

硝酸態氮與銨態氮比例對草莓‘豐香’ 生長與種苗生產之影響

鄔家琪* 許碩庭

國立宜蘭大學園藝學系

摘要

為探討草莓營養生長與種苗生產最適之氮肥型態比例，以 100:0、75:25、50:50、25:75 等四種不同硝酸態氮(NO_3^-)與銨態氮(NH_4^+)比例水耕液處理草莓‘豐香’植株，結果顯示 100:0 之硝酸態氮處理下有最多葉數、最大葉面積、植株鮮乾重與走莖數，且葉綠素含量與光合作用率最高，隨著銨態氮比例的增加，植株生長下降，甚至死亡。顯示草莓植株營養生長期間偏好硝酸態氮，並對銨態氮毒害較為敏感。因此‘豐香’草莓營養生長期間，使用 100% 硝酸態氮可顯著促進草莓生長與走莖生成，或可用於種苗商業生產。

關鍵詞：草莓、氮肥型態、營養生長、走莖生產

Effects of NO_3^- and NH_4^+ Ratio on Growth and Runner Propagation of Strawberry (*Fragaria \times ananassa* Duch.) cv. Toyonoka

Chia-Chyi Wu* Shuo-Ting Hsu

Department of Horticulture, National Ilan University

Abstract

The effects of NO_3^- : NH_4^+ ratios (100:0、75:25、50:50、25:75) in the nutrient solution on growth and runner production in hydroponically grown strawberry (*Fragaria \times ananassa* Duch. cv. Toyonoka) were evaluated. Results showed the treatment of 100:0 (NO_3^- : NH_4^+) had the highest leaf number, leaf area, fresh and dry weights, crown diameter, chlorophyll content, photosynthetic rate and produced the most runners. The decrease ratio of NO_3^- to NH_4^+ ratio in the nutrient solution would reduce the strawberry growth and runner production. Higher NO_3^- -N source supplied to the plants seemed more suitable for strawberry vegetative growth, while more NH_4^+ caused deleterious effects. Strawberry was sensitive to NH_4^+ toxicity. Our results suggested that using NO_3^- as nitrogen source for vegetative growth and runner production of strawberry cv. Toyonoka seems a feasible strategy. It will be possible to implement this technique in a commercial scale.

Keywords: strawberry, nitrogen form, vegetative growth, runner production

Corresponding author. E-mail: angwu@niu.edu.tw

前言

草莓(*Fragaria xananassa* Duchesne)是極具經濟價值之園藝作物，性喜冷涼氣候，台灣地區以冬季栽培為主，一般栽培約於9月中旬至10月上旬定植，10月下旬至11月上旬開花，12月上旬開始採收，產期為12月至隔年4月。由於草莓種苗從定植到收穫時間只有二個月，因此種苗品質是栽培能否成功之關鍵。種苗的健康與大小，對於整季的產量與收益有重大影響。健壯的種苗才能提高定植存活率，加速生長發育，提高早期產量與總產量，以提高收益，而種苗的品質深受育苗母株營養狀況影響(李，1995；Pertuze *et al.*, 2006)。

氮素是影響草莓生長與產量最重要的無機營養元素，提高施氮量可增加草莓走莖產量與果實大小，施用尿素可增加草莓‘Gem’及‘春香’走莖生產量(李，1995；Tafazoli and Shaybany, 1978)，對於作物產量與品質亦有顯著影響(Gastal and Lemaire, 2002；Zhang *et al.*, 2005)。草莓始花強烈受營養條件所影響，植株移植於田間之前的營養狀態影響花芽形成，故營養生長期氮營養也相當重要。植物能吸收的氮素型式主要是NO₃⁻與NH₄⁺，NO₃⁻無法直接被同化，必須先還原成NO₂⁻，再還原為NH₄⁺。此反應主要發生在葉綠體，除了需要Ferredoxin當還原劑外，尚需在有光條件下。NH₄⁺之同化作用需要有碳源，植物中主要碳源為光合產物-蔗糖，因此氮的吸收利用也與光合作用有密切關係。不同的氮肥型態對植物生理代謝過程影響不同，從而對植物生長產生不同的效應。大多數情況下，兩種氮肥型式共存時可達到較高的氮吸收率(Ganmore-Neumann and Kafkafi, 1983)，然而銨態氮濃度過高會造成植株礦物營養缺乏，而降低金屬離子的攝取、酸化根域、改變滲透平衡與生長激素之代謝(Gerendás *et al.*, 1997)。因此兩種氮源型態之最適施用比例依據物種、植物年齡而有所差異(Haynes and Goh, 1978)。本試驗以不同比例之氮肥形態，探討對草莓生理、生長與走莖生產之影響，期能增加在草莓種苗生產上利用的可行性與效益，提高種苗生長與生產。

