

収穫前の NO_3 -N または全肥料成分の補給停止が水耕ホウレンソウの生育と可食部の硝酸濃度ならびに廃液の無機成分濃度に及ぼす影響

塚越 覚¹・丸尾 達¹・伊東 正¹・扶蘇秀樹²・岡部勝美²

¹ 千葉大学園芸学部 271-8510 松戸市松戸 648

² 太洋興業(株) 111-0053 台東区浅草橋 4-2-2

Effect of Withdrawal of NO_3 -N or All Nutrient from the NFT System Prior to Harvest on the Growth, NO_3 Content in the Spinach Plant and the Final Mineral Concentration in the Nutrient Solution

Satoru Tsukagoshi¹, Toru Maruo¹, Tadashi Ito¹, Hideki Fuso² and Katsuyoshi Okabe²

¹ Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo 271-8510

² Taiyo Kogyo Co., Ltd., Asakusabashi, Taito-ku, Tokyo 111-0053

Summary

The spinach plant (*Spinacia oleracea* L. cv. Joker and cv. Orion) was grown in the capillary NFT system in which NO_3 -N (Experiment 1; summer crop) or all nutrients (Experiment 2; autumn crop) was withdrawn for 2 to 6 days prior to harvest.

In Exp. 1, the top fresh weight slightly decreased by the withdrawal of NO_3 -N supply for 6 days prior to harvest, while, the leaf nitrate content decreased from 3,395 ppm to 2,199 ppm and residual NO_3 -N in the solution decreased from 7.8 me · liter⁻¹ to 1.0 me · liter⁻¹. These values are below the critical level of leaf nitrate content by European standard and of residual nitrate level in the nutrient solution by Japanese standard.

In Exp. 2, the withdrawal of all nutrients for 2 to 4 days prior to harvest had no effect on top fresh weight. But the leaf nitrate content decreased from 3,232 ppm to 2,870 ppm or 2,342 ppm; the residual NO_3 -N in the solution decreased from 1.4 me · liter⁻¹ to 0.7 me · liter⁻¹ or 0.2 me · liter⁻¹ in the 2- or 4-day treatment, respectively. These values are below the critical concentration of European and Japanese standards. In addition, all the major elemental concentration in the waste water was decreased by the withdrawal of all nutrients.

Key Words: hydroponics, nitrate content, residual NO_3 -N, spinach.

緒 言

近年、地下水汚染の一因として、養液栽培におけるかけ流し方式での培養液の廃液や、循環方式でも培養液更新時の廃棄が指摘され、特に、オランダを中心としたヨーロッパ各国では、社会問題となっている (Van Os ら, 1991). わが国の養液栽培においても、栽培終了時の廃棄量や、廃液中の無機成分濃度を極力減少させる必要性は、今後増大すると思われる。

一方、水耕ホウレンソウ (*Spinacia oleracea* L.) は、省力化や、無農薬・減農薬栽培ができることなどから、近年、その栽培面積が増加してきている。ホウレンソウは栄養価の高い緑黄色野菜であるが、硝酸・蔞酸など、人体に好ましくない成分も、野菜の中では特に多い (岩本ら, 1968). 植物体中の硝酸濃度は、栽培中の窒素施用量

が多く、また、養液栽培の場合は NO_3 -N 濃度が高いほど、高まることが知られている (Aworth ら, 1980; 張ら, 1990; 池田・大沢, 1980; 今西・五島, 1990; 亀野ら, 1990). よって、養液栽培では、生育期間中に培養液の NO_3 -N 濃度を低く管理する、あるいは収穫前の数日間、補給液から NO_3 -N を欠除させることで、可食部の硝酸濃度を低下させることができる (Benoit・Ceustermans, 1995; 張ら, 1990; 篠原, 1987; Shinohara・Suzuki, 1988; 王・伊東, 1997).

筆者らは、水耕ホウレンソウの収穫前に、6日間の NO_3 -N 欠除処理を行うと、可食部および廃液の硝酸濃度が低下するが、欠除期間がそれ以上になると収量、品質の低下を招くことを明らかにした (王・伊東, 1997). さらに、6日間より短い期間の収穫前 NO_3 -N 欠除処理の影響について、より詳細に検討する必要性を指摘した。

そこで本研究では、補給液の NO_3 -N 欠除処理期間を6日間より短期間として、その影響を検討した。また、

1998年12月9日 受付. 1999年3月10日 受理.

