

淹水天數對不同生育期胡麻品種臺南 1 號 之生理及生長影響¹

黃涵靈、李宗穎²

摘 要

黃涵靈、李宗穎。2020。淹水天數對不同生育期胡麻品種臺南 1 號之生理及生長影響。臺南區農業改良場研究彙報 75：23-33。

胡麻 (*Sesamum indicum* L.) 為國內主要的油料作物之一，目前臺灣主要栽培品種為臺南 1 號，但該品種不耐淹水，雨季易造成胡麻植株淹水死亡，為了解淹水逆境對於胡麻臺南 1 號各生育期之生理及生長影響，本研究以盆栽試驗方式進行，於胡麻臺南 1 號苗期、開花初期、開花後期及蒴果充實期進行淹水 1 天、2 天、3 天、5 天及未淹水 (對照組) 處理，並調查光合作用生理反應、葉綠素螢光反應及生長反應。結果發現於光合作用生理反應方面，隨著淹水天數增加，植株光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率顯著降低，而苗期及開花初期降低程度更顯著；於葉綠素螢光反應方面，淹水逆境對於葉綠素螢光參數影響較不明顯；於生長方面，隨淹水天數增加，苗期及開花初期之葉綠素含量、相對生長速率、株高、單株蒴果數、單株種子產量及種子千粒重等顯著降低，而於開花後期及蒴果充實期則使單株種子產量顯著降低，影響程度較苗期及開花初期小。綜合各項生理及生長表現，顯示淹水逆境對於苗期及開花初期之影響較開花後期及蒴果充實期明顯，且淹水 2 天即造成各項調查指標發生急劇變化，為淹水逆境影響關鍵敏感時期。

現有技術：目前對臺灣現有主要栽培品種臺南 1 號之淹水逆境相關研究缺乏，僅以田間栽培管理經驗觀察該品種不耐淹水逆境。

創新內容：調查不同淹水天數對於胡麻臺南 1 號不同生育期之生理及生長影響，並發現苗期及開花初期為淹水逆境對胡麻臺南 1 號關鍵敏感生育期。

對產業影響：可作為淹水災害發生時對胡麻不同生育期之產量影響評估之參考，以及災害預防之研究基礎。

關鍵字：胡麻、淹水逆境、生育期、光合作用速率、葉綠素螢光

接受日期：2020 年 2 月 15 日

1. 行政院農業委員會臺南區農業改良場研究報告第 516 號。

2. 行政院農業委員會臺南區農業改良場助理研究員、研發替代役。712 臺南市新化區牧場 70 號。

前 言

胡麻 (*Sesamum indicum* L.) 為國內主要的油料作物之一，每年胡麻種子需求量達 40,000 公噸以上，於 107 年國內栽培面積為 2,122 公頃，現有胡麻栽培品種以臺南 1 號為主，其為臺南區農業改良場於民國 85 年育成⁽²⁾，為黑色種皮且具產量高及風味佳等特性；臺灣夏季氣候高溫多雨，每年 5、6 月為梅雨季節，7~9 月為颱風季節，且因近來因氣候變遷影響，強降雨日數增加，而臺灣胡麻一年可栽種兩個期作，各生育期皆可能面臨降雨影響，每逢雨季即容易因豪雨造成胡麻植株淹水死亡或生長不良，並嚴重影響產量，對產業影響甚鉅，依據國外研究報告指出⁽⁶⁾，不同胡麻品系對於胡麻耐淹水性有差異，且不同生育期的胡麻對於淹水逆境的危害反應亦不同^(1,5)。植物在面對淹水逆境時，在生理反應方面，會使氣孔關閉，降低氣孔導度及蒸散作用速率以減少水分的散失，但同時光合作用速率也會降低^(14,15)，亦可能會影響葉片的光系統 II，使葉綠素螢光參數 Fv/Fm (光系統 II 最大光效能)、qP (非光化學淬滅) 及 ETR (電子傳遞鏈速率) 等降低^(8,12,16)，而生長表現方面，可能會使葉綠素含量降低及葉片脫落、同時可能因光合產物累積減少，使植株產量顯著降低，而為了解淹水逆境對作物的影響，透過調查植物生理及生長表現可了解不同作物面對淹水逆境之反應差異。

本研究主要目的即探討不同淹水天數對於胡麻臺南 1 號品種在不同生育期的光合作用生理及葉綠素螢光生理之反應，以及對於生長和產量之影響，進而了解淹水逆境主要影響胡麻之關鍵期，可作為後續胡麻災害預防及災害影響評估之參考。

