

# 暖地の花こう岩質水田土壌におけるリン酸の可給化と 水稲に対するリン酸の肥効に関する研究

河 本 泰

## 要 約

河本 泰 (1977) : 暖地の花こう岩質水田土壌におけるリン酸の可給化と水稲に対するリン酸の肥効に関する研究。広島農試報告 38 : 1~88

西南暖地の花こう岩質水田においては、水稲に対してリン酸の施肥効果が現われにくい。この現象の解明と、リン酸施肥技術の基礎資料をうるため、土壌と作物の相互関係から検討した。まず、土壌中の可給態リン酸 (Bray No. 2 法) 含量と水稲のリン酸吸収量、それに伴う稲体の組成ならびに生育相から、低リン酸含量土壌においても収量が低下しがたいことを明らかにした。また、本土壌の特徴として、塩基置換容量の小さいことから、リン酸含量の低い条件においても水稲の初期生育が抑制されないこと。土壌の酸化的状態において、他の土壌より可給態リン酸含量が低下しないこと。酸化的条件を伴う中干しや乾田直播栽培においても、リン酸が吸収利用されやすいことを認めた。一方、生育後期の窒素追肥によるリン酸の肥効は認められたが、その効果は小さい。さらに、気象的には、分けつ期は気温が高く、日照不足であること。また、登熟期においても気温が高いため、水稲のリン酸吸収とリン酸の体内移動が大きいことから、分けつ、あるいは籾の充実に、リン酸施肥の効果が現われにくいことを明らかにした。

目 次		5. 要 約	
I. 緒 言	1	V. 窒素およびリン酸の施肥条件が水稲のリン酸肥効に及ぼす関係	46
II. 長期のリン酸試験圃場における土壌のリン酸含量と水稲生育	3	1. まえがき	47
1. まえがき	3	2. 苗のリン酸含量の差異が本田の生育に及ぼす影響	47
2. 土壌中の可給態リン酸含量と水稲の生育収量	3	3. 窒素施用法によるリン酸の肥効	51
3. 土壌リン酸の多少にともなう稲体組成と生育様式	7	4. 要 約	57
4. 要 約	12	VI. 気象条件が水稲のリン酸肥効に及ぼす影響	57
III. 土壌の環境変化による可給態リン酸含量の変化と水稲に対するリン酸の肥効	13	1. まえがき	57
1. まえがき	13	2. 気温および日照の変化に対するリン酸の肥効	58
2. 中干し処理による土壌のリン酸可給化量と水稲生育	13	3. 気象の異なる場所におけるリン酸の肥効	63
3. 乾田直播栽培におけるリン酸の肥効	18	4. 作季移動によるリン酸の肥効	71
4. 堆肥連用によるリン酸の効果	23	5. 要 約	76
5. 要 約	31	VII. 総 括	76
IV. 花こう岩質水田土壌の水稲に対するリン酸の肥効特性	32	引用文献	80
1. まえがき	32	Summary	86
2. 各種水田土壌のリン酸可給化量	33		
3. 置換容量の異なる土壌におけるリン酸の肥効	35		
4. 鉄添加に対するリン酸の肥効	41		

## I 緒 言

最近におけるリン酸肥料の国内消費量の推移<sup>97)</sup>をみると、1963年においては、リン酸の純成分として532千tであったが、1974年には692千tとなっており、また水稲に対するリン酸の施肥量も10a当り、1963年は平均6.9kgであったが、1974年には10.2kgに増加し、窒素、

加里の施肥量を上回った。このようなリン酸施肥量の増大は、高度化成肥料の発達により、一部では高リン酸成分の化成肥料が施肥されたこと、およびリン酸肥料が土壌改良剤として施用されたことなどによるものであろう。しかしながら、水稻に対するこれらリン酸肥料の増施は、全般的にみて必ずしも合理的な施肥法とはいえない。

こんごは有限であるリン酸資源の活用から、またリン酸の経済効率を高めるうえからも、土壌における適正なリン酸肥沃度の把握と、効率的な施肥法が明らかにされなければならない。

一般に、水稻に対するリン酸施肥効果は、火山灰土壌<sup>42)</sup>や寒冷地において、冷害年に肥効が高いとされている<sup>24,53)</sup>。しかし沖積水田、ことに西南暖地の古くからの水田では、無リン酸栽培を数年間続けても収量低下がおこらないこと<sup>65,95,99)</sup>、またリン酸吸収係数の高い土壌でかえて玄米収量が増加することがみられ<sup>145)</sup>、暖地の水稻に対するリン酸の肥効は、寒冷地と異なった一面をもっている。

リン酸は窒素のように流亡や揮散による損失が非常に少なく、施肥されたリン酸が土壌中に残存していることが明らかであっても、その可給化量および水稻の時期別リン酸吸収量の相互の量的関係が明確にされていないこと、また一般水田では、リン酸施肥量の多少が窒素のように直ちに水稻の葉色や生育に反応しないこと、およびリン酸肥料の多施用によっても、水稻に過剰の害が現われにくいことなどから、同じ地域で同一の土壌条件であっても、リン酸の施肥量は一定していない。また、施肥量が大きく違っても収量差が現われない例が多い。

他方、最近では米質の改善から、リン酸追肥が登熟におよぼす効果や、品質に与える影響などについて検討されている<sup>42,91)</sup>が、熟田においては、リン酸の蓄積量も増加しており、一定の見解は見出しがたいようである。

このように水稻に対するリン酸施肥の効果が小さいとされていても、地域的、土壌的あるいは栽培的にみて結果がさまざまであり、これらは土壌の可給態リン酸や、他の要素との関連で定量的に把握されていない場合が多く、リン酸施肥によって増収したとしても、その効果を理解することは困難である。

従来、土壌中のリン酸の行動に関しては、数多くの知見が得られている。すなわち、水田および畑における土壌の形態別リン酸の変化、およびそれら作物への吸収の関係<sup>12,14,111,135)</sup>、また、灌水によるリン酸の有効性<sup>4,58,118)</sup>、有機物のキレート作用によるリン酸の有効性<sup>93,124)</sup>、pHの増大によるリン酸の易溶化<sup>138)</sup>などが

明らかにされている。一方、水稻の栄養生理からみたリン酸の作用機作、すなわち、温度、阻害物質、他の要素とリン酸吸収の関係、ならびにその生理作用が明らかにされ<sup>132,154)</sup>、リン酸の有効利用、および施肥合理化の一面に貢献してきた。

他方、現地においては、古くから各所で水稻に対するリン酸の肥効試験が実施されてはきたが、これらの多くはリン酸施肥に対する生育、収量および成熟期のリン酸含量などの現象把握にとどまっているものが多く、リン酸施肥技術にはなお合理性に乏しい。

このように、これら基礎的研究の成果と現地におけるリン酸の施肥法は、必ずしも密接に結びついているとはいえない。したがって、リン酸施肥問題は、これらの成果に加えて、現地の栽培条件における土壌と作物のリン酸の量的相互関係が重要であり、その解明によって施肥の体系化が図られ、合理的リン酸施肥技術の道が開かれまた同時に、基礎的研究の発展にも役立つものと考えられる。

近年、東北の火山灰水田において、水稻に対するリン酸の肥効を体内リン酸と生育の関係、あるいは水田土壌のリン酸肥沃度とリン酸施肥の組合せで、リン酸供給力を調節し、それによって体内リン酸濃度を規制することができ、このことから、リン酸施肥量の推定が可能であると提言されるまでにいたった<sup>42,44,163)</sup>。また、志賀ら<sup>118,123)</sup>によって寒冷地水田土壌におけるリン酸肥沃度と、リン酸施肥に対する水稻の生育反応が明らかにされ、寒冷地におけるリン酸施肥体系の方向づけが示されている。

一方、暖地においては、松村ら<sup>78)</sup>は土壌のリン酸吸収係数を高め、水稻体内のN/P比の調節によって生産量を増大させようとする試みがなされた。これまで花こう岩質水田における水稻に対するリン酸の肥効について土壌と作物の相互関係から、生産的立場で研究が行われたものは数少なく<sup>96,99)</sup>、ほとんどが断片的である。

本研究は、西南暖地に広く分布する花こう岩および一部、流紋岩<sup>59)</sup>を含む花こう岩質水田土壌において、リン酸の肥効が現われにくい現象を現地の栽培試験を主体に、土壌および作物、それに環境条件などの総合的な見地から解明し、施肥技術の基礎資料を得ようとした。すなわち、水稻作付期間の土壌の変化にともなうリン酸の有効性と生育の関係、花こう岩質水田における気象条件と水稻生育、およびリン酸吸収の量的関係、あるいは栽培条件の異なる場合のリン酸の効果など、花こう岩質水田土壌の特徴とリン酸の有効性、および環境条件とリン酸の肥効の関係について明らかにしようとした。

なお、本研究は、1930年より広島県立農業試験場に設置された農林省指定の肥料施用方法改善試験のうちの、水稲に対するリン酸質肥料の効果に関する一連の試験であり、現在も継続されている。これまでに、これに関する試験は、1953年に第1報<sup>95)</sup>、1954年に第2報<sup>96)</sup>が発表された。

本報告は、この長期継続リン酸試験を基礎とし、主として1967年から1974年にわたって、長期継続リン酸試験と並行して実施した参考試験について取纏めたものである。なお、この結果は、1968年から暖地水稲のリン酸の肥効に関する研究として、第1報から第10報まで土壤肥料学会において講演発表した。

## II 長期のリン酸試験田における土壌のリン酸含量と水稲生育

### 1. まえがき

一般にわが国の水田では、水稲に対するリン酸の供給力は、これまで長年にわたってリン酸が施肥されたことによる蓄積と、それに湛水によるリン酸の有効性の増大および水稲のリン酸吸収量が麦に比べて少ない<sup>20,21)</sup>ことなどによって、無リン酸栽培をしても、リン酸供給力の持続性が大きく、水稲の収量は低下しがたいといわれている。

川崎<sup>36)</sup>が纏めた現地の水稲三要素試験1655点の無リン酸区の平均収量指数は95と高い。また、長期継続の無リン酸区においても、収量低下の少ない例が多い。しかし無リン酸栽培を続けた場合、比較的早く収量低下をおこすところもある<sup>36,66)</sup>。これらの結果については、土壌のリン酸含量の把握がほとんど行われていないので、土壌の種類の違いによるものか、リン酸含量の相違、あるいは有効性の差異によるものか明らかでない。また、長期のリン酸試験で、土壌中のリン酸含量を全リン酸で表わしている<sup>95,99)</sup>のもみられるが、これらは年次によるリン酸の変化を収量との関係で概略的につかむには意味はあるが、土壌リン酸を水稲の生育相と対比しながらみることはできがたい。

そのため、水稲に対するリン酸の効果を検討するには土壌中の有効リン酸の含量、すなわち、土壌のリン酸供給力<sup>8,163)</sup>との関係でみるのが適切であると考えられる。

リン酸供給力の測定には、溶液による抽出法、土壌溶液のリン酸濃度、<sup>32</sup>P利用による方法などが提唱されている。土壌の形態別リン酸含量は、水稲のリン酸吸収量との関係を推定することができても、水稲作付期間における土壌有効リン酸の様相を把握し、生育経過との関連

で考察することは、とくに還元土壌において、これらの形態をつかむことは定量法からみても困難であろう。最近、志賀<sup>118)</sup>は水田土壌のリン酸供給力の測定について、従来から一般に試みられている可給態リン酸の抽出法から、水田土壌の還元状態という特性を加味して使用できるものとして、2.5%酢酸溶液あるいはBray No.2液の抽出法が適しているとした。Bray No.2測定法は、リン酸施肥直後の土壌や火山灰土壌においては、水稲のリン酸吸収との間に問題が残るようであるが、測定操作が簡単で再現性が高いので、本試験土壌に使用できるものとみて、主としてこの方法により、土壌中の可給態リン酸含量と水稲生育の関係を検討した。

当試験場で実施している1930年から40数年にわたる花こう岩質水田土壌における水稲に対するリン酸試験は、各作無リン酸区においても収量低下が少ないため、長期的な観点から主として生育、収量ならびに養分吸収の変化の様相をとらえ、高い収量水準で、土壌から供給されるリン酸の持続効果の年限を把握しようとしている。

ここでは、この長期連用試験におけるリン酸の効果を、1967年と1968年の時点で、土壌と作物の関連において明らかにするため、リン酸の施肥時期および施肥量の異なった処理区について、土壌リン酸の可給化量および作付期間における可給態リン酸含量の変化、ならびに水稲のリン酸吸収量との関係を調査した。また、リン酸吸収量の多少が水稲生育および体内組成に及ぼす影響について検討を加えた。

### 2. 土壌中の可給態リン酸含量と水稲の生育収量

#### 1) 試験方法

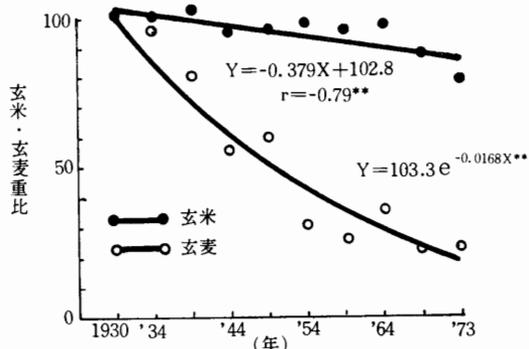
##### (1) 供試圃場

旧農試水田圃場(西条)、土壌は花こう岩に由来する湖成沖積、灰褐色土壌壤土マンガ型、S L、で粘土鉱物はカオリンを主体としている<sup>158)</sup>。試験開始は1930年で1969年にいたり八本松水田圃場に土壌を移動(作土15cm心土35cm)した。一区面積は33.3m<sup>2</sup>から13m<sup>2</sup>に縮小し、現在も引続き実施している。

本報告はこの試験田の処理区のうち、各作リン酸区(稲作、麦作の各々にリン酸施肥)、裏作リン酸区(麦作のみリン酸施肥)および各作無リン酸区(稲作、麦作ともリン酸無施肥)で、その各々に、窒素少量、窒素多量および標準(窒素多量に堆肥併用)処理を設けたものである。リン酸施肥量は、一作当り0.75kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/aを施用、標準区の堆肥施用量は75kg/aである。

注) 1930年来の試験区名は…構酸区であるが、ここではすべて…リン酸区とした。

現在までのリン酸の施用効果は、麦作では、各作無リン酸区は、試験開始後数年で玄麦収量は10数%減収し、リン酸施肥の効果が高いが、水稻では、各作無リン酸区の玄米収量は、試験開始後10年は変わらず、その後徐々に低下しており、40年近く経過した最近10年間の各作リン酸区に対する各作無リン酸区の玄米収量指数は、窒素少量で90、窒素多量95、標準98である。第1図は窒素多量の場合の水稻および麦に対するリン酸の効果を年次間推移でみたもので、その違いが明らかである。



第1図 各作リン酸区に対する各作無リン酸区の玄米および玄麦収量指数の年次変化（窒素多量硫酸根区の5年ごとの平均値）

この試験の土壤全リン酸含量は、開始時は69mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100gであったが<sup>95)</sup>、現在では、各作リン酸区が130mgであるのに対し、各作無リン酸区は約35mgまで低下している。

概略、以上のような試験田であり、土壤の移動後も、水稻生育ならびにリン酸吸収は、移動前と大差がなく今日にいたっている。なお、本試験は1967年に実施したものについての結果である。

#### (1) 栽培法と管理

水稻品種、チヨヒカリ（1958年より）を6月24日に、株当たり3本を24×24cm（17.4株/m<sup>2</sup>）の正条植で普通期栽培とし、幼穂形成期前一週間の中干しを行った。収穫は10月28日。

#### (3) 土壤分析

① 土壤 pH：ガラス電極法、

② 土壤 2 価鉄：α-α' ディピリディール法<sup>36)</sup>、湛水土壤の採取は、なるべく土壤が空気に触れないように円筒管で作土を数か所からとり、ビニール袋に入れ、袋の中の空気を追い出した後、袋の上から押えて土壤をよく混合した。分析は、そのうちから2～5gを予め用意した300ml容のポリエチレン振盪瓶の、0.2% AlCl<sub>3</sub> (pH 4) 溶液200ml中に入れ、1時間振盪し、一夜放置後、上澄液5～10mlを50ml定容フラスコに採り、α-α'

ディピリディール液を加えて発色し、水分量を換算し、乾土100g中の Fe<sup>2+</sup>mg として表示した。

③ 土壤の可給態リン酸：Bray No. 2 法<sup>9)</sup>、2 価鉄測定と同時に同一土壤 5g（乾土当り約 3g）を予め Bray No. 2 抽出液30ml を入れた100ml容の三角フラスコに入れ正確に1分間激しく振盪し、濾過し、Jackson II 法<sup>28)</sup>によりリン酸を定量し、乾土100g当りの P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>mg で表わした。

④ インキュベーションによる土壤の可給態リン酸の測定：内径1.6cmの試験管に供試土壤 3g を入れ、蒸溜水 5ml を加えた後、酸化防止のため、ゴム板を水面に入れ、30°C恒温器に一定期間放置した。測定時にゴム板を取り出し、水量を補正した後、速やかに Bray No. 2 抽出液25ml（塩酸の濃度補正した液）を試験管に入れ、1分間激しく振盪した後③の方法によってリン酸を測定した。

#### 2) 試験結果および考察

##### (1) 生育状況

試験開始後38年経過した1967年の水稻生育についてみると、この年は、8月下旬から9月上旬にかけて温度が高く、日照時間も7月下旬から9月下旬まで多かった。そのため生育は良く、とくに穂数が多く、例年より収量が高く、各作無リン酸区においても高収で、暖地的性格が強く現われた年であり、リン酸の施肥効果が収量に反映しなかった。しかし処理間における生育は、例年とほぼ同様の経過で推移し、長期継続試験における最近の一般的な生育状況とみてよい。

すなわち、各作無リン酸区は、田植後14日頃より、リ

第1表 長期リン酸試験圃における水稻生育  
(38年経過後1967年の生育)

(茎穂数/m<sup>2</sup>)

区 名	項 目	最高分げつ期 7月28日		成熟期	
		草丈 (cm)	茎数 (本)	草丈 (cm)	穂数 (本)
窒素少	各作リン酸	70	347	91	312
	裏作リン酸	71	347	91	292
	各作無リン酸	69	278	90	276
窒素多	各作リン酸	68	316	92	297
	裏作リン酸	68	347	93	316
	各作無リン酸	68	311	92	319
標 準	各作リン酸	75	403	101	352
	裏作リン酸	74	401	100	345
	各作無リン酸	77	384	103	342

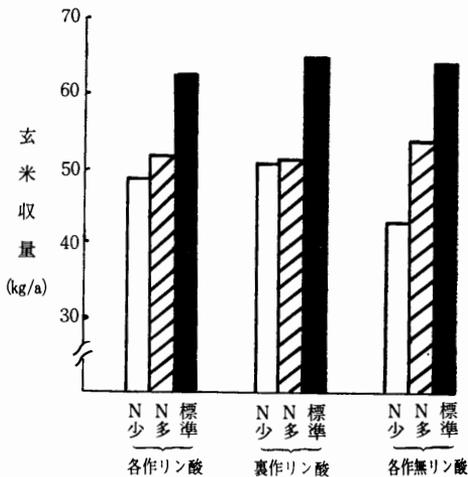
注) 標準は窒素多に堆肥併用

ン酸欠乏の徴候が現われ、葉身が細く、直立型となり、1か月後の7月末には葉色は青黒くなり、欠乏症が明確に判別できた。とくに窒素多量各作無リン酸区では、窒素少量や標準のそれよりリン酸欠乏症状が激しく現われた。しかし、8月上旬頃から生育は挽回し、8月下旬にいたると欠乏の徴候は認められなくなった。最高分げつ期と成熟期についての生育は第1表のようで、草丈ではリン酸施肥の有無による差は現われていない。また、最高分げつ期の茎数では、各作無リン酸区が少なく、とくに窒素少量で少ない。穂数においては、窒素少量各作無リン酸区が各作リン酸区に比べて劣ったほかは大差なかった。また、裏作リン酸区ではリン酸施肥による差は認められず、各作リン酸区と同様な生育を示した。

(2) リン酸施肥と収量

収量結果は第2図に示した。標準区、すなわち堆肥を連年併用した処理区においては、例年どおり、各作リン酸区と各作無リン酸区の収量に大差がない。窒素施肥量では、従来から窒素多量が窒素少量よりリン酸の肥効が収量に反映しがたく、1967年はとくに生育後半、高温多照に経過したこともあって、各作リン酸区との収量差が現われなかった。窒素少量の場合には、穂数減で12%の減収となった。窒素多量各作無リン酸区は、窒素少量各作無リン酸区より、長年にわたる土壌からの養分収奪量が大きく、土壌からのリン酸も水稻に多く吸収されている<sup>95)</sup>。

また、栄養生長期間におけるリン酸欠乏症状は、窒素多量が窒素少量よりも激しく現われる。しかし、収量低下は窒素多量の方がおこりにくい。これらのことは疑問

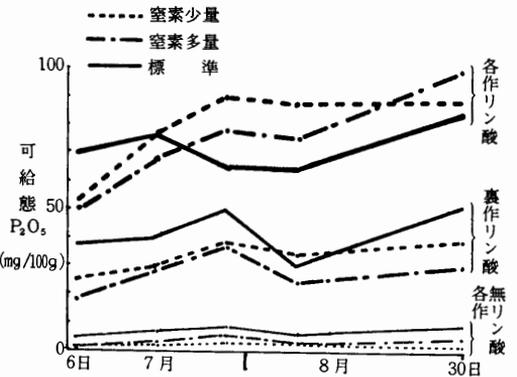


第2図 リン酸施肥の有無による玄米収量 (38年経過後1967年の収量)

をいざとところであるが、これについては、根系が生育後期に下層土まで伸び、下層土からのリン酸をより多く吸収しているものか、また、生育時期別の体内窒素濃度とリン酸吸収からの考察が必要と思われるが、Vの試験で、窒素施肥法とリン酸吸収の関係について検討を試みたので後述することとする。

(3) 土壌の Bray No. 2 可給態リン酸含量

稲作期間における土壌の可給態リン酸含量の時期別推移は第3図に示した。可給態リン酸含量は、還元が進ん



第3図 土壌中の Bray No. 2 可給態リン酸含量の推移 (1967年)

でいない生育初期、あるいは8月上旬頃の中干しの影響で少ない傾向にあるが、リン酸施肥法によって大きく3つに分割された。すなわち、各作リン酸区では50~100 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g であり、裏作リン酸区では20~50mg、各作無リン酸区は2~8mgである。標準、窒素多量および窒素少量におけるリン酸の施肥法と可給態リン酸含量との関係は、標準すなわち堆肥併用では生育初期に高い。また、各作リン酸区および裏作リン酸区で、窒素少量は窒素多量より可給態リン酸の含量が高い傾向にあった。

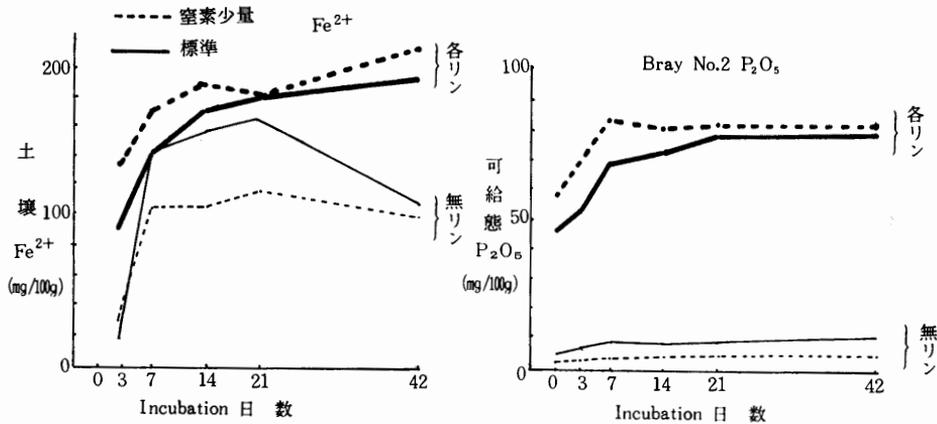
各作無リン酸区の場合には、標準は堆肥に含有されるリン酸の補給 (一作に75kg/aの堆肥施用によるリン酸量は0.14kg/a) によって、土壌中の可給態リン酸含量も多少は高く経過したものと考えられるが、その含量5mgから8mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g 以内であり、各作リン酸区の1/10程度と少ない。それにもかかわらず、水稻生育は、初期茎数において僅かに少ないが、最高分げつ期以降の生育は、各作リン酸区と遜色ないまでにいたる。窒素少量各作無リン酸区では、可給態リン酸含量は3mgで推移した。この場合には、茎数は挽回せず生育が劣った。

これらの可給態リン酸含量と初期茎数増加の関係をみると、裏作リン酸区では茎数の抑制はおこらなかった。この土壌の可給態リン酸含量は、第3図で示したように

20~30mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g 以上であることから、この程度存在すれば、分けつに対するリン酸の制約はうけず、正常に生育することがうかがわれた。一方、玄米収量に対しては、標準各作無リン酸区の収量指数は98であり、この場合の可給態リン酸は既述したとおりで、6mg以上あれば収量低下を起しにくく、窒素少量および窒素多量の各作無リン酸区は5mg以下であり、これ以下では減収する

と思われた。

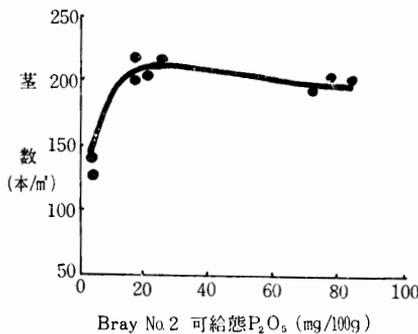
室内実験から、これら試験区土壌の可給態リン酸含量は第4図に示すように、2価鉄含量の増大、すなわち、土壌の還元が発達で可給化量の増大傾向がみられ、それはリン酸含量の高い場合に明らかである。また、この結果は、圃場における土壌の可給態リン酸含量と同様の傾向を示した。



第4図 湛水土壌の Fe<sup>2+</sup> と Bray No.2 可給態リン酸含量

さらに、土壌の可給態リン酸と水稻生育の関係を明らかにするため、別途試験で検討を加えた。まず、無肥料連用土壌にリン酸の施肥量を変え、土壌の可給態リン酸含量と、分けつ期の茎数増加の関係をみたのが第5図であり、可給態リン酸が15~20mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g 付近までは茎数増となる。しかしそれ以上では増加せず、75mg以上では分けつ抑制の傾向がみられる。

現われ、4mgに低下すると症状が著しくなるのが観察された。また、玄米収量に及ぼす関係は、可給態リン酸が6mg以上で収量への影響は少なく、5mg以下で減収割合が大きくなる。これらの結果は前述の値とほぼ一致した。なお、可給態リン酸含量が5mg以下の場合には、全リン酸の含量は45mg以下であった。



第5図 土壌の可給態リン酸含量と茎数の関係  
7月15日(分けつ期) (1968~1970年)

また、別の圃場枠で調査した結果を第2表に示したが、この表から、最高分けつ期における土壌の可給態リン酸含量が6mgにおいて、水稻のリン酸欠乏症が僅かに

第2表 土壌の Bray No.2 可給態リン酸含量と水稻のリン酸欠乏ならびに収量比

区名	リン酸欠乏	pH	可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	Fe <sup>2+</sup> (mg/100g)	収量比	
窒素多量各作無リン酸(無硫酸根区)	大	7.2	3.6	81	—	
	中	7.3	3.8	94	—	
	小	7.1	6.0	106	—	
土壌の全 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	38	大	6.9	3.6	—	100
	40	大	7.0	4.3	—	123
	43	中	7.0	4.5	—	122
	48	小	7.0	6.8	—	134
	57	小	7.0	9.2	—	132

注) 測定: 7月28日

志賀ら<sup>121)</sup>によれば、北海道の寒冷地における水稻生育と Bray No.2 可給態リン酸含量の関係は、分けつ期

では、30~50mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g以下で分げつ増に対するリン酸施用の効果があり、また、収量増加に対しては、20mg以下で施肥効果が期待できるとしている。しかし西南暖地においては、採土法および定量法を全く同一にして測定した上記の結果から、分げつ期における茎数増加に対するリン酸施肥効果は、可給態リン酸含量が15~20mg以下であり、また、収量増に対しては5mg以下で、それ以上の含量では施肥効果に期待がもてなく、寒冷地より低いリン酸含量で正常な生育をすることが認められた。

3. 土壌リン酸の多少に伴う稲体組成と生育様式

1) 試験方法

(1) 供試圃場

試験区および耕種法は前試験に準ずる。

(2) 植物分析

窒素は1mm篩別の粉碎試料(80°C乾燥)1gをとり、ケルダール法によって全窒素を定量した。リン酸は粉碎試料2~4gを50ml容のルツポに入れ、450°Cで4時間灰化し、珪酸分離後一定量とし、その一部をとり、バナドモリブデン酸法<sup>10)</sup>により定量した。0.7N塩酸加水分解による全炭水化物は、振動ミルで微粉にした試料0.2gを試験管にとり、0.7N塩酸10mlを加え、沸騰水中で2.5時間加水分解した。分解後濾過し、濾液を一定量にした後、除蛋白を行った液について、ソモギー法により全還元糖として定量した。

2) 試験結果および考察

第3表は、長期継続リン酸試験の玄米収量に対するリン酸の効果を穂数についてみたものである。第3表から玄米重が各作無リン酸区で低下した事例は69例で、半数

第3表 玄米収量に対するリン酸の効果と穂数の関係 (1931年~'73年) (各作無リン酸区-各作リン酸区) 差 (回数)

