

ハマボウフウの生育, 品質および組織形態に及ぼす軟白処理の影響

木村正典*・佐藤元子^a

東京農業大学農学部 243-0034 厚木市船子

Influence of Blanching on Growth, Quality and Anatomical Characters in Hamabofu (*Glehnia littoralis* Fr. Schm.)Masanori Kimura* and Motoko Sato^a

Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture, Atsugi, Kanagawa 243-0034

Abstract

Hamabofu (*Glehnia littoralis* Fr. Schm.) is one of the traditional blanched vegetables in Japan. Rootstocks were grown for one month under darkness or natural daylight condition to compare plant characteristics. When plants were grown under darkness, the petiole elongated remarkably compared to that of the plants grown under natural day light. The leaf blade did not expand in darkness, and the number of leaves and dry matter percentage were smaller than those of plants grown in the light. The concentrations of chlorophyll, anthocyanin, crude fibre and hardness of petiole were less in dark grown plants than in light grown plants. Results of organoleptic test indicated that plants grown in darkness were whitish, had a mild flavour and was soft, compared with plants grown in natural daylight. Furthermore, test subjects favoured the mild flavour and softness, but not the whitish colour of plants grown in the dark. Essential oil concentrations in shoots were not significantly affected by light. Anatomical characteristics such as the number and area of collenchyma and vascular bundle, and the number, the area and the occupancy area rate in the petiole cross section of oil ducts and the number of secretory cells did not differ between plants grown in the dark and those grown in the light.

Key Words : essential oil, light, oil duct

キーワード : 光, 精油, 油管

緒言

ハマボウフウ (*Glehnia littoralis* Fr. Schm.) は日本原産のセリ科の多年草で, 薬用植物として根を利用するほか, 植物体全体に強い独特の香りを有することから, 古くから軟化栽培され, 日本料理に用いられている. 栽培方法には大きく二通りあり, 一つは, 根株を軟化床で萌芽させた後, 日入れをして葉を緑色に, 葉柄をアントシアニン色素により暗赤色に着色させ収穫する伝統的なつまもの栽培の方法であり (岡崎, 1981), もう一つは, 株を土あるいはおがくずで深さ約 30 cm に埋没させて光を遮り, 葉柄を完全に軟白し, 地表に出た葉が淡く緑化した時点で収穫する白茎軟化栽培法である (伊藤, 1995; 松沢, 1990).

ハマボウフウのように根株を植え付けて軟化栽培する植物には, ミツバ, ウド, ミョウガなどがある. これらの野菜を軟化したときの特徴, 特に, 生長や形態などについてはよく知られている (岡, 1974). しかし, ハマボウフウの

軟化栽培については, 軟化方法 (菅原ら, 1992) や色素発現 (夫ら, 1993) などが報告されているにすぎない.

本研究では, ハマボウフウを光条件下と暗黒下で栽培し, 生育, 形態, 着色, 官能特性がどのように異なるかを調べ, 解剖学的組織観察の結果と関係があるかどうかを検討して, 軟化栽培の特徴を明らかにした.

材料および方法

材料として埼玉県の農家から譲り受けた在来系統 (品種名不詳) の根株 (平均根長 14 cm, 平均根重 5 g) を供試した. 実験は最低温度を 20°C に設定した温室内で行った. 処理区として, 完全暗黒とする軟白区と無遮光とする対照区の 2 区を設けた. 暗黒処理は, シルバーポリトウ N を二重被覆して行った. 軟白区は 0.8 × 8.5 m, 対照区は 0.8 × 6 m の畝に, それぞれ 400 株・m⁻² の栽植密度で根株を植え付けた. 肥料は 200 倍に薄めた住友液肥 2 号 (N:P₂O₅:K₂O = 10:5:8) を適宜与えた. 定植は 1995 年 10 月 30 日に行い, 11 月 28 日に収穫した.

クロロフィル含量は, 85%アセトンで抽出し, ジエチルエーテルに転溶後, 分光光度計で測定した. アントシアニン含量は, 1%塩酸メタノール抽出し, 分光光度計で測定し

2006年1月16日 受付. 2006年7月5日 受理.

