稻田掩埋滿江紅對水稻生育之影響[1]

賴文龍[2]　黃山內[3]　王錦堂

摘　要

爲瞭解稻田掩埋滿江紅對土壤性質及稻谷產量之影響，以節省化學氮肥用量。試驗結果顯示掩埋滿江紅可增加土壤有機質含量，減低土壤密實性，促進土壤微生物活動，增加水稻有效分蘗數，提高稻作產量。在不施氮肥情形下，水稻產量以前作加間作(插秧前1天及插秧後40天)掩埋滿江紅處理較對照增產30.6%。間作(插秧後40天)掩埋滿江紅處理增產23.3%。前作(插秧前1天)掩埋滿江紅處理增產18.6%。滿江紅間作放任(放植不掩埋)處理增產10.3%。顯示掩埋滿江紅可節省化學氮肥60~70kg/ha。

前　言

滿江紅(Azolla)爲水生蕨類植物，在環境不適遇低溫時，耐寒性弱之品系其植物體由綠色轉爲紅色，是由其植物體產生紅色花色素(red anthocyanin pigment)之故，故名滿江紅。滿江紅葉內有固氮藍綠藻*Anabaena azollae*共生，其有極強的固氮力[4,12]，據Talley及Rains [12,14]估計，滿江紅生長35天的固氮量約35kg/ha。我國古代即記載此種植物具有肥田之效果，並於明朝末年(17世紀)水田即曾加以利用[9]。滿江紅係優良氮肥來源之一，其植體生長迅速且與水稻共作，爲水田優良綠肥作物之一[3,9,11,12,14,15]。近年來化學肥料成本低廉，農民大量濫用，容易造成土壤理化性轉劣，破壞環境、污染土壤[6]。本試驗探討稻田掩埋滿江紅對土壤及水稻之影響，進而了解掩埋滿江紅後釋放氮素之肥效，以節省化學氮肥用量之可行性。

材料與方法

田間設計及肥培管理

本試驗分別於七十一年二期作於彰化縣埤頭鄉及七十二年一期作於北斗鎮進行田間試驗，共計八處理，四重覆，採用逢機完全區集設計，小區面積2.5m×4m=10m^2，行株距22.5cm×22.5cm。滿江紅品種爲A. pinnata，水稻品種爲台農67號。一期作滿江紅於插秧前60天，接種(放植)於處理3、6、8等試區，各小區放植0.5kg，爲求試驗一致性，將掩埋鮮物量調整爲40t/ha。一期作水稻收穫後立刻接種滿江紅，俟二期作插秧時滿江紅之鮮物量約已達30t/ha。處理4、5、7、8等試區於一、二期作各掩埋及鮮物量均爲25t/ha。化學肥料用量，氮素一期作65kg/ha，二期作50kg/ha，磷酐54kg/ha，氧化鉀爲60kg/ha。肥料施用法按中部地區推荐法[8]行之，氮肥以硫酸銨分四次施用，磷肥以過磷酸鈣一次及鉀肥以氯化鉀分二次予以施用。

---

[1] 台中區農業改良場研究報告第 0191 號。

[2] 台中區農業改良場技工及助理研究員。

[3] 前台中區農業改良場副研究員，現任行政院農業委員會技正。

試驗處理

1.對照區：不施氮肥，不放植滿江紅。

2.氮肥區：施氮肥(I期65kg N/ha，II期50kg N/ha)，不放植滿江紅。

3.滿江紅前作掩埋區：滿江紅先放植，插秧前一天翻犁掩埋，不施氮肥。

4.滿江紅間作掩埋區：插秧後放植滿江紅，於插秧後40天用人工掩埋，不施氮肥。

5.滿江紅間作放任不掩埋區：插秧後放植滿江紅，任其生殖覆蓋田面，不施氮肥。

6.滿江紅前作掩埋加氮肥區：同處理2及3。

7.滿江紅間作掩埋加氮肥區：同處理2及4。

8.滿江紅前作及間作掩埋區：同處理3及4，不施氮肥。

試區一般土壤性質

Soil properties of experimental plot

Location	Soil series	Texture [1]	PH 1:1 soil/H_2O	OM (%)	Available P_2O_5 (kg/ha)	Available K_2O (kg/ha)
Pitou	Erhiin (Eh)	SiCL	7.7	3.2	6	46
Peitoli	Chunliao (Cl)	SCL	5.9	3.8	74	50

[1]SiCL: Silty clay loam, SCL: Sandy clay loam.