Table 1. The major elemental composition ($\text{me} \cdot \text{liter}^{-1}$) of Taiyo-spinach-formula² nutrient solution.

$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	K	Ca	Mg
16	1.3	4	12	4	4

² The composition was determined by the measurement of n/w (absorption concentration) of spinach plant.

$\text{NO}_3\text{-N}$ 以外の廃液の無機成分濃度も低減する目的で、収穫前に補給液からすべての肥料成分を欠除させ、ホウレンソウの生育、可食部硝酸濃度ならびに栽培終了時の廃液中無機成分濃度に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

本研究は1997年6月から7月に行った実験1と、9月から11月に行った実験2からなる。いずれも、栽培装置はホウレンソウ栽培用 NFT毛管水耕システム(「ナッパランド」太洋興業(株))とし、培養液は太洋ホウレンソウ処方1単位液(第1表)とした。

実験1(夏作)

ホウレンソウ「オリオン」((株)サカタのタネ)を供試した。6月7日に、ロックウール細粒綿を培地とした専用育苗トレイに、1セルポット当たり6粒を播種した。本葉2枚展開時に、1セルポット当たり4株に間引き、6月27日に、上記装置に定植した。7月20日の収穫予定日の6, 4, 2日前から、補給液の $\text{NO}_3\text{-N}$ を欠除させて追肥した処理区($\text{NO}_3\text{-N}$ 欠除処理区)と、当該処方1単位液の補給をそのまま継続した対照区を設けた。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 欠除に伴う随伴イオンのK, Caは、KClと CaCl_2 で補正した。1試験区は1栽培装置(長さ8m, 幅1.3m)からなり、反復は設けなかった。各栽培装置には720個のセルポット苗を定植し、栽培装置当たりの培養液量が、本栽培システムの一般的な仕様と同量となるようにタンク内液量を100 literとした(1セルポット当たり約140 ml)。また、抜き取り調査に伴う植物体数の減少に応じてタンク内液量を減らし、試験期間を通じて1セルポット当たりの液量が不変となるようにした。

実験2(秋作)

ホウレンソウ「ジョーカー」(トキタ種苗(株))を供試し、実験1に準じて、9月29日に播種し、10月24日に定植した。11月29日の収穫予定日の6, 4, 2日前から補給液を井水に変更し、すべての肥料成分の補給を停止した処理区(追肥停止処理区)と、当該処方1単位液の補給を継続した対照区を設けた。

調査は両実験とも、葉長、地上部生体重・乾物重、可食部の硝酸およびアスコルビン酸含量、培養液の無機成分濃度について行った。可食部硝酸ならびにアスコルビン酸含量はRQフレックス(小型反射式光度計システム、メルク社)(建部・米山, 1995)で、培養液中の無機成分は分

光光度計および原子吸光光度計を用いて測定した。

結 果

実験1.

培養液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は、定植から1週間でわずかに上昇したが、その後は日ごとに低下し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 欠除処理開始後は、各処理区とも速やかに低下した(第1図)。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 以外の成分に、欠除処理の影響は認めらず、 $\text{PO}_4\text{-P}$, K, Mgは、栽培期間を通じて設定濃度前後で推移した(データ省略)。Caは定植後10日~2週間で、設定濃度の1.5~2倍に相当する $6\sim 8 \text{ me} \cdot \text{liter}^{-1}$ まで上昇し、そのご安定した(第2図)。

栽培終了時にタンク内に残存していた $\text{NO}_3\text{-N}$ は、対照区においても、設定濃度の1/2以下となった。また、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 欠除処理の影響も顕著に認められ、欠除日数が長いほど残存濃度が低く、6日欠除区では $1.0 \text{ me} \cdot \text{liter}^{-1}$ となった。他の無機成分については、設定濃度と同等か、それ以上の濃度で残存した(第2表)。

収穫時の地上部生体重は、対照区に比べて6日欠除区で

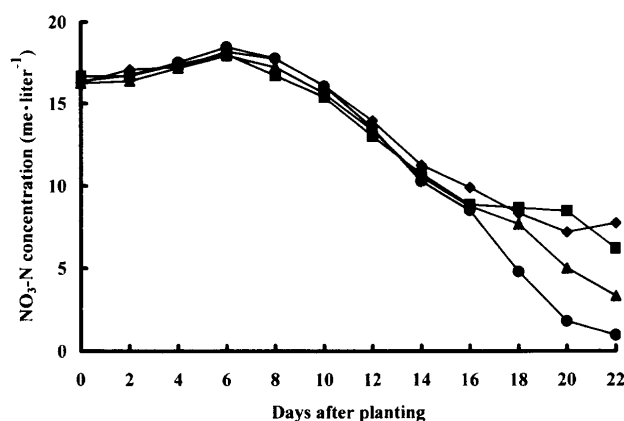


Fig. 1. Changes in $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration of nutrient solution after planting. (Experiment 1)

