

水田滿江紅 *Azolla pinnata* 研究

II. 土壤與肥料因子對滿江紅生長之影響¹

李啓彰、林錫錦、林家茶²

摘要：本省常用化學肥料中，除硫酸銨 ammonium sulfate 外，尿素 urea、臺肥複合肥料 1 號及 4 號 Taiwan compound Fertilizer No. 1 and No. 4 在 N 54kg/ha 用量下都會殺死滿江紅。尿素在 N 15kg/ha 及 N 54kg/ha 用量下雖不殺死滿江紅，但仍明顯抑制其生長。不同陰離子型銨鹽中在 N 45kg/ha 下，醋酸銨 ammonium acetate、碳酸銨 ammonium carbonate 及檸檬酸銨 ammonium citrate 對滿江紅都有致死作用，但是硝酸銨 ammonium nitrate 及氯化銨 ammonium chloride 有助滿江紅生長。

在培養液內，滿江紅之固氮活性並不因溶液內氮濃度高低而有所不同。但土壤加水之水面上，滿江紅固氮受硫酸銨用量之影響甚大，在 N 18kg/ha, N 36kg/ha 及 N 54kg/ha 之用量下都明顯抑制了滿江紅的固氮作用，不過添加過磷酸石灰對滿江紅固氮力之恢復會有幫助。

在不施肥情況下，一般酸性土壤加水之水面上培養滿江紅之效果較鹼性土壤者為佳，施 P₂O₅ 15kg/ha 後情形亦同。酸性土壤中又以酸性粘板岩沖積土最能反應磷肥效應。水深亦影響磷肥效用。就滿江紅生長情形而言，磷肥表施後土壤表面上水深以 3~5cm 為宜。

田間養殖時氮、磷、鉀三種要素中，以磷肥對滿江紅之效應最顯著。只要有磷肥之處理滿江紅產量都佳。不施用磷肥者產量低，且含氮量亦低。

生物固氮實際應用主要瓶頸之一是固氮酵素在施用化學氮肥後活性降低，甚至完全被抑制^(4,5)。滿江紅之特點是能與水稻共作^(1,6,10,11)。但考慮到共作系統中施少量化學氮肥以維持水稻產量之必要性，則各種化學氮肥對滿江紅生長及其固氮活性之影響為何必先加以瞭解而後使用，方可以確保共作系統之成功。本研究乃針對本省常用化學氮肥對滿江紅生長之影響予以瞭解，找出可適用於共作系統之化學氮肥種類，進一步對這類化學氮肥對滿江紅固氮力影響之情形予以探討，以期減少不利滿江紅固氮活性之程度至最低點。

材料與方法

一、不同化學氮肥對滿江紅生長之影響：本試驗選用之化學氮肥計有硫酸銨 ammonium sulfate、磷酸一銨 ammonium phosphate (monobasic)、尿素 urea、臺肥複合肥料 1 號 Taiwan compound Fertilizer No. 1、臺肥複合肥料 4 號 Taiwan compound Fertilizer No. 4 等五種，各種肥料用量皆為 N 54kg/ha。供試土壤為農試所 7 號圍場表土，其各項性狀如表 1。將上述土壤每 5 公斤裝於 35×28cm 之四方塑膠盆內，供試肥料表施後再加水使維持 3cm 水深，最後每盆放入鮮重 4g 之滿江紅。各肥料處理 3 重複，並以不加肥料者為對照，6 處理 3 重複共 18 盆，於溫室內培

1. 臺灣省農業試驗所 研究報告第 1059 號。本研究承農發會慕華基金補助，特誌感謝。

2. 本所農業化學系助理研究員、約聘技師、研究員兼系主任。

養（溫度24c~32°c）於第5、10及15天稱取滿江紅之鮮重。

表1. 農試所7號圃場表土化學性分析

Table 1 : Some chemical properties of the soil of plot No. 7, TARI farm*

Texture	pH	organic matter (%)	available P (ppm)	available K (ppm)
Loam	6.1	1.13	27	92

*Soil characters were analyzed by the Soil Fertility laboratory, TARI

二、尿素使用量對滿江紅生長之影響：方法及接種量同試驗一，尿素使用量為N 5kg/ha, N 15 kg/ha 及 N 45kg/ha，另以不加尿素者當對照。接種後第6及第14天稱取各盆鮮重。