調查及分析項目

滿江紅及水稻植物體分析，氮之定量以濃硫酸硝化分解後用微量擴散法測定，磷、鉀、鈣、鎂等用硝酸等三種酸混合液分解，磷用鉬黃法定量，鉀用焰光分析法，鈣及鎂則用原子吸光法測定(2)。種植前及收穫時分別採取土壤，分析土壤質地、pH值、有機質、有效性磷酐及氧化鉀、土壤總體密度等項目(6,10)。水稻生育期及收穫時分別調查農藝性狀及產量。

結果與討論

滿江紅掩埋對土壤之變化

掩埋滿江紅後土壤有機質含量提高0.1~0.2% (表一)，土壤顏色由灰色變深黑色，顯示滿江紅係優良有機物源。土壤總體密度則以掩埋處理在北斗試區較對照(無掩埋)處理1.23g/cm^3降低0.06g/cm^3，在埤頭試區則較對照處理1.20g/cm^3降低0.17g/cm^3，顯示掩埋滿江紅可減低土壤密實性，有促使土壤疏鬆以擴展作物根域及增加微生物族群之趨勢(6,7)。至於土壤pH值，有效性磷酐及氧化鉀含量則未有影響。

表一、滿江紅掩埋對水稻田土壤性質之影響

Table 1. Soil properties as affected by incorporated Azolla

Location	Treatment	Texture	pH 1:1 soil/H_2O	Organic matter (%)	Available P_2O_5 (kg/ha)	Available K_2O (kg/ha)	Soil density (g/cm^3)
Pitou	-[1]	SiCL	7.7	3.2	6	47	1.20
	+	SiCL	7.6	3.5	13	53	1.03
Peitou	-	SCL	6.0	3.8	78	53	1.23
	+	SCL	5.9	3.9	72	54	1.17

[1] (-) Check, (+) appling Azolla.

滿江紅放植之適應性及肥效

放植滿江紅生殖生長速率，調查結果約每2.60~4.93日可增殖一倍，以放植0.5kg/10m^{2}經60天生殖生長每公頃可獲得35公噸以上之鮮物，其乾物含氮率4.25%，含水率95%，經換算可得約74kg氮素，可供給水稻營養吸收。在不施氮肥情形下，以前作加間作掩埋處理產量較對照氮肥處理增產1.8% (96kg/ha)(表二)顯示掩埋兩次滿江紅之肥效不遜於氮肥處理區。

表二、滿江紅掩埋對水稻產量之影響

Table 2. Effects of incorporated Azolla on grain yield and straw yield

Crop season	Yield	Treatment[1]							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1st Crop	Grain yield (kg/ha)	4520f[2]	5908bcd	5340de	5540cde	4765ef	6827ab	6680abc	6069bcd
	Index (%)	100	130.7	118.1	122.6	105.4	151.0	147.8	134.3
	Straw yield (kg/ha)	3150f	4989bcd	4553cd	4646cd	4043de	5838ab	5833ab	5325abc
	Grain/Straw ratio	1.29	1.18	1.17	1.19	1.18	1.17	1.15	1.14
2nd Crop	Grain yield (kg/ha)	4180f	5260cd	4980de	5190cd	4830e	5570b	6110a	5290bc
	Index (%)	100	125.8	119.1	124.2	115.6	133.3	146.2	126.6
	Straw yield (kg/ha)	4150f	5130d	4950e	5410cd	4920e	5750b	6060a	5680bc
	Grain/Straw ratio	1.01	1.03	1.01	0.96	0.98	0.97	1.01	0.93