玄米重	穂数	N少肥区	N多肥区	標準区	合計
	+	1	4	4	9
+	±	1	1	2	4
	-	0	3	2	5
	+	4	4	3	11
±	±	1	6	6	13
	-	7	4	7	18
	+	1	2	4	7
-	±	5	4	6	15
	-	23	15	9	47

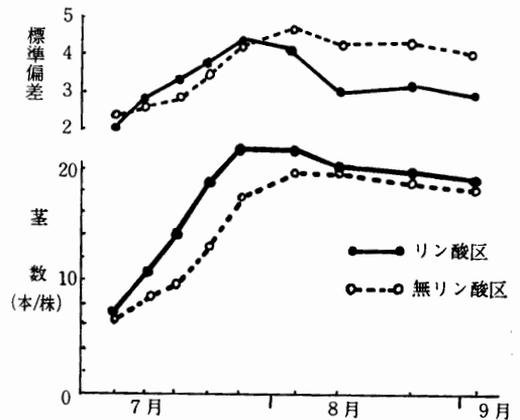
注) +および-は5%以上±は5%以下

以上を占め、その減収は、穂数減が大きな要因であり、なかでも窒素少量各作無リン酸区の事例数が多い。しかし、各作無リン酸区が減収していない事例も多く、窒素少量より窒素多量および標準(窒素多量に堆肥併用)処理において、リン酸の効果があらわれていない。

そこで、この関係について、水稻生育および体内成分の変化から検討を加えた。

(1) 水稻の生育概況

供試材料は主として1968年および1969年の長期継続リン酸試験における水稻についてみたものである。各作無リン酸区の生育の概略はさきにのべたが、さらに詳細にその経過をみた。すなわち、リン酸区の茎数は、活着後急増し、分げつ期における葉身は、軟弱で彎曲している。それに対し、無リン酸区の茎数増加は緩慢で、7月20日頃に両区の茎数差が最大になる(第6図)。その後、リン酸区は7月下旬に最高分げつ期に達するが、無リン



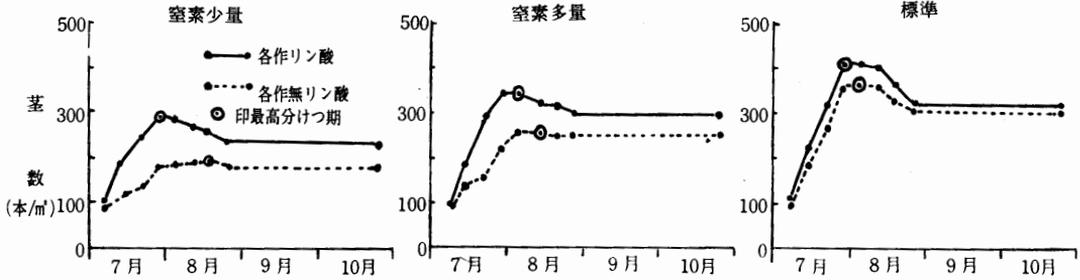
第6図 リン酸施肥の有無と茎数増加傾向 (注) リン酸区はN多裏作リン酸区、無リン酸区はN多各作無リン酸区

酸区は8月上旬頃であり、最高分げつ期がリン酸区より後にずれる。そして無効茎になる割合がリン酸区より少なく、穂数はリン酸区と差がなくなり、効率的な茎数増加の様相を示した。この最高分げつ期が後にずれる現象は、リン酸不足の状態だけではなく、晩期栽培や無効分げつ期の窒素過剰によっても起る。これらは稔実障害や青枯れ<sup>12)</sup>を起すことがあるが、リン酸不足では青枯れ症状にはならなかった。

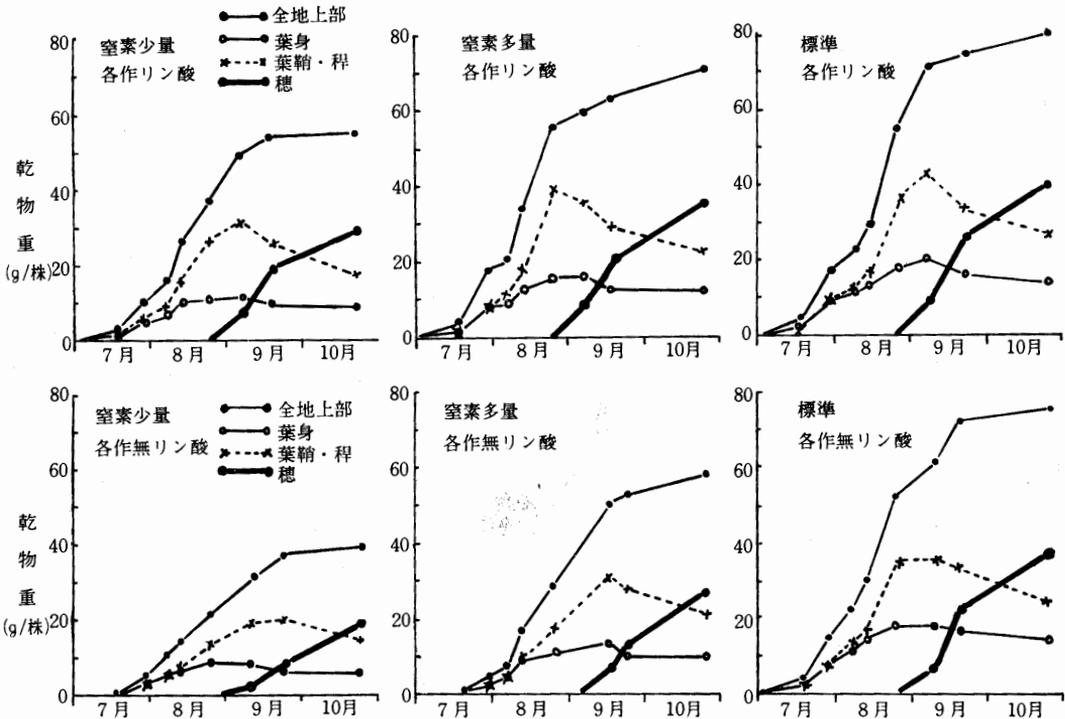
また、第6図で株間の茎数の標準偏差を示したが、無リン酸区が大きい。これは無リン酸区では僅かな条件の差、たとえば個々の苗質の違い、あるいは植付けの深さなどが異なることが考えられ、他方、リン酸区において

は、リン酸栄養的制約がなく、個体が揃い、上記の小さな条件は打消されて偏差を小さくしたものとする。  
つぎに、リン酸施肥の有無と生育の関係を、窒素少量、窒素多量および標準についてみた。これらについて

のリン酸の肥効は、草丈より基数に強く現われたので、基数の推移について第7図に示した。また、時期別の各部位における乾物重の変化は第8図のとおりである。



第7図 リン酸施肥の有無による基数の変化



第8図 水稻乾物重の時期別変化

第7図の基数の推移についてみると、各作リン酸区では、標準が最も分けつ数多く、ついで窒素多量、窒素少量の順となったが、無効基数は、窒素少量、標準で多くなり、窒素多量は少なく、穂数確保に有利であった。他方、各作無リン酸区では、最高分けつ期が後にずれるが、その程度は窒素多量、窒素少量で大きく、標準で小さい。このような基数の推移から、最終的な穂数において、各作リン酸区と各作無リン酸区の差は、標準が最も

小さく、ついで窒素多量、窒素少量であった。これら穂数の関係は、収量と相関が高く、標準では収量差が小さく、窒素少量で大きい。すなわち、前者はリン酸の肥効が現われにくい、後者では現われやすい。

つぎに、第8図の部位別乾物重の推移で、各作リン酸区は、葉身を除く各部位の増加速度が大きく、それが穂揃期まで続くが、各作無リン酸区での増加は緩やかである。この関係は、窒素少量、窒素多量においてよく現わ

れた。

出穂期以後、葉身や葉鞘、稈の乾物重は減少するが、とくに葉鞘と稈において著しい。減少の様相は、各作リン酸区では穂揃期以後から始まり、その程度も大きい。各作無リン酸区ではやや遅れ、乳熟期頃から始まり減少程度も小さい。処理間では窒素少量でその傾向が強く、標準で弱く現われた。葉鞘、稈の乾物重の減少は、村山ら<sup>88)</sup>も指摘しているように、出穂後、稈や葉鞘の蓄積澱粉が籾へ移行するためによるところが大きい。

一方、穂の乾物重の増加傾向をみると、窒素少量では、各作リン酸区と各作無リン酸区に差があり、各作無リン酸区は稈より穂への移動が、および出穂後の同化蓄積量がともに少ないことから、このような差が生じたものと思われる。しかし、標準各作無リン酸区では、最終の穂重は各作リン酸区と大差がなく、乾物重は高い。このことは各作無リン酸区は、出穂後において光合成機能が衰えなかったものと推定される。

また、全地上部に対する葉身の割合から、炭水化合物成分との関係のみた。その葉身比率は第4表に示したように、分けつ盛期においては、各作無リン酸区は各作リン酸区より低い。それ以後では各作無リン酸区が高く、炭水化合物の集積が各作リン酸区で大きいことを暗示した。

第4表 地上部に対する葉身の割合

区名	時 期	割合 (%)			
		分けつ期 (7月17日)	幼穂形成期 (8月5日)	穂揃期	成熟期
窒素少量	各作リン酸	60	41	24	16
	各作無リン酸	56	46	27	17
窒素多量	各作リン酸	61	45	26	17
	各作無リン酸	57	51	26	17
標 準	各作リン酸	59	48	28	17
	各作無リン酸	59	47	30	18

穂に蓄積される澱粉について、穂揃期までに合成された炭水化合物が穂へ移動したものを貯蔵型とし、これは葉鞘、稈の穂揃期から成熟期までの乾物の減量および穂揃期の穂重をもってした。一方、出穂後に合成された炭水化合物を合成型とし、成熟期の穂重から貯蔵型の乾物重を差引いたものとした。また、乾物重のそれと同様に、全炭水化合物の増減についても比較検討した。これらの移動、集積は絶対的な値を意味するものではないが、区間の傾向はつかむことができるであろう。それらの結果は第5表に示した。この結果をリン酸施肥の有無との関係

第5表 穂揃期を基準にした穂の貯蔵型と合成型乾物重と全炭水化合物含量の割合

区名	項 目	割合 (%)			
		穂の乾物重比の 穂揃期までの貯蔵 産物	穂の全炭水化合物 含量の内容 穂揃期までの貯蔵 産物	穂の乾物重比の 穂揃期までの貯蔵 産物	穂の全炭水化合物 含量の内容 穂揃期までの貯蔵 産物
窒素少量	各作リン酸	71	29	52	48
	各作無リン酸	44	56	43	57
窒素多量	各作リン酸	59	41	45	55
	各作無リン酸	60	40	54	46
標 準	各作リン酸	63	37	42	58
	各作無リン酸	49	51	37	63

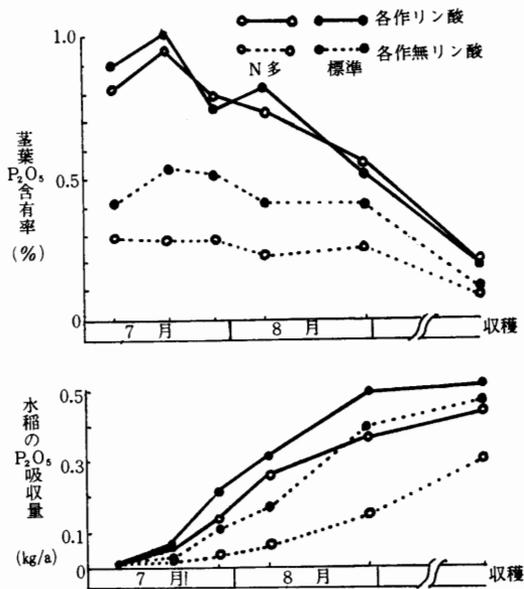
についてみると、窒素多量の場合は明らかでないが、窒素少量および標準では、各作リン酸区は貯蔵型に由来するものが多く、各作無リン酸区は合成型が多い傾向にあった。

石塚ら<sup>50)</sup>や戸川ら<sup>141)</sup>は、穂の澱粉の大部分は、登熟期間において同化されたもので、茎葉から移動した澱粉は少ないとしているが、村山ら<sup>88)</sup>や鈴木ら<sup>127)</sup>は、茎葉中の澱粉も穂へ移行することを認めている。村山ら<sup>88)</sup>は茎葉中に貯蔵された澱粉のうち、窒素少量区で40%、中量区で30%、多量区で8%が移動するとしている。このように茎葉から穂への移動の違いは、おそらく気象条件や体内成分の違いによって生じるものであろうが、本実験で、澱粉が茎葉から穂へ移動する量に差異を示したことは、リン酸が蛋白代謝や炭水化合物代謝と密接な関係にあることによっても明らかである。

#### (2) リン酸の多少による稲体組成の変化

つぎに、このような生育経過をたどった水稲の茎葉全体のリン酸含有率および吸収量を、窒素多量と標準の各作リン酸区と、各作無リン酸区についてみた結果は、第9図のようである。リン酸含有率は、窒素多量各作無リン酸区が0.30%  $P_2O_5$ 以下で推移したのに対し、標準各作無リン酸区では0.53%まで上がり、その後、緩やかに低下した。一方、各作リン酸区では、リン酸の最高濃度は分けつ期に1%近くになり、その後は急激に低下した。また、リン酸吸収量でみると、各作リン酸区では、幼穂形成期までに全吸収量の約60%であったのに対して、各作無リン酸区では23~36%に過ぎない。しかしそれ以後の吸収が多く、出穂以降においても、かなりのリン酸量が吸収され、成熟期は窒素多量で0.3kg  $P_2O_5/a$ 標準では0.47kgに達した。

本谷<sup>41)</sup>は分けつの減少は、茎葉のリン酸含有率が



第9図 水稻の時期別リン酸含量の推移

第6表 分けつ期の茎数と茎葉のリン酸含有率 (1968年, '69年, '72年の平均値)

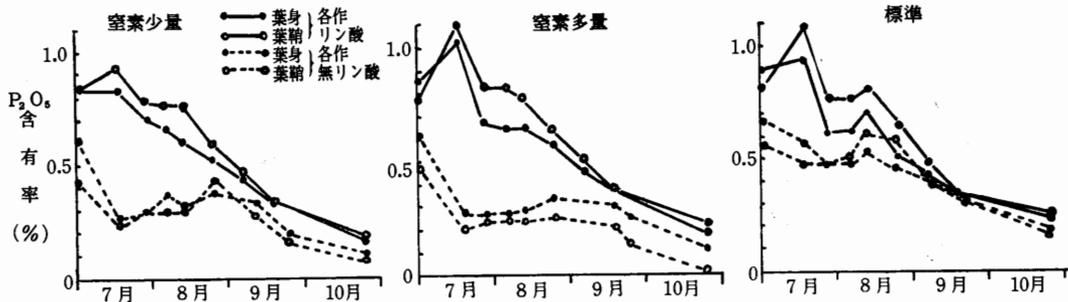
区名	項目	茎数 (本/m <sup>2</sup> )	最高茎数の区を100にしたときの値	茎葉の P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
窒素少量	各作リン酸	179	94	0.85
	裏作リン酸	190	100	0.77
	各作無リン酸	99	52	0.23
窒素多量	各作リン酸	190	91	0.96
	裏作リン酸	208	100	0.87
	各作無リン酸	122	59	0.26
標準	各作リン酸	207	100	0.93
	裏作リン酸	193	97	0.88
	各作無リン酸	171	84	0.50

注) 調査日1968年と'69年は7月17日, '72年は7月14日

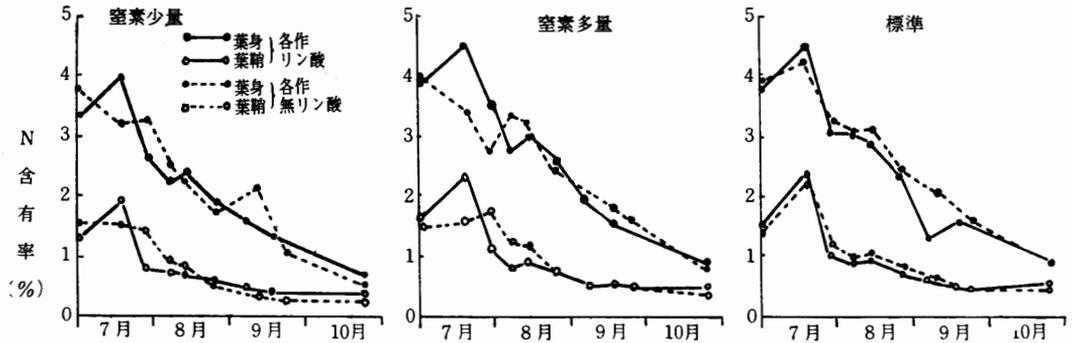
0.23% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>以下、分けつが旺盛になるのは0.45%以上としているが、本試験において、1968年、1969年および1972年の分けつ期における茎葉のリン酸含有率と茎数について調査した結果は第6表のようである。同時期の茎数は、その年の日照や、気温の影響で増減があり、含有率と茎数は必ずしも一致をみないが、処理間による傾向は毎年同様であったので、3か年の平均値で表わした。第6表から、窒素少量および窒素多量の各作無リン酸区の含有率は、0.23~0.26% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>で茎数は少なく、本谷のいう茎数減の限界値である。一方、裏作リン酸区のリン酸含有率は、各作リン酸区より低いが、茎数は裏作リン酸区が多い。このことは各作リン酸区の含有率が過剰ともいえる。すなわち、窒素少量の場合は、茎葉のリン酸が0.85% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>以上、窒素多量では0.96%以上で、茎数増加には無関係か、あるいは減少の傾向もわかられる。このことは、前にのべた土壌の可給態リン酸含量と茎数の関係を照合するとき、各作リン酸区においては、必要以上に土壌中にリン酸が存在しているともいえる。

玄米収量に及ぼす分けつ期茎葉のリン酸含有率について、裏作リン酸区では、リン酸による茎数の抑制は起らない土壌リン酸含量であるので、収量に対してもほとんど問題がないと考える。一方、窒素少量あるいは窒素多量の各作無リン酸区のリン酸含有率は低く、収量も劣るが、標準各作無リン酸区では、含有率は0.53%であり、この場合の収量指数は98前後であり、各作リン酸区と大差がない。このようなことから、収量増に対して期待できる分けつ期の茎葉のリン酸含有率は、0.45%以下の場合と推定し、この含量以下でリン酸施肥効果が認められると判断した。

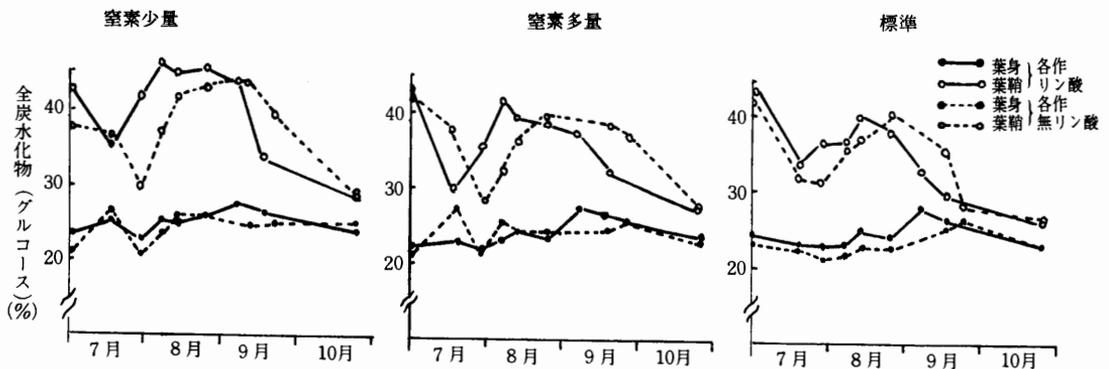
つぎに水稻各部位のリン酸、窒素および全炭水化物の変化についてみた。その結果は第10図、第11図、第12図のようである。



第10図 水稻の部位別リン酸含有率の推移



第11図 水稻各部位の窒素含有率の推移



第12図 水稻各部位の全炭水化物含有率の消長

まず、第10図のリン酸の時期別推移についてみると、各作無リン酸区では、穂揃期までに含有率の最も低下する時期は7月中旬の分けつ期であり、一方、各作リン酸区では、この時期が最高で、葉鞘では1% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>前後となる。したがってこの時期は、両者の含有率の開きは最大になる。その後、各作リン酸区は含有率の低下が早いものに対して、各作無リン酸区では穂揃期頃まで漸増し、その時期を過ぎると、穂への移動が盛んになるため、次第に低下する。

葉身と葉鞘のリン酸濃度について、各作リン酸区では葉鞘が葉身より高く推移する。この傾向は窒素多量で明瞭であり、標準では各作無リン酸区の各部位の濃度は高く、各作リン酸区にかなり接近した。各作リン酸区において、葉鞘が葉身より高いのは、葉身のリン酸濃度の限界値が葉鞘より低く、吸収リン酸の余剰が葉鞘に貯蔵されたと考えられた。他方、各作無リン酸区では、葉身と葉鞘の含量は各作リン酸区と逆になっている。これについては、吸収リン酸の絶対量が少なく、リン酸が葉鞘より葉身へ補給された生理的現象の結果と思考される。

つぎに第11図の窒素含有率と、第12図の全炭水化物含量の関係をみると、全般に、窒素濃度が高いと、全炭水化物含量は低い傾向にある。各作リン酸区と各作無リン

酸区の窒素濃度の比較では、7月中旬の分けつ期においては、各作リン酸区が高いが、8月上旬の幼穂形成期頃には相当に低下し、ほぼリン酸濃度と平行して推移する。これに対して各作無リン酸区では、8月上旬のこの時期に窒素濃度は高まり、以後漸次減少の傾向を示す。そしてこの傾向は、リン酸濃度の変化と必ずしも平行的な関係がない。

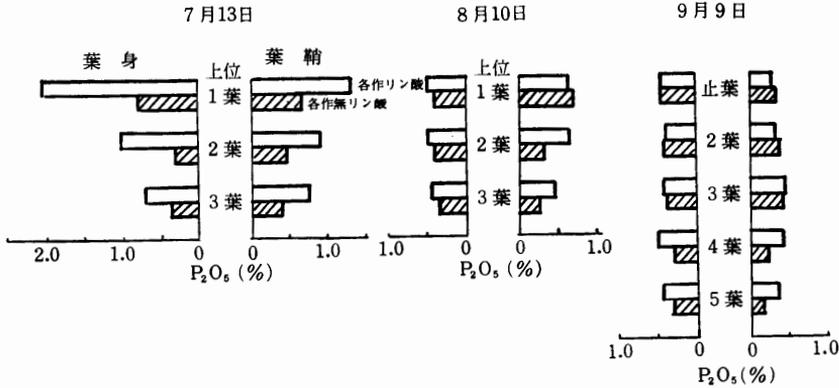
一方、全炭水化物は葉鞘において興味ある推移を示した。すなわち、各作リン酸区では7月中旬の分けつ盛期に大きなV型となり、8月上旬頃に含量は最高となる。以後、急激に減少する。それに対して各作無リン酸区はV型時期がやや遅れ、再び増加し、最高になる時期も後にずれる。この全炭水化物の推移は、前述の茎数の増加あるいは無効茎になる傾向とよく似ている。すなわち、各作リン酸区では最高分けつ期が早く、また、以後の茎数の減少も大きい。これに対し、各作無リン酸区は茎数の増加が遅れること、無効茎の少ないことなど、炭水化物の推移と関係がみられた。

石塚、田中<sup>50,51</sup>)は、水稻生育の初期は蛋白質の生成が盛んで、幼穂形成期以後は繊維素およびリグニンが増加し、開花以後は澱粉が多量に蓄積されるとし、また、村山ら<sup>88</sup>)も同様の見解をとっている。これらのことよ

り、各作リン酸区は、蛋白代謝から、繊維素あるいは炭水化物代謝への転換が早くなるのに対して、各作無リン酸区は、リン酸の吸収抑制によってその時期が遅れるといえる。この関係は窒素多量で最もよく現われ、標準で

緩和される。穂摘後の炭水化物の蓄積についてはすでにのべた。

各部位別について、さらに葉位との関係で、生育経過における部位別リン酸含有率の消長をみた結果は第13図



第13図 葉位別(葉身, 葉鞘)リン酸含量の時期別変化

のようである。7月13日の分けつ期では、いずれの葉位も各作リン酸区と各作無リン酸区のリン酸含量の開きが大きく、各作無リン酸区は約 $\frac{1}{2}$ と低い。しかし生育時期が進むにしたがい、上位葉の含量には両区に差がなくなり、9月9日の穂摘期以後においては、上位より4葉以下は各作無リン酸区が低い。しかし上位3葉では葉身、葉鞘とも各作リン酸区に等しい。このことから、各作無リン酸区は下位葉から上位葉への移動量の多いことを示す。そして出穂後の同化は、主として上位葉で行われるので、各作無リン酸区においても、リン酸による制約が緩和されたと考えられる。

一方、稈実に対するリン酸の果す役割は大きく、穂重の増加は穂のリン酸含量を高める<sup>50)</sup>。換言すれば、リン酸が籾へ移行することによって粒の充実がはかれるので、吸収リン酸の量的関係を考慮する必要があるが、本試験においては、各作無リン酸区が玄米千粒重に影響を及ぼすことが少なく、これまで述べてきたようなリン酸不足の状態にあっても、以上のようなリン酸の働きによって、収量をカバーしていると考えられた。

#### 4. 要 約

花こう岩質沖積砂壤土の水田において、40年近く無リン酸栽培を継続しても、水稻の収量が余り低下しない。このことについて、土壌中の Bray No.2 可給態リン酸含量と水稻の生育収量、養分吸収ならびにそれに伴う体内成分の変化について1967年より3か年にわたって調査し検討した。得られた結果は次のようである。

1) 各作リン酸区に対する各作無リン酸区の最近10年

間の玄米収量指数は、窒素少量で90、窒素多量95、標準(窒素多量堆肥併用)98であった。

2) 稲作期間の土壌中の可給態リン酸含量は、各作リン酸区50~100mg  $P_2O_5$ /100g、裏作リン酸区20~50mg、各作無リン酸区2~8mgと、リン酸施肥法の来歴によって明瞭に分かれた。また、それら可給態リン酸含量の増減は、土壌の2価鉄の消長に関係し、すなわち、土壌還元が発達で増加の傾向を示した。

3) 土壌の可給態リン酸含量と茎数増加の関係は、長期継続リン酸試験および二、三の試験から、分けつ期の可給態リン酸含量が20~30mg  $P_2O_5$ /100g以上存在すれば、茎数増加に対するリン酸の制約はうけない。また、75mg以上では堆肥が入らない場合、茎数抑制の傾向が認められた。

一方、玄米収量に対しては、可給態リン酸が6mg以上存在すれば収量低下を起しがたいが、5mg以下で減収することが多い。なお、標準各作無リン酸区は5~8mgであった。

4) 水稻の生育に対するリン酸の影響は、草丈より茎数に強く現われ、各作無リン酸区の茎数増加は初期に緩やかで、最高分けつ期が後にずれ、有効茎歩合が高くなる。そのため、最終的に穂数は各作リン酸区に接近する。また、各作無リン酸区の収量は穂数減が大きく影響し、それは窒素少量で大きく、標準で小さく現われた。

5) 分けつ増加に対して、分けつ期茎葉のリン酸含有率が0.55%  $P_2O_5$ で、なおリン酸の施肥効果があり、0.8%程度が望ましい。また、収量増に対しては、分けつ期茎葉の含有率が0.30~0.45%  $P_2O_5$ 以下で、その施

肥効果が高い。

体内リン酸含有率の変化は葉鞘で最も大きく、各作リン酸区と各作無リン酸区の開きの大きい時期は分けつ盛期であり、以後、各作リン酸区では減少が著しく、登熟期においては両区の含有率に大差がない。また、穂揃期以前は、各作無リン酸区の葉位別リン酸含有率はいずれも低いが、穂揃期では、上位葉は各作リン酸区と差がなくなった。一方、リン酸吸収量においても各作無リン酸区は初期に少ないが、幼穂形成期以後増加し、穂揃期以降も増大した。

6) 体内リン酸含有率は、窒素および全炭水化物含有率に影響を及ぼし、各作リン酸区では蛋白代謝から炭水化物代謝への転換時期が早められるのに対して、各作無リン酸区では蛋白代謝が延び、炭水化物代謝の転換期が遅れ、そのため出穂期が遅延する。また、穂および各部位の乾物重と全炭水化物含量の変化から、穂への澱粉集積は、各作リン酸区では穂揃期までのいわゆる貯蔵型澱粉も比較的多く移行するのに対し、各作無リン酸区では、穂揃期以後のいわゆる合成型澱粉が多い傾向にあることが推量された。

### III 土壌の環境変化による可給態リン酸含量と水稻に対するリン酸の肥効

#### 1. まえがき

水稻は麦よりもリン酸の施肥効果が著しく小さいことについてはすでに述べたが、これは水稻が麦よりリン酸の要求量が低いこと<sup>20,21)</sup>、また、灌漑水から僅かではあるが供給されることもあるが、最も大きな違いは、湛水下におかれるということであろう。すなわち、湛水条件下では土壌は還元的になり、土壌 pH が6.7付近まで上昇することによるリン酸の溶出量の増大<sup>138)</sup>、リン酸第二鉄からリン酸第一鉄の変化による溶解度の増大<sup>4)</sup>、土壌中の硫化水素の発生によるリン酸の溶出、また、有機リンの一部は土壌の還元によって無機化する<sup>27)</sup>。このようなことから、湛水すなわち還元という条件では土壌のリン酸含量が低下しても、水稻はリン酸による収量低下が起りにくい。

