

ホウレンソウの養液土耕における日射比例型制御による 硝酸濃度低減化技術の開発

篠原 温^{1*}・塚越 寛²・林 菜穂子¹・丸尾 達¹・北条雅章²

¹千葉大学園芸学部 271-8510 松戸市松戸 648

²千葉大学環境健康都市園芸フィールド科学教育研究センター 277-0882 柏市柏の葉 6-2-1

Development of the Fertigation Control Based on Cumulative Solar Radiation to Decrease the Nitrate Concentration in Spinach

Yutaka Shinohara^{1*}, Satoru Tsukagoshi², Naoko Hayashi¹, Toru Maruo¹ and Masaaki Hohjo²

¹Chiba University, Faculty of Horticulture, Matsudo 648, Matsudo 271-8510

²Chiba University, Center for Environment, Health and Field Sciences, Kashiwanoha 6-2-1, Kashiwa 277-0882

Abstract

This study confirmed the usefulness of fertigation based on cumulative solar radiation in order to establish a fertigation technique that would decrease the nitrate concentration in spinach leaves (*Spinacia oleracea* L.). The plant growth, the nitrate concentration, and the nitrate utilization/application ratio was determined using potted plants. When the nitrate concentration in the irrigation water was varied, and the water quantity applied to the plants was varied to equalize the nitrate quantity applied to the plants, the plant fresh weights increased and the nitrate concentrations decreased with increases in the irrigation water. The leaf color, however, turned yellow when the irrigation water was increased. In the next study, the nitrate quantity applied to the plants was simultaneously increased with the irrigation water. Plant growth was promoted without leaf yellowing or nitrate accumulation by applying 1.2 times as much as the standard fertigation. The nitrate utilization/application ratio was about 90%, which is considered very high. In conclusion, fertigation based on cumulative solar radiation was considered effective for supplying water and nutrient in accordance with the plant demand, and this technique was suggested to be effective for spinach production without nitrate accumulation in leaves and NO₃-N discharge from the soil.

Key Words : fertigation program, nitrate accumulation, nitrate utilization/application ratio, NO₃-N discharge

キーワード : 環境負荷, 給液プログラム, 施与窒素利用率, 硝酸集積

緒 言

食品や飲料水中に含まれている硝酸塩は、それ自体は人体に無害であるが、体内に取り込まれ亜硝酸に還元されると、様々な健康障害を引き起こすとされる (Ikemoto ら, 2002; 安田, 2004)。FAO・WHO 合同食品添加物専門家会合 (JECFA) は、硝酸塩の 1 日許容摂取量を、体重 1 kg あたり 5 mg と推定した (JECFA, 2006)。硝酸塩の摂取源は様々だが、飲料も含む食事全体から摂取する硝酸塩のうち約 54% が野菜由来とされている (RCEP, 1979)。硝酸塩は植物の葉や茎に蓄積されやすいことが広く知られており、葉菜類では、その低減が急務と考えられる。

硝酸塩は、野菜にとっては主要な窒素源であり、容易に

吸収される (Marschner, 1995)。従って窒素肥料として硝酸塩を多用すると、収穫物の硝酸塩含有量が高くなりやすい (Aworh ら, 1980; 今西・五島, 1990; 建部ら, 1995)。

養液土耕は、給液頻度や使用する培養液の濃度・組成を調整することで、比較的容易に植物の養水分吸収を制御することができる。養液土耕は、これまで果菜類や花卉の栽培で主に利用されており、肥料の節約、増収、果実糖度の上昇などが報告されている (荒木ら, 2001; 川嶋ら, 2001; 山中ら, 2000)。また、建部ら (2006) は、ホウレンソウの収穫までに必要な窒素吸収量に見合った肥料を、生育の前・後半で濃度を変えて施肥することで、収量が低下することなく硝酸イオン含有率を低減できたと報告している。このように葉菜類の栽培においても、養液土耕による給液、施肥の調節は、収穫物の硝酸塩低減などの品質向上に寄与すると考えられる。

一方、日射量と植物の養水分吸収量との間には、高い相関があることが知られており (牛田ら, 1996)、積算日射量を基準とした給液管理と養液土耕の組み合わせにより、植

2006 年 6 月 26 日 受付. 2006 年 11 月 6 日 受理.