材料與方法

一、試驗材料：胡麻品種臺南 1 號

二、試驗方法

1. 栽植及試驗處理方法：於 2019 年春季在臺南市新化區進行盆栽試驗，以 8 吋盆 (直徑 24 公分，高 23 公分) 進行栽植，栽培介質為田間土與泥炭介質土 (1:4) 混合物，每盆種植 1 株，於播種後 14 天開始每個禮拜澆灌 500 mL 已稀釋 1,000 倍之易樂施 1 號水溶液 (N-P-K 20-20-20, Peters Fertilizer Products, WR Grace & Company)，分別於苗期 (播種後第 22 天)、開花初期 (播種後第 36 天)、開花後期 (播種後第 53 天) 及蒴果充實期 (播種後第 65 天) 進行不同天數的淹水處理，淹水處理包括淹水 1 天、2 天、3 天、5 天及未淹水 (對照組)，每處理設置 5 重複，每重複為 1 個盆栽 (植株數為 1 株)，淹水方式為將盆栽置於 20 公升水桶，將水淹蓋過盆栽土面 3 公分以上。
2. 植株生長及產量性狀調查：
 - (1) 株高相對生長速率：調查淹水處理後，移出淹水環境當日和第 3 天植株主莖高度，然後計算株高的相對生長速率 $RGR = (\text{當日的植株株高} - \text{第 3 天的植株株高}) / 3$ ，單位 cm day^{-1} 。
 - (2) 葉片葉綠素含量：以葉綠素計 (SPAD 502-plus, Minolta Camera Co. Ltd., Japan) 測量淹水處理後第 3 天完全展開葉之葉綠素計讀值。
 - (3) 株高：植株成熟可採收時期測量，測量子葉節至主莖莖頂的高度，並計算相對株高 $= (\text{處理組株高} / \text{對照組平均株高}) \times 100\%$ 。

- (4)單株蒴莢數：植株成熟可採收時期測量，測量單株蒴莢數，並計算相對單株蒴莢數 = (處理組單株蒴莢數 / 對照組平均單株蒴莢數) × 100%。
- (5)單株種子產量：蒴果成熟之飽滿籽粒曬乾後，種子水分 8% 以下，測量單株種子重，並計算相對單株蒴莢數 = (處理組單株種子產量 / 對照組平均單株種子產量) × 100%。
- (6)種子千粒重：蒴果成熟之飽滿籽粒曬乾後，種子水分 8% 以下，隨機選取 1,000 顆種子秤重，並計算相對種子千粒重 = (處理組種子千粒重 / 對照組種子千粒重) × 100%。
3. 植株光合作用生理反應分析：淹水處理後第 0 和 5 天，以攜帶式光合作用測定系統 (Li-6800, Li-cor, USA) 測量植株葉片之氣體交換，葉片選取完全展開葉，測定時控制 PAR (photosynthetic active radiation, 400 ~ 700 nm) 為 1,300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，飽和蒸氣壓差為 1.1 ~ 1.3 kPa，二氧化碳濃度為 400 ppm，測量該條件下的淨光合作用速率 (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)、氣孔導度 (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)、蒸散作用速率 (E, $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)。
4. 植株葉綠素螢光反應分析：處理後第 0 和 3 天，各處理植株選取完全展開葉以暗適應葉片夾進行暗馴化 30 分鐘，後以葉綠素螢光測定儀 (Mini-PAM, Waltz, Germany) 測量植株葉片之葉綠素螢光參數^(9,10,13)，其利用暗馴化下所測得之最大螢光值 (Fm) 及最小螢光值 (Fo)、光照下所測得之最大螢光值 (Fm') 及最小螢光值 (Fo') 以及光照下葉片本身釋放之螢光值 (Ft) 等數值計算下列參數：
- (1) Fv/Fm (Maximum quantum yield of PSII)：代表光系統 II 最大光效能，為暗馴化後葉片光系統 II 光化學的最高量子效率，計算公式為 $Fv/Fm = (Fm - Fo) / Fm$ 。
- (2) qP (photochemical quenching)：代表光適應葉片之光化學消散，計算公式為 $qP = (Fm' - Ft) / (Fm' - Fo)$ 。
- (3) qN 和 NPQ (non-photochemical quenching)：qP 和 NPQ 皆代表葉片之非光化學消散，一般以熱能和螢光方式消散，其中不考慮 Fo 情況下之光化學消散以 NPQ 表示，計算公式為 $qN = (Fm - Fm') / (Fm - Fo)$ 、 $NPQ = (Fm - Fm') / (Fm')$ 。

三、統計分析

利用 SAS 軟體 (SAS Institute Inc., USA) 的一般線性模式 (GLM, general linear model) 進行變方分析 (ANOVA)，檢驗各性狀在不同生育期淹水試驗處理間是否有顯著性差異，再以最小顯著差異性測驗 (Least significant difference, LSD) 檢驗兩兩之平均數差異。

結果與討論

一、淹水處理對胡麻品種臺南 1 號植株光合作用生理之影響

在植物光合作用生理調查結果顯示，淹水逆境會使胡麻臺南 1 號植株之光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率均顯著降低 (表 1)，植物面對淹水逆境時，根系於缺氧狀態下，限制植株根部吸收水分，植物為減少水分的散失，會使氣孔關閉，進而使氣孔導度及蒸散作用速率降低，但同時光合作用速率也降低⁽¹¹⁾，淹水處理天數越長，對胡麻臺南 1 號之光合作用生理影響越大，其中不同生育期對於淹水天數之反應程度不同，

表 1. 胡麻品種臺南一號始花期在不同淹水天數處理下之完全展開葉之淨光合作用速率 (A)、氣孔導度 (g_s)、蒸散速率 (E)

Table 1. Effects of different water-logging days on photosynthetic rate (A), stomatal conductance (g_s), transpiration rate (E) of sesame variety "Tainan No.1"

