

遮陰對油菜生長及硝酸根離子含量之影響

黃盈潔¹⁾ 宋妤²⁾

關鍵字：油菜、遮陰、硝酸根離子、氮代謝

摘要：為瞭解採收前不同程度遮陰處理五天對油菜光合作用能力、植株生長情形及硝酸根離子累積的影響，選擇'青龍'、'文山'和'福祿甜'油菜進行本研究，於採收前不遮陰、50%及70%遮陰處理的平均光強度分別為911、574及224 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。隨著遮陰程度的增加，其淨光合作用速率 (Pn)有顯著的下降，碳水化合物含量減少，硝酸還原酶的活性降低，遮陰處理第3天即導致植體硝酸根離子的累積，隨著遮陰時間延長至第5天，硝酸根離子的累積更為明顯，70%遮陰處理'青龍'、'文山'和'福祿甜'油菜分別可達3029、6625及6505 mg/kg FW，且總可溶性蛋白的含量有顯著的降低。隨著遮陰程度的增加，於70%遮陰處理各品种植株鮮重與乾重有顯著的下降，分別減少了29~38%及38~51%，且有明顯的徒長現象。在品種的部分，'青龍'硝酸還原酶活性相對較高，遮陰處理累積的硝酸根離子較少，為低光強度下可栽培之品種。

前 言

近年來消費者對食品安全的議題愈來愈重視，硝酸根離子藉由食物被人體攝入後，其後續代謝產物如亞硝酸根離子會對人的身體健康產生不良的影響，造成一些疾病，如腸胃道的癌症和藍嬰症等。人體攝入的硝酸根離子主要來源有蔬菜、水和肉製品，蔬菜是最主要攝入的來源 (Santamaria, 2006)。食用蔬菜所攝入的硝酸根離子的量也取決於飲食習慣和蔬菜的調理，甚至可以高達人體總攝入量的85% (Gorenjak and Cencic, 2013)，因此蔬菜類的硝酸根離子含量被認為是重要的品質指標之一。

影響蔬菜硝酸根離子的吸收和累積有許多因素，如：遺傳、環境和栽培等因素，其中光照和氮肥施用已被確認為主要影響的因素 (Gorenjak and Cencic, 2013)。光對植體中氮代

1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。

2) 國立中興大學園藝學系教授，通訊作者。

謝具有直接性的影響，光照會影響硝酸還原酶的活性，而光合作用產生的碳水化合物可提供能量，使氮同化作用可順利進行下去。台灣地區葉菜類的生產以溫網室進行栽培，可能因為透光問題或採收前連續陰天，在環境光強度太低的情況下，植體光合作用能力減弱，硝酸還原酶活性降低，造成植體硝酸根離子無法代謝而累積的現象。蔬菜用油菜是台灣周年可栽培之重要短期葉菜類之一，本研究以油菜為試驗材料，調查採收前遮陰對其光合作用能力、生育表現及植體硝酸根離子含量之影響，建立安全蔬菜品質之栽培臨界光強度。

材料與方法

一、試驗材料

採用'青龍'(吉村種苗株式會社)、『文山'(誼禾種苗有限公司)和'福祿甜'(明豐種苗行)油菜為試驗材料，試驗於中興大學園藝學系蔬菜溫室區內進行。

二、試驗方法

(一)栽培管理

1. 試驗日期：2014年7月8日至8月7日，栽培時期日均溫為30.1°C，最高溫及最低溫分別為36.4°C及23.9°C。
2. 育苗和定植：於2014年7月8日進行育苗，將種子播於128格穴盤。在育苗10天後，長出兩片本葉時，以行株距10×10公分定植於含330 L介質的栽培箱(30×90×210公分)中，每盆約108株，介質為jiffy泥炭土：蛭石：珍珠石 (v:v:v) = 8:1:1。
3. 水分管理：栽培期間水分管理以人工方式使用灑水器澆灌，依據不同氣候和介質狀況進行調整。

(二)遮陰處理

油菜定植20天後，以50%和70%不同遮陰程度的遮陰網進行處理3天，以不遮陰為對照組，於處理第0天、第3天和第5天進行採收調查，每處理三重複，每重複採取1株調查植株生育性狀與硝酸根離子含量和硝酸還原酶之活性。

試驗期間平均日長為13小時，不遮陰處理平均光強度約為911 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，50%及70%遮陰處理分別約為574 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 及224 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

三、調查項目與分析方法

(一)植株生育性狀調查

1. 植株鮮重與乾重：將採樣的植株秤重，每株所得重量為其鮮重，單位為公克(g)。將採樣的植株放進紙袋，以100°C殺菁1小時，再放入70°C的烘箱烘乾至重量不再變化為止(約5天)，所得的重量為其乾重，每處理三重複，每重複1株。
2. 植株株高：測量植株自基部至最長之葉面長度，單位為公分(cm)。
3. 葉片數：計算已展開的葉片數。
4. 植株葉面積：以LI-COR 3100A (LI-COR, Lincoln Neb)葉面積儀測量所有展開的本葉之

葉面積，單位為平方公分 (cm²)。

5. 葉柄長/葉長：測量植株最長之葉柄與全葉 (葉柄與葉面)長度，再以葉柄長除以全葉長得到其比值。
6. 比葉面積 (SLA)：每株葉面積除以每株乾重，單位為 cm²/g。

(二)植株光合作用性狀調查

於遮陰處理第三天上午 9 點至 10 點半進行植株光合作用性狀調查，以攜帶式光合作用測定系統 (LCi portable photosynthesis system, ADC)測定，以葉夾夾取植株成熟展開葉，測定其淨光合作用速率 (Pn)、氣孔導度 (gs)、蒸散作用速率 (E)和葉片細胞間隙 CO₂濃度 (Ci)，每個處理測定 3 株，共三重複。測定期間平均葉溫為 31.7 ± 1.25°C。

