

溫度與聚乙二醇處理對胡麻種子發芽特性 之影響¹

黃涵靈²

摘要

黃涵靈。2025。溫度與 PEG 處理對胡麻種子發芽特性之影響。臺南區農業改良場研究彙報 86：76-85。

本研究針對臺灣兩個胡麻 (*Sesamum indicum* L.) 栽培品種—臺南 1 號與南白 92-1，探討不同溫度與不同聚乙二醇 (PEG 6000) 濃度模擬水分逆境環境對種子發芽與幼苗生長之影響。結果顯示，在水勢高於 -0.295 MPa (15% PEG) 下，兩品種 25 ~ 35°C 環境皆能維持高發芽率與快速的萌發速率，並具良好幼苗生長；然而，在 15 ~ 20°C 下，臺南 1 號雖仍能保持一定的發芽率，但其發芽速率顯著延遲，而南白 92-1 則在低溫下發芽率與速率均大幅下降。進一步探討不同 PEG 濃度處理下的種子發芽表現顯示，溫度與水分逆境對發芽狀況具有顯著影響，且存在交互作用。在 25 ~ 35°C 下，即便 PEG 濃度達 15 ~ 20% (水勢介於 -0.236 ~ -0.491 MPa)，發芽率仍能維持 90% 以上，但平均發芽時間 (MGT) 與半數發芽時間 (T₅₀) 均延長，胚根與胚芽生長亦受抑制。相對地，在低溫條件下，PEG 所造成的乾旱逆境效應顯著放大，當 PEG 濃度超過 10% 時 (水勢低於 -0.183 MPa)，發芽率大幅下降，PEG 濃度於 20% (水勢 -0.578 MPa) 時兩品種幾乎完全失去萌發能力。綜合結果指出，臺南 1 號與南白 92-1 的穩定萌發需仰賴適溫環境 (25 ~ 35°C)，溫度對發芽速率和胚根胚芽生長的影響遠大於發芽率，而低溫與水分複合逆境會降低胡麻發芽。

現有技術：胡麻於一期作 2 至 3 月播種時，常面臨發芽率不佳之情形，目前國內栽培品種的發芽適溫或土壤水勢範圍僅憑農民經驗及國外研究文獻來參考判斷。

創新內容：針對國內胡麻栽培品種臺南 1 號和南白 92-1 來具體提出不同環境溫度和土壤水勢對其種子發芽特性所造成之影響。

對產業影響：結果對胡麻栽培管理具實際意涵，顯示播種時應避免低溫與乾旱環境，或適度提土壤水分，以提升胡麻生產穩定性。

關鍵字：胡麻、臺南 1 號、發芽率、聚乙二醇、溫度、水勢

接受日期：2025 年 9 月 15 日

1. 農業部臺南區農業改良場研究報告第 591 號。

2. 農業部臺南區農業改良場助理研究員。712009 臺南市新化區牧場 70 號。

前　　言

胡麻 (*Sesamum indicum* L.) 為國內主要油料作物之一。近年來隨著政府推動「大糧倉計畫」，鼓勵農民栽培進口替代作物如大豆、硬質玉米、高粱及胡麻等，胡麻的栽培面積逐漸擴大，於 2024 年栽培面積為 1,779 公頃。國內胡麻栽培分為一期作與二期作，一期作多於 2 至 3 月播種，二期作則於 8 至 9 月播種。由於二期作期間環境溫度及土壤濕度較高（土壤水勢較高），發芽率普遍較佳；相對地，一期作常因氣溫偏低而出現發芽不良，若土壤濕度不足，土壤水勢較低時，則更易導致種子萌發率下降。農諺「濕麻乾豆」亦點出胡麻播種期對土壤含水量的高度依賴，胡麻種子相較於豆類更需要較高的土壤水分以確保良好發芽。

過去研究指出溫度與土壤水勢對胡麻發芽與幼苗生長具關鍵影響^(2,4,5,7)。胡麻種子在適宜溫度下具有較高發芽率，然而當溫度下降時，發芽率隨之降低，且當低於臨界溫度時，種子可能完全無法萌發^(4,5)。另外在不同土壤水勢環境下，隨著水勢降低，發芽時間會延遲，發芽速度也會減慢，胡麻種子的最終發芽率通常會下降；而不同品種對於不同水分逆境的耐受程度亦有差異^(8,9)，其中土壤乾旱逆境和鹽分逆境所造成的土壤水勢差異，皆會造成植株缺水逆境，但不同的胡麻品種對乾旱和鹽分逆境所造成的耐受程度可能會不同，另有研究指出溫度和鹽分逆境對於胡麻種子發芽特性會造成交互影響⁽¹¹⁾，在低溫情況下，高鹽分逆境會造成胡麻種子發芽率下降，而相對高溫情況下則種子發芽率影響較小，且不同品種對逆境耐受不同；而針對胡麻在不同溫度與乾旱逆境交互作用下之萌發表現的研究仍有限。聚乙二醇 (polyethylene glycol, PEG) 常被用來模擬不同水勢環境，因其分子量大，不易穿透細胞壁，能有效透過降低培養介質水勢，模擬乾旱逆境 (Michel & Kaufmann, 1973)。因此，本研究採以 PEG 6000 建立不同水勢處理，以探討胡麻種子在不同溫度與乾旱逆境下的發芽行為。試驗材料選用國內主要栽培品種「臺南 1 號」（黑色種皮）⁽¹⁾ 與對照品種「南白 92-1」（白色種皮），藉此評估不同環境條件下對此些品種胡麻種子發芽特性之差異。