生育期 Stage	淹水處理天數 Treatment	淹水處理後第 0 天 (0 day after treatment)			淹水處理後第 5 天 (5 days after treatment)		
		A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	g _s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	g _s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
苗期 Juvenile	CK	24.81 ± 0.72a ^x	1.2 ± 0.12a	6.77 ± 0.7a	25.29 ± 0.34a	1.12 ± 0.08a	6.86 ± 0.39a
	1day	21.57 ± 1.55a	0.8 ± 0.17a	6.27 ± 0.7a	24.16 ± 1.25a	0.81 ± 0.17a	6.41 ± 1.00a
	2day	ND	ND	ND	4.16 ± 0.54b	0.02 ± 0.01b	0.23 ± 0.06b
	3day	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	5day	ND	ND	ND	-y	-	-
開花初期 Early bloom	CK	28.00 ± 0.53a	1.11 ± 0.11a	6.80 ± 1.67a	25.64 ± 0.69a	0.95 ± 0.05a	6.52 ± 0.65a
	1day	22.43 ± 1.25b	0.37 ± 0.06b	3.71 ± 0.43b	21.26 ± 0.89b	0.46 ± 0.08b	4.48 ± 0.52b
	2day	8.27 ± 1.16c	0.07 ± 0.01c	0.81 ± 0.08c	ND	ND	ND
	3day	3.62 ± 1.34d	0.03 ± 0.01c	0.33 ± 0.16c	ND	ND	ND
	5day	NDz	ND	ND	-	-	-
開花後期 Late bloom	CK	20.38 ± 1.08a	0.40 ± 0.03a	4.40 ± 0.43a	12.54 ± 1.01a	0.44 ± 0.09a	3.75 ± 0.65a
	1day	14.36 ± 0.67b	0.18 ± 0.05b	2.10 ± 0.45b	11.18 ± 0.77a	0.39 ± 0.08ab	4.06 ± 0.81a
	2day	13.09 ± 0.60b	0.16 ± 0.02b	1.75 ± 0.21b	9.88 ± 0.64a	0.22 ± 0.04b	2.64 ± 0.66a
	3day	13.09 ± 1.51b	0.16 ± 0.04b	1.76 ± 0.43b	9.82 ± 0.87a	0.21 ± 0.02b	2.30 ± 0.17a
	5day	1.31 ± 0.90c	0.01 ± 0.01c	0.14 ± 0.11c	-	-	-
蒴果充實期 Capsule ripening	CK	13.04 ± 1.10a	0.24 ± 0.06a	2.80 ± 0.59a	9.05 ± 0.82a	0.26 ± 0.05a	3.59 ± 0.75a
	1day	11.13 ± 1.66a	0.16 ± 0.05ab	1.91 ± 0.45a	5.84 ± 0.60a	0.16 ± 0.06a	2.21 ± 0.78a
	2day	12.23 ± 1.01a	0.15 ± 0.02ab	1.91 ± 0.13a	5.71 ± 0.54a	0.15 ± 0.03a	2.26 ± 0.59a
	3day	14.23 ± 0.82a	0.27 ± 0.07a	2.66 ± 0.35a	5.96 ± 1.62a	0.16 ± 0.04a	2.02 ± 0.50a
	5day	0.55 ± 0.43b	0.03 ± 0.01b	0.97 ± 0.67a	-	-	-

^x Each value represents the mean ± SE. Different letters between treatments in the same growth stage indicate significant differences (P < 0.05).

^y “-” means no measure data.

^z “ND” means measure data not detected.

苗期及開花初期對於淹水逆境反應相近且較敏感，淹水 1 天處理即會造成苗期及開花初期光合作用速率、氣孔導度降低，但影響程度較輕微，而淹水 2 天處理則為影響急遽變化轉折點，淹水 2 天即造成苗期及開花初期之光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率降低至對照組的 50% 以下，縱使植株移出淹水環境後至第五天，淹水 2 天以上各處理組之光合作用速率、氣孔導度等仍無法回復，且苗期和開花初期之淹水 2 天以上處理組可能因葉片蒸散作用及氣孔導度過低而無法檢測出正常值。相較於苗期及開花初期，開花後期及蒴果充實期則於淹水 5 天處理組之光合作用速率及氣孔導度才降低至對照組 50% 以下，顯示淹水逆境對於該兩個生育期影響較苗期及開花初期小。此外，淹水 5 天處理組於淹水處理後第五天皆造成各生育期之葉片明顯脫落或嚴重萎縮，以致無法進行光合作用生理測量。

