

稻田掩埋滿江紅對水稻生育之影響

賴文龍 黃山內 王錦堂

滿江紅(*Azolla*)為水生蕨類植物，在環境不適遇低溫時，耐寒性弱之品系其植物體由綠色轉為紅色，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，具有極強的固氮力^(4,12)，據 Talley 及 Rains 估計，滿江紅生長 35 天的固氮量約 35 kg/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⁽⁸⁾。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，為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。

滿江紅掩埋對土壤之變化

掩埋滿江紅後對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 1.23 g/cm³ 降低 0.06 g/cm³，在埤頭試區則較對照處理 1.20 g/cm³ 降低 0.17 g/cm³，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。至於土壤 pH 值，有效性磷酐及氧化鉀含量則未有影響。

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 0.5 kg/10 m² 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 74 kg 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%(96 kg/ha)(表二)顯示掩埋兩次滿江紅之肥效不遜於氮肥處理區。

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處理產量 6,069 kg/ha 較對照增產 34.3% (1,549 kg/ha)；前作掩埋滿江紅處理 5,340 kg/ha 則增產 18.1% (820 kg/ha)；間作掩埋滿江紅處理產量 5,540 kg/ha 增產 22.6% (1,020 kg/ha)；滿江紅間作放任不掩埋處理產量 4,765 kg/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)。在施氮肥(65kg N/ha)情形下，前作掩埋滿江紅處理產量 6,827 kg/ha 較對照增產 15.6% (919 kg/ha)；間作掩埋滿江紅處理產量 6,680 kg/ha 則增產 13.1% (772 kg/ha)；而前作加間作掩埋滿江紅較施氮處理則增產 2.7% (161 kg/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 5,290 kg/ha 較對照處理增產 26.6% (1,100 kg/ha)；前作掩埋滿江紅處理產量 4,980 kg/ha 增產 19.1% (800 kg/ha)；間作掩埋滿江紅處理 5,190 kg/ha 增產 24.2% (1,010 kg/ha)；而滿江紅間作放任處理產量 4,830 kg/ha 亦增產 15.6% (650 kg/ha)，其結果與一期相同。在施氮(50 kg/ha)情形下，前作掩埋滿江紅處理產量 5,570 kg/ha 較對照增產 5.9% (310 kg/ha)；間作掩埋滿江紅處理產量 6,110 kg/ha 增產 16.2% (850 kg/ha)；而前作加間作掩埋滿江紅較施氮(50 kg/ha)處理產量稍增產 30 kg/ha，顯示二期作掩埋二次滿江紅效果與施 50 kg N/ha 雷同。

表一、滿江紅掩埋對水稻田土壤性質之影響

地點	處理	土壤質地	pH	OM	有效性磷酐	有效性氧化鉀	土壤總體密度 (g/cm ³)
			1:1	(%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	
			Soil/H ₂ O		(kg/ha)	(kg/ha)	
埤頭	- ¹	玢質粘壤土	7.7	3.2	6	47	1.20
	+	玢質粘壤土	7.6	3.5	13	53	1.03
北斗	-	砂質粘壤土	6.0	3.8	78	53	1.23
	+	砂質粘壤土	5.9	3.9	72	54	1.17

¹(-)對照不放植 (+)放植滿江紅

表二、滿江紅掩埋對水稻產量之影響

期作別	產量 (kg/ha)	處 理 ¹							
		1	2	3	4	5	6	7	8
一期作	稻谷產量	4520 ^f	5908 ^{bcd}	5340 ^{de}	5540 ^{cde}	4765 ^{ef}	6827 ^{ab}	6680 ^{abc}	6069 ^{bcd}
	指 數	100	130.7	118.1	122.6	105.4	151.0	147.8	134.3
	稻草產量	3150 ^f	4989 ^{bcd}	4553 ^{cd}	4646 ^{cd}	4043 ^{de}	5838 ^{ab}	5833 ^{ab}	5325 ^{abc}
	谷/草比	1.29	1.18	1.17	1.19	1.18	1.17	1.15	1.14
二期作	稻谷產量	4180 ^f	5260 ^{cd}	4980 ^{de}	5190 ^{cd}	4830 ^e	5570 ^b	6110 ^a	5290 ^{bc}
	指 數	100	125.8	119.1	124.2	115.6	133.3	146.2	126.6
	稻草產量	4150 ^f	5130 ^d	4950 ^e	5410 ^{cd}	4920 ^e	5750 ^b	6060 ^a	5680 ^{bc}
	谷/草比	1.01	1.03	1.01	0.96	0.98	0.97	1.01	0.93

