

# スイートバジルの生育ステージならびに 器官別の精油含量と精油成分

市村 匡史\*

(平成 19 年 8 月 24 日受付/平成 19 年 10 月 26 日受理)

要約: スイートバジル生葉の精油含量は、主枝、第 1 次側枝の開花期に最も多くなり、その後は若干減少した。また、器官別の精油含量は花穂で最も多く、次いで葉となり、茎では著しく少なかった。精油成分は eugenol が常に 30% 以上と多かったが、linalool と 1,8-cineol は生育の進展に伴って増加し、methyl eugenol は生育初期に 30% 以上と著しく多いが、生育の進展に伴って急激に減少した。器官別の精油成分は、葉では eugenol と linalool がともに 30% 以上と多く、花穂では linalool が 50% 以上と多く、茎ではいずれの成分も含有率が低かった。4 細胞腺毛は葉、茎および花穂のすべての器官で認められ、葉では向軸・背軸両面で認められた。腺毛の冠部の直径はおおむね 80  $\mu\text{m}$  内外であったが、茎では 53  $\mu\text{m}$  と小さかった。腺毛の分布密度は、葉では背軸面と若い葉で高かった。

キーワード: スイートバジル, 生育ステージ, 器官, 精油, 腺毛

## 緒 言

スイートバジルは、主に精油の採取や新鮮葉あるいは乾燥葉を料理に風味をつけるために用いられている。精油採取を目的とした生産においては、葉だけでなく、穂や茎を含めた地上部全体が開花期に収穫されており、開花期に精油含量が上昇することが報告されている<sup>1)</sup>。

一方料理には、通常、葉のみが用いられるが、用いられる新鮮葉あるいは乾燥葉の収穫時期については、特に考慮が払われることなく、適宜収穫されている。しかし、長年ハーブを用いた料理に携わってきたレストランのシェフ達は、香りの強いハーブを好む。これはそのハーブ本来の香りが弱い場合には、多くの葉を使うことで本来の香り以外の香りも出てくるため、できるだけ少量で本来の香りを出せるように、香りの強いハーブを好むものと考えられる。

植物には葉や茎や根といった基本的な栄養器官があり、生殖器官として花がある。スイートバジルではこうした器官の内、料理用には主に葉が利用され、精油採取に際しては地上部全体が刈り取られるために、葉以外にも茎や花穂が同時に刈り取られて精油が採取されている。

本試験では、植物体の生育ステージならびに器官別の精油含量や精油成分の変化を検討した。

## 材料および方法

### 材料

供試したスイートバジル (*Ocimum basilicum* L.) の種子は、オランダから 1985 年に導入し、その後代々自殖を繰り返して採種を続けたほぼ純系に近いものであった。

### 栽培方法

播種箱に播種し、本葉 2 枚で 9 cm 黒色ポリポットに鉢上げし、本葉 4 枚で a/5000 ワグネルポットに定植した。

栽培には、赤土 (関東ローム心土) とバーク堆肥を混合した培養土を用いた。播種用には赤土とバーク堆肥をそれぞれ 3 mm 目篩で篩別して容積比で 1 : 2 に混合し、鉢上げ用には 6 mm 目篩で篩別して 1 : 1 に混合し、定植用には 10 mm 目篩で篩別して 2 : 1 に混合した。施肥量はいずれの用土とも、培養土 10 l 当たり硫酸 5 g、過磷酸石灰 60 g、塩化カリ 2 g とした。実験 1 では栽培期間が長かったため、開花期以降に液肥 (住友液肥 2 号) の 500 倍液を毎週 1 ポット当たり 500 ml 施用した。他の実験では追肥を行わなかった。

### 精油の採取・分析方法

精油は水蒸気蒸留法により採取し、1 回の蒸留時間を 3 時間とした。精油の分析にはガスクロマトグラフ (Shimadzu GC-14A) を用いて精油成分を分離定量した。分析に用いたカラムは Carbowax 20 M, 0.2 mm  $\times$  25 m で、キャリアガスに He を用い、流量を 0.62 ml/min とした。検出器温度を 290  $^{\circ}\text{C}$  とし、カラム温度を 55  $^{\circ}\text{C}$  から 210  $^{\circ}\text{C}$  まで、毎分 4  $^{\circ}\text{C}$  で昇温した。

