

氮肥及氣象環境對設施葉萵苣生長及硝酸鹽含量之影響

蕭巧玲¹、楊純明^{2,*}、何佳勳¹、蔡淑珍³、林毓雯³、劉滄琴³

¹行政院農業委員會農業試驗所作物組

²行政院農業委員會農業試驗所所長室/作物組

³行政院農業委員會農業試驗所農化組

摘要

葉菜類蔬菜硝酸鹽累積過量的問題時有所聞，栽植期間的管理及環境條件被認為係影響硝酸鹽含量變化的主要因素之一。本研究以‘明豐3號’（‘Ming Feng No. 3’）圓葉萵苣（*Lactuca sativa*）為參試葉菜作物，利用簡易設施於2012年5月至10月期間在行政院農業委員會農業試驗所農場進行試驗，以探討4種氮肥處理及栽培期間氣象環境差異對於葉萵苣生長及硝酸鹽含量的影響。試驗結果顯示，不同施肥組合的氮含量由低至高時，株高、葉片數及鮮重等生長性狀亦呈現增加趨勢，類似於硝酸鹽含量的上升現象。進一步分別分析鮮重與乾重、硝酸鹽之間的關係，可發現增施氮肥將同時帶動硝酸鹽與鮮重的升高，並增進實質乾物質（乾重）的累加。反之，減少氮肥用量雖可降低硝酸鹽含量，卻也造成較小株形葉萵苣。又發現栽植期間的氣象環境亦影響硝酸鹽累積及植株生長，由採收前一日之日射量及日均溫與硝酸鹽的關係，顯示在較低日射量及日均溫下，葉萵苣植體內的硝酸鹽含量較高。若經於採收當天日出前進行藍光照射處理，在氣溫28°C以下時將可降低植體硝酸鹽含量13.1–17.3%。由此推知，氮肥施用量的增加，將有利於葉萵苣硝酸鹽的形成及生質量累加而促進植株生

長，清晨採收前施予光照則具有減少硝酸鹽含量的效果。

關鍵詞：硝酸鹽、葉萵苣、設施栽培、氣象環境、光照。

Effects of Nitrogen Fertilization and Climatic Environment on Growth and Nitrate Content of Lettuce (*Lactuca sativa*) Grown under Protected Structure

Chiao-Ling Hsiao¹, Chewn-Ming Yang^{2,*}, Chia-Hsun Ho¹, Shwu-Jene Tsai³, Yu-Wen Lin³ and Tsang-Sen Liu³

¹ Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung 41362, Taiwan ROC

² Director-General Office/Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung 41362, Taiwan ROC

³ Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung 41362, Taiwan ROC

ABSTRACT

Excessive nitrogen accumulation in leafy vegetables may be caused by mismanagement and inappropriate climatic conditions during growing period and hence, brings up food safety concerns in public. To clarify effects of nitrogen fertilization and climatic environment on growth and nitrate content of leafy vegetable, lettuce (*Lactuca sativa*), variety ‘Ming Feng No. 3’, was applied with four different doses of nitrogen fertilizer and grown under protected structure in the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute from May to October in 2012. Results showed that plant height, leaf number

* 通信作者, cmyang@tari.gov.tw

投稿日期：2013年12月11日

接受日期：2013年12月26日

作物、環境與生物資訊 10:284-289 (2013)

Crop, Environment & Bioinformatics 10:284-289 (2013)

189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung 41362, Taiwan ROC

and plant fresh weight were increased with the increasing amounts of nitrogen fertilizer application, similar to the rising trend of nitrate content. From the relationship between plant fresh weight and nitrate content, it indicated that applying higher quantity of nitrogen fertilizer would improve both nitrate content and plant fresh weight, which was in conform with the increase of plant dry matter (dry weight). In contrast, lower nitrogen application would result in a low nitrate content and smaller plant size and weight. By comparing the relationships between daily irradiance and daily mean air temperature and nitrate content one day before harvest, nitrate content was found higher in conditions of lower irradiance and temperature. By lighting before dawn with blue LED (light-emitting diode) prior to harvest and under 28°C, nitrate content was reduced by 13.1–17.3% relative to those plants without lighting treatment. Accordingly, application of nitrogen fertilizer will in favor of nitrate assimilation and dry matter formation to enhance plant growth. Lighting before dawn prior to harvest is one way to cut down nitrate content in tissues of leafy vegetable.

