - 31) Dewanto, V., Xianzhong, W., Kafui, K. A. and Rui, H.L., Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.*, **50**, 3010-3014 (2002).
 - 32) Rocha, T., Marty-andouin, C. and Lebert, A., Effect of pre-treatments and drying conditions on drying rate and colour retention of basil (*Ocimum basilicum*). *Lebensm. Wiss. Technol.*, **26**, 456-463 (1993).
- (平成 27 年 10 月 15 日受付, 平成 28 年 1 月 19 日受理)