### 実験 1. 生育ステージによる変化

1987 年 5 月 27 日に播種し、6 月 8 日に鉢上げし、6 月 17 日に定植し、ガラス温室で栽培した。表 1 に示した生育ステージを含む各生育時期ごとに、6 株ずつ採取して生育調査を行った。精油の採取・分析用の材料としては、株全体の生葉のみをまとめて採取したが、生育初期には植物体が小さかったため、1 回に 230 株を供試し、生育の進展に伴い供試株数を減らし、主枝種子成熟期における最終調査時

\* 東京農業大学農学部農学科

には1回に3株を供試した。精油の採取は各生育ステージごとに3回の繰り返しとした。

#### 実験2. 植物体の器官による差異

1987年11月27日に播種し、12月22日に鉢上げし、12月29日に定植し、最低温度を20℃に維持するように加温したガラス温室で栽培した。全株が開花した時点で栽培を打ち切り、葉と茎と花穂の3器官に分けて収穫した。

#### 実験3. 植物体の各器官における腺毛の大きさと分布密度

1999年9月21日にガラス温室で播種し、10月7日に鉢上げし、10月17日に定植した。定植と同時に昼温が25℃、夜温が20℃、日長が12時間の人工光ファイトロン室に搬入して栽培した。スイートバジルにおける腺毛には、精油分泌細胞数が1, 2, 4および8個の4種類が認められるが、本試験ではすべての器官に認められ、精油含量に大きく影響する4細胞腺毛のみを計測した。主枝の開花期に収穫して、各器官の4細胞腺毛の大きさと分布密度を透過型生物顕微鏡下で観察した。観察は100倍の倍率で行い、腺毛の大きさは冠部の直径をマイクロメータで測定し、分布密度は1視野当たり(3.14 mm<sup>2</sup>)の個数で示した。

## 結 果

### 1. 生育ステージによる変化

#### 1) 生育

草丈は、生育のごく初期には緩慢な伸長であったが、定植後には順調に伸長し、主枝出穂期(7月13日)以降では、花序の伸長によって草丈が伸長した(図1)。

主枝葉数は、6月8日に本葉2枚で鉢上げ後順調に増加して、6月27日には10枚となり、7月13日には約20枚で止め葉に達した。全葉数は、主枝で止め葉に達した前後から、側枝の著しい伸長に伴って著しく増加し、生育調査を打ち切った主枝種子成熟期(8月14日)には約1,100枚となった(図2)。

全葉面積と地上部新鮮重はほぼ同様な増加傾向を示し、ともに開花期前後以降の増加が著しかった(図3)。

#### 2) 葉中精油含量と精油成分

葉中精油含量は生育の進展に伴って増加したが、特に主枝出穂期から主枝開花期(7月20日)にかけて著しく上昇した。その後は第1次側枝開花期(7月24日)にわずかに上昇する傾向が認められ、第2次側枝開花期(7月31日)にかけては低下して、主枝種子成熟期にかけて再び上昇したが、おおむね主枝の開花期以降はほぼ同程度の高含量を維持した(図4)。

精油成分は30成分が認められたが、5%以上を占めた成分は1,8-cineol, linalool,  $\alpha$ -bergamotene+ $\beta$ -elemene, methyl eugenol, eugenolの5成分であった。これら5成分のうち、1,8-cineolとlinaloolでは生育の進展に伴って含有率が上昇したが、開花期前後で最高含有率となり、主枝の種子成熟期にかけてはわずかに低下する傾向が認められた。 $\alpha$ -bergamotene+ $\beta$ -elemeneとmethyl eugenolでは共に生育初期に含有率が高く、生育の進展に伴って含有率が低下したが、methyl eugenolでの低下が著しく、生