Key words: Nitrate, Lettuce (*Lactuca sativa*), Cultivation under protected structure, Climatic environment, Lighting.

前言

葉菜類蔬菜在生產過程中處於不適當的栽植環境或過多氮肥施用量時，常可發現其植體硝酸鹽的過量累積，引發消費者食安的掛慮，甚至認為宜針對蔬菜中的硝酸鹽含量給予合理規範。然而，影響葉菜類蔬菜植體中硝酸鹽含量變化的因素相當多，除了遺傳組成及氮肥外，栽植環境中的光照與溫度及採收時間與季節等皆是造成硝酸鹽含量波動的原因(He *et al.* 1996, Samuolienė *et al.* 2011, Li *et al.* 2013)。歐盟(European Union; EU)依據葉菜類種類、栽植環境及季節的不同，訂定最大的限量標準介於 2,500 至 4,500 mg kg⁻¹ (或'ppm')，其限量標準間的落差端視栽植環境中光照是否充足(EFSA 2008)。換言之，充足的光照及適當的栽植氣象環境，

係生產合宜硝酸鹽含量葉菜類的重要生產條件(Mengel *et al.* 1976)。因此，針對葉菜類蔬菜硝酸鹽含量及降低該含量之氮肥施用及栽植氣象環境等議題，值得吾人深入研究探討，據以維護葉菜類蔬菜食用上的安全。

研究發現，光照不足將會增加蔬菜硝酸鹽的累積，而且不同光質也會改變硝酸鹽含量。例如，當葉用萵苣置於 300 μmol m⁻² s⁻¹ 之紅、藍光發光二極體(light-emitting diode; LED)光源下連續光照 32 日，將可減少植體內之硝酸鹽含量並提高維生素 C (Wang *et al.* 2011)。照射紅光及藍光波段比白光更能降低萵苣的硝酸鹽含量，菠菜照射紅光的硝酸鹽含量則為照射白光的 63% (Ohashi *et al.* 2007)。此外，在採收前於萵苣植株上方提供高光量的紅光 LED 光源，發現可明顯降低其硝酸鹽含量(Samuolienė *et al.* 2009)。

目前蔬菜生產已逐漸採用人為搭建的栽培設施，如溫室、網室、簡易設施及塑膠棚等，甚或採用較精密的中、高階設施及植物工場(plant factory)。此一栽植方式雖然可以減輕天然災害及病蟲草害的侵襲，卻也改變了設施內氣象環境，影響作物所需要的光照與溫度條件。不當的光照環境，將會使作物因光照不足、光質不良或溫度失調等原因，而引起設施作物硝酸鹽累積。為期釐清氮肥施用及氣象環境對於設施栽培葉萵苣生長及硝酸鹽含量之影響，本研究乃透過不同氮肥用量、栽植期及人為光照等處理予以試驗探討，期以作為其設施生產改進之參考而提供健康安全蔬菜產品。

材料與方法

本研究於臺中市霧峰區之行政院農業委員會農業試驗所農場之簡易塑膠布設施內進行試驗，以明豐種苗公司之'明豐 3 號' ('Ming Feng No. 3')圓葉萵苣(*Lactuca sativa*)作為參試材料，自 2012 年 5 月至 10 月期間合計種植 8 批次。利用培養土、珍珠石及炭化稻殼混合作為栽培介質(v/v/v = 3 : 1 : 1)，在播種

前及生育中期分別施用基肥及追肥等不同處理組合，包括 1/2 追肥(以 F1 為代稱，計施行 1 批次)、1/2 基肥+1/2 追肥(以 F2 為代稱，計施行 3 批次)、基肥(以 F3 為代稱，計施行 1 批次)及基肥+1/2 追肥(以 F4 為代稱，計施行 3 批次)等 4 種肥料處理組合，氮肥(素)含量高低依序為 F4 > F3 > F2 > F1，據以比較不等氮肥施用量對葉萵苣生長及硝酸鹽含量之差異。種植約 30 日，另於收穫當天之日出前施以藍光波段發光二極體 LED 之光照處理，以探究收穫前光照對葉萵苣植體硝酸鹽含量之效應。

