

タイ国の水田における窒素の季節的変動

福 井 捷 朗

The Seasonal Changes of Nitrogen Contents in the Paddy Fields in Thailand

by

Hayao FUKUI

は じ め に

筆者は1964年6月より1965年5月までの1年間、京都大学東南アジア研究センターならびにタイ・ユネスコ国内委員会の留学生としてタイ国カセツェート大学に学んだ。その後、1965年7月～1966年1月の7カ月間、同センター自然科学部門のうちの農業生産班の一員として同じくタイ国農務省米穀局技術部において研究に従事した。ここに述べる研究は、前記留学の後半よりはじめ、途中日本への帰国のため一時中断されたがその後再び同センターの計画の一部としてタイ国に滞在した間になされたものである。

1 研 究 の 目 的

タイ国における水稻栽培において化学肥料はほとんど使用されていない。従って毎年水稻の吸収によって圃場より持ち去られる養分は何らかの形で再び供給されていない限り一定収量を継続してあげることはできない。

ところでこの養分の再供給は天然のものであれ、人為的ないわゆる施肥であれ、その生育全期間に供給される絶対量だけが問題なのではない。養分の供給は水稻の生育相の展開に見合ったものでなければならない。特に人為的な供給方法である施肥においてはそのさじ加減を自由にできるので、生育相の展開に見合うよう加減するばかりでなく、逆に生育相の展開自体に働きかけて最終目的である収量を最高にする努力が可能である。これは三大要素のひとつである窒素については特に大切である。すなわち、窒素の供給の量、時期は水稻の生育相に最も大きく影響する。

一方、窒素の天然供給量は前作の水稻根、窒素固定能をもつ生物など、また究極的にはそれらに由来する土壤有機物の無機化がその主なものと考えられる。雨期乾期の区別のはっきりした東南アジア大陸部のモンスーン地帯では、乾期中の極度の乾燥とそれにつづく高温な雨期によって、有機態窒素の無機化は著しく、このことが天然供給を大きく左右していると思われる。

る。

従ってタイ国における水稻の施肥を考える場合に、窒素の天然供給のパターンを知っておくことがとくに必要であり、本研究はこれに関する基礎的知見を得るのを目的としている。

2 研究の方法

無施肥水田を選び、そこにおける窒素の収支を稲作全期間を通じて追跡した。

調査地点は次のようにしてえらんだ。タイ国の水田地帯としては、北部、東北部、中央部、南部、南東部に大別される。このうち中央部は大河川の下流地帯の重粘土地帯で、かつ、雨期乾期の区別も判然としており、タイの他の地帯より東南アジア大陸部の水田地帯をよく代表していると思われる。従って本調査では、調査地点は中央部の南半分に限った。すなわち

- (1) Bangkhen Rice Experiment Station (略号 Location BK) : Bangkok 北方約 14km
- (2) Rangsit Rice Experiment Station (略号 Location RS) : Bangkok 北東約 35km
- (3) Bangkhen の 2 期作農家¹⁾ (略号 Location DC) : Bangkok 北方約 16km

これら 3 地点の土壌のうち 2 点 (BK, RS) についての分析結果は本学農学部 川口教授らの土壌調査班の調査によって明らかになっている (Table 1)。なお、Location DC は BK に近接し、ほぼ同質と考えられる。

それぞれの調査地点では一筆のほぼ中央に 7m×7m の区画をとり、その区画内における窒

Table 1 Surface Soil Analysis at Location BK and RS

Location	BK	RS
pH (water)	5.0	4.3
Texture	HC	HC
Conductivity mMHO/cm ²	2.5	2.4
Total C %	1.33	2.25
Total N %	0.13	0.21
C/N ratio	10.2	10.7
C.E.C.	23.1	16.0
SiO ₂ soluble in N acetate	16.7	7.6
P ₂ O ₅ by Bray II	0.2	0.9
P ₂ O ₅ mg/100gr soil soluble in 1/5N HCl	0.9	1.8
K me soluble in 1/5N HCl	0.65	0.55
NH ₃ -N mobilized by submergence	7.3	7.8
Clay mineral	Rich in 2 : 1 types in both cases	

By K. Kawaguchi *et al.* Soil Lab. Faculty of Agr. Kyoto Univ.

