

資料

ハマボウフウの成分特性ならびに生育条件の異なる2品のハマボウフウの比較

加納 己奈¹, 古都 丞美², 春日 純子¹, 松本 真悟¹, 鶴永 陽子^{1*}Component Properties of *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt and Comparison of Two Its Products under Different Growing ConditionsMina KANO¹, Tsugumi FURUICHI², Junko KASUGA¹, Shingo MATSUMOTO¹ and Yoko TSURUNAGA^{1*}

To clarify the differences between open field-grown and facility-grown *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt (hereinafter referred to as “open field” and “facility”), general component content, mineral content, total polyphenol content, two antioxidant activities, chlorogenic acid and rutin content, anthocyanin content, and aroma components were analyzed. For general components, ash content was twice as high in facility than in open field. For minerals, facility had higher content values than open field, especially for K, Ca, and Mg, which were more than twice those of open field. Total polyphenol content and two antioxidant properties were highest in the buds of open field. Chlorogenic acid and rutin content was highest in the buds and leaves of open field, respectively. Anthocyanin content was highest in the petioles of facility. The aroma of open field was composed of several aldehydes, and the aroma of facility was mainly composed of one component.

Key words : *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ハマボウフウ, general component content 一般成分含量, mineral content ミネラル含量, antioxidant activity 抗酸化性, anthocyanin content アントシアニン含量, aroma component 香気成分

1. 緒言

ハマボウフウ (*Glehnia littoralis* Fr. Schmidt) は、日本各地の海岸砂丘に自生するセリ科ハマボウフウ属の多年草である。食用・薬用どちらにも用いられ、食用としては酢の物や刺身の「つま」などに利用される (三橋 1998; 大橋他 2017)。江戸時代には「八百屋防風」の名で販売されていた記録がある (石原他 2008)。乾燥させた根は生薬の一種である「防風」の代替品として長年利用されており、「ハマボウフウ」という名も「防風」に似ていて浜辺に自生することが由来している。「日本薬局方」にも1891年の第2版以来掲載されており (厚生労働省 2016; 株式会社ウチダ和漢薬 2007)、去痰、解熱、鎮咳などの効能をもつとされている。

以前は一般に広く流通していたハマボウフウであるが、近年は海岸砂丘の減少や人為的な乱獲によって自生数が急速に減少しており、福井県や千葉県などの一部の都道

府県ではレッドリストに記載されている (福井県 2016; 千葉県環境生活部自然保護課 2017)。鳥根県出雲市では、市内の農林高校と地域自治団体が共同でハマボウフウの自生地復活のための育成および保全活動を行っている。その他、ハマボウフウの自生分布状況、自生環境の調査および自生地でのフェノロジー観察を行ったとの報告もある (石原他 2008)。

ハマボウフウの先行研究には以下のものがある。ヒトの皮膚の細胞である HS68細胞への葉の熱水抽出物処理は、UVB 照射を行った HS68細胞の生存率をアスコルビン酸と同等もしくはそれ以上に改善することが明らかとなっている (Choe et al. 2019)。また、葉の熱水抽出物には、皮膚のしわやたるみの原因となるエラスターゼおよびチロシナーゼの阻害効果、しみの原因となるメラニンの合成阻害効果があり、皮膚の美白および抗しわ特性を示すことが報告されている (Choe et al. 2019)。ハマボウフウの精油成分は、地上部にオクタン酸プロピル、ヘキ

所属機関名: ¹島根大学, ²鳥取短期大学¹Shimane University, ²Tottori College

原稿受付: 2022年9月22日 原稿受理: 2022年11月15日

* To whom correspondence should be addressed E-mail: ytsurunaga@hmn.shimane-u.ac.jp



Fig.1 供試したハマボウフウ露地栽培品（左）と施設栽培品（右）

サデカン酸, β -フェランドレン, リノール酸などが報告されている (Miyazawa et al. 2001). また, 果実のメタノール抽出物の水溶性画分から新規モノテルペノイドや新規モノテルペノイドグルコシド等が得られたとの報告もある (Ishikawa et al. 2001).

ハマボウフウの生産に関しては, 埼玉県, 愛知県を中心に軟化栽培が行われている他, 島根県でも40年ほど前から松江市八束町の大根島にて, 朝鮮人参や牡丹などの薬用植物の栽培経験を生かし, 生産組合によって露地栽培品と施設栽培品のハマボウフウ(「露地ほうふう 華芽」と「島根県大根島 ほうふう」)の生産が行われている (JAしまね 2021) (Fig.1).

しかしながら, ハマボウフウの一般成分, 抗酸化性, 抗酸化成分, 香气成分についての報告は多くない. そこで, 本研究では, ハマボウフウの生産振興推進のためのPR材料を得ることを目的に, ハマボウフウ露地栽培品と施設栽培品の生育状態(丈, 重量, 太さ), 一般成分含量, ミネラル含量, 総ポリフェノール含量, 抗酸化性(親水性酸素ラジカル吸収能 (Hydrophilic-oxygen radical absorbance capacity: H-ORAC) 値, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) ラジカル捕捉活性値), クロロゲン酸含量, ルチン含量, アントシアニン含量および香气成分の違いを明らかにした.

2. 材料および方法

(1) 材料

材料はJAしまねくまびき地区本部 八束町はまぼうふう生産組合から入手した「露地ほうふう 華芽」(以下露地品)と「島根県大根島 ほうふう」(以下施設品)を使用した. 露地品は3月に播種を行い, 14か月後の5月半ばに開花直前のものを収穫した. 施設品は, 露地での播種後20~21か月経過し根が十分に育った時点(11~12月)で根ごと全草をハウスに移植し, 5~7 cm程度に育った

時点(約7日)で葉と葉柄の部分の収穫を行った. なお, 露地品と施設品は全く同様の品種である.

一般成分含量とミネラル含量分析の試料は, 日本食品表示基準成分表2020(八訂)(文部科学省 2020)との比較を行うため生鮮物(全草)を用いた. また, 総ポリフェノール含量および抗酸化性, クロロゲン酸含量, ルチン含量, アントシアニン含量, 香气成分の測定では凍結乾燥品を用い, 露地品は葉, 茎, つぼみの3つ, 施設品は葉と葉柄の2つに分けた.

(2) 生育状態

露地品は10個体, 施設品は20個体をランダムに選び, 丈と重量と太さを測定し, 平均値 \pm 標準誤差(n=10またはn=20)で示した. 丈と重量はハマボウフウ全草, 太さは, 露地品は茎の中央, 施設品は葉柄の中央を測定した. 各項目の測定にはそれぞれメジャー(原度器製プロマートオートロックメジャー 3.5 m AUL1935), 電子天秤(株式会社エー・アンド・デイ製コンパクト天びん EW-i シリーズ EW-150i), デジタルノギス(Mitutoyo 製 IP67 ABSOLUTE Coolant Proof Caliper)を使用した.

(3) 一般成分含量

一般成分含量(エネルギー, 水分, タンパク質, 脂質, 炭水化物, 灰分)の分析は, 島根県環境保健公社に依頼した. 方法は, 食品表示基準の「別添 栄養成分等の分析方法等」(消費者庁 2015)に準拠した. すなわち, 水分は減圧乾燥法(70 $^{\circ}$ C, 5時間), タンパク質はケルダール法(タンパク質換算係数6.25), 脂質は酸分解法, 炭水化物は差し引き法, 灰分は乾式加熱法, エネルギーは換算係数としてタンパク質 4 kcal/g, 脂質 9 kcal/g, 炭水化物 4 kcal/gを用いて修正アトウォーター法にて算出した.

(4) ミネラル含量

ミネラル分析は試料 0.5 g に硝酸 10 mL, 過酸化水素 2 mL を添加して分解後, 分解液を蒸留水で適宜希釈して分析に供した. 測定には原子吸光光度計 (日立ハイテックノロジーズ, Z5010) を用いた.