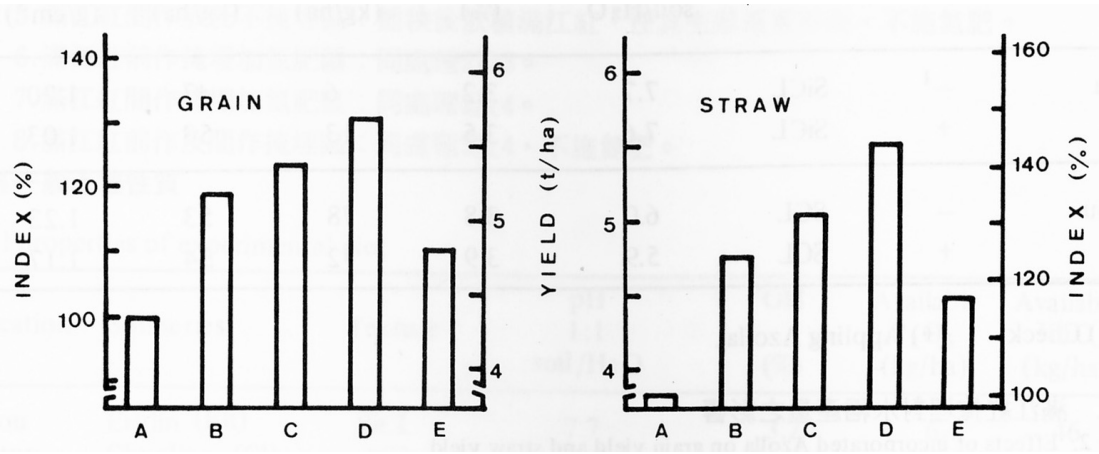
[1] 1. Check.
2. First crop: 65kg N/ha, Second crop: 50kg N/ha.
3. Azolla, turned down to the soil before transplanting.
4. Azolla, turned down to the soil 40 days after transplanting.
5. Azolla, continuously growing on the soil surface.
6. Azolla applied as treatment 3 and N as treatment 2.
7. Azolla applied as treatment 4 and N as treatment 2.
8. Azolla applied at the two stages as 4 and 3.

[2] Significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

掩埋滿江紅對水稻產量影響

稻谷產量調查結果顯示在不施氮肥情形下，一期作以前作加間作掩埋滿江紅處理產量6,069kg/ha較對照增產34.3% (l,549kg/ha)；前作掩埋滿江紅處理5,340kg/ha則增產18.1% (820kg/ha)；間作掩埋滿江紅處理產量5,540kg/ha增產22.6% (l,020kg/ha)；滿江紅間作放任不掩埋處理產量4,765kg/ha亦增產5.4% (245kg/ha)。顯示滿江紅生殖期與水稻共作即開始固氮供給水稻吸收利用(表二、圖一)。在施氮肥(65kg N/ha)情形下，前作掩埋滿江紅處理產量6,827kg/ha較對照增產15.6% (919kg/ha)；間作掩埋滿江紅處理產量6,680kg/ha則增產13.1% (772kg/ha)；而前作加間作掩埋滿江紅較施氮處理則增產2.7% (161kg/ha)，顯示掩埋二次滿江紅效果不遜化學氮肥。二期作在不施氮肥情形下，前作加間作掩埋滿江紅處理產量5,290kg/ha較對照處理增產26.6% (l,100kg/ha)；前作掩埋滿江紅處理產量4,980kg/ha增產19.1% (800kg/ha)；間作掩埋滿江紅處理5,190kg/ha增產24.2% (1,010kg/ha)；而滿江紅間作放任處理產量4,830kg/ha亦增產15.6% (650kg/ha)，其結果與一期相同。在施氮(50kg/ha)情形下，前作掩埋滿江紅處理產量5,570kg/ha較對照增產5.9% (310kg/ha)；間作掩埋滿江紅處理產量

6,110kg/ha增產16.2% (850kg/ha)；而前作加間作掩埋滿江紅較施氮處理產量稍增產30kg/hg，顯示二期作掩埋二次滿江紅效果與施50kg N/ha雷同。



圖一、掩埋滿江紅在不施氮肥下對水稻產量之效應

Fig. 1. Effects of Azolla incoproration on yield of rice under no nitrogen fertilizer applied.

A: Check(OkgN/ha).

B: Azolla, turned down to the soil before transplanting.

C: Azolla, turned down to the soil at 40 days after transplanting.

D: Azolla applied at the two stages as treatments C and B.

E: Azolla continuously growing on the soil surface.