本研究は農林水産研究高度化事業「野菜における硝酸塩蓄積機構の解明と低減化技術の開発」の助成を受けて行われ (課題番号 204)、一部は平成 17 年度園芸学会春季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: shinohara@faculty.chiba-u.jp

物の養水分吸収に適合した肥培管理と、効率的な生育・品質制御が可能と考えられる。

本試験では、ハウレンソウの低硝酸化を目的とした養液土耕技術を確立するため、養液土耕における日射比例型給液制御の有効性確認とあわせて、ポット栽培により基礎的データをを得ることを目的にした。

材料および方法

日射比例型給液制御装置

給液には、日射センサー (SL-30, イー・エス・ディ), 日射積算コンピューター (グリーンキット GK-102, イー・エス・ディ), 電子カウンター (H7CR-B, オムロン), 小型液体流量計 (FMIG-AR-OC4, DIGMESA), 電磁弁, ポンプからなる自作の制御装置を用いた。この装置は、①温室外部に設置したセンサーでの積算日射量 $1 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ごとにコンピューターからの信号でカウンター計測値がゼロにリセットされると同時に、②ポンプが作動し電磁弁が開く、③ドリッパーから設定された濃度の培養液が給液される、④給液量は流量計と連動したカウンターで計測される、⑤あらかじめ設定した積算日射量 $1 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 当たりの給液量が供給されるとポンプが停止し電磁弁も閉じる、という動作を行う。

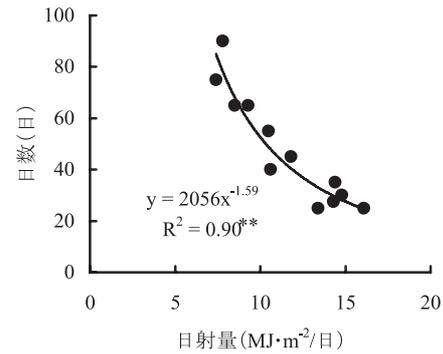
給液プログラムの設計

夏季 (5月) のハウレンソウ水耕において、ハウレンソウの毎日の吸水量、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 吸収量を測定し、定植から収穫までの株当たり積算吸水量 (165 mL), 積算 $\text{NO}_3\text{-N}$ 吸収量 (2.9 me) と、水、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の吸収曲線を得た (千葉大学園芸学部, 2006)。

また、温暖地ハウス土耕において各月に播種した場合の標準的な生育日数 (成松, 2001) と、理科年表 (国立天文台, 2002) による東京における全天日射量の日積算量の月別平均値 (1972年~2000年までの平均値, 以下平均日積算日射量とする) を乗じて収穫までの積算日射量とし、 $450 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ を目安とすることにした。播種時期別の予定収穫所要日数 (y) と、生育期間の平均日積算日射量 (x) との間には高い相関があり ($y = 2056x^{-1.59}$, $R^2 = 0.90$) (第1図), 以降はこの近似式を用いて、予定収穫所要日数を計算した。積算吸水量、積算 $\text{NO}_3\text{-N}$ 吸収量は環境条件、使用品種等によって異なるとは考えられるが、本試験では収穫までの両吸収量は時期によって変化しないと仮定し、収穫までに予測される水と $\text{NO}_3\text{-N}$ の吸収曲線を作成した。しかしながら、毎日設定値を変化させるのは困難であったため、この曲線にできるだけ近似させ、吸水量と施肥量を設定し、給液プログラムとした。

栽培装置

農ビ展張パイプハウス内に、各列に独立した培養液タンク・給液装置を備えた $15 \text{ cm} \times 360 \text{ cm} \times 4$ 列の栽培ベッドを設置した。各列にはハウレンソウを定植したポリポットを36ポット置いた。ベッドは縦方向に1.5%の傾斜をつけ、



第1図 日平均積算日射量とハウレンソウの予定収穫所要日数との関係

**は1%レベルで有意であることを示す

排水を回収できるようにした。

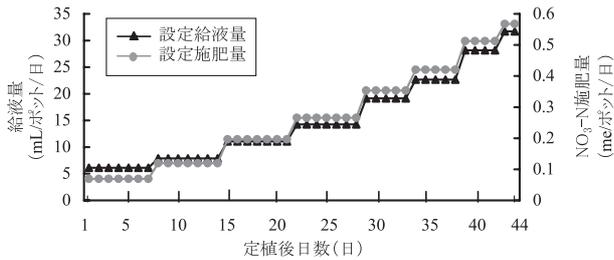
給液は、圧力補正機能付ドリッパー(ウッドベッカージュニアドリッパー, 吐出量 $2 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, ネタフィムジャパン)と内径 $3 \text{ mm} \times$ 外径 5 mm PVC チューブを各ポットに取り付けて行った。前述の制御装置と組み合わせての給液精度は、1システム144個のドリッパーで、誤差5%以内であった。