硝酸鹽含量之分析，係取 300 g 葉萵苣植體以均質機攪拌均勻後，加入 600 mL 70 °C 之 RO (reverse osmosis) 逆滲透水，再由此取 1 mL 混合溶液以去離子水(deionized water)定量至 20 mL 後，置於 100°C 水浴槽內加熱 30 min。待冷卻後，利用濾紙(No. 5, Whatman, GE Healthcare Life Sciences, USA)過濾出澄清液，吸取 1 mL 之澄清液並定量至 5 mL，震盪均勻後以硝酸鹽自動分析

儀(2 通道數位檢測系統，Astoria-Pacific International, USA)分析硝酸鹽含量。

另於採收當日日出前藍光 LED 光照後，切取地上部植株以調查株高、葉片數、鮮重及乾重(80°C 烘乾 72 h)等生長性狀。試驗期間乃收集試區鄰近一級農業氣象測站測值(月報表)，包括每日的平均氣溫(daily mean air temperature)及日射量(daily irradiance)，以分析硝酸鹽含量與光照及氣溫之關係。試驗資料以行政院農業委員會購置之 SAS-EG 視窗版軟體進行統計分析，再以 SigmaPlot (Version 8.0)統計繪圖軟體繪製圖形。

結果與討論

本研究於簡易塑膠布設施內栽植葉萵苣，以調查生育期間氣象環境及氮肥施用量對葉萵苣植體硝酸鹽含量之影響。栽植期間施以不等量之氮肥處理組合，氮肥含量由高至低為 F4 > F3 > F2 > F1。根據試驗結果，隨著氮肥用量增加，可促進葉萵苣生長(Fig. 1)，其

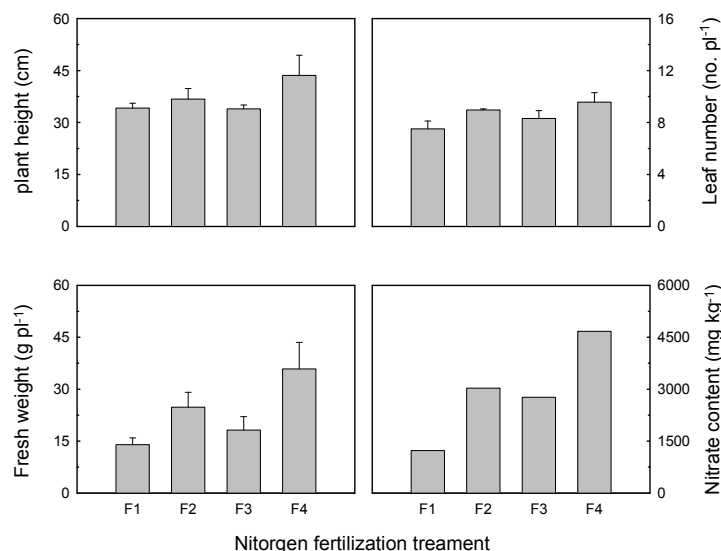


Fig. 1. Effects of different amounts of nitrogen fertilization on plant height, leaf number and fresh weight in plants of 'Ming Feng No. 3' lettuce (*Lactuca sativa*) grown under protected structure from May to October in 2012. F1, applied half dose of top dressing of fertilizer at two weeks after seed sowing; F2, applied half dose of basal fertilizer at seed sowing and half dose of top dressing at two weeks after sowing, respectively; F3, applied full dose of basal fertilizer at seed sowing; and F4, applied full dose of basal fertilizer at seed sowing and half dose of top dressing at two weeks after sowing. Amounts nitrogen: F4 > F3 > F2 > F1. Each value is expressed as mean \pm standard deviation.

