

## <ノート>

# 宮古島の暗赤色土における土壌蓄積リンの再生・循環利用に関する基礎的研究Ⅱ

前里和洋<sup>1</sup>川満芳信<sup>2</sup>清水芳久<sup>3</sup>松井三郎<sup>4</sup>

<sup>1</sup>沖縄県立宮古農林高等学校環境工学科/沖縄県平良市下里 280 番地

<sup>2</sup>琉球大学農学部生物生産科/沖縄県西原町千原1番地

<sup>3</sup>京都大学大学院工学研究科付属流域圏総合環境質研究センター/滋賀県大津市美浜 1-2

<sup>4</sup>京都大学地球環境学大学院地球環境学堂/京都市左京区吉田本町

## 概要

沖縄県宮古島に多く分布する琉球石灰岩由来の暗赤色土に含有される土壌蓄積リンの作物への再利用によるリンの土壌中における循環について、圃場試験を試みた。そして、地下水の主な汚染源である化学肥料の低投入型施肥による作物栽培を目的に、その可能性について検討した。

キーワード: 暗赤色土, 圃場試験, 土壌蓄積リン, 再利用, 地下水, 宮古島

## 1. はじめに

沖縄県宮古島は、川や湖などの水資源がなく、島では飲料水を全面的に地下水に依存するため、地下水の汚染は深刻な問題であり、その保全対策は緊急の課題である<sup>1)</sup>。地下水汚染の主な要因として、農業に起因する化学肥料による地下水汚染が進行している<sup>2)</sup>。そのことは、沖縄県が日本復帰後の1980年代以降、作業の省力化および作物の生産性の向上を目指して急速に普及した近代農業の象徴である化学肥料に主な要因がある<sup>3)</sup>。このように、地下水汚染は島民の生活および生命に直ちに悪影響を及ぼすことが容易に推測できる。宮古島のような周囲を海に囲まれた島嶼域では、島外から移入される大量の化学肥料のみに頼った施肥方法から、島内で有機物資源を循環させる目的で有機肥料を研究開発し、島の農耕地に活用した有機農業への転換は急務である。また、島面積が小さな宮古島<sup>4)</sup>においてバイオマスである有機資源の地域循環を促進することは、環境への負荷を軽減でき、特に地下水への負荷の軽減にも繋がり意義があると思われる。

ところで、日本の酸性土壌中におけるリン酸の固定は、主にアロフェン等粘土鉱物中および土壌溶液中の陽イオンとの反応により溶解性の低い化合物を形成し、作物にとって利用しにくい形態に変わる。一方、宮古島には、珊瑚由来の琉球石灰岩を母岩とする暗赤色土のpHが中性～アルカリ性を示すカルシウムを豊富に含有した土壌群が多く分布しており<sup>5)6)</sup>、有効土層が浅く保水力の小さい土壌が多い<sup>7)</sup>。宮古島の農耕地において、肥料として施用されるリン酸が暗赤色土に含有されている陽イオンと反応し<sup>8)</sup>、作物に利用されにくい形態の難溶性リンとして土壌に固定していることが推察される。

既報<sup>9)</sup>で示したように、土壌微生物として有機酸生成菌であるリン溶解菌の機能を活用し<sup>10)11)</sup>、暗赤色土の全リン酸に対し約92.1～96.2%の割合で含有される難溶性リンを効率

的に作物へ吸収させ、リンの利用率向上を目指し化学肥料の低投入型施肥による作物栽培を試み基礎的知見を得た。しかし、得られた成果はポット栽培による制限された土壌中において作物の生長に及ぼす影響について、リン酸を制限因子として検討したものであり、リン溶解菌の機能をいかにしたら作物根圏域で発現させるかなど、畑土壌において検討すべき課題が残されていた<sup>12)13)</sup>。

そこで本研究では、有機酸生成能を有する土壌微生物であるリン溶解菌の機能を活用し、宮古島の暗赤色土に含有される土壌蓄積リンの作物への再利用による、リンの土壌中における循環を目的に、地下水の主な汚染源である化学肥料の低投入型施肥による作物栽培の可能性を圃場試験において検討した。

## 2. 実験方法

本研究においては、合成ヒドロキシアパタイト培地に透明帯を形成した有機酸生成菌である菌株22を、サトウキビの絞りがすのバガスおよび炭化物であるバガス炭に添加定着させた混合有機物を作物連作土壌に施用した。そして、リン酸源無添加または添加土壌を設定し、供試作物であるナス、ピーマンおよびサトウキビを定植し、作物の生長、品質およびリン吸収に及ぼす影響または作物収穫後土壌中のリン酸の溶解について、圃場試験を試みた。

