

低い Muey Nawng 16 M ではほとんど生育出来ず収量皆無であった。そこでその原因をポットによる土耕と水耕栽培で研究し、水耕では全く生育ならびにリン吸収量に差がなく、土耕でのみ大きな違いがあることがわかった。そこで放射性リン酸 ( $^{32}\text{P}$ ) を用いて更に研

究し、リン欠抵抗性の強い Dawk Mali 3 では土壌リン酸を良く吸収利用するためであることがわかった。しかもその原因が両品種の根域の違いにはよらず根と土壌中のリン酸化合物との相互作用の違いに基づくものと考え得る点まで研究を進めた。

## タイ国水田土壌の単独遊離窒素固定微生物に関する研究

松 口 龍 彦  
農業技術研究所

駐在場所: Technical Division, Rice Department,  
Ministry of Agriculture  
Bangkhen, Bangkok, Thailand

駐在期間: 松口1968年4月~1970年12月  
二宮1969年9月~1969年12月

研究協力者: Bunharn Tangcham  
Somchai Patiyuth (Miss)  
Samnao Sarutanontana  
二宮啓輔

施肥技術導入のおくれた東南アジアの稲作は天然養分供給力への依存が極めて強い。タイ国で行なった本研究は東南アジア水田の天然窒素供給力に本質的な役割を持つと思われる単独遊離窒素固定微生物の分布とその遊離窒素固定能を明らかにし、それと水田の窒素潜在地力との関係を解明し、ひいては窒素地力増強の効果的手段をみいだそうとするものである。

### 水田土壌の遊離窒素固定菌の分布とその窒素固定能

*Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Clostridium*, 光合成細菌 (*Athiorhodaceae*), らんそう (*Cyanophyceae*) ら遊離窒素固定菌の分布とそれに関与する土壌の環境要因を調べる最初の試みとして、中央平原で生産力のちがう10か所の土壌(表層土0~10cm)を稲作期間及びその前後も含め4回にわたり調査した結果(第1表)、高生産力土壌では、低生産力土壌にくらべ、*Azotobacter*, *Clostridium*, らんそうがよく生育し、土壌 pH, 有効態リン酸含量も高い値を示した。これらの結果をもとに、さらに対象地域を拡大し、種々の土壌条件と遊離窒素固定菌の分布、および遊離窒素固定能との関係を

第1表 タイ国中央平原水田土壌のN固定菌  
フロラと化学的性質(1968)

調査項目	低生産力水田 (0.5-1.9t/ha)	高生産力水田 (2.2-3.1t/ha)
<i>Azotobacter</i> *	0 — 10 <sup>1</sup>	0 — 10 <sup>3</sup>
<i>Beijerinckia</i> *	0 — 10 <sup>1</sup>	0 — 10 <sup>1</sup>
<i>Clostridium</i> *	10 <sup>3</sup> — 10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup> — 10 <sup>6</sup>
<i>Athiorhodaceae</i> *	0 — 10 <sup>3</sup>	0 — 10 <sup>3</sup>
<i>Cyanophyceae</i> *	0 — 10 <sup>2</sup>	0 — 10 <sup>4</sup>
Available-P**	0.3 — 17.5	6.2 — 47.9
pH	4.5 — 6.5	5.1 — 7.9

\* 菌数/g. 乾土

\*\* ppm

を知るため、引続き1969~1970にわたって、北タイ、東北タイ、中央平原の大土壌群を代表する36地点をえらび、乾季—雨季(イネ作期)を通じ数度にわたって表層土壌(0—1cm)の窒素固定菌フロラと窒素固定能(アセチレン還元能をガスクロマトグラフィーで測定)とを大土壌群間の対比で調べた(第2表)。

菌分布を大土壌群別にみれば、Gray podzolic soil, Humic gley soil, Non-calcic brown soil, Grumsol, Fresh water alluvial soil, Marine alluvial soil 等に分類される土壌では、*Beijerinckia* を除くいずれの遊離窒素固定菌も比較的高い菌数レベルを示したが、土壌有機物に乏しい Low humic gley soil では一般に *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Clostridium* などの heterotroph が少ない反面、光合成細菌、らんそうなどの photoautotroph の菌数レベルが高かった。Regosol や Brackish water alluvial soil ではいずれの遊離窒

第2表 大土壌群に分けたタイ国水田土壌の単独遊離窒素固定菌フロラ (湛水期間中) (1968~1970)