中僅在生育中期施用肥料之 F1 處理(1/2 追肥)植株生長低於其他肥料處理者，在葉片數及鮮重上僅達 7.5 no. pl^{-1} 及 14 g pl^{-1} 。由於氮肥係作物生長重要元素，除了促進根系伸長及擴張葉片表面積外，亦為乾物質生成及葉片生長的供源，對於以營養器官莖葉為經濟生產主體的葉菜類而言，更是不可或缺的基本營養需求(Fageria and Moreira 2011, Li *et al.* 2013)。

雖然 F1 處理植株的硝酸鹽含量最低(1,227 $mg\ kg^{-1}$)，惟植株外觀形態較小而較不具高商品價值，不易被消費者及市場接受。當氮肥施用量提高至 F2 處理(1/2 基肥+1/2 追肥)時，株高、葉片數及鮮重分別提升 7、16 及 44%，可見配合於播種前施用 1/2 基肥有助植株生長，然植體硝酸鹽亦累加達 3,030 $mg\ kg^{-1}$ 。當氮肥用量再提高至 F3 處理(基肥)時，由於氮肥僅以基肥施用，收穫時植體硝酸鹽降為 2,771 $mg\ kg^{-1}$ ，而生長性狀與 F2 相當。由 F1 及 F3 之結果，可見僅在播種前施用基肥或僅在生育中期施用追肥，將不足應付植株全生育期生長所需之氮肥需用量，因此基肥及追肥之搭配使用才有利於植株生長發育(Li *et al.* 2013)。此一推論如 F4 處理獲得之結果，在最高氮肥施用量之 F4 處理(基肥加上 1/2 追肥)，不論在株高、葉片數或鮮重皆明顯的高於其他三個肥料處理組合。惟高氮肥雖然促進葉萵苣生長，植體硝酸鹽含量亦最高，達到 4,670 $mg\ kg^{-1}$ ，高於歐盟規範的標準 4,500 $mg\ kg^{-1}$ (EFSA 2008)。由此可知，F4 處理之氮肥組合固然促進葉萵苣獲得較佳生長，卻因高硝酸鹽含量而對其品質帶來負面效應。

續由各肥料組合處理檢視硝酸鹽與鮮重、乾重之間的關係(Fig. 2)，發現隨著氮肥施用量的增加，乾物質生成的促進可反應於鮮重與乾重的累積升高。顯示氮肥的效應有助於實質植體面積的伸展及乾物質的形成，而非徒長表現。然如前述，氮肥的增加促進了鮮重上升，卻也生成高量的硝酸鹽，雖然

$R^2 = 0.6$ 未達顯著水準，硝酸鹽與鮮重的共伴效應仍相當明顯。

除了氮肥施用量之外，氣象環境亦被認為係影響硝酸鹽含量及累積的一項因素(He *et al.* 1996, Li *et al.* 2013)。經整理分析採收前一日的日射量及日均溫與硝酸鹽含量之間的關聯(Fig. 3)，發現當日射量及日均溫測值越高，葉萵苣植體內的硝酸鹽含量將越低。通常溫度的高低與日射量的多寡具有高度相關且能相互推估(Yao *et al.* 2002)，本研究亦發現日射量與硝酸鹽之曲線關係類似於溫度與硝酸鹽之曲線關係。由此可知，栽培期間若遇低溫及低日射量，葉菜類蔬菜將可能累積過多的硝酸鹽。Lycklama (1963)的研究指出，萵苣在低溫時較易吸收利用銨態氮多於硝酸態氮，在高溫 27°C 以上將轉而利用儲存