本研究之目的在於：(1) 探討不同溫度條件對國內主要胡麻栽培品種種子發芽之影響；(2) 評估在不同溫度下，PEG 6000 所模擬之水分逆境對胡麻種子發芽率及幼苗早期生長之影響。研究結果可提供田間播種胡麻的管理依據，並有助於提升栽培穩定性與生產效益。

材料與方法

一、試驗材料

胡麻臺南 1 號、南白 92-1。

二、試驗方法

將胡麻種子做溫度對其發芽的影響，實驗時間為 2020 年 4 月 29 日到 5 月 18 日。

為了避免種子發霉影響種子發芽率，先將胡麻種子以 75% 酒精浸泡 1 分鐘消毒，以自來水洗去殘留酒精，而後隨機選取 50 顆種子排放在含有濾紙的直徑 9 cm 培養皿上，加入 5 ml 的蒸餾水，培養皿放置於不同溫度的生長箱，分別為 35°C、30°C、25°C、20°C、15°C，聚乙二醇 (polyethylene glycol 6000; PEG 6000) 濃度處理分為 0%、5%、10%、15% 及 20%，全程放置於黑暗環境下不照光，每一種處理有 3 個重複。每隔約 12 個小時紀錄發芽種子數，當種子的胚根生長達 1 mm 時即認定種子已發芽，於處理後

第 3 天，隨機取 10 個已發芽種子調查胚根和胚芽長度，於處理後第 10 天，計算種子的發芽率、平均發芽時數 (MGT) 以及半數種子發芽時數 (T_{50})，計算公式如下^(6,10)：

$$\text{發芽率 (\%)} = \frac{\text{總發芽種子數}}{\text{每盤總種子數}} \times 100$$

$$\text{平均發芽時間 (MGT)} = \frac{\sum(n_i \times t_i)}{\sum n_i}$$

n_i ：在第 i 個時間點發芽的種子數

t_i ：第 i 個時間點 (時數)

$\sum n_i$ ：總發芽種子數

$$\text{半數種子發芽時數 } (T_{50}) = T_i + \left(\frac{N+1}{2} - N_i \right) \times \frac{(T_j - T_i)}{(N_j - N_i)}$$

N ：最終發芽種子數

N_i 和 N_j ：在相鄰時間點 T_i 和 T_j 時累積發芽的種子數，滿足條件 $N_i < \frac{N+1}{2} < N_j$

另在不同溫度下，不同 PEG 6000 濃度水溶液處理的水勢參考 Michel 和 Kaufmann⁽¹⁴⁾ 的計算方法，計算方法如下：

$$\Psi_{\pi}(-\text{MPa}) = [(1.18 \times 10^{-2})C + (1.18 \times 10^{-4})C^2 - (2.67 \times 10^{-4})CT - (8.39 \times 10^{-7})C^2T] \times 0.1$$

其中： Ψ_{π} (-MPa) = PEG 6000 溶液的水勢

C = PEG 6000 濃度 (g PEG6000 / kg H₂O)

T = 溫度 (°C，適用 15 ~ 35°C)

三、統計分析

利用 SAS 軟體 (SAS Institute Inc., USA) 的一般線性模式 (general linear model, GLM) 進行變方分析 (ANOVA)，檢驗各特徵在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) 檢驗兩兩處理間之平均數差異。

結果與討論

一、不同溫度條件對國內主要胡麻栽培品種種子發芽之影響

在無 PEG (對照組，水勢接近 0 MPa) 的情況下，黑色種皮品種臺南 1 號的發芽率於 25 ~ 35°C 時可達 95 ~ 100% (圖 1、表 1)，顯示在此溫度範圍內種子具備高度萌發能力，其平均發芽時間 (MGT) 僅需約 19.3~26.7 個小時，發芽速率明顯加快，且幼苗能形成較健全的胚根與胚芽。然而，當溫度下降至 20°C 時，發芽率仍可維持在約 90% 以上，但 MGT 顯著延長至 48 小時，胚根和胚芽生長亦受到明顯抑制。當溫度進一步降低至 15°C 時，臺南 1 號的發芽率大幅降低，平均發芽時間超過 110 小時，且幼苗胚根和胚芽幾乎無法正常伸長。整體而言，臺南 1 號的發芽率在 15~20°C 低溫環境下仍具一定水準，但速率顯著延緩，顯示溫度對發芽速率的影響大於對發芽率的影響。而在白麻品種南白 92-1 部分 (圖 2、表 1)，在無 PEG (對照組，水勢接近 0 MPa) 條件下，南白 92-1 同樣在 25 ~ 35°C 的表現最佳，發芽率接近 100%，平均發芽時間僅需 17.4 ~ 22.1 個小時，胚根和胚芽也正常生長，顯示種子萌發快速且後續幼苗建立健全。而當溫度下降至 20°C 時，發芽率多數情況下仍能維持在高水準，但平均發芽時間延長至 47 個小

