

Quality Evaluation of Dry Sweet Basil Leaves with Comparative Analysis of Aroma Compounds and Leaf Tissue Structure

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-08-30 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00063602

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



香気成分と組織構造の比較解析による 乾燥スイートバジルの品質評価

佐川岳人[§], 西香菜子, 納富美穂, 平岡龍之,
塚本和巳*, 早川和一**

エスピー食品株式会社商品本部分析センター

* 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構
食品総合研究所

** 金沢大学医薬保健研究域

Quality Evaluation of Dry Sweet Basil Leaves with
Comparative Analysis of Aroma Compounds
and Leaf Tissue Structure

Takehito Sagawa[§], Kanako Nishi, Miho Notomi,
Tatsuyuki Hiraoka, Kazumi Tsukamoto*
and Kazuichi Hayakawa**

Research and Analysis Center, Research and Product
Development Division, S&B FOODS Incorporated,
38-8 Miyamoto-cho, Itabashi-ku, Tokyo 174-8651

* Food Engineering Division, National Food Research
Institute, National Agriculture and Food Research
Organization, 2-1-12 Kannondai,
Tsukuba, Ibaraki 305-8642

** Institute of Medical, Pharmaceutical and Health
Science, Kanazawa University, Kakuma-machi,
Kanazawa-shi, Ishikawa 920-1192

A quality evaluation method for dried herbs was studied with sweet basil leaves (fresh, air-dried, freeze-dried and vacuum-dried sweet basil leaves) as herbal teas, involving hot-water extraction. Sensory evaluation revealed that the flavor of herbal tea with vacuum-dried sweet basil leaves was similar to that with fresh leaves. Seven odor-active compounds (cineole, linalool, eugenol, octanal, 1-octanol, (E)-2-hexenal and (Z)-3-hexenol) from herbal teas were identified by capillary gas chromatographic-mass spectrometry and olfactometry analysis, and it was considered that three compounds (octanal, (E)-2-hexenal and (Z)-3-hexenol) were key compounds for describing the results of sensory evaluation. The structure of dried sweet basil leaves with water-absorption and fresh leaves was observed by differential interference contact microscopy, and their rheological characteristics were measured for storage modulus. As a result, the characteristics of vacuum-dried sweet basil were similar to those of fresh basil. These results suggest that investigation of the aroma using hot-water extraction, tissue structure and rheological characteristics could be effective approaches to qualitatively evaluate dried herbs.

(Received Oct. 6, 2010 ; Accepted Jan. 31, 2011)

〒174-8651 東京都板橋区宮本町 38-8

* 〒305-8642 茨城県つくば市観音台 2-1-12

** 〒920-1192 石川県金沢市角間町

[§] 連絡先 (Corresponding author), takehito_sagawa@sbfoods.co.jp

Keywords : sweet basil, odor-active compound, herbal tea,
hot-water extraction, tissue structure

キーワード : スイートバジル, 香気成分, ハーブティー, 熱水抽出, 組織構造

近年ハーブは、調理時の使用場面だけではなく嗜好性の高いハーブティーにまで幅広く利用されるようになってきた。そして最近では、乾燥ハーブの風味とは異なるフレッシュな生ハーブの認知度も高まっている。しかしながら、乾燥品で生ハーブ様のフレッシュな風味を有するものがほとんどないために、フレッシュな風味を有する乾燥ハーブが囁望されている。シソ科のスイートバジルは広く認知・利用されているものであり、オイゲノールおよびメチルシャビコールを香りの特徴成分とする2タイプが存在することが知られている。オイゲノールタイプのスイートバジルでは主要香気成分としてシネオール、リナロール、オイゲノールなどが同定されている^{1)~3)}。また、メチルシャビコールタイプのスイートバジルでは主要香気成分としてリナロール、メチルシャビコールなどが同定されている⁴⁾。シソ科植物において精油成分は、葉表面に存在する腺毛に精油成分が貯えられている事が知られており⁵⁾⁶⁾、スイートバジルについても盾状腺毛中に貯えられていることが報告されている³⁾。さらに、乾燥方法の優位性を評価することを目的とし、楯状腺毛に着目した乾燥ハーブの表面の形態学的な変化や、香気成分変化についての報告もなされている^{2)~4)7)}。しかしながら、ハーブティーのようなハーブの利用場面では、腺毛の破壊が伴わず⁸⁾、静的にゆっくりとハーブから熱水中に溶出された香りを感じるものであり、物理的に腺毛が破壊されて放出された香りと同じではない。特に乾燥ハーブの場合は、熱水中で吸水により構造を還元しながら香気成分が溶出する為、乾燥方法によっては、細胞内から急激に水分が蒸発することに起因する組織構造の物理的変化が、吸水による組織還元後の乾燥ハーブの物理的性状に大きな影響を及ぼすことは容易に推察され、熱水中への香気成分の溶出挙動に影響を及ぼす可能性も十分に考えられるが、このような観点での報告はない。そこで、本研究ではオイゲノールタイプのスイートバジルを熱風乾燥、凍結乾燥、真空乾燥という一般的な乾燥方法で作られた乾燥スイートバジルと生のスイートバジルをハーブティーとして評価し、溶出された香気成分バランスの違いを組織構造やレオロジー特性と対比することで、生に近い香りを有する乾燥状態を判断する評価方法の検討を試みた。