### 2.1 リン溶解菌含有バガス+バガス炭処理がナスの生育に及ぼす影響

供試土壌は、沖縄県立宮古農林高等学校の第一農場にある、野菜連作畑の暗赤色土を用いた。その化学的性質<sup>14)</sup>はTable 1に示した。リン酸源として10a当たりリン酸成分として15 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg(P-15区)およびその1/10濃度のリン酸成分として1.5 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg(P-1.5区)相当量のリン酸カルシウム(CaHPO<sub>4</sub>)を添加し、土壌に蓄積した難溶性リン活用の比較のためリン酸無施用区(P-0区)を設定した。なお、難溶性リ

Table 1

---



---



---

Table 2

---



---



---

Table 3

---



---



---

Table 4

---



---



---

ンとは土壌中のリン酸が陽イオンと結合し沈殿したリン酸化合物を指し、求め方は全リン酸濃度より可給態リン酸濃度を差し引いた値を難溶性リン酸濃度とした(Table 1)。基肥はリン酸カルシウムの添加と同時に、窒素として硫酸アンモニウム((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)およびカリウムとして硫酸カリウム(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)を10a 当たりそれぞれ成分として窒素 15 N kgおよびカリウムを 15 K<sub>2</sub>O kg全区共通に施用した。合成ヒドロキシアパタイトを含有した寒天平板を用いて、透明帯を形成した有機酸生成菌である菌株 22 をリン溶解菌として供試した<sup>9)</sup>。ところで、リン溶解菌とは陽イオンと結合して難溶化しているリン酸根を可溶化する微生物を指し、大別して硫化水素生成菌、硫黄酸化菌および有機酸生成菌の3タイプが認められている<sup>10)11)</sup>。1/2Nutrient broth の基本培地で大量培養した菌株 22 をバガスおよびバガス炭(バガス9割:バガス炭1割の混合割合)の混合有機物に添加定着させた。菌株 22 添加量は、供試有機物 1g 当たり1×10<sup>6</sup>CFU (Colony Forming Unit) で調整した。そして、菌株 22 含有バガスおよびバガス炭の混合有機物を先の土壌 10a 当たり4t施用し、同時に糖分4%の糖蜜を土壌 10a 当たり1t添加し耕起した後、ナス(品種:黒陽)の3~5葉期の苗を畝幅 100 cm、株間 100 cmの一条植えて定植した。なお、供試有機物であるバガス、バガス

炭および糖蜜の化学性は Table 2 に示した。90 日間(2004 年 4 月 26 日~7 月 25 日)栽培をした後、植物全体を供試し乾物重量の測定および成分分析を行った<sup>15)</sup>。試験区は1試験区5個体5反復数に設定した。

## 2.2

供試土壌は、沖縄県立宮古農林高等学校の第一農場内の、野菜連作畑の暗赤色土を用いた。その化学的性質<sup>14)</sup>は Table 3 に示した。リン酸源の添加方法および処理区の設定または元肥である窒素およびカリウムの施用方法は、実験方法 2.1 に示す通りに設定した。また、有機酸生成菌である菌株 22 の大量培養方法および菌株 22 を添加した供試有機物の調整方法は、実験方法 2.1 と同様に調整した。そして、菌株 22 含有バガスおよびバガス炭の混合有機物を先の土壌 10a 当たり4t施用し、同時に糖分4%の糖蜜を土壌 10a 当たり1t添加し耕起した後、ピーマン(品種:ニューエース)の5~7葉期の苗を畝幅 100 cm、株間 50 cmの二条植えて定植した。60 日間(2004 年 4 月 26 日~6 月 25 日)栽培をした後、植物全体を供試し乾物重量の測定および成分分析を行った<sup>15)</sup>。試験区は1試験区5個体5反復数に設定した。

**Table 5** リン酸添加土壌における供試菌株22含有バガス処理がナスの生育およびリン吸収に及ぼす影響

リン酸濃度区 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/10a)	バガス添加量 <sup>#1</sup> (t/10a)	供試菌株 <sup>#2</sup> (菌株 22)	乾物重 (g/本)	リン酸濃度 (Pmg/乾物)	リン吸収量 (Pmg/本)
P-0	0.0	-	80.6	3.09	249.1
	4.0	-	91.1**	3.32	302.5
	4.0	+	108.7**	3.99	433.7
P-1.5	0.0	-	112.4	3.82	429.4
	4.0	-	115.4	4.07	469.7
	4.0	+	136.0**	4.22	573.9
P-15	0.0	-	166.3	4.28	711.8
	4.0	-	168.3	4.39	738.8
	4.0	+	184.6**	4.73	873.2