(5) 総ポリフェノール含量および抗酸化性

サンプルの保存性ならびに分析時における抽出の効率性と均一性を考慮し, いずれの測定にも凍結乾燥粉末を使用することとした. 測定に際し, 各サンプル粉末と 60% エタノールを混和した後, 振とう機 (ヤマト株式会社, BW201) で 40°C・150 rpm で 2 時間抽出し, サンプル溶液を調製した. 総ポリフェノール含量は, Goldstein・Swain (1965) の方法を参考に, フォーリン・チオカルト試薬を用いたフォーリン・チオカルト法によって測定し, 乾燥粉末 (Dry weight : DW) の (+)-カテキン相当量 (mg カテキン相当量/100 g DW) として表した. H-ORAC は渡辺他 (2017) の方法を参考に, 抽出した試料を測定用緩衝液 (75 mM リン酸緩衝液, pH 7.4) で適宜希釈し, 0.45 μ m フィルター (アドバンテック東洋株式会社) で濾過した. 96 ウェルマイクロプレート (#3072, Becton-Dickinson 1993) の各ウェルにサンプル溶液またはトロロックス (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) 溶液を加えた後, フルオレセイン溶液と 2,2'-Azobis (2-methylpropionamidine) Dihydrochloride (AAPH) 溶液を加え, 37°C に保ったマイクロプレートリーダー (コロナ電気株式会社, SH-9000Lab) を使用して 2 分間隔で 90 分間継時的に蛍光強度 (励起波長 485 nm, 検出波長 520 nm) を測定した. H-ORAC 値は乾燥粉末のトロロックス相当量 (μ mol トロロックス相当量/g DW) で表した. DPPH ラジカル捕捉活性は, 安定的な DPPH ラジカルを用いる須田 (2000) の方法に準じて測定し, 乾燥粉末時のトロロックス相当量 (μ mol トロロックス相当量/g DW) で表した.

(6) クロロゲン酸およびルチン含量

Katsube et al. (2009) の方法に準じて, 定量 HPLC システム (株式会社日立ハイテックフィールドディング, LaChrom Elite) を使用した. 先行研究により, ハマボウフウはいくつかの抗酸化性物質を含有していることが明らかとなっている (Yang et al. 2019). また, クロロゲン酸, ルチン, ケルシトリンおよびケルセチンがハマボウフウの根の主要な成分として報告されている (Yuan et al. 2002). したがって本研究では標準化合物との比較により, ハマボウフウの部位別のクロロゲン酸, ルチン, ケルセチンおよびケルシトリン含量を分析した. 使用カラムは ODS-80A 5 μ m カラム (4.6×250 mm, ジーエルサ

イエンス株式会社), 溶媒はアセトニトリル:0.1%ギ酸=20:80, 検出波長は 280 nm (0~7.5分) および 370 nm (7.5分~), 流速 1 mL/分とした.

(7) アントシアニン含量

鶴永他 (2013) の方法に準じて, シアニンジクロライドを標準品として測定を行った. 測定に際して各サンプル粉末と 5%ギ酸を混和し, 5°C で 48 時間抽出後, 0.45 μ m フィルターを用いて濾過した. その後 96 ウェルマイクロプレートの各ウェルにサンプル溶液を加えた後, マイクロプレートリーダーを使用して検出波長 540 nm で吸光度を測定した. アントシアニン含量は乾燥粉末のシアニンジクロライド相当量 (mg シアニンジクロライド相当量/100 g DW) として表した.

(8) 香気成分

香気成分の測定は Farneti et al. (2012) の方法を改変して行った. 分析は, サンプルを 20 mL のヘッドスペースバイアルに封入し, 60°C で 5 分間加温した. その後, 固相マイクロ抽出 (SPME) ファイバー (50/30 μ m DVB/CAR/PDMS, Siguma-Aldrich) をバイアルに挿入し, 60°C で 30 分間, 成分を抽出した. この SPME ファイバーを, GCMS-QP2020 ガスクロマトグラフと AOC-6000 オートサンプラー (いずれも SHIMADZU) を組み込んだシングル四重極ガスクロマトグラフ-質量分析 (GC-MS) 装置に挿入した. キャリアガスはヘリウム (定圧 150 kPa), カラムは DB-Heavy WAX 0.25 mm×60 m, 0.25 μ m (Agilent Technologies 製), 注入モードはスプリット, カラムオープン温度は 40°C で 5 分間保持した後 5°C/分で昇温後, 250°C まで 15 分間保持した. MS 条件はスキャン範囲 30-400 m/z, イオンソースは 200°C, イオン化電圧は 70 eV, トランスファーラインは 250°C とした. 得られた粒子スペクトルに含まれる化合物は, 質量スペクトルのデータベースである NIST17 を利用して推定した.

(9) 統計処理

統計処理は SPSS28.0 を用いた. 総ポリフェノール含量および抗酸化性, クロロゲン酸およびルチン含量, アントシアニン含量は一元配置分散分析後, Tukey HSD 法で検定し, 有意水準は 5% とした. ミネラル含量は t 検定を用い, 有意水準は 5% とした.

3. 結果および考察**(1) 生育状態**

Fig.2 に露地品と施設品それぞれをデジタルカメラで撮影した画像を, Table1 に丈と重量と太さを示した. 出荷

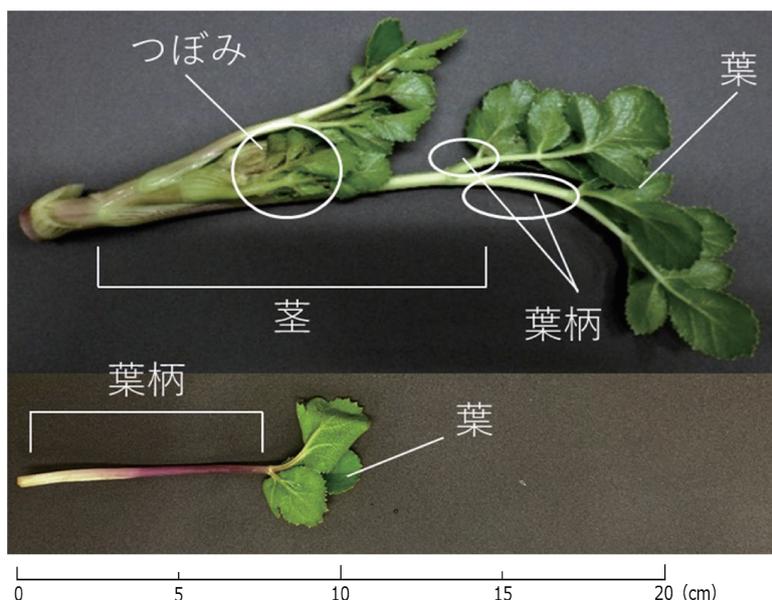


Fig.2 ハマボウフウ露地栽培品 (上) と施設栽培品 (下)

Table1 ハマボウフウ露地栽培品および施設栽培品の丈、重量および太さ

	露地品	施設品
丈 (cm)	22.5±0.5	11.6±0.4
重量 (g)	23.3±1.7	1.2±0.1
太さ (mm)	9.6±0.6	3.1±0.1

露地品：露地栽培品，施設品：施設栽培品

表中の値は平均値±標準誤差。

サンプル数はそれぞれ露地栽培品n=10，施設栽培品n=20。

丈，重量：ハマボウフウ全草を測定した。

太さ：露地栽培品は茎の中央，施設栽培品は葉柄の中央を測定した。

された状態での外観の比較では，露地品はつぼみと茎が含まれており，施設品は葉と葉柄のみであった。丈は露地品 22.5±0.5 cm に対し施設品は 11.6±0.4 cm，重量は露地品 23.3±1.7 g に対し施設品は 1.2±0.1 g，太さは露地品 9.6±0.6 mm に対し施設品は 3.1±0.1 mm であり，いずれも露地品の方が施設品より著しく高い値を示した。また，2品間における測定値の差はそれぞれ，丈は約2倍，重量は20倍以上，太さは3倍以上となった。2品のハマボウフウの外観および丈，重量，太さの差は生育段階と生育条件の違いによるものであるといえる。本研究で使用したハマボウフウ2品は，品種は同じであるが，生育段階と生育条件には，大きな相違がある。両者の収穫までの期間は，露地品が約15か月であるのに対し，施設品は露地での生育期間20～21か月を経てビニールハウスへ移植，その後5～7cm程度（約7日間）に育った時点で葉と葉柄の部分を随時収穫した。