(三)硝酸還原酶活性分析

採用 Jawoski (1971)之方法進行小部分修改，取植株之成熟葉片，避開主脈取 0.2 g 切碎成細條狀置於試管中，加入 5 ml 萃取液並置於黑暗中以 150 rpm 震盪 30 分鐘後，添加 1 ml 1% sulfamic acid (1g sulfamic acid 溶於 99 ml 的 3 M HCl)來中止反應，再添加 1 ml 的 0.02% N-(1-naphthyl ethylene) diamide HCl (SIGMA N5889)呈色劑，振盪後靜置 30 分鐘使其均勻呈色。以分光光度計 (U-2900, HITACHI)測量 540 nm 波長下之吸光值。每處理三重複，每重複取 1 株。以 KNO₂ 配製標準液，單位為 μmol NO₂⁻/hr/g Fw。

萃取液配製：5 ml 萃取液包含 2.5 ml 0.2 M KH₂PO₄ buffer pH7.5、0.25 ml 100% n-propanol、1.15 ml 去離子水、0.1 ml 0.05% Chloramphenicol 及 1 ml 0.1 M KNO₃，對照組以去離子水取代 KNO₃。

(四)氮代謝產物分析

1. 植體硝酸根離子含量分析

採用 Cataldo 等學者 (1975)的方法，取新鮮植株之成熟葉片，避開主脈取 2 g，加入液態氮以研鉢均勻磨碎後，添加 20 ml 去離子水，於 4°C 下以轉速 15000 rpm 高速離心 20 分鐘，利用 Miracloth (Merck)濾紙過濾後，取 0.1 ml 的濾液添加 0.4 ml 5% Salicylic acid (5 g Salicylic acid 溶於 95 ml 濃硫酸)震盪均勻，於室溫下靜置 20 分鐘後，再加入 4.5 ml 的 4.2 N NaOH 震盪均勻，靜置 30 分鐘後，呈黃色溶液，以分光光度計 (U-2900, HITACHI)測量波長 410 nm 下之吸光值，每處理三重複，每重複 1 株。標準液以 KNO₃ 配製，單位為 mg/kg FW。

2. 植體銨根離子含量分析

採用 Weatherburn 等學者 (1967)之方法，避開主脈取 2 g 新鮮植株之成熟葉片，加入液態氮以研鉢均勻磨碎後，添加 20 ml 0.3 mM H₂SO₄ (pH3.5)，於 4°C 以 15000 rpm 之轉速高速離心 20 分鐘，取 0.2 ml 上清液添加 3.8 ml 0.3 mM H₂SO₄，依序添加呈色劑 A 液及 B 液各 0.5 ml，並於 37°C 水浴震盪 20 分鐘，以分光光度計 (U-2900, HITACHI)測量 625 nm 波長下之吸光值，每處理三重複，每重複 1 株。標準液以 (NH₄)₂SO₄ 配製，單位為 mg/kg FW。

呈色劑配製：

A 液：秤取 0.5 g phenol 及 25 mg Sodium nitroprusside，加去離子水溶解後定量至 100 ml。

B 液：秤取 2.5 g NaOH，加入 40 ml 5% Sodium hypochlorite，以去離子水定量至 100 ml。

3. 總可溶性蛋白含量測定

將採收的植株樣品乾燥磨粉後，精稱 0.05 g 置於離心管中，加入 0.1 M 磷酸鈉緩衝溶液(pH7.0)，以 30°C 水浴震盪 2 小時，隨後於 25°C 下以 15000 rpm 之轉速高速離心 20 分鐘，之後利用 Miracloth (Merck) 濾紙過濾。其後採用 Lowry (1951) 之方法，取 0.2 ml 的濾液添加 1.8 ml 去離子水震盪均勻，加入 5 ml 反應液 A 震盪均勻，靜置 10 分鐘後再加入 0.5 ml 反應液 B 震盪均勻，靜置 30 分鐘後，以分光光度計 (U-2900, HITACHI) 測定 660 nm 波長之吸光值。標準曲線以 0.25 mg/ml BSA 配製，單位為 mg/g DW。

反應液配製：

反應液 A：取 2 g Na₂CO₃ 並溶於 1 ml K₂C₄H₄O₆ (2% potassium tartarate)、1 ml CuSO₄ (1% CuSO₄ · 5H₂O)、10 ml 1N NaOH 及 90 ml H₂O 之混合液中。

反應液 B：將 Folin reagent 及 H₂O 以 1:1 混合而成。

4. 游離胺基酸含量測定

採用 Rosen (1957) 之方法，以測定總可溶性蛋白之濾液取 0.2 ml 加入 0.8 ml 純水稀釋混合後，再加入 1 ml Nihydrin reagent (5 g ninhydrin, 95 g KH₂PO₄, 43 g KHPO₄, 3 g fructose 溶於 600 ml 去離子水中，再定量至 1 L)，於沸水中煮 10 分鐘，取出後迅速冷卻，再加入 5 ml color diluents (取 2 g KIO₃ 溶於 600 ml 去離子水中，再以 95% 酒精定量至 1 L) 並震盪均勻，以分光光度計 (U-2900, HITACHI) 測定 570 nm 波長之吸光值。標準曲線以 1 mM α-alanine 配製，單位以 μmol/g DW 表示。

(五) 碳水化合物分析

1. 全可溶性糖含量測定

採用 Yoshida (1976) 之方法，將採收的植株樣品乾燥磨粉後，精稱 0.1 g 置於 30 ml 離心管中，添加 10 ml 去離子水，以 30°C 水浴震盪 3 小時，隨後於 25°C 下以 15000 rpm 之轉速高速離心 10 分鐘，取出後以濾紙過濾。取 5 ml 上層濾液，添加 1 ml 6 N HCl，放入 70°C 水浴振盪 15 分鐘，取出後迅速冷卻。取 0.1 ml 溶液加入 1.9 ml 去離子水振盪均勻，加 0.1 ml liquid phenol 及 6 ml 濃硫酸，振盪均勻後，靜置 30 分鐘，以分光光度計 (U-2900, HITACHI) 測定 490 nm 波長之吸光值。標準液以 D-glucose 配製，單位為 mg/g DW。