表 1. 在不同溫度環境下，不同聚乙二醇 (PEG 6000) 濃度處理對於胡麻臺南 1 號 (TN1) 和南白 92-1 (NW92-1) 的發芽影響比較

Table 1. Comparison of the effects of different polyethylene glycol (PEG 6000) concentrations on the germination of sesame cultivars 'Tainan No. 1' and 'NW92-1' under various temperature conditions

Variety 品種	Temperature 溫度	PEG 6000 濃度 聚乙二醇濃 度	Water potential 水勢能 (-MPa)	Germination percentage 發芽率 (%)	Mean germination time 平均發芽時間 (hours)	T ₅₀ (hours)	Length of root 胚根長 (mm)	Length of shoot 胚芽長 (mm)
TN1 臺南1號	35°C	0%	0.000	97.3 ^{abc}	19.3 ^k	13.1 ⁱ	38.9 ^a	33.5 ^a
		5%	0.034	98.7 ^{ab}	19.2 ^k	12.3 ⁱ	32.1 ^b	26.9 ^b
		10%	0.113	98.0 ^{abc}	21.5 ^k	15.8 ⁱ	22.1 ^d	11.6 ^c
		15%	0.236	98.0 ^{abc}	25.4 ^k	18.4 ⁱ	18.7 ^{de}	8.3 ^f
		20%	0.404	91.3 ^d	29.4 ^k	20.4 ⁱ	13.6 ^{fgh}	1.0 ^h
	30°C	0%	0.000	99.3 ^{ab}	24.8 ^k	18.2 ⁱ	26.8 ^c	20.5 ^c
		5%	0.042	96.0 ^{bc}	24.7 ^k	18.1 ⁱ	18.4 ^{de}	14.7 ^d
		10%	0.131	98.0 ^{abc}	25.4 ^k	18.4 ⁱ	14.1 ^g	9.0 ^e
		15%	0.266	100.0 ^a	25.8 ^k	18.6 ⁱ	9.9 ^{hij}	5.5 ^g
		20%	0.447	90.7 ^e	42.2 ^h	37.0 ^{gh}	7.1 ^{ijkl}	0.0 ⁱ
	25°C	0%	0.000	99.3 ^{ab}	24.8 ^k	21.8 ⁱ	15.0 ^{ef}	10.7 ^c
		5%	0.050	98.7 ^{ab}	26.7 ^k	22.3 ⁱ	13.1 ^{fgh}	9.1 ^f
		10%	0.148	98.0 ^{abc}	29.2 ^k	23.3 ⁱ	8.9 ^{ij}	6.0 ^g
		15%	0.295	99.3 ^{ab}	36.8 ^{hij}	30.1 ^h	7.6 ^{ijkl}	1.7 ^h
		20%	0.491	96.7 ^{bc}	37.4 ^{hi}	30.5 ^h	4.7 ^{kl}	0.0 ⁱ
	20°C	0%	0.000	97.3 ^{abc}	48.0 ^{gh}	42.5 ^{fg}	10.9 ^{ghi}	1.5 ^h
		5%	0.058	98.7 ^{ab}	47.5 ^{gh}	42.5 ^{fg}	8.4 ^{ijk}	1.2 ^h
		10%	0.166	96.0 ^{bc}	56.5 ^{fg}	49.6 ^{ef}	6.5 ^{jk}	1.0 ^h
		15%	0.325	94.0 ^{cde}	65.0 ^g	57.8 ^e	3.8 ^{lm}	0.0 ⁱ
		20%	0.534	58.7 ^f	92.6 ^e	83.3 ^d	0.5 ^m	0.0 ⁱ
	15°C	0%	0.000	96.7 ^{bc}	115.6 ^d	104.6 ^c	0.0 ^m	0.0 ⁱ
		5%	0.065	95.3 ^{bcd}	128.1 ^c	115.7 ^c	0.0 ^m	0.0 ⁱ