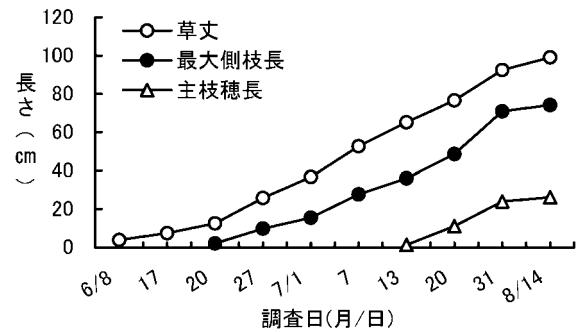


図1 生育ステージによる草丈・側枝・花序の伸長

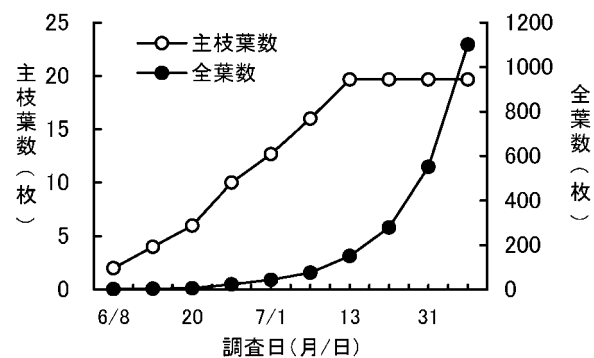


図2 生育ステージによる葉数の変化

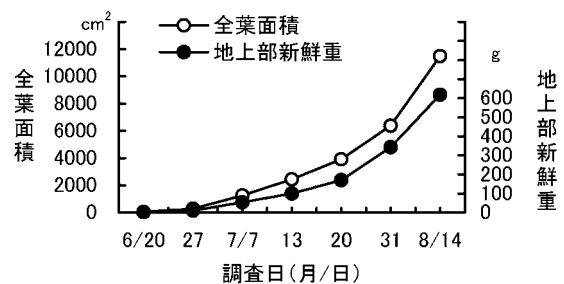


図3 生育ステージによる全葉面積と地上部新鮮重の推移

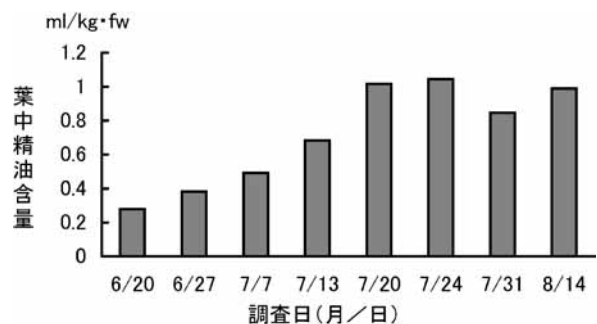


図4 生育ステージによる葉中精油含量の推移

育初期には30%以上の含有率であったにもかかわらず、1週間後には10%以下となり、主枝の開花期以降は1%以下と極めて低含有率となった。eugenolについては生育期

表 1 生育ステージによる葉中精油成分割合<sup>z</sup>の変化

成分	6/20 6葉 展開時	6/27 10葉 展開時	7/7 16葉 展開時	7/13 主枝 出穂時	7/20 主枝 開花期	7/24 第1側枝 開花期	7/31 第2側枝 開花期	8/14 主枝種子 成熟期
1,8-cineol	3.05	7.16	8.43	9.57	10.34	9.09	9.24	8.17
linalool	8.04	27.57	36.63	39.85	37.54	37.57	40.13	32.36
$\alpha$ -bergamotene + $\beta$ -elemene	5.60	4.16	3.90	4.02	3.44	3.25	3.33	2.75
methyl eugenol	32.47	8.66	1.47	0.37	0.12	0.24	0.29	0.30
eugenol	33.37	37.51	34.86	31.08	33.36	33.68	31.29	35.96

z:精油当たり%

間を通して高含有率を維持し、概ね 35% 内外で推移した (表 1)。

2. 植物体の器官による差異

1) 生育

草丈は、生育初期には緩慢な伸長であったが、その後順調に伸長した。2 月初めには主枝の花序に出蕾が観察され、出蕾後の草丈は無限花序である花序の伸長に伴って伸長した。栽培を打ち切った第 1 次側枝の開花最盛期の 2 月 23 日には約 120 cm に達した (データ省略)。