実験 1

実験1では1株当たりの施肥量は一定で給液量のみ変化させた。ハウレンソウ (*Spinacia oleracea* L.) ‘ジョーカー’ (トキタ種苗) を用い、2003年8月31日に、ロックウール微粒綿を詰めた葉菜用144穴トレイに1穴6~7粒播種した。閉鎖型苗生産システム (苗テラス, 太洋興業) 内で、毎日9時に $\text{EC } 1.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ の培養液を底面給液して育苗した。培養液処方は大洋ハウレンソウ処方 (第1表) とした。9月16日に1穴4株に間引きし、畑土 (pH 6.2, $\text{EC } 0.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, $\text{NO}_3\text{-N } 0.55 \text{ me} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 乾土) とピートモスを2:1に混合した用土を 0.4 L 詰めた3.5号ポリポットに定植した。定植株数は、養液栽培では1ヶ所4株程度の株立ち数が一般的であることに準じ、4株/ポットとした。

平均日積算日射量と予定収穫所要日数の近似式から、この時期の栽培期間を44日と予測し、対照区の給液プログラムを作成した (第2図)。さらに第2図に示した各日の値を、この時期の平均日積算日射量で除し、 $1 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 当たりのポット当たり給液量および $\text{NO}_3\text{-N}$ 施肥量の設定値とした。すなわち、培養液濃度は $\text{NO}_3\text{-N}$ 施肥量の設定値にしたがって、段階的に上昇する。

処理区は予備試験の結果をふまえ、プログラム通りに給液する対照区、日射 $1 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ごとの給液量を第2図に示した設定量 $+1.7 \text{ mL}$, $+2.3 \text{ mL}$, $+3.0 \text{ mL}$ とした区の、計4区とした。対照区の給液培養液組成は大洋ハウレンソウ処方 (第1表) に準じ、微量要素も添加した。それ以外の区では、窒素以外の成分も含めた施肥量が対照区と同一となるよう、給液量に応じて濃度を低下させた。栽培期間予測に用いた積算日射量に達した11月5日 (定植後51日) に栽培を終了した。栽培延長期間は、給液プログラムについ



第2図 平均日積算日射量と予定収穫所要日数から求めた対照区の給液量とNO₃-N施肥量の設定値(実験1)

第1表 太洋ハウレンソウ処方1単位液の組成

NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
(me · L ⁻¹)					
16	1.3	4	12	4	4
Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo
(ppm)					
3	0.5	0.5	0.05	0.02	0.01

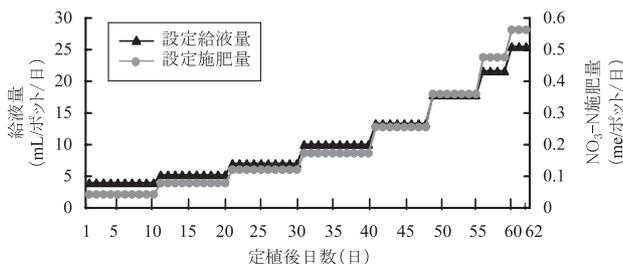
でも第2図に示した44日目の設定値を維持した。

栽培終了時に地上部生体重、最大葉長、葉色、可食部硝酸濃度を調査した。葉色は最新完全展開葉を対象にSPAD-502(ミノルタ)で測定した。硝酸濃度は午前8~10時に地上部全体を試料として採取し、脱イオン水とともに十分に破砕したものをろ紙でろ過しRQフレックス(MERCK)で測定した。

実験2

実験2では、給液量とともに施肥量も増加させた。ハウレンソウ‘ミストラル’(サカタのタネ)を用い、11月20日に播種し、12月3日に定植した。第1図の近似式より、この時期の栽培期間は62日間と予測し、1.0倍区(対照区)の給液プログラムを作成した(第3図)。

処理区は、プログラム通りに給液する1.0倍区(対照区)、日射1MJ · m⁻²ごとの給液量、NO₃-N施肥量ともに対照区の1.1倍、1.2倍、1.3倍とした区、計4区とした。対照区の培養液組成は実験1と同様とした。すなわち本実験では給液量の増加に伴って施肥量も増加するため、施肥量は区によって異なる。また、NO₃-N以外の無機成分濃度も、



