

水耕培地における収穫前の窒素濃度が ハウレンソウ収穫時の硝酸濃度に及ぼす影響

川口岳芳・房尾一宏・伊藤純樹

キーワード：ハウレンソウ、重窒素、水耕栽培、硝酸濃度、窒素濃度

ハウレンソウは年間を通じて消費者の需要が高い野菜品目である。生産においては、東洋系品種や西洋系品種、さらには両系統間の交配種の育成により早晩性や抽台性など多岐にわたり、現在では保温や雨よけおよび遮光などの技術を加え周年栽培がなされている。

しかし、夏播き栽培では、他の作型に比べ単価が高いものの、生産量が比較的少なく、高温および強日射条件下の栽培であるため発芽、抽台および病害虫などの諸問題から栽培が困難である。また、夏季の栽培では冬季の栽培に比べ、多量に摂取すると人体に悪影響を及ぼすとされる硝酸含量が多くなりやすいと報告されている（吉田，1994）。

特にハウレンソウは代表的な好硝酸性作物で、植物体内に吸収された硝酸は、還元されてアミノ酸、タンパク質、核酸、クロロフィル、ビタミンなどの化合物を構成するが、過剰に吸収した硝酸は硝酸塩として植物内に貯蔵される。人間が硝酸を摂取すると、消化管微生物により亜硝酸に還元され、「ブルーベピー」で知られるメトヘモグロビン血症の原因になるとされている（香川，1997）。このため、EUでは1977年に貿易障壁を取り除くと共に国民の健康を保全する目的で、域内で流通するハウレンソウの硝酸の含有量の上限値を、新鮮重100g当たり250mgと定めている（EU，2002）。また、北海道でも、夏どりハウレンソウにおける硝酸含有量の安全指標を、新鮮重100g当たり300mg以下としている（相馬，1989）。

これらのことから、低硝酸化のため栽培面からの技術確立が急務となっている。硝酸含量の消長に対する要因として、栽培期間中の光強度や光質、土壤水分状態、管理温度および肥培条件など様々な報告がされている（木村ら，1997）が、その主要因は土壤中の窒素含有量であ

り、施肥管理技術に集約されている。

そこで、収穫物の低硝酸化のために、栽培期間中のどの時期に施用した窒素が、収穫時の硝酸濃度に大きく影響するかを明らかにする目的で、水耕栽培において収穫3週間前から収穫直前までの3～7日間の培地の窒素濃度の変動が、ハウレンソウ収穫時の硝酸濃度に及ぼす影響、並びに重窒素標識法を用い収穫15日前から収穫直前の1日間に吸収された窒素の挙動を検討した。

材料および方法

実験1 培地窒素の高濃度施用時期が収穫時の硝酸濃度に及ぼす影響

広島県立農業技術センター（広島県東広島市八本松町）のハウス内でハウレンソウ‘アトランタ’を用い、高濃度窒素の施用時期を収穫3～2週間前（2003年1月8日～1月15日）、収穫2～1週間前（1月15日～1月22日）および収穫1週間前～収穫日（1月22日～1月29日）のそれぞれ1週間を処理期間とする3～2週間前高窒素区、2～1週間前高窒素区および1～0週間前高窒素区の3処理区を設けた。高濃度窒素は、園試処方 of 全窒素の2単位（T-N35me）とし、処理期間以外は、園試処方 of 1/2単位（T-N9.1me）で栽培した。なお、対照区は全栽培期間を通して園試処方 of 1/2単位で実施し、その他の無機成分は全ての処理区で栽培期間を通して1/2単位を与えた。栽培期間中の培養液のECを、毎日午前9時に電極式水素イオン濃度指示計（pH/COND METER D-54，HORIBA社製）を用いて測定し、処理区の確認を行った。

ハウレンソウの栽培は、2002年11月15日にセル成型苗用培地（与作N-150）を充填した128穴のセルトレイに1穴当たり1粒播種し、12月16日に本葉2枚になった株を根から培地を洗い流し、上記の培養液を充填したコンテナ（44.5×63.5×23.0cm，43L）に、条間15cm，株間10cm