主枝葉数についても順調に増加し、1 月下旬にはほぼ 18 枚で止め葉に達して出穂した (データ省略)。

2) 精油含量と精油成分

精油含量は茎で最も少なく、葉では茎の約 20 倍と多く、花穂ではさらに葉の 6 倍以上と著しく多かった (表 2)。

精油成分については茎、葉、花穂を通じて 30 成分が認められた。このうち葉では 28 成分と最も多く、次いで茎では 22 成分、花穂では最も少なく 20 成分が認められた (表 2)。茎ではいずれの成分においても含有割合が低かったが、葉で認められて茎で認められない成分は  $\alpha$ -pinene を初め、 $\beta$ -pinene, sabinene,  $\alpha$ -terpinene, cis-3-hexenol, 1-octene-3-ol, octanol および methyl chavicol の 8 成分であったのに対し、茎で認められて葉で認められない成分は sabinene hydrate と epi-cubenol の 2 成分のみであった。葉で認められて花穂で認められない成分は  $\alpha$ -pinene を初め、 $\beta$ -pinene, sabinene,  $\alpha$ -terpinene, cis-3-hexenol, 1-octene-3-ol, octanol, methyl chavicol, methyl eugenol の 9 成分であったのに対し、花穂で認められて葉で認められない成分は sabinene hydrate の 1 成分のみであった。茎で認められて花穂で認められない成分は, methyl eugenol と epi-cubenol の 2 成分であったが、逆の成分は認められなかった。

精油成分組成については、葉では linalool と eugenol が 30% 以上と多く、次いで 1,8-cineol が約 10% で、葉ではこれら 3 成分が主な成分であり、次いで  $\alpha$ -bergamotene +  $\beta$ -elemene と  $\gamma$ -terpinene +  $\beta$ -ocimene が 3% 前後認められた。その他の成分ではいずれも 1% 以下と極めて少なかった。

茎においても、linalool と eugenol の 2 成分が多かったが、葉に比べると、この両成分は共に 20% 以下と少なかった。

表 2 器官別の精油含量と精油成分割合<sup>z</sup>

精油含量と精油成分	葉	茎	花穂
精油含量(mL/kg fw)	0.70	0.03	4.39
$\alpha$ -pinene	0.14	tr.	tr.
$\beta$ -pinene	0.58	tr.	tr.
sabinene	0.27	tr.	tr.
myrcene	0.89	0.17	0.16
$\alpha$ -terpinene	0.08	tr.	tr.
limonene	0.37	0.07	0.14
1,8-cineol	10.52	0.39	1.34
$\gamma$ -terpinene+ $\beta$ -ocimene	2.20	0.15	0.70
terpinolene	0.28	0.10	0.09
cis-3-Hexenol	0.81	tr.	tr.
1-octene-3-ol	0.21	tr.	tr.
sabinene hydrate	tr.	0.10	0.14
octyl acetate	0.17	0.11	0.44
copaene	0.08	0.24	0.19
camphor	0.63	0.18	0.43
linalool	37.38	15.43	50.97
octanol	0.20	tr.	tr.
iso-bornyl acetate	0.43	5.00	0.48
$\alpha$ -bergamotene+ $\beta$ -elemene	3.16	9.93	5.77
methyl chavicol	0.27	tr.	tr.
$\alpha$ -terpeneol+borneol	1.28	1.96	0.88
germacrene-d	1.10	5.87	4.16
$\delta$ -guaiene	0.36	1.91	1.54
bisabolene-1	0.42	1.91	0.58
$\delta$ -cadinene	0.91	5.41	1.84
geraniol	0.29	0.40	0.24
methyl eugenol	0.56	1.05	tr.
epi-cubenol	tr.	1.74	tr.
eugenol	33.01	19.10	22.09
acetate-d-amyl	0.98	13.63	2.58

z:精油当たり%

た。しかし、5% を超える成分が 5 成分と多く、特に acetate-d-amyl は 10% 以上と多かった。葉で 10% を超えた 1,8-cineol は 1% 以下と極めて少なかった。