稻草產量調查結果顯示，在不施氮肥情形下，掩埋滿江紅處理在一期作較對照增產29.7~51.7% (平均37.9%)，二期作則增產19.3~36.9% (平均28.9%)；滿江紅間作放任處理較對照，在一期作增產15.2%，二期作增產18.6%。在施氮肥情形下，掩埋滿江紅處理在一期作較對照增產16.9~17.0% (平均16.95%)，二期作增產12.1~18.1% (平均15.1%)；而前作加間作掩埋滿江紅(不施氮肥)處理在一期作較對照增產6.9%，二期作增產10.7%，顯示稻草增產效果與稻谷類似。

掩埋滿江紅40t/ha鮮物量，其肥效亦相當約50~65kg N/ha。證明滿江紅當基肥(前作)掩埋，再配合滿江紅共作，可減少40%以上化學氮肥用量之效果[1,3,5]。稻田放植滿江紅當綠肥使用，於前作或間作掩埋再配合半量氮素施用，必能發揮水稻增產效果，並可節省氮肥用量。

掩埋滿江紅對水稻生育之效果

1.水稻不同生育時期分蘗數調查，在不施氮肥情形調查結果(表三)顯示一期作第一次(30天)調查，以前作掩埋處理較對照分蘗增加2.7支，其餘各處理間差異不顯著。第二次(60天)調查以前作加間作掩埋處理較對照分蘗增加5.4支，前作掩埋處理增加3.6支，間作掩埋處理增加2.4支，而間作放任處理則略減。第三次(120天)調查以前作加間作掩埋處理較對照穗數增加5.1支，間作及前作掩埋處理分別增加2.6及3.0支，間作放任處理則增加1.4支。顯示插秧前掩埋滿江紅，植物體分解後供給水稻吸收。二期作第一次(25天)調查以前作加間作掩埋處理較對照分蘗增加3.1支，間作掩埋及放任處理分別增加2.8及3.0支，前作掩埋處理增加1.3支。第二

次(50天)調查以間作掩埋處理較對照分蘗增加1.7支，前作掩埋處理增加1.3支，第三次(110天)調查結果與50天調查有相同趨勢。證明本省二期作高溫及多濕的環境下，土壤有機質分解較快，需提供土壤有益微生物之活動，以提高作物吸收利用率[6,7]。在施氮肥情形下，一期作第一次(30天)調查，前作掩埋處理較對照分蘗增加1.3支，而間作掩埋處理反而減少1.2支。第二次(60天)調查以前作掩埋處理較對照分蘗增加3.1支，間作掩埋處理增加1.2支，第三次(120天)調查前作或間作掩埋處理均較對照穗數增加2.2支。二期作第一次(25天)調查以間作掩埋處理較對照分蘗增加1.6支，而與前作掩埋處理差異不顯著。第二次(50天)調查以前作掩埋處理較對照分蘗增加1.8支，間作掩埋處理反而略減0.4支。第三次(110天)成熟調查與第二次調查有相似趨勢。顯示施半量氮肥或不施氮肥情形下，以前作掩埋分蘗數皆較對照爲多，間作處理於第二次分蘗調查時，因插秧後放植滿江紅與水稻共作，生殖快速，重疊覆蓋田面，使水稻生育初期分蘗略受影響，但掩埋後供給養分反而增加有效分蘗數。

表三、滿江紅掩埋對水稻分蘗數之影響

Table 3. Effects of incorporated Azolla on number of tillers

Crop season	Day after treatment	Treatment[1]							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1st Crop	30DAT	9.6	11.1	11.3	9.7	9.9	12.4	9.9	10.2
	60DAT	18.3	23.4	21.9	20.7	17.9	26.5	24.6	23.7
	120DAT	13.0	17.3	16.0	15.6	14.4	19.5	19.5	18.1
Percentage of effective tiller (%)		71.0	73.9	73.1	75.4	80.4	73.6	79.3	76.4
2nd Crop	25DAT	11.2	12.6	12.5	14.0	14.2	12.7	14.2	14.3
	50DAT	14.9	16.2	16.2	16.6	15.2	18.0	15.8	15.6
	110DAT	12.0	14.3	13.3	14.4	13.5	15.5	14.1	13.7
Percentage of effective tiller (%)		80.5	88.3	82.1	86.7	88.8	86.1	89.2	87.8

[1] Same as Table 2.