生育条件は，露地品の播種前，施設品の移植前のどちらも土作りとして牛糞堆肥が基肥として使用されていること以外，両者は温度，灌水，施肥，光照射の管理方法が異なる。露地品は，人工的な温度，光管理は行っていない。灌水は3～4月の発芽前後に日照りが続く場合のみ実施する。これはハマボウフウが乾燥に強く，30～40cm程度まで根を伸ばし，雨水や地下水を吸収するためである。施肥については鶏糞堆肥による追肥がされている。1年目は双葉が育つ4月下旬～5月初旬，9月，葉が枯れ終わった12月に追肥を行う。2年目は発芽前後の3～4月，1年目と同じく4月下旬～5月初旬，9月，12月に追肥を行う。なお，2年目の5月下旬～6月初旬に露地品として出荷するために収穫を行い，一部は種子採取およびハウスへの移植用として残す。施設品は3月に露地で播種を行った翌年の11～12月頃に根ごと移植し，温度，施肥，灌水，光照射の管理を頻繁に行う。温度が高い時期には，地下パイプによる地下水の利用，扇風機，ビニールハウスの開閉により温度を下げ，温度が低い時期には，電熱線により土壌を加温する。その他，日光の反射・吸収を利用した農業用シート（夏場は白，冬場は黒）も用いて，土壌温度を23℃程度に保つようにする。灌水は週に2回，収穫後に液肥散布と併せて行う。光照射は，1.3m×15mの栽培床に1m間隔，高さ0.5m位置に設置された電球型蛍光灯（株式会社マルトキ製，スパイラルパイタライト20W）を用いて行う。春～秋季は夕方のみ，日射量の少ない冬季および雨天時には終日土壌全体をシートで覆い，光を照射する。

このように，2品のハマボウフウの生育段階が，露地品は開花直前であるのに対して施設品は芽が出てから約

7日ということ、生育条件が大きく異なることから外観および生育状態に著しい差が生じたといえる。

(2) 一般成分含量

露地品と施設品の一般成分含量を Table2 に示した。また、ハマボウフウと同じセリ科であるセリ、施設品と形状や用途が類似したブロッコリースプラウトおよびカイワレダイコンの値との比較を行った。ハマボウフウのエネルギーは露地品 33 kcal/100 g、施設品 32 kcal/100 g で、セリ (17 kcal/100 g) やブロッコリースプラウト (18 kcal/100 g) と比較して2倍近い値を示した。また、炭水化物も、露地品は 6.2 g/100 g、施設品は 5.5 g/100 g と、セリ (1.0 g/100 g)、ブロッコリースプラウト (2.6 g/100 g) およびカイワレダイコン (2.0 g/100 g) の2倍以上の値を示した。本研究では炭水化物は差し引き法、エネルギーは換算係数としてタンパク質 4 kcal/g、

脂質 9 kcal/g、炭水化物 4 kcal/g を用いて修正アトウォーター法にて算出している。ハマボウフウ2品のいずれもセリやブロッコリースプラウト、カイワレダイコンと比較してタンパク質や水分の含量が少なく、それによって炭水化物含量、およびエネルギー値が高い値を示したといえる。加えてハマボウフウ2品間では、灰分の値が露地品は 0.9 g/100 g であるのに対して、施設品は 1.8 g/100 g と、露地品の2倍の値を示した。また、ハマボウフウ施設品は他の野菜と比較しても灰分含量が高い値を示した。

(3) ミネラル含量

Na, K, Ca, Mg, Fe の含量の測定結果を Table3 に示した。また、ハマボウフウと同じセリ科植物のセリ、施設品と形状や用途が類似したブロッコリースプラウトおよびカイワレダイコンの値との比較を行った。施設品の

Table2 ハマボウフウ露地栽培品と施設栽培品の一般成分含量

	ハマボウフウ		セリ	ブロッコリー スプラウト	カイワレ ダイコン
	露地品	施設品			
一般成分					
エネルギー (kcal/100 g)	33	32	17	18	21
タンパク質 (g/100 g)	1.4	1.8	2.0	1.9	2.1
脂質 (g/100 g)	0.3	0.3	0.1	0.6	0.5
炭水化物 (g/100 g)	6.2	5.5	1.0	2.6	2.0
水分 (g/100 g)	91.2	90.6	93.4	94.3	93.4
灰分 (g/100 g)	0.9	1.8	1.2	0.5	0.6

露地品：露地栽培品，施設品：施設栽培品

セリとブロッコリースプラウト、カイワレダイコンの値は「日本食品表示基準成分表2020年版(八訂)」より「セリ 茎葉 生」、「ブロッコリー 芽生え 生」「(だいこん類) かいわれだいこん 芽ばえ 生」の値を抜粋。

Table3 ハマボウフウ露地栽培品と施設栽培品のミネラル含量

	ハマボウフウ		セリ	ブロッコリー スプラウト	カイワレ ダイコン
	露地品	施設品			
ミネラル					
Na (mg/100 g)	19.2±0.5	28.7±0.2	* 19	4	5
K (mg/100 g)	370.8±14.5	987.8±61.0	* 410	100	99
Ca (mg/100 g)	44.6±4.5	181.0±6.6	* 34	57	54
Mg (mg/100 g)	19.1±2.3	41.2±2.1	* 24	32	33
Fe (mg/100 g)	0.8±0.0	1.6±0.0	* 1.6	0.7	0.5

露地品：露地栽培品，施設品：施設栽培品

ハマボウフウのミネラルの各値は平均値±標準誤差。

サンプル数は露地栽培品，施設栽培品ともに n = 3。

* = ハマボウフウ露地栽培品，施設栽培品間に有意差あり (p < 0.05)

セリとブロッコリースプラウト、カイワレダイコンの値は「日本食品表示基準成分表2020年版(八訂)」より「セリ 茎葉 生」、「ブロッコリー 芽生え 生」「(だいこん類) かいわれだいこん 芽ばえ 生」の値を抜粋。

Na, K, Ca および Mg は他の野菜よりも高い値を示した。ハマボウフウ間においても、露地品よりも施設品の方が高い値を示した。特に K, Ca および Mg は、施設品が露地品に対して2倍以上の値を示した。施設品の方が露地品よりも高い値であるのは、施肥条件の違いによるものと考えられる。施設品は N, P および K を含んだ液肥（育ちくん[®] アミノ酸入り有機液肥, タキイ育苗株式会社）や、複数のミネラルを含んだ微量要素複合肥料（液体微量要素複合肥料グリーンセーフプラス, 生科研）を定期的に散布し、雨の影響も受けにくいため、露地品と比較してミネラル含量が高い値を示したと推察された。