二、淹水處理對胡麻品種臺南 1 號植株葉綠素螢光反應之影響

透過葉綠素螢光參數的測量，可以非破壞性的方式直接快速了解逆境對於作物的影響程度，而葉綠素螢光參數包含 Fv/Fm、qP、qN 和 NPQ 等，其中 Fv/Fm (Maximum quantum yield of PSII) 可作為光系統將吸收的光能用於光合作用的最大效率，故常被作為評估耐逆境生理指標⁽¹³⁾，qP (photochemical quenching) 可表示光能使用於光化學作用的比例，qN 和 NPQ (non-photochemical quenching) 則可代表光能不用於光化學消散而以熱能消散的部分，而植物在逆境環境下常會造成 Fv/Fm、qP 值下降，qN、NPQ 上升^(4,8)；本研究結果顯示，於移出淹水環境後當日（淹水處理後第 0 天），各不同淹水天數處理對於苗期、開花初期及開花後期之 Fv/Fm 影響不顯著（表 2），僅於蒴果充實期之淹水 5 天處理組 Fv/Fm 顯著低於對照組，而於淹水處理後第 3 天，隨著淹水天數的增加會使各生育期 Fv/Fm 和 qP 逐漸降低，但降低程度不明顯，苗期和開花初期淹水超過 5 天處理才與對照組之間有顯著性差異（表 2）；而隨著淹水天數增加會使開花初期之 qN 和 NPQ 下降，有研究指出通常在逆境下，qN 和 NPQ 的增加說明植株面對逆境時會以增加非光化學消散方式（如熱能），以減輕逆境情況下過多的光能對光系統的傷害，但隨著淹水逆境的時間延長，植株的正常生理功能受到嚴重傷害，反而可能會使熱能的耗散能力逐漸喪失，而造成 qN 和 NPQ 下降⁽³⁾，故顯示淹水逆境可能已造成胡麻開花初期之植株光系統嚴重傷害，使 qN 和 NPQ 下降。綜合各生育期於不同淹水天數處理情況下，各性狀中以植株之葉綠素螢光參數變化較不顯著。

三、淹水處理對胡麻品種臺南 1 號植株生長及產量之影響

在植株生長表現方面，隨著淹水天數越長，胡麻植株之葉綠素含量越低（表 3），其中胡麻於苗期及開花初期之變化更顯著（圖 1）；淹水逆境亦顯著使苗期及開花初期之相對生長速率降低，而開花後期及蒴果充實期因生育後期植株主莖生長減緩，所以淹水逆境對生育後期之相對生長速率影響不大。於產量性狀調查結果顯示，短期淹水 1 天處理不影響各生育期之產量表現，但隨著淹水天數增加，苗期及開花初期之株高、單株蒴果數、單株種子產量及種子千粒重顯著降低（表 3），淹水超過 2 天以上，各產量性狀即顯著低於對照組，其中淹水 2 天即已造成單株種子產量減產至約 20%，淹水超過 3 天更造成單株種子產量減產至 5% 以下或無產量（圖 1），顯示淹水 2 天為淹水逆境對苗期及開花初期之影響關鍵敏感時期，而苗期之淹水 3 天及 5 天處理組之植株於採收時已明顯乾燥死亡，故無產量相關性狀之調查數據；而不同淹水天數處理對於開花後期及蒴果充實期之株高、單株蒴果數及種子千粒重沒有顯著影響，但會使單株種子產量顯著

表 2. 胡麻品種臺南 1 號不同生育期在不同淹水天數處理下之葉綠素螢光參數
 Table 2. Effects of different water-logging days on chlorophyll fluorescence parameters of sesame variety 'Tainan No.1'