#1 バガス+バガス炭  
 #2 -:無接種, +:接種  
 \*\* は、1%レベルで有意、その他は有意性未検定  
 各リン酸処理区におけるバガス+バガス炭無添加区と添加区間の生育との関係

**Table 6** リン酸添加土壌における供試菌株22含有バガス処理がピーマンの生育およびリン吸収に及ぼす影響

リン酸濃度区 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/10a)	バガス添加量 <sup>#1</sup> (t/10a)	供試菌株 <sup>#2</sup> (菌株 22)	乾物重 (g/本)	リン酸濃度 (Pmg/乾物)	リン吸収量 (Pmg/本)
P-0	0.0	-	25.4	2.03	51.6
	4.0	-	28.3	2.08	58.9
	4.0	+	34.2**	2.79	95.4
P-1.5	0.0	-	37.6	2.13	80.1
	4.0	-	42.0**	2.45	102.9
	4.0	+	52.2**	3.04	158.7
P-15	0.0	-	54.8	2.86	156.7
	4.0	-	59.0	3.25	191.8
	4.0	+	64.8**	3.26	211.2

#1 バガス+バガス炭  
 #2 -:無接種, +:接種  
 \*\* は、1%レベルで有意、その他は有意性未検定  
 各リン酸処理区におけるバガス+バガス炭無添加区と添加区間の生育との関係

**2.3 リン溶解菌含有バガス+バガス炭処理がサトウキビの生育および品質に及ぼす影響**

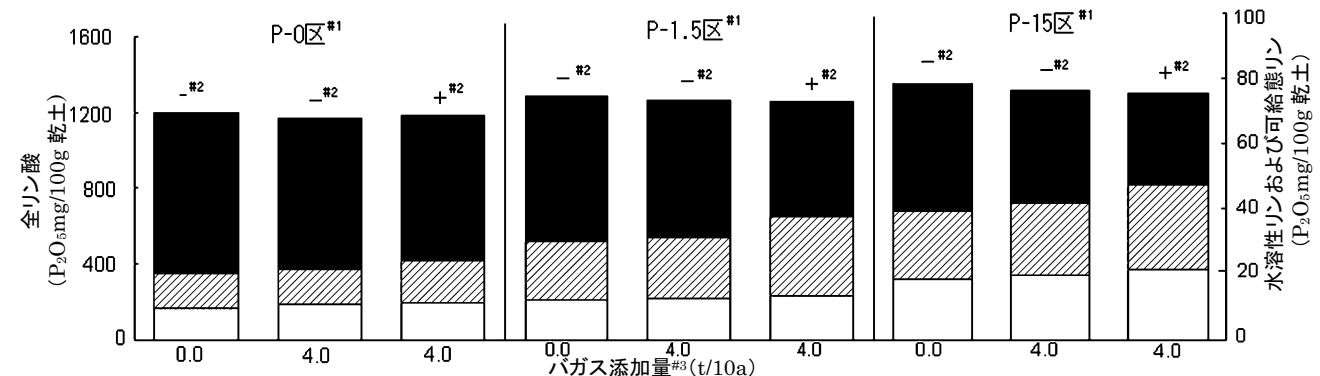
供試土壌は沖縄県立宮古農林高等学校の第二農場内にあるサトウキビ連作畑の暗赤色土を用いた。その化学的性質<sup>14)</sup>は Table 4 に示した。リン酸源として 10a 当たりサトウキビ春植えの沖縄県施肥基準<sup>16)</sup>のリン酸成分を 6.0 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>kg(P-6.0 区)および春植え施肥基準の 1/10 濃度のリン酸源として、10a 当たり 0.6 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>kg(P-0.6 区)相当量のリン酸カルシ