1. 実験方法

(1) 試料および調製方法

ハーブは、オイゲノールタイプの沖縄産スイートバジルを用い、熱風乾燥法・凍結乾燥法・真空乾燥法で乾燥ハーブをそれぞれ作成し実験用の試料とした。比較対象とし

て、同種の生のスィートバジルを用いた。

ハーブティー調製は、生ハーブ 1.0 g に 90℃ の熱水 150 ml を加え、3 分間蓋をして蒸らした後に試料ハーブを取り出し、水冷にて室温まで冷却を行った。乾燥ハーブについては、乾燥品であることの水分換算を行い、生ハーブ 1.0 g 相当を乾燥ハーブ 0.1 g として同様の処理を行った。また、ハーブ自体が保有している香気成分の分析の際は、ハーブティーの調製時と同様の試料量を細かく粉碎したハーブを、20 ml ヘッドスペースバイアルに入れ、2 ml の蒸留水に分散させた。蒸留水については、生のハーブの香気成分の発現には酵素が関与している可能性があるため、その点を考慮して使用した。

(2) 官能評価

ハーブティーの官能評価は社内パネル 6 名により行い、その口腔経由の香りの特徴を書き出す記述方式で行った。そして、特徴的な表現を抽出し、表現の出現頻度から比較解析を行った。

(3) ハーブ組織観察

生ハーブは 5 mm × 5 mm に切り出した後に、エタノール (99.5%) を用いてエタノール 9.95% 溶液から 99.5% 溶液まで 10% 刻み調製した溶液で置換を行った。それぞれのエタノール溶液での置換時間は 24 時間とした⁹⁾。その後、テクノビット 7100 を用いて固定を行った¹⁰⁾。切片の作成にはミクロトーム (ライカ社製 RM2255) を用い、切片の厚みを 5 μm で切り出し、ノマルスキー型微分干渉顕微鏡 (Nikon 社 ECLIPSE80i) を用いて組織観察を行った。乾燥ハーブについては 5 mm × 5 mm の小片を蒸留水に 1 時間浸漬し組織を還元させた後に、生ハーブと同様の置換処理を施し、固定後に組織観察を行った。

(4) ハーブの物性測定

生ハーブは 5 mm × 5 mm に切り出した後に、Rheo-Stress1 (Thermo Haake 社) を用いて貯蔵弾性率の測定を行った。測定条件は、温度 25℃、ギャップ 0.3 mm、センサー HPP8、データ点数 20、応力制御 1.00 Pa から 20.0 Pa である。乾燥ハーブについては 5 mm × 5 mm の小片を蒸留水に 1 時間浸漬し組織を還元させた後、生ハーブと同様の条件で貯蔵弾性率の測定を行った。

(5) 香気成分分析

調製されたハーブティーの香気寄与成分を特定するために、GC-MS および GC-匂い嗅ぎ分析を実施した。GC-MS システムは島津製作所製 GC-MS QP2010plus を使用した。GC-匂い嗅ぎ分析システムは島津製作所製 GC2010 に検出器として熱伝導検出器 (TCD) を搭載し、スニッフングシステムとして BRECH BÜHLER 社製 Sniffer9000 を接続して使用した (以後 GC-TCD-Olfactometry : GC-TCD-O とする)。香気成分の抽出は 20 ml ヘッドスペース用バイアルに調製したハーブティー 2 ml を入れ 50℃ で一定時間加熱して、SPME (SUPELCO Fiber 50/30, DVB/