材料方法

草莓(*Fragaria xananassa* Duch.)品種‘豐香’購自苗栗縣大湖鄉，挑選生長至四片完整葉之健壯植株供試驗用。以改良之Hogland’s solution(Hoagland and Arnon, 1950)為養液做水耕栽培，試驗處理包括硝酸態氮：銨態氮為100：0、75：25、50：50與25：75共四種比例(表1)，養液之pH值調整至6.5~6.8，EC值1.5~2.0。植株置於光強度160 μmol m⁻² s⁻¹、日/夜溫25/18°C、日/夜長16/8小時之環控室內，進行六週之栽培試驗。

於試驗結束調查葉數、葉長、葉寬、葉面積、根冠直徑、植株地上部與地下部鮮乾重與走莖生成數，以光合作用測定儀(LI-6400, Li-Cor Inc. Lincoln, NE, USA)測定植株光合作用，並分析葉片之葉綠素、蛋白質、可溶性碳水化合物、澱粉與硝酸鹽含量。

表 1 不同型態氮肥比例之養液組成

Table 1 The concentrations of salts (mM) used to prepare nutrient solutions at NO₃⁻:NH₄⁺ ratios of 100:0, 75:25, 50:50, and 25:75

Chemicals	Concentration in the nutrient (mM)			
	100:0	75:25	50:50	25:75
KNO ₃	1.90	1.80	0.00	0.00
Ca(NO ₃) ₂	1.43	0.90	1.20	0.60
MgSO ₄	0.67	0.67	0.67	0.67
KH ₂ PO ₄	0.33	0.00	0.00	0.00
NH ₄ H ₂ PO ₄	0.00	0.33	0.33	0.33
NH ₄ Cl	0.00	0.87	2.07	3.27
KCl	0.33	0.77	2.57	2.57
CaCl ₂	0.00	0.50	0.23	0.80

葉綠素含量分析：

依鍾等(2010)方法進行，取2克新鮮葉片，先以液態氮研磨，加入20 mL之80%丙酮研磨，再繼續加入丙酮至100 mL並研磨。以分光光度計(Thermo Electron, BioMate3, USA)波長646.6 nm、663.6 nm下測吸光值。根據下列公式分別計算每克鮮重葉片中所含葉綠素的量：

$$\text{葉綠素 a (mg} \cdot \text{g}^{-1}) = (12.25 \times A_{663.6} - 2.55 \times A_{646.6}) \times V/1000 \times W$$

$$\text{葉綠素 b (mg} \cdot \text{g}^{-1}) = (20.31 \times A_{646.6} - 4.91 \times A_{663.6}) \times V/1000 \times W$$

其中 V 為 80%丙酮萃取液的體積(mL)，W 為葉片鮮重(g)