(4) 総ポリフェノール含量および抗酸化性

露地品と施設品の部位別の総ポリフェノール含量と H-ORAC 値, DPPH 値をそれぞれ Fig.3 の A), B), C) に示した。露地品と施設品の共通部位である葉の値を比較すると、総ポリフェノール含量はそれぞれ露地品が $4,090.1 \pm 100.7$, 施設品が $2,822.3 \pm 95.5$ mg カテキン相当量/100 g DW であり、露地品の総ポリフェノール含量の方が施設品よりも有意に高かった ($p < 0.05$) (Fig.3A)。また H-ORAC 値は露地品 891.9 ± 30.1 , 施設品 767.7 ± 36.2 μmol トロロックス相当量/g DW であり、総ポリフェノール含量と同様に露地品の方が高い値を示したが、施設品に対する有意差は認められなかった ($p > 0.05$) (Fig.3B)。さらに、DPPH 値は露地品 169.7 ± 9.7 , 施設品 101.1 ± 4.3 μmol トロロックス相当量/g DW となり、総ポリフェノール含量と同様に露地品の方が施設品よりも有意に高い値を示した ($p < 0.05$) (Fig.3C)。3種の測定結果で露地品の方が施設品よりも高い値となった要因として、露地品と施設品における生育段階および生育条件の違いが推察される。まず、生育状態の差の考察で述べたように、本研究において使用したハマボウフウ2品は生育段階が異なり、露地品は開花直前であるのに対して施設品は芽が出てから 5~7 cm 程度に育った状態（約7日）である。また、2品のハマボウフウの生育条件には、露地品は屋外での露地栽培、施設品はビニールハウスでの施設栽培という違いがある。温度や光、水などを管理する施設栽培に比べ、露地栽培は屋外にて行われ温度や光の条件は自然に左右されるため、温度や光、虫などによる環境ストレスに晒されやすい。野菜や果物などの植物は環境ストレスに晒されると、生命および恒常性維持のために糖や機能性成分を多く含む傾向にある。野菜や果物の栽培ではその特性を利用し、低温や乾燥、高塩濃度などの環境ストレスを適度に与えて栄養価の高い生産物を得る方法が用いられることがある（北野他 2008）。このようなことから、ハマボウフウ露地品も施設品より環境ストレスに晒されやすいために、施設品より

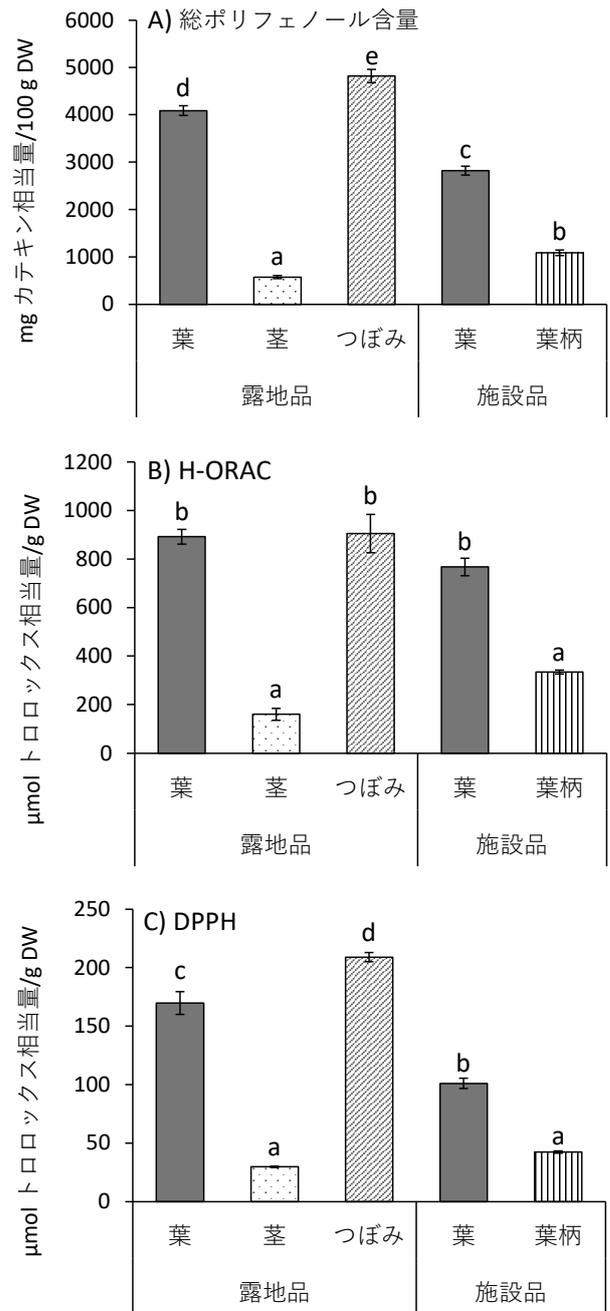


Fig.3 ハマボウフウ露地栽培品および施設栽培品の部位別の総ポリフェノール含量 A) と H-ORAC 値 B), DPPH 値 C)

露地品：露地栽培品，施設品：施設栽培品
 サンプル数は総ポリフェノール含量 n = 6, H-ORAC 値 n = 4, DPPH 値 n = 8.
 総ポリフェノール含量はサンプル乾燥粉末 100 g あたりのカテキン相当量, H-ORAC 値および DPPH ラジカル捕捉活性値はサンプル乾燥粉末 1 g あたりのトロロックス相当量を平均値 ± 標準誤差で表記。
 グラフ棒上部の異なるアルファベットは有意差を表す ($p < 0.05$).

もポリフェノールなどの抗酸化成分を多く蓄え、抗酸化性も高くなると推察された。さらに、5 サンプル全体で見ると、総ポリフェノール含量は露地品のつぼみが

4,817.5±139.8と最も高い値を示し、次いで露地品の葉が4,090.1±100.7、施設品の葉が2,822.3±95.5と続き、露地品の茎や施設品の葉柄の総ポリフェノール含量はそれぞれ573.7±31.2、1,088.4±58.8 mg カテキン相当量/100 g DWとなった。なお、露地品つぼみの総ポリフェノール含量はその他4サンプル（露地品の葉・茎、施設品の葉・葉柄）のいずれに対しても有意に高い値であった ($p<0.05$)。そして露地品のつぼみはH-ORAC値 (905.5±79.2 μmol トロロックス相当量/g DW) とDPPH値 (209.0±4.3 μmol トロロックス相当量/g DW) においても5サンプル内で最も高い値となった。なお、2品の共通部位である葉の値もつぼみに次いで高い傾向にあった。このように、部位別の総ポリフェノール含量や抗酸化性において葉や花およびつぼみが高い値を示す傾向は、他の植物にもみられる。先行研究では、Zengin et al. (2017) によりトウダイグサの一種である花 (*Euphorbia denticulate* Lam.) が、Seo et al. (2012) によりスイカズラ (*Lonicera japonica* Thunb.) の葉の総ポリフェノール含量が他の部位に比べ多いことなどが報告されている。そして植物中のポリフェノールは、植物において生体防御に重要な役割を果たしている (Šamec et al. 2021)。さらに植物の葉や花は、養分の生成や生育、繁殖のために重要な部位であり、特に葉は光合成のために日光に晒されやすい位置に生えている。これらのことから、ハマボウフウでも葉やつぼみの抗酸化成分が多くなり、高い抗酸化性を示したと考えられる。

(5) クロロゲン酸およびルチン含量

先行研究により、ハマボウフウはいくつかの抗酸化性物質を含有していることが明らかとなっている (Yang et al. 2019)。また、クロロゲン酸、ルチン、ケルシトリンおよびケルセチンがハマボウフウの根の主要な成分として報告されている (Yuan et al. 2002)。Fig.4にクロロゲン酸、ルチン、ケルシトリンおよびケルセチンの混合液とハマボウフウ露地品および施設品の葉の凍結乾燥抽出物のクロマトグラムを示す。凍結乾燥した露地品および施設品の葉では、クロロゲン酸とルチンが大きなピークで検出され、ケルシトリンとケルセチンはほとんど検出されなかった。この結果を踏まえ、サンプル中のクロロゲン酸およびルチン含量を測定することとした。なお、ハマボウフウと同じセリ科であり食用防風とも呼ばれるボタンボウフウ (*Peucedanum japonicum*) もクロロゲン酸やルチンの含量が高いことが明らかとなっている (大野木 2009)。

