

## 落花生不同類型品種對缺鐵黃化的忍耐力及 在不同 pH 值緩衝水耕液下對氧化態鐵的還原能力<sup>1</sup>

周明和<sup>2</sup> 蔡文福<sup>3</sup>

### 摘要

本試驗的目的在探討落花生 (*Arachis hypogaea* L.) 不同類型品種在缺鐵水耕液 (不供應任何鐵源) 及在不同 pH 值緩衝水耕液中添加氧化態鐵  $Fe^{3+}$  等二種情況下, 對生長及葉片黃化程度之影響, 以瞭解各類型品種對缺鐵黃化的忍耐力及對  $Fe^{3+}$  的利用能力。試驗包括三類型落花生, 共七個品種, 結果發現: (1) 水耕液中不供應任何鐵源之缺鐵處理下 (對照組添加 Fe-EDTA) 培育 28 天, 落花生各品種之生長, 不論株高、根及地上部乾重、葉厚度、葉綠素含量等皆受明顯不良影響, 葉片黃化明顯。其中西班牙型 (Spanish type) 品種對缺鐵的忍耐力大於佛琴尼亞型 (Virginia type) 及瓦倫西亞型 (Valencia type) 品種, 葉片黃化程度亦以西班牙型品種較輕。(2) 在較低 pH 值 (pH 6.0) 之緩衝水耕液下, 各類型品種的反應差異較小, 葉片黃化輕微, 僅 ICG(FDRS)-44 的黃化等級達到 2.0, 對氧化態鐵  $Fe^{3+}$  的還原能力以西班牙型品種高於佛琴尼亞型及瓦倫西亞型品種。(3) 在較高 pH 值 (pH 7.5) 之緩衝水耕液下, 其反應則與前述不供應任何鐵源之處理相反, 西班牙型品種之台農 5 號、台南選 9 號對氧化態鐵  $Fe^{3+}$  之還原能力最差, 葉片黃化發生期最早且最嚴重, 次為佛琴尼亞型及瓦倫西亞型品種, 唯台南 11 號之反應則與佛琴尼亞型品種相似。(4) 在較低 pH 值的環境下, 三類型品種對氧化態鐵  $Fe^{3+}$  之還原能力皆良好; 反之, 在較高 pH 值的環境下, 對氧化態鐵  $Fe^{3+}$  之還原能力皆大幅下降, 其中以西班牙型品種之降幅最大。顯示落花生品種對氧化態鐵  $Fe^{3+}$  之還原能力會隨根部生長環境 pH 值之高低而改變, 在高 pH 值下, 還原能力變差, 特別是西班牙型品種, 因此比較容易導致葉片黃化。

關鍵詞: 氧化態鐵、缺鐵處理、落花生、葉片黃化。

<sup>1</sup>花蓮區農業改良場研究報告第 169 號。本試驗承國科會補助經費, 謹此申謝。

<sup>2</sup>作物改良課副研究員。

<sup>3</sup>前國立台灣大學農藝學系教授。

### 前言

落花生 (*Arachis hypogaea* L.  $2n = 4x = 40$ ) 為原產於南美洲之一年生 C3 型作物, 全世界栽培面積約 2200 萬公頃 (FAO, 1995)。台灣落花生之栽培面積最近數年皆維持在 3~4 萬公頃之間, 花蓮縣雖然是台灣重要的落花生產區, 但乾莢果產量偏低, 平均每公頃僅 1581 kg, 低於全省平均產量 2353 kg (農林廳, 1997)。究其原因除了氣候條件較差, 如低溫、日照不足等外, 問題土壤如光復、瑞穗一帶之強酸性土壤, 落花生易發生空莢現象; 新城、花蓮市等地區之石灰質鹼性土壤因 pH 值高, 鐵的有效性低, 無法被落花生吸收利用, 使植株缺鐵