蛋白質含量分析：

參考 Bradford(1976)之方法。稱取0.5克新鮮葉片，以2 mL 磷酸鈉緩衝液(sodium phosphate buffer, 50 mM, pH6.8)將其研磨成均質。在4°C下以 17600 g 離心 20分鐘。取 20 μ L 上清液，再加入 5 mL 蛋白質染劑(100 mg \cdot L⁻¹ Coomassie Brilliant Blue G-250, Sigma Co.)，震盪均勻後靜置約 10分鐘，以分光光度計於波長 595 nm下測其吸光值。

$$\text{蛋白質含量(mg} \cdot \text{g}^{-1}) = 0.01 (\text{消光係數}) \times 1 \text{ cm} \times 100 (\text{稀釋倍數}) \div \text{樣品鮮重 (g)} \div 1000$$

可溶性碳水化合物含量與澱粉分析：

參考 Morris(1948)之方法。植株地上部以 75°C 烘乾後磨粉，稱取 1 克樣品，加入 50 mL 之 80%酒精，於 80°C 水浴 30 分鐘，以 Whatman No.2 濾紙過濾，保留殘渣，殘渣加入 20 mL 80% 酒精，仍於 80°C 水浴 30 分鐘，過濾，殘渣再加入 20 ml 80% 酒精，三次濾液合併，置於 100°C 水浴，去除濾液之酒精後，通過 polyvinylpyrrolidone (PVP)，定量至 100 mL，分析可溶性碳水化合物。將上述過濾後殘渣經烘乾，以酸水解法，取 0.5 克加入 25 mL 之 2% HCl，於 90°C 水浴 3.5 小時，以 Whatman No.2 濾紙過濾後，用 5 M NaOH 中和，以 phthalein 為指示劑加至淡紅色為止，分析澱粉含量。

取稀釋液 2 mL，加入 4 mL 之 1% anthrone(Sigma Co.) 溶液混合均勻後，於 100°C 沸水浴 6.5 分鐘後，於冰浴中急速冷卻，再以分光光度計於波長 625 nm 下測其吸光

值。另配置 0、20、40、60、80、100 mg \cdot L⁻¹之葡萄糖溶液測其吸光值，繪製標準曲線。

$$\text{碳水化合物含量} = \text{葡萄糖濃度} / \text{乾物重}$$

$$\text{澱粉含量} = \text{葡萄糖濃度} \times 0.9 / \text{乾物重}$$

硝酸鹽含量分析：

取樣品 1g 磨碎，以蒸餾水稀釋至適當倍數，樣品中之硝酸鹽含量以反射式光度計(RQflex, Merck, Germany)之硝酸鹽試紙量測。

統計分析

試驗結果資料以 SAS 9.1(Statistical Analysis System 9.1)軟體進行鄧肯氏多變域分析(Duncan's Multiple Range Test)，比較其5%之差異顯著性。並利用繪圖軟體 SigmaPlot 10.0 繪圖。

結果與討論

草莓植株生長於100%硝酸態氮處理下有最多之葉數、最大葉長、葉寬、葉面積與莖冠直徑(表2)，這些生長參數隨著銨態氮比例的增加而減少。一般作物以硝酸根(NO₃⁻)為植物吸收氮素的主要型態，硝酸態氮有利於植物吸收大量陽離子，這些陽離子增加了細胞的滲透勢，從而有利於細胞的伸長和植株的生長。銨態氮雖可直接被植物體利用，但對於植物細胞來說是個矛盾的營養物質(Salsac *et al.*, 1987)，植物鮮少以銨態氮做為單一氮源(Cruz *et al.*, 2006)，因為銨態氮過高會使植物根部釋出氫離子(H⁺)造成根圈酸化，抑制根部生長，而造成植株生長下降，此為銨毒害現象(Guo *et al.*, 2002)。銨毒害現象包括生長抑制(Holldampf and Barker, 1993)、產量降低(Chaillou *et al.*, 1986)甚至植株死亡(Pearson and Stewart, 1993)。當植物出現生長抑制的情形，即為銨毒害之症狀

表 2 不同硝酸態氮：銨態氮比例對草莓‘豐香’葉數、中間小葉寬、中間小葉長、葉寬、葉長、葉面積、莖冠直徑之影響

Table 2 Effect of different NO₃⁻ : NH₄⁺ ratio on leaf number, width and length of middle leaf, leaf width, leaf length, leaf area and crown diameter of strawberry ‘Toyonoka’ plant