第3図 平均日積算日射量と予定収穫所要日数から求めた1.0倍区(対照区)の給液量とNO₃-N施肥量の設定値(実験2)

1.1倍、1.2倍、1.3倍となる。

ハウス内最低気温7°Cを目安に加温を行ったほかは実験1に準じ、2月8日(定植後68日)に栽培を終了した。栽培延長期間は、給液プログラムについても第3図に示した62日目の設定値を維持した。

実験1と同様の調査に加え、栽培期間中の排水量、排水中NO₃-N濃度および栽培終了時の土壌中NO₃-N濃度を測定し、これらから植物によって吸収されたNO₃-N量を求め、施与窒素利用率を計算した。

結果

実験1

地上部生体重は給液量が多い区ほど増加した。最大葉長は、対照区に比べ、他のすべての区で大きくなった。また、最大葉長は給液量が多くなるに従って増加する傾向があった。葉色を示すSPAD指示値は、対照区に比べ、他のすべての区で低く、さらに給液量が多いほど低くなる傾向があった。可食部硝酸濃度は給液量の増加によって顕著に低下し、+1.7mLでも対照区の約5分の1、+3.0mL区では0(検出限界以下)となった(第2表)。しかしながら、施肥量を一定として給液量のみを増やした本実験では、対照区以外の区で、栽培後期に下位葉が黄化し、明らかに窒素欠乏と思われる症状が認められた(データ省略)。

実験2

地上部生体重は1.2倍区、1.3倍区で、対照区に比べて増加した。最大葉長は1.2倍区で最も大きくなった。葉色に

第2表 給液量がハウレンソウの生育および可食部硝酸濃度に及ぼす影響(実験1)

処理区	地上部生体重 (g/ポット)	最大葉長 (cm)	葉色 ^z	可食部硝酸濃度 (ppm)
対照区	30.1 d ^y	12.6 b	56.8 a	2230 a
+1.7 mL	31.9 c	18.2 a	47.3 b	469 b
+2.3 mL	36.0 b	19.3 a	46.6 b	149 c
+3.0 mL	40.3 a	19.9 a	43.8 c	0 d

^z 葉緑素計 SPAD-502 の表示値

^y Tukey 検定により同一アルファベット間には5%レベルで有意差なし (n=6ポット)

第3表 給液量と施肥量がハウレンソウの生育および可食部硝酸濃度に及ぼす影響(実験2)

処理区	地上部生体重 (g/ポット)	最大葉長 (cm)	葉色 ^z	可食部硝酸濃度 (ppm)
1.0倍(対照区)	30.1 b ^y	18.4 b	63.8 a	539 b
1.1倍	32.5 b	18.7 ab	63.1 a	832 ab
1.2倍	36.2 a	19.7 a	64.4 a	876 ab
1.3倍	36.3 a	18.7 ab	64.7 a	984 a

^z 葉緑素計 SPAD-502 の表示値

^y Tukey 検定により同一アルファベット間には5%レベルで有意差なし (n=6ポット)

については処理区間に差がなく、実験1で生じたような、窒素欠乏と見られる下位葉の黄化も認められなかった。可食部硝酸濃度は、対照区でも539 ppmと、実験1に比べて低かった。また、1.3倍区で、対照区に比べて高くなったが、1.1倍区、1.2倍区は対照区と差がなかった(第3表)。

NO₃-Nのポットからの溶脱量と土壌中残存量は、給液量、施与量が増加するほど多くなった。植物体吸収量も同様の結果となったが、施与窒素利用率は、給液量、施与量が増加するほど低くなった。しかしながら、1.3倍区においても、施与窒素利用率は88%と高かった(第4表)。

考 察

実験1の結果、ホウレンソウの生育は、循環式養液栽培による試験から得られた予測吸水量よりも多く給液した場合に促進された。このように、養液土耕においては、土壌の保水力や地表面からの水分蒸発などが影響し、対照区での設定値より多量に給液した場合に生育が促進されたと考えられた。ホウレンソウの場合、収量を維持するには収穫期の硝酸濃度として620 ppmが必要とされる(Maynardら, 1976; 安田, 2004)。給液量を増やした処理区では、いずれもこの値を下回っていたが、生育は維持されていた。しかし、植物体に下位葉の黄化などが認められたことから、外観としては不十分であった。可食部硝酸濃度についてEU(2002)はその上限を4月～10月収穫のもので2500 ppm、11月～3月収穫のもので3000 ppmと定めている。日本でも努力目標値の設定が検討されている。建部ら(2006)は、生育の前半から後半にかけて窒素施肥量を2段階に分け、計8 g・m⁻²とする8月播きホウレンソウの養液土耕において、平均957 ppmの可食部硝酸濃度を得ている。本実験で給液量を増やした試験区では、さらに低い硝酸濃度であった。