本報告の一部は、2003年の園芸学会秋季大会において発表した。

平成18年5月24日受理

で、1区当たり12株を2連で定植した。ハウス内気温は、昼間側窓を開放し、日没時にハウスを閉鎖し、加温機で最低気温を5℃以上に維持した。

各処理区の高濃度窒素の処理期間以外の培養液のECは、1.0dS/mで同程度で、高濃度窒素の処理期間は4.1dS/mに維持されていた。

収穫は、草丈が各処理区とも20cm以上に達した2003年の1月29日に行い、株重、草丈、最大葉の葉長および葉幅、葉数、葉色を調査した。硝酸濃度は葉身と葉柄に分け、蒸留水を加えて摩砕した後、小型反射式光度計(RQフレックス, MERCK社製)で定量し、建部ら(1995)の方法に準じて葉身、葉柄の新鮮重から株全体の平均値を算出した。

実験2 重窒素 (^{15}N) 標識法による窒素施用時期が収穫時の硝酸濃度に及ぼす影響

ハウレンソウ‘アクティブ’を用い、2002年10月3日に播種し、10月22日に定植した以外は、実験1と同様に実施し、処理日以外は、園試処方1/2単位の培地で栽培した。 ^{15}N で標識した K^{15}NO_3 培地の窒素濃度を0.34meに調整し、収穫15日前(11月13日～11月14日)、収穫10日前(11月18日～1月19日)、収穫6日前(11月22日～11月23日)、収穫3日前(11月25日～11月26日)および収穫1日前(11月27日～11月28日)のそれぞれ1日間吸収させた15日前 ^{15}N 区、10日前 ^{15}N 区、6日前 ^{15}N 区、3日前 ^{15}N 区および1日前 ^{15}N 区を設けた。なお、15日、10日、6日、3日および1日前の ^{15}N 処理日の草丈はそれぞれ約10、18、20、21および23cmであった。

収穫は、草丈が各処理区とも20cm以上に達した11月28日に行い、株重、草丈、最大葉の葉長および葉幅、葉数、葉色を調査した。

ハウレンソウの ^{15}N の吸収量は、収穫直後に葉身と葉柄に分け、60℃で2昼夜乾燥した後、摩砕し、全自動窒素炭素同位体質量分析計(ANCA-SL, Europa Scientific社製)で定量した。収穫時の新鮮植物体の ^{15}N 濃度は、葉

身と葉柄に分け、蒸留水を加えて摩砕した後、 $^{15}\text{NO}_3$ をセミマイクロ蒸留法で回収し、上記と同じ分析計で定量した。

実験3 培地窒素の欠除時期が収穫時の硝酸濃度に及ぼす影響

ハウレンソウ‘アクティブ’を用い2003年9月29日に播種し、10月12日に定植した以外は実験1と同様に実施した。培地窒素の欠除時期は、収穫12～9日前(10月24日～27日)、収穫9～6日前(10月27日～10月30日)、収穫6～3日前(10月30日～11月2日)、収穫3～0日前(11月2日～5日)の3日間、園試処方1単位(T-N18me)から窒素成分を除いた培養液で栽培する12～9日前欠除区、9～6日前欠除区、6～3日前欠除区および3～0日前欠除区の4区を設けた。それぞれの処理区は、処理期間以外を園試処方1単位で、対照区は全期間を園試処方1単位で栽培した。

収穫は、草丈が各処理区とも20cm以上に達した11月5日に行い、調査項目および硝酸濃度の定量方法は実験1と同様に実施した。

結 果

実験1 培地窒素の高濃度施用時期が収穫時の硝酸濃度に及ぼす影響

株重、草丈、最大葉の葉柄長と葉幅および葉色値は、2～1週間前高窒素区でやや小さかったが、処理による一定の傾向は認められなかった。葉数は各処理区とも約11枚であった(表1)。

収穫時の水抽出の硝酸濃度は、葉身、葉柄および株全体共に1～0週間前高窒素区が2,180、5,930および2,930mg/kg・FWと最も高く、次いで2～1週間前高窒素区、3～2週間前高窒素区で、対照区が最も低かった(図1)。