三、不同陰離子鉍鹽對滿江紅生長之影響：土壤之性狀同試驗（一）。各種氮肥用量皆為 N 45 kg/ha，選用鉍鹽為硝酸鉍 ammonium nitrate 氯化鉍 ammonium chloride、醋酸鉍 ammonium acetate 檸檬酸鉍 ammonium citrate 等5種，滿江紅接種量亦為每盆鮮重 4g，接種後第5天及第12天稱取各盆鮮重。

四、培養液中不同濃度硝酸態氮對滿江紅固氮作用之影響：0.3g滿江紅培養於不同濃度硝酸態氮之 Tollens 培養液⁽¹⁾內，培養液之氮源以 KNO₃ 及 Ca (NO₃)₂ 配成 15.00、75.00、153.00 及 306.00ppm 5種不同氮濃度，各濃度處理3重複。9000 lux 下培養3天後以乙炔還原法測定其固氮力⁽¹⁾並量取各處理鮮重。

五、田土施用硫酸鉍及過磷酸石灰後對滿江紅固氮力之影響：本試驗氮肥用量為 N 54kg/ha, N 36kg/ha 及 N 18kg/ha 以硫酸鉍使用。磷肥用量為 P₂O₅, 80kg/ha, 40kg/ha, 及20kg/ha 以過磷酸石灰使用。供試土壤之化學性質如表1. 試驗之各處理分別為：

1. 不同用量之氮肥拌入 750g 田土內，置於直徑 12cm 之塑膠燒杯內，加水至 4—5 公分高，0.5g 鮮重之滿江紅。
2. 同（1），但氮肥表施土面。
3. 只用磷肥，拌施、餘同（1）。
4. 只用磷肥，表施、餘同（1）。
5. 不同用量之氮肥與不同用量之磷肥混合後拌施、餘同（1）。
6. 不同用量之氮肥與不同用量之磷肥混合後表施、餘同（1）。
7. 對照，即不加任何化學氮肥與化學磷肥。

以上各處理每處理3重複，0.5g 滿江紅接種後第 1、3、5、7、9、13及21 天將全部滿江紅與 500cc 土水倒入容積 680ml 點滴瓶內，再測定各瓶之固氮力⁽¹⁾。並於21天時稱取各杯中滿江紅鮮重。

六、不同土壤對滿江紅生長之影響：本試驗供試各種土壤及其性狀示於表 2.⁽²⁾，取各種土壤分別裝於25×21cm之四方盆中，每盆 2kg 分施用磷肥 P₂O₅ 15kg/ha 及不施用磷肥二處理，除磷肥外不施其他肥料。滿江紅接種量每盆 4g，水深維持在 3cm 左右，接種後第10天及第20天稱取各盆鮮重，並於第20天採取滿江紅樣品測定其含氮量。

七、不同水深對滿江紅生長之影響：供試土壤同試驗六之酸性粘板岩沖積土，磷肥表施，用量為 P₂O₅ 15kg/ha。水深處理為土面上 1cm, 3cm 及 6cm，每處理3重複，滿江紅接種量為鮮重 4g。接種後第7及14天稱取各盆鮮重。並取第14天之滿江紅樣品測定其含氮量。

八、氮磷鉀肥對滿江紅產量之影響：本試驗於農試所25號圃場進行。其土壤性質如表 3。試驗內含5處理，每處理3重複，計15小區，每小區面積 5×3 m。滿江紅接種量為 50g/m²。各肥料

表2. 供試土壤之一般分析

Table 2 : Analysis of the selected soils*

Soils	pH	Texture	Total N (%)	Organic matter (%)
Red Earth	5.2	SiL	0.12	2.28
Sandstone and Shale alluvial Soil	5.9	SicL	0.14	2.42
Sandstone and Shale Alluvial Soil	7.5	SL	0.06	0.89
Slate Alluvial Soil	5.4	SiL	0.12	2.04
Slate Alluvial Soil	7.5	SciL	0.13	1.79
Schist Alluvial Soil	5.8	SciL	0.10	1.43
Schist Alluvial Soil	7.6	SiL	0.05	1.01

*Data was supplied by Lin etc. (1973)