実験1の結果をふまえ、給液量に加えて施肥量も増加させた実験2では、1.2倍の施肥量までは生育促進効果が認められたが、それ以上施肥量を増加しても、効果は認められなかった。

硝酸濃度についてみると、設定したプログラム通りの給液、施肥を行った1.0倍区では、Maynardら(1976)や安田(2004)による基準値を下回ったが、1.1～1.3倍区ではそれを上回っていた。従って、1.0倍区では、窒素の供給不足により生育が抑制されたと考えられた。また、実験2に

おいても給液量の増加は生育が促進された原因の1つと考えられた。本実験の範囲内では、生育が優れる、可食部硝酸濃度が低いなどに加え、施肥窒素量がより少ないなどの理由から、ホウレンソウの養液土耕において、対照区における設定給液量および施肥量の1.2倍程度を施与するのが望ましいと考えられた。1.2倍区における総N施肥量を、野菜茶業研究所(2006)で標準的な栽植密度を用いて面積当たりに換算すると、5 g・m⁻²となる。本試験はポット試験であり、条件は異なるものの、これは建部ら(2006)が用いた総N施肥量8 g・m⁻²よりも少ない値であった。このことから、日射比例型給液制御による天候に応じた給液管理の養液土耕における有用性が示唆された。

収穫までの総吸水量、NO₃-N吸収量と、予測栽培期間をもとに設定した給液プログラム通りの給液、施肥を行った対照区の硝酸濃度について実験1と2を比較すると、実験2では顕著に低かった。野菜の硝酸濃度は、窒素施肥量の増加や追肥によって高まることが知られている(伊達ら, 1980; 建部ら, 1995)。また、栽培時期による変動も大きい(Jaworska, 2005)。藤原ら(2005)は、市販ホウレンソウの硝酸濃度を周期的に調査し、7～9月に高く1～3月に低かったこと、変動幅は硝酸イオン濃度で約500～8000 ppmであったことを報告している。実験2は実験1に比べて栽培期間が長く、1日当たりのNO₃-N施肥量で見ると、実験1よりも少ない。また、実験1は夏季の、実験2は冬季の栽培であった。これらの要因が、実験1の対照区に比べ実験2の対照区で硝酸濃度が低かった原因であると推察された。

本試験において、栽培時期の日射量によって栽培日数を予測し、生育ステージごとの給液量や硝酸施肥量を日射に応じて制御することで、ホウレンソウの低硝酸化や、高い施与窒素利用率による環境負荷軽減が可能であった。すなわち、植物の実際の水、養分吸収に即した管理を行えたと考えられる日射比例型制御は、ホウレンソウの養液土耕においても有効な技術であると考えられた。また、本試験の範囲内では、養液土耕においては、養液栽培で求められた予測吸水量、NO₃-N吸収量(千葉大学園芸学部, 2006)の1.2倍程度に当たる総給液量200 mL/株、総NO₃-N施肥量50 mg/株程度として給液プログラムを設定することが適当と考えられたが、基準値の季節的変動などについては、さらなる検討を要すると考えられた。

第4表 給液量と施肥量がNO₃-Nの総施肥量、溶脱量、土壌中残存量および植物体吸収量に及ぼす影響(実験2)

処理区	総施与量 (me/ポット)	溶脱量 (me/ポット)	土壌中残存量 (me/ポット)	植物体吸収量 (me/ポット)
1.0倍(対照区)	10.2	0.29 (2.8 ²)	0.23 (2.3)	9.7 (95)
1.1倍	11.2	0.64 (5.7)	0.36 (3.2)	10.2 (91)
1.2倍	12.4	0.82 (6.7)	0.53 (4.3)	10.9 (89)
1.3倍	13.3	0.94 (7.1)	0.62 (4.7)	11.7 (88)