Days of $\text{NO}_3\text{-N}$ withdrawal prior to harvest:

—○— Cont. —■— 2 —▲— 4 —●— 6

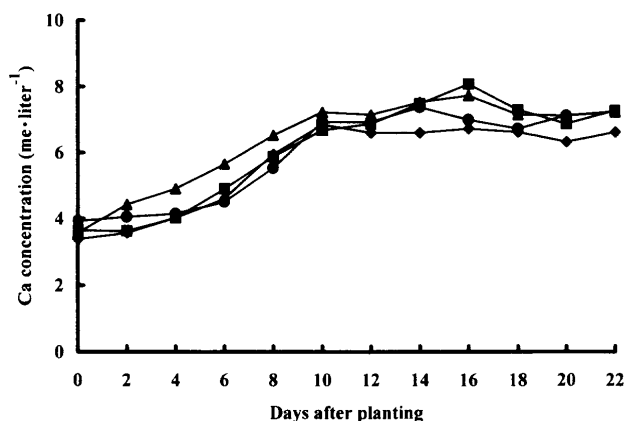


Fig. 2. Changes in Ca concentration of nutrient solution after planting. (Experiment 1)

Days of $\text{NO}_3\text{-N}$ withdrawal prior to harvest:

—○— Cont. —■— 2 —▲— 4 —●— 6

Table 2. Mineral concentration of the nutrient solution in the reservoir tank at harvest. (Experiment 1)

Days of NO ₃ -N withdrawal ^z	Mineral concentration (me · liter ⁻¹)				
	NO ₃ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
Cont.	7.8	4.9	12.2	6.6	4.1
2	6.2	4.5	12.5	7.3	4.1
4	3.3	4.5	13.5	7.2	4.6
6	1.0	4.2	12.5	7.3	4.9

^z Day numbers are prior to harvesting time.**Table 3.** Effect of NO₃-N-free treatment in the additional nutrient solution on growth and quality of spinach at harvest. (Experiment 1)

Days of NO ₃ -N withdrawal ^z	Top fresh weight (g · plant ⁻¹)	Dry matter content (%)	Nitrate content (ppm · FW ⁻¹)	Ascorbic acid content (mg · 100 gFW ⁻¹)
Cont.	15.0 a ^y	5.1 c	3395 a	32.7 ab
2	14.9 a	5.7 a	3213 a	29.2 b
4	14.1 ab	5.5 ab	2576 b	31.7 ab
6	13.2 b	5.4 b	2199 b	36.9 a

^z Day numbers are prior to harvesting time.^y Different letters within columns indicate significant differences by Tukey's studentized range test at 5% level.

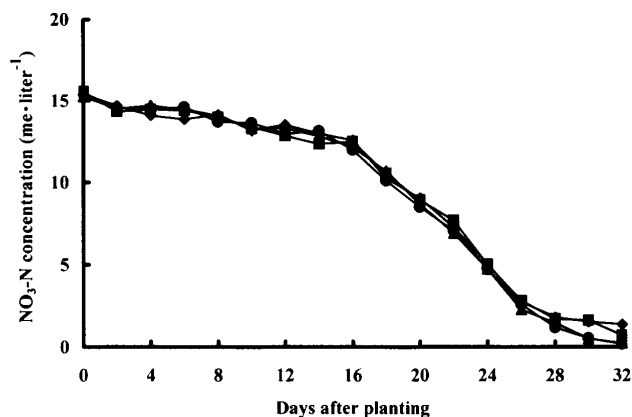
有意に小さくなり、4日欠除区においても若干低下する傾向が認められた。乾物率は、NO₃-N欠除処理を行ったすべての区で、対照区よりも高くなった。可食部の硝酸含量は、4日、6日欠除区で有意に低下した。アスコルビン酸含量に対する処理の影響は明確ではなかったが、6日欠除区で、対照区よりも高くなる傾向があった(第3表)。

実験 2.