表1 高濃度窒素の処理時期がハウレンソウ収穫時の生育に及ぼす影響^{a)}

高濃度窒素処理時期	株重 (g)	草丈 (cm)	葉数 (枚)	最大葉		葉色値 SPAD ^{b)}
				葉柄長(cm)	葉幅(cm)	
無処理(対照)	33.4±9.2 ^{c)}	22.6±2.0	11.8±0.8	9.6±1.0	8.6±0.5	53.1±0.2
収穫3～2週間前	35.7±2.4	23.7±0.4	11.3±0.2	9.9±0.0	8.8±0.1	55.1±0.7
収穫2～1週間前	30.5±0.0	22.1±0.0	11.7±0.0	9.2±0.1	7.8±0.3	51.7±0.5
収穫1～0週間前	39.0±9.2	24.6±1.3	11.3±0.3	10.6±0.2	9.8±0.9	55.5±0.6

a) 2003年1月29日に調査した b) SPAD: MINOLTA502の計測値

c) 値は平均値±2反復での最大値および最小値と平均値との差

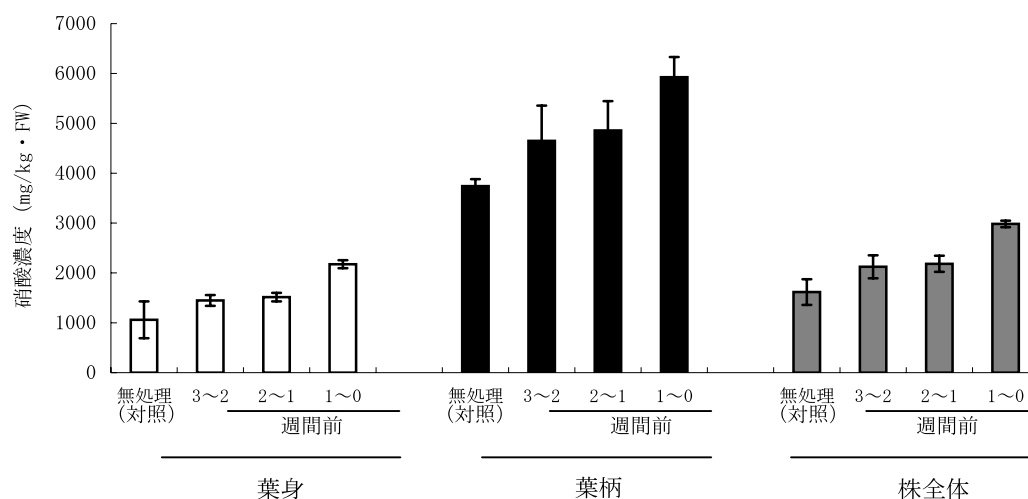


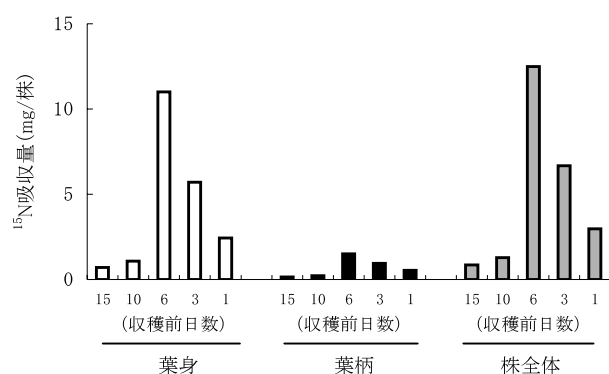
図1 高濃度培地窒素の処理時期が収穫時の体内硝酸濃度に及ぼす影響

注) グラフ上のバーは2反復での平均値と最大値および最小値との差

実験2 重窒素 (^{15}N) 標識法による窒素施用時期が収穫時の硝酸濃度に及ぼす影響

供試ホウレンソウの収穫時の生育は、全ての処理区で有意差がなく、株重は約40g、草丈は約24cm、葉数は約12枚、葉色値は約54であった（データ省略）。

植物体における施肥由来の窒素吸収量は、いずれの処理区においても葉身が葉柄に比べ多かった。また、6日前 ^{15}N 区が最も多く、次いで3日前 ^{15}N 区、1日前 ^{15}N 区で、15日前 ^{15}N 区が最も少なかった（図2）。収穫時の水抽出による硝酸中の ^{15}N atom % excess は、いずれの処理区においても葉柄が葉身に比べ高かった。15日前 ^{15}N 区および10日前 ^{15}N 区で、株全体の ^{15}N atom % excess は0.25と低かったが、6日前 ^{15}N 区、3日前 ^{15}N 区および1日前 ^{15}N 区で ^{15}N atom % excess は約0.75と著しく高かった。また、6日前 ^{15}N 区、3日前 ^{15}N 区および1日前 ^{15}N 区の処理区間には大差はなかった（図3）。