ウム(CaHPO<sub>4</sub>)を添加した。基肥は、リン酸カルシウムの添加と同時に、窒素として硫酸アンモニウム((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)およびカリウムとして硫酸カリウム(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)を 10a 当たりサトウキビ春植えの沖縄県施肥基準<sup>16)</sup>の、それぞれの成分を窒素 20.0 N kg およびカリウム 6.0 K<sub>2</sub>O kg を全区共通に施用した。なお、有機酸生成菌である菌株 22 の大量培養方法および菌株 22 を添加した供試有機物の調整方法は、実験方法 2.1 と同様な方法で調整した。そして、菌株 22 含有バガスおよびバガス炭の混合有機物を先の土壌 10a 当たり 1t(4%糖蜜 250kg/10a)および 4t(4%糖蜜 1t/10a)土壌に処理し耕起した後、供試材料にはサトウキビ(*Saccharum* spp. Cv. NiF8 農林8号)の一節苗を畝幅 135cm、株間 40cm の密度で定植した。1年間(2003年2月25日~2004年2月24日)栽培をした後、生育、品質および土壌のリン酸の溶解について調査した。また、バガスおよびバガス炭の混合有機物の無処理区(対照区)および菌株 22 無接種バガスおよびバガス炭処理区(糖蜜も希釈後同量散布)も設定した。そして、搾汁液中の甘蔗糖度およびリン濃度について定量<sup>15)</sup>し、甘蔗糖度とリン濃度の関係からサトウキビの品質について検討を加えた。土壌中のバイオマスリンは土壌懸濁液トルエン処理法で測定した<sup>17)</sup>。試験区は1試験区 20 個体4反復数に設定した。

**3. 結果および考察**

**3.1 ナスの圃場試験**

収穫時のナスの乾物重およびリン吸収の調査結果を Table 5 に取り纏め示した。その結果、ナスの乾物重は、リン酸施肥量が増加するに伴い高くなる傾向にあり、リン酸多量施用区での P-15 区で最も高く、P-0 区の2倍強であった (Table 5)。バガス無施用区に比べ菌株 22 含有バガス処理区の乾物重の値は高い傾向を示した。ナス最大の収量増はバガス添加量が 10a 当たり 4t の接種区で得られ、P-15 区で対照区に対して 11%の増となっており、同無接種区のその値は 1%を示した。P-1.5 区におけるナスの収量増は、接



**Fig.1** ナスの栽培土壌における水溶性リン、可給態リンおよび全リン酸生成に対する菌株22含有バガス処理の影響 (ナス収穫後の土壌)

#1 P-0区(リン酸無処理)、P-1.5区(リン酸1.5kg/10a)、P-15区(リン酸15kg/10a)  
 #2 -:無接種 +:接種  
 #3 バガス+バガス炭

■ 全リン酸    ▨ 可給態リン    □ 水溶性リン酸

**Table 7** リン酸添加土壌における供試菌株 22 含有バガス処理がサトウキビの生育および収量に及ぼす影響

リン酸濃度区 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/10a)	バガス添加量 <sup>#1</sup> (t/10a)	供試菌株 <sup>#2</sup> (菌株22)(cm/本)	茎長 (g/本)	茎重 (節/本)	節数 (本/株)	株重 (kg/株)	収量 (t/10a)
P-0.6	0.0	-	222.9	671.5	21.0	5.5	4.05
	1.0	-	224.7	728.8**	22.3	6.5	4.81
	1.0	+	231.5	932.0**	25.3	9.7**	7.95**
	4.0	-	229.8	767.0**	22.0	8.0**	5.67
	4.0	+	248.5	977.8**	24.5	11.0**	8.49**
P-6.0	0.0	-	242.3	946.8	23.5	11.0	7.97
	1.0	-	238.5	941.3	21.5	10.5	7.88
	1.0	+	265.0	1008.0**	26.0	12.7	8.79
	4.0	-	249.8	957.8	24.3	10.7	8.43
	4.0	+	259.0	1069.5**	24.3	11.0	8.73

#1 バガス+バガス炭

#2 -:無接種 +:接種

\*\* は、1%レベルで有意、その他は有意性未検定

各リン酸処理区におけるバガス+バガス炭無添加区と添加区間の生育および収量との関係

**Table 8** サトウキビの栽培土壌におけるリン酸の溶解に対する供試菌株 22 含有バガス処理の影響

リン酸濃度区 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/10a)	バガス添加量 <sup>#1</sup> (t/10a)	供試菌株 <sup>#2</sup> (菌株 22)	リン酸の溶解(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g乾土)		
			バイオマスリン	可給態リン	溶解量 <sup>#3</sup>
P-0.6	0.0	-	3.38	12.81	16.19
	1.0	-	10.73*	23.11	33.84
	1.0	+	14.23**	26.20*	40.43**
	4.0	-	10.85*	24.67*	35.52
	4.0	+	15.23**	26.86*	42.09*
P-6.0	0.0	-	4.69	19.11	23.80
	1.0	-	13.76**	28.13	41.89**
	1.0	+	22.33**	31.60	53.93**
	4.0	-	20.34**	28.48	48.82**
	4.0	+	22.15**	32.43	54.58**