花穂でも linalool と eugenol の 2 成分が多かったが、特に linalool が 50% 以上と著しく多く、葉や茎と大きく異なった。5% 前後を占めた成分は  $\alpha$ -bergamotene +  $\beta$ -elemene と germacrene-d のみで、その他の成分の割合は低く、linalool 主体の成分組成であった (表 2)。

3. 植物体の各器官における腺毛の大きさと分布密度  
各器官における 4 細胞腺毛の大きさと分布密度を表 3 に

表 3 4細胞腺毛の各器官における分布密度と大きさ

茎	主枝 第4節間茎						
	腺毛数(個/3.14mm <sup>2</sup> )	29.4					
冠部直径(μm)	53.0						
葉	主枝 第3節葉		主枝第3節 第1次側枝第2節葉		主枝第3節 第1次側枝第4節葉		
	向軸面	背軸面	向軸面	背軸面	向軸面	背軸面	
	腺毛数(個/3.14mm <sup>2</sup> )	3.6	19.4	11.8	29.8	21.6	63.6
	冠部直径(μm)	79.7	82.0	79.8	81.2	79.9	80.5
	がく背軸面		花弁背軸面				
	上唇	下唇	上唇	下唇			
腺毛数(個/花)	12.6	29.2	24.3	9.0			
冠部直径(μm)	79.6	74.6	79.5	67.4			

示した。腺毛は基部、柄部および冠部の3部分からなっており、4細胞腺毛は冠部が大きく、やや扁平な球状を呈していたことから、大きさは真上から見たときの冠部の直径で示した。4細胞腺毛は地上部のすべての器官で認められ、葉では向軸面、背軸面の両面で認められたのに対し、花ではがく、花弁とも向軸面には認められず、背軸面にのみ認められた。4細胞腺毛の大きさは葉ではおおむね80μmであったが、がくや花弁の下唇ではわずかに小さく、茎では53μmと最も小さかった。腺毛の分布密度は、葉では向軸面に比べて背軸面で著しく高く、主枝葉よりも第1次側枝葉で、同じ第1次側枝では基部節葉よりも上位節の若い先端葉で高かった。茎での腺毛の分布密度は比較的高く、第1次側枝基部葉背軸面とほぼ同程度であった。花での腺毛の分布密度はがくでは下唇に、花弁では上唇で高かったが、茎とほぼ同程度で、がくの上唇や花弁の下唇では低かった。

## 考 察

### 1. 精油含量

本試験において生育ステージ別に調べた葉中精油含量は、生育の進展に伴って増加し、主枝および第1次側枝の開花期で最も多かった。生育に伴う精油含量の変化については、BAUER<sup>2)</sup>が *Mentha piperita* で、開花期前後を4ステージに分けて精油を採取した結果、開花までは増加し、その後は低下または一定になると報告している。また、FLEISHER<sup>1)</sup>はイスラエルで栽培されている2種類のスイートバジルを栄養生長期、開花初期、開花最盛期と種子期の4回に分けて収穫し、開花最盛期に最も精油量が多くなると報告している。これらの報告では、刈り取り部位の記載がないが、通常精油を採取する場合、地上部全体を地際から10~15cmの高さで刈り取り、水蒸気蒸留して精油を採取するため、これらの試験においても葉や茎、花穂などを含んだ地上部全体から精油を採取したものと考えられる。本試験においては、生葉のみから精油を得たが、これまでの報告と全く同様な結果が得られたことから、開花期における精油含量の増加には生葉も寄与していることが明らかとなった。