図2 収穫前15日目以降の1日間の培地 ^{15}N の施用がホウレンソウの収穫時の ^{15}N 吸収量に及ぼす影響

実験3 培地窒素の欠除時期が収穫時の硝酸濃度に及ぼす影響

株重、葉数および最大葉の葉幅は、対照区で最も大きく、培地の窒素欠除の処理時期が収穫日に近いほど大きい傾向であった。すなわち、草丈および最大葉の葉柄長は、対照区および3~0日前欠除区が大きい傾向であった。葉色値も生育と同様に、培地の窒素欠除の処理時期が収穫日に近いほど高い傾向であった（表2）。

収穫時の水抽出の硝酸濃度は、全ての処理区で葉柄が葉身に比べ高かった。また処理区別では、葉身、葉柄および株全体共に3~0日前欠除区が最も低く、それぞれ230、4320および1170mg/kg・FWであった。次いで6~3日前欠除区で低かったが、9~6日前欠除区、12~9日前欠除区および対照区では高く、特に対照区の株全体では2720mg/kg・FWであった（図4）。

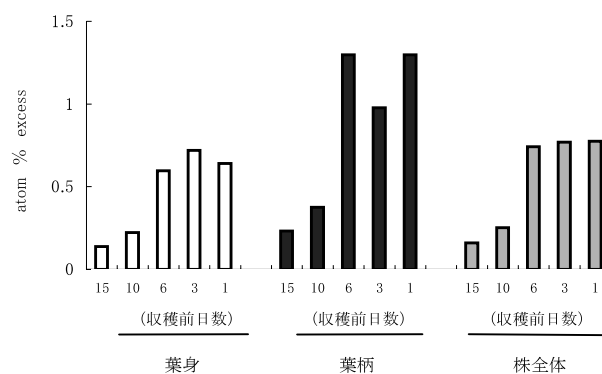
図3 重窒素の施用時期が収穫時の ^{15}N atom % excess に及ぼす影響

表2 培地の窒素欠除の処理時期がハウレンソウ収穫時の生育に及ぼす影響^{a)}

窒素欠除の処理時期	株重 (g)	草丈 (cm)	葉数 (枚)	最大葉		葉色値 SPAD ^{b)}
				葉柄長(cm)	葉幅(cm)	
無処理 (対照)	19.7±1.8 ^{c)}	22.6±0.3	10.6±0.0	10.0±0.3	8.5±0.4	42.5±1.5
収穫12～9日前	13.7±1.4	19.4±0.1	9.7±0.5	8.4±0.4	6.8±0.5	37.4±0.8
収穫9～6日前	15.8±0.1	22.1±0.6	10.1±0.1	9.8±0.3	7.1±0.0	39.0±1.0
収穫6～3日前	15.8±0.9	20.5±0.2	10.4±0.2	8.6±0.1	7.4±0.1	42.1±1.2
収穫3～0日前	16.1±1.1	23.1±1.3	10.3±0.6	10.4±0.0	7.7±0.1	42.5±0.1

a) 2003年11月5日に調査した b) SPAD: MINOLTA502の計測値

c) 値は平均値±2反復での最大値および最小値と平均値との差

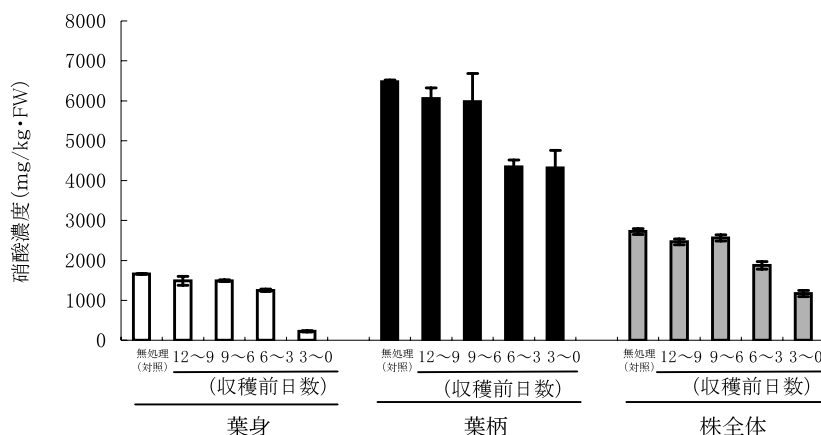


図4 培地の窒素欠除の処理時期が収穫時の体内硝酸濃度に及ぼす影響

注) グラフ上のバーは2反復での平均値と最大値および最小値との差

考 察

実験1において、収穫3～2週間前および2～1週間前に高濃度窒素を施用した処理区の葉身、葉柄および株全体の硝酸濃度は、対照区と大差なかった。これに対し、収穫1週間前～収穫日に高濃度窒素を施用した処理区の葉身、葉柄および株全体の硝酸濃度は、明らかに高かった。