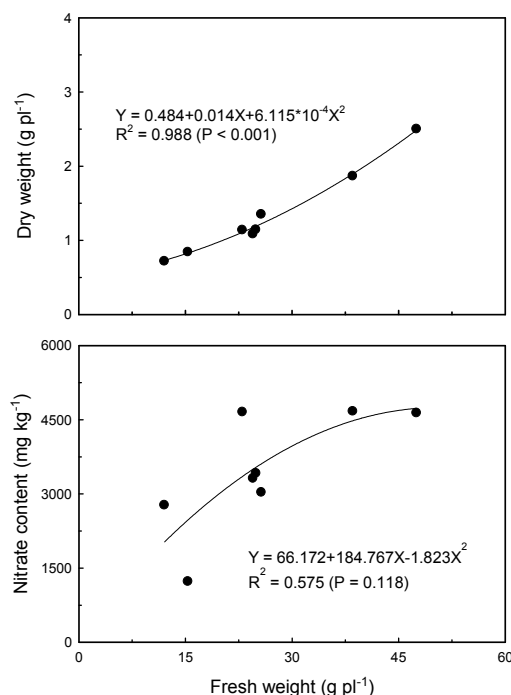


Fig. 2. Relationships between fresh weight and dry weight and nitrate content in plants of 'Ming Feng No. 3' lettuce (*Lactuca sativa*) grown under protected structure from May to October in 2012.

於液泡的硝酸態氮。本研究則進一步顯示高日射量及高溫下能促使硝酸鹽降低至 $1,226 \text{ mg kg}^{-1}$ ，因此生產者應當注意栽植期間的氣象環境變化，避免可能導致硝酸鹽累積的情形發生，或以人為方式調控適當環境條件。

一般在較冷涼的栽培季節可能引起過多的硝酸鹽累積於蔬菜植體內，因而影響食用安全品質，光照亦是觸發硝酸鹽同化作用的重要因子 (EFSA 2008, Samuolienė *et al.* 2009)。本研究乃於葉萵苣採收前提供藍光光照處理 (Fig. 4)，試驗結果顯示在相對較低溫度下種植的葉萵苣有超過 $4,500 \text{ mg kg}^{-1}$ 的硝酸鹽累積，惟經施予光照處理後可發現在 26°C 到 27°C 間將可降低 13.1% 至 17.3% 的硝酸鹽含量。顯見若能在冷涼季節搭配光照處理，將可降低硝酸鹽含量，然此現象於 28°C 以下才具有較佳效果。依據文獻報告，光照的刺激可促進光合作用進行，加速植體中硝酸鹽的同化作用，據悉乃相關於活化硝酸還原酶 (nitrate reductase; NR, EC 1.6.6.1) 來代謝硝酸鹽，合成胺基酸及蛋白質等成分供應生長所需 (Li and Oat 1995, Kumar 2003, Ohashi *et al.* 2006)。因此，本研究驗證了在冷涼季節下透過光照刺激而減少硝酸鹽累積的結果，對於露地及設施蔬菜栽培將具有應用上的參考價值。

綜合本研究的試驗結果，發現在較高氮肥施用量下，將可能同時促進葉萵苣硝酸鹽的生成及其同化速率而利用於株高、葉片數及乾物質等之生長表現。惟較高氮肥使用易於累積硝酸鹽，尤其在較低光照及溫度狀況下，硝酸鹽的累積情形將更形加劇。透過採收前的光照，可發現具有降低硝酸鹽含量的效果，將可應用於減少蔬菜植體硝酸鹽的加值處理。本系列研究未來將持續進行光照處理試驗，利用人工光源針對不同光波段、光輻射強度、光照期程等深入探討，以建構配合施肥技術及光環境之生產系統，推廣應用於生產健康安全蔬菜來回應國人食安需求。