しかしながら、水稻の作付期間を通じて、常時湛水栽培では培地は好適な環境とはいいがたく、生育期間の中干し、適度の間断灌漑などにより、根の健全化をはかるための土壌管理をすることが普通である。このような栽培条件では当然、土壌は酸化あるいは還元をくり返すことになり、常時湛水栽培における土壌中の可給態リン酸含量の変化と趣を異にするであろうし、乾田直播をとり入れた栽培条件では、リン酸の有効性も小さく、そのた

めリン酸の肥効が大きく現われることが予想される。しかし花こう岩質土壌は、可溶性アルミニウムや遊離酸化鉄含量が比較的少なく、リン酸吸収係数が低く、還元化が促進されやすいので、この土壌における長期中干し処理や乾田直播栽培の条件が、リン酸の肥効にどの程度の影響を及ぼすかをみようとした。

他方、堆肥施用によるリン酸の肥効について、標準各作無リン酸区では、土壌中のリン酸含量が低くても減収しにくいことはすでに述べたが、この堆肥併用は、堆肥中に含有される僅かのリン酸が添加されることによる影響や、有機物によるリン酸の固定抑制<sup>93,124)</sup>の効果も当然、リン酸の有効化に関係するであろうが、低リン酸含量の土壌における堆肥の連用が、土壌の可給態リン酸含量や水稻のリン酸吸収に及ぼす影響を調べ、生育時期別および年次別の効果について検討した。

#### 2. 中干し処理による土壌のリン酸可給化量と水稻生育

##### 1) 試験方法

##### (1) 試験材料

供試土壌は広島農試水田圃場で、凝灰岩を含む花こう岩沖積層土壌 CL に花こう岩風化土を重量比で、1:1 に混合した土壌を使用した。試験の規模は a/5000ポットを用い、生土を乾土当り 4 kg を充填した。供試土壌の理化学性は第 7 表に示した。

第 7 表 供試土壌の理化学性

土性	pH (H <sub>2</sub> O)	T-C (%)	T-N (%)	CEC (me)	リン酸吸収係数	窒素吸収係数	遊離 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mg/100 g)	遊離 T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100 g)
SL	5.6	0.72	0.07	6.2	280	109	705	23.4

##### (2) 試験区の構成

試験区の構成とその施肥設計、および処理の内容は第

第 8 表 試験区の構成と施肥設計

区	名	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 肥基 (mg/100 g)	N (g/ポット)			K <sub>2</sub> O 3 回分施 (g/ポット)
			基肥	追肥	穂肥	
P <sub>50</sub>	湛水	50	0.3	0.1	0.2	0.6
	中干し	50	0.3	0.1	0.2	0.6
	中干しN増	50	0.5	0.1	0.2	0.8
P <sub>10</sub>	湛水	10	0.3	0.1	0.2	0.6
	中干し	10	0.3	0.1	0.2	0.6
	中干しN増	10	0.5	0.1	0.2	0.8
P <sub>0</sub>	湛水	0	0.3	0.1	0.2	0.6
	中干し	0	0.3	0.1	0.2	0.6
	中干しN増	0	0.5	0.1	0.2	0.8

8表に記載した。弱い長期中干し（以後中干しという）処理は、土壌水分の制限が植物の水分吸収まで抑制しないこと、および流亡による窒素を損失させないことを考慮して、土壌が酸化状態を保つ pF1.5 を目標とした多水分含量とし、また、中干し開始時にポットの栓を抜き、浸透水はビニール袋に採水し、それを中干し期間の灌水用に補充した。なお、この試験はガラス室の開放状態で行ったので、盛夏の日中最高気温は外気より2°C前後高温に経過した。その他の時間は外気温と大差がなかった。

(3) 一般栽培管理

水稻品種、サトミノリ、移植6月18日、ポット当り1株3本植、収穫10月12日、無リン酸区10月17日、3連制とした。なお生育途中に4回抜取り、また、土壌を数回採取し分析に供した。

(4) 分析法

土壌：pHはガラス電極法、可給態リン酸はBrayNo.2法、2価鉄はディピリディール法によった。作物：作物体は80°Cの通風乾燥器で乾燥したものを乾物重として測定し、窒素はケルダール法、リン酸はバナドモリブデン酸法、全炭水化物は0.7N塩酸で加水分解後、ソモギー法により全還元糖として定量した。

2) 試験結果と考察

普通施肥による水稻生育は、P<sub>0</sub>区を除いて、全般に初期生育が旺盛であり、無効分げつ期頃や登熟期には養分吸収が盛んなため、葉色が早く落ち、施肥窒素の持続期間は一般圃場の水稻より短いようであった。これについては、ガラス室が開放されていたが、日中の温度が若干高かったことと、本土壌の特性である塩基置換容量が小さいことのために、水稻は容易に養分吸収が行われたためと考えられた。

(1) 土壌中の可給態リン酸と2価鉄および中干し期間の土壌水分含量

中干し期間の土壌水分の変化は、蒸発量より蒸散量が著しく多く、生育の良好な区は、不良な区よりも水分の減少が早く、また、生育が進むにしたがい水分が多く消失した。そのため、処理区ごと、あるいは時期により灌水量を変え、目標水分を pF 1.5 になるように調節したが、実測 pF は第9表に示したように、かなりの変動がみられた。なお、この中干し期間に葉身の萎凋は全くなく、肉眼的にも畑の多水分状態であった。

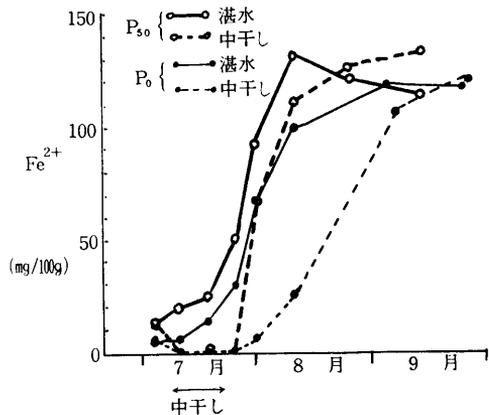
処理による土壌の2価鉄含量の変化は第14図に、またBray No.2 可給態リン酸含量は第15図に示した。第14図の2価鉄含量から、中干し処理によって、その期間は2価鉄はほとんど存在せず、土壌は酸化的に経過した。

その後、再灌水によって急激に増加し、減数分裂期頃までは灌水區より少ないが、8月下旬には灌水區と中干し區の間に大差ないまでに還元的になった。土壌の還元化はリン酸施用量の多いほど進んだ。それはリン酸施用に

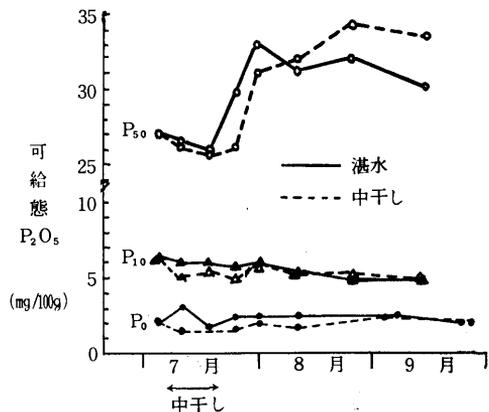
第9表 中干し期間の pF と灌水回数

区名	pF	灌水回数/日(晴天)			
		8日	13日	17日	22日
		12日	16日	21日	24日
P <sub>10</sub> N増区, P <sub>50</sub> N増区	2.6~1.4	1	2	3	4
P <sub>10</sub> 区, P <sub>50</sub> 区	2.2~0.8	1	2	3	4
P <sub>0</sub> 区, P <sub>0</sub> N増区	2.0~1.0	1	2	3	4

注) pF 値は、中干し期間土壌を4回採取し、含水率を測定し pF に換算した。灌水量は生育の良、不良によって1回の量を加減した。また天候によっても灌水回数および量を調節した。



第14図 中干しによる土壌2価鉄の消長



第15図 中干しによる土壌のBray No.2 可給態リン酸含量の消長

よって藻類の発生を助長し、それが土壌有機物源となること<sup>95)</sup>、および水稻根が低リン酸含量の土壌より発育がよく、根の呼吸による影響<sup>36,126)</sup>、あるいは旧根が土壌有機物の補給源になる量が多いことなどの理由が考えられる。

このように、中干し処理やリン酸施用量によって、土壌の酸化還元の様相が異なるが、それによる Bray No. 2 可給態リン酸含量の変化は第15図に示したように、P<sub>50</sub>区では26~34mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g、P<sub>10</sub>区では4.9~6.4mgであり、また、P<sub>0</sub>区の場合は生育の全期間を通じて、1.4~3.1mgで推移した。中干し処理で可給態リン酸含量は低下したが、その程度は小さく、なかでもP<sub>50</sub>区は減少量が少ない。これはリン酸吸収係数が小さく、遊離酸化鉄含量の少ない本土壌の特性からであろう。再湛水後の可給態リン酸含量は、P<sub>50</sub>区では土壌還元の前ととも増加し、8月上旬までは湛水区より低いが、それ以降は還元の前と平行して増加した。他方、土壌リン酸含量の低いP<sub>0</sub>区およびP<sub>10</sub>区においては、土壌の還元化と可給態リン酸含量とは必ずしも平行しなかった。これら両区の中干し後の可給態リン酸含量は、湛水区より若干劣り、期間中の増減も小さい。

中干しによる土壌の可給態リン酸含量の減少は、酸化された土壌のため、主としてリン酸第二鉄の形で存在すること<sup>4)</sup>、および第10表に示したように、土壌pHの低下がリン酸の溶解度を小さくした<sup>102)</sup>ことによると考えられる。とくにP<sub>0</sub>区においては、水稻はリン酸欠乏で生育が劣り、土壌中に窒素が残存し、畑化によって硝酸化成が促進されたことから、原土よりpHが低下したものと考えられた。

(2) 水稻の生育、収量

ここでの中干し処理によるその期間の水稻生育は、土壌が酸化条件のもとで経過したとして考察を加える。

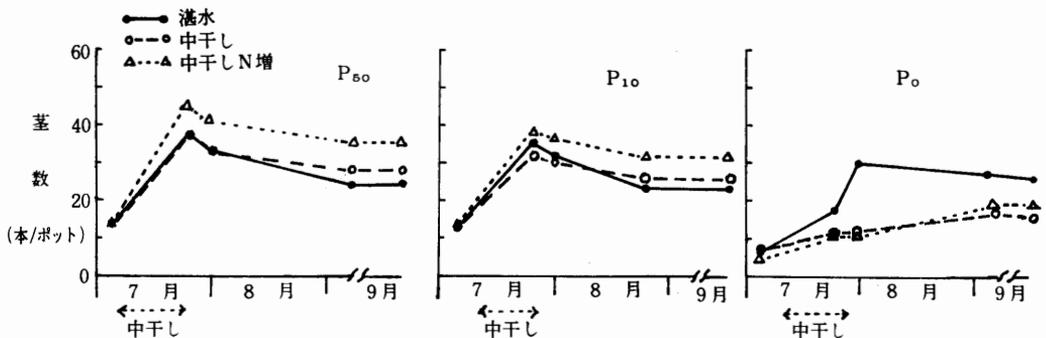
水稻のリン酸欠乏症状は、P<sub>0</sub>区に現われ、P<sub>10</sub>区、P<sub>50</sub>

第10表 作付期間の土壌pH

区名	7月24日 (中干し終了)	8月10日	穂揃期	
P <sub>50</sub>	湛水	5.9	6.4	6.7
	中干し	5.0	6.4	6.6
	中干しN多	4.9	6.5	6.6
P <sub>10</sub>	湛水	6.0	6.5	6.6
	中干し	5.2	6.3	6.6
	中干しN多	4.8	6.4	6.6
P <sub>0</sub>	湛水	5.8	6.2	6.6
	中干し	4.8	5.5	6.6
	中干しN多	4.8	5.7	6.6

区では全くその徴候は認められなかった。処理間の差は草丈より茎数において大きく現われたので、その時期別推移を第16図に示した。まず、中干し期間の中干しの影響についてみると、P<sub>50</sub>区では茎数の抑制はみられず、湛水処理と同等であった。P<sub>10</sub>区では僅かに茎数減となり、窒素増によってもP<sub>50</sub>区のように増加しない。一方、P<sub>0</sub>区では中干しによって著しく悪くなり、窒素増でさらに茎数は抑制された。これらのことは、土壌の酸化還元による直接的影響は非常に小さい、主として可給態リン酸含量が支配的であると判断された。つぎに、中干し後の再湛水による生育は、P<sub>50</sub>区、P<sub>10</sub>区では有効茎歩合が高くなり、穂数においては湛水処理より勝った。しかし、P<sub>0</sub>区では、中干し処理は湛水処理より劣り、7月24日中干し終了後の乾物重をみても、茎数と同様の傾向がみられた(第11表)。

これらの生育を第15図に示した土壌の Bray No. 2 可給態リン酸含量との関係でみると、P<sub>50</sub>区、すなわち土壌可給態リン酸が25mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g以上存在する場合は、中干しによっても、リン酸が生育の制限因子にならないが、P<sub>10</sub>区では約6mgが中干しによって5mg程度ま



第16図 中干しによる茎数の推移

第11表 水稻の時期別乾物重および収量調査

(ポット当り)

区名	項目	7月24日			穂 揃 期		成 熟 期		穂 数	1 穂粒数	登熟歩合 (%)	籾 重 百分比
		茎葉重 (g)	茎重 (g)	葉重 (g)	穂重 (g)	茎葉重 (g)	籾重 (g)					
P <sub>50</sub>	湛 水	19.1	54.5	6.2	37.7	37.1	24.3	79.2	79.8	100		
	中 干 し	19.6	54.2	6.2	37.9	38.0	27.0	66.0	89.8	102		
	中干しN増	24.2	69.7	8.1	48.5	47.6	35.0	67.2	87.4	128		
P <sub>10</sub>	湛 水	18.8	51.9	6.3	39.5	38.2	24.0	82.3	88.2	103(100)		
	中 干 し	17.0	50.8	6.3	38.2	38.3	26.0	71.5	89.6	103(100)		
	中干しN増	21.9	53.5	6.9	47.8	47.1	32.0	72.0	85.5	127(123)		
P <sub>0</sub>	湛 水	6.7	48.1	5.2	34.6	28.5	25.7	60.9	92.9	77(100)		
	中 干 し	4.4	32.5	4.4	22.4	22.4	16.0	87.1	75.8	60( 79)		
	中干しN増	4.8	41.4	5.4	29.0	26.1	19.7	87.1	47.9	70( 92)		

注) 中干し期間 7月4日～7月24日

で低下したため、茎数増に影響がみられ、また、P<sub>0</sub>区の可給態リン酸は2 ㍉前後で、この場合には生育が著しく劣り、激しいリン酸欠乏症が観察された。

なお、生育後半の中干し終了後の効果は、土壌の可給態リン酸含量の多少の増加と、中干し処理による根の健全化<sup>126)</sup>の二次的効果も加わることが考えられた。

中干しが籾収量に及ぼす効果は第11表に示したように、P<sub>50</sub>区では中干しが湛水より勝り、P<sub>10</sub>区ではそれらは同一収量となり、P<sub>0</sub>区においては中干しによって20%の減収となった。P<sub>50</sub>区の増収要因は、穂数と登熟歩合の向上にある。なお、P<sub>50</sub>区中干し窒素増の場合には湛水区の28%増となった。これについては、湛水区では初期生育が旺盛であったが、生育後半には窒素の不足をきたしたことから、窒素増の効果が大きかったと解釈された。

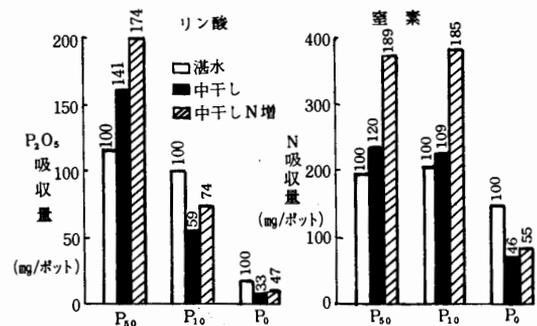
(3) 稲体のリン酸、窒素および全炭水化物含量

中干し処理が養分吸収および体内組成に及ぼす効果を、中干しによる直接的効果と、再湛水後の間接的効果に分けてみると、まず、直接的効果としての中干し終了直後の稲体の成分含有率を第12表に、また、その期間の吸収量を第17図に示した。リン酸含有率は葉身、葉鞘ともにリン酸施用量の少ないほど低下するが、施用量の多いP<sub>50</sub>区では、中干しにより含有率は高まり、中干し窒素増によってさらに高まる傾向がみられ、リン酸吸収量においても同様であった。

このように、本土壌ではリン酸を多肥した場合には、前記のように、中干しによっても土壌の可給態リン酸含量の低下が少ないこと、それに中干し期間は多水分で酸化的であったため、根が健全で、リン酸吸収を助長したものと考える。一方、P<sub>10</sub>区およびP<sub>0</sub>区の Bray No. 2

第12表 中干し終了後(7月24日)における水稻体の成分含有率 (%)

区名	項目	葉 身		葉 鞘		全炭水化物	
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
P <sub>50</sub>	湛 水	2.10	0.67	28.9	0.76	0.71	45.9
	中 干 し	2.41	0.84	28.9	0.87	0.96	48.6
	中干しN増	2.88	0.86	27.4	0.99	0.97	44.6
P <sub>10</sub>	湛 水	2.24	0.62	28.2	0.76	0.55	45.7
	中 干 し	2.58	0.42	28.3	0.90	0.38	49.6
	中干しN増	3.15	0.43	26.6	1.09	0.35	44.7
P <sub>0</sub>	湛 水	3.32	0.27	23.8	1.67	0.25	35.1
	中 干 し	2.92	0.19	23.3	1.41	0.17	41.3
	中干しN増	3.13	0.22	22.6	1.48	0.18	39.4

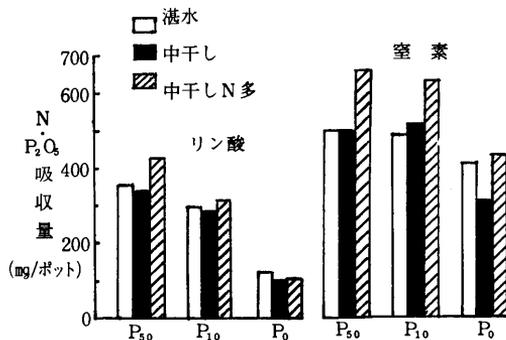


第17図 中干し期間(7月4日～7月24日)の水稻のリン酸および窒素吸収量 (グラフ上の数字は湛水区に対する吸収比)

第13表 籾の澱粉生成に及ぼすリン酸施肥と中干しの関係

区名	項目	茎葉(穂揃期)		籾(成熟期)		籾の全炭水化物の内容	
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	N(%)	全炭水化物(グルコースとして)(%)	(g/ポット)	貯蔵型(%)	合成型(%)
P <sub>50</sub>	湛水	0.55	0.77	79.6	29.5	43	57
	中干し	0.56	0.78	79.4	30.2	40	60
	中干しN多	0.54	0.79	80.3	38.1	43	57
P <sub>10</sub>	湛水	0.49	0.76	79.6	30.4	36	64
	中干し	0.44	0.82	80.5	30.8	34	66
	中干しN多	0.38	0.88	79.2	37.3	33	67
P <sub>0</sub>	湛水	0.18	0.78	77.9	22.2	50	50
	中干し	0.20	0.80	75.9	17.0	47	53
	中干しN多	0.17	0.95	76.5	20.0	42	58

注) 貯蔵型：穂揃期の茎葉中の全炭水化物が籾へ移動したもの  
合成型：穂揃期以後の澱粉合成で籾へ蓄積されたもの



第18図 成熟期におけるリン酸および窒素吸収量

可給態リン酸が5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g 以下では、中干しによって稲体のリン酸含有率は低下し、窒素増による効果も認められず、P<sub>0</sub>区においては50%以下のリン酸吸収量の低下となった。

窒素についてみると、その含有率および吸収量は、葉身、葉鞘とも中干しによって増大し、また全炭水化物含量も増加の傾向を示した。このことは坂井ら<sup>113)</sup>が認めた結果と同様であったが、P<sub>0</sub>区、すなわち、茎葉のリン酸含有率が0.2% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>以下の場合には、中干しによって窒素含有率は低下し、窒素増によっても窒素含有率の増加が認められなかった。

つぎに、中干しの間接的効果として、再湛水後の水稻の養分含量の結果を第13表に示した。穂揃期における茎葉のリン酸含有率は、リン酸施肥量の多いほど高いが、中干しによる影響はP<sub>50</sub>区では変わらず、P<sub>10</sub>区で僅かに低下した。また、リン酸の吸収量は第18図のように、P<sub>0</sub>区では中干しにより低下するが、P<sub>10</sub>区、P<sub>50</sub>区では吸収抑制はほとんどみられない。また窒素増によって

リン酸の吸収量は増加し、とくにP<sub>50</sub>区において明らかであった。一方、窒素含有率は土壌リン酸の少ないP<sub>0</sub>区、P<sub>10</sub>区において含有率の高い傾向を示し、また、その吸収量はおおむねリン酸吸収量と同じ傾向にあった。

これら体内リン酸および窒素含有率の澱粉生成に及ぼす関係では、P<sub>0</sub>区においてはリン酸が制限因子となり、籾の澱粉蓄積が劣るが、P<sub>10</sub>区ではその影響が少ない。すなわち、穂揃期茎葉のリン酸含有率が0.4% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>以上であれば、籾の全炭水化物含量は、それ以上のリン酸が存在する場合と大差がない。また、前試験にならって籾の澱粉生成を貯蔵型と合成型に分けると、P<sub>10</sub>区では合成型に由来するものが多い。すなわち、出穂後に同化される澱粉に依存し、中干し処理でそれがより強く現われているが、これには穂揃期における窒素含有率の高いこと<sup>73)</sup>が大きく関与しているものと考えられる。

以上、花こう岩質土壌における水稻栽培の中干し処理がリン酸の肥効に及ぼす効果について検討した。志賀<sup>118)</sup>は湛水状態から吸収されたリン酸は、畑状態のものより多く、その増加の傾向は、泥炭質の水田において高く、火山性のものが低いことを示している。しかし花こう岩質土壌はリン酸吸収係数が小さく、鉄含量の低い土壌のため、BrayNo. 2 可給態リン酸含量は、P<sub>0</sub>区のように2~3 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g と極端なリン酸不足土壌においては、中干しにより、水稻のリン酸吸収が著しく抑制され、収量にも大きく関係した。一方、可給態リン酸が5~6 mgのP<sub>10</sub>区では中干し処理は若干のリン酸吸収を抑制し、茎数減となったが、水稻は高窒素、高炭水化物の体組成となり、再湛水後は、常時湛水処理より下葉の枯れ上がりも少なく、健全に生育し、湛水処理と同収量が得られた。なお、この中干し処理低リン酸土壌の籾収

量は、土壌リン酸の高いP50区の収量に匹敵した。P50区は可給態リン酸が30mg前後で、これは前試験の裏作リン酸区の含量に相当し、生育収量に対し充分の含量であり、P50区中干し処理はリン酸吸収を高め、P10区の中干し処理と同様に枯れ上がりが少なく、リン酸による生育抑制は全くなく、収量は湛水処理を上回った。

このように本土壌は、低リン酸含量の土壌においても、中干しが水稻生育に与えるリン酸の影響は少ないことがみられ、中干し、間断灌漑などの水管理にともなう土壌の酸化還元の変化に対して、リン酸が生育の制限因子となることは少ないと考えられた。

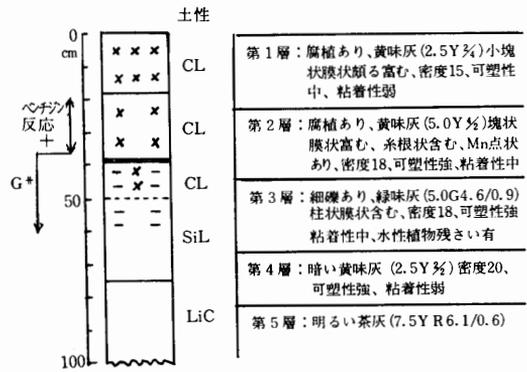
3. 乾田直播栽培におけるリン酸の肥効

1) 試験方法

(1) 試験の条件

供試水田土壌は凝灰岩を含む花こう岩質湖成沖積土、グライ土壌、1968年に試験圃場として、幅4m、長さ35.6mの短冊型4枠(6a)を一試験田とし、各々に深さ60cmの箇所に暗渠を設け整備した。1969年から、4枠のうち2枠をリン酸施肥系列とし、残り2枠を無リン酸

系列として継続している。本試験は1972年に実施したもので、リン酸試験田として4年目である。その土壌断面は第19図に、また土壌の理化学性は第14表のとおりである。



第19図 供試土壌の断面  
土壌統：三隅下統(グライ土壌粘土型)  
母材、堆積様式：凝灰岩を含む花こう岩、湖成沖積

第14表 供試土壌の理化学性

層位	深さ (cm)	土性	pH (H <sub>2</sub> O)	T-C (%)	T-N (%)	T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	CEC (me)	吸収係数		
								N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	遊離Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mg/100g)
1	0 ~ 18	CL	6.1	1.4	0.16	70.6 (38.1)	11.7	205	575	962
2	18 ~ 38	CL	5.7	0.7	0.11	23.0	7.4	—	—	—
3	38 ~ 50	CL	5.4	0.6	0.14	50.0	9.1	—	—	—

( ) 内は無リン酸区土壌

(2) 試験区の規模と構成

試験の規模は短冊型を枠板で仕切り、一区12.5m<sup>2</sup>の2連制とした。

試験区はリン酸区(+P区)と無リン酸区(-P区)について、乾田直播3葉期湛水区(3L直播区)、乾田直播7葉期湛水区(7L直播区)と、対照として湛水しろかきした移植区を設けた。また、各処理区に出穂10日前の穂肥Ⅱ施用の窒素増区を併置した。+P区のリン酸施用は、基肥1.5kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/aを重過リン酸石灰で施用し、-P区はリン酸無施用とした。窒素施肥法は第15表のごとくである。

一般に乾田直播栽培は窒素の損失が移植栽培より多いので、増肥し、成熟期の窒素吸収量がほぼ同じになるように設計した。

第15表 施肥設計(窒素) (a当りkg)

区名	基肥		追肥			合計
	6月22日	6月4日	6月24日	7月3日	8月1日(穂肥)	
移植	0.5	0	0	0.2	0.3	1.0
3L直播	0	0.2	0.6	0.2	0.3	1.3
7L直播	0	0.2	0.6	0.2	0.3	1.3

注) 各区のN増区は穂肥Ⅱ(8月15日)として0.3kg施用した。K<sub>2</sub>OはNと同一量、同一配分とした。N源としては6月24日までは硫酸系、それ以後は塩素系肥料を用いた。

(3) 一般栽培の概要

水稻品種はサトミノリを用いた。直播の播種日は5月

17日、30×15cm (22.2株/m<sup>2</sup>) で5粒点播とし、3L直播区は6月8日(2.7葉令)に湛水、7L直播区は6月21日(6.5葉令)に湛水を開始した。移植区は6月22日に施肥、しろかきし、6月23日(44日苗)に30×15cm、1株3本植とした。なお、処理区間の水の浸入を防ぐため、木板とビニール波板で二重に遮断した。また、入水時期の早い3L直播区は、区の両側を番外区として、他の試験区への水の浸入を防いだ。一般の水管理としては、7月25日から5日間中干しを行い、9月18日に落水し、10月17日刈取り、無リン酸区は3日遅れて収穫した。その他、病害虫防除、除草剤の使用は当場の使用基準によった。

(4) 分析法

土壌：可給態リン酸は Bray No.2法、pHはガラス電極法、2価鉄は0.2% AlCl<sub>3</sub> 浸出の α-α' ディピリドール法、植物体：80°C乾燥を乾物とし、粉砕後窒素はケルダール法、リン酸はバナドモリブデン酸法によった。

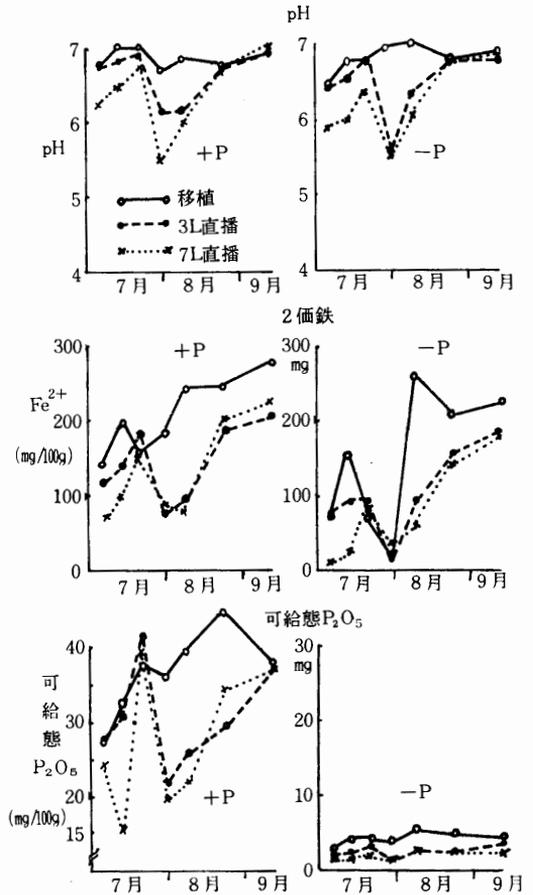
2) 試験結果と考察

本試験の稲作期間は、全般に平年より低温に経過した年で、梅雨は陽性型で日照時間が多く、加えて8月以降は温度較差が大きかった。このため移植栽培では、例年より有効茎歩合の高い草型となった。