而產生葉片黃化症 ( iron chlorosis ) 等皆為落花生低產之重要原因。不同類型之落花生品種對於葉片黃化之罹患程度不同，台南選 9 號 ( 西班牙型 ) 葉片黃化最嚴重，平均 59%，最高可達 88.2%；台南 11 號 ( 西班牙型，具半直立性 ) 之葉片黃化較輕微，平均約為 26%，顯示落花生品種間對於葉片黃化罹患程度有相當大的差異。

本試驗的目的在探討落花生不同類型品種在缺鐵狀況下及在不同 pH 值緩衝水耕液中添加氧化態鐵  $Fe^{3+}$  之情況下，對生長及葉片黃化程度之影響，以瞭解各類型品種對缺鐵黃化的忍受力及對  $Fe^{3+}$  的利用能力。

## 材料與方法

(一) 參試品種：參試落花生有三種類型共 7 品種，主要特性如下：

西班牙型 ( Spanish type )：

台農 5 號 ( Tainung 5 )：小粒，每莢 2 粒。

台南選 9 號 ( Tainan Sel. 9 )：小粒，每莢 2 粒。

台南 11 號 ( Tainan 11 )：小粒，每莢 2 粒。

佛琴尼亞型 ( Virginia type )：

Robut 33-1：小粒，每莢 2 粒。

ICGS-65：大粒，每莢 1~2 粒。

瓦倫西亞型 ( Valencia type )：。

EG PN-18：小粒，每莢 3~4 粒。

ICG(FDRS)-44：小粒，每莢 3~5 粒。

(二) 幼苗培育：落花生種子先用烏斯普倫 ( Uspulun ) 1,000 倍消毒 1 時 ( 兼具打破種子之休眠性 )，以自來水沖洗後播種於裝有輕石 ( 直徑 0.5 cm，日本鹿兒島進口 ) 的盆中，於生長箱 30/25 ( 日/夜溫 ) 發芽，發芽後在同一生長箱以同樣溫度及 16 小時光照，光照強度為  $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  培育 9~10 天，選擇生育整齊的幼苗供試驗之用。

(三) 缺鐵處理：落花生幼苗按不同品種分別種植於 plexiglass 製的長方形盆內，以黑色油漆塗黑，使根部在黑暗中生長，其上覆以保利龍，開穴種植幼苗。每盆 4 株，加入 0.8 L 之 1/3 倍 Hoagland 水耕液 ( Hoagland 和 Arnon, 1950 )，該水耕液鐵的供源為 Fe-EDTA。種植後置於 30/25 ( 日/夜溫 ) 生長箱中培育 28 天，光期 16 小時，光照強度為  $150\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，每隔 7 天更換水耕液 1 次，每天添加蒸餾水以補充蒸發散之損失，培養期間進行通氣。缺鐵處理時水耕液更換為不含 Fe-EDTA 之水耕液 ( 亦即不含任何鐵源 )，試驗期間測定水耕液鐵還原能力、葉綠素含量及調查黃化開始發生期及黃化等級。試驗結束時測定葉片厚度及植株根部及地上部乾重。

(四) 不同 pH 值之緩衝水耕液處理：方法如同缺鐵處理，但水耕液含有 10 mM MES [2-(N-morpholino) ethanesulfonic acid]，pH 6.0，及 10 mM MOPS [3-(N-morpholino) propanesulfonic acid]，pH 7.5 之緩衝液，鐵源則以氧化態鐵  $FeCl_3$  代替 Hoagland 水耕