生育期 Stage	淹水處理後第 0 天 (0 day after treatment)				淹水處理後第 3 天 (3 days after treatment)				
	Treatment	Fv/Fm	qP	qN	NPQ	Fv/Fm	qP	qN	NPQ
苗期 Juvenile	CK	0.835 ± 0.003a ^x	0.777 ± 0.021a	0.021 ± 0.003a	0.018 ± 0.002a	0.837 ± 0.004a	0.783 ± 0.027a	0.026 ± 0.004a	0.022 ± 0.003a
	1day	0.840 ± 0.002a	0.809 ± 0.034a	0.018 ± 0.001a	0.015 ± 0.001a	0.835 ± 0.003a	0.769 ± 0.022a	0.023 ± 0.004a	0.020 ± 0.003a
	2day	0.831 ± 0.006a	0.801 ± 0.013a	0.015 ± 0.003a	0.013 ± 0.002a	0.809 ± 0.008a	0.792 ± 0.018a	0.021 ± 0.006a	0.018 ± 0.005a
	3day	0.795 ± 0.011a	0.851 ± 0.026a	0.025 ± 0.007a	0.019 ± 0.005a	0.769 ± 0.031a	0.763 ± 0.032a	0.023 ± 0.010a	0.019 ± 0.008a
	5day	0.699 ± 0.076a	0.754 ± 0.015a	0.009 ± 0.005a	0.008 ± 0.004a	0.557 ± 0.137b	0.651 ± 0.052b	0.039 ± 0.012a	0.017 ± 0.002a
開花初期 Early bloom	CK	0.844 ± 0.003a	0.672 ± 0.074a	0.032 ± 0.006a	0.028 ± 0.005a	0.844 ± 0.003a	0.801 ± 0.014a	0.044 ± 0.003a	0.038 ± 0.003a
	1day	0.850 ± 0.002a	0.740 ± 0.047a	0.021 ± 0.005ab	0.018 ± 0.005ab	0.844 ± 0.004a	0.793 ± 0.008a	0.042 ± 0.004a	0.037 ± 0.003a
	2day	0.841 ± 0.006a	0.802 ± 0.020a	0.019 ± 0.003ab	0.016 ± 0.003b	0.812 ± 0.005ab	0.814 ± 0.012a	0.020 ± 0.004b	0.017 ± 0.003b
	3day	0.834 ± 0.005a	0.764 ± 0.044a	0.017 ± 0.003b	0.014 ± 0.002b	0.819 ± 0.004ab	0.774 ± 0.006a	0.003 ± 0.001c	0.002 ± 0.001c
	5day	0.832 ± 0.005a	0.730 ± 0.013a	0.009 ± 0.005b	0.008 ± 0.004b	0.779 ± 0.029b	0.461 ± 0.043b	0.019 ± 0.004b	0.014 ± 0.002b
開花後期 Late bloom	CK	0.769 ± 0.017a	0.745 ± 0.026a	0.051 ± 0.017a	0.041 ± 0.013a	0.740 ± 0.037a	0.794 ± 0.026ab	0.097 ± 0.066a	0.092 ± 0.070a
	1day	0.786 ± 0.011a	0.773 ± 0.010a	0.038 ± 0.013a	0.031 ± 0.011a	0.741 ± 0.035a	0.754 ± 0.015ab	0.027 ± 0.007a	0.020 ± 0.005a
	2day	0.759 ± 0.014a	0.780 ± 0.007a	0.051 ± 0.020a	0.040 ± 0.016a	0.746 ± 0.030a	0.732 ± 0.021ab	0.032 ± 0.008a	0.024 ± 0.005a
	3day	0.765 ± 0.009a	0.757 ± 0.009a	0.030 ± 0.004a	0.023 ± 0.003a	0.720 ± 0.010a	0.695 ± 0.015bc	0.022 ± 0.001a	0.016 ± 0.000a
	5day	0.665 ± 0.084a	0.651 ± 0.036b	0.070 ± 0.026a	0.046 ± 0.019a	0.686 ± 0.037a	0.653 ± 0.035c	0.026 ± 0.006a	0.018 ± 0.004a
蒴莢充實期 Capsule ripening	CK	0.770 ± 0.010a	0.781 ± 0.007a	0.021 ± 0.001b	0.016 ± 0.001b	0.768 ± 0.004a	0.760 ± 0.008a	0.021 ± 0.007b	0.017 ± 0.006a
	1day	0.776 ± 0.008a	0.796 ± 0.007a	0.022 ± 0.005b	0.017 ± 0.004b	0.677 ± 0.036a	0.721 ± 0.036a	0.039 ± 0.009b	0.026 ± 0.006a
	2day	0.738 ± 0.012a	0.773 ± 0.008a	0.035 ± 0.004b	0.027 ± 0.004ab	0.686 ± 0.031ab	0.669 ± 0.028ab	0.025 ± 0.005b	0.017 ± 0.003a
	3day	0.767 ± 0.023a	0.788 ± 0.014a	0.044 ± 0.010b	0.035 ± 0.009ab	0.563 ± 0.067bc	0.588 ± 0.048bc	0.056 ± 0.016b	0.028 ± 0.006a
	5day	0.436 ± 0.044b	0.543 ± 0.018b	0.108 ± 0.032a	0.046 ± 0.012a	0.436 ± 0.044c	0.543 ± 0.018c	0.108 ± 0.032a	0.046 ± 0.012a

^x Each value represents the mean ± SE. Different letters between treatments in the same growth stage indicate significant differences (P < 0.05).

降低 (表 3)，其中淹水 1、2 天之處理對單株種子產量和對照組沒有顯著性差異，淹水 3 天處理組則減產至約 80%，淹水 5 天則減產至約 50%，降低程度較苗期及開花初期小