表3. 農試所25號圃場表土化學性質分析

Table 3 : Some chemical properties of the soil of plot No. 25, TARI farm*

Texture	pH	organic matter (%)	available P (ppm)	available K (ppm)
SiL	5.1	1.33	8	37

*Soil characters were analyzed by the Soil Fertility Laboratory, TARI

處理如下：

1. 氮磷鉀區：在滿江紅接種前將氮肥 (N 15kg/ha，以硫酸銨使用)，磷肥 (P_2O_5 15kg/ha，以過磷酸石灰使用)，鉀肥 (K_2O 15kg/ha，以氯化鉀使用) 悉數表施土面。滿江紅於接種後第15及30天稱取全部鮮重，並取樣測定其含氮率，以估計全部含氮量若干。

2. 缺氮區：方法與調查項目同 (1)，但僅施磷鉀肥。
3. 缺磷區：方法與調查項目同 (1)，但僅施氮鉀肥。
4. 缺鉀區：方法與調查項目同 (1)，但僅施氮磷肥。
5. 對照區：方法與調查項目同 (1)，但不施任何肥料。

結 果

一、化學氮肥及不同陰離子銨鹽對滿江紅生長之影響：就表 4 結果而言，在 N 54kg/ha 用量下

本省常用之化學氮肥中，只有硫酸銨對滿江紅沒有致死的情形。臺肥公司出產之複合肥料臺肥 1 號及 4 號皆發現對滿江紅生長有不利之影響，尿素對滿江紅毒害作用亦強，雖經降低使用濃度至 N 15kg/ha 及 N 5kg/ha 仍明顯抑制滿江紅生長（表 5）。另以不同陰離子銨鹽在 N 45kg/ha 用量下試驗結果，亦發現只有硝酸銨及氯化銨不妨礙滿江紅生長。其餘醋酸銨、檸檬酸銨及碳酸銨都會殺死滿江紅（表 6）。

表4. 不同化學氮肥對滿江紅生長之影響

Table 4: Effects of nitrogen fertilizers on the growth of the azolla

Fertilizers (N 54kg/ha.)	0 day	Yields(fresh weight, g*)		15 days
		5 days	10 days	
Ammonium phosphate monobasic	4	16.7	42.0	79.7
Ammonium sulfate	4	14.0	29.3	64.3
Taiwan fertilizer No. 1 (compound)	4	—**	—	—
Taiwan fertilizer No. 4 (Compound)	4	—	—	—
Urea	4	—	—	—
Check	4	19.3	30.3	46.7

*per pot (35×28cm)

**death of azolla

表5. 不同尿素用量對滿江紅生長之影響

Table 5: Effects of rates of urea on the growth of the azolla

Rates of application (N kg/ha)	0 day	Yields (fresh weight, g*)	
		6 days	14 days
0	4	18.2	42.0
5	4	11.8	19.3
15	4	12.0	17.3
45	4	—**	—

*per pot (35×28cm)

**death of azolla

表6. 不同陰離子型銨對滿江紅生長之影響

Table 6: Effects of different anion of ammonium salts on the growth of the azolla

Ammonium salts (N 45kg/ha)		0 day	Yields (fresh weight, g*)	
			5 days	12 days
Amonium nitrate	(NH ₄ NO ₃)	4	13.7	33.2
Amonium chloride	(NH ₄ Cl)	4	11.3	33.3
Amonium acetate	(CH ₃ COONH ₄)	4	5.0	9.8
Amonium carbonate	((NH ₄) ₂ CO ₃)	4	—**	—
Amonium citrate	((NH ₄) ₂ C ₆ H ₅ O ₇)	4	—	—

*per pot (35×28cm)

**death of azolla

二、硝酸態氮濃度對滿江紅固氮活性之影響：表 7 數據顯示，在高濃度硝酸態氮存在的情形下，滿江紅之固氮活性仍與無氮處理者相似。因此，培養液內添加硝酸態氮並不影響滿江紅之固氮活性。並且添加硝酸態氮之各處理鮮重增加量要比無氮者高（表 7）。

表7. 不同濃度硝酸態氮對滿江紅生長及固氮力之影響

Table 7: Effects of nitrate-N concentrations on the fresh weight yield and N₂-fixing ability of the azolla