液之 Fe-EDTA。

#### (五) 調查及分析項目

1. 水耕液鐵還原能力：根據 Chaney 等 (1972) 及 Welch 和 LaRue (1990) 之方法，利用 BPDS (bathophenanthroline disulfonic acid) 為還原鐵呈色劑測定之。其原理為  $Fe^{2+} + 3BPDS \rightarrow Fe(BPDS)_3$ ，生成物呈暗紅色，可在 535 nm 測其吸光度。測定時取 20 mL 水耕液，二重複，於 30 mL 塑膠瓶中，以鋁箔紙包裹防止光線侵入，加入 0.2 mL 10 mM  $FeCl_3$  及 0.2 mL 30 mM BPDS，置於黑暗中 2 小時，然後用光譜儀在波長 535 nm 處測定吸光度。另以新鮮配製之  $FeSO_4$  分為 0、1.0、5.0、10.0、及 25.0 $\mu$ M 製作標準曲線。
2. 葉綠素含量 (相對值)：於試驗結束時，每品種每株測定 4 個小葉，於小葉片上直接以葉綠素計 (三紳工業，K1-1 型) 測定之。
3. 黃化等級：根據周和蔡 (1997) 依植株葉片黃化的面積分成四等級：即 0 (完全沒有黃化現象)，1 (1~25%之葉面積黃化)，2 (26~50%之葉面積黃化)，3 (50%以上之葉面積黃化)。
4. 葉厚：於試驗結束時，每品種每株測定 4 個小葉，以葉厚測定器 (Mitutoyo, No.7331) 測定之。
5. 乾重：試驗結束時，每品種各 4 株，分別收穫根部及地上部，置於 80 °C 烘箱 48 小時後稱其乾重。

## 結果及討論

### (一) 缺鐵處理

1. 對植株生育的影響：落花生在正常水耕液下生長，不同類型及品種間之株高有明顯的差異 (表 1)，西班牙型品種株高最高，瓦倫西亞型次之，佛琴尼亞型最矮。就參試七品種而言，以台農 5 號之 34.0 cm 最高，Robut 33-1 之 18.3 cm 最矮。缺鐵處理除不影響 EG PN-18 及台南 11 號之株高外，其他品種皆受影響而較矮，其中台南選 9 號及 ICGS-65 受缺鐵影響最大。一般而言，缺鐵植株之根部及地上部乾重皆比對照組為輕 (表 1)，對台農 5 號之影響較輕微，但對 ICG(FDRS(-44 之影響較嚴重。另外，缺鐵處理會使葉片厚度變薄，同時降低葉綠素含量 (表 2)，西班牙型及瓦倫西亞型品種的葉厚約減少 5.0~9.0%，佛琴尼亞型品種之葉厚受缺鐵之影響較大，葉厚減少達 14.6~24.6%。缺鐵處理會降低各品種之葉綠素含量，其中以 ICG(FDRS(-44 之葉綠素含量降低最多達 48.6%，但台農 5 號僅減少 7.0%。

落花生缺鐵處理會使植株矮小、根部及地上部乾重減輕、葉變薄、葉綠素含量降低等形態上的變化，與 Brown et al. (1971) 及李 (1988) 之試驗結果吻合，也與 Romheld 和 Marschner (1981) 指出向日葵缺鐵會使地上部及根部乾重減輕之結果相同，但本試驗發現落花生缺鐵處理地上部乾重減少較多，根部乾重減少較少。落花生缺鐵處理後葉片葉綠素含量明顯降低，與李 (1988)、Stocking (1975) 及 Spiller 和 Terry (1980) 之結果相一致。

但本試驗顯示缺鐵處理對於株高、根部及地上部乾重、葉厚、葉綠素含量等之減少程度，在同一類型之品種間差異較小。

表 1. 落花生缺鐵處理對株高及乾重之影響

Table 1. Changes of plant height and dry weight of peanut varieties under iron deficiency.

Type and variety	Plant height(cm)		Dry weight(g/plant)			
	Control	-Fe	Root		Top	
			Root	Top	Root	Top
Valencia type:						
EG PN-18	20.0±1.7*	21.1±0.8	0.15±0.05	0.16±0.05	1.29±0.56	1.03±0.33
ICG(FDRS)-44	23.3±0.4	21.1±1.0	0.14±0.08	0.08±0.03	0.88±0.71	0.69±0.31
Virginia type:						
Robut 33-1	18.3±2.2	15.6±2.5	0.10±0.03	0.08±0.04	1.16±0.15	1.00±0.07
ICGS-65	21.3±1.3	16.1±1.7	0.19±0.09	0.16±0.04	1.64±0.20	1.54±0.37
Spanish type:						
Tainung 5	34.0±2.3	30.3±3.0	0.14±0.05	0.14±0.02	0.98±0.39	0.98±0.21
Tainan Sel.9	32.8±3.0	23.9±2.9	0.17±0.07	0.15±0.06	1.40±0.53	1.20±0.17
Tainan 11	22.3±0.8	23.9±4.4	0.14±0.06	0.13±0.03	0.98±0.20	0.79±0.20