Treatment (NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺)	Leaf number	Middle leaf (cm)		Leaf width (cm)	Leaf length (cm)	Leaf area (cm ²)	Crown diameter (mm)
		width	length				
100 : 0	10.92 a	6.13 a	5.90 a	11.04 a	13.46 a	65.09 a	16.97 a
75 : 25	6.67 b	5.61 b	4.98 b	9.63 b	11.10 b	46.74 b	13.14 b
50 : 50	6.18 c	5.27 c	4.83 b	9.48 c	10.62 c	48.46 b	12.40 bc
25 : 75	6.10 c	5.28 c	5.05 b	9.62 c	11.01 c	37.25 c	11.90 c

Means followed by the different letters in each column are significantly different at 5% level by Duncan's Multiple Range Test

(Cramer *et al.*, 1993), 本試驗結果顯示草莓‘豐香’對於銨態氮之濃度相當敏感, 養液中75:25($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$)處理組顯著降低草莓植株之生長。100%硝酸態氮下之植株生長不僅顯著大於其他處理組, 走莖生成數也遠高於其他處理, 且走莖數隨銨態氮比例增加而降低(圖1), 植株的生長和走莖生成數與銨態氮添加比例呈相反趨勢, 植株隨著銨態氮的增加而降低生長, 且植株矮小, 並於75%銨態氮比例下已出現植株死亡。

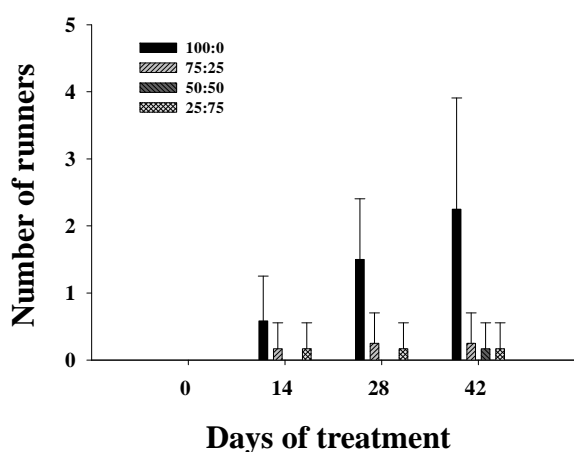


圖1 不同硝酸態氮：銨態氮比例對草莓‘豐香’走莖形成數之影響

Fig.1 Effect of different $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio on runner numbers of strawberry ‘Toyonoka’ plant

草莓植株地上部、地下部之鮮、乾重均以100%硝酸態氮處理下最高, 地上部與地下部之鮮、乾重隨著銨態氮濃度增加而降低(表3)。劉與楊(2007)曾表示銨態氮不利草莓新根之發生, 並會抑制根部生長, 本試驗也觀察到銨態氮的增加造成根部發育不良, 且重量明顯降低, 進而影響地上部生長, 可能為植株發育不良原因之一。過高的銨含量導致莖部短小、纖細並降低鮮、乾重(Ingstad, 1973)。一般而言, 即使植物較偏好硝酸態氮,

兩種氮源同時存在可達到較佳的植物生長, 但不同品種對氮源型態反應仍各有不同。Tabatabaei等(2008)以‘Camarosa’草莓為材料, 100%硝酸態氮或是75%銨態氮做為唯一氮源時, 皆會顯著降低草莓的生長, 明顯與本試驗結果不同。但是黃菖蒲(*Iris pseudacorus* L.)生長於不同的硝酸態氮與銨態氮比例下, 以100%硝酸態氮可達到最好的生長、最高的氮含量與生物量(Chang *et al.*, 2010), 此又與本試驗結果相若。