Conc. of Nitrate-N (ppm)	Yields (fresh weight, g)		N ₂ -fixing ability (n mole C ₂ H ₄ /0.1g fw/hr.)	
	0 day	3 days	0 day	3 days
0.0	0.3	0.52	89	92
15.0	0.3	0.73	95	101
76.0	0.3	0.75	82	99
153.0	0.3	0.70	85	101
306.0	0.3	0.60	85	98

三、施用硫酸銨及過磷酸石灰對滿江紅生長及固氮活性之影響：圖1.顯示，使用硫酸銨後滿江紅的固氮力明顯的降低，且硫酸銨用量愈多抑制作用愈強。不過若以過磷酸石灰與硫酸銨一起施用，則滿江紅之固氮力可以獲得明顯的改進。尤其以 N 18kg/ha 之硫酸銨配合 P₂O₅ 20—40kg/ha 之過磷酸石灰使用對滿江紅之固氮力及鮮重增力率幫助最大（圖2.表8.）。

四、不同土壤與不同水深對滿江紅生長之影響：由表9.中得知不施磷肥情況下培養於酸性土壤之水面上者之滿江紅要比培養於鹼性土壤的水面上者為好。施用磷肥後結果亦同。而酸性土壤中又以酸性粘板岩沖積土上之滿江紅對磷肥之反應最佳。所培養出之滿江紅不但鮮重增加最多，而且體內含氮量亦較培養於其他土壤者為高。水深亦影響磷肥效應，在磷肥表施土面後加水至土面上 3cm之深為高最能顯示出磷肥效應（表10）。

五、氮、磷、鉀肥對滿江紅生長之影響：田間養殖滿江紅時磷肥效大於氮肥及鉀肥。只施用磷鉀肥或磷氮肥都有相當好的產量。缺少磷肥時滿江紅生長最差、而且株體變黃、含氮量降低（表 1）。氮磷鉀肥配合使用可使滿江紅產量達到最高。

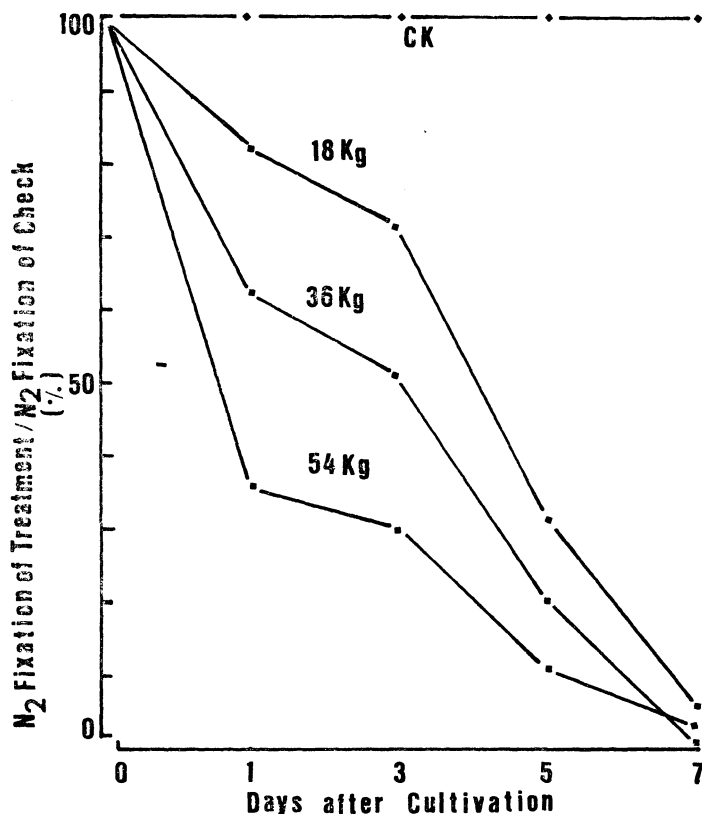


Fig. 1 : Effects of ammonium sulfate on the N₂-fixing ability of the azolla

圖1. 硫酸銨對滿江紅固氮力之影響

表8. 不同硫酸銨及過磷酸石灰用量對滿江紅鮮重產量之影響

Table 8 : Effects of ammonium sulfate and superphosphate on the fresh weight yield of the azolla (inoculum : 0.5g, growth period : 21 days)

rates of N	rates of P ₂ O ₅							
	80		40		20		0	
	S*	I**	S	I	S	I	S	I
54	3.1***	4.0	7.1	6.9	4.2	4.2	4.2	4.2
36	4.9	5.5	9.2	8.5	7.4	6.7	5.7	7.1
18	6.6	5.5	9.3	8.7	8.2	7.7	5.1	7.0
0	5.0	5.0	7.6	8.2	9.3	8.6	4.9	(check)