乾田直播では、発芽苗立ちをよくするため、播種後に灌水した。そのため均一に発芽し、初期生育のむらはなかった。一方、移植区の苗床として、リン酸区のものにはリン酸区の土壌に、無リン酸区のものには無リン酸区の土壌に、それぞれ畑苗代で栽培した。そのため移植当初から、生育にリン酸による反応が明らかに現われた。また、生育期間を通じて、無リン酸系列では雑草や藻類の繁殖が非常に少なかった。

(1) 土壌のpH、2価鉄および可給態リン酸含量の変化

作付土壌の湛水後のpH、2価鉄および Bray No.2可給態リン酸含量の時期別消長は、第20図のとおりである。これら3項目は相互に関連しており、この図においてもその傾向がうかがわれる。すなわち、移植区ではpHの変動が小さいが、直播区では大きく、とくに7L直播区は、乾田期間および7月下旬において低い。これを2価鉄との関係でみると、直播区の中でも7L直播区は、7月のpHの低いときは2価鉄含量も低く、土壌は酸化的であったといえる。これは7L直播区では乾田期間が長く、また気温も高く、畑状態で可溶性有機物の分解が進み、湛水後も急激には還元になりにくい<sup>126)</sup>ことによるものであろう。また、7月下旬の土壌の変化は、移植区ではしろかき作業で土壌が泥状化しているのに対



第20図 作付期間における土壌のpHと2価鉄および Bray No.2可給態リン酸含量

し、無しろかき、すなわち直播区ではいわゆる粒状構造<sup>75)</sup>であって、中干しによる土壌の酸化は直播区に強くあらわれたものとする。8月以降は2価鉄含量も増加し、pHも同様に上昇傾向をたどるが、直播区の2価鉄増加の傾向は遅く、生育の後半まで移植区より酸化的に経過した。このようなことについては井手ら<sup>47)</sup>も認めている。リン酸施肥との関係では、湛水による2価鉄含量の増加は-P区で少なく、酸化的であることは前試験の結果と同様であり、とくに圃場条件においては浮草や藻類が+P区で多く、これらのものが有機物源となつて<sup>95)</sup>、より還元的となり、-P区ではそれが起りにくいことも併記しておきたい。

このような土壌の変化にともなう Bray No.2可給態リン酸の推移についてみると、+P区では2価鉄の変化と同様の傾向にある。すなわち、移植区の可給態リン酸含量は33~45mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100gで、生育が進むにしたがい値は高くなるが、これに対し、直播区は移植区より低く、

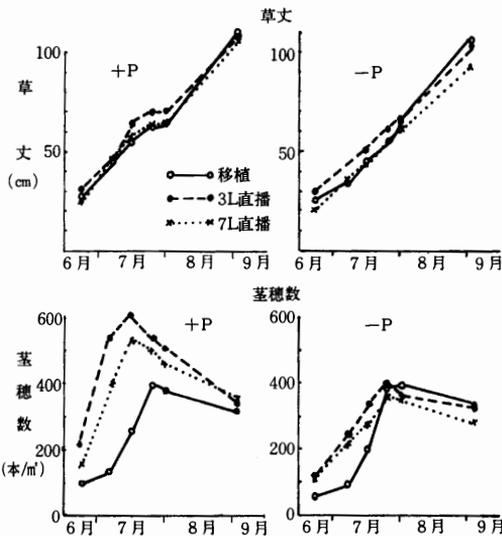
20~40吨であり、土壌が酸化的な時期の可給態リン酸含量は、還元時の約50%減となった。

一方、-P区においては、移植区は直播区より可給態リン酸含量は高いが、せいぜい5吨前後である。それに対し直播区では3吨前後になり、7L直播区が3L直播区より僅かに劣った。また、2価鉄との関係は、これまでと同様に高い相関はみられなかった。このような3吨前後のリン酸含量では、普通移植栽培の結果から収量減になることが予想される。

なお、出穂10日前の窒素増区が2価鉄含量や可給態リン酸に及ぼす関係はみられなかった。

(2) 水稻の生育収量

リン酸施肥の有無による乾田直播栽培における生育は、乾田期間の幼植物で当然認められ、草丈、茎数および乾物重に差がみられた。しかしそれよりも、湛水1か月を経過した後の方が処理間差が明瞭に現われた。この場合、湛水による稲の黄化現象(114,162)は、湛水後の窒素追肥(103,130)によって認められなかった。第21図は湛水後の生育経過を示したもので、草丈は+P区が-P区より高く、それは移植区より直播区に強くあらわれた。茎数の増加については、草丈よりさらに処理の差が明らかであり、土壌リン酸の多少は移植区より直播区にその影響が大きくあらわれ、中でも+P3L直播では、最高茎数が600本/m<sup>2</sup>に達したが、-P区のそれは400本程度にとどまった。このように+P3L直播区では初期生育



第21図 移植と乾田直播における草丈および茎穂数の推移

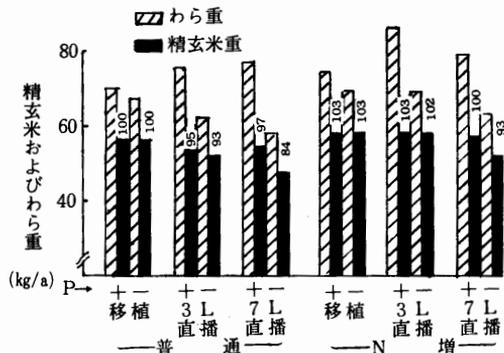
は旺盛であるが、最高分げつ期が移植の+P区や移植あるいは直播の-P区のものより早くなり、幼穂形成期までの中休みの期間が長く、無効分げつ茎が多くなり、最終穂数においては移植区に近い値まで減少した。+P7L直播区では、+P3L直播区と+P移植区の間での生育相をとった。

一方、-P区では茎数の増加は少ないが、直播区は移植区より生育初期の増加が多く、この地帯の穂数決定期である7月中旬においては+P移植区より多くなった。一般に、乾田直播栽培は湛水後の初期分げつが旺盛で、無効分げつが増加する(5,46,47)。本試験の+P区ではこれと同様な傾向にあるが、-P区では土壌リン酸の低い関係から、いわゆる直播型の生育相を示さず、+P移植区と類似の、無効分げつがあまり多くない生育型となり、このことが収量に好影響を与えたものと考えられる。

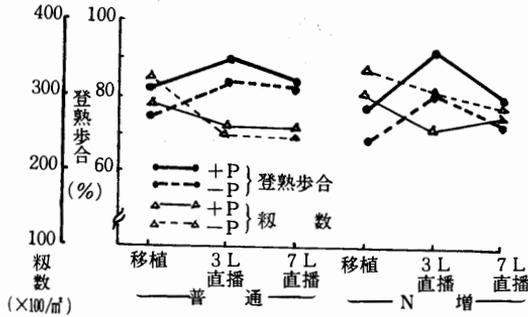
なお、出穂10日前の窒素増区の生育は、出穂後の草丈稈長が長くなり、有効茎数が多く、穂数において普通肥区のものより勝った。

出穂期は処理により早晚がみられ、その時期は8月23日から31日の間で、-P区は+P区より3~6日遅れ、その遅れは移植区で小さく、直播区で大きかった。なお窒素増区は若干早まる傾向にあった。

つぎに成熟期のわら重、精玄米重の収量結果は第22図に、また、その収量構成要素を第23図に示した。収量について、出穂10日前施肥の窒素増区と、10日前無施肥を普通区とした各栽培における+P区と-P区の比較をみると、わら重は移植より直播においてその差が認められ、+P区が高く、中でも生育のよい3L直播窒素増区において、リン酸施肥による差が強くあらわれた。一方、玄米収量は普通施肥の場合、リン酸施肥の有無によらず移植区が直播区より高い。各栽培におけるリン酸の肥効は、移植区および3L直播区では大差がないが、



第22図 移植と乾田直播におけるリン酸施肥の有無と収量の関係



第23図 移植と乾田直播におけるリン酸施肥の有無と登熟歩合および粒数の関係

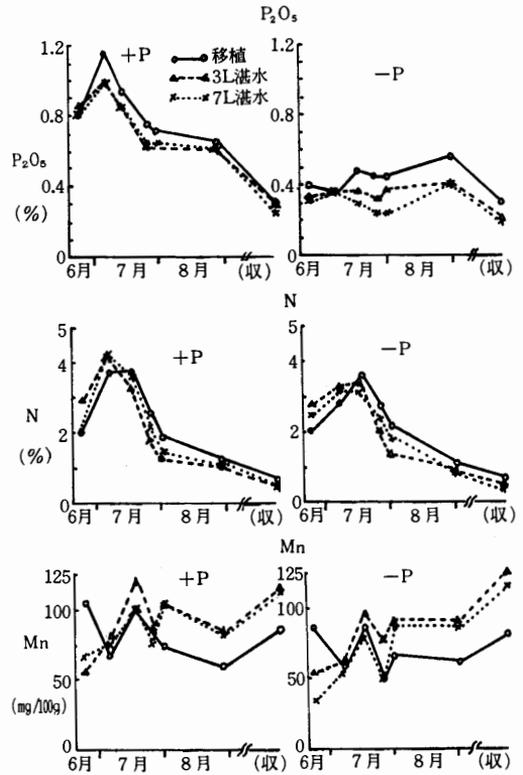
7L直播区では- P区が+ P区より約13%の減収となった。他方、窒素増によって全体の収量は伸び、処理間の差も少なくなったが、なお、- P 7L直播区は低収であり、リン酸の肥効がみられた。

第23図に示した収量構成要素から、- P区はm<sup>2</sup>当りの粒数が多く、登熟歩合が劣る。この傾向は、とくに- P窒素増3L直播区にみられるが、- P直播区は+ P直播区より有効歩合の高いことから、穂数においては両者の差がなくなり、一方、一穂粒数は- P区が勝ったことから収量差が小さくなり、リン酸施肥効果が現われにくい結果となった。

(3) 水稻の養分吸収

乾田直播栽培では湛水後も比較的酸化状態の培地で生育するが、そのような条件における体内リン酸濃度の推移、またリン酸吸収が窒素含有率あるいはマンガン含量に及ぼす影響について調べた結果は第24図のとおりである。まず、体内のリン酸含有率についてみると、相対的に直播区は移植区より低く、直播区の中でも遅く湛水した7L直播区が低い。このことは+ P区より- P区でより明らかであり、分けつ期におけるリン酸含有率は、+ P区で0.7~1.0% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>に対し、- P区は0.26~0.45%で、なかでも- P 7L直播区は0.3%以下であった。その後、+ P区では成熟期まで含有率は低下するが、とくに出穂後は茎葉から穂への移動によって急激に下がり、成熟期には0.3%前後になった。一方、- P区は穂揃期までやや増加傾向をたどるが、成熟期には移植区0.3%直播区で0.2%まで低下した。

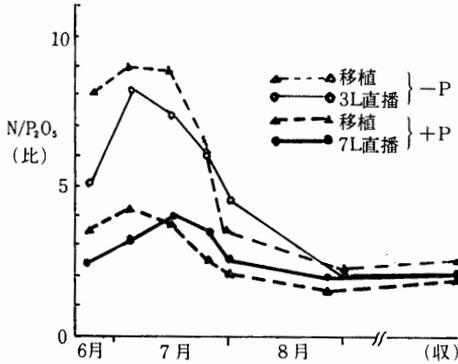
出穂10日前の窒素増の効果は、+ P区では穂揃期以後に茎葉のリン酸含有率の増加がみられたが、- P区では減少し、とくに直播区で低下した。一方、籾のリン酸含有率は、- P窒素増7L直播区では低く、その他の区ではリン酸施肥の有無および直播、移植の別なく籾の含有率は0.63%前後となり、茎葉には処理の差が生じて、



第24図 茎葉のリン酸、窒素およびマンガン含有率の時期別推移

籾のリン酸含有率はほぼ一定値を示した。体内の窒素含有率は土壌リン酸含量の多少や、移植、直播などの栽培法の影響を受け、第24図にみられるような推移を示した。すなわち、これまでの結果と同様に、+ P区では分けつ初期に高いが、その後急激に低下する。一方、- P区では分けつ期は+ P区より低い、幼穂形成期頃はむしろ高い。この時期の高窒素含有率は一穂粒数を高めるので<sup>73)</sup>、粒数がとくに直播区において高まったことは、+ P区との収量差を少なくする大きな要因であったと考える。

このようにリン酸の多少によって窒素含有率が異なるが、本谷<sup>42)</sup>は窒素、リン酸の体内濃度とともにN/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>比が重要であるとし、分けつ期の体内リン酸濃度がやや低くN/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>が高い場合は伸長型となり、分けつ期の葉身リン酸含有率が0.45% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>以上でN/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>比が4~5以上では蛋白代謝が活発である。しかしリン酸は移行性がよいので、リン酸吸収の少ない条件下では窒素吸収が促進されて蛋白代謝を旺盛にする。一方、リン酸吸収の旺盛な場合は、幼穂形成期以後は窒素吸収が



第25図 茎葉のN/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>比の時期別推移

不利となり、糖代謝が促進されると述べている。第25図は直播と移植について、その含有率をN/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>比で示したが、7月中旬のいわゆる分げつ最盛期には、+P区の茎葉のN/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>比は4前後で、リン酸濃度が高く、蛋白代謝が旺盛で、ことに直播区は移植区より早い時期から盛んである。しかし、7月下旬にはその比が低下し糖代謝に向けられたといえよう。一方、-P区では7月上・中旬にN/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>比が高く、それは直播によく現われ、その比は8以上となった。この時期は+P区より茎

数は劣り、本谷ら<sup>43)</sup>のいう伸長型であろうが、7月下旬のN/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>比は+P区より高く、茎数は増加の方向で、蛋白代謝が盛んであったといえよう。-P区において、直播区は移植区より7月上旬のN/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は高いが、移植区より分げつが旺盛であったことについては、直播栽培の分げつに対する生理生態的特性<sup>47,48,130)</sup>、すなわち、移植のような植え傷みがないことから、湛水後すぐに発根、分げつを起すこと、また酸化的に経過するので根腐れが急に生じないことなどによるものと考えられる。

つぎに、リン酸および窒素の養分吸収量からみると、第16表に示したように、-P区のリン酸吸収量は、分げつ期において+P区より著しく劣るが、早期湛水の3L直播区では、前述のごとく茎数の増加や初期乾物重の増加が大きいため、移植区より多く吸収した。しかし生育後半の吸収は直播区は移植区より劣る。これについては-P直播区の土壌が酸化的に経過するため、リン酸の可給化に影響されたことかも知れない。他方、窒素吸収量は、-P7L直播区で最高分げつ期において相対的に高くなったが、その他の区はおおむねリン酸吸収と類似の傾向を示した。なお、出穂10日前の窒素増区は、窒素吸収量を増すと同時に、リン酸吸収量も増大した。

第16表 水稻のリン酸および窒素の時期別吸収量

(kg/a)

区名	項目	7月6日(分げつ期)		7月24日(最高分げつ期)		10月16日(収かく期)	
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N
+P	移植	0.031	0.10	0.122	0.42	0.69(0.65)	1.15(1.40)
	3L直播	0.087	0.37	0.182	0.49	0.57(0.66)	1.07(1.36)
	7L直播	0.049	0.22	0.134	0.45	0.55(0.60)	1.05(1.25)
-P	移植	0.004	0.04	0.052	0.31	0.59(0.61)	1.08(1.26)
	3L直播	0.016	0.14	0.057	0.35	0.47(0.48)	0.84(1.11)
	7L直播	0.008	0.08	0.034	0.31	0.42(0.43)	0.70(0.95)

注) ( )内はN増区の吸収量

土壌リン酸含量の多少に伴う栽培法の違いによる稲体のマンガン含有率の時期別推移は、第24図に示したごとく、生育の前半は+P区が-P区より高いが、後半には逆に-P区が高く、また生育の後半には、リン酸の多少によらず、直播区のマンガン含有率は移植区より高くなった。生育の後半に直播区が高いのは、直播栽培による根の健全さがマンガン吸収を促進した<sup>127)</sup>ものと考えられる。また、生育前半の+P区が-P区よりマンガン含有率が高いのは、+P区がより還元が進んだことによる易還元性マンガン含量の増加と、生理的にマンガンが蛋白合成に関与する酵素の構成要素をなしており、これ

が蛋白合成の役割を果している<sup>109)</sup>といわれているが、+P区は初期の蛋白代謝が盛んであることからマンガン吸収が高かったものと思われる。

(4) 考察

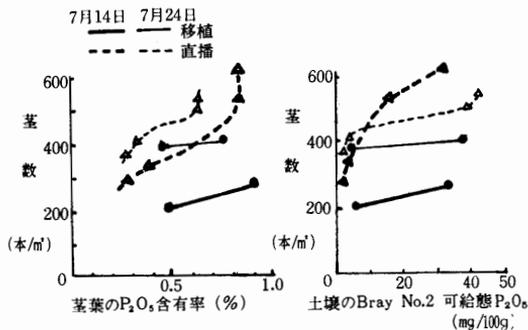
以上、乾田直播栽培における土壌の可給態リン酸含量と生育、収量について、結果ならびに若干の説明をしたが、さらに、二、三の考察を加える。

移植栽培と乾田直播栽培のリン酸の肥効について、立谷ら<sup>129)</sup>は三要素試験から、直播栽培では無リン酸区の茎葉のリン酸吸収量は、移植栽培の無リン酸区よりむしろ高くなるとし、また、井手ら<sup>47)</sup>によると、三要素区

に対する無リン酸区の収量指数からみて、乾田直播栽培でもリン酸不足による減収は認められていない。これらはいずれも茎葉の分析値および収量から論じ、土壌中のリン酸含量については触れていない。

土壌リン酸および体内リン酸濃度と茎数の関係について、志賀ら<sup>121,122)</sup>は寒地水田において、移植栽培における水稲分げつ初期の茎葉のリン酸濃度は、0.9% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>までは含有率の増大とともに茎数は増加する。そしてこの濃度を維持する土壌のBray No.2可給態リン酸含量は、50~60mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100gであるとし、またこれ以上に可給態リン酸含量を増大させても水稻のリン酸含量は、0.9~1.0%で頭打ちになることをみている。本谷<sup>41)</sup>も分げつ期の茎数は、リン酸濃度とともに増加し、葉身のリン酸含有率は0.78~0.9% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>までであり、これ以上では増加しないとしている。

直播栽培は初期分げつが多く、生育が促進される<sup>2,5,47)</sup>ことは認められているが、ここで直播栽培における土壌のBray No.2可給態リン酸含量と茎数の関係および体内リン酸濃度と茎数の関係について移植栽培と比較した。その結果は第26図のようである。この図から明らかのように、7月14日の分げつ期および7月24日の最高分げつ期の両者とも、直播水稻は移植水稻に比べ、茎葉のリン酸含有率が同一の場合、あるいは土壌の可給態リン酸が同含量の場合でも、茎数は直播栽培の方が多い。換言すれば、直播栽培では、ある一定の茎数を確保するための茎葉のリン酸含有量や土壌の可給態リン酸含量は、移植栽培より低濃度であるといえる。なお、茎数に対する体内リン酸含有率の上限は、寒地と同様に0.9% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>付近にあることがみられた。



第26図 茎葉のリン酸含有率および土壌可給態リン酸含量と茎数の関係

このように直播栽培は、-P区においても茎数の増加が容易で、とくに湛水時期の早い3L直播区では、+P区のそれは無効茎が多いのに対し、有効茎歩合が高く、

Bray No.2可給態リン酸が3mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g前後と低含量でも、穂数は+P区のそれと同等になるため、収量は+P区に接近した。

また、乾田直播栽培は土壌中における窒素の損失が大きいので<sup>62,77,83)</sup>、リン酸の肥効が異なることが考えられた。そこで、窒素増区を設けた。この場合の-P区と+P区の収量は同じになり、リン酸の施肥効果が窒素増によってさらに認められなくなった。この場合、これまで普通移植栽培では、Bray No.2可給態リン酸が5mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g以下で減収することが多いとしていたが、乾田直播栽培で、3葉期頃の湛水法ではさらに低く、3週間前後とみられた。

一方、湛水時期を遅らせた7L直播区では、+P区の場合は移植栽培や3L直播区と遜色ない収量を示すが、-P区の場合は土壌の酸化状態が3L直播区より強く現われ、可給態リン酸含量も少なく、分げつ増加の時期も遅れたことから、穂数減が収量に影響し、低収になった。

これらのことから、乾田直播栽培における土壌リン酸の多少と、湛水切替え時期については、一般に寒地では初期生育の良否が収量を支配することが大きく、直播の早期湛水は初期の分げつを多くし、生育を促進するので、4葉期頃の湛水が適当であるとしている<sup>62,85,115,162)</sup>。一方、暖地では初期生育の促進はそれほど問題にならず、したがって湛水時期もかなりの幅がある<sup>48,62,77)</sup>。ただし、早期湛水は初期生育が旺盛なため、肥え切れするおそれがあるので、窒素の施肥法を考慮する必要があるとしている<sup>37,55)</sup>。このように湛水時期を寒地型と暖地型に区別してみることができると、本試験の-P区では、寒地型湛水法で早期に茎数の確保をはかることが望ましく、また+P区では、暖地型の方法が好ましい。

#### 4. 堆肥連用によるリン酸の肥効

##### 1) 試験方法

##### (1) 試験の条件

水田圃場とポットを用いて実施した。圃場では、II-2試験に記載した1930年からの長期継続リン酸試験のうち、窒素多量各作リン酸区(各リン区)、窒素多量裏作リン酸区(裏リン区)、窒素多量各作無リン酸区(無リン区)と標準各作リン酸区(堆肥併用各リン区)、標準裏作リン酸区(堆肥併用裏リン区)、標準各作無リン酸区(堆肥併用無リン区)の6処理区について検討した。以下カッコ内の区名を用いる。

ポットでは、同試験田の土壌を、1969年に各リン区と

無リン区から採土し、ポットに充填し、水稻を作付けしたものを、1972年から3年間本試験に使用した。供試土壌は前試験で記載した花こう質沖積砂壤土である。

(2) 試験区の規模と構成

圃場試験における施肥設計は第17表に記したとおりである。

第17表 圃場栽培の施肥設計(硫酸根系列) (kg/a)

区名	水稻作		麦作		施肥 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 合計	
	堆肥	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	堆肥	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
無機肥料	各リン	0	0.75	0	0.75	1.50
	裏リン	0	0	0	0.75	0.75
	無リン	0	0	0	0	0
無機肥料 堆肥併用	各リン	75	0.75	75	0.75	1.50
	裏リン	75	0	75	0.75	0.75
	無リン	75	0	75	0	0

注) N : 水稻1.2kg, 麦1.1kg, K<sub>2</sub>O : 水稻, 麦とも各0.75kg

ポット試験は a/5000ポットを使用し、ポット当たり土壌3.58kg(風乾土)を生土で充填した。その施肥設計を第18表に、また、施用堆肥の内容については第19表に記載した。試験区のアP区は圃場試験の各リン区から、-P区は圃場の無リン区の作土から採土したものであり、また+αは施用堆肥中に含有されるリン酸量に相当する

第18表 ポット栽培の施肥設計(ポット当たりg)

区名	堆肥	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
+P	無堆肥	-	0.8	0.8	0.8
	堆肥	+	0.8	0.8	0.8
-P	無堆肥	-	0.8	0	0.8
	無堆肥+α	-	0.8	0.025*	0.8
	堆肥	+	0.8	0	0.8

注) ※1973年, '74年の施用量, '72年は0.021gとした。

第19表 (付)堆肥施用量と堆肥成分

年次(年)	ポット当り施用量			乾物成分			
	現物(g)	水分(%)	施用量中の P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	N(%)	C(%)	N/C
1972	67	75	21	0.13	0.88	35.5	40.3
'73	49	75	25	0.20	1.25	31.0	24.8
'74	44	75	25	0.23	1.35	29.0	21.5

注) 堆肥材料は各作無リン酸区の収穫わらを使用した。

施肥量を意味するものである。用いたリン酸肥料は重過リン酸石灰で、2.5%クエン酸可溶の値で施肥した。また、施肥窒素量はポット当たり0.8gを3回に分施した。加里は窒素の施肥量と同様で、分施割合も同一とした。生育途中2~3回抜取り、生育量を調査し分析材料とした。試験は3連で行った。

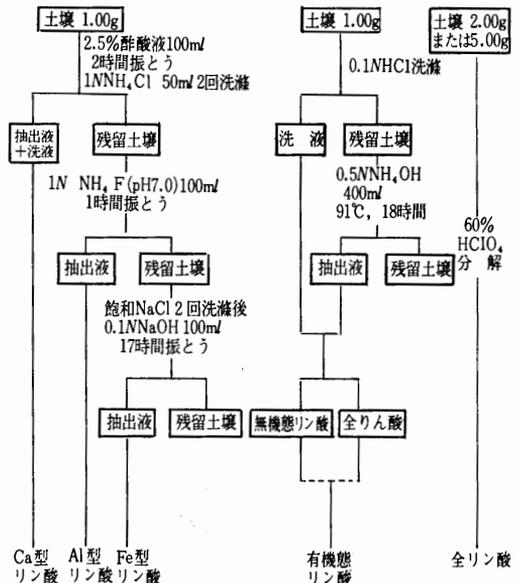
施用した堆肥の成分は19表のようで、年次によって多少異なり、1972年はC/N比も若干高いが、生育量および養分吸収からみて、堆肥施用による窒素固定や異常還元からくる生育の異常は全くみられなかった。

(3) 一般栽培の概要

圃場試験の栽培概要はII-2試験ですでに述べたとおりである。ポット試験の水稻供試品種はサトミノリ、移植6月21日(1974年は6月18日とした)、刈取10月中旬に行った。ただし-P区は約一週間遅らせた。その他の管理は前試験に準じた。

(4) 分析法

土壌: 可給態リン酸は Bray No. 2 法, pHはガラス電極法, 2価鉄は0.2% AlCl<sub>3</sub>浸出によるα-α'ディピリディール法によった。なお、圃場試験のこれらの測定法は、湛水前の生土を畑状態のまま2mmの篩で篩別し、内径5.5cm、高さ10cmの底にナイロン網をはった硬質塩化ビニール管に、生土220g(乾土当り187g)を詰め、もとの圃場に埋設し、水稻根が入らぬように、10数個の埋設チューブの周囲をビニール波板で覆った。水の管理は圃場と同一条件とし、時期別にチューブを抜取り分析に



第27図 土壌リン酸の形態別定量法

供した。

土壌の形態別リン酸の定量は、風乾土を2mmで篩別したものを一定量とり、メノー乳鉢で砕き、0.5mmの篩でことごとく通過させたものについて、関谷ら<sup>116)</sup>の方法によって測定した。その概略は第27図に示した。作物体：窒素はケルダール法、リン酸はバナドモリブデン酸法による。その他、試料の調製は前試験に準じた。

2) 試験結果と考察

圃場試験

(1) 水稻の収量とリン酸吸収量

1930年からの長期リン酸試験で、最近10年間の堆肥施用とリン酸施用による収量およびリン酸吸収量についての結果は第20表のとおりである。第20表より、無機肥料の各リン区と裏リン区の収量は変わらないことから、リン酸の施肥量は、各リン区の1/2、すなわち年間0.75kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/aで充分であるとみてよい。しかし無リン区では17%の減収である。一方、堆肥併用の場合は、各リン区と裏リン区は同一収量で、また、無リン区は僅か2%の減収にとどまっている。なお、堆肥の効果は、リン酸施肥の場合は無機肥料の約10%増収となり、堆肥併用無

第20表 長期リン酸試験(1930年～)の最近10か年の玄米収量および水稻リン酸吸収量の平均値

区名	1965年～1974年平均値			
	玄米収量 (kg/a)	(比)	水稻P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 吸収量 (kg/a)	(比)
各リン	48.9	(100)	—	0.45 (100)
無機肥料裏リン	48.9	100	—	0.44 97.1
無リン	40.6	83.1	—	0.27 60.4
無機肥料各リン	54.1	110.5 (100)	0.49	109.3 (100)
無機肥料裏リン	54.2	110.9	100.3	0.49 107.5 98.4
堆肥併用無リン	53.2	108.9	98.4	0.44 98.0 90.0

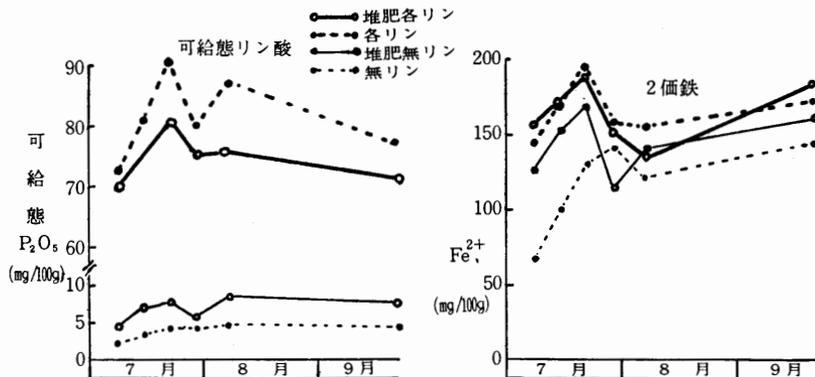
リン区では、無機肥料各リン区の約9%増となり、いかに堆肥施用がリン酸の肥効を打消しているか、換言すれば本土壌においては、堆肥による土壌リン酸の効果がいかに高いかを裏付けている。一方、これを水稻のリン酸吸収量からみると、無機肥料では無リン区は各リン区の約60%の吸収量である。ところが堆肥併用ではそれが90%となり、また、無リン区は無機肥料各リン区の98%となる。このように堆肥の施用は、水稻のリン酸吸収面からみても効果が高い。