² 括弧内の数字は総施肥量に対する百分率

摘 要

ホウレンソウの低硝酸化を目的とした養液土耕技術確立のため、日射比例型給液制御によるポット栽培を行い、基礎的データをを得ることを目的とした。

施肥量を一定とした場合、給液量の増加により生育は促進された。葉色は給液量の増加により薄くなった。可食部硝酸濃度は給液量の増加によって顕著に低下したが、栽培後期に下位葉が黄化した。そこで、給液量、施肥量ともに増加させたところ、予測吸水量、NO₃-N 吸収量の 1.2 倍程度を施肥することで、生育が促進された。対照区（予測量通りの給液、施肥）と 1.2 倍区では、葉色、可食部硝酸濃度について差がなかった。施与窒素利用率は、給液量、施肥量が増加するほど低くなったが、本試験の範囲内では、いずれの給水量、施肥量でも、90%前後と高かった。

以上の結果、給液量や硝酸施肥量を日射に応じて制御することで、ホウレンソウの低硝酸化や、高い施与窒素利用率による環境負荷軽減が可能であり、ホウレンソウの養液土耕における日射比例型制御の有効性が示唆された。

引用文献

- 荒木陽一・高市益行・中島規子. 2001. 養液土耕栽培が促成トマトの生育、収量ならびに品質に及ぼす影響. 園学雑. 70 (別2): 160.
- 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 post harvest nitrite accumulation in fresh spinach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105: 18–20.
- 千葉大学園芸学部. 2006. 日射比例型給液管理法を用いた養液土耕栽培によるホウレンソウの硝酸イオン低減化マニュアル. p. 13–23. 野菜茶業研究所編. 野菜の硝酸イオン低減化マニュアル. 野菜茶業研究所. 三重.
- Commission of the European communities. 2002. Commission regulation (EC) No 563/2002 of 2 April 2002. *Official J. of the European Communities* L86: 5–6.
- 伊達 昇・米山徳造・都田紘志・加藤哲郎. 1980. 野菜の硝酸根蓄積に及ぼす肥培管理の影響. 東京農試研報. 13: 3–13.
- 藤原隆広・熊倉裕史・大田智美・吉田祐子・亀野 貞. 2005. 市販ホウレンソウのL-アスコルビン酸および硝酸塩含量の周年変動. 園学研. 4: 347–352.
- Ikemoto, Y., M. Teraguchi and Y. Kobayashi. 2002. Plasma levels of nitrate in congenital heart disease: Comparison with healthy children. *Pediatric Cardiology* 123: 132–136.
- 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.
- Jaworska, G. 2005. Content of nitrates, nitrites, and oxalates in New Zealand spinach. *Food Chem.* 89: 235–242.
- Joint FAO/WHO expert committee on food additives (JECFA). 2006. Nitrate. Summary of evaluations performed by the joint FAO/WHO expert committee on food additives (internet edition). ILSI Press International Life Sciences Institute. Washington.
- 川嶋和子・後藤ひさめ・榊原正典・菅原真治. 2001. 温室メロン養液土耕栽培における高品質生産のためのかん水法の検討. 園学雑. 70 (別1): 266.
- 国立天文台. 2002. 理科年表. p. 261. 丸善. 東京.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. p. 229–312. Academic Press, London.
- Maynard, D. N., A. V. Barker, P. L. Minotti and N. H. Peck. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. *Adv. Agron.* 28: 71–118.
- 成松次郎. 2001. ホウレンソウ. p. 152–172. 川城英夫編. 新野菜づくりの実際—葉菜—. 農文協. 東京.
- Royal commission on environmental pollution (RCEP) 1979 7th report: Pollution and agriculture, Cmnd. 7644. 153 pp. HMSO. London.
- 建部雅子・石原俊幸・松野宏治・藤岡順子・米山忠克. 1995. 窒素施用がホウレンソウとコマツナノの生育と糖、アスコルビン酸、硝酸、シュウ酸含有率に与える影響. 土肥誌. 66: 238–246.
- 建部雅子・岡崎圭毅・鍵下恵太. 唐澤敏彦. 2006. ホウレンソウの硝酸イオン含有率低減に対する養液土耕栽培の効果. 土肥誌. 77: 9–16.
- 牛田 均・松崎朝浩・白井英清. 1996. ロックウール栽培におけるキュウリの吸水量と葉面積、日射量との関係. 香川農試研報. 47: 25–30.
- 山中正仁・宇田 明・宮浦紀史. 2000. カーネーションの灌水同時施肥栽培（養液土耕）における施肥量と収量、切り花品質および土壌溶液の関係. 園学雑. 69 (別1): 362.
- 野菜茶業研究所. 2006. 野菜の硝酸イオン低減化マニュアル. 野菜茶業研究所. 三重.
- 安田 環. 2004. 野菜の硝酸濃度とその低減対策. 農及園. 79: 647–651.