CAR/PDMS) に吸着させた。GC-MS 分析の場合、SPME への吸着時間は 2 分間とした。ただし、バイアル気相中の香気成分が平衡状態に達する事を目的として、50℃ で 5 分間の予備加熱を行った。GC-TCD-O 分析の場合、より多くの香気成分を吸着するために SPME への吸着時間は 90 分間とした。この場合、吸着時間が長いこともあり、バイアル気相中の香気成分平衡化を目的とした予備加熱は行わなかった。それぞれの装置測定条件は、次の通りである。

GC-MS 分析 注入口温度 230℃ スプリットレス注入イオン源温度 200℃ トランスファーライン 230℃ オープン 60℃ (3 min.) → 10℃/min. → 100℃ (1 min.) → 3℃/min. → 200℃ (1 min.) → 5℃/min. → 230℃ 線速度 30 cm/sec

GC-TCD-O 分析 注入口温度 230℃ スプリットレス注入 検出器 230℃ TCD のレファレンスガス 10 ml/min. オープン 60℃ (3 min.) → 10℃/min. → 100℃ (1 min.) → 3℃/min. → 200℃ (1 min.) → 5℃/min. → 230℃ 線速度 30 cm/sec

(6) 香気寄与成分の定性・定量

GC-TCD-O 分析の結果、匂いの強度が強い成分の香気官能特徴とスニッフングポートから溶出されたリテンションタイムを確認した後に、再度 GC-TCD-O システムに試料を供し、目的成分が溶出されるリテンションタイムにスニッフングポートから溶出される成分を 20 ml バイアルで捕集した。この捕集した香気成分を、再度 SPME で濃縮後に同条件で GC-MS 分析を行い、リテンションタイムおよびマススペクトルが一致したものを香気寄与成分として定性した。香気成分の定性は、NIST ライブラリーを用いて行った。定量は、GC-MS により定性したピークの面積を算出した後、各香気成分のピーク面積についてオイゲノールピーク面積を 1 として比を算出し定量値とした。

2. 実験結果および考察

(1) 生の風味に寄与する香気成分と乾燥方法の影響

香気成分分析に先だって、スィートバジルのハーブティーで風味の官能評価を行い特徴的な官能表現用語の抽出を行った。乾燥品は、生に比較して香りが弱いという評価であったが、特徴的な官能表現として『葉臭さ』『草っぽい』『清涼感』が示された。その 3 つの表現の出現頻度から、それぞれの風味特性比較を行った。生のスィートバジルはそれぞれの特徴をバランス良く持つものであった。それに最も近いものは、真空乾燥品であった。一方熱風乾燥品は、風味が全体的に弱いものであり、凍結乾燥品は『草っぽい』さが特徴であるとの評価であった。よって、この結果を説明する香気寄与成分の確認を行った。生および 3 種類の乾燥スィートバジルから調製されたハーブティーの GC-MS 分析の結果により、主要成分としてシネール、リナロール、オイゲノールが確認 (図 1-A) されたが、それぞれの TIC ピーク面積を比較した場合、大きい順に熱風乾燥品・生・凍結乾燥品・真空乾燥品の順となり (図 1-B)、

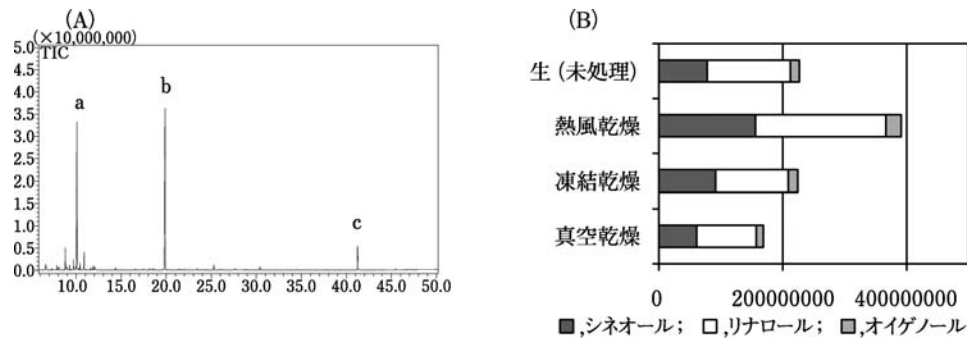


図 1 ハーブティーの主要香気成分の TIC

(A) 生から調整したハーブティーの GC-MS 分析を行った際に得られた TIC の代表例

a: シネオール, b: リナロール, c: オイゲノール

(B) ハーブティーの主要香気成分

各試料から調製したハーブティーのシネオール, リナロール, オイゲノールの TIC 面積の平均値の合計 ($n=3$)