2.水稻之有效分蘗率(成熟期穗數/稻秧後I期60天，II期50天分蘗數)以期作(表三)來看，在不施氮肥情形下，一期作掩埋滿江紅處理73.1~76.4% (平均75.0%)較對照71%增加4%；二期作掩埋滿江紅處理82.1~87.8% (平均85.5%)較對照80.5%增加5.0%。在施氮肥情形下，一期作掩埋滿江紅處理73.6~79.3% (平均76.5%)較對照73.9%增加2.6%；二期作掩埋滿江紅處理86.1~89.2% (平均87.7%)反較對照處理88.3%微減0.6%，顯示掩埋滿江紅能持久供給水稻生育期氮素養分之需要。

3.不同生育期株高調查結果顯示(表四)，一期作第一次30天調查在不施氮肥情形下，滿江紅掩埋處理之前作或後作與對照處理株高差異不顯著，二期25天調查則以間作放任及前作加間作掩埋處理較對照處理29.4cm高出8.6~9.2cm(平均8.9cm)。在施氮肥情形下，一期作各處理間差異不顯著，而二期作則以間作掩埋滿江紅處理較對照32.5cm高出6.9cm。第二次調查在不施氮肥情形下，一期作60天調查掩埋滿江紅處理較對照49cm高出1.3~3.7cm (平均2.6cm)，二期作50天調查則較對照處埋高出爲2.4~11.4cm (平均8.1cm)。在施氮肥情形下，一期作掩埋

滿江紅處理較對照53.5cm略高出1.8cm，二期作則較對照68.8cm高出6cm。第三次調查在不施氮肥情形下，一期作120天調查掩埋滿江紅處理較對照處理87.4cm高出2.8~9.4cm (平均6.2cm)，二期作110天調查掩埋滿江紅處理較對照91.8cm高出4.2~8.5cm (平均6.2cm)。在施氮肥情形下，一期作掩埋滿江紅處理較對照處理95.9cm高出3.5~5.4cm (平均4.5cm)，二期作則較對照98.3cm高出0.5~5.3cm (平均2.9cm)。結果顯示掩埋滿江紅之處理，其施氮肥或不施氮肥間皆可增加水稻生長幅度，顯示掩埋處理後釋放氮素供給水稻生長。

表四、滿江紅掩埋對水稻株高之影響

Table 4. Effects of incorporated Azolla on plant heights

Crop season	Day after treatment	Treatment[1]							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1st Crop	30DAT	26.0	27.6	24.9	25.5	25.3	27.3	27.8	24.9
	60DAT	49.0	53.5	50.3	51.9	48.4	55.3	55.2	52.7
	120DAT	87.4	95.9	90.2	93.8	89.3	99.0	100.9	96.8
2nd Crop	25DAT	29.4	32.5	31.8	37.4	38.0	33.1	39.4	38.6
	50DAT	64.7	68.8	67.1	75.3	73.5	71.8	77.7	76.1
	110DAT	91.8	98.3	96.0	97.8	97.3	97.8	103.6	100.3

[1] Same as Table 2.

水稻產量與孕穗期葉片無機養分含量之關係

本試驗在孕穗期採取水稻劍葉分析，項目包括N、P、K、Ca、Mg等五項。分析結果與產量作相關分析，結果產量與P、Ca間之關係不穩定，顯示葉片養分受多種因子影響，以致與產量無顯著相關關係。但N及Mg含量與產量之相關性，皆達極顯著的正相關(表五)。K含量與產量則呈負相關，且在第一期作達到極顯著差異，第二期作亦達到顯著的相關關係，顯示水稻葉片含N、Mg元素越高產量則有增產趨勢，K則相反。

表五、幼穗形成期水稻劍葉養分含量與產量之相關性

Table 5. Correlation between grain yield and mineral contents of the rice flag leaf at panicle initiation stage

Crop season	N	P	K	Ca	Mg
1 st crop	0.9175**[1]	0.0638	-0.7990**	0.5576	0.9229**
2 nd crop	0.8616**	0.3093	-0.7304*	0.3879	0.8149**

[1] *,** Signification at 5% and 1% levels, respectively.