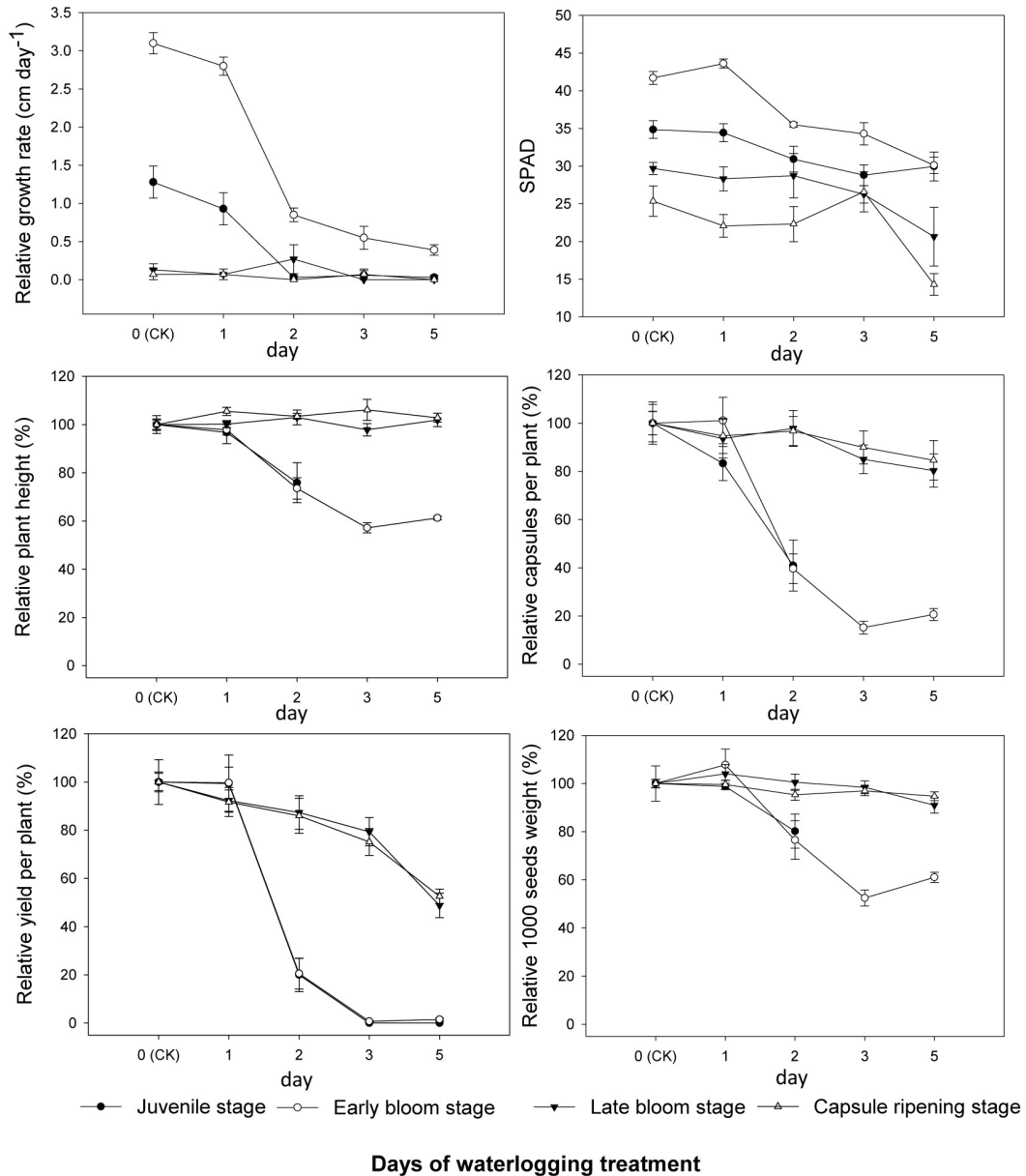


圖 1. 胡麻品種臺南 1 號不同生育期在不同淹水天數處理下之相對生長速率、葉綠素含量 (SPAD)、相對株高、相對單株蒴莢數、相對單株種子產量及相對種子千粒重之變化情形

Fig. 1. Changes in sesame growth characters (relative growth rate, chlorophyll content, relative plant height, relative capsules per plant, relative yield per plant and relative 1,000 seeds weight) of sesame variety 'Tainan No.1' under different water-logging durations at different growth stages

(圖 1)，而淹水處理雖未造成開花後期及蒴果充實期之單株蒴果數及種子千粒重減少，但可能影響蒴果種子充實，使不成熟或未飽滿之籽粒增加，進而降低單株種子產量。

各生育期對於不同淹水天數處理之光合作用生理反應和生長反應相似，顯示隨著淹水天數的增加，光合作用速率及氣孔導度降低，使光合作用產物減少，而影響胡麻植株生長及最終的產量表現；另相較於淹水天數對於胡麻臺南 1 號各生育期之光合作用生理及生長表現之顯著變化，葉綠素螢光參數變化情形較不明顯，結果顯示葉綠素螢光參數較不適合作為胡麻耐淹水性之評估指標。此外，各生育期對於不同淹水處理反應有差

表 3. 胡麻品種臺南 1 號不同生育期在不同淹水天數處理下之葉綠素含量 (SPAD)、相對生長速率、株高、單株蒴果數、單株種子產量及種子千粒重等之比較

Table 3. Effects of different water-logging days on growth parameters of sesame variety ‘Tainan No.1’ at different growth stages