¹ 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。

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 40 t/ha 鮮物量，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蘖數調查，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蘖增加 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蘖增加 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蘖增加 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蘖增加 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蘖增加 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蘖增加 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為多，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

期作別	生育調查	處					理 ¹		
		1	2	3	4	5	6	7	8
一 期 作	30 天	9.6	11.1	11.3	9.7	9.9	12.4	9.9	10.2
	60 天	18.3	23.4	21.9	20.7	17.9	26.5	24.6	23.7
	120 天	13.0	17.3	16.0	15.6	14.4	19.5	19.5	18.1
水稻有效分蘗率(%)		71.0	73.9	73.1	75.4	80.4	73.6	79.3	76.4
二 期 作	25 天	11.2	12.6	12.5	14.0	14.2	12.7	14.2	14.3
	50 天	14.9	16.2	16.2	16.6	15.2	18.0	15.8	15.6
	110 天	12.0	14.3	13.3	14.4	13.5	15.5	14.1	13.7
水稻有效分蘗率(%)		80.5	88.3	82.1	86.7	88.8	86.1	89.2	87.8

¹ 見表二。

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 天調查則較對照處理高出 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

期作別	生育調查	處 理 ¹							
		1	2	3	4	5	6	7	8
一 期 作	30 天	26.0	27.6	24.9	25.5	25.3	27.3	27.8	24.9
	60 天	49.0	53.5	50.3	51.9	48.4	55.3	55.2	52.7
	120 天	87.4	95.9	90.2	93.8	89.3	99.0	100.9	96.8
二 期 作	25 天	29.4	32.5	31.8	37.4	38.0	33.1	39.4	38.6
	50 天	64.7	66.8	67.1	75.3	73.5	71.8	77.7	76.1
	110 天	91.8	98.3	96.0	97.8	97.3	97.8	103.6	100.3

¹ 見表二。

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 元素則相反。

表五、幼穗形成期水稻劍葉養分含量與產量之相關性

期作別	N	P	K	Ca	Mg
一期作	0.9175** ¹	0.0638	-0.7990**	0.5576	0.9229**
二期作	0.8616**	0.3093	-0.7304*	0.3879	0.8149**

¹*顯著水準 **極顯著水準

由葉片分析資料顯示(表六)，在不施氮肥情形下，前作掩埋滿江紅處理含 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，在生育期配合施少量氮肥，即可充分發揮滿江紅之肥效。

表六、不施氮肥之下掩埋滿江紅對水稻劍葉之 N、Mg 含量之影響

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

¹A.對照區：不放植滿江紅。

B.滿江紅前作掩埋區：滿江紅先放植，插秧前一天翻犁掩埋。

C.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。

D.滿江紅前作及間作掩埋區：同處理 B 及 C。

E.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。

結 論

為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約 60~70 kg/ha。

參考文獻

1. 李啟彰、林錫錦、林家茶 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. 陳振鐸(譯)1987 基本土壤學 (Fundamental soil science)徐氏基金會台北。
7. 楊秋忠 1988 土壤與肥料 農藥世界叢書 No.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, physiology, and use as green manure. *Economic Botany*. 34:111-153.
10. Moore, A. W. 1969. *Azolla*: Biology and agronomic significance. *The Bot. Rev.* 35:17-34.
11. Rains, D. W., and S. N. Talle. 1979. Use of *azolla* in North America. In *Nitrogen and Rice*. IRRI. p.419-431.
12. Singh, P. K. 1979. Use of *azolla* 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 *azolla* in rice fields. In *Genetic Engineering for N²-fixation*. D. A. Hollaender et al. (ed.) Plenum Press. N. Y. p.259-281.
14. Watanabe, I., G. R. Espinas, N. S. Beria, and B. V. Alimagno. 1977. Utilization of the *azolla-anabaen* *acomplex* as a N fertilizer for rice. IRRI. Res. Ser. 11:15.