Fig.5にハマボウフウの部位別のクロロゲン酸およびルチン含量を示す。葉およびつぼみの値が高いという傾向は総ポリフェノール含量および抗酸化性に類似していた

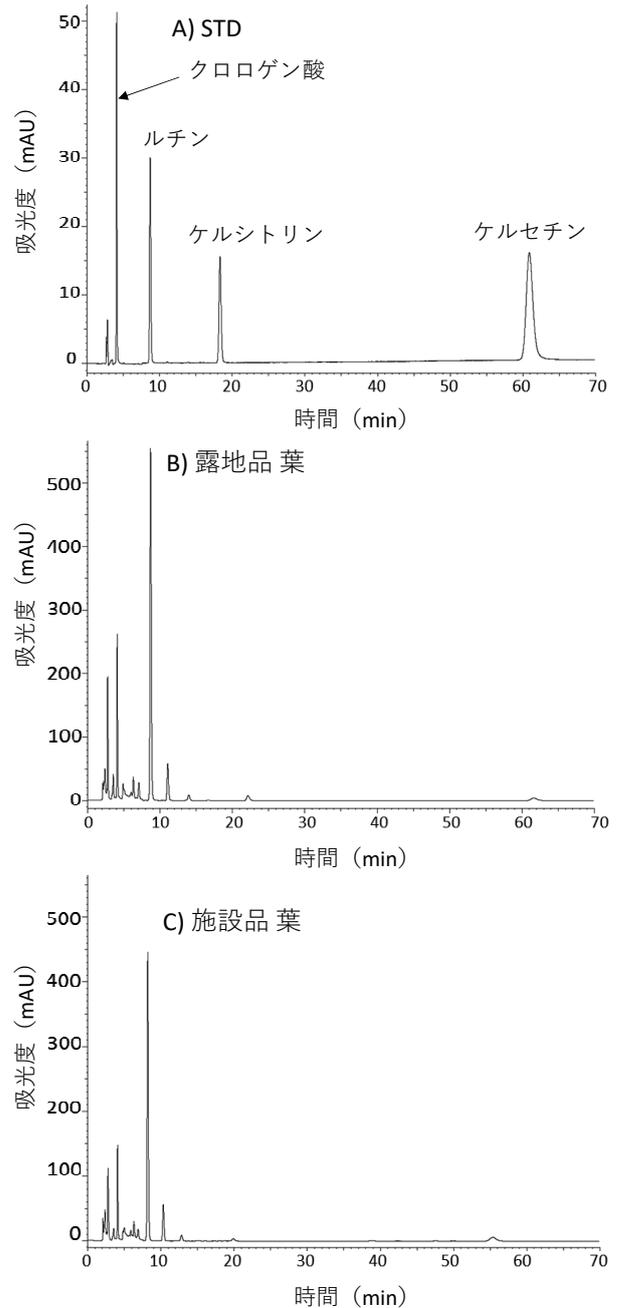


Fig.4 クロロゲン酸、ルチン、ケルセチン、ケルシトリンの標品 (STD) A) とハマボウフウ露地栽培品 B) および施設栽培品 C) の凍結乾燥した葉の HPLC クロマトグラム

露地品：露地栽培品、施設品：施設栽培品

(Fig.3). クロロゲン酸では露地品のつぼみの値が $1,320.7 \pm 24.1$ mg/100 g DW で、露地品の葉、施設品の葉と比較して2倍以上高い値を示した (Fig.5A)。この結果から、露地品のつぼみの総ポリフェノール含量および抗酸化性が高かったことに対してはクロロゲン酸の影響が考えられた。2品の共通部位である葉では、クロロゲン酸、ルチンのいずれも総ポリフェノール含量および抗酸化性と同様に、露地品はクロロゲン酸が 637.4 ± 9.7 ,

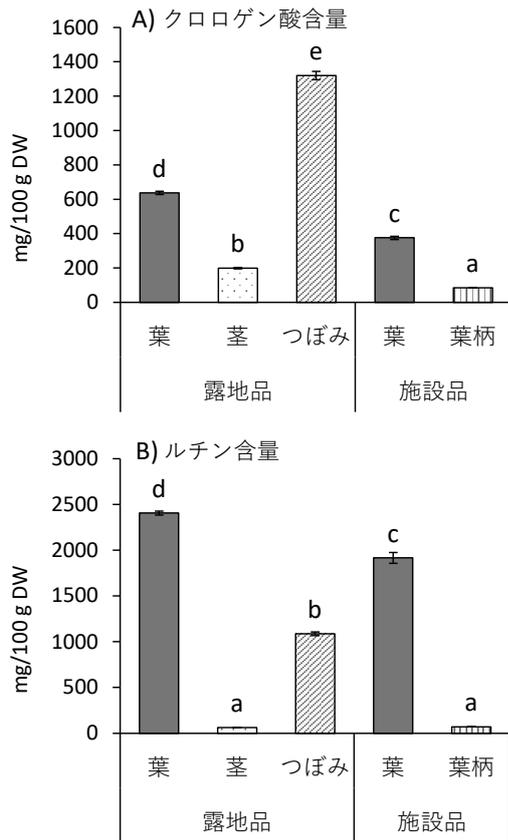


Fig.5 ハマボウフウ露地栽培品および施設栽培品の部位別のクロロゲン酸含量 A) とルチン含量 B)

露地品：露地栽培品，施設品：施設栽培品

サンプル数はいずれも n = 4.

いずれもサンプル乾燥粉末 100 g あたりの量を平均値 ± 標準誤差で表記.

グラフ棒上部の異なるアルファベットは有意差を表す ($p < 0.05$).

ルチンが $2,405.2 \pm 21.6$ mg/100 g DW, 施設品はクロロゲン酸が 375.8 ± 9.2 , ルチンが $1,916.4 \pm 58.8$ mg/100 g DW で, 露地品の方が施設品よりも高い値を示した. 加えて葉においては露地品, 施設品ともにクロロゲン酸よりもルチンの方が高い値を示していた (Fig.5). 葉およびつぼみの値が高いという傾向は総ポリフェノール含量および抗酸化性に類似しており (Fig.3), 葉の総ポリフェノール含量および抗酸化性に対してはルチンの影響が考えられた.

(6) アントシアニン含量

Fig.6 に露地品と施設品の部位別のアントシアニン含量を示す. 5 サンプルのアントシアニン含量は値の高いものから施設品の葉柄 373.1 ± 7.3 , 施設品の葉 350.9 ± 18.2 , 露地品の葉 229.7 ± 31.3 , 露地品のつぼみ 161.0 ± 12.9 , 露地品の茎 17.5 ± 5.2 mg シアニジクロライド相当量/100 g DW の順となった. 先行研究により, 植物中のアントシアニン含量は光や温度などの影響を受けることが明らかとなっている (Steyn et al. 2002). 施設品は刺身のつまとしての利用が多く, 葉柄の色が品質に大きく関わっており, サンプルの入手元である八束町はまぼうふう生産組合では, 温度や光照射の管理を行い, 葉柄が鮮やかな赤色となるよう栽培している. ハマボウフウ施設品と似た形態のソバスプラウトでも, 光と温度の種類によってアントシアニン含量が大きく変化することが報告されている (鶴永他 2013). 従って, ハマボウフウにおいても, ソバスプラウトと同様に光と温度の条件の違いによってアントシアニン含量に差が生じたと考えられた.