表 1 ハーブティー香気寄与成分においてオイゲノールと各成分の TIC ピーク面積比

化合物名	生 (未処理)	熱風乾燥	凍結乾燥	真空乾燥
シネオール	5.5±0.50	6.3±0.05	6.0±0.50	5.3±0.31
リナロール	9.8±1.41	8.5±0.51	7.7±0.59	8.4±0.42
オイゲノール	1.0	1.0	1.0	1.0
オクタナール	0.108±0.017	0.008±0.002	0.015±0.007	0.015±0.001
1-オクタノール	0.013±0.002	0.039±0.004	0.028±0.014	0.018±0.001
(E)-2-ヘキセナール	N.D.*	N.D.*	0.101±0.006	N.D.*
(Z)-3-ヘキセノール	N.D.*	N.D.*	0.004±0.001	N.D.*

$n=3$, 平均値±標準偏差

*: GC-MS および GC 匂い嗅ぎ分析において検出限界以下

生に近い風味を有するものが真空乾燥であるという官能評価の結果を反映しなかった。そこで GC-TCD-O 分析により匂い強度が強い香気成分の定性を行い、7 成分を香気寄与成分と特定できた。そして、オイゲノールのピーク面積を基準として各香気成分のピーク面積を、その比として定量値を算出した (表 1)。生および真空乾燥品に共通した特徴的な香気成分としてシネオール, リナロール, オイゲノールの他に、オクタナール, 1-オクタノールが特定できた。熱風乾燥品にのみ他の乾燥処理にはない乾燥臭が存在したが、物質の特定までは至らなかった。また、凍結乾燥品では、(E)-2-ヘキセナール, (Z)-3-ヘキセノールの存在も確認された。スティーブン則により、感覚強度 Y に対し刺激量 X , 各刺激固有の定数を a とした場合に次の関係式が成り立つことが知られている¹¹⁾。

$$Y = a \cdot X^{1/2}$$

それぞれの成分に対する刺激固有定数 a の算定が出来ない中で、7 成分を横並びで比較することは誤った感覚強度を認識する可能性がある。そこで、シネオール, リナロール, オイゲノールを主要 3 成分 (図 2-A) として、オクタナール, 1-オクタノール, (E)-2-ヘキセナール, (Z)-3-ヘキセノールを微量成分 (図 2-B) として分けて解析を行

う事とした。主要 3 成分の比較では、真空乾燥品が、最も生に近い比率を示し、この結果は官能評価と一致した (図 2-A)。微量成分の比較において、生はオクタナールの比率が高く、真空乾燥品でも他の処理区と比較してオクタナール比率が高いことから、このことが生の風味を特徴づける因子の 1 つとなると考えられた (図 2-B)。また、凍結乾燥品では、青臭さを特徴とする (E)-2-ヘキセナールが多く (Z)-3-ヘキセノールも存在しており、青臭さを意味する『草っぽい』という官能評価と一致するものであった。これらの結果から、生の風味を表現する因子としては、主要成分においてリナロール/シネオール比が高く、微量成分においてはオクタナール比率が高く (E)-2-ヘキセナールや (Z)-3-ヘキセノールが存在しない事が考えられる。次に、乾燥工程に起因する乾燥スィートバジルの組織構造変化がハーブティーに香気成分が溶出される際にどのような影響を及ぼしているかを、スィートバジル自体が保有している香気成分と比較することで確認を行った。主要成分では、各乾燥処理において一様にハーブ植物体よりもリナロール/シネオール比が低い状態で溶出されていることが確認された。但し、凍結乾燥品については、他に比べてハーブ自体のリナロール/シネオール比が著しく低い傾向にあった (図 3)。これは、凍結後真空下で乾燥する凍結乾燥法は