1) 普通は一期作である。中央部では乾期は何も作らないのが一般で、二期作は例外的である。

素収支を考えた。

現地では次の項目について測定を行なった。

- (1) 水 深
- (2) 酸化還元電位 (E_h) TOA Electronics ltd. 製, DM-1A 型携帯用ポテンシオメーターを使用
- (3) 水稻草丈, 分けつ数
- (4) 水温, 地温

試料採取は次の要領で行なった。

- (1) 土壌：0～3cm, 3～10cm の各深度で 区画内から任意に約20カ所よりとり, よく混合して一試料とする。
- (2) 水稻：区画内より任意に 5 株をとる。
- (3) 頻度：2 週間に 1 回

試 料 分 析

- (1) 土 壤
 - i) 新鮮土アンモニア態窒素：1 規定塩化加里にて抽出, 常法通り定量
 - ii) 新鮮土硝酸態窒素：水にて抽出
アルミニウム薄片還元法にて定量
 - iii) 乾土湛水アンモニア生成量：風乾土をガラス円筒中にて湛水状態とし, 30°C で 2 週間インキュベート後, 生成したアンモニア態窒素を 1 規定塩化加里で抽出, 常法により定量
- (2) 植物体分析：全窒素を常法により定量

3 結 果 と そ の 検 討

(1) pH

いずれの地点においても湛水によって土壌の pH は上昇し, 収穫期近くにはいずれも pH 6 を越える。酸性土壌である RS では 5 月の乾燥期には pH 4 以下であるが, 湛水期には他の 2 地点と同様 pH 6 前後となる。DC では 8 月末から 9 月始めの落水期に pH の低下がはっきりみとめられる。表面水の pH は常に土壌 pH を上廻り pH 7 以上, 時に pH 8 に達することもある。

(2) 酸 化 還 元 電 位

一般的な傾向はつかみ難い。測定方法の検討を要するものと考えられる。しかし湛水に伴う pH の急上昇から見て相当の E_h の低下があるものと予想される。

Table 2 Changes in Environmental Conditions, Plant Growth

Date	Water depth cm	Soil pH 0-3 cm 3-10 cm	pH of surface water	Eh, V 0-3 cm 3-10 cm	Field condition	Plant height cm	No. of tillers per hill	Dry wt. per hill (exclgd. root) gr	Nitrogen % (exclgd. root)
May 5	0	5.4 5.0			dry				
May 21	0	5.4 5.2			"				
Jul 26	10	6.4 6.3	6.2	0.20 0.11	submerged				
Aug 9	10	6.5 6.3	7.3	0.26 0.20	"				
Aug 22	20	6.7 5.8		0.20 0.17	"	54.2	1.0	0.05	1.20
Sep 6	23	6.7 5.8		0.27 0.17	"	53.6	1.8	0.2	1.63
Sep 19	23	6.5 6.6	7.2	0.20 0.21	"	61.8	3.6	2.0	1.76
Oct 3	25	6.7 6.4	7.3	0.24 0.18	"	68.8	4.8	5.0	1.27
Oct 17	25	6.8 6.8	7.4	0.36 0.28	"	73.2	2.8	6.0	1.08
Oct 31	27	6.6 6.7	7.2		"	103.0	3.0	12.6	0.76
Nov 14	25	6.6 6.6	7.1	0.34 0.19	"	102.2	3.0	12.5	0.67
Nov 28	7	6.7 6.6	6.9		"	109.8	5.0	17.9	0.61

Table 3 Changes in Environmental Conditions, Plant Growth

May 5	0	3.8 4.0			dry				
May 21	0	4.2 4.4	4.6		wet				
Jul 26	21	4.9 5.0		0.09 0.25	submerged				
Aug 9	28	5.6 5.5		0.33 0.33	"	68.3			
Aug 22	35	5.6 4.6	6.6	0.32 0.30	"	72.4	5.0	3.8	1.55
Sep 6	33	5.9 5.7	6.7	0.30 0.34	"	81.4	4.0	5.8	1.18
Sep 19	40	5.9 5.8	7.6	0.34 0.44	"	88.2	4.2	9.1	1.11
Oct 3	50	6.0 6.1	6.9	0.40 0.39	"	105.0	3.8	12.8	0.74
Oct 17	52	5.8 5.8	7.8	0.10 0.09	"	132.0	5.4	20.3	0.68
Oct 31	55	6.3 6.1	7.1	0.24 0.27	"	142.2	5.0	27.6	0.56
Nov 14	35	6.3 6.3		0.18 0.35	"	138.6	4.4	22.3	0.60
Nov 28	20	6.4 6.2	6.9		"				