これまで、窒素の多量投肥により収穫物の硝酸濃度が高まることは、多数報告されており（亀野ら, 1990；目黒ら, 1991；建部ら, 1995；刀祢・内山, 1989）、実験1でも培地窒素の上昇によって収穫物の硝酸濃度が上昇することが明らかとなった。

実験2で¹⁵Nを用いて、収穫15～1日前のどの時期に吸収した窒素が植物体の硝酸濃度に影響を及ぼすかを検討した結果、処理した1日間にハウレンソウが吸収した¹⁵N由来の窒素量は、収穫15および10日前の処理では少なく、¹⁵N由来の硝酸濃度も低かった。このことは、収穫15および10日前の植物体が小さかったため窒素の吸収量が少なかったためと考えられる。また、植物体に吸収

された硝酸は、硝酸レグターゼや亜硝酸レグターゼなどの種々の還元酵素により亜硝酸や様々な化合物に還元されると報告されている（長谷川, 1996；井出, 1996）。本実験においても収穫15および10日前に吸収した窒素の多くは、アミノ酸等に還元されていると考えられる。また、収穫10～15日前に吸収した硝酸の一部は、香川(1997)の報告と同様に硝酸塩として葉中に残存していると考えられる。

一方、収穫時期に近い収穫6日前以降では、1日間の¹⁵N由来の窒素の吸収量は、収穫6日前に最も多く、収穫3および1日前で低下したが、収穫時のハウレンソウの¹⁵N由来の硝酸濃度は、収穫15および10日前の処理に比べ高く、ほぼ一定であった。このことは、硝酸のアミノ酸などへの還元の数日間要すると考えられ、収穫時期近くに吸収した窒素ほど亜硝酸やアミノ酸などへ還元されずに残存している。つまり、還元されない硝酸塩として葉中に残存すると考えられ、収穫6日前に施用しても収穫時に還元されていない硝酸が存在することが明らかとなった。

王ら(1995)は、ハウレンソウの水耕栽培において、収穫前18, 12, 6および0日前から補給液中の硝酸態窒

素を欠除させ、収穫時の硝酸濃度を検討した結果、補給液の硝酸態窒素の欠除期間が長くなると、硝酸濃度は著しく低下したとしている。実験3において窒素欠除期間を3日間としたが、収穫時の硝酸濃度は、収穫前12日以降いずれの時期に窒素の欠除を行った処理区についても低下する傾向であった。

さらに、内田ら（1992）は、ハウレンソウの水耕栽培において、低硝酸化による品質向上を目的として定植13日後の7日間に培養液のECを0.1dS/cm以下に管理する養分供給停止処理を行うことにより、収穫時の硝酸塩の含量を低下させることができたと報告している。

実験3においても同等の傾向が認められ、収穫12～9および9～6日前に窒素欠除を行った処理区では、収穫時の硝酸濃度が無処理区と同等であったが、収穫6～3および3～0日前に窒素欠除を行った処理区では、無処理に比べ顕著な低下が認められた。また、王ら（1995）は、収穫12日前以降の硝酸態窒素の欠除により葉色が低下し外観上の商品価値が悪化することを報告している。本実験において窒素欠除によって収量、葉色が低下したが窒素欠除時期が6日前以降では、生育量の低下や葉色低下による外観品質の低下程度が小さく、収量および品質面からも有利であると考えられる。

以上の結果から、収穫間際の窒素の吸収が収穫時の硝酸濃度に影響し、その影響は、培地の窒素濃度が高い場合も、また欠除した場合も収穫時期に近い程大きいことが明らかとなった。また本実験からは、収穫時の硝酸濃度を低下させる窒素の欠除時期は収穫6日前以降であった。したがって、ハウレンソウ栽培において生育および葉色の低下を抑制し、かつ低硝酸化を行うには、収穫6日前以降に培地の窒素濃度を低下させることが有効と考えられる。