* Corresponding author. E-mail: kimuram@nodai.ac.jp

^a 現在: 山梨県総合農業技術センター

た。粗繊維含量は、ヘンネルベルク・ストーマン改良法で定量した。硬さを判定するために、改良した果実硬度計を用いて、第1葉葉柄中央部の切断荷重を測定した。精油濃度は、地上部を収穫後直ちに3時間水蒸気蒸留して求めた。

官能検査として、栽培株を供試して両極7点評点尺度のSD法により、19名の学生を対象に強弱テストと嗜好テストを行った。

光学顕微鏡観察のため、根、葉柄中央部および葉身の葉肉中央部を採取して、FAAで固定し、パラフィンに包埋して切片を作製した(Jensen, 1962)。葉柄横断面における厚角組織、維管束、油管および精油分泌細胞の数を顕微鏡下で数えるとともに、葉柄横断面、厚角組織、維管束および油道を顕微鏡で写真撮影し、面積を自動面積計で算出した。なお、油道(離生細胞間隙)と精油分泌細胞を合わせて油管の面積とした。また、葉柄横断面の面積に対する油管の面積割合を求め、油管の面積占有率とした。

実験に供試した個体数は、表中に示した。

結果および考察

1. 形態および解剖学的観察

多くの軟白野菜で、光条件下での栽培に比べて軟白栽培では、徒長して草丈は大きいものの葉の展開がなく、乾物率の小さいこと、色素含量の少ないことが知られている(岡, 1974)。今回、ハマボウフウでも同様な栽培特性を有することが実験データによって示された。すなわち、対照区と比べて軟白区では、草丈が高く、葉柄長が長かった。また、軟白区では葉身はほとんど展開せず、対照区に比べ

て葉数、葉面積ともに小さかった。新鮮重は、葉身については対照区で著しく大きく、葉柄については、葉柄長の大きいことを反映して、逆にわずかながら軟白区で大きかった。葉身と葉柄を合わせた地上部の乾物率は、光合成による養分蓄積の行なわれた対照区が軟白区に優った(第1表)。

軟白栽培の特徴は、葉身のクロロフィル含量、葉柄のアントシアニン含量にも認められ、対照区に比べて軟白区で顕著に少なかった(第1表)。

食べ物を食べたときの歯ざわりや舌ざわりは葉柄の粗繊維含量、葉柄切断荷重によって測定できるものと考えられる。そして、それらの測定値には細胞数や機械組織である厚膜組織、維管束などが関係していると考えられる。

そこでまず、葉柄の粗繊維含量と葉柄切断荷重をみると、いずれも対照区よりも軟白区で低く(第1表)、軟白された個体の軟らかいことが示された。

次に、柵状組織と海綿状組織の細胞を調べた。その結果、軟白区も対照区も、柵状組織は2~3層、海綿状組織は5~6層から成り、細胞数はほぼ同じであった。ただし、軟白区では細胞の大きさが対照区より小さく、葉身の厚さはほぼ半分となっていた(データ略)。また、葉柄における厚角組織と維管束の数、面積および面積占有率についても、軟白区と対照区の間有意差は認められなかった(第2表)。

栽培試料に関する官能検査では、軟白区の試料は対照区に比べて軟らかいと評価された(第3表)。

以上の調査結果から、軟白処理による葉柄の硬さの低下には、細胞数、厚角組織および維管束の数や大きさは直接関与しないことが明らかで、細胞壁の構成成分や繊維成分

Table 1 Effect of blanching treatment on growth, yield and quality in Hamabofu (*Glehnia littoralis* Fr. Schm.).

Treatment	Plant height (cm)	Petiole length (cm)	Number of leaves	Area of total leaves (cm ²)	Fresh weight			Total chlorophyll concentration in leaf blade (mg · 100 g ⁻¹ fw)	Anthocyanin concentration in petiole (mg · g ⁻¹ fw)	Crude fiber concentration in petiole (%)	Cutting load in centre of petiole (kg · mm ⁻²)	Essential oil concentration of shoot (ml · kg ⁻¹ fw)
					Leaf blade (g)	Petiole (g)	Dry matter percentage of shoot					
Control	12.5	8.0	2.0	23.0	0.78	0.67	10.5	98.0	243	1.082	0.854	0.23
Blanching	16.7	15.5	1.4	0.7	0.05	0.93	6.8	1.75	10.2	0.648	0.443	0.20
Significance ^z	*	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	
n	10	10	10	10	10	10	10	3	3	3	7	1

^z * and ** indicate significance at $P < 0.05$ and 0.01 by t -test, respectively.