大土壌群別	サンプル数	Azotobacter	Beijerinckia	Clostridium	光合成細菌	らんそう
Gray podzolic soil	1	10 <sup>4</sup>	—	10 <sup>8</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>
Low humic gley soil						
{North region	5	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>
{Northeast region	6	10 <sup>2</sup>	—	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>
{Central Plain	5	10 <sup>1</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>
Humic gley soil	1	10 <sup>4</sup>	—	10 <sup>8</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>
Non-calcic brown soil	1	10 <sup>3</sup>	—	10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
Regosol	1	10 <sup>1</sup>	—	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>
Grumusol	1	10 <sup>3</sup>	—	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
Fresh water alluvial soil						
{North region	3	10 <sup>3</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>
{Northeast region	2	10 <sup>4</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup>
{Central Plain	1	10 <sup>4</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>
Brackish water alluvial soil	3	10 <sup>1</sup>	—	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>
Marine alluvial	6	10 <sup>4</sup>	—	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>

細胞数/g 乾土

素固定菌の生育も乏しかった。熱帯土壌に広く分布するといわれる *Beijerinckia* は、ごく一部の土壌で少数 (10<sup>1</sup>レベル) みられたが他の大部分の土壌では生育をみなかった。ガスクロマトグラフィーによる遊離窒素固定能の測定結果については現在検討中である。

遊離窒素固定菌の水田土壌中での生育におよぼす土壌環境要因

土壌 pH, 有効態リン酸の影響に関する若干の見

を得たが、さらに土壌の養分環境要因と遊離窒素固定菌の生育および窒素固定能との関係を解明するために第3表に示す圃場試験により、窒素, リン酸, カリ, 石灰の施用効果を調べた (第4表)。

1 窒素施用の効果 光合成細菌に対する増殖阻害がみられたが、それ以外の菌に対しては顕著な効果はみられなかった。それに反し遊離窒素固定能には著しい阻害を示し、明所では好気ガス中、嫌気ガス中のいかに問わず固定能は約1/2に低下し、暗所では好気

第3表 N, P, K, 石灰施用効果に関する圃場試験区 (1970)

処 理 区	N kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha	K <sub>2</sub> O kg/ha	Lime t/ha
対 照 区	0	0	0	0
リ ン 酸 多 区	0	112.5	37.5	0
石 灰 多 区	0	0	37.5	5.6
リ ン 酸 多・石 灰 区	0	112.5	37.5	5.6
窒 素 多・リ ン 酸・石 灰 区	112.5	112.5	37.5	5.6

N: 硫酸 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 過リン酸石灰 K<sub>2</sub>O: 塩化カリ Lime: Ca(OH)<sub>2</sub>+CaCO<sub>3</sub>

第4表 N, P, K, 石灰施用が水田土壌の遊離窒素固定菌フロラと遊離窒素固定能に与える影響 (1970)

処 理 区	Azotobacter 土 壤 × 10 <sup>1</sup>	Clostridium 土 壤 × 10 <sup>4</sup>	光合成細菌				Acetylene 還元能 (μM C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /100g乾土/3時間)			
			らんそう		嫌気ガス中		嫌気ガス中		嫌気ガス中	
			土 壤	田面水	土 壤	田面水	明 所	暗 所	明 所	暗 所
対 照 区	3.2	3.7	5.2	9.2	0.67	0.22	1.00	7.5	2.0	6.3
リ ン 酸 多 区	4.3	39	74	3.5	8.5	2.4	2.2	5.8	1.6	2.9
石 灰 多 区	24	2.7	2600	3.6	13	4.9	28.2	11.9	23.3	7.1
リ ン 酸 多・石 灰 区	64	4.9	120	5.4	53	24	198.7	13.1	191.3	7.1
窒 素 多・リ ン 酸・石 灰 区	2.7	2.8	7.3	5.4	80	1.4	12.0	7.6	13.1	29.6

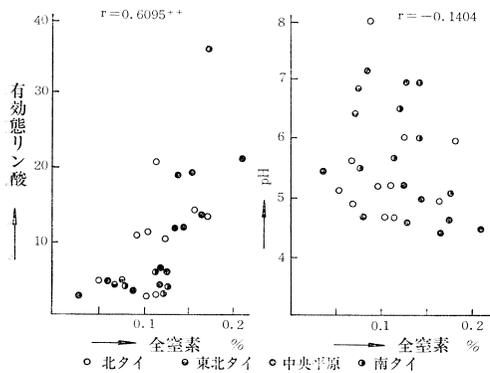
ガス中での固定能が1/2に低下した。これに対し暗所、嫌気ガス中での固定能は窒素施用により逆に増大した。