#1 バガス+バガス炭

#2 -:無接種 +:接種

#3 収穫土壌(バイオマスリン+可給態リン)の増加

\*, \*\*はそれぞれ5%および1%レベルで有意、その他は有意でない

各リン酸処理区におけるバガス+バガス炭無添加区と添加区間のリン酸溶解との関係  
 接種区で対照区に対して 21%の増となっており、同無接種区のその値は 3%を示した。また、P-0 区におけるナスの収量は、接種区で対照区に対して 34%の増となっており、同無接種区のその値は 13%を示した。このようにバガス施用および菌株 22 接種の効果は、リン酸源の無処理区またはリン酸濃度 1/10 処理区で高くなる傾向を認めた。

ナスのリン含量は、生育と類似した傾向が認められ、リン吸収量に関しても同様であった(Table 5)。リン酸濃度 P-0 区の菌株 22 含有バガス処理区の乾物重およびリン酸含量は、P-15 区のバガス無処理区(慣行区)に比べ低い値であった。

また、ナスの収穫後土壌の各種形態のリン酸濃度として、水溶性リン酸、可給態リン酸および全リン酸の分析結果を Fig.1 に示した。その結果、作物に利用可能な可給態リン酸および水溶性リン酸濃度は、バガス処理区の菌株 22 接種区で高くなる傾向を認めた。

### 3.2 ピーマンの圃場試験

収穫時のピーマンの乾物重およびリン吸収の調査結果を Table 6 に取り纏め示した。その結果、ピーマンの乾物重はナスと同様、リン酸施肥量が増加するに伴い高くなる傾向にあり、リン酸多量施用区の P-15 区で最も高かった(Table 6)。バガス無処理区に比べ菌株 22 含有バガス処理区の乾物重は高い値を示した。ピーマン最大の収量増はバガス添加量が 10a 当たり 4t の接種区で得られ、P-15 区で対照区に対して 18%の増となっており、同無接種区のその値は 8%を示した。P-1.5 区におけるナスの収量増は、接種区で対照区に対して 38%の増となっており、同無接種区のその値は 12%を示した。また、P-0 区におけるナスの収量増は、接種区で対照区に対して 34%の増となっており、同無接種区のその値は 11%を示した。バガス施用および菌株 22 接種の効果は、リン酸源の 1/10 処理区または無処理区で高くなる傾向を認めた。

ピーマンのリン含量も、生育と類似した傾向が認められ、リン吸収量に関しても同様であった (Table 6)。リン酸濃度 P-0 区の菌株 22 含有バガス処理区の乾物重およびリン酸含量は、P-15 区のバガス無処理区に比べ低い値であった。P-1.5 区の菌株 22 含有バガス処理区のピーマンの乾物重およびリン含量は、P-15 区のバガス無処理区に比べ有意な差は認められなかった。

また、ピーマンの収穫後土壌の各種形態のリン酸濃度として、水溶性リン酸、可給態リン酸および全リン酸の分析結果を Fig.2 に示した。その結果、作物に利用可能な可給態リン酸および水溶性リン酸濃度がバガス処理区の菌株 22 接種区で高くなる傾向を認めた。

### 3.3 サトウキビの圃場試験

サトウキビの生育および収量調査結果を Table 7 に示した。その結果、茎長および節数においては有意な差はなかった。しかし、茎重、茎数、株重および収量はリン酸多量施用の P-6.0 区における対照区およびバガス施用区間に有意差は認められなかったものの、P-0.6 区においては対照区に比べバガス施用区で高くなる傾向にあった。生育調査の結果、バガス添加量の違いによるサトウキビの生育に対しては、大きな影響が認められなかった。そのことは、島嶼の宮古島において入手可能なバイオマス資源である良質なバガスなどの有機資源も有限であり、今後適切なバガス添加量を詳細に検討することが必要である。