		10%	0.183	86.7 ^e	164.9 ^b	150.3 ^b	0.0 ^m	0.0 ⁱ
		15%	0.354	14.0 ^g	211.9 ^a	189.8 ^a	0.0 ^m	0.0 ⁱ
		20%	0.578	0.0 ^h	--	--	0.0 ^m	0.0 ⁱ
	35°C	0%	0.000	100.0 ^a	18.3 ^k	13.6 ^j	46.1 ^A	31.4 ^A
		5%	0.034	100.0 ^a	17.4 ^k	12.4 ^j	45.4 ^A	31.2 ^A
		10%	0.113	97.3 ^A	19.2 ^k	14.8 ^j	34.8 ^B	25.2 ^B
		15%	0.236	99.3 ^A	21.8 ^k	16.6 ^u	22.3 ^C	10.9 ^F
		20%	0.404	96.7 ^A	41.0 ^{GH}	30.1 ^H	14.1 ^{DE}	1.3 ^{JK}
	30°C	0%	0.000	100.0 ^A	22.1 ^k	16.7 ^u	45.6 ^A	19.9 ^C
		5%	0.042	98.0 ^A	22.1 ^k	16.8 ^u	34.3 ^B	17.1 ^D
		10%	0.131	100.0 ^A	22.0 ^k	16.7 ^u	21.9 ^C	12.6 ^E
		15%	0.266	100.0 ^A	22.1 ^k	16.8 ^u	15.7 ^D	5.9 ^G
		20%	0.447	100.0 ^A	34.2 ^{HI}	24.4 ^{HI}	8.2 ^F	0.1 ^K
	NW 92-1 南白92-1	0%	0.000	100.0 ^A	31.8 ^U	25.1 ^H	21.1 ^C	4.4 ^H
		5%	0.050	99.3 ^A	31.3 ^J	24.4 ^{HI}	15.8 ^D	3.2 ^{HI}
		10%	0.148	98.7 ^A	35.4 ^{HI}	28.5 ^H	11.6 ^E	2.1 ^U
		15%	0.295	99.3 ^A	37.6 ^{HI}	29.9 ^H	7.9 ^{FG}	0.1 ^K
		20%	0.491	98.7 ^A	83.3 ^D	76.4 ^E	2.8 ^{HI}	0.0 ^K
	25°C	0%	0.000	100.0 ^A	31.8 ^U	25.1 ^H	21.1 ^C	4.4 ^H
		5%	0.050	99.3 ^A	31.3 ^J	24.4 ^{HI}	15.8 ^D	3.2 ^{HI}
		10%	0.148	98.7 ^A	35.4 ^{HI}	28.5 ^H	11.6 ^E	2.1 ^U
		15%	0.295	91.3 ^B	67.9 ^E	58.4 ^F	2.1 ^{HI}	0.0 ^K
		20%	0.491	10.0 ^E	103.8 ^C	95.2 ^D	2.1 ^{HI}	0.0 ^K
	20°C	0%	0.000	99.3 ^A	47.4 ^{FG}	41.0 ^G	5.9 ^{FG}	0.1 ^K
		5%	0.058	99.3 ^A	46.2 ^{FG}	41.2 ^G	6.2 ^{FG}	0.0 ^K
		10%	0.166	96.7 ^A	51.0 ^F	43.5 ^G	4.9 ^{GH}	0.0 ^K
		15%	0.325	91.3 ^B	67.9 ^E	58.4 ^F	2.1 ^{HI}	0.0 ^K
		20%	0.534	10.0 ^E	103.8 ^C	95.2 ^D	2.1 ^{HI}	0.0 ^K
	15°C	0%	0.000	81.0 ^C	148.2 ^B	133.6 ^C	0.0 ¹	0.0 ^K
		5%	0.065	76.7 ^C	149.2 ^B	135.5 ^{BC}	0.0 ¹	0.0 ^K
		10%	0.183	40.7 ^D	161.6 ^A	145.2 ^A	0.0 ¹	0.0 ^K
		15%	0.354	1.3 ^F	--	--	0.0 ¹	0.0 ^K
		20%	0.578	0.0 ^F	--	--	0.0 ¹	0.0 ^K