Table 4 Changes in Environmental Conditions, Plant Growth

May 5	7	5.8 4.8			submerged	38.9	7.0	0.8	0.91
May 21	7	6.2 5.4			"	48.0		2.0	2.14
Jul 26	0	6.7 6.1		0.05 0.05	wet	132.0	10.6	33.6	0.50
Aug 9	0	6.3 5.7		0.18 0.10	"	121.0	7.6	24.2	0.51
Aug 22	0	5.3 5.2		0.32 0.18	"				
Sep 6	10	5.9 5.7	6.2	0.38 0.30	submerged	53.2	5.2	1.1	0.69
Sep 19	15	6.4	7.0		"	76.0	5.4	2.1	1.43
Oct 3	55	6.6 6.2	6.9	0.28 0.21	"	90.8	2.4	2.4	1.33
Oct 17	45	6.7 6.5	7.6		"	84.6	5.2	3.9	1.22
Oct 31	55	6.8 6.5	7.4	0.07 0.16	"	100.0	3.8	8.1	0.97
Nov 14	45	6.7 6.7	6.6		"	103.4	3.4	12.0	0.87

and Soil Nitrogen at Location BK

NH ₃ -N in fresh soil mg N/100gr dry soil		NO ₃ -N in fresh soil mg N/100gr dry soil		NH ₃ -N mobilized by drying and submergence mg N/100gr dry soil		NH ₃ -N in fresh soil gr/a (A)		NO ₃ -N in fresh soil gr/a (B)		N absorbed by plant gr/a (C)	(A) + (B) + (C) (gr/a)
0-3cm	3-10cm	0-3cm	3-10cm	0-3cm	3-10cm	0-3cm	3-10cm	0-3cm	3-10cm		
2.34	0.44	0.11	0.35	5.6	4.0	70	31	3	25		129
1.25	0.11	0.58	0.45	8.3	2.7	38	8	17	32		94
2.03	2.01	0.03	0.17	8.3	6.0	61	141	1	12		214
1.29	1.50	0.04	0.01	9.6	5.2	39	105	1	1		146
1.45	1.29	0.03	0.03	9.7	5.5	44	90	1	2	1	138
1.58	2.32	0.02	0.01	11.4	8.0	47	162	1	1	5	216
1.21	1.55			5.7	4.7	36	109			56	201
2.39	1.18			12.9	8.1	72	83			102	256
1.18	1.33			8.5	5.7	35	93			104	232
0.95	0.89			8.7	6.0	29	62			153	243
1.22	1.41			8.3	6.5	37	99			134	269
1.18	0.94			8.6	5.1	35	66			178	276

and Soil Nitrogen at Location RS

2.10	1.00	0.11	0.09	8.2	6.2	63	70	3	6		143
1.50	1.02	1.01	1.13	10.0	6.2	45	71	30	8		155
2.52	2.78	0.03	0.02	5.1	5.4	76	195	1	1		273
2.59	2.42	0.01	0.05	9.1	7.0	78	169	0	4		251
2.29	2.32	0.08	0.04	9.8	5.1	69	162	2	3	94	331
1.78	2.72	0.03	0.03	12.3	10.5	53	190	1	2	109	356
1.34	1.83			6.6	5.3	40	128			162	330
1.83	1.95			10.7	10.1	55	137			152	343
0.92	0.78			8.8	7.6	28	55			221	303
1.39	1.60			10.8	9.9	42	112			247	401
1.50	1.94			11.0	9.2	45	136			214	395
1.71	1.84			12.3	8.4	51	129				180