由葉片分析資料顯示(表六)，在不施氮肥情形下，兩件掩埋滿江紅處理含N 2.29%較對照增加0.16%，間作掩埋滿江紅處理含N 2.52%較對照增加0.39%，前作加間作掩埋處理含N 2.36%較對照增加0.23%。因此，滿江紅肥效主要來自掩埋土中之鮮物體分解後產生有機氮，釋放供給水稻吸收。亦證明滿江紅在水田土壤中經1~2週開始分解釋放氮素，經20~30天後水稻獲益較大[1,3,4,5,12,13,14,15]。稻田掩埋滿江紅當基肥，在生育期少量氮肥，即可充分發揮滿江紅之肥效。

表六、不施 N 肥之下掩埋滿江紅對水稻劍葉之 N、Mg 含量之影響

Table 6. Nitrogen and magnesium contents of rice flag leaf as affected by Azolla incorporation under no nitrogen fertilizer appliec

Treatment[1]	N (%)	Mg (%)
A	2.13	0.201
B	2.29	0.191
C	2.52	0.233
D	2.36	0.238
E	2.32	0.191

[1] A: Check (Okg N/ha).
B: Azolla, turned down to the soil before transplanting,
C: AzoUa, turned down to the soil at 40 days after transplanting,
D: Azolla applied at the two stages as treatments C and B.
E: Azolla continuously growing on the soil surface.

誌　　謝

本報告承農委會及農林廳補助經費。文成後復承中興大學陳世雄博士斧正，謹此誌謝。

參考文獻

1. 李啓彰、林錫錦、林家棻 1981 水田滿江紅*Azolla pinnata*之研究I.環境因子對滿江紅生長之影響 中華農業研究 30(4):405-411。
2. 李蘭帝 1966 大量植物體樣本氮、磷、鉀之迅速測定法 中華農業研究 15(2):1-5。
3. 林錫錦 1983 水田滿江紅固氮之肥效及抑制稻田雜草之研究 中華農業研究 32(4):348-359。
4. 林錫錦 1984 滿江紅與固氮藍綠藻共生之研究 生物科學 23:11-14。
5. 黃山內、蔡宗仁、蘇匡基 1982 栽種滿江紅對節省氮肥之經濟性研究 台中區農業改場研究彙報 6:103-111。
6. 陳振鋒(譯) 1987 基本土壤學(Fundamental soil sience) 徐氏基金會 台北。
7. 楊秋忠 1988 土壤與肥料 農藥世界叢書 N0. 1 台中 p.200-207。
8. 作物施肥手冊 1987 台灣省政府農林廳編印。
9. Lumpkin, T. A., and D. L. Plucknett. 1980. Azolla: Botany, phsiology, and use as green manure. Economic Botany. 34:111-153.
10. Moore, A. W. 1969. Azolla:Biologyand agronomic significance. TheBot. Rev. 35:17-34.
11. Rains, D. W., and S. N. Talley. 1979. Use ofazoUa in North America. In Nitrogen and Rice. IRRI. p.419-431.
12. Singh, P. K. 1979. Use of azoUa in rice production in India. In Nitrogen and Rice. IRRI. p. 407-418.
13. Talley, S. N., and B. J. Talley. 1979. Nitrogen-fixation by azoUa in rice fields. In Genetic Engineering for Nz-fixation. D. A. HoUaender et al. (ed.) Plenum Press. N. Y. p. 259-281.
14. Watanabe, 1., G. R. Espinas, N. S. Beria, and B. V. Alimagno. 1977. Utilization of the *azollaanabaen acomplez* as a N fertilizer for rice. IRRI. Res. Pap. Ser. 1 1:15.

Effects of Azolla Application on Growth and Yield of Rice[1]

W. L. Lay[2], S. N. Huang[3] and C. T. Wang[2]

ABSTRACT

In order to decrease the demand of nitrogen fertilizer, Azolla was grown on the paddy field in the second crop rice of 1982 and then been plowed and incorporated into the ground after rice harvest. Rice was again intercropped with Azolla in the first crop of 1983. Results showed that organic matter content in the soil was increased, density of soil decreased, and tillers and yield of rice increased by Azolla application. In the treatment of no nitrogen fertilizer applied, incorporated Azolla at the end of former crop and 40 days after transplanting showed a 30.6% increase of yield of rice than control plot. Intercropped with Azolla at 40 days after transplanting showed a rice yield increase of 23.3%, while former crop applied Azolla only increased 18.6% of rice yield. Intercropped with Azolla but did not incorporated into ground only increased 10.3% of rice yield. It showed that application of Azolla can save nitrogen fertilizer application by 60-70 kg/ha.

---

[1] Contribution No. 0192 from Taichung DAIS.

[2] Field Assistant and Assistant Soil Scientist ofTaicliung DAIS.

[3] Former Soil Scientist of Taichling DAIS , Specialist of Council of Agriculture, Executive Yuan