Fig.3 および Fig.4 に品質調査結果を示した。甘蔗糖度は、P-0.6 区の対照区で 13.3%を示し、P-6.0 区の対照区で 14.1%であった。一方、各リン酸濃度区におけるバガス処理区の甘蔗糖度は、対照区に比べ高く、P-0.6 区で菌株 22 含有バガス4t区は 15.1%で、P-6.0 区では菌株 22 含有バガス 4t 区は 15.6%と高かった(Fig.3-A)。産糖量(茎重×甘蔗糖度)は、P-0.6 区および P-6.0 区ともバガス処理および処理濃度が増加するに伴い高くなる傾向にあったが、P-0.6 区の菌株 22 含有バガス 1t および 4t 区の値は、P-6.0 区の対照区とほぼ同様の値となった(Fig.3-B)。

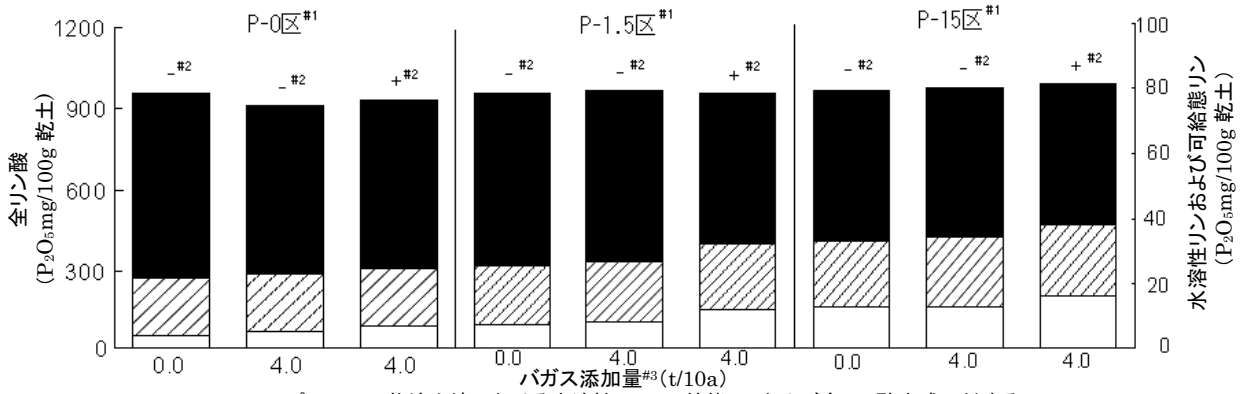


Fig.2 ピーマンの栽培土壌における水溶性リン、可給態リンおよび全リン酸生成に対する菌株22含有バガス処理の影響(ピーマン収穫後の土壌)

#1 P-0区(リン酸無処理)、P-1.5区(リン酸1.5kg/10a)、P-15区(リン酸15kg/10a)

#2 -: 無接種 +: 接種

#3 バガス+バガス炭

■ 全リン酸

▨ 可給態リン酸

□ 水溶性リン酸

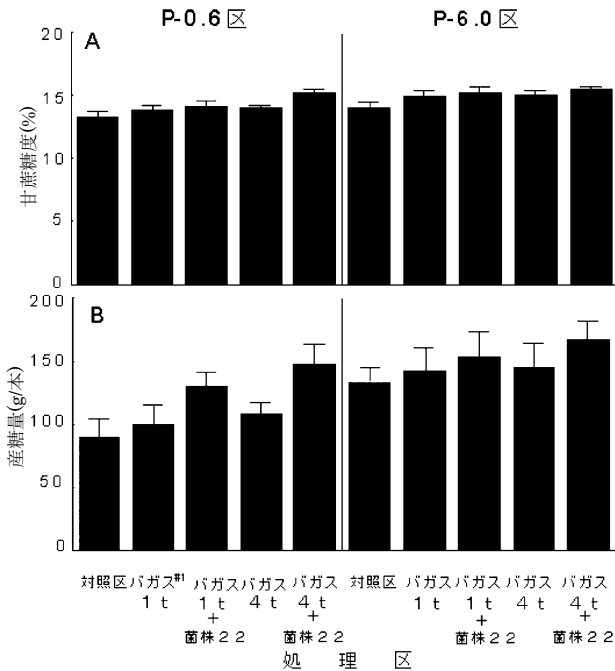


Fig.3 供試菌株 22 含有バガス処理がサトウキビの甘蔗糖度(A)および産糖量(B)に及ぼす影響

#1(バガス=バガス+バガス炭)