* : fertilizers were applied superficially on the soil

** : fertilizers were incorporated into the soil

*** : fresh weight of azolla, gram

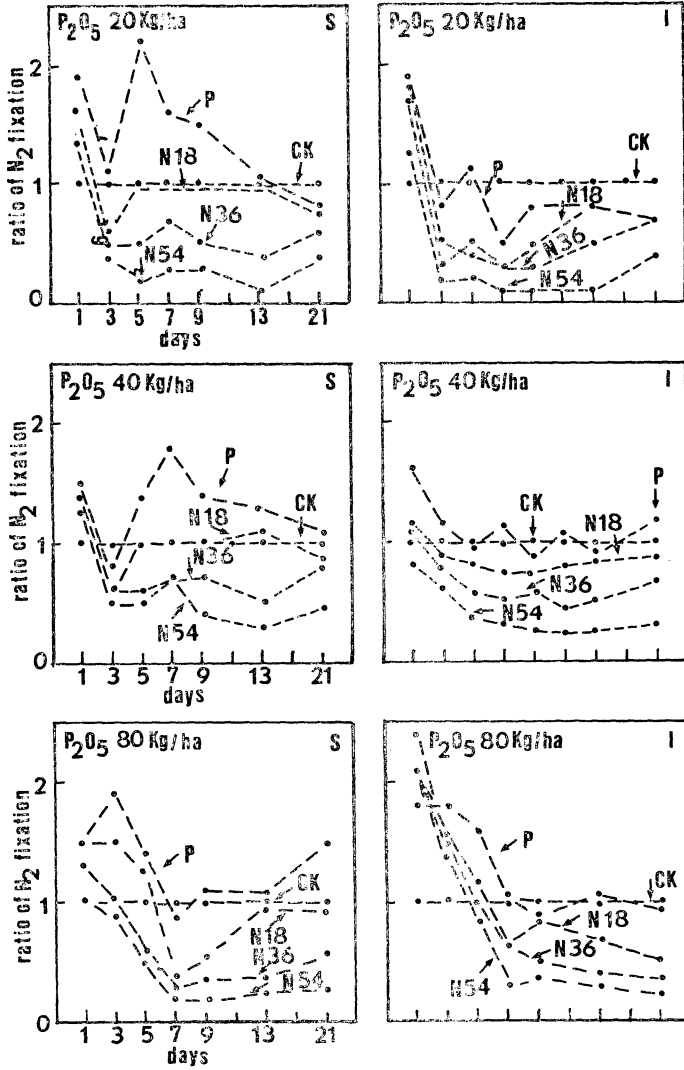


Fig. 2: Effects of ammonium sulfate and superphosphate on the N₂-fixing ability of the azolla, S, fertilizers were applied superficially on the soil, I, fertilizers were incorporated into the soil, ratio of N₂ fixation: N₂ fixation of fertilizer treatment / N₂ fixation of Check, Check as 1

圖2. 硫酸銨與過磷酸石灰對滿江紅固氮力之影響，S：肥料表施，I：肥料拌施，固氮力比值：肥料處理之固氮力／對照之固氮力，對照者以1表示。

表9. 不同田土性狀對滿江紅生長之影響

Table 9 : Effects of soil characters on the growth of *Azolla pinnata* on different soils

Soils	pH	Yields (fresh weight, g)							
		0 day		10 days		20 days		N%* 20 days	
		+p**	-p	+p	-p	+p	-p	+p	-p
RE	5.9	4.0	4.0	8.4	9.0	19.5	11.0	2.52	—
SLa	6.3	4.0	4.0	14.0	9.3	51.3	9.8	3.94	—
SLb	7.6	4.0	4.0	4.8	9.3	2.5	9.0	1.81	—
SCa	5.9	4.0	4.0	8.4	14.0	13.9	17.0	2.10	—
SCb	7.5	4.0	4.0	10.0	11.0	15.2	13.6	2.06	—
SSa	6.6	4.0	4.0	8.1	6.6	18.6	6.4	3.05	—
SSb	7.1	4.0	4.0	11.5	9.7	13.3	10.8	1.96	—