生育期 Stage	淹水處 理天數 Treatment	葉綠素 含量 (SPAD)	相對生 長速率 RGR (cm/day)	株高 Plant height (cm)	單株蒴果 數 Capsules per plant	單株種 子產量 Seed yield per plant (g)	種子 千粒重 1,000 Seeds weight (g)
苗期 Juvenile	CK	34.86 ± 1.16a ^x	1.28 ± 0.21a	108.8 ± 2.1a	69.4 ± 5.41a	9.26 ± 0.86a	2.26 ± 0.04a
	1day	34.44 ± 1.19a	0.93 ± 0.21a	105.3 ± 5.0a	57.8 ± 4.88a	9.20 ± 1.10a	2.23 ± 0.03ab
	2day	30.92 ± 1.70ab	0.03 ± 0.03b	82.6 ± 9.0b	28.4 ± 7.32b	1.85 ± 0.64b	1.81 ± 0.16b
	3day	28.80 ± 1.37b	0.06 ± 0.06b	— ^y	—	—	—
	5day	29.96 ± 1.92b	0.03 ± 0.03b	—	—	—	—
開花 初期 Early bloom	CK	41.70 ± 0.86a	3.10 ± 0.14a	102.8 ± 3.8a	72.6 ± 6.4a	11.60 ± 0.42a	2.64 ± 0.19a
	1day	43.62 ± 0.61a	2.80 ± 0.12a	100.6 ± 2.3a	73.4 ± 7.0a	11.56 ± 0.75a	2.85 ± 0.17a
	2day	35.50 ± 0.34b	0.85 ± 0.09b	75.6 ± 4.6b	28.8 ± 4.5b	2.38 ± 0.74b	2.02 ± 0.21b
	3day	34.30 ± 1.48b	0.55 ± 0.15bc	58.8 ± 2.2c	11.0 ± 1.9c	0.08 ± 0.04c	1.38 ± 0.08c
	5day	30.12 ± 1.11c	0.39 ± 0.07c	63.0 ± 0.8c	15.0 ± 1.8bc	0.17 ± 0.06c	1.61 ± 0.06bc
開花 後期 Late bloom	CK	29.70 ± 0.80a	0.13 ± 0.08a	93.8 ± 1.8a	56.0 ± 2.5a	9.55 ± 0.35a	2.40 ± 0.03a
	1day	28.32 ± 1.60a	0.07 ± 0.07a	94.0 ± 1.4a	52.4 ± 4.5a	8.82 ± 0.42ab	2.50 ± 0.09a
	2day	28.74 ± 2.96a	0.27 ± 0.19a	96.6 ± 2.9a	54.8 ± 4.2a	8.34 ± 0.66ab	2.41 ± 0.08a
	3day	26.26 ± 1.14a	0.00 ± 0.00a	91.8 ± 2.4a	47.6 ± 3.3a	7.58 ± 0.56b	2.36 ± 0.06a
	5day	20.64 ± 3.90a	0.00 ± 0.00a	95.6 ± 2.6a	45.0 ± 3.9a	4.66 ± 0.49c	2.18 ± 0.08a
蒴果 充實期 Capsule ripening	CK	25.36 ± 2.03a	0.07 ± 0.07a	98.2 ± 2.4a	108.5 ± 5.2a	14.73 ± 0.11a	2.32 ± 0.04a
	1day	22.08 ± 1.50a	0.07 ± 0.07a	103.6 ± 1.6a	102.8 ± 7.9a	13.50 ± 0.88a	2.31 ± 0.04a
	2day	22.32 ± 2.34a	0.00 ± 0.00a	101.6 ± 1.2a	105.0 ± 6.5a	12.66 ± 1.06ab	2.21 ± 0.05a
	3day	26.60 ± 2.67a	0.07 ± 0.07a	104.2 ± 4.3a	97.6 ± 7.5a	11.06 ± 0.82b	2.25 ± 0.05a
	5day	14.30 ± 1.43b	0.00 ± 0.00a	101.0 ± 1.9a	91.8 ± 8.9a	7.74 ± 0.44c	2.20 ± 0.04a

^x Each value represents the mean ± SE. Different letters between treatments in the same growth stage indicate significant differences ($P < 0.05$).

^y “—” means no measure data.

異，苗期及開花初期對於淹水逆境較開花後期及蒴果充實期敏感，張等⁽⁷⁾亦針對不同品種胡麻之不同生育期（蕾期、盛花期和終花期）進行淹水處理調查，並指出淹水逆境對盛花期之影響最嚴重。

結 論

淹水逆境會使胡麻品種臺南 1 號植株之光合作用速率、氣孔導度及蒸散作用速率顯著降低，而隨著淹水處理天數增加，對胡麻臺南 1 號之光合作用生理影響越大，其中不同生育期對於淹水天數之反應程度不同，淹水逆境對於苗期及開花初期影響程度較開花後期及蒴果充實期嚴重，且淹水 2 天即造成各項生理參數急遽降低；而生長表現則和光合作用生理表現有同樣的反應趨勢，淹水 2 天以上即造成苗期及開花初期植株之葉綠素含量、相對生長速率、株高、單株蒴果數、單株種子產量及種子千粒重顯著降低，而不同淹水天數處理對於開花後期及蒴果充實期之株高、單株蒴果數及種子千粒重沒有顯著影響，但淹水 3 天以上會造成單株種子產量顯著降低，影響程度較苗期及開花初期輕微，對照光合作用生理表現，顯示隨著淹水天數的增加，光合作用速率及氣孔導度降低，使光合作用產物減少，而影響胡麻植株生長及最終的產量表現，亦顯示光合作用參數可用以作為淹水逆境對胡麻生長影響之指標；此外相較於淹水天數對於胡麻臺南 1 號各生育期之光合作用生理及生長表現之顯著變化，葉綠素螢光參數變化情形較不明顯，顯示葉綠素螢光參數較不適合作為胡麻耐淹水性之評估指標。綜合各項生理及生長表現，顯示淹水逆境對於苗期及開花初期之影響較開花後期及蒴果充實期明顯，且淹水 2 天即造成各項調查指標發生急劇變化，為淹水逆境影響關鍵敏感時期。