2 リン酸および石灰の施用効果 リン酸単用は *Clostridium*, 光合成細菌, らんそうの増殖を促進し, 同時に遊離窒素固定能も明らかに増大した。一方, 石灰単用は photoautotroph, 特に光合成細菌の増殖を著しく促進し, 石灰 5.6 t/ha 施用では遊離窒素固定能も明らかに増大した。さらにリン酸と石灰の併用では *Azotobacter*, *Clostridium*, 光合成細菌, らんそうの増殖を著しく促進し, 同時に遊離窒素固定能も, 明所, 好気ガス中では対照の60倍, 明所嫌気ガス中では90倍にも達した。

3 カリ施用の効果 塩化カリの施用は遊離窒素固定菌の増殖, 遊離窒素固定能のいずれにも明らかな効果はなかった。

### 有効態リン酸含量あるいは土壌 pH と土壌全窒素含量との関係

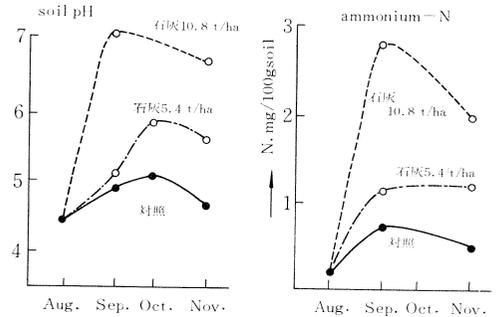
上述の結果から, リン酸および石灰施用により土壌の遊離窒素固定能が著しく増大する事が判明したが, 圃場土壌におけるリン酸含量と遊離窒素固定能, または土壌 pH と遊離窒素固定能との相互関係を究明するためタイ全土から乾季または雨季に採取した土壌30点 (北タイ11点, 東北タイ2点, 中央平原13点, 南タイ4点) について全窒素含量と土壌 pH あるいは有効態リン酸含量 (Bray P2 法) の相関を調べた結果 (図1)



第1図 タイ国水田土壌の全窒素—有効態リン酸, 全窒素—土壌 pH の相関 (1968)

全窒素含量と有効態リン酸含量との間に有意の相関

( $r = +0.6095$ ) を得て, 圃場においても土壌の有効態リン酸が遊離窒素固定能の大小に大きく関与している事が推察される。これに対し, 全窒素含量と土壌 pH の間には相関はみられなかったが, これは図2に示すように, 土壌 pH の上昇により, 有機態窒素の無機化も促進され, 有機窒素の合成 (窒素固定) と分解 (無機化) が相殺された結果と考えられ, 両者の相関関係を一義的に否定するものではない。



第2図 石灰施用が土壌 pH, 有機態窒素の無機化におよぼす効果 (1968)

### 水田土壌への有機質資材の施用が遊離窒素固定菌の生育と遊離窒素固定能に与える影響

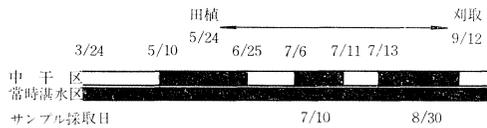
タイ国に広く分布する Low humic grey soil (東北タイ, 北タイ) と Brackish water alluvial soil (中央平原) はいずれもタイの代表的土壌であるが, 前者は砂質低有機物含量に基づく諸性質, 後者は硫酸酸性および重粘質に基づく諸性質のために典型的な不良土壌であり, 有機物資材の施用による土壌改良が待たれる。有機物施用が土壌微生物に与える影響は極めて興味ある問題であり, 特に遊離窒素固定菌のうち, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Clostridium* などの heterotoroph への影響が考えられる。稲ワラ, コンポストの土壌施用 (2 t/ha, 6 t/ha を表層土 0~15cm へ混入) の影響を Khon Kaen (Low humic gley soil), Bangkhen (Brackish water alluvial soil と Marine alluvial soil との遷移地帯) の2カ所で並行して調べた。稲ワラ施用は *Clostridium*, 光合成細菌の生育を促進するようだが, Bangkhen では明らかな効果はみられなかった。なお有機物施用の効果は長期間継続して調べる必要がある。