草莓植株於100%硝酸態氮下生長, 光合作用率與氣孔導度顯著高於其他處理組, 光合作用率隨銨態氮比例增加而明顯下降(表4), 氣孔導度以100%硝酸態氮處理為最高, 細胞間 CO_2 濃度在100:0與75:25($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$)間為較高, 兩者無顯著差異, 50%以上之銨態氮之細胞間 CO_2 濃度明顯較低。與硝酸態氮相較下, 銨態氮降低草莓之光合作用率與乾物質產量(Claussen and Lenz, 1999)。在銨態氮所導致較小的葉片上可普遍觀察到較低的氣體交換率及乾物質產量(Raab and Terry, 1994)。可能是植株根部發育受限, 造成生長不良而使光合作用降低, 或是因為銨在葉中累積, 造成葉綠體中光合磷酸化之電子傳遞鏈解耦聯, 進而降低光合作用率(Claussen and Lenz, 1999)。

草莓中硝酸鹽含量以100%硝酸態氮處理下為最高, 葉綠素含量以100:0與50:50($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$)處理最高, 蛋白質含量則以含有銨態氮處理組顯著高於100%硝酸態氮(表3)。Santamaria等(2001)研究顯示混合使用硝酸態氮與銨態氮可降低植物中硝酸態氮之含量。銨態氮的增加會誘導酸鹼值調節之生理障礙, 並與某些陽離子產生拮抗, 導致陽離子缺乏(Kotsiras *et al.*, 2002), 使植物含有更多的 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 H_2PO_4^- 等陰離子, 而抑制鉀、鈣離子的吸收, 並改變滲透壓平衡或荷爾蒙新陳代謝(Gerendás *et al.*, 1997)。Stagnari等(2007)研究顯示硝酸態氮可誘導鉀、

表3 不同硝酸態氮：銨態氮比例對草莓‘豐香’地上部、地下部之鮮、乾重、硝酸鹽、葉綠素、蛋白質、可溶性碳水化合物、澱粉含量之影響

Table 3 Effect of different $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio on fresh weight, dry weight, content of nitrate, chlorophyll, protein, soluble carbohydrate and starch of strawberry ‘Toyonoka’ plant

Treatment ($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		Nitrate content ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Chlorophyll content ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	Protein content ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	Soluble carbohydrate content ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Starch content ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
	Shoot	Root	Shoot	Root					
100 : 0	29.44 a	9.33 a	6.50 a	2.27 a	620.00 a	0.80 a	0.10 b	870.21 b	2838.82 c
75 : 25	9.17 b	4.41 b	2.73 b	1.19 b	484.03 b	0.36 b	0.21 a	1315.98 a	4877.14 a
50 : 50	6.07 bc	2.67 b	2.62 b	0.77 c	333.33 c	0.78 a	0.24 a	1375.09 a	3632.40 b
25 : 75	4.81 c	2.34 b	2.21 b	0.57 c	306.67 c	0.37 b	0.26 a	1337.48 a	3729.93 b

Means followed by the different letters in each column are significantly different at 5% level by Duncan’s Multiple Range Test

鈣、磷的累積，陳(2010)於菠菜中發現蛋白質含量與鉀濃度呈負相關之趨勢，或可解釋在100%硝酸態氮處理下蛋白質含量較少之原因。

草莓於100%硝酸態氮處理下葉片之可溶性糖與澱粉含量最低，添加銨態氮者皆有較高的含量(表3)。Reinink等(1987)表示當液胞中碳水化合物含量增加時，硝酸態氮累積量即有減少之趨勢，硝酸態氮與糖類之累積濃度呈負相關。植物能吸收的氮素主要是 NO_3^- 與 NH_4^+ ， NO_3^- 無法直接被同化，必須先還原成 NO_2^- ，再還原為 NH_4^+ 。因此銨同化作用需消耗較多可溶性糖類，造成碳水化合物之利用性受到限制(Finnemann and Schjoerring, 2002)。與銨態氮相較之下，硝酸態氮的供應