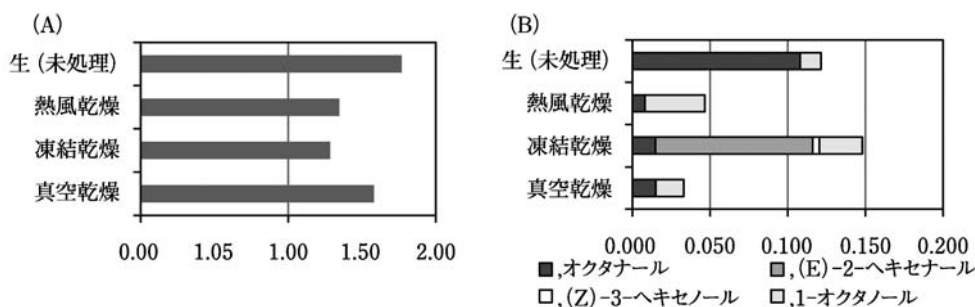


図 2 オイゲノールを 1 とした場合の各微量成分の TIC ピーク面積比
 (A) オイゲノールを 1 とした場合のリナロール/シネオール TIC ピーク面積比
 (B) オイゲノールを 1 とした場合のオクタナール, (E)-2-ヘキセナール, (Z)-3-ヘキセナール, 1-オクタノールの TIC ピーク面積比

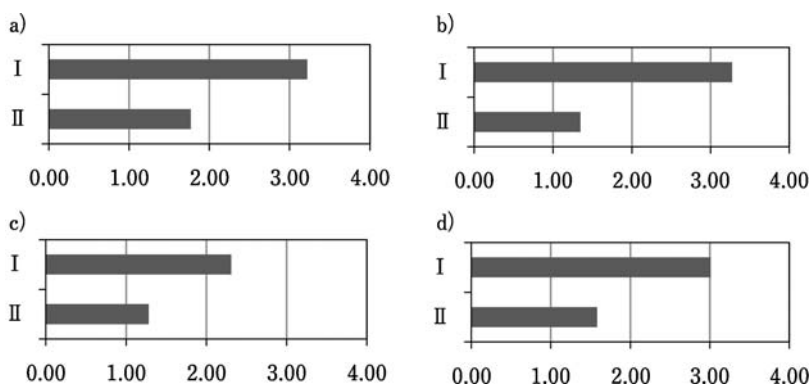


図 3 ハーブ全量 (I) とハーブティー (II) のリナロール/シネオール TIC ピーク面積比
 a) 生(未処理), b) 熱風乾燥, c) 凍結乾燥, d) 真空乾燥

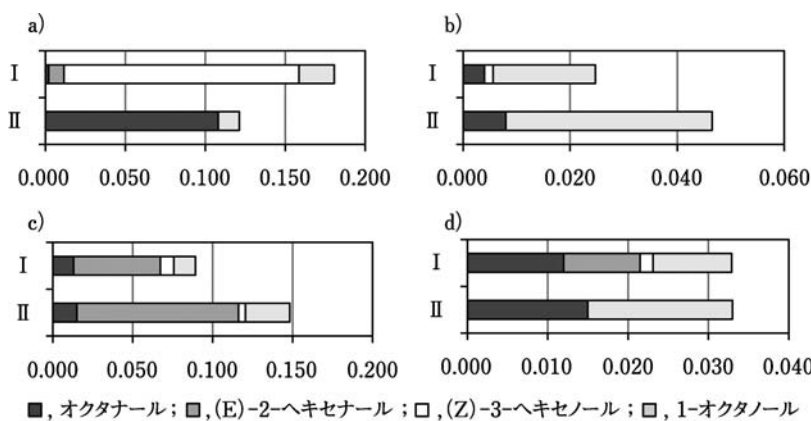


図 4 ハーブ全量 (I) とハーブティー (II) の各成分とオイゲノールの面積比
 a) 生(未処理), b) 熱風乾燥, c) 凍結乾燥, d) 真空乾燥

乾燥工程の中で、細胞中の水分が結晶化してしまい、物理的に細胞壁を破壊することがある。その影響で、香気成分が水と一緒にハーブ自体から放出されやすくなってしまった為と考えられる。一方、微量成分は主要成分とは異なる挙動を示した(図4)。凍結乾燥品で、ハーブ自体とハーブティーの両方でオクタナール、1-オクタノール、(E)-2-ヘキセナール、(Z)-3-ヘキセノールが確認された。生と真空

乾燥品は、ハーブ自体に存在するオクタナール、1-オクタノール、(E)-2-ヘキセナール、(Z)-3-ヘキセノールのうち、オクタナールと1-オクタノールのみがハーブティーで確認された。しかしながら、熱風乾燥品のハーブティーでは、生や真空乾燥品と同様にオクタナール、1-オクタノールが確認されたが、ハーブ自体では生や真空乾燥品とは異なり、(E)-2-ヘキセナールは確認されなかった。植物体に