**水田の中干し処理が土壌のマイクロフロラおよび遊離窒素固定菌に与える影響**

タイ国水田農業の直面している最大の技術的課題は、何と云っても灌漑設備の整備による雨季の氾濫防止と、乾季作物の導入による水田利用の合理化である。本研究は現在、米穀局を中心に行なわれつつある“イネ生育におよぼす圃場水管理の効果”に関する研究の一環として行なわれたものである。常時湛水区（常湛区）と、中干し区（イネ生育中期に数日間づつ2回落水）との微生物性を比較するため、中干し直前（6/24）、第一回中干し後（7/10）、第二回中干し後（8/30）の3回にわたり遊離窒素固定菌、好気性細菌、嫌気性細菌フロラと遊離窒素固定能を調べた結果（第

5表、第6表）、遊離窒素固定菌のうち Azotobacter、らんそうの増殖に中干しの効果がみられた。即ち Azotobacter は第1回中干しの前後にかけて常湛区、中干し区とも減少したが、以後常湛区では大きな変動を示さなかったのに対し、中干し区では第2回中干し後（8/30）急激な増殖がみられ、特に0~5 cmの土層で著るしかった。らんそうに対しても0~10 cmまでの土層で同様の結果をえた。好気性細菌、嫌気性細菌に対しても特に1~10 cmの土層で中干しによる増殖促進効果が得られたが、これは中干しにより表層土に亀裂を生じそれを通して下層土への空気の侵入が著るしくよくなり、微生物のはたらきを促進したことに起因するものであろう。なお、窒素固定能におよぼす処理の影響は現在検討中である。

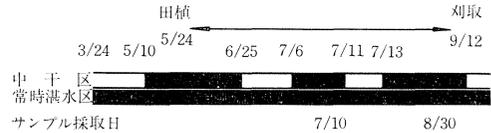
**第5表** 水田土壌の遊離窒素固定菌フロラにたいする中干しの効果（1970）



各処理区とも P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 112.5kg/ha, K<sub>2</sub>O 75.0kg/ha 施用

処理区	土層	Azotobacter (×10 <sup>1</sup> )		らんそう (×10 <sup>3</sup> )		
		7/10	8/30	7/10	8/30	
N 0 kg/ha	常湛区	0-1 cm	—	21	3.0	2.4
		1-5	0.8	1.3	1.3	3.9
		5-10	0.4	2.8	3.8	0.5
	中干し区	0-1	2.1	38	9.2	40
		1-5	2.0	11	0.3	3.9
		5-10	1.5	7.4	0.1	2.3
N 25 kg/ha	常湛区	0-1 cm	0.4	2.8	0.4	15
		1-5	0.4	0.4	1.3	0.8
		5-10	1.1	—	0.5	0.4
	中干し区	0-1	1.9	17	1.2	8.9
		1-5	0.7	14	1.2	4.3
		5-10	1.5	4.1	1.2	5.6
N 75 kg/ha	常湛区	0-1 cm	—	1.8	4.6	4.2
		1-5	—	1.2	8.8	0.6
		5-10	0.8	1.5	2.1	0.1
	中干し区	0-1	1.5	23	5.3	14
		1-5	—	7.8	3.4	4.0
		5-10	7.2	4.9	1.1	0.8

**第6表** 水田土壌の好気性細菌、嫌気性細菌にたいする中干しの効果（1970）



各処理区とも P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 112.5kg/ha, K<sub>2</sub>O 75.0 kg/ha 施用

処理区	土層	Aerobes (×10 <sup>7</sup> )		Anaerobe (×10 <sup>5</sup> )		
		7/10	8/30	7/10	8/30	
N 0 kg/ha	常湛区	0-1 cm	0.5	3.6	2.3	2.3
		1-5	1.4	3.8	2.9	2.7
		5-10	1.1	7.9	2.8	0.6
	中干し区	0-1	1.8	33	4.3	2.9
		1-5	1.1	8.5	2.0	2.3
		5-10	1.4	5.8	2.9	1.6
N 25 kg/ha	常湛区	0-1 cm	2.9	1.1	3.5	4.3
		1-5	1.7	1.5	3.3	0.8
		5-10	2.8	1.2	3.6	0.9
	中干し区	0-1	0.7	2.6	2.6	5.4
		1-5	0.7	36	4.7	5.0
		5-10	0.6	12	6.5	3.1
N 75 kg/ha	常湛区	0-1 cm	1.8	6.6	4.4	2.4
		1-5	1.9	4.8	3.6	1.9
		5-10	1.2	0.8	1.2	0.9
	中干し区	0-1	2.9	3.6	3.1	4.1
		1-5	1.4	3.7	18	2.6
		5-10	2.8	7.9	2.2	1.9