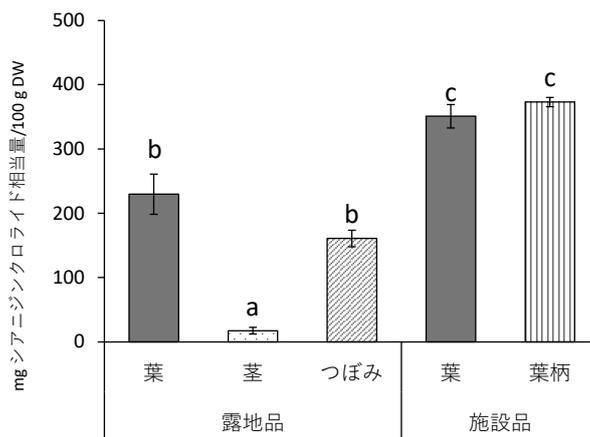


Fig.6 ハマボウフウ露地栽培品および施設栽培品の部位別のアントシアニン含量

露地品：露地栽培品，施設品：施設栽培品

サンプル数は n = 4.

サンプル乾燥粉末 100 g あたりのシアニジクロライド相当量を平均値 ± 標準誤差で表記.

グラフ棒上部の異なるアルファベットは有意差を表す ($p < 0.05$).

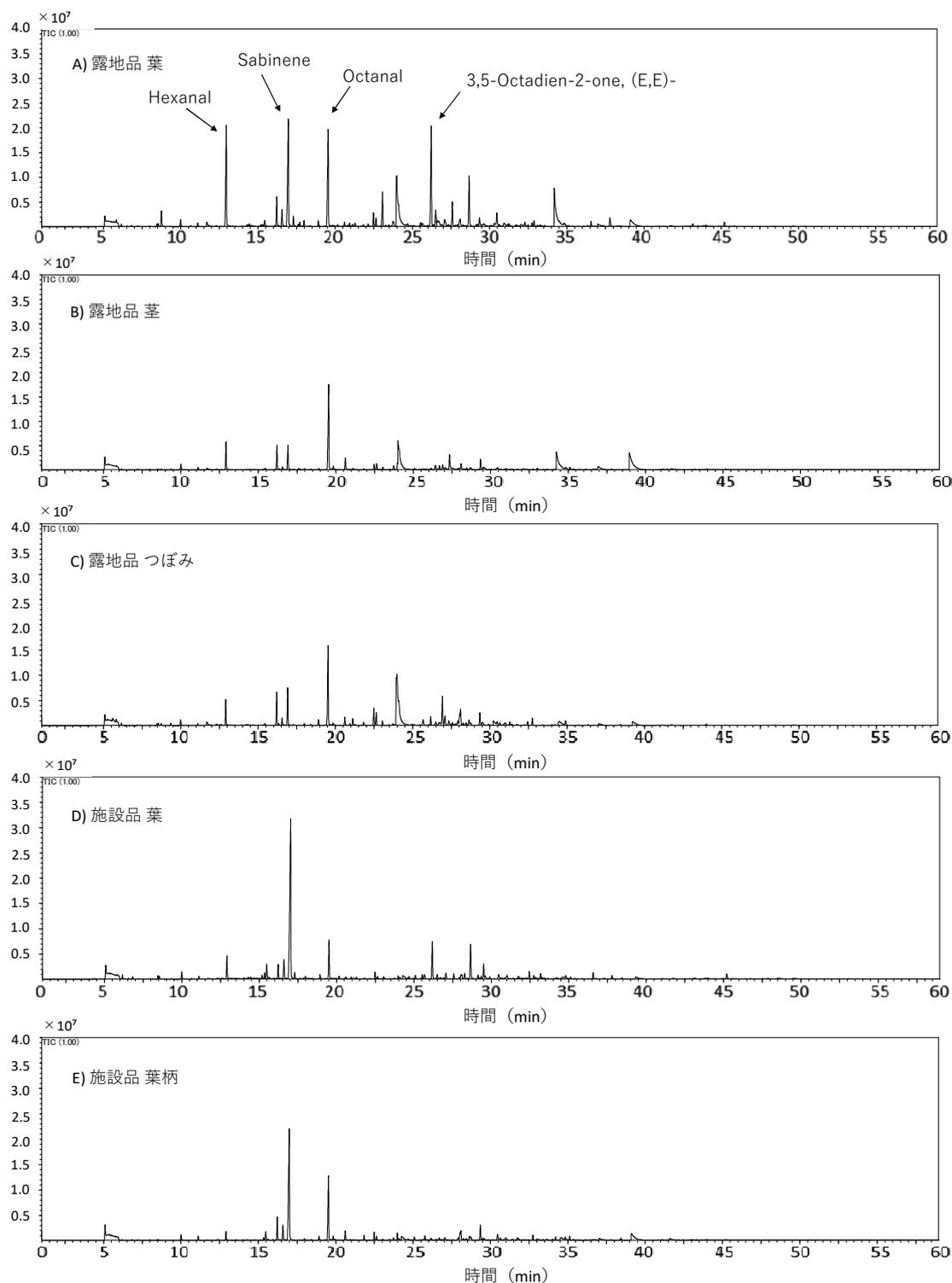


Fig.7 ハマボウフウ露地栽培品および施設栽培品の部位別の GC-MS クロマトグラム

A) 露地品 葉, B) 露地品 茎, C) 露地品 つぼみ, D) 施設品 葉, E) 施設品 葉柄

露地品：露地栽培品, 施設品：施設栽培品

(7) 香気成分

Fig.7 にサンプルのクロマトグラムを, Fig.8 にいくつかの香気成分についてサンプルごとのピーク面積を示した. GC-MS での分析結果から, 5つのサンプルで共通の成分として推定されたピークがみられた. また, 一部の

サンプルのみで顕著なピークも存在した. 13分付近のピークは MS スペクトルの特徴から Hexanal と推察された. また, Hexanal と推定されたピーク面積は露地品の葉 ($77,452,479 \pm 1,375,880$) > 露地品のつぼみ ($19,032,525 \pm 2,327,096$) > 露地品の茎 ($17,426,133 \pm$