* 各平均值上示以相同字母者為 5% 顯著水準下經 LSD 檢驗兩者間未達顯著性差異，小寫字母表示臺南 1 號於不同溫度處理間之比較；大寫字母表示南白 92-1 於不同溫度處理間之比較。

Each value represents the mean. Value with different letters between treatments indicate significant differences at $P < 0.05$ by LSD test. Lowercase letters indicate comparisons among temperature treatments for 'Tainan No. 1', and uppercase letters indicate comparisons among temperature treatments for 'NW 92-1'.

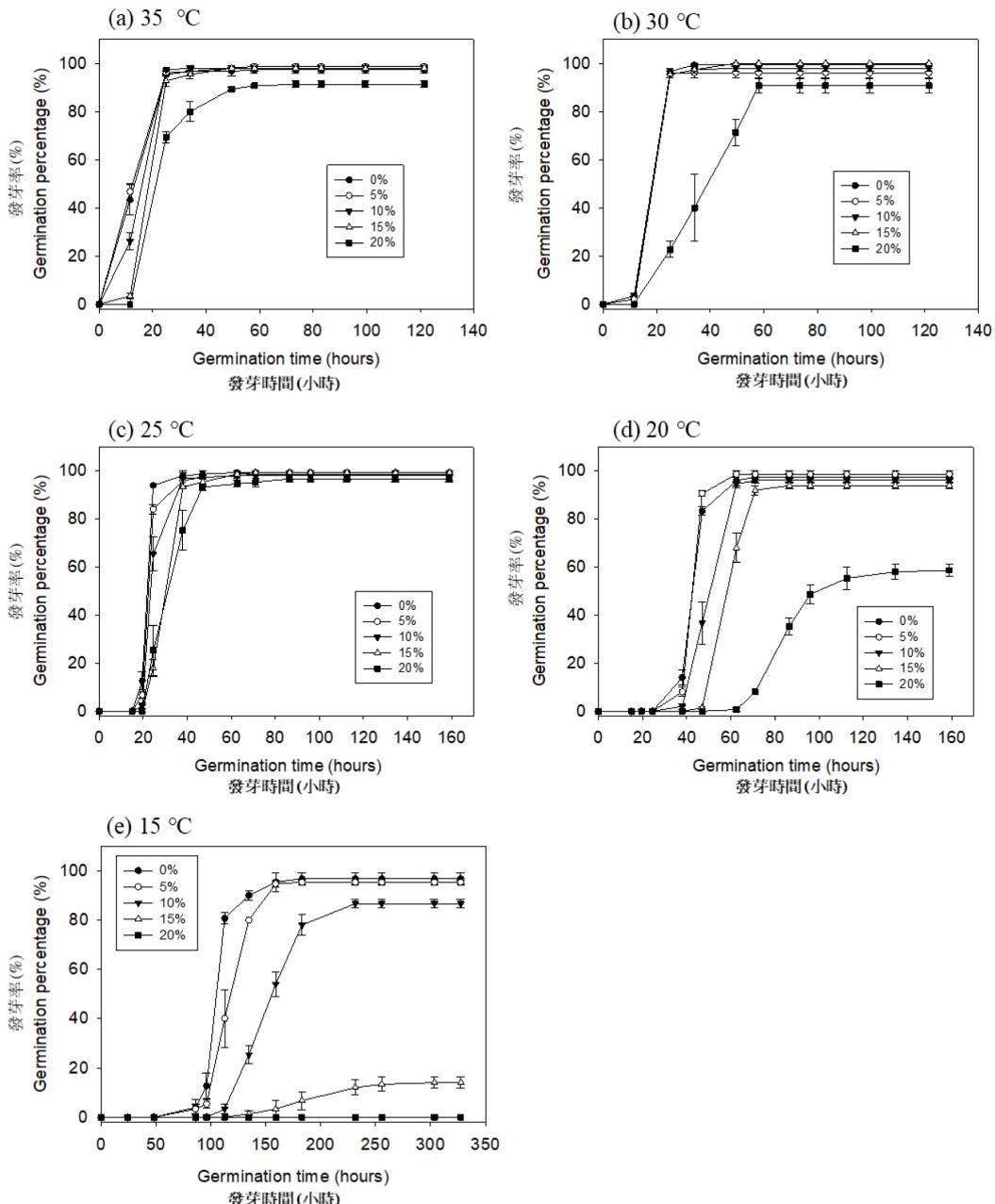


圖 1. 胡麻‘臺南 1 號’在不同溫度環境下，於不同聚乙二醇 (PEG 6000) 濃度處理下之種子發芽率隨時間的變化

Fig. 1. Changes in germination percentage of sesame cultivar 'Tainan No. 1' over time under different temperatures and polyethylene glycol (PEG 6000) concentrations

時，幼苗胚根和胚芽明顯縮短，顯示低溫已顯著延緩其萌發速率。至 15°C 時，即使在正常水勢下，發芽率已明顯降低至約 80%，平均發芽時間超過 140 個小時，且幼苗胚根和胚芽幾乎無法正常生長，顯示低溫對南白 92-1 品種的發芽速率和幼苗活力均具強

烈抑制作用。綜合可見，兩個品種在 25 ~ 35°C 下不僅發芽率高，且速率快、幼苗生長正常；但當溫度降低時，發芽率雖可維持一定水平，但發芽速率卻急遽延緩，且胚根胚芽生長易受抑制，進而影響幼苗的正常生長，顯示溫度對兩個品種的發芽速率及胚根胚芽生長的影響遠大於對發芽率的影響；臺南 1 號在 15 ~ 20°C 低溫條件下仍能維持一定的發芽率，但發芽速率顯著延緩，而南白 92-1 則在 15°C 低溫下，發芽率和發芽速率皆顯著下降，顯示兩品種在低溫環境下的發芽反應展現出差異。

二、不同溫度環境下，水分逆境對胡麻種子萌發之影響

試驗結果顯示，種子發芽率及相關萌發參數均受到溫度與聚乙二醇 (PEG 6000) 處理顯著影響，且兩者之間存在明顯交互作用 (表 2)。

表 2. 胡麻種子發芽性狀在品種、溫度及 PEG 濃度處理下之三因素變異數分析結果

Table 2. Three-way ANOVA of sesame seed germination traits under cultivar, temperature, and PEG concentration treatments

Souce of variation 變方來源	Germination percentage 發芽率	Mean germination time 平均發芽時間	T ₅₀	Length of root 胚根長	Length of shoot 胚芽長
Variety 品種 (V)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Temperature 溫度 (T)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
PEG% PEG濃度 (P)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
V × T	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
V × P	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
T × P	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
V × T × P	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

在 25 ~ 30°C 環境下，胡麻種子於不同 PEG 濃度下 (水勢 -0.491 ~ 0 MPa) 皆能維持相對較高的發芽率 (> 90%) (圖 1、圖 2)，顯示適溫環境可部分抵銷水分逆境對萌發的不利影響，同樣的情況也出現在南白 92-1 品種。然而，平均發芽時間 (MGT) 與半數種子發芽時數 (T₅₀) 隨 PEG 濃度升高、水勢降低而顯著延長 (表 1)，例如在 25°C 下，臺南 1 號品種種子平均發芽時間由 21.8 個小時 (PEG 0%，水勢 0 MPa) 增加至 37.4 個小時 (PEG 20%，水勢 -0.491 MPa)，且胚根與胚芽長度亦隨 PEG 濃度增加而減少 (胚根長由 15.0 mm 降至 4.7 mm，胚芽長由 10.7 mm 降至 0 mm)；在南白 92-1 品種亦有同樣的影響趨勢，顯示雖然種子能完成萌發，但幼苗早期生長受到抑制，綜合結果推測，即便在最適溫度下，乾旱逆境仍可能會透過延遲吸水與抑制細胞伸長影響幼苗的早期生長^(3,13)。