*dry weight basis

**P₂O₅ 15kg/ha.

表10. 不同水深對滿江紅生長之影響

Table 10 : Effects of water depth on the growth of azolla

Water depth (cm)	0 day	Yields (fresh weight. g)		N%* 14 days
		7 days	14 days	
1	4	19.2	41	3.05
3	4	30.1	56	4.07
6	4	31.4	58	3.34

*on dry weight basis

表11. 田間養殖時，氮、磷、鉀肥對滿江紅生長之影響

Table 11 : Effects of N. P. K. on the cultivation of azolla, initial inoculum : 500 kg/ha.

Fertilizer ^{1/}	Yields (fresh weight, g)					
	15 days			30 days		
	f w ^{2/}	% N ^{3/}	t N ^{4/}	f w	% N	t N
N+P+K	8,867	0.304	27.0	13,340	0.268	35.8
P+K	7,804	0.264	20.6	11,939	0.243	29.0
N+P	6,400	0.290	18.6	10,872	0.220	23.7
N+K	2,401	0.208	5.0	2,401	0.173	4.2
Check	3,869	0.224	8.7	3,335	0.141	4.7

^{1/} N 15kg/ha, P₂O₅ 15kg/ha. K₂O 15kg/ha.^{2/} fresh weight, kg/ha.^{3/} on fresh weight basis^{4/} total nitrogen estimated, kg/ha. (seriously infected by pest between 15 and 30 days)

討 論

一般生物性固氮材料並不適合與化學氮肥一起施用^(4,5)，而有關滿江紅的研究中亦曾報導化學氮肥會使滿江紅生長情形變差^(3,10)。本文中發現目前本省常用的化學氮肥太多不利於滿江紅生長。不過硫酸銨對滿江紅之影響要比其他者來得輕，而且若在 N 18kg/ha 用量以下，配合 P₂O₅ 20kg/ha 至 40kg/ha 之過磷酸石灰使用，則不但不影響滿江紅之固氮力，甚至對滿江紅鮮重之增加還能有所幫助(表 8. 圖 2.)。因此日後滿江紅與水稻之共作系統中若須施用化學氮肥時，可以每次以 N 18 kg/ha 之硫酸銨配合 P₂O₅ 20kg/ha 至 40kg/ha 之過磷酸石灰一起施用，來保持滿江紅生物固氮功能。另外，供試 5 種不同陰離子銨中除硝酸銨及氯化銨外，其他三種對滿江紅都有致死情形，因此化學氮肥對滿江紅致死作用可能與其陰離子有較大的關係，而非氮本身。

在培養液的情況下添加硝酸態氮並不影響滿江紅固氮活性⁽⁹⁾(表 7) 此點與化學氮肥會影響滿江紅生長與固氮活性之結果完全相反(圖 1—2)。其原因為何尚不可知，但可能是培養液內添加有磷，減少了氮素之抑制作用。其情形就如過磷酸石灰與硫酸銨一同使用可以減少硫酸銨對滿江紅之毒性與抑制力一樣。

不同性狀土壤不但影響滿江紅之生長，而且也影響滿江紅對磷肥之反應。Singh⁽¹⁰⁾ 與 Tuan⁽¹¹⁾ 皆報告過滿江紅 (*Azolla*) 在酸性土壤中生長情形要比鹼性土壤者佳。本文所用 *Azolla pinnata* 最適 PH 範圍在 5.5 左右⁽¹¹⁾。其對不同性狀土壤之反應中亦發現偏好酸性土壤。而在加施磷肥後發現滿江紅在酸性粘板岩沖積土中對磷肥反應最佳。而在鹼性粘岩沖積土中對磷肥反應最差。甚至有類似毒害的情形發生(表 9)

就實驗結果及工作經驗而言，水深亦影響滿江紅生長甚鉅。表 10 中指出在酸性粘岩沖積土之情況下，3 公分以上的土水方能使滿江紅反應出最好的磷肥效用。而以田間實際養殖之情形而言，若水深不足以使滿江紅飄浮，則滿江紅之生長速率甚慢，無法在同一期間內達到一般飄浮情形時滿江紅之鮮重量。因而會嚴重影響田間養殖試驗之結果。