培養液の NO₃-N濃度は、定植後 16日までは緩やかに、16日以降は比較的速やかに低下し、追肥停止処理開始時の濃度は約 3 me · liter⁻¹ であった。その後の追肥停止処理により、NO₃-N濃度はさらに減少した(第3図)。PO₄-P, K, Mgは、栽培期間を通じてほぼ一定の割合で

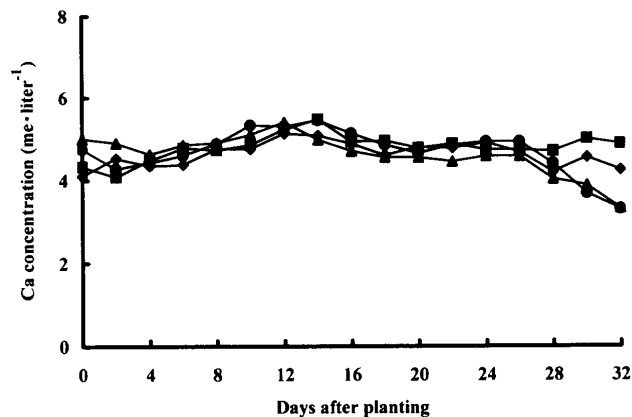
減少し続け、追肥停止処理後は速やかに減少した(データ省略)。Caは、栽培期間中、設定濃度の 4 me · liter⁻¹ よりわずかに高い濃度でほぼ一定に推移したが、4日、6日停止区では、処理開始後濃度が低下し、対照区より約 25% 低くなった(第4図)。

栽培終了時にタンク内に残存していた無機成分について、NO₃-Nは、追肥停止処理により、その日数にかかわらず、0.2~0.7 me · liter⁻¹ となった。また、対照区においても 1.4 me · liter⁻¹ まで低下した。PO₄-P, K, Mgの残存濃度も、対照区を含むすべての処理区で設定濃度よりも低く、また、追肥停止処理により、対照区よりも低くなった。Caは、4日、6日停止区で、対照区よりも低く

**Fig. 3.** Changes in NO₃-N concentration of nutrient solution after planting. (Experiment 2)

Days of all nutrients withdrawal prior to harvest:

◆ Cont. ■ 2 ▲ 4 ● 6

**Fig. 4.** Changes in Ca concentration of nutrient solution after planting. (Experiment 2)

Days of all nutrients withdrawal prior to harvest:

◆ Cont. ■ 2 ▲ 4 ● 6

Table 4. Mineral concentration of the nutrient solution in the reservoir tank at harvest. (Experiment 2)

Days of all nutrients withdrawal ^z	Mineral concentration (me · liter ⁻¹)				
	NO ₃ - N	PO ₄ - P	K	Ca	Mg
Cont.	1.4	1.6	3.6	4.3	0.9
2	0.7	1.1	2.5	4.8	0.8
4	0.2	0.1	1.9	3.3	0.7
6	0.2	ND ^y	1.4	3.3	0.5

^z Day numbers are prior to harvesting time.^y ND means Not Detected.**Table 5.** Effect of all nutrients - free treatment in the additional nutrient solution on growth and quality of spinach at harvest. (Experiment 2)

Days of all nutrients withdrawal ^z	Top fresh weight (g · plant ⁻¹)	Dry matter content (%)	Nitrate content (ppm · FW ⁻¹)	Ascorbic acid content (mg · 100 gFW ⁻¹)
Cont.	12.8 a ^y	6.8 b	3232 a	21.4 a
2	12.6 a	7.3 a	2870 a	20.3 a
4	12.3 a	7.6 a	2342 ab	35.3 a
6	10.8 b	7.4 a	1781 b	31.7 a

^z Day numbers are prior to harvesting time.^y Different letters within columns indicate significant differences by Tukey's studentized range test at 5% level.

なり、対照区、2日停止区では、設定濃度と同等か、やや高い濃度で残存していた(第4表)。

収穫時の地上部生体重は、対照区に比べて6日停止区で小さくなったが、他の処理区間においては差はなかった。乾物率は、対照区に比べて、追肥停止処理を行ったすべての区で高くなったが、停止日数の差の影響は認められなかった。可食部の硝酸含量は、6日停止区で顕著に低下した。また、追肥停止日数が長くなるほど低下する傾向があった。アスコルビン酸含量は4日、6日停止処理区で高くなる傾向が認められた(第5表)。生育・品質に関しては、NO₃-Nのみを欠除させた実験1とほぼ同様の結果となった。