2. 澱粉含量測定

將全可溶性糖離心後之殘渣於 70°C 烘乾 24 小時，添加 2 ml 去離子水並震盪均勻，於沸水中煮 15 分鐘，取出後迅速冷卻。加入 2 ml 9.2 N HClO₄ 震盪 15 分鐘，添加 6 ml 去離子水，隨後於 25°C 下以 15000 rpm 之轉速高速離心 10 分鐘。取 0.1 ml 溶液加入 1.9 ml 去離子水振盪均勻，液加 0.1 ml liquid phenol 及 6 ml 濃硫酸，振盪均勻後，靜置 30 分鐘，以分光光度計 (U-2900, HITACHI) 測定 490 nm 波長之吸光值。標準液以 D-glucose 配製，

單位為 mg/g DW。

四、統計分析

調查之數據採用 SAS 9.3 版套裝軟體 (SAS, Institute, Cary NC) 中之 ANOVA (Analysis of Variance) 進行變方分析 ($\alpha = 0.05$)，以 Fisher's LSD 進行各處理平均質之顯著差異性比較。

結 果

一、遮陰處理對油菜葉片光合作用能力的影響

油菜'青龍'、'文山'及'福祿甜'採收前以 50%和 70%的遮陰網進行遮陰處理 4 天，測量其光合作用特性，結果如表 1 所示，淨光合作用速率隨著遮陰程度的增加而遞減，各處理間淨光合作用速率有顯著性差異，'青龍'分別約為 21.37、14.97 及 7.75 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，'文山'分別約為 23.90、17.48 及 7.97 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，'福祿甜'分別約為 24.06、18.51 及 8.18 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。氣孔導度與蒸散作用速率則隨著遮陰程度的增加而遞減，'青龍'各處理間均無顯著差異；'文山'以 70%遮陰處理顯著降低；'福祿甜'的氣孔導度各處理間有顯著性差異，分別為 0.27、0.20 及 0.10 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，蒸散作用速率以 70%遮陰處理顯著降低。葉肉細胞間隙二氧化碳濃度則隨遮陰程度之增加而遞增，'青龍'和'福祿甜'於對照組顯著降低；'文山'各處理間有顯著性差異，分別為 70、163 及 242 ppm。

二、遮陰處理對油菜植株生育性狀的影響

油菜'青龍'、'文山'及'福祿甜'採收前以 50%和 70%遮陰網進行遮陰處理 5 天，不同遮陰程度對各品種油菜生育性狀影響如表 2 所示，'青龍'、'文山'及'福祿甜'植株生育性狀如鮮重、乾重、葉數和葉面積於對照組表現最佳，隨著遮陰程度的提升而其生育表現有所下降，70%遮陰處理生育表現最差。'青龍'及'文山'鮮重、乾重、葉數和葉面積於 50%遮陰處理時顯著的降低，'青龍'各處理鮮重分別為 46.3、31.2 及 28.7 g，乾重分別為 2.36、1.38 及 1.15 g，'文山'各處理鮮重分別為 50.7、39.9 及 31.6 g，乾重分別為 2.53、1.90 及 1.49 g；'福祿甜'鮮重、乾重、葉數和葉面積於 70%遮陰處理時顯著的降低，各處理鮮重分別為 38.8、35.3 及 27.5 g，乾重分別為 2.30、2.07 及 1.43 g。各品種鮮重、乾重和葉面積於 70%遮陰處理相較於對照組分別下降了 29~38%、38~51%及 30~39%。

'青龍'及'文山'株高在遮陰各處理間無顯著差異，約為 34.5~36.0 cm；'福祿甜'隨著遮陰程度的提升，株高則於 70%遮陰處理有顯著的下降，各處理株高分別為 34.0、33.2 及 31.7 cm。隨著遮陰程度的提升，各品種比葉面積有上升的趨勢，其中'青龍'於 70%遮陰處理有顯著的下降，各處理分別為 222.5、242.6 及 281.6 cm^2/g ，顯示遮處理葉片有變薄的現象；'文山'及'福祿甜'之比葉面積各處理間則無顯著差異。'青龍'、'文山'及'福祿甜'葉柄長/葉長的值隨著遮陰程度的提升而有所提高，各品種遮陰處理組顯著比對照組高，顯示遮陰處理植株有徒長現象。

表 1. 不同程度遮陰處理四天對油菜'青龍'、'文山'及'福祿甜'葉片淨光合作用速率 (Pn)、氣孔導度 (gs)、蒸散作用速率 (E)和葉片細胞間隙 CO₂濃度 (Ci)之影響。

Table 1. Effect of shading level for 4 days on leaf net photosynthesis rate (Pn), stomatal conductance (gs), transpiration rate (E) and leaf intercellular CO₂ concentration (Ci) of rape 'Dragon', 'Vincent' and 'Fluke sweet'.

品種	處理	Pn ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	gs ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Ci (ppm)
青龍	control	21.37 a ^z	0.21 a	2.48 a	165 b
	50%	14.97 b	0.18 a	2.00 a	225 a
	70%	7.75 c	0.12 a	1.81 a	247 a
文山	control	23.90 a	0.19 a	2.63 a	70 c
	50%	17.48 b	0.16 ab	2.22 a	163 b
	70%	7.97 c	0.08 b	1.34 b	242 a
福祿甜	control	24.06 a	0.27 a	3.23 a	152 b
	50%	18.51 b	0.20 b	2.93 a	182 ab
	70%	8.18 c	0.10 c	1.44 b	217 a

^zMeans within the same letters in a column for each cultivar are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

表 2. 不同程度遮陰處理五天對油菜'青龍'、'文山'及'福祿甜'植株生育性狀之影響。

Table 2. Effect of shading level for 5 days on the horticulture characteristic of rape 'Dragon', 'Vincent' and 'Fluke sweet'.