and Soil Nitrogen at Location DC

2.44	1.73	0.16	0.12	10.9	10.8	73	121	5	8	12	219
2.97	1.74			9.5	11.1	89	122			69	279
2.67	1.71	0.02	0.01	11.9	7.7	80	120	1	1	269	470
2.78		0.09	0.02	15.8	6.6	83	100	3	1	197	385
2.07	1.16	0.03	0.05	15.6	6.1	62	81	1	4		148
1.90	1.42	0.02	0.05	11.1	7.0	57	100	1	4	12	173
1.83	1.61			8.6	6.6	55	113			48	216
2.17	3.14			11.5	9.0	65	220			51	336
0.71	1.49			10.0	7.1	21	104			76	202
1.41	1.74			9.5	7.7	42	122			126	290
1.05	0.97			8.3	6.2	32	68			167	266

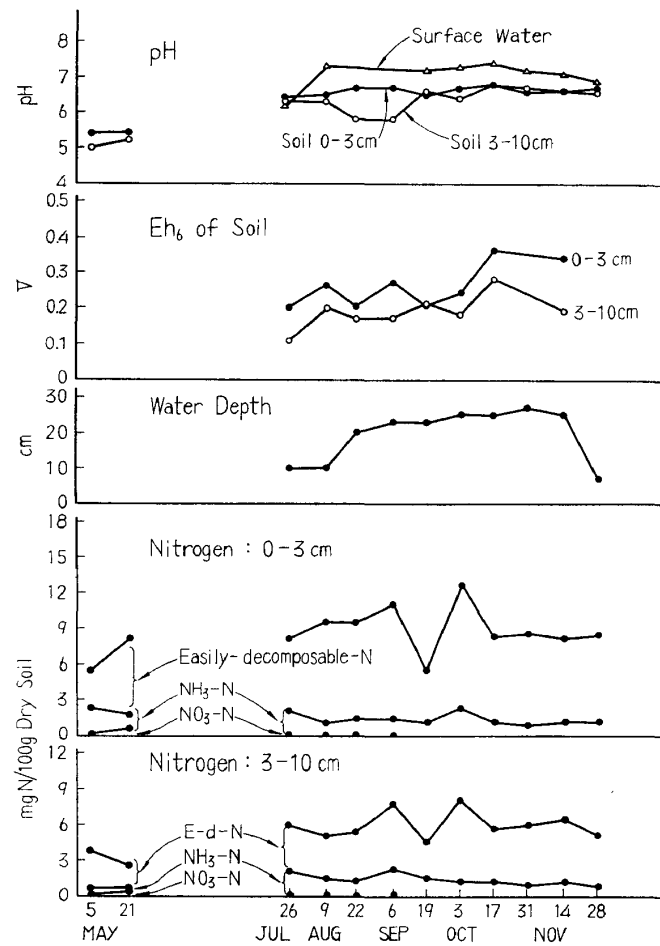


Fig. 1 Changes in pH, Eh, Water Depth, Ammonium, Nitrate and Easily-decomposable Nitrogen at Location BK