可促進植物生長、氮吸收率與氮含量(Kafkafi, 1990)，在較低濃度氮含量下觀察到較高的糖類與澱粉含量，可能是因為較大積貯(sink)而非較高生產所致(Bar-Tal *et al.*, 2001)。草莓在較高銨態氮濃度下，植株將養分貯存於植株體內，而硝酸態氮則將養分供於營養生長，也因此產生較多之走莖數量(圖1)。銨態氮可能較不利於草莓走莖生產，且本試驗觀察到銨態氮可能造成草莓種苗之銨毒害現象，降低根部生長與光合作用，使植株發育不良。因此草莓植株營養生長階段對銨態氮較不適應，而對於硝酸態氮有較強之吸收力，進而促進生長與走莖生產能力。

表 4 不同硝酸態氮：銨態氮比例對草莓‘豐香’葉片之光合作用率、氣孔導度與細胞間細二氧化碳濃度之影響

Table 4 Effect of different $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio on photosynthetic rate, stomatal conductance and intercellular CO_2 concentration of ‘Toyonoka’ trawberry plant

Treatment ($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$)	Photosynthetic rate ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Stomatal conductance ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Intercellular CO_2 concentration ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol air}^{-1}$)
100 : 0	5.50 a	0.22 a	318.0 a
75 : 25	1.05 b	0.03 b	319.8 a
50 : 50	0.55 bc	0.02 b	278.6 b
25 : 75	0.46 c	0.02 b	250.0 b

結 論

草莓營養生期偏好硝酸態氮，並對銨態氮濃度較為敏感。因此草莓‘豐香’營養生長期間，可使用100%硝酸態氮以顯著促進草莓生長與走莖生成，進而增加種苗產量。

致 謝

本研究承蒙園藝學系黃秀真老師慨借儀器設備，謹致謝忱。

參考文獻

李窓明。1995。台灣草莓種苗繁殖與育種研究。蔬菜育種研討會專刊。桃園區農業改良場編印。 p.97-122. 桃園。

陳玟綺。2010。硝酸態氮與銨態氮比例對菠菜及楊桃草酸濃度之影響。國立中興大學研究所碩士論文。台中

鍾興穎、張明毅、鄔家琪、方煒。2010。光質與照光健化時間對蘿蔔葉生長與生理之影響。2010年農機與生機論文發表會論文摘要集。

劉紅、楊彥宏。2007。大棚草莓平衡施肥研究。西北林學院學報 22(6):36-39。

Bar-Tal, A., B. Aloni, L. Karni, and R. Rosenberg. 2001. Nitrogen nutrition of greenhouse pepper. II. Effects of nitrogen concentration and $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio on growth, transpiration, and nutrient uptake. HortScience 36:1252-1259.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72: 248-254.

Chaillou, S., J.F. Morot-Gaudry, L. Salsac, C. Lesaint, and E. Jolivet. 1986. Compared effects of NO_3^- or NH_4^+ growth and metabolism of French bean. Physiol. Veg. 24:679-687.