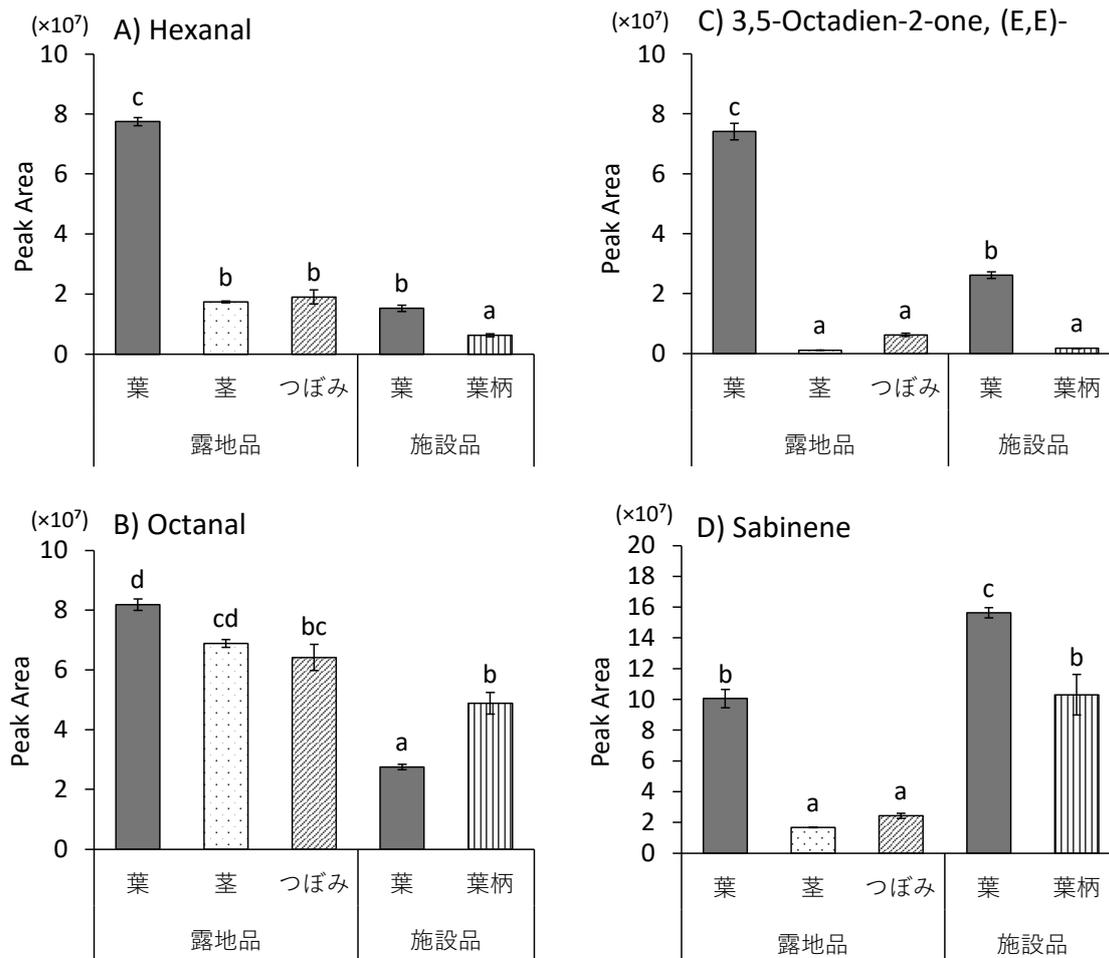


Fig.8 ハマボウフウ露地栽培品および施設栽培品の部位別の香気成分 A) Hexanal, B) Octanal, C) 3,5-Octadien-2-one, (E,E)-, D) Sabinene

露地品：露地栽培品，施設品：施設栽培品

サンプル数はそれぞれ n = 3. ピーク面積を平均値 ± 標準誤差で表記.

グラフ棒上部の異なるアルファベットは有意差を表す ($p < 0.05$).

305,178) > 施設品の葉 (15,254,233 ± 1,026,043) > 施設品の葉柄 (62,541,178 ± 463,822) で、露地品の方が施設品よりも高い値を示した (Fig.8A). Hexanal はみどりの香りと称される C₆アルデヒド類で、植物の青臭さの原因となる成分である (畑中 2007). また、植物を切ったり刻んだりなどして細胞を破壊することにより、脂質からリノール酸やリノレン酸が切り離されることで酵素反応が生じ、C₆アルデヒド類が生成される (山野 2003; 高岡他 2011; 飯島 2014). 木の芽を磨砕した場合、生や軽く叩いたものに比べて Hexanal などの C₆アルデヒド類が大量に生成されることが明らかとなっている (山野 2003). 本研究におけるハマボウフウ2品も、粉末化という破壊によって新たに Hexanal が大量に生成された可能性が考えられた. 19.6分付近のピークは Octanal と推定され、ピーク面積は露地品の葉 (81,868,609 ± 1,951,168) > 露地品の茎 (68,899,034 ± 1,328,245) >

露地品のつぼみ (64,178,280 ± 4,364,479) > 施設品の葉柄 (48,842,035 ± 3,655,363) > 施設品の葉 (27,521,701 ± 902,707) で、露地品の葉が最も高い値を示した (Fig.8B). Octanal は果実臭と表現されることが多く、シトラス系の芳香と脂肪臭を併せ持つ成分で、中国において果実や茎が民間薬として使用されているムベ (*Akebia quinata* (Thunb.) Decne.) の果実や茎 (Kawata et al. 2007), ヨモギ属の植物 *Artemisia annua* Boiss. の茎や花穂 (Li et al. 2011) などにも含有されているとの報告がある. 26.2分付近のピークは 3,5-Octadien-2-one, (E,E)- と推定された. ピーク面積は露地品の葉で 74,119,903 ± 2,716,251 と高い値を示したが、その他のサンプルのピーク面積は施設品の葉 (26,191,925 ± 1,098,632) > 露地品のつぼみ (6,281,149 ± 515,901) > 施設品の葉柄 (1,797,077 ± 53,560) > 露地品の茎 (1,162,032 ± 19,487) で、露地品の葉と比べると低い値

であった (Fig.8C). 3,5-Octadien-2-one, (E,E)- は刺激的な草本の香りと称され、植物には広く含有されている香気成分のひとつである。施設品の葉は17分頃のピークのみが顕著に高く、Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)- と推定された (Fig.8D). Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)- は Sabinene とも呼ばれるモノテルペンの1種である。テルペン類は植物に広く有されている香気成分であり、ハマボウフウと同じセリ科植物にも含有されていることが報告されている (Borg-Karlson et al. 1993)。

これらの結果から、特に露地品の葉はアルデヒド系の成分で香りが構成されていることが明らかとなった。また、露地品の葉、茎、つぼみおよび施設品の葉柄はピーク面積の大きい箇所が複数みられたのに対して、施設品の葉は1つのピークのみが特出して面積が大きく、1成分を中心に香りが構成されていると考えられた。

4. 結論

ハマボウフウ露地栽培品と施設栽培品の違いを明らかにするため、生育状態 (丈、重量、太さ)、一般成分含量、ミネラル含量、総ポリフェノール含量、抗酸化性 (H-ORAC, DPPH ラジカル捕捉活性)、クロロゲン酸含量、ルチン含量、アントシアニン含量および香気成分の測定・分析を行った。生育状態は露地品の方が施設品よりも高い値を示した。一般成分は、施設品の灰分が露地品の2倍高い値を示した。また、施設品についてはセリやブロッコリースプラウト、カイワレダイコンと比較しても灰分含量が高かった。ミネラルは、露地品よりも施設品の方が高く、特に K, Ca および Mg は施設品が露地品に対して2倍以上の値を示した。総ポリフェノール含量および抗酸化性は露地品のつぼみが最も高く、次いで露地品の葉、施設品の葉が高い値を示した。クロロゲン酸含量は露地品のつぼみ、ルチン含量は露地品の葉が最も高い値を示した。アントシアニン含量は施設品の葉柄が最も高かった。香気成分は、露地品の香りは複数のアルデヒド系の成分、施設品の香りは1成分を中心に構成されていることが明らかとなった。

謝辞

本研究を行うにあたり、分析を補助して下さった中務奈美さん、分析補助および論文校閲をして下さった斉藤真苗さん、試料およびハマボウフウに関する情報をご提供下さいました JA しまね くびき地区本部 八束町はまぼうふう生産組合 安部敏樹さまに心から感謝申し上げます。