(2) 土壌中の2価鉄とBray No.2可給態リン酸含量ならびに形態別リン酸含量

堆肥併用区の施用堆肥中のリン酸含有量は、年間、75kg堆肥×2作×0.18%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=0.27kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/aとなる。他方、作物が吸収するリン酸量は、最近(1964年から)10年間の堆肥併用無リン区では年平均0.57kg/a(水稻0.44kg, 麦0.13kg)であり<sup>38)</sup>、施用堆肥中のリン酸は作物吸収量の約47%を占め、残りの53%(a当たり0.3kgのP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)は毎年土壌から摂取されていることになる。

このような堆肥施用および無施用による土壌リン酸の収奪を考慮に入れて、無機質肥料連用と堆肥併用のリン酸施肥法の違いによる、作土の可給態リン酸および2価鉄含量の変化を、試験開始後42年経過した、1971年から1973年の稲作期間に測定した。その平均値で表わしたのが第28図である。土壌の2価鉄含量は各リン区で高く、無リン区で低いことはこれまでの試験と同様であるが、無リン区の場合、堆肥併用の2価鉄含量は高く経過するが、無機質肥料では低く、土壌の還元化の遅いことを示している。

一方、このような還元下の状態における可給態リン酸含量の変化についてみると、堆肥併用無リン区のリン酸値は7mgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g前後であり、無機質無リン酸区の4mg前後に比べて僅かに高い。これに対し各リン区は、



第28図 作土のBray No.2可給態リン酸含量とFe<sup>2+</sup>含量の時期別推移

第21表 1930年よりの長期リン酸試験田土壌の pH, 全窒素および形態別リン酸含量

(1972年採土)

区名	pH	全窒素 (%)	全P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	形態別 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)					
				Ca型	Al型	Fe型	無機態	有機態	難溶性
各作リン酸	5.60	0.12	130.0	22.0	43.2	19.7	84.9	26.6	14.5
裏作リン酸	5.30	0.11	76.2	7.2	17.9	12.6	37.7	14.2	24.3
各作無リン酸	5.30	0.10	34.1	1.2	11.0	3.6	15.8	13.5	4.8
各作リン酸堆肥	5.40	0.16	126.0	25.8	42.2	20.2	88.2	18.4	19.4
裏作リン酸堆肥	5.30	0.15	85.9	8.7	18.0	12.3	39.0	19.2	27.7
各作無リン酸堆肥	5.20	0.15	40.1	1.4	11.0	4.2	16.6	20.1	3.4

無機質肥料の場合は85mg前後であり、堆肥併用はそれより僅かに低い。これら可給態リン酸の時期別推移は、とくに生育初期から中期にかけて2個鉄含量の変化と関係がみられた。ここで注目すべきは、堆肥併用無リン区と無機質肥料各リン区の可給態リン酸含量に10倍以上の差が生じて、水稻のリン酸吸収量には大差がないこと。また、無機質肥料無リン区では、可給態リン酸が4mgで減収になるが、堆肥併用では7mgの低含量で玄米収量ならびにリン酸吸収が維持されているということである。

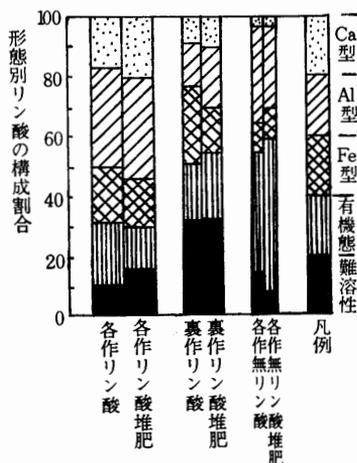
このことをさらに土壌の形態別リン酸含量から検討した。その結果は第21表および第29図のようである。まず、第21表の全リン酸含量は、各リン区では堆肥施用の有無に差がみられないが、裏リン区および無リン区では堆肥併用によって高まる。形態別リン酸の絶対量では、無機態リン酸は全リン酸含量が少ない区ほど低いが、有機態リン酸は、堆肥併用の場合は全リン酸の多少による差はみられず、ほぼ同一含量となった。また、第29図のリン酸の形態別構成割合をみると、土壌のリン酸含量の

高いほどCa型リン酸が多く、有機態リン酸の少ないことが明らかであるが、Al型リン酸、Fe型リン酸は一定の傾向が認められない。一方、堆肥併用の影響はCa型リン酸が増加する。それに対しAl型、Fe型リン酸は、全リン酸含量の少ない区において、それらの割合が小さくなる傾向を示した。

高盛ら<sup>135)</sup>は1969年に本試験区の土壌を用いて、リン酸施肥と土壌の形態別リン酸の関係について報告している。その後、13年間経過した後の同一試験区の土壌分析を行ったが、各形態の含量は、本実験においては前回の結果より相対的に低く、それらの絶対量の比較は困難である。これについては定量法の差異<sup>13,116)</sup>によるものか明らかでないが、無リン酸区は有機態リン酸が多いこと、また、その構成割合では、全リン酸含量が少ないほど有機態リン酸の占める割合が多いことなど、同様の傾向を示した。しかし、堆肥併用区は全リン酸、Ca型リン酸およびAl型リン酸が増加するとしているが、本試験においては形態別ではCa型リン酸のみが関与した。

土壌リン酸の有効化に有機物が大きな役割を果たしていることは、多くの研究者の認めるところで、Struthers<sup>124)</sup>は土壌のリン酸固定を妨げるのに、易分解性有機物が有効であり、有機酸類などのキレート作用をもった物質がリン酸固定の抑制に有効にはたらくとした。また、野田ら<sup>92,93)</sup>橋本<sup>32)</sup>らも腐植酸やニトロフミン酸が、リン酸固定に抑制能力のあることを明らかにしている。

一方、土壌の形態別リン酸含量からみると、その構成割合は土壌の種類<sup>40,70,148)</sup>、土壌 pH<sup>26,102,110,111,148)</sup>あるいは土壌の酸化還元<sup>10,11)</sup>や、土性および土壌の成因<sup>125)</sup>によっても異なることが報告されている。東海林<sup>142)</sup>や高盛ら<sup>135)</sup>は鉱質の沖積土壌において、水稻はCa型リン酸やAl型リン酸およびFe型リン酸をよく吸収するとしている。また江<sup>10)</sup>は、湛水前では石灰と結合したものが有利であるが、湛水後はFe型リン酸



第29図 土壌中の形態別リン酸の構成割合

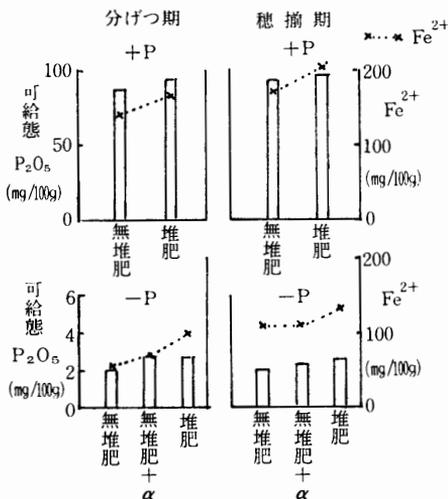
や A1 型リン酸は加水分解によって可溶化され、リン酸の給源になるとした。これらのことからみて、堆肥併用区においては、Ca 型リン酸が相対的に高いことから水稲は容易にリン酸を吸収できるものと思われされる。

一方、有機態リン酸含量は、無リン区では堆肥併用によって増加がみられるが、リン酸区では、堆肥無施用と比較してその増加がみられない。これについて高盛ら<sup>135)</sup>は、堆肥の有機態リン酸は比較的早く無機化されるとしており、有機態リン酸は地温上昇効果<sup>30)</sup>あるいは土壌乾燥処理やオキシン酸添加によって無機化が促進される<sup>34,35)</sup> ことなどから、堆肥併用区におけるリン酸の有効性は、有機態リン酸からの効果も高いことが推定される。

ポット試験

(3) 稲作期間の土壌 2 価鉄および可給態リン酸含量

1972年から3か年間にわたって本実験を継続し、各年次における水稲作付中の土壌の2価鉄、およびBray No. 2 可給態リン酸含量を生育時期別に測定したが、年次間差異はとくに認められなかったため、重要な時期と思われる分けつ期と、穂揃期について3か年の平均値で示した。その結果は第30図のようである。まず、2価鉄含量は、分けつ期および穂揃期の両時期とも、土壌リン酸の多いものほど、また、堆肥施用によって増大することは、これまでの結果と同様である。



第30図 分けつ期（7月17日）と穂揃期における作土の Bray No. 2 可給態リン酸と 2 価鉄含量

一方、可給態リン酸含量は、+P区では85mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g前後であり、-P区では2~3mgで両者は極端な開きをもつ土壌である。+P区の場合はリン酸含量が高

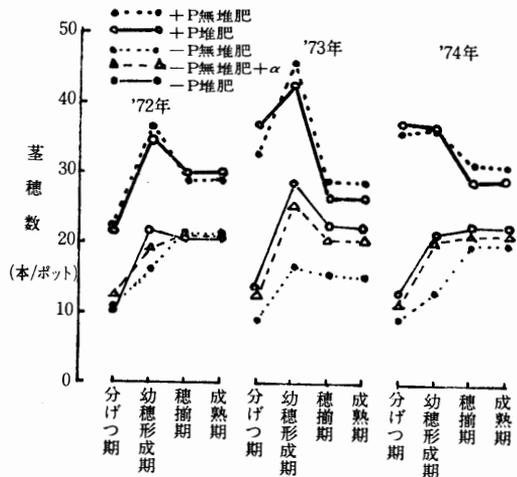
いため、リン酸が水稲生育の制限因子にはならず、したがって堆肥によるリン酸の効果は現われないであろう。しかし、-P区では、無堆肥+α区の可給態リン酸含量は、α量のリン酸が施肥されるため、含量が高まるのは当然であるが、他方、堆肥区は無堆肥区より高まり、無堆肥+α区とほぼ同程度となった。このことは堆肥施用による土壌還元の進行、および堆肥中のリン酸の有効化によるものと考えられるが、これについては、後述の水稲のリン酸吸収量と平行して考察を加えたい。

(4) 水稲の生育と収量

一般に、その年の気象は水稲の生育相を変え、処理間の差が大きく現われたり、小さく現われたりすることがしばしば生ずる。ことにリン酸不足の状態では、気象が出穂、登熟に影響を及ぼすことが多い<sup>42,43,157)</sup>。本実験における稲作期間の気象もまた年次によって差がみられた。

すなわち、1972年の7月前半は、例年より低温寡照に経過し、8月は最低気温が低く、温度較差が大きかった。9月中下旬は多照であった。1973年の7月8月は高温多照、9月上旬は低温多照で、9月中旬からは寡照に経過した。また、1974年の7月は寡照、8月は高温多照でとくに例年より最高気温が高く、最低が低く温度較差が大であった。

そのため、水稲生育は全般的に1972年の初年目は、分けつは抑制的で有効茎歩合が高く、生育後半の枯れ上がりも少なく、登熟は良好であった。1973年は、分けつが旺盛で最高茎数が例年より多かったが登熟は悪かった。1974年は、生育初期は1972年と同様に分けつが少なかったが、8月に生育は挽回し、登熟は良好であった。第31図は各年次における茎穂数の時期別推移を示した。第31



第31図 年次による茎（穂）数の時期別推移

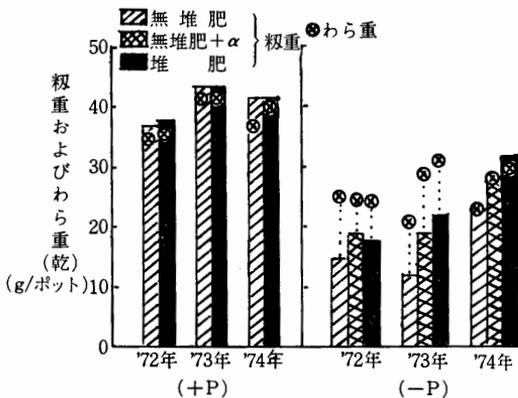
図から-P区は+P区より茎数は少ないが、有効茎歩合が高い。また+P区では、1973年と1974年に穂数において無堆肥が堆肥施用よりも多いが、リン酸による影響とは考えられない。一方、-P区は試験開始の1972年では、堆肥施用の有無による3区間には大きな差はみられない。1973年、1974年では無堆肥+α区および堆肥区が勝り、なかでも堆肥施用による茎数増加が大きく、試験開始2年目から、堆肥区は無堆肥+α区と同様に、生育初期から茎数の増加がみられたことも、堆肥連用によるリン酸の肥効が早期から発現していることを裏付けている。また、第22表の出穂調査結果から、-P区は+P区に比べ出穂は10日以上も遅れたが、-P堆肥区では-P無堆肥区より2~3日早くなっていることもリン酸の効

第22表 出穂調査

区名	1972年		1973年		1974年	
	出穂 始め (月日)	穂揃期 (月日)	出穂 始め (月日)	穂揃期 (月日)	出穂 始め (月日)	穂揃期 (月日)
+P 無堆肥	8.23	8.27	8.21	8.25	8.22	8.24
	8.24	8.27	8.20	8.24	8.22	8.24
-P 無堆肥+α	9.6	9.9	9.6	9.10	9.1	9.4
	9.3	9.6	9.4	9.6	8.30	9.1
堆肥	9.4	9.7	9.2	9.5	8.28	8.31

果とみられる。なお、リン酸不足の状態では、出穂期が遅れると同時に穂揃い日数が長びくことも報告されている<sup>42)</sup>が、暖地では穂揃いまでの期間が長びくことはみられなかった。

つぎに収量および収量構成要素について示したのが第32図および第23表である。これらの図表から、+P区では年次間で多少の収量差があるが、堆肥施用の有無によ



第32図 年次別粒重およびわら重

第23表 全粒数および登熟歩合

区名	全粒数(×10/ポット)			登熟歩合(%)		
	1972年	'73年	'74年	'72年	'73年	'74年
+P 無堆肥	170	203	195	89.4	81.3	84.9
	174	188	189	90.5	90.9	90.9
-P 無堆肥+α	99	71	131	39.2	45.7	49.5
	108	115	158	55.2	51.2	56.2
堆肥	97	120	171	74.1	66.8	78.2

り玄米収量には差がみられない。ただし登熟歩合が無堆肥区に比べ堆肥区が高い傾向にある。これは、粒数で堆肥区が僅かに少ないことが関与しているものかは明らかでないが、リン酸要因とは考えられない。一方、-P区では玄米収量は無堆肥区が最も低い。ここで堆肥の効果として、無堆肥+α区と堆肥区を比較すると、初年目は堆肥区が劣るが、2年目からは無堆肥+α区より明らかに勝った。この収量増の要因は粒数も若干は増加しているが、登熟歩合が堆肥連用によって高まったことが大きい。

(5) 水稻の養分吸収

3年目の1974年における水稻三要素の含有率、およびその吸収量は第24表に、また、各年次におけるリン酸吸収量は第33図のとおりである。第24表のリン酸含有率は-P区が+P区のと低く、その後も低濃度に経過した。-P区における堆肥の効果は、8月1日の幼穂形成期頃では堆肥区と無堆肥区には差はみられないが、吸収量は堆肥区が高い。+P区では、リン酸の含有率は成熟期の茎葉において0.3% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>であり、十分な含量であった。

このようなリン酸吸収の違いが他の要素の吸収に及ぼす影響をみると、窒素は-P区の場合、リン酸含有率の低いほど窒素濃度が高く、リン酸含有率が高いほど低下の傾向を示した。窒素濃度の低下は生育量の増大による希釈効果によるものであり、窒素吸収量はリン酸含有率の低いほど少なく、高いほど多い。しかし堆肥連用による窒素吸収量は、この場合には施肥量が多いためか、増加は認められなかった。

また、加里については窒素と同様な関係がみられたが、堆肥区は堆肥中の加里が加わることによって吸収量が高まった。

つぎに第33図の年次による水稻のリン酸吸収量についてみると、+P区は-P区より5倍以上となり、この場合は、堆肥施用の有無による差はみられず、ほぼ同等の吸収量であった。これに対し、-P区の吸収量は年次と

第24表 水稻の時期別養分含量(1974年)

成分 区名	養分含有率(%)					養分吸収量(mg/ポット)							
	8月1日		穂揃期		成熟期	8月1日		穂揃期		成熟期			
	茎葉	穂	茎葉	穂	籾	茎葉	穂	合計	茎葉	籾	合計		
N	+P	1.45	0.96	1.15	0.46	1.14	352	557	76	633	170	471	641
	+P堆	1.31	0.92	1.09	0.43	1.06	321	541	69	610	170	439	609
	-P	2.78	1.25	1.22	0.52	1.30	153	366	43	409	118	291	409
	-P+α	2.61	1.12	1.16	0.47	1.21	235	402	58	460	130	342	472
	-P堆	2.32	0.96	1.10	0.42	1.11	220	393	63	456	122	353	475
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	+P	0.67	0.60	0.47	0.28	0.73	163	348	31	379	101	302	403
	+P堆	0.71	0.66	0.47	0.30	0.70	174	388	30	418	119	290	409
	-P	0.22	0.17	0.32	0.04	0.32	12	50	11	61	9	71	80
	-P+α	0.22	0.20	0.33	0.04	0.30	20	72	17	89	12	85	97
	-P堆	0.22	0.19	0.32	0.04	0.32	21	78	18	96	12	100	112
K <sub>2</sub> O	+P	1.93	1.24	0.76	1.13	0.34	469	719	50	769	417	140	557
	+P堆	2.97	1.83	0.81	1.46	0.37	728	1,076	51	1,127	578	153	731
	-P	2.87	2.06	0.72	1.27	0.24	158	604	25	629	288	54	342
	-P+α	3.05	1.95	0.88	1.16	0.26	275	700	44	744	320	74	394
	-P堆	3.25	1.93	0.87	1.42	0.25	309	789	50	839	412	80	492

ともに変化した。すなわち、初年目では、無堆肥+α区のリン酸吸収量が最も高く、無堆肥区と堆肥区の間には大差がない。ところが2年目では堆肥区の吸収量が高まり、とくに幼穂形成期までの吸収が高い。成熟期には無

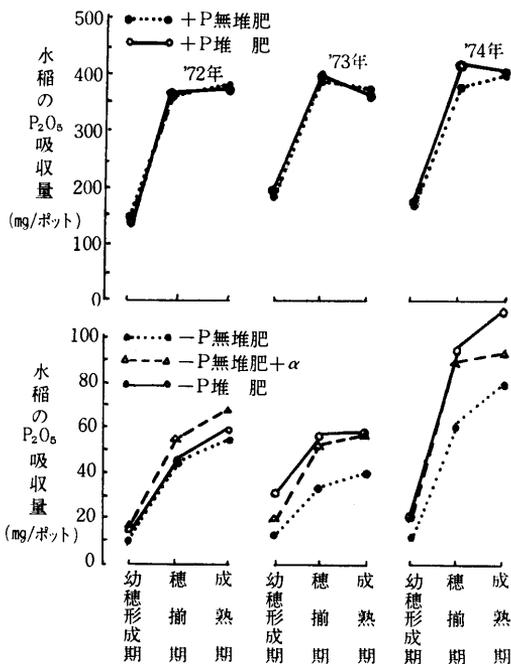
堆肥+α区と同等となった。3年目においては気象条件がよく、例年より後期にリン酸吸収が高まり、とくに堆肥区は無堆肥+α区以上の吸収量となった。

このように、低リン酸含量の土壌における堆肥の施用は、初年目においてはリン酸の効果が少ないが、2年目以降にリン酸の肥効があらわれ、その現われかたは生育の前期にみられた。さらに3年目は堆肥中のリン酸の累積効果とみられる吸収増が認められた。

(6) 土壌の形態別リン酸含量

水稻作付前後の形態別リン酸含量を、試験開始後3年目の土壌についてみたのが第25表および第34図のごとくである。第25表の土壌リン酸からみると、全リン酸含量は、+P区が約130mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100gに対して、-P区では20数mg程度の低リン酸含量の土壌である。また、作付前後の全リン酸含量は、+P区では施肥リン酸量が水稻のリン酸吸収量より多く、そのため作付後の土壌中の含量は増加した。一方、-P区ではリン酸無施肥のため、作付後の含有量は減少した。形態別リン酸含量のうち、有機態リン酸は+P区と-P区にそれほど大きな差はなく、リン酸量の違いは無機態リン酸にみられた。また、-P区における堆肥区の形態別リン酸含量は、無堆肥+α区と大差がない。

つぎに第34図のそれらの構成割合をみると、+P区では作付後はCa型リン酸が増加し、Al型リン酸やFe型リン酸および有機態リン酸が低下している。また、堆肥の施用によっても同様の傾向が認められた。一方、-P

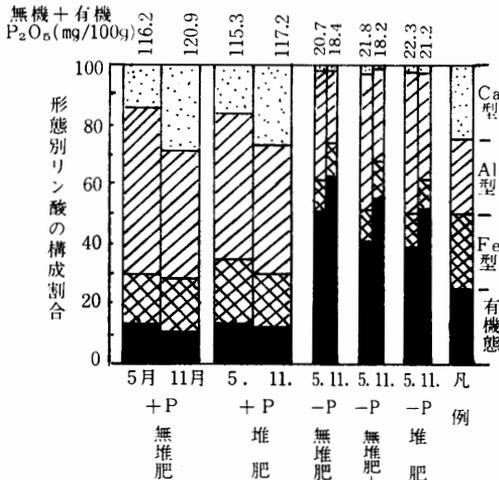


第33図 年次による水稻の時期別リン酸吸収量

第25表 水稻作付前後の土壤の形態別リン酸含量(1974年)

(mg/100g)

採取年.月	区名	全P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	形態別 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					pH (H <sub>2</sub> O)	
			Ca型	Al型	Fe型	無機態	有機態		
'74.5 (作付前)	+P	無堆肥	133.5	16.6	64.8	19.2	100.6	15.6	5.20
		堆肥	132.3	18.5	56.7	24.1	99.3	16.0	5.40
	-P	無堆肥	24.3	0.2	7.7	2.3	10.2	10.5	5.23
		無堆肥+α	26.4	0.5	10.0	2.4	12.9	8.9	5.04
'74.11 (作付後)	+P	堆肥	25.9	0.5	10.6	2.4	13.5	8.8	5.15
		無堆肥	141.5	34.1	53.0	21.0	108.1	12.8	5.10
	-P	堆肥	137.5	31.5	49.8	21.3	102.6	14.6	5.40
		無堆肥	21.3	0.2	4.7	2.0	6.9	11.5	5.10
	-P	無堆肥+α	20.9	0.2	5.7	2.1	8.0	10.2	5.00
		堆肥	21.7	0.5	7.5	2.2	10.2	11.0	5.10



第34図 水稻作付前後の土壤形態別リン酸の構成割合 (1974年)

注) 5月は作付前, 11月は作付後の含量

区では, +α量の僅かなリン酸施用や堆肥の施用によって有機態リン酸の割合が低下した。作付前後の比較では, 作付後における有機態リン酸の増加が明らかである。これらのことから, 全リン酸含量の増加でCa型リン酸の割合が増し, Al型リン酸の割合が低下する。また堆肥施用は+P区より-P区にその影響が強く現われ, 有機態リン酸の割合が少なくなり, 無機態リン酸の割合が増大した。さきにもふれたが, このような無機態リン酸の増加は, 水稻に対して容易にリン酸が吸収される形に変わったとみてよく, 堆肥施用の効果がこのような形においても認められた。

(7) 考察

本試験の圃場では, 40年以上にわたって堆肥併用の無リン酸栽培を継続しても玄米収量は2%の減収にとどまっている。そして, この土壤の可給態リン酸含量は, 作土で7mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100gの低含量であっても, 水稻のリン酸吸収量はリン酸施肥区に近い値となり, 土壤からのリン酸供給能はきわめて高い。

寺沢<sup>140)</sup>は無リン酸区に堆肥を入れることは出穂を早めるが, これは堆肥中のリン酸が効果を及ぼしているとしているように, 堆肥に含有されるリン酸分を無視することはできない。したがって堆肥施用によるリン酸の肥効をみるためには, 含有するリン酸分とその他, 堆肥施用によって生ずる効果の両面から検討する必要がある。

本試験では低リン酸土壌を用いた無リン酸系列において, 堆肥に含有されるリン酸分の+α量が無機リン酸で加えたものと, 堆肥施用のものとを比較した。しかし堆肥施用の効果はリン酸以外の成分も加わり, 結果を複雑にするので, 高リン酸土壌を用いたリン酸系列を設け, 堆肥施用の有無でリン酸以外の効果を判定した。その結果, 三要素おそびその他の成分が充分に施肥された条件下では, 無堆肥区は他の要素によって生育は制限されず, 第26表にみられるように, +P区では堆肥と無堆肥区は同等の収量であった。

そのため, -P区の堆肥による収量差は, リン酸の効果とみて考察した。第26表のリン酸吸収量と収量についてみると, 無堆肥+α区に対し, 堆肥区は初年目では劣るが, 2年目以降はリン酸の効果が現われる。このことは施用初年目では, 堆肥中のリン酸は収穫期水稻のリン酸吸収量からみても, 無堆肥+α区より肥効が劣り, 無

第26表 水稲のリン酸吸収量比および収量比

区名	水稲のP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 吸収量比			収量比		
	'72年	'73年	'74年	'72年	'73年	'74年
+P 無堆肥	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
+P 堆肥	99	99	102	101	100	100
-P 無堆肥+α	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
-P 堆肥	87	98	115	95	115	112

注) ( )は+P区, -P区について基準区としたもの。

堆肥区より僅かに高い。一方、土壌の還元は堆肥施用で促進されることから、初年目の堆肥施用によるリン酸効果は、堆肥中のリン酸からの期待はうすく、吸収量の僅かな増加は、土壌還元依存した土壌リン酸の生育初期における有効化によるところが大きいと推定した。

2年目および3年目の堆肥区は、無堆肥+α区以上の収量が得られ、とくに3年目ではリン酸の吸収量が上回った。このことは土壌還元によるリン酸の可給化と合わせて、全リン酸に対する無機態リン酸の割合が増加することによる有効化であり、さらに施用した堆肥の有機態リン酸の無機化などであろう。そのほか、古川、川口<sup>27)</sup>は土壌pHの上昇や還元の促進で、有機態リン酸のうち、イノシトールヘキサホスフェイトの鉄塩は易溶性が大きいことを明らかにしている。このことから堆肥施用、還元の進行といった条件で、有機態リン酸からの肥効が現われたものと思われ。

ちなみに水稲に対する堆肥施用の効果<sup>29,107,156)</sup>は、施用当初はほとんどみられないが、効果があってもごく僅かであり、その施用効果は連用によって発揮され、それは主として窒素的要因が大きいとみられている。ここで、水田において、当初施用した堆肥が分解し、リン酸が無機化される過程はなお明らかでないが、堆肥の窒素的要因と同じように、連用によって肥効が現われるものようであり、土壌還元の促進の結果であり、生育相からみると分げつ数の増加、また登熟歩合の向上などがリン酸の肥効特性とみることができる。

## 5. 要 約

暖地の花こう岩質水田土壌における水稲に対する土壌環境要素として、乾田直播栽培、長期の弱い中干し、ならびに有機物の施用など、主として土壌の酸化還元の変化に対応する土壌リン酸の可給化と、水稲に対するリン酸の肥効を検討しつぎの結果を得た。

1) 長期の弱い中干し処理による土壌の Bray No. 2

可給態リン酸含量と水稲生育の関係は、中干しによって可給態リン酸含量は低下するが、予期したよりも低下の度合は小さかった。P<sub>0</sub>区のように、可給態リン酸が3mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g以下では、水稲は中干しによる土壌酸化の影響でリン酸吸収が抑えられ、茎数が少なく、収量も常時湛水より劣り、窒素増施による効果もほとんどない。また、P<sub>10</sub>区の可給態リン酸が5~6mgの存在では、長期中干し処理でリン酸吸収が僅かに抑えられ、茎数は抑制されるが有効茎歩合が高まり、収量は常時湛水と同等であった。さらにリン酸多施用のP<sub>50</sub>区においては可給態リン酸は30mg前後で、分げつ数は常時湛水区と変わらず、有効茎歩合が高いため、収量が高くなった。なお、この中干し期間の水稲のリン酸吸収量は常時湛水区を上回った。これらのことから、本土壌は酸化によるリン酸の不可給化が小さく、酸化状態においても水稲に吸収されやすい土壌であることがうかがわれた。

2) リン酸施肥の多少による中干し処理が、中干し期間の窒素吸収に及ぼす影響は、葉鞘のリン酸が0.2% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>以下の低濃度では窒素吸収量も低下する。しかし葉鞘の濃度が0.35~0.38%程度であれば窒素吸収量は抑制されない。

リン酸が籾の澱粉生成に及ぼす影響は、P<sub>50</sub>区では出穂前の茎葉のいわゆる貯蔵型澱粉に依存する割合が高いが、P<sub>10</sub>区では出穂後に同化される澱粉に依存する割合が高くなり、それらは中干し処理によって強く現われた。

3) 湛水時期を異にした乾田直播栽培における土壌2価鉄含量の時期別変化から、直播栽培は移植栽培より土壌は酸化的に経過し、湛水の遅い直播栽培(7L直播区)が、湛水の早い直播栽培(3L直播区)より酸化的であった。土壌の Bray No. 2 可給態リン酸含量は、直播は移植より少なく、ほぼ2価鉄含量と平行した。-P区では直播が約3mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g、移植で5mg前後と差がみられ、また、直播の処理間においては、7L直播区が3L直播区より僅かに低下した。