- Chang, J., D. Liu, H. Cao, S.X. Chang, X. Wang, C. Huang, and Y. Gea. 2010. $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratios affect the growth and N removal ability of *Acorus calamus* and *Iris pseudacorus* in a hydroponic system. *Aquat Bot.* 93:216-220.
- Claussen, W. and F. Lenz. 1999. Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. *Plant Soil* 208: 95-102.
- Cramer, M.D., O.A.M. Lewis, and S.H. Lips. 1993. Inorganic carbon fixation and metabolism in maize roots as affected by nitrate and ammonium nutrition. *Physiol. Plant.* 94:425-432.
- Cruz, C.A., F.M. Bio, M.D. Dominguez-Valdivia, P.M. Apraicio-Tejo, C. Lamsfus, and M.A. Martins-Loucao. 2006. How does glutamine synthetase activity determine plant tolerance to ammonium. *Planta* 223:1068-1080.
- Finnemann, J. and J.K. Schjoerring. 2002. Translocation of NH_4^+ in oil seed rape plants in relation to glutamine synthetase isogene expression and activity. *Physio. Planta*.105: 469-477.
- Ganmore-Neumann, R. and U. Kafkafi. 1983. The effect of root temperature and $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio on strawberry plants. I. Growth, flowering, and root development. *Agron. J.* 75:941-947.
- Gastal, F. and G. Lemaire. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *J. Exp. Bot.* 53: 789-799.
- Gerendás, J., Z. Zhu, R. Bendixen, and B. Sattelmacher. 1997. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. *Z. Pflanzenemähr. Bodenk.* 160:239-251.
- Guo, S., H. Brück, and B. Sattelmacher. 2002. Effects of supplied nitrogen form on growth and water uptake of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. *Plant Soil* 239:267-275.
- Haynes, R. and K. M. Goh. 1978. Ammonium and nitrate nutrition of plant. *Biol. Rev.* 53:465-510.
- Hoagland, D.R. and D.S. Arnon. 1950. The water culture method for growing plants without soil. *Calif. Agric. Exp. Stat. Circ.* 374:1-32.
- Holldampf, B. and A.V. Barker. 1993. Effects of ammonium on elemental nutrition of red spruce and indicator plants grown in acid soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 24:1945-1957.
- Ingestad, T. 1973. Mineral nutrient requirements of cucumber seedlings. *Plant Physiol.* 52:332-338.
- Kafkafi, U. 1990. Root temperature, concentration and the ratio $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ effect on plant development. *J. Plant Nutri.* 13:1291-1306.
- Kotsiras, A., C.M. Olympios, J. Drosopoulos, and H.C. Passam. 2002. Effect of nitrogen form and concentration on the distribution of ions within cucumber fruit. *J. Am. Sci. Hort.* 95:175-183.
- Morris, D. L. 1948. Quantitative determination of carbohydrates with Dreywood's anthrone reagent. *Science* 107:254-255.
- Pearson, J. and G.R. Stewart. 1993. The deposition of atmospheric ammonia and its effects on plants. *New Phytol.* 125:283-305.
- Pertuze, R., M. Barrueto, V. Diaz, and M. Gambardella. 2006. Evaluation of strawberry nursery management techniques to improve quality of plants. *Acta Hort.* 708:245-248.
- Raab, T.K. and N. Terry. 1994. Nitrogen source regulation of growth and photosynthesis in *Beta vulgaris* L. *Plant Physiol.* 105:1159-1166.
- Reinink, K., R. Groenwold, and A. Bootsma. 1987. Genotypical differences in nitrate content in *Lactuca sativa* L. and related species and correlation with dry matter content. *Euphytica* 36:11-18.
- Salsac, L., S. Chaillou, J.F. Morot-Gaudry, C. Lesaint, and E. Jolivet. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 25:805-812.
- Santamaria, P., A. Elia, M. Gonnella, A. Parente, and F. Serio. 2001. Ways of reducing rocket salad nitrate content. *Acta Hort.* 548:529-537.
- Stagnari, F., V.D. Bitetto, and M. Pisante. 2007. Effect of N fertilizers and rates on yield, safety and nutrients in

- processing spinach genotypes. *Sci. Horti.* 114:225-233.
- Tabatabaei, S.J., M. Yusefi, and J. Hajiloo. 2008. Effects of shading and $\text{NO}_3\text{:NH}_4$ ratio on the yield, quality and N metabolism in strawberry. *Sci. Horti.* 116:264-272.
- Tafazoli, E. and B. Shaybany. 1978. Influence of nitrogen, deblossoming, and growth regulator treatments on growth, flowering, and runner production of the ‘Gem’ everbearing strawberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103:372-374.
- Zhang, Y., X. Lin, Y. Zhang, S.J. Zheng., and S. Du. 2005. Effects of nitrogen levels and nitrate/ammonium ratios on oxalate concentrations of different forms in edible parts of spinach. *J. Plant Nutri.* 28:211-2025

101年 2月14日投稿
101年 6月 3日接受