在相對高溫環境 (35°C) 下，不同 PEG 濃度對於胡麻種子萌發的影響和在 25 ~ 30°C 環境下相似，在較高 PEG 濃度下 (> 15%) 仍有很高的種子發芽率 (> 90%)，但隨著 PEG 濃度增加，伴隨萌發延遲情形，此外，在臺南 1 號部分，種子發芽率在 PEG 20% 高濃度 (水勢 -0.404 MPa) 處理時則呈現顯著低於其他濃度處理之情形，對南白 92-1 則

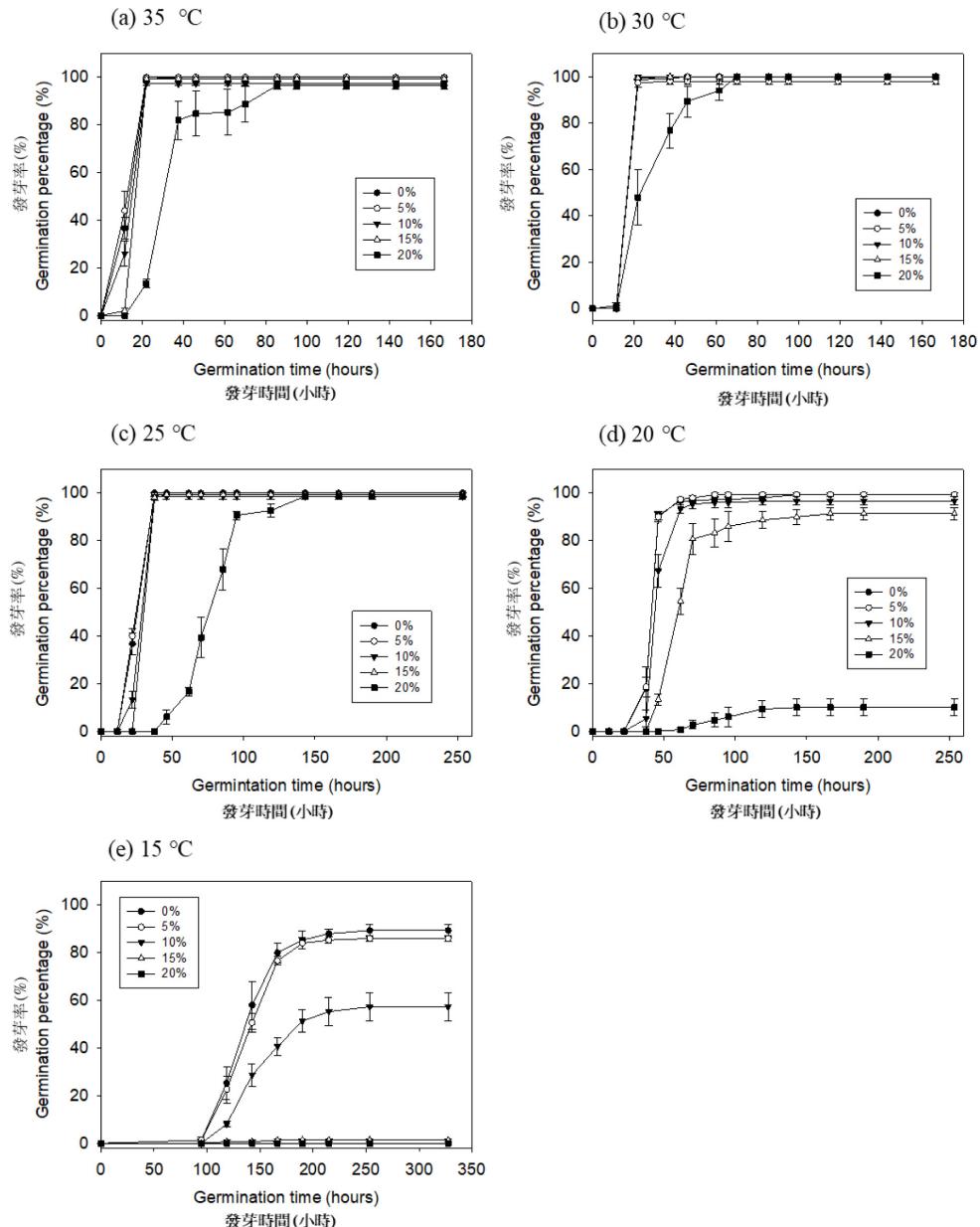


圖 2. 胡麻‘南白 92-1’在不同溫度環境下，於不同聚乙二醇 (PEG 6000) 濃度處理下之種子發芽率隨時間的變化

Fig. 2. Changes in germination percentage of sesame cultivar ‘NW 92-1’ over time under different temperatures and polyethylene glycol (PEG 6000) concentrations