本試験において開花期に収穫した植物体の器官別の精油含量は、葉に比べて花穂で約6倍と著しく多く、逆に、茎では葉の約1/20と著しく少なかった。器官別に精油含量を調べた報告は少ないが、CHARLESら<sup>3)</sup>が *O. basilicum* の葉と花穂の精油含量を調べ、花穂では葉の約2倍であったことを報告しており、本試験ほど大きな差ではなかったが、葉に比べて花穂で精油含量が多いことでは一致した。CHARLESらの用いた系統は精油成分に linalool と methyl chavicol を多く含み、eugenol をほとんど含まない系統で、本試験で供試した eugenol と linalool を多く含む系統ではない。また、葉中精油含量が系統によって差のあることはすでに報告しているが<sup>4)</sup>、本試験と CHARLES らの結果から、葉と花穂での含量差にも系統によって差のあることが示唆された。

こうしたことから、栄養生長期に比べて開花期で株全体の精油含量が多くなるのは、精油含量の多い花穂の影響が大きいものと考えられる。しかし、地上部全体で刈り取った場合と同様に、株全体の葉のみの精油含量も開花期に増加することが明らかとなった。

### 2. 精油成分

本試験における生育ステージ別の葉中精油成分については、eugenol が常に多く、linalool と 1,8-cineol は生育の初期には少なかったが、生育の進展に伴って増加した。また、methyl eugenol は生育初期には30%以上の含有率であったにもかかわらず、急激に減少して、主枝の開花期以降では1%以下の低含有率となった。GILL・RANDHAWA<sup>5)</sup>は、linalool と methyl chavicol が主成分であるフレンチバジル (*Ocimum basilicum* L.) を用いて、開花開始期、50%開花期、全小花開花の開花最盛期の3時期に分けて収穫して、葉の精油成分を比較した結果、linalool 含量は収穫時期の遅れるのに伴って増加し、cineol 含量は50%開花期まで増加するが、その後減少し、eugenol 含量は収穫時期によって変化しなかったと報告した。GILL・RANDHAWAの収穫時期は本試験における主枝開花期(7/20)、第1次側枝開花期(7/21)、第2次側枝開花期(7/31)に相当すると考えられる。系統が異なるため、同一視点で論ずることはで

きないが、この期間で比較すると、本試験においてもおおむね同様の結果が得られていると考えられる。FLEISHER<sup>1)</sup>も同様な結果を報告しているが、FLEISHER はタイプの異なる A, B 両タイプのスイートバジルを用い、収穫時期を種子形成期を加えて 1 回多くしている。その結果、本試験で供試した系統に近い B タイプでは、linalool 含量が開花最盛期まで増加するが、種子形成期にかけては減少しており、本試験の結果と全く同様であり、linalool が開花期に向けて増加することが明らかとなった。

本試験における器官別の精油成分は、葉で eugenol と linalool がともに 30% 以上と多く、花穂では linalool が 50% 以上と多く、茎ではいずれの成分も含有率が低かった。GILL ら<sup>5)</sup> は葉と花穂の精油成分の比較において、linalool は花穂に多いが、eugenol と cineol は葉に多いと報告している。CHARLES ら<sup>3)</sup> は linalool が花穂に最も多く、次いで葉で、茎では最も少なかったと報告しており、これらの結果は本試験の結果に一致している。SHEEN らの報告<sup>6)</sup> では、linalool は茎に最も多く、次いで花穂で、葉で最も少なくなっているが、SHEEN らの用いた系統は、methyl chavicol を 80% 以上含んでおり、linalool は最も多かった茎においても約 2% と少なかった。こうしたことから、linalool 含量の極めて少ない系統との比較は困難であるが、多い系統における linalool 含量は、花穂に多く、また葉でも開花期に向けて多くなるものと考えられた。