\* : Mean ± standard error.

表 2. 落花生不同品種缺鐵處理對葉厚及葉綠素含量之影響

Table2. Changes of leaf thickness and chlorophyll content of peanut varieties under iron deficiency.

Type and variety	Plant height(cm)		Dry weight(g/plant)			
	Control	-Fe	Root		Top	
			% of control	control	-Fe	% of control
Valencia type:						
EG PN-18	19.9±1.3*	18.7±0.7	94.6	0.47±0.04	0.39±0.06	84.0
ICG(FDRS)-44	20.1±1.2	19.1±1.6	95.0	0.44±0.04	0.23±0.03	51.4
Virginia type:						
Robut 33-1	18.3±2.2	15.6±2.5	85.4	0.59±0.05	0.93±0.07	72.4
ICGS-65	21.3±1.3	16.1±1.7	75.4	0.65±0.05	0.39±0.10	60.7
Spanish type:						
Tainung 5	20.1±1.7	18.3±2.7	91.0	0.53±0.03	0.49±0.09	93.0
Tainan Sel.9	20.8±1.3	0.4±1.0	93.6	0.40±0.04	0.30±0.04	75.1
Tainan 11	19.9±0.9	19.8±1.7	99.6	0.75±0.05	0.61±0.13	81.9

\* : Mean ± standard error.

2. 葉片黃化情形：落花生缺鐵處理 18~24 天後，各品種植株葉片開始發生黃化，品種間黃化發生期及黃化程度不一，瓦倫西亞型品種 EG PN-18 及 ICG(FDRS)-44 之黃化開始發生期較早且嚴重，黃化等級達 2.5~3.0 (表 3)；佛琴尼亞型 Robut 33-1 及 ICGS-65 次之，黃化等級為 2.3；西班牙型品種台農 5 號、台南選 9 號及台南 11 號黃化較遲且較不嚴重，黃化等級在 1.5~2.0 之間。顯示品種間對缺鐵的忍受力不同，即西班牙型品種可

以忍受較長期的缺鐵才表現黃化現象。

表 3. 落花生不同類型品種缺鐵處理對植株黃化發生期及黃化等級的影響

Table3.The occurrence of iron chlorosis in different types of peanut varieties under iron deficiency.

Type and variety	Control		-Fe	
	Leaf yellowing begins at days after treatment	Rating*	Leaf yellowing begins at days after treatment	Rating
Valencia type:				
EG PN-18	none	0	20	2.5
ICG(FDRS)-44	31	0.5	18	3.0
Virginia type:				
Robut 33-1	30	0.7	22.3	2.3
ICGS-65	28	1	22.3	2.3
Spanish type:				
Tainung 5	none	0	24.0	1.5
Tainan Sel.9	27	1	21.5	2.0
Tainan 11	31	0.5	23.0	1.8

\*:Iron chlorosis was visually rated based on the leaf area yellowing:0(0%),1(1~25%),2(26~50%),3(above 50%).