考 察

水質汚濁防止法では、廃液のNO₃-N濃度の基準値を60 ppm(約4.3 me · liter⁻¹)以下と定めている。夏作の実験1では、4日および6日のNO₃-N欠除処理により、NO₃-N残存濃度はそれぞれ3.3 me · liter⁻¹、1.0 me · liter⁻¹となり、基準を満たすことができた。

緒言でも述べたように、水耕ホウレンソウの可食部の硝酸濃度は、培養液の低NO₃-N濃度管理により低減できるとする報告は多い(張ら, 1990; 篠原, 1987; Shino-hara・Suzuki, 1988; 王・伊東, 1997)。実験1においても、処理開始後、培養液のNO₃-N濃度が低く推移した4日以上欠除処理で、可食部の硝酸濃度も低下し、6日欠除区では、欧州における春夏期の基準値である2,500 ppm(Benoit・Ceustermans, 1995)を下回った。なお、現時点で、我が国においては、ホウレンソウ可食部の硝酸濃度

について、基準値が設定されていないため、欧州の基準値と比較を行った。しかし、ホウレンソウの品種間に、低硝酸系として遺伝的に特定できるほどの差異が認められないとされていることから(香川, 1997)、欧州の基準値は我が国においても妥当な数値と考えられる。従って、実験1の範囲内で、食品・排水の両基準値を満たしたのは、6日欠除区のみとなり、地上部生体重の減少は認められたものの、夏期のホウレンソウ栽培では、収穫の6日前からNO₃-N欠除液とすることが、食品の安全性および環境保全面から必要と考えられた。しかし、NO₃-Nのみの欠除では、他の肥料成分が初期濃度と同じかそれ以上にタンク内に残存してしまうため、これらの低減についても考慮する必要があると考えた。また、夏作では、6日以下の欠除処理では、可食部の硝酸含量が十分に低下しないため、収穫日の予測を慎重に行う必要があると考えられた。

秋作の実験2では、追肥停止処理開始までに、培養液のNO₃-N濃度は3 me · liter⁻¹程度まで低下した。植物の養分吸収濃度は、一般に、低温、弱日射条件下で上昇する。王・伊東(1997)の報告でも、NO₃-N吸収濃度は秋作で16~19 me · liter⁻¹、冬作で19~22 me · liter⁻¹と、低温、弱日射の冬作で、養分吸収濃度が増加するとしている。本研究においても、相対的に低温、弱日射条件であった実験2で、実験1に比べて養分吸収濃度が高く、処理開始時の培養液のNO₃-N濃度が低くなったと考えられた。さらにその後の追肥停止処理により、培養液のNO₃-N濃度が速やかに低下したため、NO₃-N残存濃度は、4日、6日停止区で0.2 me · liter⁻¹、2日停止区でも0.7 me

・ liter^{-1} と、排水許容基準値よりはるかに低くなった。

可食部の硝酸濃度は、6日停止区で1,781 ppmとなり、欧州の秋冬期の基準値である3,000 ppm (Benoit・Ceustermans, 1995) に比べて、大幅に低い値となった。2日、4日停止区でも、それぞれ2,870 ppm, 2,342 ppmとなり、基準値を下回った。

培養液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の変化について、Shinohara・Suzuki (1988), 王・伊東 (1997) の報告では、処理開始後3~6日で、 $1\text{ me}\cdot\text{liter}^{-1}$ 以下に低下していた。実験2においてもほぼ同様に、2日以上追肥停止で、培養液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は $0.7\text{ me}\cdot\text{liter}^{-1}$ 以下となり、食品・排水の両基準値を満たすことができた。しかし、6日間の追肥停止では、地上部生体重が減少したため、秋作では、収穫予定日の2~4日前からの追肥停止が望ましいと考えられた。また、全成分の追肥停止は、Caを含むすべての主要無機成分の残存濃度を低減でき、さらに $\text{NO}_3\text{-N}$ 欠除液作成のための代替肥料も不要であり、 $\text{NO}_3\text{-N}$ のみの補給停止よりも、環境保全面だけでなく経営面でも有利であると考えられた。

加えて、減液量に見合った水量を補給し、それにEC値を目安として濃厚培養液を添加する方式の多い現状では (池田, 1994), 濃厚培養液の組成を変更するよりは、培養液の補給を全面的に停止するほうが簡便である。