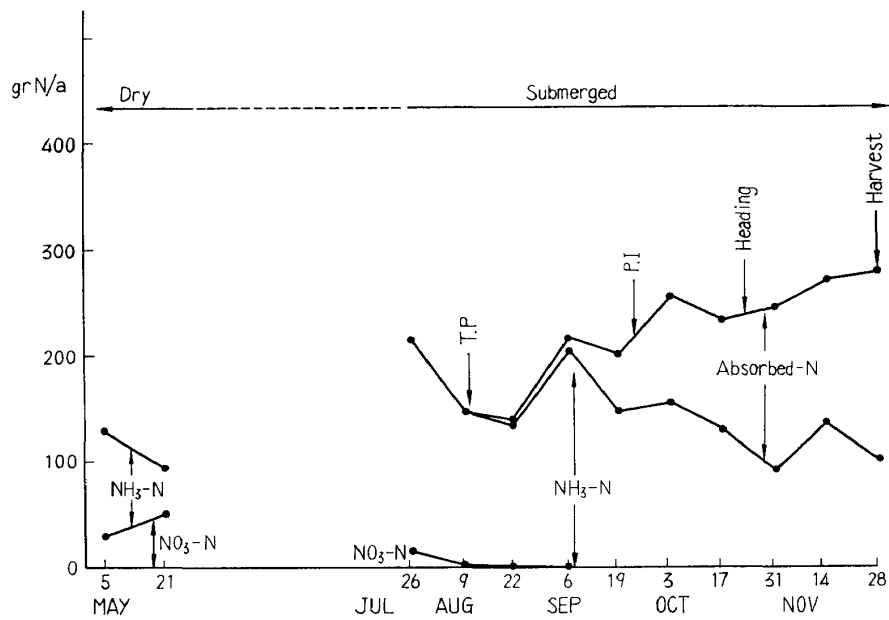


Fig. 2 Nitrogen Mobilization at Location BK
(T.P.: Transplanting, P. I. : Primordial Initiation)

福井：タイ国の水田における窒素

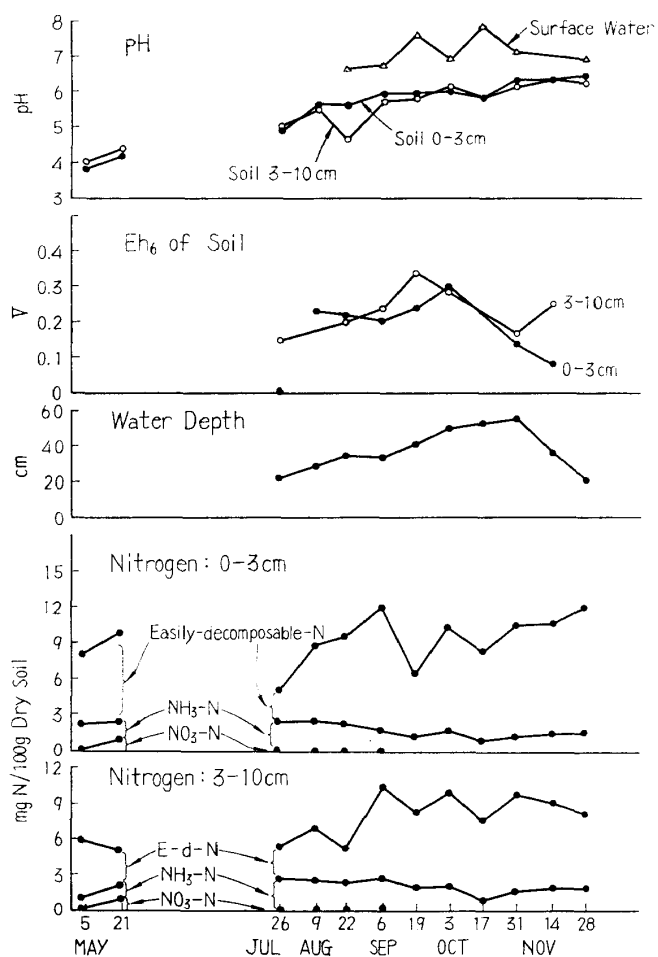


Fig. 3 Changes in pH, Eh, Water Depth, Ammonium, Nitrate and Easily-decomposable Nitrogen at Location RS