Table 2 Effect of blanching treatment on number and area of collenchyma and vascular bundle in the centre of the petiole in Hamabofu (*Glehnia littoralis* Fr. Schm.).

Treatment	Cross section area of petiole (10 ⁻² mm ²)	Collenchyma				Vascular bundle			
		Number	Total area (10 ⁻² mm ²)	Mean area (10 ⁻² mm ²)	Percentage of occupied area	Number	Total area (10 ⁻² mm ²)	Mean area (10 ⁻² mm ²)	Percentage of occupied area
Control	410	15.8	120	7.7	30.6	18.2	99.0	5.6	25.3
Blanching	380	15.8	102	6.6	26.6	19.6	93.3	4.8	25.0
Significance ^z	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z NS indicates non-significance at $P < 0.05$ by t -test (n = 5).

Table 3 Effect of blanching treatment on organoleptic scores on the flavour of Hamabofu (*Glehnia littoralis* Fr. Schm.).

Treatment	Test on strength ^z						Test on flavour and colour preference ^y							
	Hardness		Fibrousness		Flavour		Grassy-smelling flavour		Flavour		Grassy-smelling flavour		Green colour	Red colour
	Petiole	Petiole	Leaf blade	Petiole	Leaf blade	Petiole	Leaf blade	Petiole	Leaf blade	Petiole	Leaf blade	Petiole	Leaf blade	Petiole
Control	+1.4	+1.2	+2.1	+1.7	+1.7	+1.4	-0.9	-0.3	-1.4	-1.2	+1.7	+0.9		
Blanching	-0.5	+0.1	+0.7	+0.7	±0	-0.1	+0.8	+0.7	+0.4	+0.3	+0.3	-0.3		
Significance ^x	**	*	**	*	**	*	**	*	**	**	**	*		

^z+3, extremely strong; +2, fairly strong; +1, slightly strong; ±0, neither/nor; -1, slightly weak; -2, fairly weak; -3, extremely weak.

^y+3, like extremely; +2, like moderately; +1, like slightly; ±0, neither/nor; -1, dislike slightly; -2, dislike moderately; -3, dislike extremely.

^x* and ** indicate significance at $P < 0.05$ and 0.01 , on Wilcoxon rank sum test, respectively (n = 19).

組成などが深く関与している可能性が示唆される。

2. 香り (香気成分) とその分泌器官

ハマボウフウが賞味される要素の一つに香りがある。この香りは精油によるものであるが、精油は光合成の二次代謝物であり、光が精油濃度に大きく影響することがメジソなどで知られている (Bernath, 1986; Kimura ら, 2000)。

このことから、軟白すると緑化した場合よりも香りは低くなることが考えられ、官能検査の結果でも軟白区の香りは対照区に比べると低かった (第3表)。しかし、ハマボウフウの精油については、軟白区でも対照区に近い精油濃度が得られており (第1表)、Miyazawa ら (2001) も同様の結果を報告している。

香りに関係する精油は、ハマボウフウでは油管に存在することが知られている (富高・杉山, 1983) が、その油管に関する詳細な報告はない。そこで本研究では、ハマボウフウにおける油管の形態、分布などを詳細に観察し、あわせて軟白区と対照区との違いを比較検討した。その結果、油管の形態や分布など、いずれも、解剖学的には軟白区と対照区との間には顕著な違いはみられず、光の影響は認められなかった。以下に油管に関して明らかになった解剖学的知見を記す。

(1) 油管の形態と分泌細胞

葉柄における油管 (OD) の形態をみると、数個から成る一層の精油分泌細胞 (ESC) が環状に油道 (離性細胞間隙) を取り囲んでいた (第1図B)。小さな油管では精油分泌細胞の大きさがほぼ同じであり、円形を呈していたが、精油分泌細胞数の増加にともなって個々の細胞の大きさが不同になり、大きな油管では楕円を呈するものも見られた。

油道を取り囲む精油分泌細胞の数は、全体の平均で6.5個であり、油管の大きさに比例して多くなる傾向を示した (第4表)。最も大きい厚角組織 (Co) 周辺の油管では8個と最多で、最も小さい師部内の油管では3~4個と最少であった。

(2) 油管の分布、分布密度、面積

次に、油管の分布場所をみると、根、葉柄、葉身のいずれにも観察された。根の油管は皮層と師部に散在し、まれに維管束師部内にも観察されたが、木部には認められな

かった。葉柄の油管は、厚角組織と維管束 (VB) の間に厚角組織に近接して必ず一つ存在するほか、維管束の木部側周辺に1~3個観察された (第1図)。葉身では、葉脈にみられ、葉肉組織 (PT, ST) 中には観察されなかった。

これら油管の分布密度をみると、葉柄では、横断面当たりの油管数は軟白区と対照区に有意差が認められず、総数は45~47個であった (第4表)。このうち維管束周辺の油管数が全体の3分の2を占めた。また、厚角組織周辺の油管数は15個と、厚角組織総数とほぼ同じであった。維管束内の油管は、油管総数の3%、維管束総数の8%と、きわめて少なかった。葉身の主脈では2~6個程度、側脈では木部側と師部側に1個ずつ観察された。

主な利用部位である葉柄における油管の大きさをみると、葉柄横断面に占める厚角組織周辺と維管束周辺の油管の面積はそれぞれ0.5%前後であり、この2カ所で油管総面積の99%を占めた (第4表)。

油管1個当たりの面積をみると、厚角組織周辺にみられるものは約 $0.1 \times 10^{-2} \text{mm}^2$ と最も大きかった。また、師部内の油管は、 $0.02 \times 10^{-2} \text{mm}^2$ と最も小さく、厚角組織周辺にみられる油管の約6分の1の大きさであり、油管総面積のわずか1%であった (第4表)。

一般に、植物茎や葉柄における厚角組織および維管束は、物理的な強度を増すためにきわめて規則的に分布することが知られている (猪野, 1964)。また、セリ科野菜のパセリ (富高・杉山, 1983)、アシタバ (富高ら, 1986) の皮層における精油分泌組織の発生は厚角組織や維管束形成と深い関係にあることが報告されている。

ハマボウフウについても、油管は厚角組織と維管束に近い場所にあり、これらが密接な関係をもつことを示唆している。

さらにその分布をみると、概して表皮に近い周縁部に多く位置していた。このように周縁部に多く、維管束では師部にしか分布しないのは、植物の自己防衛機能や分泌される精油の合成経路と関係があると考えられる。

前述のように、葉身や葉柄の大きさなどに光の影響はみられる (第4表) もの、油管についての解剖学的知見からは軟白区と対照区との間に違いは認めがたく、精油量に

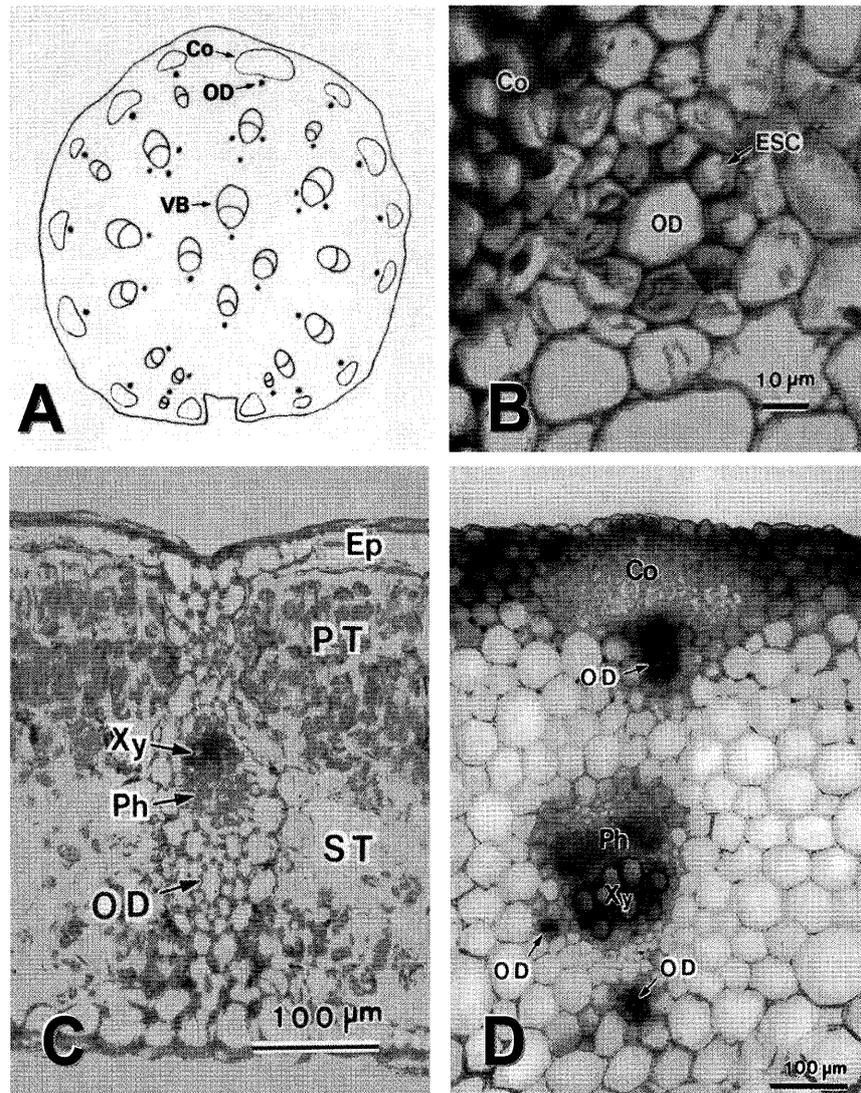


Fig. 1 Schematic drawing (A) and photomicrographs (B–D) of cross sections of Hamabofu (*Glehnia littoralis* Fr. Schm.) grown under light (control) and darkness (blanching treatment). A: Distribution of oil duct, collenchyma and vascular bundles in the petiole. B: Paraffin section stained with Azure II of oil duct in the centre of petiole grown in blanching treatment. C: Leaf blade grown in control. D: The centre of petiole grown in blanching treatment. Co: collenchyma, ESC: essential oil secretory cell, Ep: epidermis, OD: oil duct, Ph: phloem, PT: palisade tissue, SP: spongy tissue, VB: vascular bundle, Xy: xylem.

も違いは認められない。光合成をしていない軟白区の地上部で、対照区に近い精油濃度が得られるのは、油管が通道組織としての役割を有し、根株に貯えられていた精油が地上部に移動した可能性を示すものと考えられる。

Miyazawaら(2001)によると、ハマボウフウでは精油の主成分であるモノテルペノイド類の含有割合が軟白処理で低くなる。このことから、官能検査による香り評価の違いは、精油成分量よりも精油の組成の違いによるものと考えられる。

一般に軟化香辛野菜では、組織が柔軟・多汁で、特有の香りと美しい色彩、独特の風味をもっており、この独特の色や香り、軟らかさが好まれる要因となっている。ハマボウフウについての本研究では、軟白栽培で軟らかくなり(第1表)、光を当てたときよりも香りは弱く、かつ青臭くないと評価された(第3表)。また、色については、軟白物

よりもいくぶん着色したものが好まれた(第3表)。

以上の結果は、栽培期間のほとんどを暗黒下で経過させて食味を向上させ、最後に自然光下に短期間さらして色彩をもたせることで、消費者の嗜好に近いものになっているハマボウフウの伝統的栽培方法を裏付けるものといえよう。

摘 要

ハマボウフウの生育、品質および組織形態に及ぼす栽培方法の影響を明らかにするため、完全遮光した軟白区と自然光の対照区の2区を設け、生育、収量、色素含量、粗繊維含量、物性、精油濃度、官能特性を調査するとともに、厚角組織、維管束および油管の形態と分布について解剖学的観察を行った。

1. 軟白区では葉柄が徒長して葉身が展開せず、葉数の減少と乾物率の低下がみられた。

Table 4 Effect of blanching treatment on the number and area of oil ducts in the centre of petiole in Hamabofu (*Glehnia littoralis* Fr. Schm.).

Treatment	Cross section area of petiole (10 ⁻² mm ²)	Oil duct				
		Number of tissues	Total area (10 ⁻² mm ²)	Mean area (10 ⁻² mm ²)	Percentage of occupation	Number of secretory cells
	[A]	[B]	[C]	[C/B]	[C/A]	
<i>Periphery of collenchyma</i>						
Control	410	14.6	1.84	0.126	0.47	7.88
Blanching	380	15.4	1.70	0.110	0.460	8.09
Significance ²	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<i>Periphery of vascular bundle</i>						
Control	410	31.2	1.80	0.057	0.440	5.91
Blanching	380	35	2.3	0.062	0.60	5.94
Significance ²	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<i>Inside of vascular bundle</i>						
Control	410	1.4	0.041	0.020	0.010	3.5
Blanching	380	2.6	0.060	0.018	0.018	2.7
Significance ²	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<i>Total</i>						
Control	410	47.2	3.68	0.078	0.92	6.49
Blanching	380	45	3.9	0.089	1.08	6.53
Significance ²	NS	NS	NS	NS	NS	NS

² NS indicates non-significance at $P < 0.05$ by *t*-test ($n = 5$).

- クロロフィル含量, アントシアニン含量ともに, 軟白区で顕著に低かった. 葉柄の粗繊維含量は軟白区で低い値を示した. また, 葉柄の硬さは対照区に比べて軟白区でかなり軟らかいことがわかった.
 - 組織観察の結果, 厚角組織と維管束の数および面積について両区に差は認められなかった. また, 油管の数, 精油分泌細胞数および油管の面積, 面積占有率においては両区で有意差がみられなかった.
 - 地上部の精油含量は, 対照区と軟白区で大きな違いは見られなかった.
 - 軟白区で対照区よりも色が薄く, 官能検査の結果, 食べたときの香りおよび青臭さが弱く, 軟らかいと評価されるとともに, 色の薄さを除いて好まれる傾向が見られた.
- 謝辞** 本研究を行うに当たり, ご指導いただいた元東京農業大学教授富高弥一平博士ならびに本論文のご校閲をいただいた東京農業大学教授松尾英輔博士に謝意を表します.

引用文献

- Bernath, J. 1986. Production ecology of secondary plant products. p. 185-234. In: Craker, L. E. & Simon, J. E. (eds.). Herbs, spices, and medicinal plants: Recent advances in botany, horticulture, and pharmacology, volume 1, Oryx Press, Phoenix.
- 夫 喜玉・富高弥一平・市村匡史・木村正典. 1993. ハマボウフウ (浜防風) のアントシアニンに及ぼす環境要因の影響. 園学雑. 62 (別1): 264-265.
- 猪野俊平. 1964. 植物組織学. p. 170-175. 内田老鶴園新社. 東京.
- 伊藤政憲. 1995. ハマボウフウの作型と今後. 施設園芸. 37 (5): 55-58.
- Jensen, W. A. 1962. Botanical histochemistry. p. 408. W. H. Freeman and Company, San Francisco and London.
- Kimura, M., M. Ishii, M. Yoshimi, M. Ichimura and Y. Tomitaka. 2000. Essential oils and glandular trichomes of perilla seedlings as affected by light intensity. Acta Hort. 515: 219-225.
- 松沢 昭. 1990. 日本料理にふさわしい野菜 ハマボウフウの白茎軟化栽培. 農耕と園芸. 45 (8): 90-92.
- Miyazawa, M., K. Kurose, A. Itoh and N. Hiraoka. 2001. Comparison of the essential oils of *Glehnia littoralis* from northern and southern Japan. J. Agric. Food Chem. 49: 5433-5436.
- 岡 昌二. 1974. ミツバと軟化物. p. 1-6. 誠文堂新光社. 東京.
- 岡崎俊二. 1981. ハマボウフウの栽培技術. 軟弱野菜の新技术. p. 114-115. 東京近郊そ菜技術研究会編. 誠文堂新光社. 東京.
- 菅原真一・中西政則・丸山康広・北川 守. 1992. 山形県庄内砂丘におけるハマボウフウの栽培法. I 根株の養成方法について. 日本砂丘学会誌. 39: 27-29.
- 富高弥一平・杉山直儀. 1983. セリ科香辛料野菜の精油含有組織について. 園学要旨. 昭58春: 176-177.
- 富高弥一平・市村匡史・木村正典. 1986. セリ科野菜の油管的分布と発達に関する研究. 園学要旨. 昭61秋: 314-315.