品種	處理	鮮重		乾重		葉面積		株高 (cm)	葉數 (片)	比葉面積 (cm ² /g)	葉柄長/ 葉長
		(g)	(%)	(g)	(%)	(cm ²)	(%)				
青龍	control	46.3 a ^z	(0) ^y	2.36 a	(0)	523.3 a	(0)	35.3 a	8.00 a	222.5 b	0.44 b
	50%	31.2 b	(32.6)	1.38 b	(41.5)	332.5 b	(36.5)	36.0 a	6.67 b	242.6 ab	0.57 a
	70%	28.7 b	(38.0)	1.15 b	(51.3)	321.7 b	(38.5)	35.0 a	6.00 b	281.6 a	0.58 a
文山	control	50.7 a	(0)	2.53 a	(0)	554.5 a	(0)	35.0 a	7.67 a	217.5 a	0.41 b
	50%	39.9 ab	(21.3)	1.90 b	(24.9)	430.5 ab	(22.4)	35.5 a	6.33 b	227.3 a	0.52 a
	70%	31.6 b	(37.7)	1.49 b	(41.1)	352.6 b	(36.4)	34.5 a	6.00 b	236.6 a	0.55 a
福祿甜	control	38.8 a	(0)	2.30 a	(0)	450.7 a	(0)	34.0 a	8.00 a	195.9 a	0.52 b
	50%	35.3 a	(9.0)	2.07 a	(10.0)	438.2 a	(2.8)	33.2 ab	7.33 a	212.4 a	0.57 a
	70%	27.5 b	(29.1)	1.43 b	(37.8)	317.1 b	(29.6)	31.7 b	6.33 b	223.1 a	0.61 a

^z Means within the same letters in a column for each cultivar are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

^y decreased yield (%) = (處理組-control)/control × 100.

三、遮陰處理對油菜葉片硝酸還原酶活性和各部位硝酸根離子含量的影響

採收前不同程度遮陰處理對油菜'青龍'、'文山'及'福祿甜'硝酸還原酶活性之影響如圖 1 所示，'青龍'硝酸還原酶活性顯著高於'文山'及'福祿甜'，分別為 21.03、12.18 及 11.72 $\mu\text{mol NO}_2^-/\text{hr/g FW}$ ，各品種硝酸還原酶活性之對照組均顯著高於 50% 及 70% 遮陰的處理組，其活性隨著遮陰程度的增加而降低，各處理間有顯著差異。'青龍'、'文山'及'福祿甜'分別於 50% 及 70% 遮陰處理中有顯著的下降，分別減少了 45~49% 及 90~91%。顯示各品種硝酸還原酶活性隨著遮陰程度增加，其下降的程度有相同趨勢。

採收前不同程度遮陰處理對油菜'青龍'、'文山'及'福祿甜'葉片與葉柄硝酸根離子含量隨時間變化之影響如圖 2 所示。'青龍'在遮陰處理第 0 天葉片硝酸根離子的含量於 70% 遮陰處理顯著較高，分別為 1013~1603 mg/kg，葉柄無顯著差異。遮陰處理第 3 天時，各部位硝酸根離子的含量隨著遮陰程度的增加而有增加的趨勢，葉片於 70% 遮陰處理中有顯著的增加，各處理分別為 1113、1325 及 1965 mg/kg，葉柄於各處理間無明顯差異，其含量約為 5384~6066 mg/kg。遮陰處理第 5 天趨勢與第 3 天相同，但硝酸根離子增加的趨勢更加明顯，葉片及葉柄於 70% 遮陰處理中有顯著的提升，葉片於各處理分別為 994、1343 及 3029 mg/kg，葉柄分別為 6155、6262 及 7799 mg/kg。

'文山'在不同程度遮陰處理下葉片與葉柄硝酸根離子含量隨時間變化之影響如圖 2 所示。'文山'在遮陰處理第 0 天葉片與葉柄硝酸根離子的含量於不同處理間均無顯著差異，顯示各處理間植株生長況狀相似，其中葉片含量約為 1760~1997 mg/kg，葉柄約為 4266~4692 mg/kg。遮陰處理第 3 天時，各部位硝酸根離子的含量隨著遮陰程度的增加而有所提升，葉片分別於 50% 及 70% 遮陰處理中有顯著的增加，各處理分別為 1336、2459 及 4221 mg/kg，葉柄於各處理間則無顯著差異，其含量約為 7369~8207 mg/kg。遮陰處理第 5 天，各部位硝酸根離子增加量更加明顯，葉片硝酸根離子含量於 70% 遮陰處理中有顯著上升，於各處理分別為 1783、2832 及 6625 mg/kg，葉柄於各處理間則無顯著差異，其含量約為 8548~9174 mg/kg。

'福祿甜'在不同程度遮陰處理下葉片與葉柄硝酸根離子含量隨時間變化之影響如圖 2 所示。'福祿甜'在遮陰處理第 0 天葉片與葉柄硝酸根離子的含量於不同處理間均無顯著差異，顯示各處理間植株生長況狀相似，葉片含量約為 1407~1981 mg/kg，葉柄約 4210~4742 mg/kg。遮陰處理第 3 天時，各部位硝酸根離子的含量隨著遮陰程度的增加而有所提升，葉片於 70% 遮陰處理中有顯著的增加，各處理分別為 1645、2081 及 4032 mg/kg，葉柄於各處理間則無顯著差異，其含量約為 7726~8660 mg/kg。遮陰處理第 5 天，各部位硝酸根離子增加量更加明顯，葉片硝酸根離子含量分別於 50% 及 70% 遮陰處理中有顯著上升，於各處理分別為 1435、2825 及 6505 mg/kg，葉柄於各處理間則無顯著差異，各處理含量約為 8425~9806 mg/kg。