3. 對水耕液鐵還原能力之影響：水耕培育之落花生幼苗於缺鐵處理期間，水耕液之鐵還原能力除 ICG(FDRS)-44 於黃化開始發生前低於對照組外，其餘皆高於對照組（圖 1）。缺鐵處理後 13 天（黃化發生前），水耕液鐵還原能力以台南選 9 號最高，達 4.85 $\mu\text{mol Fe}^{3+}$  reduced/pot，台南 11 號次之，為 4.35 $\mu\text{mol Fe}^{3+}$  reduced/pot；缺鐵處理黃化發生後，水耕液鐵還原能力皆高於對照組，其中以台南 11 號最高，達 2.79 $\mu\text{mol Fe}^{3+}$  reduced/pot。黃化發生前，缺鐵處理與對照組兩者間之水耕液鐵還原能力的差值，在處理後 13 天以台南選 9 號最大，缺鐵處理比對照組提高 3.74 $\mu\text{mol Fe}^{3+}$  reduced/pot，台南 11 號次之，提高 2.75 $\mu\text{mol Fe}^{3+}$  reduced/pot；黃化發生後（處理後 28 天）以 ICGS-65 之差值較大，缺鐵處理比對照組提高 1.06 $\mu\text{mol Fe}^{3+}$  reduced/pot。顯示落花生在缺鐵狀態下，能提高對鐵的還原能力，其中西班牙型品種提高的幅度較大。此項結果與多位學者的研究結果相同，如 Brown 和 Ambler( 1973 )指出大豆品種 Hawkeye( 為 Fe-efficient 品種 )缺鐵時，比 PI-54619-5-1( 為 Fe-inefficient 品種 )之根部能夠分泌比較多的還原物質而增加鐵之還原能力，其他作物如向日葵 ( Kramer et al., 1980 )、落花生 ( Romheld 和 Marschner, 1983 )、菜豆 ( Bienfait et al., 1983 )、甜椒 ( Landsberg, 1986 )、番茄 ( Buckhout et al., 1989 ) 及碗豆突變種 ( Welch 和 LaRue, 1990 ) 等皆有相同情形。