田間養殖滿江紅最主要的肥料是磷肥，其適當用量在 P₂O₅ 7.5kg/ha~15kg/ha 間^(7,8,10,11)。本文之滿江紅在 P₂O₅ 15kg/ha 下還有著相當好的產量。氮肥配合磷肥使用稍可提高滿江紅產量，與室內實驗之結果相似。但提高的產量有限，似不經濟。而且氮肥經常使用時會促進其他雜草生長，造成不利滿江紅之情形。因此就滿江紅養殖而言，可不必添加。

引 用 文 獻

1. 李啓彰、林錫錦、林家榮 1981 水田滿江紅 *Azolla pinnata* 之研究 1. 環境因子對滿江紅生長之影響。中華農業研究 30(4) : 405-411。
2. 林家榮、張愛華、曾肇清 (1973)。臺灣主要土壤含氮狀況與其供應情形，農業研究 22 : 186—203。
3. Becking, J. H. 1979. Environmental requirements of azolla for use in tropical rice production. In Nitrogen and Rice p. 345-373. IRRI
4. Edwards, D. G. 1975. Nutritional factors limiting nitrogen fixed by Rhizobia. In Biological Nitrogen Fixation in Farm Systems of the Tropics Ed. A. Ayanaba and P. J. Dart p. 189-204
5. Kafer, N. 1975. Non-symbiotic nitrogen fixation in tropical humid soils, with particular reference to Nigeria. In Biological Nitrogen Fixation in Farm Systems of the Tropics Ed. A. Ayanaba and P. J. Dart p. 267-272
6. Moore, A. W. 1969. *Azolla*, Biology and Agronomic Significance. Bot. Rev. 35 : 17-34
7. IRRI. 1976. Annual report for 1976. p. 232-233
8. IRRI. 1977. Annual report for 1977. p. 287-288

9. Peters, G. A., W. R. Evans, and R. E. Tori, Jr. 1976. Azolla-Anabaena azolla relationship IV. Photosynthetically driven, nitrogenase-catalyzed H_2 production. *Plant Physiol.* 58 : 119-126
10. Singh, P. k. 1979. Use of azolla in rice production in India. In *Nitrogen and Rice* p. 407-418. IRRI
11. Tuan, D. T. and T. Q. Thuyet. 1979. Use of azolla in rice production in Vietnam In *Nitrogen and Rice* p. 395-405. IRRI

The Use of *Azolla Pinnata* in Rice Paddies

II. The Influences of Soil and Chemical Fertilizers on the Growth of Azolla¹

C. C. Lee, C. J. Lin and C. F. Lin²

Summary

At the rate of N 54kg/ha, urea, Taiwan compound fertilizer No. 1 and Taiwan compound fertilizer No. 4 killed the azolla, but ammonium sulfate did not. Low rates of urea, i. e. N 15 and N 5kg/ha, retarded the growth of the azolla. At the rate of N 45 kg/ha of ammonium acetate, ammonium carbonate and ammonium nitrate, the azolla was killed also, but ammonium chloride and ammonium nitrate were helpful for the growth of the azolla.

The nitrogenase activity of the azolla was hardly influenced either by the high or the low concentrations of nitrate nitrogen in Tollen's solution, but was seriously inhibited by the application of ammonium sulfate at the rates of N 18, N 36 and N 54 kg/ha. The addition of superphosphate was helpful for the recovery of azolla's nitrogenase activity which was inhibited by ammonium sulfate application.

With and without P addition, the azolla grew more vigorously in acidic soilwater than in calcareous soil water. The soil water of acidic slate alluvial soil was found to be the most suitable for azolla growth, while the calcareous slate alluvial soil water was found to be the most unsuitable one. Water depth around 3-5 cm were better than that of 1 cm for the superphosphate application.

The N. P. K. fertility tests in field showed that the P had the dominant effect among these three elements.

1. Contribution No. 1059 from Taiwan Agricultural Research Institute.

2. Junior Specialist, Soil Microbiologist, Soil Scientist and Department Head. Department of Agricultural Chemistry, TARI, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 431, R. O. C.

3. This research study was supported by a research grant from Council for Agricultural Planning and Development, Taiwan.