4) +P区においては、直播区は移植区より生育初期のリン酸吸収量が高く、茎数の増加が急激で、とくに3L直播区で著しかった。しかし、有効茎歩合が小さく、最終穂数は移植区に近づいた。一方、-P区では、直播区において土壌の可給態リン酸含量が移植区より低下しても、生育初期のリン酸吸収量が上回り、茎数の増加が早く、3L直播区は+P区の移植区以上の増加を示した。また、無効茎になる率も少なく、穂数は+P区と同等となった。

玄米収量は、移植区の場合はリン酸施肥の有無による

収量差がなかった。3 L直播区では-P区が2%と僅かに劣ったが、窒素増施の手段によって収量差がなくなった。また、直播と移植はほとんど同等の収量であった。しかし、7 L直播では-P区が約13%の減収となり、窒素増施によっても7%劣った。

これらのことから、本土壌の Bray No. 2 可給態リン酸が20~40mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100gの+P区では、乾田直播栽培による水稻のリン酸吸収は抑制されず、生育、収量に対しても影響を受けない。一方、-P区では3 L直播区の場合、可給態リン酸が3mgに低下しても直播の茎数増の特性から、穂数減とはならず、収量差が認め難い。このことから乾田直播栽培では、収量におよぼす可給態リン酸の下限が移植栽培より低く、生育初期はおおむね3mg程度と判断した。

5) 1930年から継続のリン酸試験で、堆肥併用各作無リン酸区の収量指数は98と高く維持されているが、現在、その区の Bray No. 2 可給態リン酸含量は7mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g前後であり、それは堆肥併用各作リン酸区の1/10以下である。一方、無機質肥料各作無リン酸区は4mgであり、堆肥併用各作無リン酸区が若干高いが、これは堆肥中に含まれるリン酸分によるものと、堆肥施用による土壤還元の発達、有機リンの無機化など、土壤リン酸の可給化促進の間接的なものの両面の効果と推察した。

6) ポットを用いた堆肥のリン酸効果に関する試験で、+P区では、堆肥施用がリン酸吸収に及ぼす効果はみられなかった。-P区では、堆肥施用により生育初期の土壤還元が進行し、可給態リン酸も増加した。水稻のリン酸吸収量からみると、初年目では、生育初期の段階で、土壤リン酸含量の増加と平行して吸収量の増加がみられた。しかし成熟期には無堆肥+α区(施用堆肥中のリン酸量を施肥)の吸収量より低く、無堆肥区とはほぼ同一となった。2年目においては、無堆肥+α区の吸収量に匹敵し、さらに3年目では、堆肥区の吸収量が最も高くなった。他方、土壤の形態別リン酸含量からみると、土壤の全リン酸が高い場合や堆肥連用区は、無機態リン酸が増加し、なかでもCa型リン酸の割合が増加した。

これらのことから、堆肥施用によるリン酸の効果は、まず、土壤還元による土壤リン酸の可給化量の増大と、ついで2年目以降は、堆肥含有リン酸と、土壤リン酸の肥効の相乗効果として、また毎年施用による有機物蓄積によるいわゆる累積効果として、リン酸の肥効が現われると判断した。

## IV 花こう岩質水田土壌の水稻に対するリン酸の肥効特性

### 1. まえがき

前試験において、花こう岩質水田土壌の可給態リン酸含量は、水稻栽培時の落水処理や中干し処理によってもそれほど大きく変化せず、水稻のリン酸吸収量においても抑制されにくいことを認めた。平野<sup>36)</sup>は施肥標準調査が行われた植木鉢による三要素試験の成績を、地質別に土壌を分けてまとめたところ、水稻に対するリン酸の天然供給量は、花こう岩系の水田が最も多く、火山灰質水田が最も少ないことをみている。また著者<sup>66)</sup>も土壌の種類別のリン酸多用施肥の効果は、火山性土壌や洪積土壌にみられ、沖積土壌では効果が少ないことをみた。

一般にリン酸の肥効は、畑土壌の場合はリン酸吸収係数の大小が作物生産に大きく関与しており、リン酸の肥効を高めるためには、その吸収係数に見合うリン酸施肥量を決定し、可給態リン酸をある含量まで高めることが重要となる。他方、水田土壌においてもさきに述べたことから、リン酸吸収係数がリン酸の肥効に関係しており、吉野<sup>163)</sup>も水田におけるリン酸施肥量を決定するのに、土壤の有効リンからだけでなく、有効リンのリン酸吸収係数に対する百分率からその関係式を提唱している。また上沢<sup>149)</sup>は分けつ期的水稻に対するリン酸供給能の指標として、形態別無機リンの各々に係数を乗じたものの含量を、リン酸吸収係数で除した関数が適用されるとした。このように水田土壌では、土壤のリン酸吸収係数が水稻のリン酸肥効に対する一要因となっているが、水田土壌は水稻の栽培期間中、多水分あるいは還元といった条件のため、水稻のリン酸吸収が促進され、土壤のリン酸吸収係数の影響は畑ほど大きく現われない。

ここでは、リン酸吸収係数の小さい花こう岩質土壌において、可給態リン酸含量が土壤の酸化還元によってどの程度変化するかを他の土壌と定量的に比較検討し、本土壌の水稻に対するリン酸の肥効特性について明らかにしようとした。

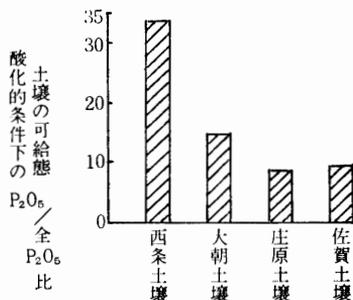
一方、花こう岩質土壌は、一般に塩基置換容量が小さく、溶脱型の水田が多い。この塩基保持能力の弱いことは、反面、土壌中での塩基の可動性を大きくし、養分吸収が容易に行われやすい培地であるともいえる。そのため、このような土壌環境が間接的に水稻のリン酸肥効にどのように働くかについて、土壤のリン酸吸収係数が小さく、全リン酸含量が低く、主として塩基置換容量だけ



化水素による還元法<sup>117)</sup>、可溶性アルミニウムはアルミハン法<sup>134)</sup>によった。

## 2) 試験結果と考察

各種土壌の2価鉄生成量と可給態リン酸の関係は、第35図の左のようであり、また、2価鉄および可給態リン酸含量の最大値に対する各抽出値の百分比で表わしたものは、第35図の右のとおりである。左の図の実測値から土壌間の違いをみると、いずれの土壌も、2価鉄の増加と可給態リン酸量の増加には深い関連がみられたが、2価鉄の増加量は庄原土壌が最も大きく、西条土壌、大朝土壌では少ない。また、可給態リン酸含量は、庄原土壌および佐賀土壌では13mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g から100mg程度の広範なひろがりを示したのに対し、西条土壌および大朝土壌では湛水による2価鉄の増加も少なく、それに平行してリン酸抽出量も低かった。右の図の百分比で見ると、庄原土壌、佐賀土壌では、2価鉄含量の少ない条件で可給態リン酸含量は低く、2価鉄の多い条件で高くなり、2価鉄含量に可給態リン酸が大きく左右された。しかし西条土壌では、2価鉄の少ない条件においても可給態リン酸含量が高く、2価鉄が増加してもリン酸の増加割合が低い傾向を示した。また、第36図の土壌全リン酸に対する酸化的条件下の土壌の可給態リン酸の割合からみても、西条土壌は他の土壌に比べて高く、畑土壌においても可給態リン酸の絶対量が高いことを示した。



第36図 全リン酸に対する Bray No. 2 可給態リン酸の占める割合

一般に、土壌還元の尺度として、Eh ならびに2価鉄含量が用いられているが、前者は還元強度を表わし、後者は還元の容量を示すが、Eh の下降と2価鉄含量の増加傾向はよく一致するので<sup>67)</sup>、土壌還元を第二鉄の還元による2価鉄含量の多少で比較検討した。

ところで、湛水による2価鉄生成量の増大について浅見<sup>6)</sup>は、2価鉄生成量は土壌中の易分解性有機物含量および遊離鉄含量ならびにこれらの相対的な割合によって

規制されるとし、また、山中ら<sup>153)</sup>は、土壌の2価鉄は微生物に対する阻害剤の添加によって全く生成されなくなる。したがった土壌のグライ化作用は微生物関与の機作用によると指摘しており、沖積土壌では2価鉄生成による青灰ないし灰緑色への変化が、他の土壌より早くおこることをみている。

本実験に用いた庄原土壌(第三紀頁岩質)や佐賀土壌(海河成沖積土)は、遊離酸化鉄含量が高く、リン酸吸収係数の高い土壌であり、また、腐植含量も比較的高い。一方、大朝土壌(火山性)は黒ボク土であるが、花こう岩質土壌が混在しているため、リン酸吸収係数は余り高くないが、可溶性アルミニウム含量が多い。また、西条土壌(花こう岩質)はリン酸吸収係数および遊離酸化鉄、可溶性アルミニウム含量の低い土壌である。

これら4種の水田土壌は、風乾土を用いたこともあって、湛水による土壌還元進行が早く、いずれの土壌も湛水後14日で最大の還元量に達し、ここでは山中ら<sup>153)</sup>のいう、沖積土壌で還元化が早い傾向はつかみ難かった。一方、湛水による2価鉄生成量は浅見<sup>6)</sup>のいう遊離酸化鉄含量と相関が高く、庄原土壌で生成量は最も多く、西条土壌で少ない。

このような遊離酸化鉄含量の高い庄原土壌や佐賀土壌は、酸化的条件では可給態リン酸含量は少なく、2価鉄の生成、すなわち還元進行と比例して可給態リン酸量の増加をみたが、西条土壌では酸化的状態においてもかなりの量の可給態リン酸が存在し、還元進行に対する増加量が少ない。例えば、第35図より、庄原土壌では10%の還元進行で、可給態リン酸量は約20%程度にすぎないが、西条土壌では10%の還元で60%以上の可給態リン酸が存在する。一方、黒ボクからなる大朝土壌では、可溶性アルミニウムが多く、抽出液のNH<sub>4</sub>Fにより、おそらくAl型リン酸からの溶出が大きいことから、酸化的条件においても溶出量が若干多くみられた。このように、土壌の酸化還元の変化による可給態リン酸含量の消長は、おもに活性の鉄含量が支配的と考えられた。

また、このことから、遊離酸化鉄含量の高い頁岩質あるいは古生層の水田土壌では、還元時にはリン酸施肥の必要性が少ないとしても、酸化条件ではそれを考慮しなければならないであろう。しかし花こう岩質水田土壌は、酸化条件においてもリン酸供給能が高いと考えられ、畑状態における施肥の必要性が頁岩質土壌などより少なくよく、このことは前試験の中干しや乾田直播栽培において、リン酸の肥効が現われにくかったことと符合する。

第28表 供試土壌の理化学性

土 壤	土性	pH (H <sub>2</sub> O)	CEC (me)	T-N (mg/100g)	T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	吸収係数		置換性塩基 (me)			
						窒素	リン酸	Ca	Mg	K	Na
CEC大	SL	6.8	30.8	0.013	28.1	276	459	4.2	0.5	4.8	8.7
CEC小	SL	6.8	5.2	0.016	31.8	139	374	2.4	0.2	0.2	0.2

3. 塩基置換容量の異なる土壌におけるリン酸の肥効

1) 試験方法

(1) 試験の条件

供試土壌としてCEC小の土壌は、場内水田圃場の凝灰岩を含む花こう岩質沖積砂壤土の心土を、枠当り乾土として、150.3kgを生土で充填した。一方、CEC大の土壌は、CEC小の土壌を枠当り乾土として、119.4kgを生土で充填し、それにゼオライトS（土性SL, pH 6.8, CEC 162.5 me, 窒素吸収係数893）を23.2kg混合した。これら2種類の土壌の理化学性は第28表のとおりである。

1969年の初年度は、リン酸施肥量と水稻生育の関係について、また、次年度は、前年度の試験区のうち代表的なものを土壌リン酸区として用い、土壌リン酸と施肥リン酸の肥効について比較検討した。なお、枠は水田圃場に埋設して実施した。

(2) 試験区の規模と構成

使用した木枠は1区面積1.08m<sup>2</sup> (60×180cm) で底にポリエチレン布を敷き、有底とした。初年度、実験IのCECの大小によるリン酸施用量試験区名は第29表のとおりである。

第29表 実験I リン酸施用量施肥設計

土 壤	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 施 肥 量 (kg/a)				
	1	2	3	4	5
CEC 大	0	0.4	1.0	2.0	4.0
CEC 小	0	0.4	1.0	2.0	4.0

注) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は重過リン酸石灰を用い全量基肥施用, N, K<sub>2</sub>Oは各区とも0.8—0.3—0.4kg/aの分施とした。

次年度、実験IIは土壌リン酸と施肥リン酸の肥効試験であり、その区名と内容は第30表のとおりである。

(3) 一般栽培の概要

実験I, 水稻品種, サトミノリ, 田植6月24日(44日苗), 栽植密度20×24cm 1株2本植, 基肥施肥6月23日, 追肥7月10, 穂肥8月5日, 収穫10月16日とした。その

第30表 実験II 土壌リン酸と施肥リン酸の試験設計

区 名	土 壤	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			N	K <sub>2</sub> O
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	施 肥 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	合 計 (mg/100g)		
CEC 大	施肥P40	28	12	40	1.5	1.5
	土壌P40	43	0	43	1.5	1.5
	土壌P60	58	0	58	1.5	1.5
CEC 小	施肥P40	32	12	44	1.5	1.5
	土壌P40	46	0	46	1.5	1.5
	土壌P60	61	0	61	1.5	1.5

注) リン酸は重過リン酸石灰で全量基肥施肥, 窒素, 加里は塩化アンモニウム, 硫酸加里を用い a 当り0.8—0.3—0.4kgの分施

他, 病害虫の防除は当場の使用基準によった。

実験II, 品種, 田植時期, 栽植密度および施肥法は実験Iと同一である。収穫は10月20日に行った。

(4) 分析法

土壌: 可給態リン酸は Bray No.2 法, 2 価鉄は0.2% AlCl<sub>3</sub>浸出の α-a' ディピリディール法, 作物体: 80°C で乾燥したものを乾物とし, 粉碎後, 窒素はケルダール法, リン酸はバナドモリブデン酸法, 全炭水化物は0.7N 塩酸で加水分解後, ソモギー法により全還元糖として定量した。

2) 試験結果と考察

実験 I

(1) 生育

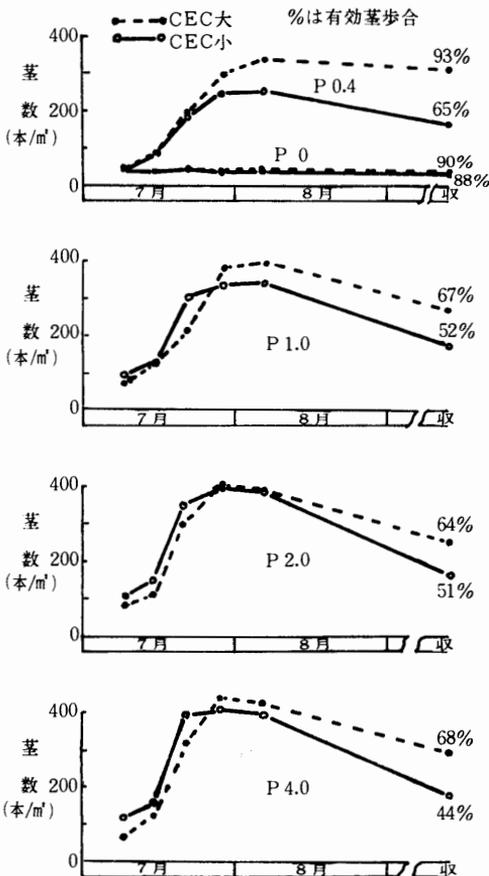
CECの大小によるリン酸施用量が、草丈および出穂に及ぼす影響についての結果は第31表のとおりであり、また、時期別茎穂数の推移は第37図のとおりである。リン酸の多少による水稻生育は、P0区ではCECの大小にかかわらず、稲体は直立型となり、下位葉身の先端から黄褐色に変わり、リン酸欠乏症状を呈し、草丈の伸長が悪く、とくに茎数が著しく抑制された。しかし0.4kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/aの僅かなリン酸施用(P0.4区)によって生育は急激に良くなった。

リン酸施用量による水稻の初期生育は、CEC小の土壌がCEC大の土壌より勝った。しかし、8月5日の幼

第31表 草丈および出穂状況

区名	草丈 (cm)			穂長 (cm)	出穂期 (月・日)	穂揃日数 (日)
	CEC	P量	成熟期			
大	0	23.9	45.0	84.2	19.0 9.8	4
	0.4	43.2	64.0	102.0	17.3 9.4	9
	1.0	44.8	68.8	110.1	19.1 9.2	10
	2.0	46.6	69.7	111.7	20.5 8.30	9
	4.0	49.1	74.0	113.7	21.7 8.30	10
小	0	39.1	46.5	72.2	19.5 9.8	4
	0.4	45.1	63.4	95.6	19.3 9.3	11
	1.0	49.2	60.9	95.4	19.1 8.28	8
	2.0	50.1	62.7	96.2	20.5 8.27	8
	4.0	49.1	61.4	99.0	20.1 8.27	8

穂形成期以降は、CEC大の土壤が施肥量の増加とともに旺盛となった。CEC小の土壤ではリン酸増による効果はみられなかった。出穂期はP1.0区以下のリン酸施



第37図 CECの大小とリン酸施肥量による茎数の推移

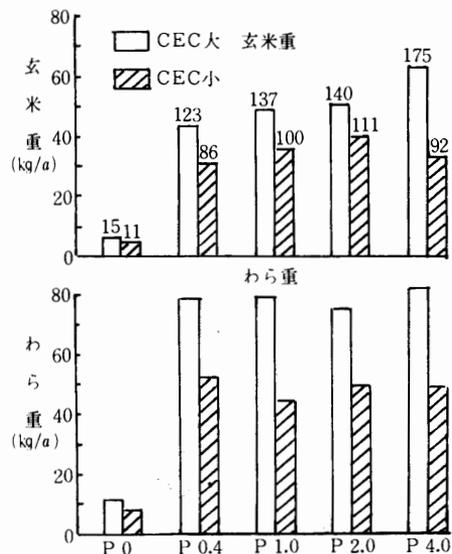
用量の少ない区において遅れ、多量区と少量区では10日前後の差がみられた。しかし、寒冷地のように、リン酸不足水稻で穂揃日数が長びく<sup>42)</sup>ことはなく、また、温度は出穂から出穂終了までの期間の短縮には寄与しない<sup>132)</sup>といわれるが、当地方におけるリン酸不足水稻は、栄養生長期が長びいても出穂の不規則性の少ないことが観察された。

一方、茎数はリン酸施肥量とともに急増し、両土壤ともリン酸4.0kg/a (P4.0区)の施肥量でも茎数の頭打ちはみられなかった。茎数の増加速度はCEC小の土壤がCEC大の土壤より早く、それがP1.0区以上のリン酸増肥区でみられた。そしてこれら両土壤はリン酸増肥によって最高分げつ期にいたる時期が早まり、有効茎歩合は低下するが、とくにCEC小の土壤にその傾向が強く現われた。

(2) 収量および収量構成要素

リン酸施肥量による収量は第38図に示し、また、収量構成要素については第32表に示した。第38図から、いずれのリン酸施肥量においても、CEC大の土壤はCEC小の土壤より収量が勝った。これをリン酸施肥量との関係でみると、わら重はP0区が最も少ないが、P0.4区とP4.0区の間には差がない。一方、玄米重はCEC大の土壤ではリン酸施肥量の増加とともに増収するが、CEC小の土壤ではP2.0区が最高となり、P4.0区はそれより減収した。

これらの効果を第32表の収量構成要素からみると、CEC大の土壤は、穂数および1穂粒数が増加しており、



第38図 玄米重およびわら重

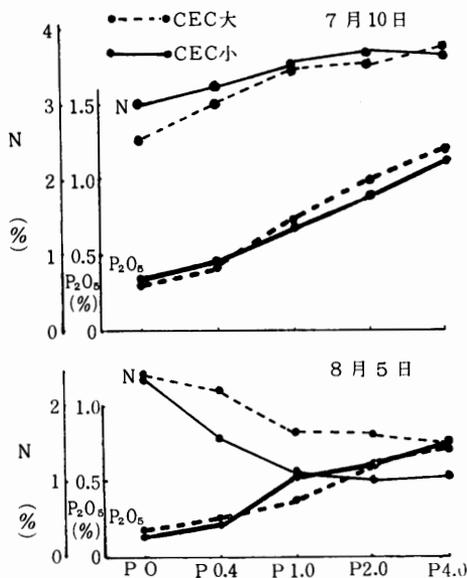
第32表 収量および収量構成要素

区名	CEC	P量 (kg/a)	玄米重 (本/m <sup>2</sup> )	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	主 稈 調 査			不 稔 合 率 (%)
					千粒重 (g)	完全粒歩合 (%)	1 穂 数 もみ数	
大	0	5.3	38	18.4	77.3	83	4.0	
	0.4	44.2	310	19.4	81.3	103	4.9	
	1.0	49.3	268	20.9	89.3	125	6.6	
	2.0	50.2	255	21.7	94.5	127	3.5	
	4.0	62.9	297	20.9	92.0	132	3.3	
小	0	4.0	36	19.3	84.2	57	3.3	
	0.4	30.9	166	21.4	89.2	111	3.6	
	1.0	36.0	175	22.6	98.3	103	2.0	
	2.0	40.0	198	22.7	98.4	103	2.2	
	4.0	33.2	179	22.5	97.7	98	1.8	

また粒の充実もリン酸増肥とともによくなった。他方、CEC小の土壌は、リン酸増肥により有効茎歩合が低く穂数の減少となり、その効果が認められなかった。

(3) 稲体の養分含量

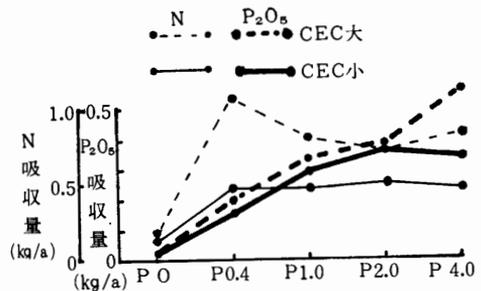
7月10日の分けつ期および8月5日の幼穂形成期における茎葉の窒素、リン酸含有率は第39図のとおりである。第39図から、7月15日のリン酸含有率はリン酸の増肥とともに高まり、窒素もおおむねそれに平行して増加した。この場合、CEC小の土壌は、CEC大の土壌より窒素含有率が高く、リン酸含有率は逆に低い傾向にあった。また、8月5日における窒素濃度はリン酸増肥区



第39図 茎葉の窒素およびリン酸含有率

ほど低く、とくにCEC小で著しい。またこの時期のリン酸濃度はリン酸増肥とともに増加するが、CECの大小には差がない。この図における稲体の窒素濃度の低下は、生体重の増加による希釈効果が大いと考えられるが、CEC小の土壌では、それと同時にNH<sub>4</sub>-Nの土壌吸着量が少ないことから、土壌系外への損失<sup>74)</sup>も考慮しなければならないであろう。

つぎに収穫期の窒素およびリン酸吸収量を第40図に示した。これによると、リン酸吸収量はリン酸増肥とともに高まるが、CEC大のものがCEC小のものより高く、CEC小ではP2.0区で頭打ちになった。一方、窒素吸収量はP0区では低く、リン酸施肥区で吸収は高まるが、P0.4区とP4.0区の間には差異が認められない。他方、CEC小の土壌はCEC大の土壌より窒素吸収量が低い。これは前にも指摘したように、土壌中の窒素の動態がCECの大小によって異なるためと推察される。



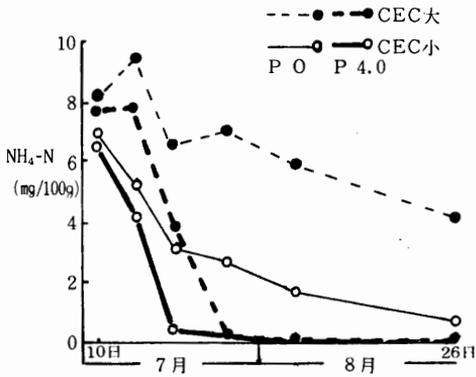
第40図 成熟期の窒素およびリン酸吸収量

(4) 土壌中の可給態リン酸含量とNH<sub>4</sub>-N含量

水稻株間中心部の土壌におけるBray No. 2可給態リン酸含量は第33表のとおりであり、また、同一箇所におけ

第33表 土壌の可給態リン酸含量の変化

区名	CEC	P量	Bray No. 2 可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)				
			7月10日	7月20日	7月28日	8月5日	8月26日
大	0	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	
	0.4	0.3	0.5	0.4	0.6	0.5	
	1.0	1.3	1.0	0.7	1.9	0.6	
	2.0	2.3	2.6	—	2.2	1.5	
	4.0	5.2	12.8	6.5	5.2	4.8	
小	0	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	
	0.4	0.9	0.4	0.4	0.6	0.3	
	1.0	1.5	1.2	0.7	1.8	0.6	
	2.0	2.5	2.8	—	2.2	1.4	
	4.0	14.2	28.5	14.4	10.9	23.0	



第41図 作付土壌の NH<sub>4</sub>-N の消長

る NH<sub>4</sub>-N の消長は第41図に示し、土壌溶液の NH<sub>4</sub>-N 含量は第34表に記載した。

本土壌は水田下層土で、有機物含量のきわめて少ない土壌を用いたため、2 価鉄含量が低く、その増加は緩慢であった。このため、可給態リン酸含量はリン酸増肥とともに増大するが、その程度は小さく、これまでのべてきた水稲生育に及ぼす可給態リン酸含量に比べて低い。しかし、茎数の増加は、P1.0区以上は一般普通田でリン酸が充分に含まれている水稲と同程度の生育を示した。したがって、このような土壌における Bray No.2 可給態リン酸含量と生育の関係については検討を要するが、本実験の土壌中の可給態リン酸含量は、少ないながらも生育との関連性は認められた。

つぎに第41図の置換性 NH<sub>4</sub>-N 含量と第34表の土壌溶液の NH<sub>4</sub>-N 含量の関係をみると、CEC 小の土壌は生育初期において、置換性 NH<sub>4</sub>-N 含量は低く、土壌溶液の NH<sub>4</sub>-N 含量が高い。著者ら<sup>113)</sup>は水稲の初期分けつと土壌の NH<sub>4</sub>-N の関係について、土性が異なっても CEC が同じ場合は分けつ数は変わらず、このとき、土壌溶液の NH<sub>4</sub>-N 濃度はほぼ同じであり、また、CEC の異なる土壌では、同一施肥量の場合、CEC 小の土壌は溶液中の NH<sub>4</sub>-N が高くなり、分けつ数が増加し、分けつ数を同程度にするためには、CEC 大の土壌の施肥量

第34表 土壌溶液中の NH<sub>4</sub>-N 含量

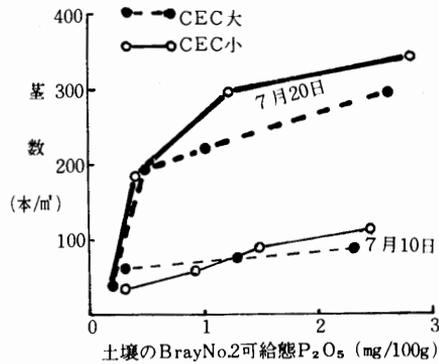
区名	P 量	NH <sub>4</sub> -N (mg/土壌溶液100ml)		NH <sub>4</sub> -N (mg/乾土100g)	
		7月15日	7月20日	7月15日	7月20日
大	0	0.2	0.1	0.08	0.03
	4.0	0.1	tr	0.03	tr
小	0	1.1	0.8	0.33	0.23
	4.0	0.9	tr	0.29	tr

注) tr: こん跡

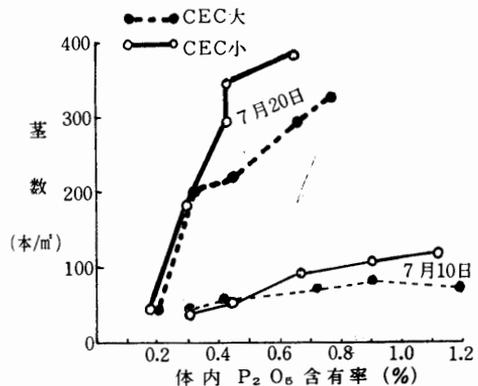
を増し、溶液中の NH<sub>4</sub>-N 濃度を CEC 小の土壌と等しくする必要のあることを指摘した。このことから、本実験に用いた塩基置換容量の異なる両土壌は、リン酸吸収係数が近似しており、CEC 小の土壌での茎数の増大を、CEC 大の土壌の同一リン酸施肥区と比較してみると、土壌の可給態リン酸含量の違いよりも、土壌溶液の NH<sub>4</sub>-N 濃度の影響を強くうけるものと思われた。一方分けつ末期以降の置換性 NH<sub>4</sub>-N 含量は、CEC 小の土壌が低い。これは前述したように生育初期の吸収増大と、土壌中の窒素損失が加わる結果と判明した。

(5) CEC の違いによるリン酸施肥効果の考察

以上の結果を総合的に考察すると、CEC 小の土壌は分けつ期においてリン酸施肥量に対する感応が大きいが、すなわち、土壌の可給態リン酸と茎数の関係は第42図に示したように、両土壌で同レベルの可給態リン酸含量の存在する条件では、茎数は CEC 小の土壌が多く、また、第43図に示すように、茎葉のリン酸含有率が両土壌で同程度であると CEC 小の土壌が CEC 大の土壌より茎数増となる。換言すれば、CEC 小の土壌では土壌中