沒有顯著性影響，顯示在高溫條件下，兩個品種種子發芽勢對於不同乾旱逆境耐受有差異 (表 2)，對於臺南 1 號品種來說，種子雖能在高溫下迅速萌發，但在乾旱逆境下仍可能受限於吸水能力，導致小部分種子無法完成發芽⁽¹³⁾，而對於南白 92-1 則影響較小。

在 $15 \sim 20^\circ\text{C}$ 環境下，不同 PEG 濃度所造成的水勢差異對胡麻種子發芽影響效應尤為顯著。當溫度為 20°C 時，臺南 1 號在 PEG 0% 下，發芽率為 97.3%，MGT 為 48.0 個小時，胚根與胚芽長分別為 10.9 mm 與 1.5 mm，但在 PEG 20% (水勢 -0.534 MPa) 下，發芽率降低至 58.7%，MGT 則延長至 92.6 個小時，胚根與胚芽長分別降至 0.5 mm 與 0 mm。於 15°C 下，PEG 濃度大於 15% (水勢 $<-0.354 \text{ MPa}$) 時則幾乎完全抑制發芽，例如南白 92-1 在 PEG 10% (水勢 -0.183 MPa) 處理即降至 40.7%，在 PEG 20% 下 (水勢 -0.578 MPa) 發芽率為 0%，臺南 1 號在 PEG 20% 亦完全失去萌發能力。有研究指出，低溫降低代謝活性與酵素作用，使種子對水分逆境更為敏感^(3,12)，推測在胡麻亦有同樣情形。

整體而言，本研究結果顯示溫度為影響胡麻種子對乾旱逆境耐受性的重要因子，且溫度、PEG 濃度處理和品種間存在顯著交互效應 (表 2)。在中高溫環境 ($25 \sim 35^\circ\text{C}$) 下，胡麻種子能維持高發芽率，僅表現為萌發延遲與幼苗生長受抑；但在低溫條件下，PEG 的抑制效應顯著加強，導致發芽率驟降甚至完全無法萌發。此結果對胡麻栽培管理具有實際意義，顯示 $25 \sim 35^\circ\text{C}$ 適溫條件可提升種子對乾旱逆境的耐受性，於低溫環境遭遇乾旱逆境，將造成出苗率顯著降低。

結 論

本研究針對臺灣主要胡麻品種臺南 1 號與南白 92-1，探討不同溫度與以 PEG 6000 模擬乾旱環境對種子發芽與幼苗生長的影響。在水勢正常 (0 MPa) 的情況，兩個品種在 $25 \sim 35^\circ\text{C}$ 環境皆有良好的發芽率及發芽速率，而 $15 \sim 20^\circ\text{C}$ 環境不影響臺南 1 號發芽率，但會顯著延長發芽時間 (MGT)，而南白 92-1 在 15°C 低溫下，發芽率和發芽速率皆顯著下降。而針對胡麻種子在不同溫度與 PEG 6000 處理下的萌發試驗結果中，顯示溫度與滲透壓逆境對發芽特性均具顯著影響，且兩者間存在明顯交互作用。綜合而言，胡麻種子於 $25 \sim 35^\circ\text{C}$ 環境下展現較佳的萌發能力，即便在水份逆境 (PEG 15 ~ 20%，水勢 $-0.236 \sim -0.491 \text{ MPa}$) 下，發芽率仍能維持於 90% 以上。然而，平均發芽時間 (MGT) 與半數發芽時數 (T_{50}) 皆隨 PEG 濃度升高而延長，且胚根與胚芽生長顯著受抑制，顯示乾旱逆境主要延緩萌發並降低幼苗生長活力，而非完全阻斷萌芽。相對地，在低溫條件 ($15 \sim 20^\circ\text{C}$) 下，PEG 引致之乾旱逆境對發芽的抑制效應在低溫下顯著加劇。當 PEG 濃度超過 10% 時 (水勢低於 -0.183 MPa)，發芽率明顯下降，MGT 與 T_{50} 大幅延長，且在 PEG 20% 處理下，兩品種皆幾乎完全失去萌發能力。

整體而言，臺南 1 號與南白 92-1 皆需要在 $25 \sim 35^\circ\text{C}$ 的適溫條件下播種，以確保高發芽率與快速萌發，當溫度降低時，發芽率雖可維持一定水平，但發芽速率卻急遽延緩，進而影響幼苗的正常生長，顯示溫度對兩個品種的發芽速率的影響遠大於對發芽率的影響。此外，適溫條件下，胡麻種子對中度乾旱逆境具良好耐受性；高溫可加速萌發但降低幼苗活力；低溫則顯著放大逆境效應並造成發芽失敗。此結果顯示溫度為影響胡麻對乾旱逆境耐受性的關鍵因子，因此若於低溫期遭遇乾旱，將造成田間出苗率大幅降低。此結果對胡麻栽培管理具有重要意涵，特別是在低溫播種季節，若伴隨水分逆境，可能嚴重影響出苗率與成株率，建議栽培上應選擇適溫期播種，並可於胡麻育種策略中納入對低溫與水分複合逆境的耐受性考