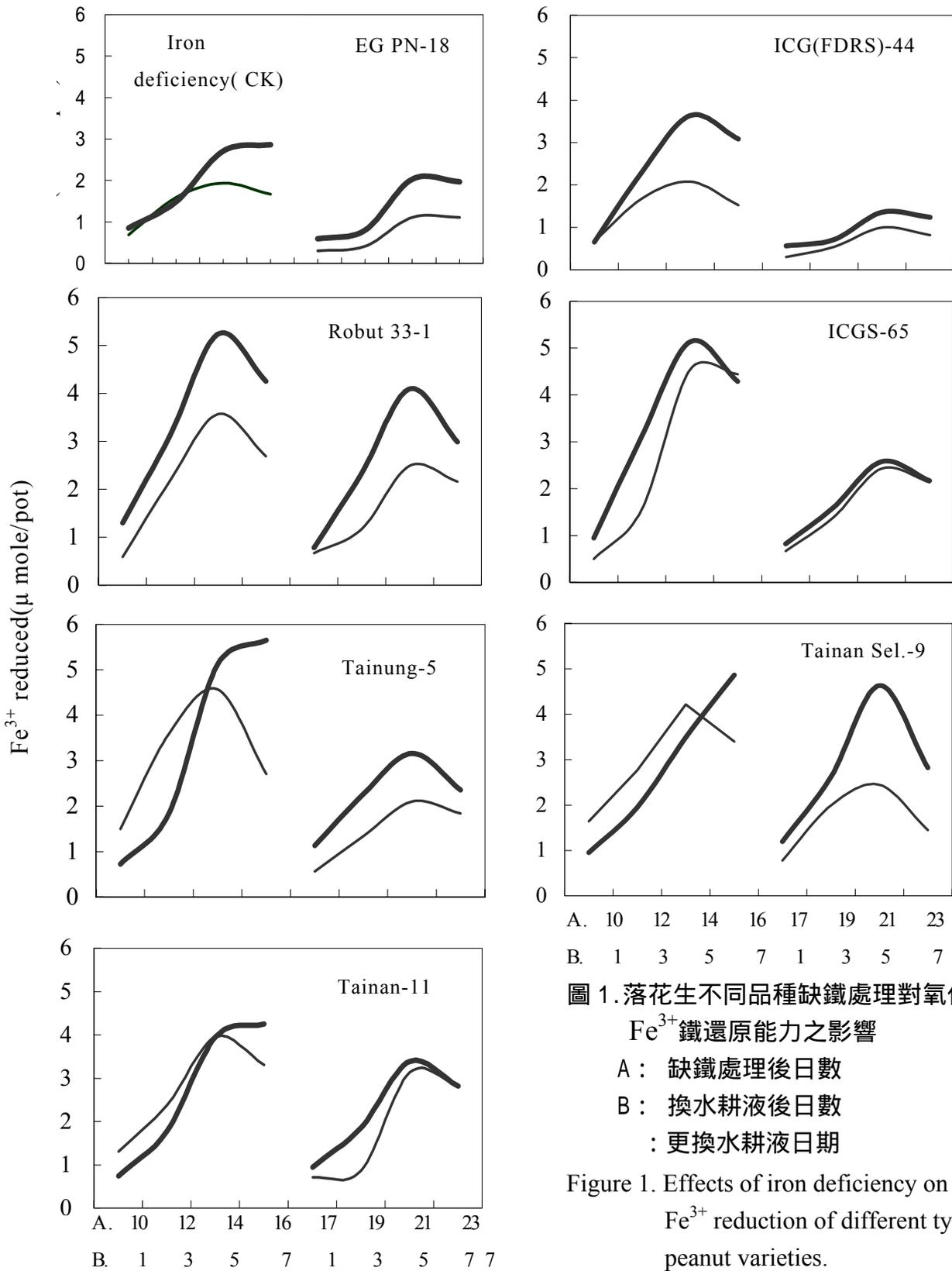


圖 1. 落花生不同品種缺鐵處理對氧化態  $Fe^{3+}$  鐵還原能力之影響

A: 缺鐵處理後日數  
B: 換水耕液後日數  
: 更換水耕液日期

Figure 1. Effects of iron deficiency on the  $Fe^{3+}$  reduction of different types of peanut varieties.

A: Days after iron deficiency.  
B: Days after changing nutrient solution.  
: Time of changing nutrient solution (pH 6.0).

(二) 不同 pH 值之緩衝水耕液處理

1. 對植株生育及葉片黃化的影響：落花生不同類型品種在二種 pH 值緩衝水耕液下，株高的表現都有相同的趨勢，亦即在 10 mM MES pH 6.0 之緩衝水耕液生長者之株高稍大於在 10 mM MOPS pH 7.5 生長者（表 4）。低 pH 值處理之根部及地上部乾重皆較高 pH 值者為重，高 pH 值處理者其根部及地上部乾重減少之幅度，以西班牙型之台農 5 號最大，分別減少 15.0%及 31.4%。

表 4. 落花生以不同 pH 值緩衝水耕液處理對株高及乾重的影響

Table 4. Effects of buffered Hoagland nutrient solution at different pH values on the plant height and dry weight of different types of peanut varieties.

Type and variety	Plant height(cm)		Dry weight(g/plant)			
	10 mM MES,pH 6.0	10 mM MOPS, pH 7.5	10 mM MES, pH 6.0		10 mM MOPS, pH 7.5	
			Root	Shoot	Root	Shoot
Valencia type:						
EG PN-18	11.5±1.9	11.4±1.7	0.21±0.02	0.84±0.15	0.18±0.05	0.78±0.28
ICG(FDRS)-44	13.0±2.0	12.8±1.8	0.29±0.01	1.20±0.09	0.25±0.04	1.08±0.24
Virginia type:						
Robut 33-1	13.3±1.9	12.5±2.4	0.16±0.04	1.03±0.28	0.15±0.02	0.79±0.10
ICGS-65	13.3±2.6	13.1±1.8	0.14±0.02	0.91±0.20	0.13±0.02	0.75±0.27
Spanish type:						
Tainung 5	16.1±2.8	16.0±1.9	0.20±0.05	1.21±0.49	0.17±0.06	0.83±0.22
Tainan Sel.9	14.8±1.9	15.2±2.5	0.15±0.02	0.88±0.05	0.15±0.02	0.71±0.11
Tainan 11	8.60±3.7	7.10±1.3	0.20±0.04	0.78±0.20	0.18±0.02	0.67±0.12

\*:Iron chlorosis was visually rated based on the leaf area yellowing at:0(0%),1(1~25%),2(26~50%),3(above 50%).