搾汁液中のリン成分と甘蔗糖度とは、正の相関関係にあり、甘蔗糖度は吸収されたリン成分によって高まること示唆された(Fig.4)。収穫時の栽培土壌におけるリン酸の溶解は可給態リン酸については P-0.6 区および P-6.0 区間で大きな差は認められないが、バガス処理区でバイオマスリンが高くなる傾向を示し、その濃度は P-0.6 区および P-6.0 区の対照区に比べ有意な差となった(Table 8)。

本報は、化学肥料として施肥されたリン酸が宮古島の暗赤色土に含有される陽イオンと反応結合し、作物に吸収利用されにくい難溶性のリンとして土壌に蓄積しており、その土壌蓄積リンの作物への再利用による利用率向上を目指したものである。圃場試験により有機酸生成菌であるリン溶解菌のリン溶解能を利用することを目的として一連の基礎的な実験

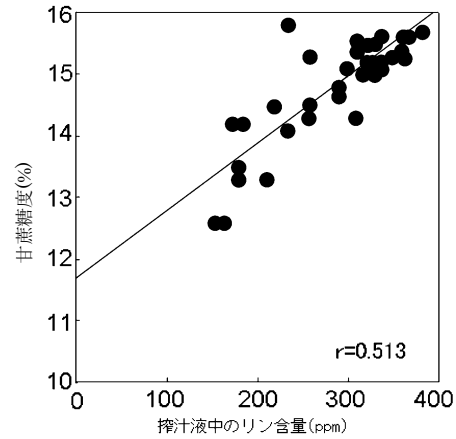


Fig.4 サトウキビの甘蔗糖度と搾汁液中のリン含量の関係

を試みた。その結果、菌株 22 と同様な有機酸生成能を有する土壌微生物であるリン溶解菌と共に、宮古島で大量、且つ容易にしかも安価に入手可能なバイオマスであるバガスや糖蜜などの良質な有機資源を活用し、宮古島の農耕地に施肥することにより、地力を高め地下水の主な汚染源である化学肥料の低投入型施肥技術による作物栽培の可能性が示唆された。

#### 4. 結論

沖縄県宮古島に多く分布する琉球石灰岩由来の暗赤色土に含有される土壌蓄積リンの作物への再利用によるリンの土壌中における循環について、圃場試験を試みた。そして、地下水の主な汚染源である化学肥料の低投入型施肥による作物栽培を目的に、その可能性について検討した。

リン酸源無添加または添加土壌に菌株 22 含有バガス+バガス炭を施用した土壌で、ナスおよびピーマンの生育は促進されリンの吸収量も高まった。ナスおよびピーマンの収穫後の土壌分析の結果、可給態リンおよび水溶性リンの増加が認められた。

サトウキビ連作土壌に施肥基準濃度のリン酸および施肥基準濃度 1/10 のリン酸源を添加し、菌株 22 含有バガス+バガス炭を処理することによりサトウキビの生育を促進し、甘蔗糖度が高くなる傾向を認め品質も向上した。また、搾汁液中のリン成分と甘蔗糖度とは正の相関関係にあり、甘蔗糖度は吸収されたリン成分によって高まることが示唆された。また、土壌分析の結果、土壌バイオマスリンが高くなる傾向を認めた。そのことは、有機酸生成能を有する菌株 22 のリン溶解菌によって溶解されたリンは、一旦有機栄養微生物に取り込まれ、土壌バイオマスの死後、再無機化し可給態リンとして作物に利用される可能性が想定されるものであった。したがってバガスおよび糖蜜などの有機資材とともに、菌株 22 と同様な有機酸生成能を有する土壌微生物であるリン溶解菌をバガス炭に定着し土壌に施用すると施用リン酸の難溶化の防止または土壌に蓄積した難溶性リンの可溶化を促進し、作物によるリンの利用率が高まることが示唆された。

### 〔謝辞〕

本研究の遂行に際しては琉球大学農学部 上野正実博士および小宮康明博士、東京農業大学宮古亜熱帯農場中西康博士、前筑波大学農林工学系 西尾道德博士、農業環境技術研究所 木村龍介博士および斉藤雅典博士には懇篤なるご指導を賜り、宮古島市役所 豊見山真澄氏には地下水に関する資料を提供して頂いた。そして本研究は沖縄県立宮古農林高等学校環境班の生徒達と共に取り組んだ。ここに厚く感謝の意を表する次第である。

### 〔参考文献〕

1)宮古島地下水水質保全対策協議会:サンゴの島の地下水保全, 宮古広域圏事務組合,40-104(2002)