在不同程度遮陰處理時間方面，各品種葉片與葉柄硝酸根離子含量隨時間變化的情形如圖 2 所示，油菜各品種葉片硝酸根離子隨遮陰時間的延長於對照組沒有顯著差異，但葉

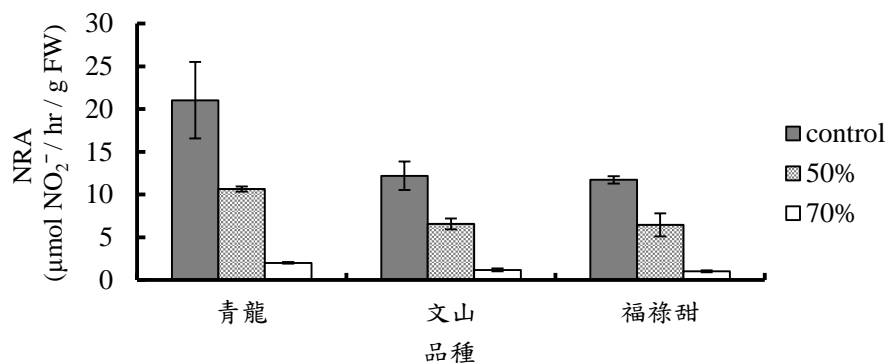


圖 1. 不同程度遮陰處理三天對油菜'青龍'、'文山'及'福祿甜'葉片硝酸還原酶活性(NRA)之影響。

Fig. 1. Effect of shading level for 3 days on nitrate reductase activity of rape 'Dragon', 'Vincent' and 'Fluke sweet'.

片遮陰處理組與葉柄各處理組則隨著處理時間的增加而上升，葉柄各處理於遮陰第3天有顯著上升，而葉片的部分，隨著遮陰程度的上升，硝酸根離子累積情形的程度越顯著，各品種的葉片於70%遮陰處理隨著時間延長有顯著的上升。

四、遮陰處理對油菜碳水化合物含量的影響

採收前不同程度遮陰處理對油菜'青龍'、'文山'及'福祿甜'總可溶性糖及澱粉含量之影響如表3所示，結果顯示遮陰處理5天各品種油菜碳水化合物隨著遮陰程度的增加而有所減少，'青龍'的總可溶性糖和澱粉含量於70%遮陰處理有顯著降低，各處理的總可溶性糖含量為24.8~38.1 mg/g DW，澱粉含量為14.8~29.2 mg/g DW，其中70%遮陰處理的可溶性糖相較於對照組減少了35%，澱粉則減少了49%。'文山'及'福祿甜'的總可溶性糖含量於50%遮陰處理時有顯著降低，'文山'各處理的總可溶性糖含量分別為32.7、26.8及25.9 mg/g DW，'福祿甜'分別為28.3、23.3及21.7 mg/g DW，其中'文山'及'福祿甜'的總可溶性糖含量於50%遮陰處理時相較於對照組均減少了18%，兩品種的總可溶性糖含量於70%遮陰處理時相較於對照組分別減少了21%及23%。'文山'的澱粉含量於70%遮陰處理時有顯著降低，各處理為17.6~24.5 mg/g DW，於70%遮陰處理時相較於對照組減少了24%；'福祿甜'的澱粉含量於50%遮陰處理時有顯著降低，各處理分別為23.3、19.8及19.1 mg/g DW，於50%及70%遮陰處理時相較於對照組分別減少了15%及18%。

五、遮陰處理對油菜氮代謝產物含量的影響

不同程度遮陰處理對油菜'青龍'、'文山'及'福祿甜'後續氮代謝產物銨根離子、游離胺基酸和總可溶性蛋白含量的影響如表3所示，結果顯示在遮陰處理5天各品種油菜隨著遮陰程度的增加，其銨根離子和游離胺基酸的含量有所增加，而總可溶性蛋白的含量則有減少的趨勢。'青龍'的銨根離子含量於50%及70%遮陰處理組中顯著高於對照組，相較於對照