引用文獻

1. 丁霞、王林海、張艷欣、黎冬華、危文亮、張秀榮。2012。我國芝麻主栽品種耐濕性鑑定分析。華北農學報 27(4)：89-93。
2. 李文輝。1996。胡麻新品種臺南 1 號之育成。臺南區農業改良場研究彙報 33：1-14。
3. 李孟洋、巢建國、谷巍、侯皓然。2016。不同產地茅蒼朮對淹水脅迫的生理生化響應及耐淹性的 TOPSIS 綜合評價。生態學雜誌 35(2)：407-414。
4. 林冠宏、黃薇綺、羅筱鳳。2012。高溫、淹水及乾旱對甘藷葉綠素螢光之影響。臺灣園藝 58(4)：315-325。
5. 孫建、張秀榮、張艷欣、王林海、黃波。2009。濕害處理對不同生育時期芝麻葉片保護酶活性和種子產量的影響。應用與環境生物學報 15(6)：790-795。
6. 孫建、張秀榮、張艷欣、黃波、車卓。2008。芝麻不同品種(系)耐濕性的綜合評價。中國油料作物學報 30(4)：518-521。
7. 張根峰、張翼。2010。漬澇脅迫對芝麻生理指標及產量性狀的影響。作物雜誌 1：84-86。
8. 陳葦玲、郭孚耀、陳榮五。2008。淹水逆境對於不同栽培品種小白菜種子發芽及植株生長之影響。臺中區農業改良場研究彙報 100：1-12。

9. 劉敏莉。2012。葉綠素螢光在作物耐熱性篩選之應用。高雄區農業改良場研究彙報 21(1): 1-15。
10. Li, M., Yang, D., and Li, W. 2007. Leaf gas exchange characteristics and chlorophyll fluorescence of three wetland plants in response to long-term soil flooding. *Photosynthetica*. 45(2): 222.
11. Maxwell, K., and Johnson, G. N. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *Journal of Experimental Botany*. 51(345): 659-668.
12. Pang, J., Zhou, M., Mendham, N., and Shabala, S. 2004. Growth and physiological responses of six barley genotypes to waterlogging and subsequent recovery. *Australian Journal of Agricultural Research*. 55(8): 895-906.
13. Pocięcha, E., Kościelniak, J., and Filek, W. 2008. Effects of root flooding and stage of development on the growth and photosynthesis of field bean (*Vicia faba L. minor*). *Acta Physiologiae Plantarum*. 30(4): 529.
14. Shabala, S. E. R. G. E. Y. 2003. Screening plants for environmental fitness: chlorophyll fluorescence as a “Holy Grail” for plant breeders. *Advances in Plant Physiology*. 5: 287-340.
15. Singh, B. P., Tucker, K. A., Sutton, J. D., and Bhardwaj, H. L. 1991. Flooding reduces gas exchange and growth in snap bean. *HortScience*. 26(4): 372-373.
16. Smethurst, C. F., and Shabala, S. 2003. Screening methods for waterlogging tolerance in lucerne: comparative analysis of waterlogging effects on chlorophyll fluorescence, photosynthesis, biomass and chlorophyll content. *Functional Plant Biology*. 30(3): 335-343.
17. Wu, X., Tang, Y., Li, C., Wu, C., and Huang, G. 2015. Chlorophyll fluorescence and yield responses of winter wheat to waterlogging at different growth stages. *Plant Production Science*. 18(3): 284-294.

Effects of water-logging duration at different growth stages on the physiological and growth development of sesame variety ‘Tainan No.1’¹

Huang, H. L. and T. Y. Li²

Abstract

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is one of the oil crops in Taiwan. The main sesame cultivar in Taiwan is Tainan No.1 which is very sensitive to water-logging and easily to be affected by heavy rain in growing season. The aim of this study was to assess the physiological response and growth development of the sesame variety Tainan No.1 to water-logging at different growth stages. Experiment was conducted on pots to study the effects of different water-logging durations (0, 1, 2, 3 and 5 days) on the photosynthetic, chlorophyll fluorescence and growth response of sesame cultivar Tainan No.1 at the juvenile stage, early bloom stage, late bloom stage and capsule ripening stage. For the result of photosynthetic response, the photosynthetic rate, stomatal conductance, and transpiration rate were decreased significantly with the increase of water-logging. And juvenile stage and early bloom stage were more sensitive than late bloom stage and capsule ripening stage. For the result of growth response, if water-logging duration increased at juvenile stage and early bloom stage, significant decreases in chlorophyll content, plant height, relative growth rate, plant height, capsule number per plant, seed yield per plant, and 1,000 seeds weight were observed. The experiment result indicated that water-logging on sesame variety Tainan No.1 were the most significant at the juvenile stage and early bloom stage in 2 days or more of water-logging.

What is already known on this subject?

The effects of water-logging on sesame variety Tainan No.1 is not available.

What are the new findings?

The experiment indicated that the effects of water-logging on sesame Tainan No.1 were the most obvious at the juvenile stage and early bloom stage and sensitive in 2 days or more of water-logging.

What is the expected impact on this field?

The study can be used as a reference for evaluating and preventing the impact of flooding disasters of sesame.

Key words: Sesame, Water-logging stress, Growth stage, Photosynthetic rate, Chlorophyll fluorescence

Accepted for publication: February 15, 2020

1. Contribution No. 516 from Tainan District Agricultural Research and Extension Station.

2. Assistant Researcher and R&D Alternative military service staff, Tainan District Agricultural Research and Extension Station. 70 Muchang, Hsinhua, Tainan 712, Taiwan, R.O.C.