以上より、水耕ホウレンソウ栽培において、食品の安全性と排水・廃棄による環境負荷を低減するためには、収穫予定日から逆算して、夏作で6日前、秋作では2~4日前から、培養液タンクへの追肥を停止し、減水量分を井水のみで供給する方法が極めて有効であると考えられた。

摘 要

NFT毛管水耕システムを用いたホウレンソウ (*Spinacia oleracea* L. 品種‘ジョーカー’および‘オリオン’)栽培において、収穫前に $\text{NO}_3\text{-N}$ のみの補給停止 (実験1: 夏作), または全肥料成分の補給停止 (実験2: 秋作) が、生育、可食部の硝酸含量、廃液の無機成分濃度に及ぼす影響を検討した。

実験1: 収穫6日前からの $\text{NO}_3\text{-N}$ の補給停止で、可食部の硝酸含量は2,199 ppm、廃液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は $1.0\text{ me}\cdot\text{liter}^{-1}$ と、食品・廃液の許容基準を満たすことができた。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 以外の成分は初期濃度と同じか、それ以上に廃液中に残存した。

実験2: 2~6日前からの追肥停止で、廃液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は $0.7\text{ me}\cdot\text{liter}^{-1}$ 以下、可食部の硝酸含量は2,870 ppm以下となり、食品・廃液の許容基準を満たすことができた。さらに、他の主要無機成分についても、残存濃度を低減できた。しかし、6日前からの追肥停止では、地上部生体重が低下した。

以上より、夏作で収穫予定日の6日前、秋作では2~4日前から、肥料成分を含まない水を補給する方法が、可食

部の硝酸濃度の低いホウレンソウの生産と、廃液中の主要無機成分含量の低減に有効と考えられた。

引用文献

- Aworth, O. C., J. R. Hicks, P. L. Minotti and C. Y. Lee. 1980. Effects of plant age and nitrogen fertilization on nitrate accumulation and postharvest nitrite accumulation in fresh spinach. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105: 18-20.
- Benoit, F. and N. Ceustermans. 1995. Horticultural aspects of ecological soilless growing methods. Acta Hort. 396: 11-24.
- 張 春蘭・渡邊幸雄・嶋田典司. 1990. 水耕ホウレンソウの生育ならびに含有成分に及ぼす培養液の窒素濃度の影響. 千葉大園学報. 43: 1-5.
- 池田英男. 1994. 培養液の種類と管理. p.442-447. 施設園芸ハンドブック. (社)日本施設園芸協会. 東京
- 池田英男・大沢孝也. 1980. 施用窒素形態とそ菜の適応性 (第2報). 水耕栽培において硝酸, アンモニア, 亜硝酸を窒素源とした葉菜の生育並びにアンモニア態及び硝酸態窒素蓄積の差異. 園学雑. 48: 435-442.
- 今西三好・五島 皓. 1990. 培地栄養素の組成がホウレンソウの生育と品質関連成分の含有量に及ぼす影響. 中国農研報. 7: 1-16.
- 岩本喜伴・宮崎正則・国里進三・前田瑠子・堀尾嘉友. 1968. 食品中の硝酸塩によるかん内面スズ異常溶出に関する研究 (I). かん詰原料となる果実, そ菜中の硝酸塩, 栄養と食糧. 21: 47-49.
- 香川 彰. 1997. 高品質ホウレンソウの栽培生理. p.86-88. いしずえ. 東京.
- 亀野 貞・木下隆雄・楠原 操・野口正樹. 1990. ホウレンソウの栽培条件及び品種と品質関連成分の変動. 中国農研報. 6: 157-178.
- 篠原 温. 1987. 野菜の栽培条件と品質. —特に光および施肥条件とアスコルビン酸含量との関係—. 筑波大農林学研. 3: 61-156.
- Shinohara, Y. and Y. Suzuki. 1988. Quality improvement of hydroponically grown leaf vegetables. Acta Hort. 230: 279-286.
- 建部雅子・米山忠克. 1995. 作物栄養診断のための小型反射式光度計システムによる硝酸および還元型アスコルビン酸の簡易測定法. 土肥誌. 66: 155-158.
- Van Os, E. A., M. N. A. Ruijs and P. A. van WeeL. 1991. Closed business systems for less pollution from greenhouses. Acta Hort. 294: 49-57.
- 王 秀峰・伊東 正. 1997. 水耕ホウレンソウの生育, 収量および NO_3 含量に及ぼす補給液の $\text{NO}_3\text{-N}$ の影響. 園学雑. 66: 313-319.