落花生葉片黃化發生期及黃化罹患率以 pH 7.5 之緩衝水耕液處理之黃化發生期較早且較嚴重，pH 6.0 處理者稍晚且輕微（表 5）；品種間以西班牙型之台農 5 號及台南選 9 號之黃化發生期較早且較嚴重，佛琴尼亞型品種稍晚且輕微。鍾（1984）、林（1985）、李（1988）、周和蔡（1997）等人之研究指出，花蓮地區石灰質土壤栽培之西班牙型落花生品種台南選 9 號及台農 5 號之黃化發生期早且黃化罹患程度嚴重，但同為西班牙型之台南 11 號（株型為半立）之黃化發生期較晚且輕微。本試驗利用緩衝液穩定水耕液的 pH 值，在 pH 7.5 下，試驗結果與前述學者在石灰質土壤（pH 值約 7.5~8.0）之田間的研究結果相同，但與水耕液不供應任何鐵源之缺鐵處理的結果相反。因此，利用水耕技術研究作物缺鐵之影響時，應注意水耕液 pH 值，才能獲得與田間試驗相同的結果。

表 5. 落花生以不同 pH 值緩衝水耕液處理對葉片黃化發生期及黃化等級的影響

Table 5. Effects of buffered Hoagland nutrient solution at different pH values on the occurrence of iron chlorosis of different types of peanut varieties.

	10 mM MES,pH 6.0	10 mM MOPS, pH 7.5
--	------------------	--------------------

Type and variety	Leaf yellowing begins at days after treatment	Rating*	Leaf yellowing begins at days after treatment	Rating
Valencia type:				
EG PN-18	11.0	0.8	9.7	1.1
ICG(FDRS)-44	9.8	2.0	8.7	2.2
Virginia type:				
Robut 33-1	11.0	1.3	11.5	1.5
ICGS-65	11.0	0.8	10.0	1.5
Spanish type:				
Tainung 5	10.8	1.6	7.8	2.5
Tainan Sel.9	11.3	1.0	8.0	2.5
Tainan 11	13.0	0.6	10.0	1.0

\*:Iron chlorosis was visually rated based on the leaf area yellowing at:0(0%),1(1~25%),2(26~50%),3(above 50%).

2. 對水耕液氧化鐵還原能力之影響:落花生各類型品種在 pH 6.0 緩衝水耕液下生長 14 天, 對氧化態鐵的還原能力遠高於 pH 7.5 處理者(表 6)。在 pH 6.0 下, 西班牙型品種高於瓦倫西亞型及佛琴尼亞型品種; 在 pH 7.5 下, 以瓦倫西亞型品種較高, 但與其他二類型品種的差異不大。兩 pH 值之間的差異, 以西班牙型品種為最大, 台農 5 號相差 3.05、台南選 9 號相差 3.86、台南 11 號相差 2.63 $\mu\text{mol Fe}^{3+}$  reduced/pot, 瓦倫西亞型品種相差最小, EG PN-18 及 ICG(FDRS)-44 分別僅減少 1.67 及 2.06 $\mu\text{mol Fe}^{3+}$  reduced/pot。換言之, 西班牙型品種在高 pH 值的環境下, 對氧化態鐵的利用能力較差, 因而在高 pH 值之石灰質土壤栽培, 容易發生葉片黃化。

表 6. 落花生以不同 pH 值緩衝水耕液處理對鐵還原能力的影響

Table 6. Effects of buffered Hoagland solution at different pH values on the  $\text{Fe}^{3+}$  reduction of different types of peanut varieties.