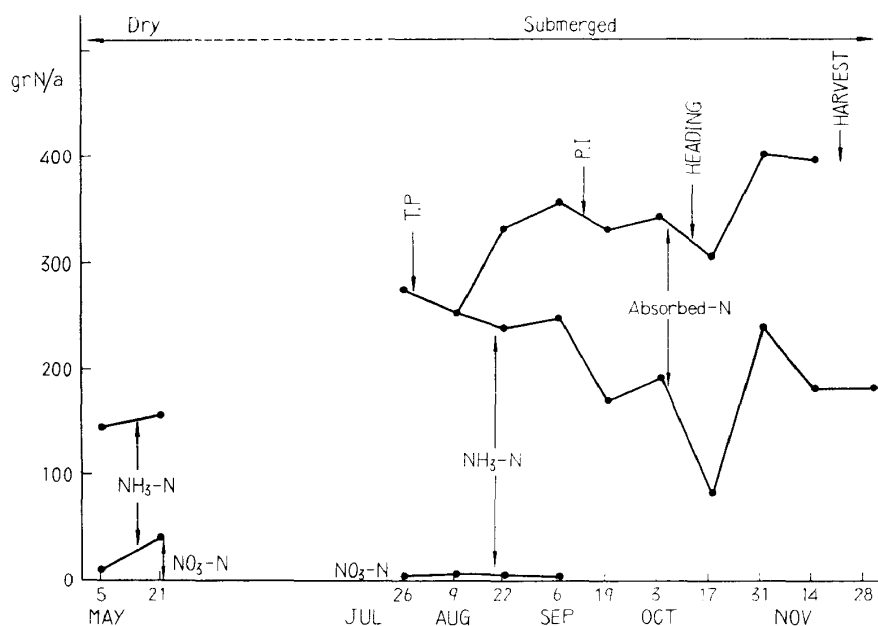


Fig. 4 Nitrogen Mobilization at Location RS

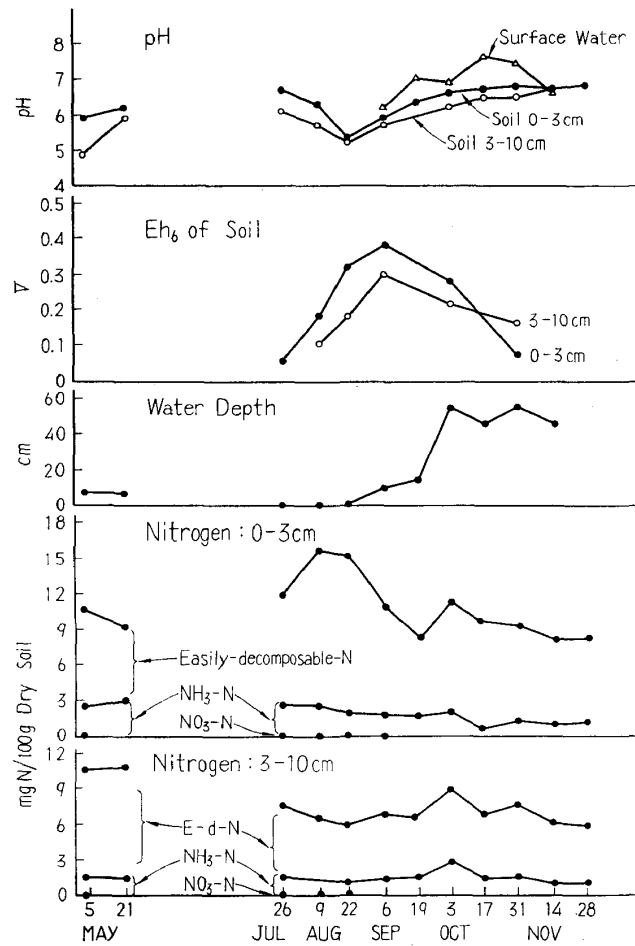


Fig. 5 Changes in pH, Eh, Water Depth, Ammonium, Nitrate and Easily-decomposable Nitrogen at Location DC