量，以提升胡麻田間表現與生產穩定性。

引用文獻

1. 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。
2. Ahmed, M., Kheir, A., Mehmood, M. Z., Ahmad, S., & Hasanuzzaman, M. (2022). Changes in germination and seedling traits of sesame under simulated drought. Phyton, 91(4): 713-726.
3. Bewley, J. D., Bradford, K., Hilhorst, H., & Nonogaki, H. (2013). Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy. Springer.
4. Bradford, K. J. (1995). Water relations in seed germination. In: Kigel J., Galili G. (eds) Seed Development and Germination. CRC Press, pp. 351-396.
5. Carvalho, P. G. B. D., Borghetti, F., Buckeridge, M. S., Morhy, L., & Ferreira Filho, E. X. (2001). Temperature-dependent germination and endo-beta-mannanase activity in sesame seeds. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, 13: 139-148.
6. Coolbear, P., Francis, A., & Grierson, D. (1984). The effect of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. Journal of Experimental Botany, 35(11): 1609-1617.
7. Dissanayake, I. A. J. K., Ranwala, S. M. W., & Perera, S. S. N. (2020). Germination and seedling growth responses of Sri Lankan grown Sesame/Thala (*Sesamum indicum* L.) for simulated drought conditions. Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka, 47(4): 479-490.
8. El Harfi, M., Hanine, H., Rizki, H., Latrache, H., & Naboussi, A. (2016). Effect of Drought and salt stresses on germination and early seedling growth of different color-seeds of sesame (*Sesamum indicum*). International Journal of Agriculture & Biology, 18(6): 1088-1094.
9. El-Katony, T. M., Hassan, N. M., Abo-Ismael, S. H., & Abdelfatah, S. N. (2024). NaCl salt stress and PEG water stress differentially affect germination and early seedling growth of two sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. Discover Life, 54(1): 20.
10. Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Science and Technology (Netherlands), 9(2): 373-409.
11. Gholamhoseini, M., & Dolatabadian, A. (2024). Sesame germination dynamics: unravelling sesame's response to salinity and temperature variability. Seeds, 3(1): 76-87.
12. Hegarty, T. W. (1978). The physiology of seed hydration and dehydration, and the relation between water stress and the control of germination: a review. Plant, Cell & Environment, 1(2): 101-119.
13. Khajeh-Hosseini, M., Powell, A. A., & Bingham, I. J. (2003). The interaction between salinity stress and seed vigour during germination of soybean seeds. Seed Science and Technology, 31(3): 715-725.
14. Michel B. E. and M.R. Kaufmann. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology. 51: 914-916.

Effects of temperature and polyethylene glycol-induced water stress on seed germination of Sesame¹

Huang, H. L.²

Abstract

This study investigated the effects of temperature and polyethylene glycol-induced water stress on seed germination and seedling growth of two sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars commonly grown in Taiwan, Tainan No. 1 and NW 92-1. The results showed that under normal water potential conditions, both cultivars maintained high germination rates and rapid germination at moderate to high temperatures, accompanied by healthy seedling growth. However, under low temperatures (15~20°C), Tainan No. 1 retained a relatively stable germination rate but exhibited a significant delay in germination speed, while NW 92-1 showed reductions in both germination percentage and speed. Further evaluation under PEG 6000 treatments revealed that temperature and osmotic stress significantly affected germination traits, with interactive effects. At higher temperatures, even at PEG concentrations of 15~20%, germination rates remained above 90%, although mean germination time (MGT) and time to 50% germination (T_{50}) were extended, and radicle and hypocotyl growth were restricted. In contrast, under low temperature conditions, the drought stress induced by PEG was greatly amplified. When PEG concentrations exceeded 10%, germination rates decreased sharply, and at 20% both cultivars almost completely lost germination ability. Overall, the stable germination of Tainan No. 1 and NW 92-1 requires optimal temperatures (25~35°C), with temperature having a stronger impact on germination speed than on germination percentage, while the combined stress of low temperature and drought severely limits seedling establishment in sesame.

What is already known on this subject?

When sesame is sown during February to March, poor germination rates are often encountered. At present, the suitable temperature and soil moisture range for the germination of sesame cultivars in Taiwan are determined mainly based on farmers' experience and references from foreign research literature.

What are the new findings?

This study specifically evaluates the effects of different environmental temperatures and soil water potentials on the germination characteristics of sesame cultivars Tainan No. 1 and NW 92-1, which are commonly grown in Taiwan.

What is the expected impact on this field?

The results provide practical implications for sesame cultivation management, indicating that sowing should avoid low-temperature and drought conditions. Moreover, breeding strategies should incorporate tolerance to low-temperature and drought stresses to enhance the production stability of sesame.

Key words: Sesame, Tainan No.1, Germination rate, Polyethylene glycol (PEG), Temperature, Water potential

Accepted for publication: September 15, 2025

1. Contribution No. 591 from Tainan District Agricultural Research and Extension Station.
2. Assistant Researcher, Technology Assistant and Associate Researcher respectively, Tainan District Agricultural Research and Extension Station. 70 Muchang, Hsinhua, Tainan 712009, Taiwan, R.O.C.