Type and variety	$\mu\text{mol Fe}^{3+}$ reduction/pot			
	10 mM MES, pH 6.0		10 mM MOPS, pH 7.5	
	A*	B**	A	B
Valencia type:				
EG PN-18	4.35	3.31	1.60	1.64
ICG(FDRS)-44	3.55	4.16	1.80	2.10
Virginia type:				
Robut 33-1	3.05	3.27	1.58	1.19
ICGS-65	3.83	3.72	1.23	1.21
Spanish type:				
Tainung 5	2.49	4.24	1.43	1.19
Tainan Sel.9	3.81	4.77	1.17	0.91
Tainan 11	3.12	4.27	1.52	1.64

\* : 7 days after treatment.

\*\* : 7 days after changing the buffer solutions(14 days after treatment).

## 參考文獻

1. 台灣省政府農林廳。1997。台灣農業年報。
2. 李超運。1988。缺鐵對落花生生育影響之研究。國立台灣大學農藝學研究所碩士論文。
3. 林慶喜。1985。石灰質土壤落花生黃化症原因及其防治法。花蓮區農業改良場研究彙報 1: 107-124。
4. 周明和 蔡文福。1997。石灰質土壤落花生葉片黃化現象在品種間的差異及對產量的影響。中華農藝 7: 287-292。
5. 鍾發光、潘金塗。1984。落花生品種對葉片黃化症之反應（第 2 報）。雜糧作物試驗研究簡報 26: 59~61。
6. Bienfait, H.F., R.J. Bino, A.M. Van der Blik and J.F. Duivenvoorden. 1983. Characterization of ferric reducing activity in roots of Fe-deficient *Phaseolus vulgaris*. *Physiol. Plant.* 59:196-202.
7. Brown, J.C. and J.E. Ambler. 1973. Reductants released by roots of Fe-efficient soybeans. *Agron. J.* 65:311-314.
8. Brown, J.C., R. L. Chaney and J.E. Ambler. 1971. A new tomato mutant inefficient in the transport of iron. *Physiol. Plant.* 25:48~53.
9. Buckhout, T.J., P.F. Bell, D.G. Luster and R.L. Chaney. 1989. Iron-stress induced redox activity in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) is localized on the plasma membrane. *Plant Physiol.* 90:151~156.
10. FAO. 1996. FAO Production Year Book.
11. Hoagland, D. R. and D. I. Arnon. 1950. The water culture method for growing plants without soil. *Calif. Agric. Expt. Sta. Circ.* 347.
12. Kramer, D., V. Romheld, E. Landsberg, and H. Marschner. 1980. Induction of transfer cell formation by iron deficiency in the root epidermis of *Helianthus annuus* L. *Planta* 147: 335-339.
13. Landsberg, E. C. 1986. Function of rhizodermal transfer cells in the Fe stress response mechanism of *Capsicum annuus* L. *Plant Physiol.* 82: 511-517.
14. Romheld, V. and H. Marschner. 1981. Iron deficiency stress induced morphological and physiological changes in root tips of sunflower. *Physiol. Plant.* 53: 354-360.
15. Romheld V. and H. Marschner. 1983. Mechanism of iron uptake by peanut plants. I. Fe<sup>3+</sup> reduction chelate splitting and release of phenolics. *Plant Physiol.* 71: 949-954.
16. Spiller, S. and N. Terry. 1980. Limiting factors in photosynthesis. . Iron stress diminishes photochemical capacity by reducing the number of photosynthetic units. *Plant Physiol.* 65: 121-125.
17. Stocking, C. R. 1975. Iron deficiency and the structure and physiology of maize chloroplasts. *Plant Physiol.* 55: 626-631.

18. Welch, R. M. and T. A. LaRue. 1990. Physiological characteristics of Fe accumulation in the Bronze mutant of *Pisum sativum* L. cv. Sparkle E 107 (brz brz). *Plant Physiol.* 93: 723-729.