摘 要

水耕培地の高濃度窒素および重窒素 (^{15}N) で標識した窒素の時期別処理並びに窒素欠除時期がハウレンソウ収穫時の硝酸濃度に及ぼす影響について検討した。

1. 収穫時の硝酸濃度は、収穫3～2週間および2～1週間前に比べて収穫1週間前から収穫日までの高濃度の窒素を処理することにより高まった。
2. 収穫前15, 10, 6, 3および1日前の1日間の窒素吸収量は、収穫6日前の処理で最も多くなることが ^{15}N 標識法によって明らかになった。また、収穫時の水抽出による硝酸中の ^{15}N atom % excessは、収穫6, 3および1日前の処理で著しく高まり、収穫

直前の培地から吸収した窒素が収穫時の硝酸濃度に大きく影響することが明らかとなった。

3. 培地窒素の欠除処理が、収穫12～9日前および9～6日前よりも収穫6～3日前および3～0日前の収穫日に近いほど収穫時の硝酸濃度は低くなり、かつ生育および葉色の低下程度も小さかった。

以上の結果から、収穫期のハウレンソウの硝酸濃度は、収穫時期に近いほど培地窒素濃度に影響を受けることが明らかとなり、収穫物の収量および葉色を低下させず、かつ低硝酸化のためには、収穫6日前以降の培地窒素の低濃度処理が有効と考えられる。

引用文献

- EU. 2002. Commission Regulation (EC) No 563/2002 of 2 April 2002 amending Regulation (EC) No 466/2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Communities.
- 長谷川博. 1996. 窒素栄養の分子生物学的アプローチ 1. 硝酸およびアンモニアの吸収. 土肥誌. 67. 4 : 440-445.
- 井出正二. 1996. 窒素栄養の分子生物学的アプローチ 2. 硝酸塩と亜硝酸塩の同化. 土肥誌. 67. 6 : 707-715.
- 香川 彰. 1997. 高品質ハウレンソウの栽培生理. 品質向上のための栽培生理. いしづえ. 東京. 63-91.
- 亀野 貞・木下隆雄・楠原 操・野口正樹. 1990. ハウレンソウの栽培条件及び品種と品質関連成分の変動. 中国農試研報. 6 : 157-178.
- 木村春夫・吉川宏昭・吉田企世子・井出 隆・小川勝美・稲山光男・佐藤三郎・石川良幸・羽山 修. 1997. 野菜の栽培条件と成分変動. 野菜栄養改善推進協議会報告書. 社団法人日本施設園芸協会. 3 -72.
- 目黒幸司・吉田企世子・山田次良・下野勝昭. 1991. 夏どりハウレンソウの内部品質指標. 土肥誌. 62. 4 : 435-438.
- 相馬 暁. 1989. 作物の高品質を求めた土づくり. 葉菜類の品質を巡る諸問題. 日本土壤協会. 47-59.
- 建部雅子・米山忠勝. 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. 2 : 155-158.
- 建部雅子・石原俊幸・石井かおる・米山忠克. 1995. 窒素施用がハウレンソウとコマツナの生育, 硝酸, シュウ酸含有率に与える影響. 土肥誌. 66(3) : 238-246.

- 刀祢茂弘・内山善雄. 1989. 栽培条件がホウレンソウの
硝酸含量に及ぼす影響(第2報). 土壌及び施肥の影
響. 山口農試研報. 41:40-45.
- 内田 徹・工藤りか・網本邦広・大杉良之・大北定則・
高嶋浩二・加藤政一. 1992. 植物工場における蔬菜
生産のシステム化に関する研究. (第1報) 収穫前の
養分供給停止処理が水耕栽培ホウレンソウの成分に
及ぼす影響. 園学雑. 61. 別2:328-329.
- 王 秀峰・丸尾 達・伊東 正. 1995. ホウレンソウの
生育・収量・硝酸含量に及ぼす収穫前の補給液
NO₃-Nの影響. 園学雑. 64. 別2:340-341.
- 吉田企世子. 1994. 野菜の栄養成分の変動. 野菜と健康
の科学(日本施設園芸協会編).
養賢堂. 東京. 23-32, 53-66.

Effects of water culture nitrate concentrations during prior harvesting stage on the nitric acid concentration in spinach

Takeyoshi KAWAGUCHI, Kazuhiro FUSAO and Junki ITOU

Key words : spinach, ¹⁵N, water culture, nitric acid concentration, nitrate concentration