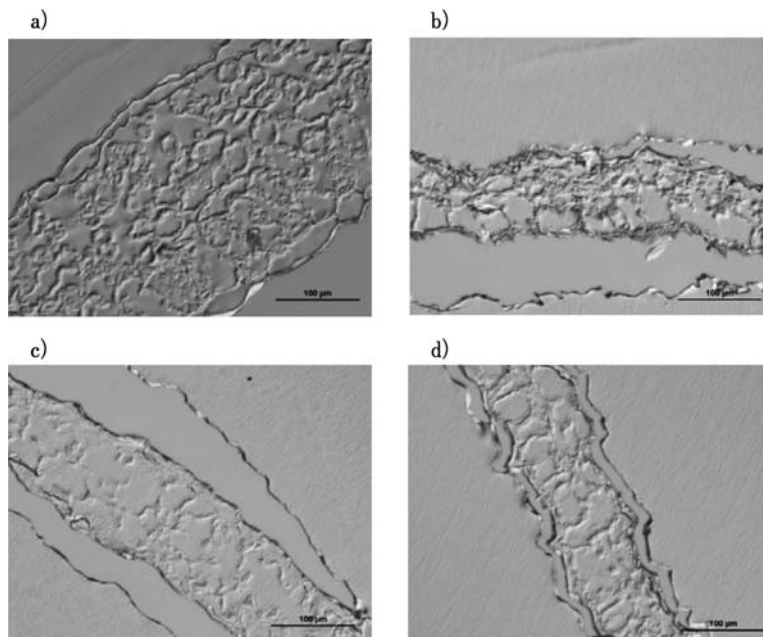


図 5 生および乾燥スイートバジルの内部組織（乾燥品は水戻し後）
 a) 生（未処理），b) 熱風乾燥，c) 凍結乾燥，d) 真空乾燥
 ノマルフスキー型微分干渉顕微鏡による撮影（×200）

における (E)-2-ヘキセナールの生成経路の一つとして，細胞の損傷がきっかけとなり，リノレン酸からリポキシゲナーゼなど酵素の働きにより，(Z)-3-ヘキセナールが生成され，そこから自発的異性化により生成される事が知られている。また，(Z)-3-ヘキセナールについては，植物体中に存在する配糖体からの遊離によって生成される経路と，(Z)-3-ヘキセナールから還元酵素により生成する経路が知られている¹²⁾。

つまり，熱風乾燥品のみが乾燥方法の原理上，乾燥工程中で加熱状態にさらされることから，(Z)-3-ヘキセナール生成過程の反応経路中の酵素が熱により失活してしまい，(E)-2-ヘキセナールが生成されなかった可能性が高い。また，酵素が失活したとすると熱風乾燥品に微量に存在する (Z)-3-ヘキセナールは，配糖体から遊離する生成経路を経て生成したものと推定される。

凍結乾燥品は，ハーブ自体を意味するハーブ全量とハーブティーの両方で，(E)-2-ヘキセナールが大量に存在することから，凍結乾燥工程中に細胞が損傷され植物組織中のリノレン酸から，リポキシゲナーゼが関与した生成経路をへて (Z)-3-ヘキセナールが生成し，自発的異性化により (E)-2-ヘキセナールとして蓄積されたものが，ハーブティーにそのまま溶出していると考えられる。真空乾燥品では生と同様に，ハーブ自体に存在する (E)-2-ヘキセナールや (Z)-3-ヘキセナールがハーブティーには存在していないことから，真空乾燥ハーブの状態では (E)-2-ヘキセナールや (Z)-3-ヘキセナールの起点となる (Z)-3-ヘキセナールが生成されるほどの細胞損傷が起きていないと

考えられる。但し，真空乾燥スイートバジル自体に存在する (Z)-3-ヘキセナールについては，今回のデータのみではどの経路を経て生成されたかの判断はできない。結果として，主要成分および微量成分の検出パターンを比較すると，真空乾燥品が生に近い挙動を示しており，官能評価と同様の結果となった。よって，乾燥ハーブ自体が保有する香気成分がハーブティーへどのように溶出されるかの挙動は，乾燥方法の違いを説明できる因子となりうると考えられる。