- 2)宮古島地下水水質保全対策協議会:宮古島地下水水質保全調査報告,宮古広域圏事務組合,12(2004)
- 3)中西康博, 高平兼司, 下地邦輝:地下水窒素汚染における起源別窒素負荷率の重回帰法による測定, 日本土壤肥科学雑誌, 第 72 巻, 365-371(2001)
- 4)沖縄県宮古支庁総務観光振興課:宮古概観, 沖縄県宮古支庁,1-2(2003)
- 5)大屋一弘:宮古島北東部土壌の理化学性, 沖縄農業, 14(1), 29-31(1976)
- 6)大屋一弘:宮古島南西部土壌の理化学性, 沖縄農業, 14(2), 33-38(1978)
- 7)大城喜信, 浜川兼:よみがえれ土ー沖縄の土壌とその改良, 新報出版, 98-105(1980)
- 8)Katznelson.H,Bose.B:Metabolic Activity and Phosphate-Dissolving Capability of Bacterial Isolates from Wheat Roots, Rhizosphere, and Non-Rhizosphere Soil, *Can. J. Microbiol.*, Vol.5, 79-85(1959)
- 9)前里和洋, 川満芳信, 清水芳久, 松井三郎:宮古島の暗赤色土における土壌蓄積リンの再生・循環利用に関する基礎的研究, 環境システム計測制御学会誌(EICA), 第 10 巻, 第 2 号, 73-80(2005)
- 10)Sperber.J.I:Solution of Apatite by Soil Microorganisms Producing Organic Acids, *Aust. J. Agric. Res.*, Vol. 9, No. 6, 784-787(1958)
- 11)Sperber.J.I:The Incidence of Apatite-Solubilizing Organisms in the Rhizosphere and Soil, *Aust. J. Agric. Res.*, Vol. 9, No. 6, 778-781 (1958)
- 12)Kucey, R. M. N:Phosphate-Solubilizing Bacteria and Fungi in Various Cultivated and Virgin Alberta Soils, *Can. J. Soil Sci.*, 63, 671-678(1983)
- 13)Nishio.M:Some Ecological Features of Phosphate-Solubilizing Microorganisms in Grassland Soils, Proceedings of the 15th International Grassland Congr., 483-485(1985)
- 14)土壌環境分析法編集委員会:土壌環境分析法, 博友社, 11-272(1997)
- 15)作物分析法委員会:栄養診断のための栽培植物分析測定法, 養賢堂, 69-277(1985)
- 16)沖縄県農林水産部, サトウキビ栽培指針, 6-7(1993)
- 17)木村龍介, 西尾道德:土壌バイオマスPの測定法, 土と微生物, 第 39 号, 49-52(1992)

(受付 2005.11.7)

(受理 2006. 2. 6)

## The Studies on Recycling and Circulation Utilizing Phosphorus Accumulated in the Dark-Red Soil of Miyako Island II

Kazuhiro MAESATO<sup>1</sup>, Yoshinobu KAWAMITSU<sup>2</sup>,

Yoshihisa SHIMIZU<sup>3</sup>, Saburo MATSUI<sup>3</sup>

Okinawa Prefectural Miyako Agriculture and Forestry High School<sup>1</sup>,

University of the Ryukyus<sup>2</sup>, Kyoto University<sup>3</sup>

### Abstract

A field test was conducted to explore the possibility of recycling accumulated phosphorus in the soil of Miyako Island in Okinawa Prefecture.

The yield of eggplants and green peppers, with their natural absorption of phosphorus, was enlarged when strain 22 with bagasse/bagasse charcoal was applied to experimental fields.

Phosphorus was applied at a standard concentration and 1/10 of the concentration to the fields where sugarcane had been grown continuously. As a result, we found that with the application of strain 22 with bagasse/bagasse charcoal, the sugarcane showed a tendency to increase in weight and its sugar content to be higher. By analyzing the soil, the biomass phosphorus showed a tendency to increase.

The results of the study imply that phosphate-solubilizing bacteria of organic acid generation type such as the strain 22 can either prevent phosphorus from becoming non-soluble calcium phosphates or facilitate solubilizing accumulated phosphorus in the soil when it was applied with organic carbon sources such as bagasse and molasses, and consequently enhance phosphorus absorption by plants.

### KeyWords:

dark-red soil, field test, accumulated phosphorus, recycle, groundwater, Miyako Island