第42図 土壌の可給態リン酸含量と茎数の関係



第43図 水稲のリン酸含有率と茎数の関係

のリン酸含量あるいは作物体のリン酸含量がCEC大の土壌より低くても、茎数が容易に確保されやすいことを示し、このことは、花こう岩質土壌が低リン酸含量においてもリン酸の肥効の現われ難い一要因と考えられる。

このようにCEC小の土壌においては、ある一定以上のリン酸量で、初期生育の促進効果があること、また、この種の土壌のアンモニア吸着量の小さいことは、一方では窒素の損失をまねくなどのことから、水稻の窒素吸収に対する持続性が劣り、後期の生育はとくにリン酸施肥量の多い区ほど劣る。一方、CEC大の土壌はこれとは逆に、窒素の吸収利用も無駄が少なく、リン酸施肥量の多いほど良好な生育を示した。

CECの大小によるこのようなリン酸施肥反応の差異は、第44図に示す茎葉の全炭水化物含量にも認められた。一般に全炭水化物含量は窒素含有率が高いほど低い傾向にあるが、本試験においても、蛋白代謝の盛んな生育初期ほど低く、生育が進むにつれて増加する。これをCECの大小との関係でみると、両者とも生育初期は低く、その後、幼穂形成期の7月下旬までは、CEC小の土壌ではリン酸施肥量の多い区の含量が高い。このことは茎数の増大や茎葉の窒素濃度の減少傾向から明かなように、生育量の増加が炭水化物含量を増大せしめている。また、リン酸施肥量の少ない区においては、なお、

この時期においてもリン酸含有率の低いことが蛋白代謝を不活性化し<sup>19)</sup>、結果的に炭水化物含量を高めていると考えられる。他方、CEC大の土壌では、栄養生長期間はリン酸施肥量の多い区ほど炭水化物含量が低く、CEC小の土壌と相違した。なお、生殖生長期はおおむね、リン酸施肥量の多いほど炭水化物含量の高い傾向がみられた。

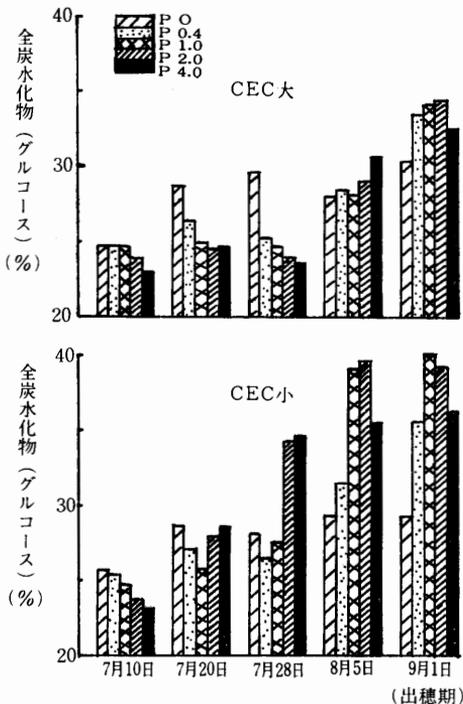
このようにCEC小の土壌は、CEC大の土壌より炭水化物代謝が盛んになる時期<sup>51)</sup>が早く、とくにリン酸施肥量の多い区において明らかであり、このことは茎葉の窒素含量の低下、一穂粒数の減少などと表裏の関係にあることが認められた。

以上のことからCEC小の土壌におけるリン酸の効果は、CEC大のものより大きく、生育の初期から旺盛となるため、リン酸の施肥量はCEC大のものより少なくてよく、また、収量に対してCEC小の土壌に肥効が現われないのは、とくに窒素要因との関係が深いので、窒素施肥法を重視したうえで、リン酸の肥効をみる必要があると考えられた。

実験 II

(1) 土壌リン酸と施肥リン酸による土壌の可給態リン酸含量

実験 I において、CECの大小の各土壌に、リン酸の施肥量を変えて栽培した跡地の土壌を土壌リン酸区とし、前年度無リン酸区で経過し、本年にいたり、リン酸を施肥した区を施肥リン酸区として水稻を栽培した。分けつ期における株間土壌の Bray No.2 可給態リン酸含量、ならびに pH の変化は第35表に示すとおりである。土壌 pH は、CEC大の区がCEC小の区より生育初期において高い傾向にあるが、本土壌の湛水による2価鉄含量は、この時期においては非常に少ない。すなわち土壌還元が発達が弱く、還元による pH の変化が小さいことから、この pH 差はゼオライト添加による緩衝の効果



第44図 リン酸施肥の多少による茎葉の全炭水化物の時期別推移

第35表 分けつ期における土壌の pH と Bray No.2 可給態リン酸含量

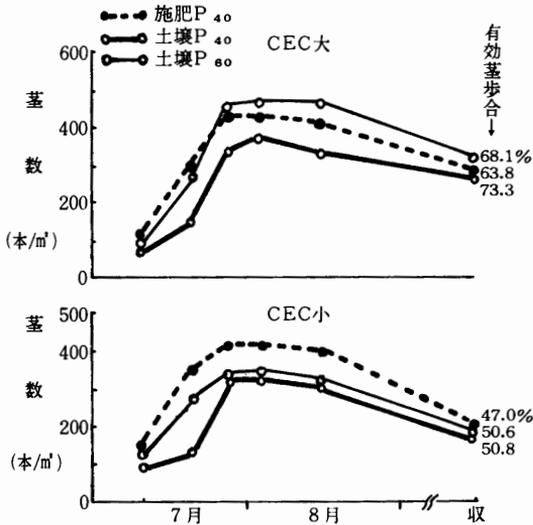
区名	項目	7月10日		7月20日	
		pH	可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	pH	可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)
CEC大	施肥 P 40	7.2	1.83	7.1	1.50
	土壌 P 40	7.2	1.02	7.0	1.27
	土壌 P 60	7.2	2.23	6.9	3.25
CEC小	施肥 P 40	6.8	1.78	6.7	1.38
	土壌 P 40	6.8	1.07	6.6	1.10
	土壌 P 60	6.8	4.26	6.5	3.47

と考えられる。ところで、土壌 pH の変化によってリン酸の可給化量の異なることが知られている<sup>15,105)</sup>が、本土壌のこの時期の pH は 7 前後であり、この範囲では、pH の影響によるリン酸の可給化には変化が少ないものと思われる。

つぎに分げつ期における土壌の Bray No.2 可給態リン酸含量についてみると、まず、全リン酸含量がほぼ同じである土壌 P40区と施肥 P40区では、施肥リン酸区の方が可給態リン酸含量が高い。他方、土壌 P60区と施肥 P40区との比較では、後者の含量が低い。この傾向は分げつ期の 2 回の調査および CEC の大小間においても同様であった。

(2) 水稻生育および水稻の窒素、リン酸吸収

CEC の大小による土壌リン酸と施肥リン酸のちがいを生育経過についてみると、処理間の差は草丈より茎数によく現われたので、その推移を第 45 図に示した。

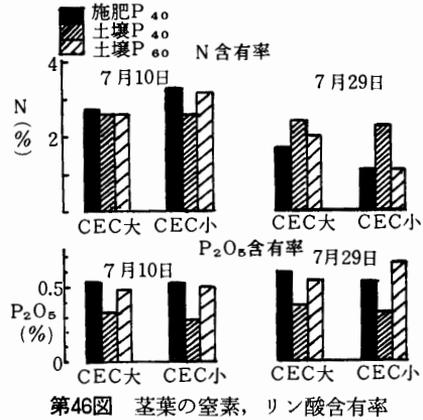


第45図 土壌P区と施肥P区における茎数の推移

CEC 大および小の両土壌を通じて、全リン酸含量が同じである P40区では、施肥 P40区が土壌 P40区より勝り、土壌 P40区においては茎数の増加が緩慢であった。土壌 P60区の茎数増は土壌 P40区より勝るが、施肥 P40区との比較では、可給態リン酸含量は土壌 P60区が高くても、初期分げつ数は施肥 P40区が勝った。このような施肥リン酸の効果について、志賀ら<sup>119)</sup>も生育の初期は施肥リン酸の効果が大きく、土壌リン酸からの Bray No.2 可給態リン酸量とは必ずしも一致しないことをみている。以上のように施肥リン酸は初期生育に及ぼす効果は大きいですが、その後の茎数は、CEC 大の土壌 P60区が 8

月以降においても生育が良好で、施肥 P40区以上の茎数増となり、有効茎歩合が高まった。しかし CEC 小の土壌では、土壌リン酸区のリン酸の不足による初期生育の遅延は、実験 I の土壌分析から明らかのように、土壌の NH<sub>4</sub>-N の損失が大きいことから、土壌 P60区においても後期の生育が期待できなかった。

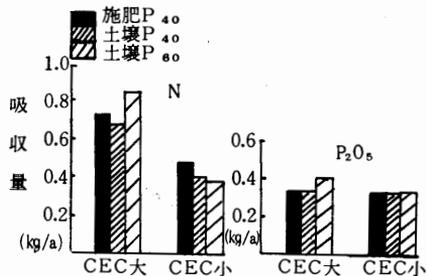
これらの関係を第 46 図の養分含量からみると、7 月 10 日の分げつ期の窒素およびリン酸含有率は、施肥リン酸



第46図 茎葉の窒素、リン酸含有率

区が土壌リン酸区より勝り、とくに CEC 小の土壌は溶液中の窒素濃度が高いため、これらの含有率が高まった。7 月 29 日の栄養生長末期においては、リン酸含有率は分げつ期の場合と同様の傾向にあったが、窒素は生育量に左右され、生育の良い施肥 P40区の含有率が低く、生育の悪い土壌 P40区に高い傾向がみられた。

つぎに収穫期の窒素、リン酸吸収量を第 47 図に示した。窒素吸収量は CEC 大の土壌が明らかに高く、CEC 小の土壌は窒素の系外損失がうかがわれる。また、施肥 P40区と土壌 P40区では前者が高く、土壌 P60区との比較では CEC 大の場合は、土壌の NH<sub>4</sub>-N の保持力が大きいため、土壌 P60区の生育は、初期には施肥 P40区よりリン酸の制約を受け窒素吸収が劣るが、後半には秋



第47図 水稻成熟期の窒素およびリン酸吸収量

まさりの生育を示し、吸収量も高まった。しかしCEC小の土壌では、保肥力の小さいことから、初期生育の良好な施肥P40区が勝った。リン酸吸収量についてはCEC大の土壌P60区が高いが、その他のCECの大小、および施肥リン酸区、土壌リン酸区をとわず、ほとんど同様な吸収量を示した。

(3) 水稻収量

収量調査成績は第36表のとおりである。CEC大の土壌はCEC小の土壌より相対的に高く、CEC大で、施肥P40区と土壌P40区の比較においては施肥P40区が高く、土壌P60区は施肥P40区より勝った。一方、CEC

第36表 水稻の収量調査

区名	わら重 (kg/a)	玄米重 (kg/a)	千粒重 (g)	完全粒歩合 (%)	玄米収量比	
CEC大	施肥P40	90.1	48.5	20.3	95.6	100
	土壌P40	83.4	43.4	19.7	94.9	89
	土壌P60	95.5	53.3	19.9	95.1	110
CEC小	施肥P40	66.5	29.5	21.9	96.6	100
	土壌P40	59.0	23.4	20.3	93.3	79
	土壌P60	60.5	24.7	21.8	96.2	84

小の場合には、施肥P40区は土壌P60区より高収であった。このように土壌リン酸の多・少ではリン酸含量の多いものが収量が高いが、施肥リン酸と土壌リン酸、およびそれらとCECの大小の比較においては、土壌中の窒素要因が関係し、CEC大では窒素の持続性が土壌P60区の収量を高める結果となって現われ、CEC小ではその効果は少なく施肥P40区が勝る結果となった。なお、このようなことは、わら重においても同様の傾向にあることから、登熟の影響よりも出穂前の生育、すなわち茎数による関連が大きいとみられた。

以上、CECの大小によるリン酸の効果は、実験Iと同様であったが、施肥リン酸の効果は土壌リン酸より高く、とくに生育初期に現われやすい。そして初期では土壌Bray No.2可給態リン酸含量と生育、および水稻のリン酸吸収は必ずしも一致せず、土壌リン酸の方が劣った。しかし、生育の後半においては、CEC大の土壌では、土壌リン酸からの吸収に期待がもたれた。他方、CEC小の土壌では、施肥リン酸区より全リン酸含量の高い土壌リン酸区は、生育初期のリン酸吸収が劣り、このため窒素の損失が多くなり、生育後半の窒素吸収量が低下し、減収を招いたものと解釈された。

4. 鉄添加に対するリン酸の肥効

1) 試験方法

(1) 試験の条件

圃場枠試験；場内水田II-4圃場で、1969年から'71年の3年間にわたり、リン酸区および無リン酸区を設けて水稻を栽培した一区画を、'72年にビニール波板で仕切り、処理を行った。供試土壌は凝灰岩を含む花こう岩質沖積水田、グライ土壌で減水深は約0.7cm/日である。供試土壌の理化学性はIIIの2の試験圃場と同一である。(第14表参照)。

ポット試験；1974年において、前項の圃場枠試験の作土を採取し、5mmの篩で篩別した生土をポットに充填し水稻を栽培した。なお、ポットの側面を板で覆い直射日光を遮断し、ポット内の温度上昇を防いだ。

(2) 試験区の内容と栽培概要

圃場枠試験 規模、1区1.36m<sup>2</sup>2連制、試験区および処理法は第37表に示した。

第37表 試験区名および施肥量

試験区	NおよびK <sub>2</sub> O				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	鉄	基肥	追肥	穂肥	
リン酸 + P	0	0.5	0.3	0.3	1.5
	200	0.5	0.3	0.3	1.5
	500	0.5	0.3	0.3	1.5
	800	0.5	0.3	0.3	1.5
リン酸 - P	0	0.5	0.3	0.3	0
	200	0.5	0.3	0.3	0
	500	0.5	0.3	0.3	0
	800	0.5	0.3	0.3	0

注) N, K<sub>2</sub>O：基肥はSO<sub>4</sub>塩、追肥はCl塩  
P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：重過リン酸石灰、鉄はFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>mg/100g

添加鉄剤は粉末 Fe(OH)<sub>3</sub> の化学薬品を湛水の約1か月前に所定量を施用し、3回にわたって耕起し、土壌を砕き、15cmの作土によく混合した。栽培法の概要は次のとおりである。品種；水稻サトミノリ。移植日；6月21日。植付様式；24×24cm(17.4株/m<sup>2</sup>)1株3本植。施肥；基肥6月19日、追肥7月3日、穂肥8月1日。水管理；中干し、7月25日から7月30日まで、落水；9月18日以降。刈取り；10月18日。その他、病害虫の防除および除草剤の使用は当場の使用基準によった。

ポット試験 a/5000ポットを用い、成熟期を3連制、生育途中の抜取を2連制とした。区名は圃場試験と同一であり、窒素(N)、加里(K<sub>2</sub>O)の施肥量はポット

当り、基肥0.3g、追肥0.2g、穂肥0.3gとした。リン酸(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)は+P区のみ、基肥に0.7gを重過リン酸石灰で施用した。その栽培概要は湛水、施肥6月14日、移植6月18日、ポット当り、1株3本植、追肥7月5日、穂肥8月1日、収穫、+P区10月14日、-P区10月21日、その他は圃場試験に準じた。

### (3) 分析法

土壌：pHはガラス電極法、全炭素はチューリン法、遊離酸化鉄はトルオーグ法、形態別リン酸は関谷らの方法<sup>116)</sup>、その他は前項に準じた。作物体；窒素はケルダール法、リン酸はバナドモリブデン酸法、鉄は原子吸光

法によった。

### 2) 試験結果と考察

#### (1) 土壌中の Bray No. 2 可給態リン酸含量

圃場枠およびポットを用いた鉄添加による土壌中の可給態リン酸ならびに2価鉄含量の消長は第38表のとおりである。2価鉄含量は圃場およびポットともP(+ )系列がP(-)系列より高く、これはこれまでの試験と同様で、リン酸施用による還元の進行に起因するとみられた。また、鉄添加量の増大による2価鉄の増加は非常に少なく、それはポット条件より圃場条件の方が明らかであった。

第38表 作土の pH, 2価鉄および Bray No. 2 可給態リン酸含量

(Fe<sup>2+</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>mg/100g)

圃 場 枠 (1972年)										
区 名	リン酸 鉄	分 げ つ 期 7月7日			幼 穂 形 成 期 7月31日(中干後)			穂 揃 期 8月23日		
		pH	Fe <sup>2+</sup>	可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	pH	Fe <sup>2+</sup>	可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	pH	Fe <sup>2+</sup>	可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
P(+)	0	6.66	120	31.9	6.10	68	30.5	6.80	278	41.8
	200	6.68	157	29.0	6.15	71	30.3	6.89	288	54.6
	500	6.67	125	27.0	6.00	90	22.1	6.90	254	52.3
	800	6.71	158	30.1	6.18	80	22.1	6.90	260	50.0
P(-)	0	6.46	82	2.6	5.90	26	1.6	6.80	269	3.1
	200	6.46	82	2.5	6.03	50	1.8	6.90	271	3.2
	500	6.45	76	2.4	6.00	57	1.4	6.82	281	3.3
	800	6.62	89	2.5	6.00	68	1.7	6.90	246	3.4
ポ ッ ト (1974年)										
区 名	リン酸 鉄	分 げ つ 期 7月9日			幼 穂 形 成 期 8月1日			穂 揃 期 8月24日 *9月2日		
		pH	Fe <sup>2+</sup>	可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	pH	Fe <sup>2+</sup>	可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	pH	Fe <sup>2+</sup>	可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
P(+)	0	6.30	127	44.7	6.72	236	51.5	6.85	284	56.2
	200	6.28	135	44.2	6.80	245	52.9	6.86	311	61.0
	500	6.30	160	42.8	6.80	249	47.9	6.89	305	51.1
	800	6.30	157	42.7	6.80	274	48.2	6.90	325	54.2
P(-)	0	6.12	72	2.1	6.68	165	2.8	6.70	213	2.6
	200	6.30	85	2.8	6.70	179	2.9	6.80	251	2.6
	500	6.32	100	2.0	6.65	201	2.9	6.85	277	2.8
	800	6.20	84	1.9	6.70	188	2.7	6.92	265	2.8

\*はP(-)区

一方、可給態リン酸含量は、圃場の場合、P(+ )系列が20~55mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g、ポットでは42~50mgであったのに対し、P(-)系列は3.4mg以下であり、これらリン酸含量はこれまでのべてきたように、水稻生育に対しP(+ )区ではリン酸の制約を受けない含量であり、P(-)

区では生育抑制が現われる含量である。P(-)区のこのようなリン酸含量の少ない条件下で、鉄添加による可給態リン酸含量は、あまり変化がみられないが、P(+ )区で、鉄添加土壌の2価鉄含量が低い条件、すなわち土壌還元がそれほど進行しない時期(その時期は圃場枠では

中干し後の幼穂形成期前、また、ポットでは分けつ期)において、鉄添加量の多い区に可給態リン酸の低下がみられた。

このことは前試験Ⅳ-2で示したように、土壌の遊離酸化鉄含量の高い佐賀土壌(海河成沖積土壌)や庄原土壌(頁岩質土壌)は、鉄含量の低い西条土壌(花こう岩質土壌)に比して Bray No.2 可給態リン酸含量が酸化状態において低く、還元状態で高くなる傾向と量的には少ないが似ており、鉄とリン酸の結合形態が変化するこ

とによるものと思われた。

(2) 水稻の生育収量

圃場枠およびポットにおけるリン酸の多少と鉄添加による水稻生育について、草丈はP(+)とP(-)ではP(-)系列が明らかに劣った。鉄添加による生育差は、ポットではみられなかったが、圃場枠の場合、生殖生長期以後の生育が良く、稈長が勝った。茎穂数は草丈よりも区間の差が大きく現われたので、その結果を第39表に示した。リン酸施用の効果は圃場枠よりポットの方が明瞭

第39表 圃場枠およびポットにおける茎(穂)数の変化

区名		圃場枠 (1972年)(本/m <sup>2</sup> )					ポット (1974年)(本/ポット)				
リン酸	鉄	7月6日	7月14日	7月31日	成熟期	出穂期(月・日)	7月5日	7月6日	7月31日	成熟期	出穂期(月・日)
P(+)	0	217	331	400	306	8.25	14.8	42.1	38.7	31.3	8.23
	200	216	346	424	314	8.24	14.4	42.7	36.8	32.0	8.23
	500	199	320	403	337	8.25	15.0	43.0	39.1	32.7	8.23
	800	214	327	409	318	8.25	15.0	41.7	37.9	31.7	8.23
P(-)	0	162	201	426	297	8.28	4.6	12.1	27.7	28.7	8.30
	200	146	197	467	294	8.28	5.1	12.5	25.3	26.0	8.31
	500	148	200	471	311	8.28	4.8	12.5	26.7	28.0	8.30
	800	142	180	410	284	8.28	4.8	12.3	27.2	27.7	8.30

であった。すなわち圃場枠では、分けつ期にP(-)区の茎数がP(+)区の約3/4程度であるが、その後挽回しP(+ )区と大差がなくなった。しかしポットでは最後までP(-)が劣った。リン酸不足の徴候は出穂においてもよく現われ、P(-)区がP(+ )区より圃場枠で3日、ポットで約7日遅れた。

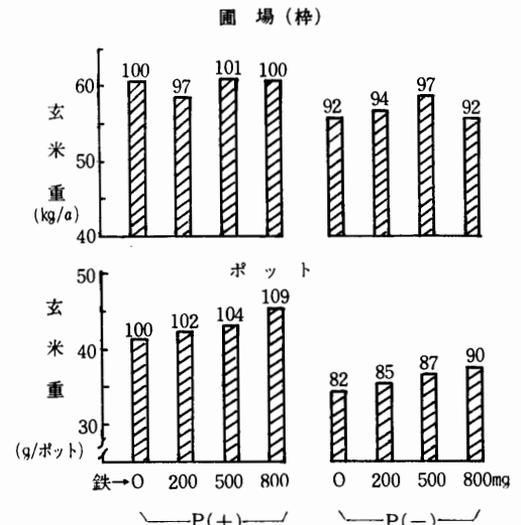
鉄添加が茎数に及ぼす影響は、圃場枠でP(-)鉄800mg区が抑制傾向を示したほかは、ポットにおいても鉄添加による影響はみられなかった。

籾重およびわら重の収量結果は第40表に、また、玄米収量は第48図に示した。これらの図表から、圃場枠およびポットともP(+ )系列の区がP(-)系列の区より勝った。鉄添加による影響は、圃場枠においてP(-)鉄800mg区の鉄多量施用の場合に、鉄無添加区と同等の収量であるが、その他の区は鉄添加による抑制効果はなく、かえって増収の傾向がみられた。このことはポットにおいて一層明らかで、いずれも鉄添加が収量増となった。これらを収量構成要素からみると、鉄添加によって1穂えい花数が増し、また、ポットでは登熟歩合の向上が認められた。

(3) 水稻の養分吸収

水稻の時期別リン酸、および窒素の含有量は第41表の

とおりである。P(-)区のリン酸含有率は分けつ期においては約0.3%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>で、P(+ )の1%前後に比べ著しく低い。鉄添加によって圃場枠でのリン酸の吸収量は若干低下する傾向を示したが、成熟期には鉄添加による差がなくなり、0.55kg/a前後の吸収量となった。一方、



第48図 鉄添加による玄米収量

第40表 水稻の収量調査成績

圃 場 枠		ポ ッ ト							
区 名	リン酸 鉄	籾重 (kg/a)	わら重 (kg/a)	登熟歩合 (%)	一穂えい 花 数	籾重 (g/ポット)	わら重 (g/ポット)	登熟歩合 (%)	一穂えい 花 数
	200	72.2	78.9	90.3	83.4	51.0	52.0	85.3	67.1
	500	75.7	79.3	89.5	86.6	51.5	51.4	89.7	64.1
	800	75.5	82.2	90.0	88.3	54.2	49.5	88.7	67.2
P(-)	0	69.7	66.7	86.2	89.9	42.2	38.6	67.3	68.1
	200	70.5	68.7	86.2	89.8	43.4	39.1	74.6	72.7
	500	72.6	70.2	83.6	91.7	44.5	39.9	70.8	73.4
	800	70.0	68.6	85.8	95.4	45.8	40.6	75.1	73.4

第41表 水稻のリン酸および窒素含有量

圃 場 (枠)		ポ ッ ト															
区 名	リン酸 鉄	7月15日				成 熟 期				7月16日				成 熟 期			
		含有率(%)		吸収量(kg/a)		吸収量(kg/a)		含有率(%)		吸収量 (mg/ポット)		吸収量 (mg/ポット)					
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N								
P(+)	0	0.92	3.63	0.086	0.34	0.57	1.04	1.11	3.92	104	368	429	682				
	200	0.88	3.90	0.072	0.32	0.56	1.01	1.10	3.96	102	368	440	704				
	500	0.92	3.72	0.072	0.29	0.58	1.09	1.12	4.06	109	336	433	706				
	800	0.89	3.71	0.068	0.28	0.57	1.12	1.11	4.04	104	380	449	693				
P(-)	0	0.38	3.51	0.019	0.17	0.54	0.80	0.27	3.12	6.8	80	140	548				
	200	0.37	3.53	0.017	0.17	0.51	0.84	0.28	3.38	7.3	88	139	568				
	500	0.36	3.40	0.016	0.15	0.55	0.85	0.30	3.46	7.2	83	154	571				
	800	0.33	3.37	0.016	0.16	0.52	0.80	0.31	3.36	7.1	77	151	585				

ポットでは、成熟期のリン酸吸収は鉄添加によって増加の傾向が認められた。

#### (4) 稲作跡地土壌の化学性

1972年、圃場枠水稻跡地の土壌について、pH、アンモニア生成量、遊離酸化鉄、リン酸吸収係数をみた、その結果は第42表のとおりである。これによると、P(+ )区、P(- )区ともpH 5.6前後であり、リン酸および水酸化第二鉄の施用によるpHへの影響はほとんどない。一方、鉄添加によって遊離酸化鉄の含量は増加するが、圃場条件のため、その増加量は、P(+ )系列とP(- )系列に一定の傾向は認められず、また鉄添加が計算どおりの増加量には達しないが、鉄200mg、500mg、800mg、各添加量の70~90%が遊離酸化鉄含量の増加となった。

このような土壌におけるリン酸吸収係数は、鉄の添加量が増加することによって高くなるが、鉄無添加区と鉄800mg添加区での吸収係数の違いは、100程度であり大

第42表 水稻作跡の作土の化学性

(1972年)

区 名	風乾土 pH	T-C	風乾土湛水 NH <sub>4</sub> -N	遊 離 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	リン酸 吸収係 数	
リン酸 鉄	(H <sub>2</sub> O)	(%)	(mg/100g)	(%)		
P(+)	0	5.85	1.38	11.0	0.93	421
	200	5.64	1.50	9.9	1.06	471
	500	5.71	1.44	9.3	1.39	488
	800	5.65	1.44	9.2	1.61	539
P(-)	0	5.61	1.15	7.5	0.96	387
	200	5.75	1.12	6.4	1.12	404
	500	5.45	1.20	6.6	1.40	429
	800	5.56	1.15	6.4	1.53	438

注) NH<sub>4</sub>-Nは30°C 4週間湛水

きな差異はみられなかった。また、P(+ )系列の区はP(- )系列の区より吸収係数が高いが、これは全炭素含量およびアンモニア生成量からみて、P(+ )系列の区が腐

植含量が高く、このことが吸収係数を高くしているものと考えられる。

つぎに鉄添加による形態別リン酸含量は、第43表のとおりで、P(+)区はP(-)区に比べ無機リン酸が多いが

第43表 水稲作跡の作土の形態別リン酸含量 (mg/100g) (1972年)

区名	全リン酸	Bray No. 2 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	形態別 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				有機態	難溶性
			Ca型	Al型	Fe型	Fe型		
P(+)	0	77.3	41.8	5.4	14.3	16.2	17.0	24.4
	200	87.6	54.6	7.4	18.8	17.6	14.6	29.2
	500	85.4	52.3	9.3	14.0	18.3	16.0	27.8
	800	85.4	50.0	7.7	15.4	19.2	12.3	30.8
P(-)	0	30.5	3.9	0.2	11.3	3.7	14.4	0.9
	200	29.3	3.9	0.2	7.9	5.0	13.5	2.7
	500	30.5	4.0	0.5	9.0	4.9	15.2	0.9
	800	33.0	4.1	0.5	7.9	5.3	13.3	6.0

注) Bray No. 2 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は作付時の還元土，その他は風乾土による。

有機リン酸はほぼ同じ含量であり、これについては高盛ら<sup>135)</sup>も同様のことをみている。鉄添加によってFe型リン酸が増大するが、それ以外のリン酸は明らかでない。岡本ら<sup>101,102)</sup>は酸性土壌で、リン酸は鉄やアルミニウムによる固定が大きいとし、Yuan<sup>164)</sup>も数種の土壌を用いて同様のことを述べている。固定の大きいことはリン酸の利用効率を悪くするが、江<sup>10)</sup>によれば、湛水前の土壌では置換性石灰含量が、置換性のアルミニウムや鉄含量より多いことは、リン酸化合物の中で石灰と結合したものが有利であろう。しかし湛水した酸性土壌では、置換性アルミニウムや鉄が石灰より多くなり、Al型リン酸やFe型リン酸が多くなる。これらは還元状態で容易に加水分解あるいは可溶性化される。そのため、水田においては、これらのリン酸は可溶性リン酸の給源になると述べているように、本試験におけるP(-)区は、Ca型リン酸が非常に少ないが、鉄添加区においても水稲のリン酸吸収量が高いことから、Fe型リン酸からもよく吸収利用されたものと考えられる。