(2) 植物組織構造変化の計数化

乾燥方法によってハーブ自体に存在する香気成分とハーブティーへの溶出パターンは異なるという結果が得られたことから，ハーブ植物体の水戻し後の切片を作成しノマルフスキー型微分干渉顕微鏡を用いて生のスイートバジル細胞組織構造との比較観察を行った (図 5)。生のスイートバジル (図 5a) と比較して，乾燥品は全体的に組織の収縮が確認されるが，真空乾燥品では，他の乾燥方法に比較して損傷の少ない細胞が多く観察された (図 5d)。凍結乾燥品では，細胞壁が部分的な破壊によりつながっていることが観察された (図 5c)。これは，凍結乾燥過程で，細胞内の水分が凍結結晶化時に，氷結晶の粗大化により細胞壁が部分的に破壊されていった結果と推定される。このことは，(E)-2-ヘキセナールがハーブ中に多かった事実の説明とも合致するものである。熱風乾燥品では，細胞壁の一部が破壊されてつながっている状態は確認されないが，細胞壁の構造は部分的に著しく収縮し生のスイートバジルから変化して異なるものとなっていた (図 5b)。続いて，観察によって

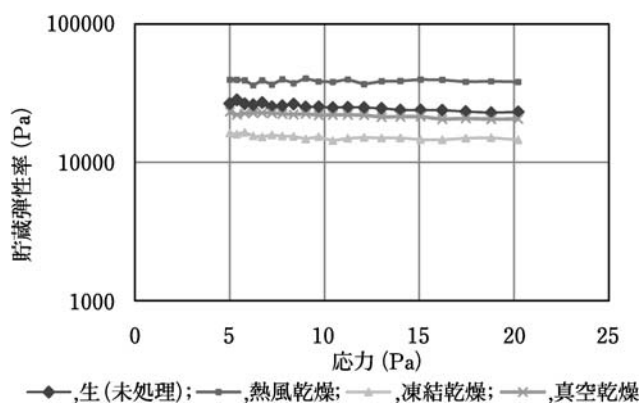


図 6 生および水戻し後乾燥スイートバジルの貯蔵弾性率

確認された植物組織構造の違いを数値として捉える為に、水戻し後の各サンプルの貯蔵弾性率を測定・比較を行った(図6)。貯蔵弾性率は、物体の固体的な性質を示すものと解釈できる¹³⁾。ハーブティーのような静的な熱水抽出時には、特別な物理的応力がハーブには加わらないことを考えると、線形領域における貯蔵弾性率は、熱水抽出時におけるハーブ自体の内部組織構造を反映する値であると考えられる。

細胞壁が部分的に破壊され、いくつもの細胞がつながっているように観察された凍結乾燥品では、貯蔵弾性率が生に比較して小さい値となった。また、細胞壁が破壊されずに部分的に著しく収縮した構造が観察された熱風乾燥品では、生に比較して貯蔵弾性率が大きい値を示した。一方、損傷が少ない細胞壁が多く観察された真空乾燥品も、生に比較して貯蔵弾性率が小さい値となったが、3つの乾燥品の中で最も生に近い値となった。線形領域における貯蔵弾性率の測定結果は、顕微鏡観察の結果を十分に説明できるものとなった。官能評価において生に近い風味であった真空乾燥品が、組織構造変化も少ないという結果から、組織構造変化の側面も、官能評価を説明する因子の一つとなる可能性が示唆されたと考ええる。

3. 要約

生スイートバジルを乾燥する際に引き起こされる香りの変化を、香気成分バランスやスイートバジルの組織構造とそのレオロジー特性について、比較解析を行う事で、生スイートバジルの香りを維持する為に必要とされる因子の探索を行った。スイートバジルの香気寄与成分として特定したシネオール、リナロール、オイゲノール、オクタナール、1-オクタノール、(E)-2-ヘキセナール、(Z)-3-ヘキセノールの7種類の香気成分は官能評価の特徴を説明する因子となると考えられる。その中でも、生スイートバジルの香りを特徴づける因子としては、微量成分バランスが大きな役割を果たし、ハーブ自体には(E)-2ヘキセナールや(Z)-3-ヘキセノールが存在するが、それがハーブティーに溶出されずオクタナールが高い比率で溶出されることが重