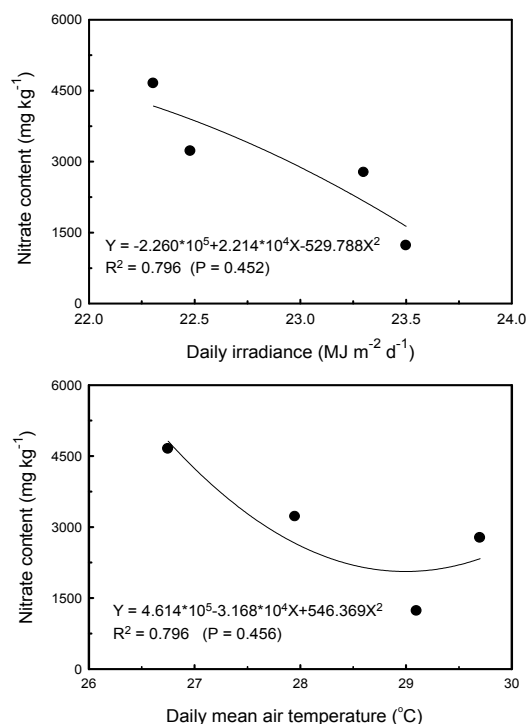


Fig. 3. Effects of daily irradiance and daily mean air temperature measured at one day before harvest on nitrate content in plants of 'Ming Feng No. 3' lettuce (*Lactuca sativa*) grown under protected structure from May to October in 2012.

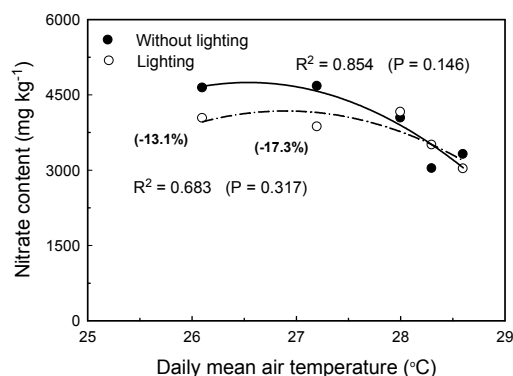


Fig. 4 Comparisons of the relationships between nitrate content and daily mean air temperature for plants of 'Ming Feng No. 3' lettuce (*Lactuca sativa*) treated with or without lighting with blue light LED (light-emitting diode) before dawn prior to harvest.

引用文獻

- EFSA (European Food Safety Authority) (2008) **EFSA J.** 689:1–79.
- Fageria NK, A Moreira (2011) The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. **Adv. Agron.** 110:251–331.
- He WS, SX Li, HT Li (1996) The impact of ammonium N to nitrate N ratio on crop growth. (in Chinese with English abstract) **J. Ningxia College Agric.** 7:16–19.
- Kumar SR (2003) Role of light in the regulation of the nitrate reductase level in Lentil (*Lens esculenta* L.). **Pak. J. Biol. Sci.** 6:1802–1807.
- Li XZ, A Oaks (1995) The effect of light on the nitrate and nitrite reductases in *Zea mays*. **Plant Sci.** 109:115–118.
- Li SX, ZH Wang, BA Stewart (2013) Responses of crop plants to ammonium and nitrate N. **Adv. Agron.** 118:205–397.
- Lycklama JC (1963) The absorption of ammonium and nitrate by perennial ryegrass. **Acta Bot. Neerl.** 12:361–423.
- Mengel K, M Viro, G Hehl (1976) Effect of potassium on uptake and incorporation of ammonium-nitrogen by rice plants. **Plant Soil** 43:479–486.
- Ohashi KK, K Goji, R Matsuda, K Fujiwara, K Kurata (2006) Effects of blue light supplementation to red light on nitrate reductase activity in leaves of rice seedlings. **Acta. Hort.** 711:351–354.
- Ohashi KK, M Takase, N Kon, K Fujiwara, K Kurata (2007) Effect of light quality on growth and growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatauna. **Environ. Control Biol.** 45:189–198.
- Samuolienė G, A Urbonavičiūtė, P Duchovskis, Z Bliznikas, P Vitta, A Zukauskas (2009) Decrease in nitrate concentration in leafy vegetables under a solid-state illuminator. **HortSci.** 44:1857–1860.
- Samuolienė G, A Brazaitytė, R Sirtautas, A Noičkovas, P Duchovskis. (2011) Supplementary red-LED lighting affects phytochemicals and nitrate of baby leaf lettuce. **J. Food Agric. Enciron.** 9:271-274.
- Wang Z, F Song, Z Xu (2011) Effects of red and blue light intensity on growth and quality of lettuce. (in Chinese with English abstract) **China Veget.** 16:44–49.
- Yao MH, S Chen, KS Chi, JC Tsai (2002) Estimating solar radiation from daily temperature data. (in Chinese with English abstract) **J. Agric. Res. China.** 51:73–83.