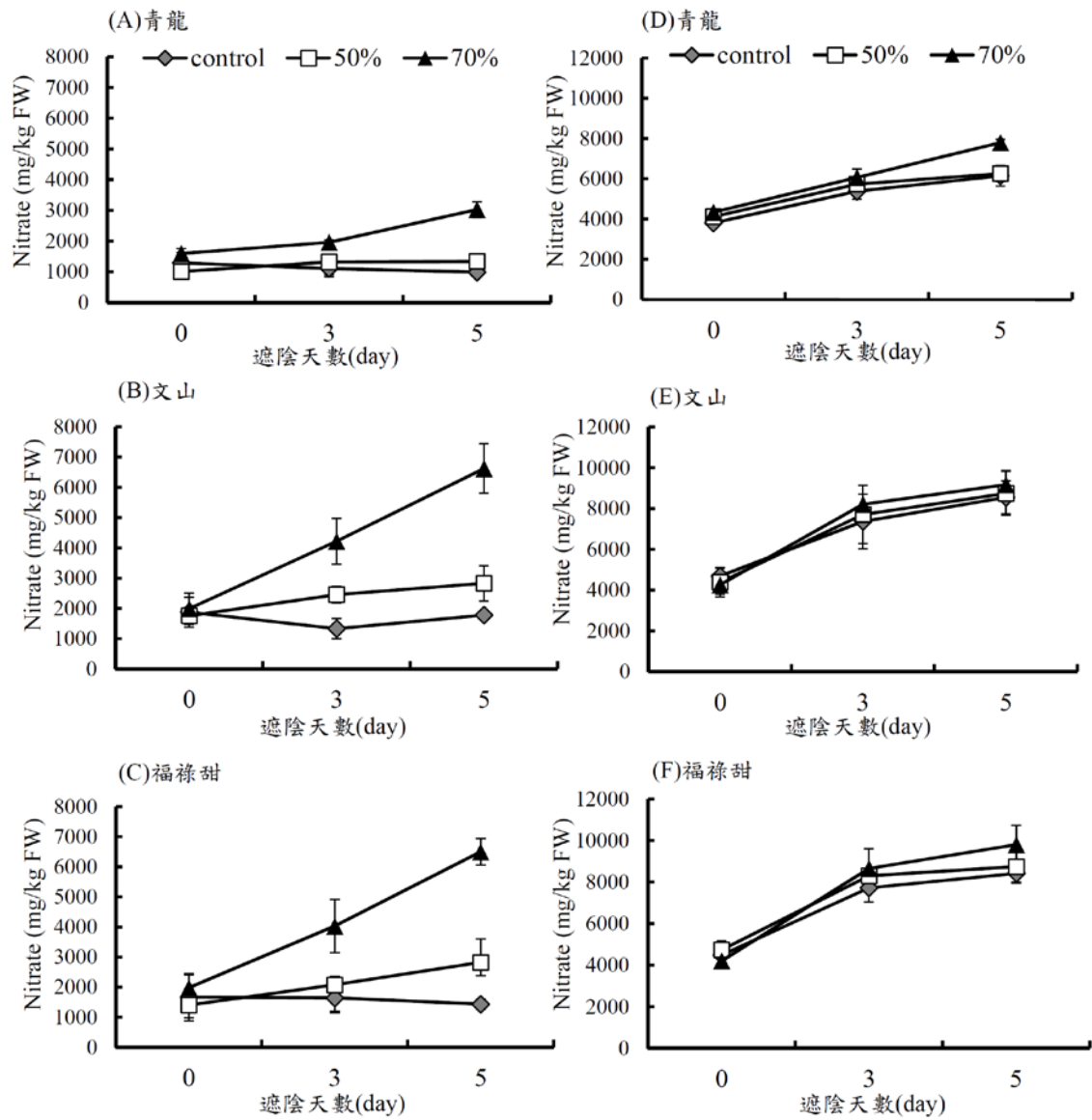


圖 2. 不同程度遮陰處理下'青龍'、'文山'及'福祿甜'葉片(A~C)與葉柄(D~F)硝酸根離子含量隨時間變化之情形。

Fig. 2. Effect of shading level and duration on the nitrate content of leaf (A~C) and petiole (D~F) in rape 'Dragon', 'Vincent' and 'Fluke sweet'.

組增加了 29~54%；'青龍'游離胺基酸的含量各處理間有顯著差異，其含量分別為 10.8、18.3 及 23.7 $\mu\text{mol/g DW}$ ，遮陰處理組相較於對照組增加了 69~119%；'青龍'的總可溶性蛋白含量於 70%遮陰處理中有顯著降低，各處理為 101.1~64.1 mg/g DW ，其中於 70%遮陰處理時相較於對照組降低了 37%。'文山'及'福祿甜'的銨根離子含量於 70%遮陰處理組顯著高於對照組，相較於對照組分別增加了 57%及 69%；兩品種游離胺基酸的含量於 70%遮陰處理組中顯著高於對照組，'文山'各處理為 15.9~27.3 $\mu\text{mol/g DW}$ ，'福祿甜'為 17.7~30.0 $\mu\text{mol/g DW}$ ，其中兩品種於 70%遮陰處理時相較於對照組分別增加了 72%及 69%；'文山'及'福祿甜'的總可溶性蛋白含量於 70%遮陰處理中有顯著降低，'文山'各處理為 75.2~92.2 mg/g DW ，'福祿甜'為 64.1~76.9 mg/g DW ，其中兩品種於 70%遮陰處理時相較於對照組分別降低了 18%及 17%。

整體而言，後續氮代謝產物如銨根離子、游離胺基酸及總可溶性蛋白，在採收前的遮陰處理中，隨著遮陰程度的增加對其造成的影響越大。

表 3. 不同程度遮陰處理五天對油菜'青龍'、'文山'及'福祿甜'總可溶性糖、澱粉、銨根離子、游離胺基酸及總可溶性蛋白含量之影響。

Table 3. Effect of shading level for 5 days on the total soluble sugar, starch, ammonium ion, free amino acid and total soluble protein content in rape 'Dragon', 'Vincent' and 'Flukesweet'.

品種	處理	總可溶性糖 (mg/g DW)	澱粉 (mg/g DW)	NH_4^+ ($\mu\text{g/g FW}$)	游離胺基酸 ($\mu\text{mol/g DW}$)	總可溶性蛋白 (mg/g DW)
青龍	control	38.1 a ²	29.2 a	26.7 b	10.8 c	101.1 a
	50%	37.3 a	28.2 a	34.5 a	18.3 b	94.6 a
	70%	24.8 b	14.8 b	41.2 a	23.7 a	64.1 b
文山	control	32.7 a	23.2 a	22.1 b	15.9 b	92.2 a
	50%	26.8 b	24.5 a	25.4 b	19.0 b	83.1 ab
	70%	25.9 b	17.6 b	34.8 a	27.3 a	75.2 b
福祿甜	control	28.3 a	23.3 a	30.9 b	17.7 b	76.9 a
	50%	23.3 b	19.8 b	35.9 b	17.9 b	74.3 a
	70%	21.7 b	19.1 b	52.1 a	30.0 a	64.1 a

²Means within the same letters in a column for each cultivar are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

討 論

一、光強度對油菜光合作用、碳水化合物及生育性狀之影響

光是影響植物生長和發育最重要的環境因子之一 (Fu *et al.*, 2012)，其中除了光質之外，光強度是影響植物生長、型態和生理作用的重要因子 (Fan *et al.*, 2013)。在低光強度條件下，植物的生長會受到抑制，通常隨著光照強度的提高，淨光合作用速率 (Pn) 有增加的趨勢，但過高的光強度將導致淨光合作用速率下降 (Fan *et al.*, 2013)。本試驗各品種油菜淨光合作用速率、氣孔導度與蒸散作用速率隨著遮陰程度的增加而遞減，其中淨光合作用速率各處理間有顯著差異，葉肉細胞間隙二氧化碳濃度則隨遮陰程度之增加而遞增，顯示光合作用能力會隨著光強度的上升而增加。