要であった。そのような性質を持つ組織構造は、葉内部の細胞壁の形状が乾燥工程を経ても維持されており、その状態は貯蔵弾性率の測定でも比較説明が可能であることが明らかになった。これらの結果により、ハーブの組織構造とハーブティーとして溶出される香気成分バランスに密接な関係がある可能性が示唆された。但し、今回確認された(E)-2-ヘキセナールや(Z)-3-ヘキセノールはみどりの香りと称される物質の1つである。これらの物質は植物中のリノレン酸や配糖体を前駆体として酵素が関与し発現するものであり¹²⁾、食品加工時に発生することも知られている^{14)~16)}。今後は配糖体量の変化と酵素の関係についても検討を行い、組織構造変化の香りに対する影響をより明確にしてゆく必要があると考える。しかしながら、細胞壁の損傷が少ない状態であった真空乾燥スイートバジルが生特有の香りを保持していたという事実から、乾燥工程を経ることで喫食時に感じる香りの違いは、単純な香気成分の増減という因子だけではなく、組織構造変化という因子からも説明できる可能性が示唆された。乾燥ハーブの香りに対する品質評価を行う上で、乾燥ハーブからハーブティーに抽出されてゆく香気成分のバランス変化や内部組織構造変化の比較といった多面的なアプローチは、今後の有効な評価手法の1つとなることが期待できる。

文 献

- 1) 野口友里沙, 市村匡史, 池田富喜夫, ガラスビーズの振動処理で生じるスイートバジル葉の香気成分, 日本食品保蔵科学会誌, **30**, 65-68 (2004).
- 2) 市村匡史, 野口友里沙, 木村正典, スイートバジル収穫後の乾燥処理が葉中精油含量とその成分割合に及ぼす影響, 東京農大農学集報, **53**, 96-99 (2003).
- 3) Bini, L.M. and Gentili, L., Secretion constituents of leaf glandular trichomes of *Ocimum basilicum* L. *Flavour. Fragr. Chem.*, 143-150 (2000).
- 4) Yousif, A.N., Scaman, C.H. and Durance, T.D., Flavor volatiles and physical properties of vacuum-microwave- and air-dried sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *J. Agric. Food Chem.*, **47**, 4777-4781 (1999).
- 5) 湯川昌範, ハーブの科学, 株式会社養賢堂, 29-31 (2003).
- 6) Yamamura, T., Tanaka, S. and Tabata, M., Localization of the biosynthesis and accumulation of monoterpenoids in glandular trichomes of thyme. *Planta. Med.*, **58**, 153-158 (1992).
- 7) 尾谷 賢, 内山智幸, 山崎邦雄, 清水條資, 本田重司, 山内順一, 山岸 喬, 妹帯正樹, 金島弘喬, 各種乾燥法によるアオジソの乾燥特性, 北海道立試験場報告, **290**, 81-91 (1991).
- 8) Marcello, I., Giulio, C., Franco, V.A., Farid, C., Jacqueline, S. and Franco, F., Hist-cytochemistry and scanning electron microscopy of lavender glandular trichomes following conventional and microwave-assisted hydrodistillation of essential oils: a comparative study. *Flavour. Fragr. J.*, **21**, 704-712 (2006).
- 9) 小川春幸, Delilah, F.W., William, J.O., Gregory, M.G., 宮下一成, 蔦 瑞樹, 杉山純一, 日本食品科学工学会誌, **50**, 319-323 (2003).

- 10) 塚本和己, 大谷敏郎, 杉山 滋, トウモロコシでんぷん内部構造の AFM 観察, 表面科学, **30**, 484-490 (2009).
- 11) 堀内哲嗣郎, においかおり, フレグランスジャーナル社, 78-79 (2006).
- 12) 松井健二, 杉本貢一, みどりの香り研究の最前線, 香料, **244**, 21-34.
- 13) 川端晶子, 食品物性学 建帛社, 65-68 (2000).
- 14) Wang, D., Yoshimura, T., Kubota, K. and Kobayashi, A., Analysis of glycosidically bound aroma precursors in tea leaves. 1. Qualitative and quantitative analyses of glycosides with aglycons as aroma compounds. *J. Agric. Food Chem.*, **48**, 5411-5418 (2000).
- 15) Wang, D., Kurasawa, E., Yamaguchi, Y., Kubota, K. and Kobayashi, A., Analysis of glycosidically bound aroma precursors in tea leaves. 2. Changes in glycoside contents and glycosidase activities in tea leaves during the black tea manufacturing process. *J. Agric. Food Chem.*, **49**, 1900-1903 (2001).
- 16) Wang, D., Kubota, K., Kobayashi, A. and Juan, I-M., Analysis of glycosidically bound aroma precursors in tea leaves. 3. Change in the glycoside content of tea leaves during the oolong tea manufacturing process. *J. Agric. Food Chem.*, **49**, 5391-5396 (2001).

(平成 22 年 10 月 6 日受付, 平成 23 年 1 月 31 日受理)