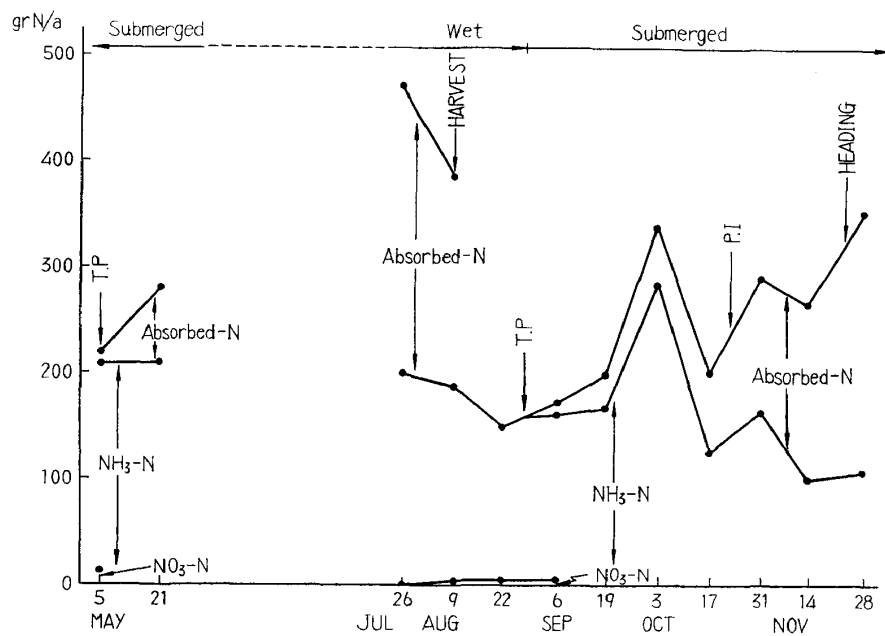


Fig. 6 Nitrogen Mobilization at Location DC

(3) 新鮮土硝酸態窒素

乾燥期には最高 1mg N/100gr dry soil 程度認められる場合があるが、湛水と共にこの量をとどめるにすぎなくなる。

(4) 新鮮土アンモニア態窒素

湛水当初 2~3mg N/100gr dry soil を示す。その後徐々にではあるが減少する。しかし、収穫期近くにおいても、0.5mg N/100gr dry soil 以上はなお残存している。5月の乾燥期の値は湛水期と大差ないが、6、7月の湛水当初または、湛水には至らない程度の降雨のあった場合には、アンモニア態窒素生成のピークがあることが予想されるが、なお検討しなければならない。

(5) 乾土湛水アンモニア生成量

0~3cm の層について見ると最高 16mg N 程度から最低 5mg N/100gr dry soil までの間を上下している。3~10cm の層については、表層より全般的に 2~3mg N 程度ずつ低い値を示す。しかし時期的な変化は認め難い。いずれの時点においても、新鮮土アンモニア態窒素量の5倍量程度の量の有機態窒素は、本試験で用いた乾土湛水操作によって無機化されうる窒素

Table 5 Water and Soil Temperature

Date	Time	Weather	Water depth cm	Water temp. °C	Soil temp. °C (3cm depth)	Remarks
Jul 26	12.00	Cloudy	10	32	29	
Jul 26	14.00	Cloudy	25	30	29	28.5 °C at 5cm depth
Jul 31	12.00	Cloudy	5	38	35	32 °C at 5cm depth
Aug 8	13.00	Fine	10	35	34	
Aug 9	10.00	Fine	7	35	32	
Aug 22	10.00	Cloudy	20	34	31	
Aug 23	11.00	Fine	35	37	33	
Sep 5	15.00	Fine	10	39	34	
Sep 6	12.00	Cloudy	23		32	
Sep 14	16.30	Cloudy	20	29		
Sep 17	12.00	Fine	30	37		
Sep 19	14.00	Rainy	40	29		
Oct 3	15.00	Fine	55	30		
Oct 12	10.00	Cloudy	12	28		
Oct 17	10.20	Fine	25	32		
Oct 17	14.00	Fine	52	35		
Oct 31	10.00	Fine	10	31		
Oct 31	13.30	Fine	55	33		
Oct 31	16.00	Fine	55	32		

として土壌中に存在する。なお、本実験では湛水時の温度を 30°C としたが、これは Table 5 の温度測定結果から見てまず妥当と思われる。

(6) 有機態窒素の無機化

Fig. 2, 4, 6, に見られるように新鮮土中のアンモニア、硝酸態窒素と吸収された窒素量とを合算して無機化全窒素量とすると、いずれの地点においても、水稻による吸収量の増大にもかかわらず残存アンモニア量はあまり低下しない。これを根の分布の不均一性によって距離的に無効化したアンモニア量を意味すると解釈すると、より均一な根の分布を可能にするような栽培方法によって、この無機態窒素を有効に利用することが出来ると考えられる。

謝 辞

見知らぬ土地での初めての研究に非常に多くの方々にお世話になった。ここに名を記し感謝の意を表する。

タイ国国家研究会議

タイ国農務省米穀局長

同局技術部長

同部土壌研究室長

国連 FAO 専門家

京都大学農学部

京都大学農学部

東南アジア研究センターバンコク連絡事務所長

Dr. Sala Dasanandana

Dr. Bhakdi Lusanandana

Mr. Somphat Suwanwaong

高 橋 治 助 博士

川 口 桂 三 郎 教授

高 橋 英 一 教授

本 岡 武 教授