本試驗於遮陰處理 5 天各品種植株生育性狀如鮮重、乾重、葉數和葉面積於對照組表現最佳，隨著遮陰程度的提升而其生育表現有所下降，於 70% 遮陰處理各品種植株鮮重與乾重有顯著的下降，分別減少了 29~38% 及 38~51%。各品種油菜碳水化合物隨著遮陰程度的增加而有所減少，總可溶性糖和澱粉含量於 70% 遮陰處理有顯著降低，分別相較於對照組減少了 21~35% 及 18~49%，其中'青龍'的總可溶性糖和澱粉含量降低最多。Fan 等學者 (2013) 以 50~550 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 之不同光強度栽培番茄苗，以 300~550 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光強度處理植株的鮮乾重和莖徑均高於其他處理組，50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理為最低，而隨著光強度的提升，淨光合作用速率 (Pn) 有增加的趨勢，300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 處理達到最高。有學者研究於生長箱中以 100~800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的不同光強度栽培蘿蔓萵苣 (romaine lettuce) 對其產量和內含物之影響，試驗結果顯示於 100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照環境下的產量最低，400~600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的光照環境下有最高的產量，且隨著光照強度增加硝酸根離子的含量降低，而總可溶性糖含量顯著上升 (Fu *et al.*, 2012)。本實驗與前人研究結果有相同趨勢，證明若光強度不足會使植株葉片光合作用能力降低，造成碳水化合物的累積減少，進而影響生育表現和產量。

為了調節各種光環境，植物已經進化出許多機制，於低光照條件下，會使其莖部延長，葉片大小和構造及葉綠體的分佈和數量有所改變 (Zhang *et al.*, 2003)。Fan 等學者 (2013) 以 50~550 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 之不同光強度栽培番茄苗，試驗結果顯示隨著光強度的降低，植株高度和比葉面積 (SLA) 有上升的趨勢。本試驗在型態的部份，隨著遮陰程度的增加，各品種比葉面積 (SLA) 有增大的趨勢，且遮陰處理組葉柄長/葉長的值有顯著提高，顯示植株葉片變薄且有明顯的徒長現象。上述植株型態的改變有利於植物補獲較多光能來滿足光合作用需求，為植物對弱光環境的一種適應調節。

二、光強度對油菜硝酸根離子及氮代謝產物之影響

植物藉由光合作用合成碳水化合物，提供了氮代謝酵素能量及氮代謝物合成的碳骨架，以利氮代謝的進行 (Chen, 2004; Crawford, 1995)。硝酸還原酶為氮代謝的關鍵酵素，對植物體硝酸根離子的同化作用扮演重要的角色。植物體 C 和 N 的代謝是彼此互相調控的，光強度不足的環境下麩氨醯胺的累積會降低硝酸根離子的同化作用，但若同時供給蔗糖，此抑

制現象將解除 (Tischner, 2000), 因此光合作用產生的醣類是提高硝酸還原酶的活性及降低硝酸根離子累積的關鍵。

有學者以芥藍為材料進行不同遮陰程度與氮肥施用量處理, 試驗結果顯示在不施氮肥及 1 g/pot 氮肥之處理, 無論葉柄或葉片中硝酸根離子累積量均隨遮陰程度之增加而顯著增加, 其中 50% 遮陰處理葉片與葉柄硝酸根離子含量分別約為對照組的 2~4 倍及 2~6 倍之多 (郭, 1998)。另有有學者以萵苣為材料進行水耕栽培, 發現遮陰處理的萵苣葉片硝酸根離子含量比未遮陰處理高出許多, 兩者分別為 2902 和 1684 mg/kg (Liu and Yang, 2012)。本試驗各品種葉片硝酸根離子含量隨著遮陰程度的提升而有顯著的增加, 葉柄於各處理間則無顯著差異, 植體硝酸還原酶主要是在葉片進行硝酸根離子的同化作用, 而葉柄的功能以運輸為主, 故不同程度遮陰處理對葉片有較顯著的影響。由本實驗結果可知, 油菜植體中硝酸根離子累積量會因部位不同而有顯著差異, 葉柄含量比葉片高出 3~6 倍。植物體內各器官硝酸根離子累積量一般以莖葉中含量較高, 葉柄含量又較葉肉高, 因葉柄是大多數植物之轉運器官, 且當葉片同化能力低時, 將抑制其輸送至葉部, 而在葉柄中累積下來 (郭, 1998)。

各品種油菜葉片硝酸還原酶活性之對照組均顯著高於遮陰處理組, 其活性隨著遮陰程度的增加而有顯著降低, 各品種遮陰處理組硝酸還原酶活性比對照組降低了 45~91%。在遮陰處理 5 天各品種油菜隨著遮陰程度的增加, 其銨根離子和游離胺基酸的含量有所增加, 而總可溶性蛋白的含量則有減少的趨勢, 於 70% 遮陰處理各品種銨根離子和游離胺基酸的含量有顯著增加, 總可溶性蛋白的含量有顯著減少, 而各品種碳水化合物含量在 70% 遮陰處理有顯著的減少。有學者指出硝酸還原酶活性容易受到光照的調控, 在光強度較高的環境之下, 硝酸還原酶的基因表達受卡爾文循環的產物葡萄糖調節, 在光合作用提供的 NADH 影響下, 使其活性上升, 但若在低光強度的環境之下, 氮代謝的一些產物, 可能是麩氨醯胺 (glutamine) 對硝酸還原酶的轉錄造成負回饋抑制 (Lillo, 1994)。推測本試驗油菜在遮陰處理下植體硝酸根離子累積量主要受到硝酸還原酶活性降低的影響, 70% 遮陰處理下因碳水化合物減少導致後續氮代謝產物合成受阻而累積, 對硝酸還原酶的轉錄造成負回饋抑制, 硝酸根離子的同化作用因此受阻, 硝酸根離子累積程度更加明顯, 且使最終的氮代謝產物總可溶性蛋白的含量降低。

遮陰時間方面, 有學者指出萵苣的硝酸根離子含量在 85% 遮陰處理 24~48 小時之下沒有顯著影響 (Weightman *et al.*, 2006), 另一學者在採收前進行長期遮陰處理 10~14 天則有顯著影響 (Burns, 2000)。Liu 與 Yang 兩位學者 (2012) 則以葉萵苣為材料進行 50% 遮陰處理 5 天, 其葉柄和成熟葉硝酸根離子的含量有上升趨勢, 其中以成熟葉片增加較多。上述前人研究顯示萵苣若在遮陰之下, 其硝酸根離子累積程度隨著時間的增長而有所增加。本試驗油菜葉片和葉柄硝酸根離子含量隨著遮陰時間延長而有增加的趨勢, 葉片硝酸根離子含量在遮陰處理第 3 天即有所上升, 且硝酸根離子累積量會隨著遮陰程度的提升及處理時間的增加而更加明顯, 其中 70% 遮陰處理至第 5 天其含量可達 3029~6625 mg/kg FW 之

多。油菜採收前由於進入快速生長期，硝酸根離子吸收量會有所增加，故葉柄中的硝酸根離子於遮陰處理第3天有顯著上升，但增加程度沒有葉片來的多。

品種方面，各處理'青龍'硝酸還原酶活性顯著高於'文山'及'福祿甜'，故其硝酸根離子在光強度不足的環境下累積的量較少。顯示植物因遺傳關係，不同物種及品種硝酸還原酶活性及植體硝酸根離子累積量會有所不同 (Anjana *et al.*, 2007; 郭, 1998)。在內含物和生育表現的部分'青龍'與其他品種相比於70%遮陰處理5天碳水化合物含量下降的比較多，故70%遮陰處理5天因為碳水化合物不足導致後續氮代謝物如游離胺基酸合成受阻而累積較多，故總可溶性蛋白的含量下降較多，導致其鮮乾重於70%遮陰處理下降的最多。

整體而言，若於陰天環境下，光強度不足使植體光合作用能力降低，其所提供的碳骨架減少，且硝酸還原酶的活性降低，造成植體氮同化作用能力減弱，硝酸根離子因此而累積，且使總可溶性蛋白的含量降低，影響植株的生育表現，導致產量降低。

參 考 文 獻

- 郭忠吉、陳惠美、陳秀珠。1990。精緻蔬菜生產與光之管理。精緻蔬菜產銷改進研討會專集。pp. 81-89。
- 郭孚耀。1998。遮陰及氮肥對芥藍菜硝酸鹽累積之影響。台中區農業改良場研究彙報 58: 59-66。
- Anjana, S. U., I. Muhammad, and Y. P. Abrol. 2007. Are nitrate concentrations in leafy vegetables within safe limits? *Curr. Sci.* 92(3): 355-360.
- Burns, I. 2000. Development of a decision support system for nitrogen fertilizer application in glasshouse lettuce (LINK). Final report on project PC88a (LINK project LK 0438) to the Horticultural Development Council, East Malling, Kent.
- Chen, B. M., Z. H. Wang, S. X. Li, G. X. Wang, H. X., Song, and X. N. Wang. 2004. Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. *Plant Sci.* 167(3): 635-643.
- Crawford, N. M. 1995. Nitrate: nutrient and signal for plant growth. *Plant Cell* 7: 859-868.
- Fan, X. X., Z. G. Xu, X. Y. Liu, C. M. Tang, L. W. Wang, and X. L. Han. 2013. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Sci. Hortic.* 153: 50-55.
- Fu, W., P. Li, Y. Wu, and J. Tang. 2012. Effects of different light intensities on anti-oxidative enzyme activity, quality and biomass in lettuce. *Hort. Sci.* 39(3): 129-134.
- Hmelak G. A. and A. Cencič. 2013. Nitrate in vegetables and their impact on human health. A review. *Acta Aliment.* 42(2): 158-172.

- Lillo, C. 1994. Light regulation of nitrate reductase in green leaves of higher plants. *Physiol. Plant.* 90: 616-620.
- Liu, K. W. and Q. C. Yang. 2012. Effects of short-term treatment with various light intensities and hydroponic solutions on nitrate concentration of lettuce. *Acta. Agr. Scand. B-S P.* 62(2): 109-113.
- Tischner, R. 2000. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. *Plant Cell Environ.* 23: 1005-1024.
- Weightman, R., C. Dyer, J. Buxton, and D. Farrington. 2006. Effects of light level, time of harvest and position within field on variability of tissue nitrate concentration in commercial crops of lettuce (*Lactuca sativa*) and endive (*Cichorium endiva*). *Food Addit. Contam.* 23(5): 462-469.
- Zhang, S., K. Ma, and L. Chen. 2003. Response of photosynthetic plasticity of *Paeonia suffruticosa* to changed light environments. *Environ. Exp. Bot.* 49(2): 121-133.

Effect of Shading on the Growth and Nitrate Content in Rape (*Brassica napus* L.)

Ying-Chieh Huang ¹⁾ Yu Sung ²⁾

Key words: Rape, Shade, Nitrate ions, Nitrogen metabolism

Summary

The study investigated the effects of shading before harvest on the plant growth, nitrate content and rate of photosynthesis. Three *Brassica napus* cultivars 'Dragon', 'Vincent' and 'Fluke sweet' grown under 0%, 50% and 70% shade for five days before harvest, which were equivalent to 911, 574 and 224 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectively. With an increasing degree of shade, the net photosynthetic rate (Pn) were significantly decreased, and the carbohydrate content and nitrate reductase activity were also reduced. After three days of shading, nitrate was seen to accumulate in the plants, and the nitrate accumulation was more significant after five days of shading. Under 70% of shade, the nitrate contents in 'Dragon', 'Vincent' and 'Fluke sweet' were increased to 3029, 6625 and 6505 mg/kg FW, respectively, and the total soluble protein contents were significantly decreased. With an increasing degree of shade, the fresh and dry weights decreased under 70% of shade, they were reduced by 29-38 % and 38-51%, respectively. In addition, a significant leggy phenomenon was also observed. The nitrate content of 'Dragon' was lower than the contents of the other two cultivars in the shading experiment due to its greater nitrate reductase activity in comparison with that of the other two cultivars.

1) Student in M.S. Program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University. Corresponding author.