### 3. 腺毛分布密度

本試験において、4 細胞腺毛は葉、茎、花穂のすべての器官で認められた。このうち葉では向軸・背軸両面で認められた。分布密度は葉では背軸面と若い葉で高く、茎とがくおよび花弁では同程度で比較的高いことが明らかとなった。吉田ら<sup>7)</sup> は青シソで、腺毛分布密度と精油含量に高い相関を見だしており、分布密度の高い葉、または器官では、精油含量も多いことが考えられる。本試験においては、全葉数が主枝の開花期以降著しく増加したこと、若い葉では腺毛の分布密度が高いことから、若い葉の増加に伴って葉中精油含量が増加したものと考えられた。しかし、WERKER ら<sup>8)</sup> は、葉が出葉し、葉面積を増大させる時期に

は、どんな新しい腺毛も形成されず、腺毛の分布密度は低下すると報告しており、若い葉が展開した後、葉面積を増大させて成熟葉となっていく時点においては、精油含量の上昇は期待できないものと考えられた。したがって、主枝開花期から第 1 次側枝開花期にかけて、その株全体の葉を用いた、単位重量当たりの葉中精油含量が最大に達したのは、連続的に展開した第 1 次、2 次側枝の若い葉と、腺毛の分布密度が低下した成熟葉が、重量割合においてほぼ平衡に達した時点であり、株全体に占める若い葉の割合が低下すると株全体の葉中精油含量も低下するものと考えられた。

### 引用文献

- 1) FLEISHER, A., 1981. Essential oils from two varieties of *Ocimum basilicum* L. grown in Israel. *J. Sci. Food Agric.*, 32 : 1119-1122.
- 2) BAUER, K.H., 1939. Relation between the composition of peppermint oil and the vegetative development and variety of the plant. *Pham. Zentralhalle*, 80 : 353.
- 3) CHARLES, D.J. and J.E. SIMON., 1990. Comparison of extraction methods for the rapid determination of essential oil content and composition of basil. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 115 (3) : 458-462.
- 4) 市村匡史・富高弥一平・木村正典, 1990. 採種地を異にするスイートバジルの生育と精油成分の差異. *園学雑*, 59 (別 1) : 336-337.
- 5) GILL, B.S. and G.S. RANDHAWA., 1996. Effect of deffernt transplanting dates and harvesting stages on the quality of French basil oil. *J. Herbs, Spices & Medicinal Plants.*, 4 (3) : 35-42.
- 6) SHEEN, L.-Y., Y.-H. TSAI OU and S.-J. TSAI., 1991. Flavor characteristic compounds found in the essential oil of *Ocimum basilicum* L. with sensory evaluation and statistical analysis. *J. Agric. Food Chem.*, 39 : 939-943.
- 7) 吉田照雄・東富士雄・猪川重徳, 1968. 香料用青シソの含油組織、精油含量および精油成分について. *日作紀*, 37 (1) : 118-122.
- 8) WERKER, E., E. PUTIEVSKY, U. RAVID, N. DUDA and I. KATZIR., 1993. Glandular hairs and essential oil in developing leaves of *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae). *Annals of Botany*, 70 : 43-50.

---

# Contents and Components of Essential Oil by Growth Stage and Organ in Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.)

By

Masashi ICHIMURA\*

(Received August 24, 2007/Accepted October 26, 2007)

**Summary** : The content of essential oil in fresh sweet basil leaves was highest during the flowering stage of the main stem and first lateral shoots, and then slightly decreased during the following stages. The content of essential oil was highest in the spike, followed by leaves, and was remarkably low in the stem. Among essential oil components, the content of eugenol was constantly above 30%, but that of linalool and 1,8-cineol increased as growth progressed. The content of methyl eugenol was markedly higher in the early growth stage, but rapidly decreased with growth. The percentages of eugenol and linalool in leaves were both greater than 30%, and that of linalool in the stem was greater than 50%. The percentages of both components were low in the stem. Four-cell glandular hairs were observed in leaf, stem, and spike, and on both adaxial and abaxial surfaces in the leaves. The diameter of the crown of the glandular hairs ranged around 80 $\mu$ m, but was only 53 $\mu$ m in the stem. The distribution density of the glandular hairs was higher on the abaxial surface of leaves and in young leaves.

**Key words** : Sweet basil, growth stage, organ, essential oil, glandular hair

---

\* Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture