気温および光強度がホウレンソウならびにサラダナの β -カロテン濃度に及ぼす影響

小山初枝・篠原 温・伊東 正

千葉大学園芸学部蔬菜園芸学研究室 271-8510 千葉県松戸市松戸 648

Effects of Air Temperature and Light Intensity on β -carotene Concentration in Spinach and Lettuce

Hatsue Oyama, Yutaka Shinohara and Tadashi Ito

Laboratory of Vegetable Science, Faculty of Horticulture, Chiba University, 648 Matsudo, Chiba 271-8510

Summary

The effects of air temperature and light intensity on β -carotene concentration in spinach and lettuce leaves were investigated to seek means of enhancing β -carotene concentration in these crops.

β -carotene concentrations in these crops decreased with increasing fresh weight, independent of air temperature and light intensity treatments. During a certain period of growth, the effects of air temperature and/or light intensity were not clear because there were differences in growth among the treatments. On a fresh weight basis, β -carotene concentration increased in plants exposed to low air temperature and/or high light intensity.

Low air temperature and/or high light intensity are valuable factors for increasing β -carotene concentration in leafy vegetables because they are nutritious and are sold fresh. Though the β -carotene concentration in spinach and lettuce are different, the effects of air temperature and light intensity on β -carotene concentration are the same. These results indicate that the principle for increasing β -carotene concentration is applicable to other leafy vegetables.

Key Words: β -carotene, spinach, lettuce, air temperature, light intensity.

緒 言

最近、食品の機能性や保健栄養の面で抗酸化成分に対する関心が高まりつつある。なかでも、 β -カロテンはビタミンAに変換される栄養素であると同時に抗酸化成分であり、最近ではその抗酸化作用に注目が集まってきている。日本人の食生活では、緑黄色野菜がビタミンA摂取の約半分を担っており(坂本・三好, 1995)、 β -カロテンの重要な摂取源になっている。このことから、緑黄色野菜中の β -カロテン濃度を高めることは重要と考えられる。

野菜の β -カロテン高濃度化のためには、品種改良による育種的手法と栽培条件の改善による耕種的手法が考えられる。育種的手法には多大な時間と労力を要するのに対して、耕種的手法では作物にかかわらず普遍的にその効果が期待できる。

これまで、 β -カロテンが橙色色素であるため、トマトやニンジンで着色との関係を論じた報告は多くある(Leocicioら, 1976; 江村・細谷, 1979; 勝又, 1967; 矢野ら, 1981; Cserni・Prohaszka, 1987)。しかし、葉菜類の β -カ

ロテンに関する研究報告は果菜類や根菜類に比べ少ない。また、葉菜類の β -カロテンに関する報告は、季節に伴う作物中の β -カロテン濃度の推移をみたものが多い(加藤ら, 1996; Adriana・Rodriguez-Amaya, 1991; 渡邊ら, 1994; Drewsら, 1995)。これらの研究では、冬期に β -カロテン濃度が高くなるとしているが、その原因については低温、低日照に関与するとしている。しかし、Mozafar (1994)も考察しているとおり、季節にかかわる環境要因は多数あり、それらが複合的に植物に影響を及ぼすので、 β -カロテン濃度を高くする環境要因を季節に伴う β -カロテン含量の推移から推論するのは困難である。これまで、葉菜類における光強度の影響として、弱光下で生育すると β -カロテン濃度は、レタスでは低下(Rouchaudら, 1984)、カブの葉部では増加(Jamesら, 1955)、ホウレンソウでは影響がない(東尾ら, 1995)というように作物によって異なる結果が報告されている。一方、気温の影響については、ホウレンソウに一時的な低温を与えると、 β -カロテン濃度が高くなったという報告以外みあたらない(加藤ら, 1996)。

本実験では、葉菜類のうち β -カロテン濃度の異なるホウレンソウとサラダナの2作物を供試し、気温および光強度が β -カロテン濃度に及ぼす影響を明らかにする目的で

行った。

材料および方法

実験は1, 2からなり, 実験1では気温の影響を, 実験2では光強度の影響を調査した。実験はすべて千葉大学園芸学部実験圃場ガラス室内で行った。

実験1. 気温が植物体のβ-カロテン濃度に及ぼす影響

ホウレンソウ‘リード’(サカタのタネ)とサラダナ‘L-2’(みかど育種)を供試した。1997年2月5日, ホウレンソウはロックウール微粒綿を詰めたセルトレイ(200穴)に1セル5粒ずつ, サラダナはウレタンマットに1キューブ1粒ずつを播種した。育苗中は園試処方1/2単位の培養液を適宜与えた。ホウレンソウは播種後10日目に1セル当たり3株に間引いた。2月25日(播種後20日目)にガラス室内に設置した60×90×20 cmのコンテナ(60 l)に, 両作物とも10×10 cmの栽植密度で, 1容器当たりホウレンソウ120株, サラダナ40株をそれぞれ定植した。定植後の培養液は園試処方の1単位とし, 1週間ごとに全量を更新した。培養液の通気はエアープンプで連続して行った。

定植後13日目の3月10日から温度処理を開始した。試験区は対照区と低温区の2区とした。対照区は両作物の生育適温である15~20℃を管理目標とし, 昼夜をそれぞれ

れ換気孔の有無のポリエチレンフィルムで被覆し, 夜は最低気温が12℃以下にならないように温床線で加温した。低温区は, 昼は放任, 夜はトンネルを被覆し, 7℃以下にならないように加温した。

生育調査は, ホウレンソウでは処理1週間後の3月17日と収穫日の3月24日, サラダナは処理1週間後の3月17日と収穫日の4月10日に行った。サラダナについては, 3月17日の調査時に, 1容器当たり8株5条(栽植密度10 cm×10 cm)から4株3条千鳥(栽植密度20 cm×20 cm)になるように抜き取った。ホウレンソウについては, 端から抜き取り, 栽植密度10 cm×10 cmとした。両作物とも, 生育調査には葉数, 生体重を測定し, 60℃で3日間通風乾燥後, 乾物重を測定した。

β-カロテン分析試料の採取は生育調査と同日に行った。日中の採取はβ-カロテン濃度のばらつきを大きくするため避けるべきだという報告に基づき(Pirie, 1988), 試料の採取は日没後1時間以内に行った。試料は各区6株を抜き取り, 株ごとに細切した後, 5 gずつ秤量し, 測定するまで-20℃で冷凍保存した。調整ならびに分析方法は, 渡邊ら(1994)の方法に準じて行った。分析には高速液体クロマトグラフィー(L-600形高速液体クロマトグラフ, 日立; L-4200形UV/VIS検出器, 日立)を用いた。移動相についてはクロロホルム:メタノール=3:7とした。

Table 1. Effect of air temperature on the growth of spinach and lettuce.

Days after treatment	Treatment of air temperature	No. of leaf	Fresh weight of edible part (g)	Leaf blade / Edible part (%) ^z	Dry weight percentage (%)	RGR ^y (g · g ⁻¹ · day ⁻¹)
Spinach						
0		5.8	1.3		8.42	
7	Control ^x	10.2	8.0	58	6.34	0.22
	Low temp. ^x	9.3	4.8	66	8.47	0.19
		* ^w	*	*	*	
14	Control	12.2	12.0	47	5.25	0.03
	Low temp.	11.6	9.7	57	7.91	0.09
		ns	ns	*	*	
Lettuce						
0		4.5	0.9		4.46	
7	Control	20.2	17.2		4.85	0.43
	Low temp.	17.3	11.8		6.33	0.41
		*	*		*	
31	Control	46.8	76.8		4.26	0.20
	Low temp.	38.0	78.2		4.46	0.22
		*	ns		ns	

^z Percentage of leaf blade (gFW) against edible part (gFW).

^y RGR = (lnDW₂ - lnDW₁) / (t₂ - t₁); DW = dry weight, t = date of sampling.

^x In spinach, the control and low (day/night) temperatures were 20/15 °C and 15/8 °C, respectively, whereas for lettuce, they were 21/16 °C and 16/10 °C, respectively.

^w *represents a significant difference in LSD at 5 % level. ns means no significance.

実験 2. 光強度が植物体の β -カロテン濃度に及ぼす影響

ホウレンソウ 'サンライト'(サカタのタネ)とサラダナ 'L-2'(みかど育種)を供試した。光強度の高い夏期に栽培時期を設定したので、ホウレンソウは実験 1 と同様のリードではなく、日長が長くても抽台しにくい夏用品種のサンライトを用いた。1996 年 6 月 20 日に播種、7 月 5 日(播種後 15 日目)に定植した。育苗および栽培管理は実験 1 に準じた。

定植後 3 日目の 7 月 8 日に光処理を開始した。処理区は光透過率が 100%, 70%, 50% となるようにそれぞれ無遮光, 白寒冷紗 1 枚, 2 枚とした 3 区を設定した。(これ以降, それぞれ 100% 区, 70% 区, 50% 区とする。)各区の気温が著しく異ならないように配慮し, 寒冷紗は水平張りにした。

生育調査および β -カロテン分析試料の採取は, 両作物とも, 処理 1 週間後の 7 月 15 日, 2 週間後の 7 月 22 日お

よび収穫時の 7 月 28 日の 3 回行った。調査項目および調査方法は実験 1 に準じた。

結 果

実験 1. 気温が植物体の β -カロテン濃度に及ぼす影響

栽培期間中の天候は晴天が多く, また, いずれの調査日も晴天であった。栽培期間を通しての平均気温は, ホウレンソウでは対照区で 20.2/15.8℃(昼温/夜温), 低温区で 15.0/8.1℃, サラダナでは対照区で 20.7/15.7℃, 低温区で 16.1/10.1℃であった。

生育調査の結果を第 1 表に示した。両作物とも, 対照区に比べて低温区の葉数および生体重は, 処理 7 日目で低かった。しかし, 処理 14 日目には両作物の生体重に差はなかった。ホウレンソウの乾物率は, 対照区に比べて低温区で処理 7 日目, 14 日目で高かった。サラダナの乾物率

Fig. 1. Changes in the β -carotene concentration of (a) spinach and (b) lettuce grown under two different air temperatures of Control (—▲—) and Low temp. (---●---). Edible part was used for analysis of β -carotene. Plants under control and different air temperature treatments were maintained at approximately 20/15 °C and 15/10 °C (day/night), respectively. Vertical bars represent LSD.

Fig. 2. Changes in the β -carotene concentration of (a) spinach and (b) lettuce grown under three different light intensities 100% (—●—), 70% (---▲---) and 50% (---×---) of transmittance of light. Edible part was used for analysis of β -carotene. Light intensity was controlled by covering the plants with mesh screen. Data on 0 day after treatment was actually those at transplanting, — three days before treatment. Vertical bars represent LSD.

Table 2. Effect of light intensity on the growth of spinach and lettuce.

Days after treatment	Transmittance of light ^z (%)	No. of leaf	Fresh weight of edible part (g)	Leaf blade Edible part (%) ^y	Dry matter percentage (%)	RGR ^x (g · g ⁻¹ · day)
Spinach						
7	100	6.7a ^w	2.5ns	69a	7.58a	0.25
	70	6.5a	2.5	65b	7.11a	0.24
	50	5.8b	2.0	63c	6.57b	0.20
14	100	9.2ns	7.2ab	65a	6.24ab	0.17
	70	10.1	7.6a	62ab	6.89a	0.22
	50	9.0	5.3b	57b	5.60b	0.16
20	100	13.1a	14.4a	58b	6.81a	0.10
	70	10.8b	13.2a	55b	6.78a	0.07
	50	8.8c	6.0b	61a	7.12a	0.05
Lettuce						
7	100	13.6ns	6.1ns		5.45ab	0.23
	70	13.9	6.8		5.80a	0.25
	50	13.7	5.8		6.71b	0.25
14	100	24.0ab	25.6a		5.54a	0.29
	70	25.0a	23.0ab		5.30ab	0.22
	50	22.0b	17.1b		4.82b	0.15
20	100	39.0a	67.0a		5.68a	0.13
	70	39.8a	62.9a		5.16b	0.12
	50	30.2b	26.7b		5.10b	0.06

^z Light intensity was controlled by covering the plants with a mesh screen.^y Percentage of leaf blade (gFW) against edible part (gFW).^x RGR = (lnDW₂ - lnDW₁)/(t₂ - t₁); DW = dry weight, t = date of sampling.^w Different letters within column of same date of a crop represent significant differences in Tukey's Studentized Range Test at 5% level. ns means no significance.

は、処理7日目では低温区の方が高かったが、31日目には差がなかった。ホウレンソウにおいて、可食部に占める葉身の重量割合は低温区で常に高かった。また、いずれの区も可食部に占める葉身の重量割合は、処理7日目に比べ処理14日目の方が低かった。

β-カロテン濃度は両作物とも生育が進むにつれて低下した(第1図)。また、両作物とも、いずれの調査日でも、低温区のβ-カロテン濃度は対照区に比べ高かった。

実験 2. 光強度が植物体のβ-カロテン濃度に及ぼす影響

7月16日から7月22日までの天候は曇・雨天が多かったが、その他の期間は晴天が多かった。栽培期間を通しての日平均積算日射量は13.5MJ · m⁻²、日平均気温は光透過率100%区、70%区、50%区でそれぞれ26.3℃、25.1℃、25.5℃であった。

生育調査の結果を第2表に示した。両作物とも、処理による生体重の差は処理7日目にはみられなかったが、処理14日以降には、100%区に対して70%区では差がなかったが、50%区では有意に低かった。ホウレンソウの乾物

率は、処理14日目までは50%区で低かったが、処理21日目には各処理区間に有意差はみられなかった。一方、サラダナの乾物率は50%区で常に低かった。ホウレンソウの可食部に占める葉身の重量割合は、処理7日目および14日目には光が強いほど高かった。また、100%区および70%区では、生育が進むにつれて可食部に占める葉身の重量割合が低下したが、50%区では処理20日目にもっとも高かった。

β-カロテン濃度は実験1と同様、生育が進むにつれて低下した(第2図)。ホウレンソウのβ-カロテン濃度は処理14日目までは、100%区、70%区に比べて、50%区で低く推移した。しかし、処理21日目には各処理区のβ-カロテン濃度に有意差はみられなかった。一方、サラダナのβ-カロテン濃度は処理後7日目には各処理区間にまだ差がみられなかったが、14日目には50%区のみ有意に低かった。21日目には光が弱いほどβ-カロテン濃度が低かった。

考 察

本実験では、 β -カロテン濃度の異なるホウレンソウとサラダナの2作物について調査した。両作物とも、温度および光強度の処理にかかわらず、生体重の増加に伴い、 β -カロテン濃度は低下した。ホウレンソウでは、光透過率50%区を除いたすべての区において、生体重が増加するにつれて可食部に占める葉身の重量割合が減少していた。葉身部の β -カロテン濃度は葉柄部よりも著しく高いことはすでに報告されており(渡邊ら, 1994), 生体重増加に伴う可食部中の β -カロテン濃度の低下と可食部に占める葉身部の重量割合の低下には関係があると思われた。本実験の透過率50%区では、処理14日目と20日目の β -カロテン濃度に差がなかった。これは、処理14日目に比べ20日目の生体重増加しなかったこと、可食部に占める

Fig. 3. The correlation between β -carotene concentration and fresh weight of spinach and lettuce grown under two air temperatures; Control (—●—) and Low temp. (—▲—). Plants of Control and low air temperatures were maintained at approximately 20/15 °C and 15/10 °C, respectively. Edible part was used for analysis of β -carotene. Spinach - 20/15 °C: $y = -0.81 \cdot \ln(x) + 3.23$, Spinach - 15/10 °C: $y = -0.55 \cdot \ln(x) + 3.09$, Lettuce - 20/15 °C: $y = -0.43 \cdot \ln(x) + 2.53$, Lettuce - 15/10 °C: $y = -0.37 \cdot \ln(x) + 2.60$

葉身部の重量割合が高くなっていたことが関係していると考えられる。東尾ら(1995)はホウレンソウにおいて、生育に伴って β -カロテン濃度が増加すると報告しているが、人工気象室内の光条件が本実験における光透過率50%以下の光条件に相当したために得られた結果ではないかと思われる。サラダナにおいては、古い葉と若い葉では、若い葉の方が β -カロテン濃度は著しく低い(データ未発表)。本実験で栽培終了とした生体重50g前後においては、まだ栄養生長の盛んな時期にあり、個葉が成熟して β -カロテン濃度が高まるよりも若い葉の展開による β -カロテン濃度の低下の方が顕著であったのではないかと考察している。

気温の実験において、両作物とも低温区の β -カロテン濃度は生育適温の対照区に比べ常に高く推移しており、低温期(Adriana・Rodriguez-Amaya, 1991; 渡邊ら, 1994; Drewsら, 1995)や低温処理後(加藤ら, 1995)に β -カロテン濃度が高くなるというこれまでの報告と一致した。加藤ら(1996)は冬期ホウレンソウの β -カロテン濃度の増加は水分減少に伴う濃縮効果によると報告している。本実験でも、サラダナの処理31日目以外では、対照区に比べ低温区の乾物率は高かったことから、濃縮は β -カロテン濃度増加の一因であると考えられる。しかし、ホウレンソウの低温区において、生育が進むのに伴い乾物率はあまり変化しなかったが、 β -カロテン濃度は非常に減少していた、また、サラダナの処理31日目において、低温区の乾物率は対照区と差がなかったが、 β -カロテン濃度は高かった、以上2点については、乾物率増加に伴う濃縮効果だけで β -カロテン濃度の増加は説明できなかった。本実験で、低温区の生体重は対照区に比べ常に小さかったことから、生体重が小さいことも、低温区の β -カロテン濃度が高かった一因と考えられる。一方、生体重ベースの β -カロテン濃度を比較してみると(第3図), 対照区に比べ低温区で高いことがわかる。このことから、低温によって β -カロテン濃度を増加させる機作には、生体重に伴っていないものがあると考えられる。一般に、低温下では、呼吸が抑制されるため、より多くの光合成産物が β -カロテン合成を含む二次代謝経路にシフトされたことが、 β -カロテン濃度を高めたのだらうと考えている。

光強度の実験では、生体重ベースの β -カロテン濃度を比較したところ(第4図), 両作物とも、光が弱いほど β -カロテン濃度が低下することがわかった。弱光下では、光合成速度が低下し、光合成産物が不足するため、 β -カロテン濃度が低下したと考えられる。一斉調査の結果を示した第2図においても、光が弱いほど β -カロテン濃度は低い傾向にあったことから、本実験では、弱光による光合成産物不足の影響は生体重の増減の影響よりも大きかったと思われる。同じ葉部であるにもかかわらず、弱光下で生育すると β -カロテン濃度は、レタスでは低下

Fig. 4. The correlation between β -carotene concentration and fresh weight of spinach and lettuce grown under three different light intensities; 100% (—●—), 70% (---▲---) and 50% (-X-) of transmittance of light. Light intensity was controlled by covering the plants with mesh screen. Edible part was used for analysis of β -carotene. Spinach-100%: $y = -0.76 \cdot \ln(x) + 3.83$, Spinach-70%: $y = -0.78 \cdot \ln(x) + 3.75$, Spinach-50%: $y = -0.91 \cdot \ln(x) + 3.37$, Lettuce-100%: $y = -0.33 \cdot \ln(x) + 2.48$, Lettuce-70%: $y = -0.38 \cdot \ln(x) + 2.54$, Lettuce-50%: $y = -0.51 \cdot \ln(x) + 2.56$

(Rouchaud ら, 1984) カブの葉では増加 (James ら, 1955), ホウレンソウでは影響が少ない (東尾ら, 1995) という作物によって異なる結果が報告されている。いずれの報告も、実験条件が一致していないので本実験と直接比較することは難しいが、一定期間生育後の一斉調査のため各区の生体重が異なっている。しかし、生体重増加に伴う β -カロテン濃度の低下については考慮していないため、異なる結果が得られたのではないと思われる。いずれの報告も、本実験同様、生体重ベースの β -カロテン濃度を比較すれば、光が弱いほど低くなるのではないかと推察している。

以上、ホウレンソウおよびサラダナにおいて、 β -カロテン濃度は、生体重の増加に伴って低下し、かつ、低温

条件で増加、弱光条件で減少することを明らかとした。本実験で供試したホウレンソウとサラダナは、 β -カロテンの濃度に大きな差が認められているにもかかわらず、それぞれの β -カロテン濃度が光と温度に対して、同様の影響を受けることが明らかとなった。このことから、低温と強光は他の葉菜類でも β -カロテン濃度を高めるものと予測され、 β -カロテン濃度を富化できる栽培環境として実用化が期待できるものと考えた。

摘 要

葉菜類のうち β -カロテン濃度の異なるホウレンソウとサラダナの2作物を供試し、その濃度に及ぼす光強度および気温の影響を調査した。

両作物とも温度および光強度の処理にかかわらず、生体重の増加に伴い β -カロテン濃度が低下した。光および気温の試験では、一定期間生育させた場合、区によって生体重の差が生じるので、生体重ベースの β -カロテン濃度を比較した。その結果、低温によって β -カロテン濃度を増加させる機作には、生体重に伴っていないものがあると考えられ、一般に、低温下で呼吸が抑制されることから、より多くの光合成産物が β -カロテン合成を含む二次代謝経路にシフトされたことが、 β -カロテン濃度を高くしたのだろうと考えた。同様に、弱光下では、光合成速度が低下するため、光合成産物が不足し、 β -カロテン濃度が低くなったと考えた。

以上、ホウレンソウおよびサラダナにおいて、 β -カロテン濃度は、生体重の増加に伴って低下し、かつ、低温条件で増加、弱光条件で減少することを明らかとした。本実験で供試したホウレンソウとサラダナは、 β -カロテンの濃度に大きな差が認められているにもかかわらず、それぞれの β -カロテン濃度が光と温度に対して、同様の影響を受けることが明らかとなった。このことから、低温と強光は他の葉菜類でも β -カロテン濃度を高めるものと予測され、 β -カロテン濃度を富化できる栽培環境として実用化が期待できるものと考えた。

謝 辞 本研究の β -カロテンの分析に当たり、ご指導を賜った女子栄養大学栄養学部教授吉田企世子先生ならびに中美治子先生に厚くお礼申し上げます。

また、実験遂行に当たり、数多くのご助言を下さいました千葉大学園芸学部の北条雅章講師ならびに丸尾 達助手に深く感謝申し上げます。

引用文献

- Adriana, Z. M. and D. B. Rodriguez-Amaya. 1991. Carotenoid composition of a leafy vegetable in relation to some agricultural variables. J. Agric. Food Chem. 39: 1094-1097.
- Cserni, I. and K. Prohaszka. 1987. The effect of N supply on the nitrate, sugar, and carotene content of carrot. Acta Hort. 220: 303-307.

- Drews, M., I. Schonhof and A. Krumbein. 1995. Nitrat-, Vitamin C, β -Carotin und Zuckergehalt von Kopfsalat im Jahresverlauf beim Anbau im Gewächshaus (*Lactuca sativa* L.). Gartenbauwissenschaft 60:180-187.
- 江村 薫・細谷 毅. 1979. 春まきニンジンの収量と品質に及ぼす施肥の影響. 埼玉園試報. 8: 13-24.
- 東尾久雄・東 敬子・木幡勝則. 1995. 栽培条件がホウレンソウの β -カロテン含量に及ぼす影響. 園学雑. 64 (別1): 566-567.
- James, F. E., R. W. Young, P. H. Massey, JR. and J. R. Havis. 1955. Crop, Light intensity, soil pH and minor element effects on the yield and vitamin content of turnip greens. 1955. Food Research. 20: 575-581.
- 加藤忠司・青木和彦・山西弘恭. 1995. 冬季ハウス栽培ホウレンソウのビタミンC, β -カロテン, トコフェノールおよびシュウ酸含量に対する外気低温の影響. 土肥誌. 66: 563-565.
- 加藤忠司・小沢 聖・青木和彦. 1996. ホウレンソウ (*Spinacia oleracea* L.)における水分含有率と品質関連成分の関係. 土肥誌. 67: 186-189.
- 勝又広太郎. 1967. ニンジンの生育と栽培の諸問題. 農業及園芸. 42: 1499-1504.
- Leocio, C.R., O. C. Clinton and L. S. Kenneth. 1976. Light-dependent carotenoid synthesis in the tomato fruit. J. Agric. Food Chem. 24: 59-64.
- Mozafar, A. 1994. Plant vitamins Agronomic, physiological and nutritional aspects. CRC, Florida: 89-138.
- Pirie, N. W. 1988. Optimal exploitation of leaf carotene. Ecology of Food and Nutrition. 22: 1-10.
- Rouchaud, J., C. Moons, J. A. Meyer, F. Benoit, N. Ceustermans and F. van Linden. 1984. Effects of soil fertilization and covering of the culture with plastic film on the provitamin A content of early lettuce. Plant Soil 80: 139.
- 坂本裕子・三好正満. 1995. 純食料からの微量栄養素を主とする栄養素等供給状況の年次推移(第2報)ビタミン類について. 日本家政学会誌. 46: 131-140.
- 渡邊容子・内山総子・吉田企世子. 1994. 夏期および秋期ホウレンソウの生育過程における部位別成分について. 園学雑. 62: 889-895.
- 矢野昌充・伊東 洋・速見昭彦・小濱節雄. 1981. 野菜の品質に及ぼす栽培条件に関する研究Ⅲ ニンジンの根色. 野菜試報 A. 8: 81-91.