付記

本試験は「地熱を中心とした再生可能エネルギー利用の委託研究事業 (朝鮮人参・薬草類等健康志向事業)」により実施された成果の一部である。

文献

- Borg-Karlson, A. -K.; Valterová, I.; Nilsson, L. A. (1993). Volatile compounds from flowers of six species in the family Apiaceae: Bouquets for different pollinators? *Phytochemistry*. Vol. 35, 111-119.
- 千葉県環境生活部自然保護課 (2017). “千葉県の保護上重要な野生生物 千葉県レッドリスト 植物・菌類編<2017年改訂版>”. <https://www.bdchiba.jp/wp-content/uploads/2022/03/redlist2017.pdf> (閲覧 2022. 9. 12).
- Choe, S. -Y.; Hong, J. -H.; Gu, Y. -R.; Kim, I. -D.; Dhungana, S.; Moon, K. -D. (2019). Hot water extract of *Glehnia littoralis* leaf showed skin-whitening and anti-wrinkle properties. *South African Journal of Botany*. Vol. 127, 104-109.
- Farneti, B.; Cristescu, S. M.; Costa, G.; Harren, F. J. M.; Woltering, E. J. (2012). Rapid tomato volatile profiling by using proton-transfer reaction mass spectrometry (PTR-MS). *Journal of Food Science*. Vol. 77, 551-559.
- 福井県 (2016). “改訂版 福井県の絶滅のおそれのある野生動植物 維管束植物解説”. https://www.pref.fukui.lg.jp/doc/shizen/rdb/syokubutu_list_d/fil/465_syoku_p515.pdf (閲覧 2022. 9. 12).
- Goldstein, J. L.; Swain, T. (1965). The inhibition of enzymes by Tannins. *Phytochemistry*. Vol. 4, 185-192.
- 畑中顯和 (2007). “みどりの香り”の研究—その神秘性にせまる. におい・かおり環境学会誌. Vol. 38, 415-427.
- 飯島陽子 (2014). 香辛料・ハーブとその香り～香気生成メカニズムとその蓄積. におい・かおり環境学会誌. Vol. 45, 132-142.
- 石原美香, 小林伸雄, 坂本咲子, 石橋正美 (2008). 島根半島周辺地域に自生するハマボウフウに関する研究—自生状況, フェノロジーならびに冷湿処理下の胚の発達について—. 園芸学研究. Vol. 7, 469-473.
- Ishikawa, T.; Sega, Y.; Kitajima, J. (2001). Water-Soluble Constituents of *Glehnia littoralis* Fruit. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. Vol. 49, 584-588.
- JA しまね. “つながるコラム「絆」vol. 22 松江市・大根島のハマボウフウ”. <https://ja-shimane.jp/report/vol22/> (閲覧 2022. 9. 12).
- 株式会社ウチダ和漢薬. “生薬の玉手箱 | 浜防風 (ハマボウフウ)”. <https://www.uchidawakanyaku.co.jp/kampo/tamatebako/shoyaku.html?page=186> (閲覧 2022. 9. 12).
- Katsube, T.; Tsurunaga, Y.; Sugiyama, M.; Furuno, T.; Yamasaki,

- Y. (2009). Effect of air-drying temperature on antioxidant capacity and stability of polyphenolic compounds in mulberry (*Morus alba* L.) leaves. *Food Chemistry*. Vol. 113, 964-969.
- Kawata, J.; Kameda, M.; Miyazawa, M. (2007). Constituents of essential oil from the dried fruits and stems of *Akebia quinata* (THUNB.) DECNE. *Journal of Oleo Science*. Vol. 56, 59-63.
- 北野雅治, 日高功太, 圖師一文, 荒木卓哉 (2008). 養液栽培における根への環境ストレスの応用による野菜の高付加価値化. *植物環境工学*. Vol. 20, 210-218.
- 厚生労働省 (2016). “第十七改正日本薬局方”. <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11120000-Iyakushokuhinkyoku/JP17.pdf> (閲覧 2022.9.12).
- Li, Y.; Hu, H-b.; Zheng, X-d.; Zhu, J-h.; Liu, L-p. (2011). Composition and antimicrobial activity of essential oil from the aerial part of *Artemisia annua*. *Journal of Medicinal Plants Research*. Vol. 5, 3629-3633.
- 三橋博 (1998). 原色牧野和漢薬草大圖鑑. 北隆館.
- Miyazawa, M.; Kurose, K.; Itoh, A.; Hiraoka, N.; Kameoka, H. (2001). Components of the essential oil from *Glehnia littoralis*. *Flavour and Fragrance Journal*. Vol. 16, 215-218.
- 文部科学省 (2020). 日本食品表示基準成分表2020 (八訂).
- 大橋広好, 門田裕一, 木原浩, 邑田仁, 米倉浩司 (2017). 改訂新版 日本の野生植物 5 ヒルガオ科~スイカズラ科. 株式会社平凡社.
- 大野木宏 (2009). 屋久島ボタンボウフウの血管機能改善作用. *食品と開発*. Vol. 44, 38-40.
- Šamec, D.; Karalija, E.; Šola, I.; Vujčić Bok, V.; Salopek-Sondi, S. (2021). The role of polyphenols in abiotic stress response: The influence of molecular structure. *Plants*. Vol. 10, 1-24.
- Seo, O. N.; Kim, G. -S.; Park, S.; Lee, J. H.; Kim, Y. -H.; Lee, W. S.; Lee, S. J.; Kim, C. Y.; Jin, J. S.; Choi, S. K.; Shin, S. C. (2012). Determination of polyphenol components of *Lonicera japonica* Thunb. using liquid chromatography-tandem mass spectrometry: Contribution to the overall antioxidant activity. *Food Chemistry*. Vol. 134, 572-577.
- 消費者庁 (2015). “別添 栄養成分等の分析方法等”. https://www.caa.go.jp/policies/policy/food_labeling/food_labeling_act/pdf/food_labeling_cms101_200327_11.pdf (閲覧 2022.9.12)
- Steyn, W. J.; Wand, S. J. E.; Holcroft, D. M.; Jacobs, G. (2002). Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. *New Phytologist*. Vol. 155, 349-361.
- 須田郁夫 (2000). “3-3-9抗酸化機能 ①分光学的抗酸化機能評価”. 篠原和毅, 鈴木建夫, 上野川修一編. *食品機能研究法*. 光琳, 218-223.
- 高岡素子, 菊崎泰枝, 下橋淳子, 榎原周平, 三浦加代子, 加藤陽二, 吉村美紀 (2011). 新版 食べ物と健康 [食品学総論] (第2版). 八千代出版.
- 鶴永陽子, 高橋哲也, 山下稚香子, 石渡正紀, 工藤章英, 倉光修, 勝部拓矢, 松本敏一, 松本真悟 (2013). 光質および環境温度がソバスプラウトのアントシアニン含量, ルチン含量, DPPH ラジカル捕捉活性に及ぼす影響. *日本家政学会誌*. Vol. 64, 67-73.
- 渡辺純, 沖智之, 竹林純 (2017). “H-ORAC 分析法標準作業手順書”. <http://fmr.or.jp/ffd/ffmanual/manual4020101.pdf> (閲覧 2022.9.12).
- 山野善正 (2003). おいしさの科学事典 普及版. 朝倉書店.
- Yang, M.; Li, X.; Wang, C.; Ji, M.; Xu, J.; Zhang, K.; Liu, J.; Zhang, C.; Li, M. (2019). Ethnopharmacology, phytochemistry, and pharmacology of the Genus *Glehnia*: A systematic review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. Vol. 2019, 1-33.
- Yuan, Z.; Tezuka, Y.; Fan, W.; Kadota, S.; Li, X. (2002). Constituents of the underground parts of *Glehnia littoralis*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. Vol. 50, 73-77.
- Zengin, G.; Uysal, A.; Aktumsek, A.; Mocan, A.; Mollica, A.; Locatelli, M.; Custodio, L.; Neng, N. R.; Nogueira, J. M. F.; Aumeeruddy-Elalfi, Z.; Mahomoodally, M. F. (2017). *Euphorbia denticulata* Lam.: A promising source of phyto-pharmaceuticals for the development of novel functional formulations. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. Vol. 87, 27-36.

ハマボウフウの成分特性ならびに生育条件の異なる2品のハマボウフウの比較

加納 己奈¹, 古都 丞美², 春日 純子¹, 松本 真悟¹, 鶴永 陽子^{1*}

ハマボウフウ露地栽培品と施設栽培品（以下露地品および施設品）の違いを明らかにするため、一般成分含量、ミネラル含量、総ポリフェノール含量、2つの抗酸化性、クロロゲン酸含量、ルチン含量、アントシアニン含量および香気成分の測定・分析を行った。一般成分は、施設品の灰分が露地品の2倍高い値を示した。ミネラルは、露地品よりも施設品の方が高く、特にK、CaおよびMgは施設品が露地品に対して2倍以上の値を示した。総ポリフェノール含量および抗酸化性は露地品のつぼみが最も高い値を示した。クロロゲン酸含量は露地品のつぼみ、ルチン含量は露地品の葉が最も高い値を示した。アントシアニン含量は施設品の葉柄が最も高かった。香気成分については、露地品は複数のアルデヒド系の成分、施設品は1成分を中心として構成されていた。