(5) 鉄添加がリン酸に及ぼす効果の考察

花こう岩質土壌は一般に遊離酸化鉄含量が少なく、リン酸吸収係数が小さいため、土壌に固定されるリン酸含量も、火山灰土壌や頁岩土壌などに比べて小さく、畑状態においてもBray No. 2 可給態リン酸の割合が高いことはすでに述べた。しかし、この種の土壌においても、秋落対策などで含鉄資材を多投し、鉄含有率を高めた場

合には、リン酸の肥効が劣るのではなかろうか。とくに低リン酸含量の土壌においてそのことが考えられるので鉄添加によるリン酸の肥効を検討した。

鉄添加によって遊離酸化鉄含量が高まり、リン酸吸収係数も若干高まる。しかし水稲を作付した湛水期間の土壌のBray No. 2 可給態リン酸含量は、土壌がごく酸化的な期間においては、鉄含量の高いものが僅かに低い値を示した。しかし還元化の進んだ段階では可給態リン酸は一様に増加し、鉄施用量との関係はみられなくなった。

鉄添加による遊離酸化鉄の増加は、湛水によって2価鉄含量の増大が考えられるが、圃場枠においては生育後期に、かえって鉄添加量の多い区が2価鉄の少ない傾向さえみられた。このことは鉄添加によって土壌が改善され、水稲根による培地の酸化<sup>76)</sup>が考えられる。ポットにおいては鉄添加量の多いほど2価鉄は高まるが、これは圃場条件よりも土壌温度が高いことによる還元の発達が大きかったことによるものと思われる。

このような鉄添加によるリン酸の肥効で、とくにP(-)系列に注目したが、鉄の添加は、生育の初期においても分けつを抑制するようなことは認められなかった。

リン酸吸収は圃場枠では初期の酸化条件のもとで、鉄添加の多い区に吸収の低下が僅かにみられた。しかし後期には吸収量に差がなくなり鉄500mg区まではプラスに働き、稈長が高く、P(-)区においても収量が上った。

また、鉄の添加は第44表にみられるように、添加量を増しても水稲の鉄含量は増加しない。この鉄添加による効果は根圏の保護に役立ち、根の健全性が維持されたことから、登熟が良好となり、収量が増したものと考えられる。

第44表 水稲の鉄含量 (Femg/100g)

区名	鉄	上位3葉	
		穂揃期	成熟期
P(+)	0	6.7	9.1
	200	5.9	9.6
	500	6.2	9.3
	800	6.2	9.4
P(-)	0	6.5	10.6
	200	5.1	8.6
	500	6.3	10.0
	800	5.8	9.2

松村ら<sup>78)</sup>は暖地水稲のリン酸濃度を調節するため、黒ボクや赤土客土を行い、リン酸吸収係数を高め、1%

クエン酸可溶 $P_2O_5$ を20mg/100gに下げることが、体内のN/P比維持からも好ましいとした。また、暖地では、リン酸吸収係数と収量との間に直線関係がみられ、吸収係数の高い方が収量が高いこともみられている<sup>145)</sup>。これらは生育初期の稲体のリン酸吸収の調節に帰するものであろう。また、井手<sup>47)</sup>は佐賀の海河成沖積水田において、直播水稲は移植水稲よりリン酸吸収率が低いことを報告しているが、佐賀土壌は前項Ⅳ-2で示したように遊離酸化鉄は2.27%もあり、酸化還元によってBray No.2可給態リン酸の量が大きく異なってくるため乾田直播栽培のような比較的酸化的に経過する条件下では水稲のリン酸吸収が劣ったものと解釈される。

しかしながら本実験における鉄添加は土壌の遊離酸化鉄が増し、リン酸吸収係数も若干高まるが、水稲の生育、リン酸吸収量にはほとんど影響がない。すなわちP(+)区における初期のリン酸吸収の調節的処理効果はなく、また、P(-)区においても鉄によるリン酸の吸収抑制の関係は認められなかった。したがって本土壌での鉄添加による増収効果は、リン酸吸収の調節手段よりも、土壌環境が改善された結果と考えられた。

以上のことから暖地における花こう岩質水田土壌では鉄資材を施用し、遊離酸化鉄含量を0.9%から1.6%に増加させたとしても、移植水稲に対するリン酸の肥効に悪影響を及ぼさずかえって根の環境をよくする効果が認められた。

## 5. 要 約

花こう岩質土壌は、一般にリン酸吸収係数が低く、塩基置換容量が小さく、しかも鉄含量が少ない。このような土壌を畑から湛水へ切替えた場合のリン酸の可給化の様相を調べ、また、土壌の塩基置換容量の小さいことと、水稲に対するリン酸の肥効の関係、および鉄の添加が土壌リン酸の可給化に及ぼす影響と、それが水稲に対するリン酸の肥効について検討し、次の結果を得た。

(1) 全リン酸含量が同程度である異った4種類の水田土壌を用い、インキュベーションにより、畑状態から湛水によって可給化されるBray No.2リン酸量を測定したところ、佐賀土壌(海河成沖積土)や庄原土壌(頁岩土壌)は、畑状態では可給態リン酸が10mg $P_2O_5$ /100g程度であるが、還元化とともに増大し、82~107mgとなった。大朝土壌(花こう岩を含む黒ボク土)は畑土で25mgから還元状態で50mgとなり、全リン酸155mgに対する可給化量が低い。それに対して、西条土壌(花こう岩土壌)の可給態リン酸含量は畑で50mgが還元状態では84mgとなり、酸化状態においても可給態リン酸含量が高い。

そのため、作物は畑状態においても他の土壌よりリン酸をよく吸収利用できるものと解釈された。

(2) これら土壌の遊離酸化鉄含量は、庄原土壌、佐賀土壌で高く、大朝土壌、西条土壌において低い。還元による最大生成量の2価鉄含量は遊離酸化鉄含量と関係し、また、土壌還元によるBray No.2可給態リン酸の増加は2価鉄含量と深い関係がみられた。

(3) 土壌リン酸含量の低い花こう岩質水田心土にゼオライトを添加したCEC大の土壌と、無添加のCEC小の土壌を用い、リン酸の施肥量を変え、CEC大・小の土壌における水稲に対するリン酸の効果をみたところ、初期生育はとくにリン酸施肥量に関係するが、CEC小の土壌はリン酸の低いレベルにおいても莖数が多く、また、水稲のリン酸含有率がCEC大の土壌と等しい条件では、CEC小の土壌の莖数が多かった。すなわち、土壌および稲体のリン酸が一定の条件では、CEC小の土壌の生育がよい。これは移動性窒素、とくに土壌溶液の窒素濃度が高く、窒素が水稲に利用されやすいことがリン酸の吸収を助長したものと考えられた。

(4) 収量は、CEC大の区がCEC小の区より高く、CEC大の区はリン酸施肥増とともに増収したが、CEC小の区は土壌溶液の窒素濃度が高いため、初期生育がリン酸施用の多い区で旺盛となった。しかし生育後半は養分の持続性がないために収量が低下した。このことから花こう岩質土壌は、リン酸の利用度が高く、置換容量の高い土壌よりリン酸施肥の必要性が少ない。また生育後期にリン酸の肥効を高めるためには、窒素吸収との関連を考慮する必要がある。

(5) 施肥リン酸は土壌リン酸より生育の初期において肥効が高く、とくにCEC小の土壌で明らかであった。CEC大の土壌は、施肥P40区(土壌 $P_2O_5$ 28mg、施肥 $P_2O_5$ 12mg/100g)と土壌P60区(土壌 $P_2O_5$ 58mg)の比較で、土壌P60区が初期生育において劣ったが、その後の生育は良好であった。しかしCEC小の土壌では、土壌P60区が施肥P40区より低収となった。これは初期の可給態リン酸の不足による生育抑制が窒素の吸収を悪くし、その後、リン酸が可溶化しても窒素保持力の弱い土壌のため、施肥窒素が系外へ多く失われたためと推察された。

(6) 水酸化第二鉄を200~800mg $Fe_2O_3$ /100g添加した場合のリン酸の効果は、遊離酸化鉄は1.1~1.6% $Fe_2O_3$ に増加したが、リン酸吸収係数はわずかに変化する程度で、処理による作付期間のBray No.2可給態リン酸含量の変化は少なく、水稲のリン酸吸収や生育に対する抑制効果はみられなかった。

(7) 鉄の添加によって、後期の生育がよくなり収量が増加した。これはとくに圃場よりポットにおいてよく現われたことから、温度の高いことが鉄によるリン酸の固定抑制を緩和し、生育後期の根の活性維持に役立つためと考えられた。

## V 窒素およびリン酸の施肥条件が水稻のリン酸肥効に及ぼす関係

### 1. まえがき

水稻の養分供給と生育反応の関係については、すでに1930年代において、春日井<sup>57)</sup>や石塚<sup>49)</sup>による水耕培養によって、稲作の全生育期間にわたる養分供給量、供給時期その他窒素の形態、培養液の反応などと生育、収量の関係が明かにされ、水稻に対する養分供給の基礎が樹立された。ついで、木村<sup>60)</sup>や高橋<sup>131)</sup>岡島<sup>104)</sup>らによる要素の供給と水稻生産の部分能率に関する研究成果は、その後の水稻に対する窒素をはじめとする要素の施肥法に大きく貢献した。

近年にいたり、本谷<sup>43)</sup>は水稻の生育調整に関する栄養生理的研究から、水稻の体内代謝の流れには、蛋白代謝と炭水化物代謝の二方向が主体をなすものであり、蛋白代謝に対しては窒素が、また糖代謝に対しては、リン酸が密接に関係した無機成分であり、したがって窒素とリン酸の供給方法によって水稻生育を調整できるとし、試験の結果、それらの供給法から、水稻の生育型を4つに区分し、期待生育を得るための新しい角度からの施肥技術指針を与えた。しかしながら、これら一連の試験は、寒冷地における栽培条件であり、暖地における圃場条件、すなわち、水稻初期の乾物生産が寒冷地より旺盛なことから、群落として、茎葉の繁茂度が異なることまた、土壌の諸性質が相違していることなどから、暖地の水田におけるリン酸施肥体系の資料をうるためには、その場所でリン酸と窒素の施肥法を定量化し検討することが重要と考える。

さて、これまでのべてきた本研究において、リン酸区と無リン酸区の生育および体内組成からみた両区の大きな差異は、リン酸区は初期茎数の増加が大であること、最高分げつ期が早く、有効茎歩合の低いことがあげられ、それを体内のリン酸、窒素および全炭水化物含量の時期別推移から考察を加えてきた。また、花こう岩質土壌は、リン酸の可給化や塩基置換容量の小さいことなどの二三の要因から、水稻に対して土壌中のリン酸含量が低くても、茎数の増加が容易であることを明らかにしたが、本実験では、これらの水稻に対するリン酸の施肥反

応をふまえて、窒素ならびに水管理などの他要因を改善したうえで、より積極的なリン酸の供給をはかり、水稻の生産量が向上するか否かを検討しようとした。

すなわち、水稻生育の初期から体内リン酸濃度を高めるため、育苗期においてリン酸および窒素の施肥法を変え、体内のリン酸および窒素の異なる苗が本田の生育、収量に及ぼす効果をみようとした。また、前述のように、リン酸施用は無施用より、茎葉の窒素濃度が早く低下し、無効茎を多くするため、窒素追肥による茎数維持をはかり、また、水管理を組み入れ、土壌環境を改善してリン酸による生産能をあげようと試みた。

### 2. 苗のリン酸含量の差異が本田の生育に及ぼす影響

#### 1) 試験方法

##### (1) 苗代

供試土壌は農試場内圃場の花こう岩質沖積水田の心土を用いた。その理化学性は土性S L, 全炭素0.33%, 全窒素0.04%, 全リン酸37mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g, C E C 5.9meである。土壌は0.5cmの篩で篩別し、58×35cm, 深さ10cmの木枠ポリエチレン布張りの容器に、乾土当り10.8kgを生土で充填した。リン酸施肥量は0, 15, 100mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100gとし、窒素をN少(基肥10mg, 追肥5mg/100g), N中(基肥20mg, 追肥10mg/100g), N多(基肥40mg, 追肥20mg/100g)の3段階とした。

なお、リン酸は重過リン酸石灰を用い、全量基肥とし、加里は窒素と同量、同割合で分施した。使用肥料は塩化物を用いた。ほかに、水酸化マグネシウムを10mg MgO/100gの割合で全区に施用した。

供試水稻品種は中生新千本、播種5月14日109ml/m<sup>2</sup>播き、苗代期間は湛水し、6月25日の移植日に抜取り、苗の形態ならびに体内成分の調査を行った。

##### (2) 本田

供試水田土壌は凝灰岩を含む花こう岩沖積水田土壌、土性は壤土、全炭素1.14%, 全窒素0.12%, 全リン酸65mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g, Bray No. 2 可給態リン酸30mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g(湛水土), C E C 7.7meである。植付けの条件は、60m<sup>2</sup>の地力均一な圃場に6月25日、窒素、リン酸の施肥法を異にした苗を24×24cm間隔で、1株1本植および1株3本植とし、1区2.5m<sup>2</sup>44株を移植した。

移植した苗は、移植後4日と6日に各区より抜取り、発根量ならびに体内成分を調査した。その他は成熟期まで栽培し、生育、収量ならびに無機成分を調査した。供試田の施肥量は、6月23日基肥N 0.5kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.7kg, K<sub>2</sub>O 0.5kg/a, 7月2日中間追肥としてN, K<sub>2</sub>O各0.2kg/a, 8月2日穂肥N, K<sub>2</sub>O各0.3kg/aとした。

なお窒素、加里は基肥には硫酸塩、中間追肥および穂肥は塩化物を使用した。リン酸は全量基肥とし、過リン酸石灰を用いた。

栽培概要は、7月20日から7月27日まで中干し、その前後は湛水とし、9月上旬に落水した。刈取りは10月20日に行った。その他、病虫害の防除、除草剤は当場の使用基準により適期に使用した。

### (3) 分析法

作物体は80°Cで乾燥したものを乾物とし、粉碎後窒素はケルダール法、リン酸は灰化珪酸分離後バナドモリブデン酸法によった。また全炭水化物は0.7N塩酸で2.5時間沸騰水中で加水分解後、ソモギー法により全還元糖と

して定量した。土壌の可給態リン酸は Bray No. 2 法によった。

### 2) 試験結果と考察

#### (1) 苗代における結果

発芽は順調であったが、2葉期にいたり、リン酸多量区は葉色がうすらぎ、葉身の先端が褐変した。この現象は鉄の不足と考えられたので、全処理区に15 ppm Fe含有の塩化鉄溶液を施用した。その後はこの褐変現象はみられなくなり、窒素、リン酸施肥による差が明らかとなった。すなわち、苗の生育はリン酸および窒素施肥量の多いほどおおむね良好であった。42日経過した苗の生育および体内組成は第45表に示した。この表より、水稻

第45表 リン酸施肥量と苗の生育および養分含量

6月25日抜取(42日苗)

区名		草丈 (cm)	茎数 (本/個体)	葉令	10個体(乾)		苗の成分		
窒素	リン酸				茎葉重 (g)	根重 (g)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	全炭水化物 (%)
N少	0	17.2	2.3	6.6	0.92	0.23	1.57	0.49	40.2
	5	18.8	2.7	6.8	1.33	0.29	1.48	0.69	38.6
	15	19.1	2.8	6.8	1.27	0.36	1.58	0.94	38.8
	40	19.9	3.4	6.9	1.44	0.39	1.72	1.20	35.6
	100	19.0	3.2	7.0	1.34	0.46	1.56	1.72	36.4
N中	0	23.1	2.7	6.6	1.27	0.31	2.41	0.46	31.4
	5	24.0	3.5	7.1	1.30	0.33	2.36	0.65	31.6
	15	23.6	3.6	6.9	1.41	0.34	2.26	0.93	32.7
	40	22.9	3.6	7.3	1.60	0.40	1.97	1.05	35.6
	100	25.3	3.7	7.3	1.80	0.50	1.88	1.50	36.3
N多	0	23.4	2.1	6.7	0.83	0.20	4.04	0.39	26.8
	5	28.1	4.1	7.2	1.43	0.27	4.08	0.68	19.3
	15	30.3	4.6	7.3	1.77	0.31	3.80	1.00	23.9
	40	30.0	5.3	7.6	1.83	0.32	3.85	1.46	22.0
	100	29.9	6.4	7.4	1.91	0.31	3.69	1.74	23.3

生育は、窒素施肥量の多いほどリン酸多量施用の効果がよく現われ、とくに茎数と茎葉重に明らかな関係がみられた。また、苗の窒素含有率は窒素施肥量が多いほど高くなるが、リン酸施肥量が多いと窒素含有率の低下がみられた。これはリン酸による乾物生産の増大によるもので、窒素吸収量はリン酸増肥により高まっている。リン酸含有率はリン酸施肥量の増大とともに高くなるが、窒素施肥量との関係では、リン酸0区においては、窒素施肥量の多いほどリン酸含有率が低下し、リン酸5区以上では同じリン酸区で窒素施肥による関係はみられず、リン酸施肥量に応じて、ほぼ同様の含有率を示した。一方、全炭水化物はN少はN多より高く、一般にみられる

傾向と変わらないが、リン酸施肥量との関係ではN中の場合はリン酸多施ほど生育量が増大し、窒素含有率の減少、全炭水化物含量の増加となった。しかし、N多の場合はリン酸施用の効果がより大きく現われ、生育量が旺盛となったが、全炭水化物はリン酸増肥によって高まらず、リン酸0区よりむしろ低い値を示し、高塩類低糖類の状態となった。

これら処理区の苗抜取時における土壌中の可給態リン酸の含量を調査したが、窒素施肥量間には差がなく、第46表のように、リン酸0区はこれまでの試験結果からみて、水稻がリン酸欠乏症をおこす土壌リン酸含量であり、また、リン酸15区の土壌は欠乏を生じない程度の低含量

**第46表 土壌のBray No.2可給態リン酸含量(苗抜取時)**  
(mg/100g)

項目	施肥 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	5	15	40	100
可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		3.0	4.1	7.3	19.9	64.9

であり、リン酸100区は多量の範囲であった。

2) 本田における結果

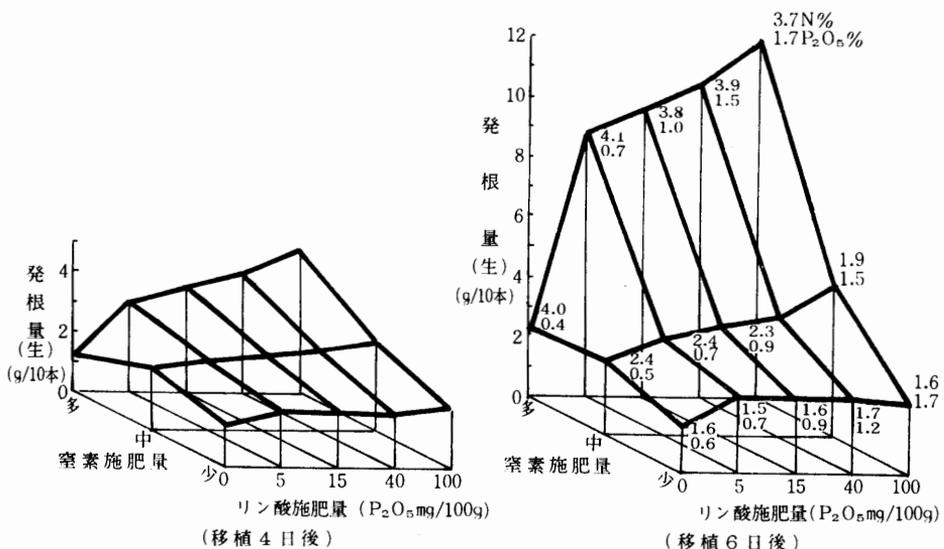
(1) 移植後の初期発根力

6月25日、苗床より抜取り、根をよく水洗し、根元0.5cmから断根し、本田に移植してその発根量を調査した。その結果は第47表、第49図のようである。移植4日後お

**第47表 窒素およびリン酸の施肥量を変えた苗の本田における発根量** (10個体当り)

区名	窒肥	リン酸	発根量							
			移植4日後				移植6日後			
			根長 (cm)	根数 (本)	根量 (生g)	発根能*	根長 (cm)	根数 (本)	根量 (生g)	発根能*
N少		0	7.3	263	1.4	1.5	10.0	280	1.6	1.7
		5	7.7	283	1.8	1.4	11.3	263	2.4	1.8
		15	7.5	260	1.9	1.5	10.3	233	2.5	2.0
		40	7.2	340	1.9	1.3	8.7	257	2.4	1.7
		100	7.8	313	2.0	1.5	8.7	263	2.3	1.7
N中		0	8.9	233	2.0	1.6	9.1	217	2.4	1.9
		5	6.8	267	2.2	1.7	9.9	260	3.1	2.4
		15	8.1	290	2.5	1.8	11.4	313	3.6	2.6
		40	7.9	257	2.7	1.7	11.1	360	3.9	2.4
		100	7.7	387	3.0	1.7	10.7	373	5.2	2.9
N多		0	6.8	167	1.2	1.5	9.6	213	2.2	2.7
		5	9.1	270	3.0	2.1	11.5	360	8.8	6.2
		15	8.0	357	3.5	2.0	10.7	393	9.6	5.4
		40	8.9	397	4.0	2.2	11.8	533	10.4	5.7
		100	9.8	506	4.9	2.6	12.5	503	11.9	6.2

注) 根長は最長根の平均値 \*発根能: 移植時茎葉1g(乾)当り発根重g(生)



**第49図 苗床の施肥量が移植後の発根量におよぼす影響**

注) 数字の上段は移植時の茎葉のN%, 下段はP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>%を示す。

よび6日後の本田における発根は、培地養分の影響は極めて少なく、発根量の差は主として生体の大きさと体内成分の影響によるものとみてよい。第47表、第49図から、茎葉の窒素およびリン酸含有率が低濃度の場合には発根力が劣る。すなわち、N少の段階、茎葉の窒素が1.6%以下では、リン酸施肥量を上げて発根量は低リン酸のものとの差がなく、総体に根量が少ない。また、移植時、苗のリン酸含有率が0.4% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>以下では、窒素増肥の効果がなく、かえって発根力は低下した。しかし移植時の窒素濃度が高いと、リン酸濃度の増大とともに著

しく発根力が増し、単位茎葉重に対する発根量においてもそれが認められた。なお、これらの関係は、移植4日後より6日後において一層明らかであり、このことはHoagland<sup>39)</sup>によって高塩低糖状態の植物は、最初の生長量が大きいと述べていることとよく符合している。

(2) 本田における生育収量および養分吸収

本田期間における生育、収量ならびに養分吸収の結果は第48表に示した。本田生育は発根力と関係が深く、生育初期ほどその傾向が強く現われた。すなわち、N少およびN中がリン酸量の多い苗ほど、初期生育が旺盛であ

第48表 本田における生育、収量および養分吸収量

区名	7月16日 茎数 (本/m <sup>2</sup> )	成熟期 穂数 (本/m <sup>2</sup> )	わら重 (kg/a)	精玄 米重 (kg/a)	精玄米 収量比 (%)	1 えい花数	穂 登熟歩合 (%)	7月16日	7月16日	成熟期	成熟期	
								茎葉 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 吸収量 (kg/a)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 吸収量 (kg/a)	N 吸収量 (kg/a)	
1	0	134	354	63.1	54.3	100	105	65.5	1.12	0.02	0.49	1.25
	5	158	366	66.4	56.5	104	105	69.6	1.10	0.03	0.47	1.17
	15	164	342	65.3	56.3	104	92	73.0	1.07	0.04	0.48	1.26
	40	193	381	68.4	58.4	108	94	71.7	1.08	0.04	0.50	1.19
	100	174	343	67.5	56.0	103	102	71.5	1.09	0.04	0.50	1.31
本 N中	0	198	390	71.1	56.4	104	111	63.6	1.18	0.04	0.53	1.28
	5	226	395	70.7	59.8	110	86	69.3	1.12	0.05	0.55	1.32
	15	273	416	72.1	61.4	113	84	70.5	1.11	0.05	0.56	1.39
	40	228	386	69.8	59.9	110	88	70.6	1.11	0.05	0.52	1.17
	100	240	390	71.8	60.8	112	88	70.2	1.09	0.06	0.51	1.24
植 N多	0	160	330	65.1	51.9	96	96	63.6	1.48	0.04	0.50	1.10
	5	301	388	76.8	54.4	100	85	70.3	1.19	0.07	0.48	1.17
	15	360	465	78.3	61.5	113	77	69.2	1.10	0.07	0.56	1.26
	40	390	463	76.5	58.3	107	73	64.1	1.05	0.07	0.58	1.23
	100	423	479	78.5	56.8	105	79	62.0	1.01	0.08	0.54	1.22
3	0	151	409	71.7	57.2	105	82	71.1	1.10	0.05	0.49	1.18
	100	150	456	74.1	52.7	97	93	62.4	1.02	0.06	0.48	1.19
本 N中	0	181	465	77.3	49.0	90	84	63.9	1.16	0.07	0.49	1.23
	100	224	482	78.1	55.6	102	78	59.4	1.02	0.09	0.49	1.30
植 N多	0	186	428	74.3	56.8	105	81	58.9	1.36	0.08	0.55	1.31
	100	438	585	90.0	54.7	101	73	68.7	0.97	0.13	0.58	1.46

ったが、2週間以後は苗の影響はなくなった。N多リン酸増肥苗は一層その効果が明らかで、リン酸少肥苗より草丈、茎数が後期まで勝った。しかし、これら増肥区は程が細くなり、茎穂数の増加の割には乾物重の増加が伴わなかった。また、リン酸多量苗は有効茎歩合が低下した。植付本数では、1本植と3本植は上記の関係は同様の傾向がみられたが、3本植は茎穂数が多く、とくにN多リン酸多量苗では長程で程が細くなり、登熟期には半

ば倒伏状態を呈した。

収量について、1本植の場合、窒素増肥ほどわら収量が増すが、玄米収量には差がなく、また、リン酸施用については無リン酸苗で僅かにわら重、玄米重とも低下した。リン酸増肥の効果は穂数増にみられたが、登熟歩合、1穂粒数の低下から収量増にはいたらなかった。3本植は1本植より穂数が増加したが、一層、登熟条件が悪くなり、その効果がみられなかった。

稲体の窒素およびリン酸含有率について、苗の含有率はすでにのべたが、本田移植後、分げつ期のリン酸含有率は、高リン酸苗が低リン酸苗より低い。しかし、その吸収量は高リン酸苗がおおむね高い。このことは高リン酸苗の発根ならびに生長量が旺盛なことによるものであるが、それらの差は小さく、低リン酸苗においても本田におけるリン酸吸収の大きいことがうかがわれた。

成熟期における窒素およびリン酸吸収量は、N少およびN中の高リン酸苗の場合、低リン酸苗とほとんど変わらない。しかし、N多の場合には低リン酸苗より高リン酸苗の方が高い傾向にあった。

### (3) 考 察

リン酸および窒素成分の異なる苗を育成するため、それらの施肥量を変えて栽培した。稲体のリン酸含有率は0.39% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>から1.74%、窒素含有率は1.48%から4.08%の範囲となり、一応希望する苗が得られた。一般に、分げつ期茎葉のリン酸濃度は、リン酸の増肥によっても1% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>前後であり、増肥によるこれ以上の含有率は示しがたい。しかし、本実験では、1.74% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>まで増加することから、苗のリン酸含有率はこの時期にはリン酸施肥量に大きく支配されるようである。

苗の生育について、本谷<sup>42)</sup>は東北における火山灰水田の稲作改良の研究から、分げつ増加に対する茎葉リン酸の限界濃度は、0.39% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>前後であり、窒素は2.5%前後であるとし、窒素が2.5%以上の存在で、リン酸は0.39% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>以上から分げつ増加に役立つことを明らかにした。本実験では、N少、N中の場合、苗の窒素含有率は2.5%以下であり、この場合のリン酸増肥による茎数の増加はごく僅かであった。しかしN多では3.6%以上となり、リン酸増肥による茎数増の効果がみられた。一方、リン酸含有率はN多無リン酸区で最も低下したことから、リン酸欠乏症は窒素多施用によって一層促進されることがうかがわれた。

健苗は体組成から、窒素、リン酸および糖含量の高い性格のものであり、移植後の生育を有利にするが<sup>42)</sup>、N多リン酸増肥区は育苗期において、生育量が最も旺盛であったが、全炭水化物の少ない軟弱な苗となった。すなわち、稲体の窒素含有率は3.6%以上となり、リン酸増肥によっても炭水化物含量は高まらない。このことは本谷のいう、この時期のリン酸は窒素の存在において、より一層蛋白代謝を盛んにする<sup>42)</sup>ことからして、リン酸増肥が炭水化物集積に及ぼす影響の少ないことが理解される。

本田移植後の生育量は、高リン酸、高糖の健苗とみられるN中リン酸増肥苗より、窒素がやや過剰で、若干植

え傷みのみられたN多リン酸増肥苗の方が良好であった。このことから苗の組成は、リン酸含量を高めても、全炭水化物含量が増加しなくなる点の窒素含有率が望ましいと考えられる。これについてはさらに検討を要するが、予備試験の結果と併せて考察すれば、暖地の普通移植苗では、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>1.7%前後、N3.0%前後の含有率が望ましいと推論される。この窒素の値は寒冷地におけるよりも低い値である<sup>42)</sup>。

苗の組成が収量ならびに養分吸収に及ぼす効果は、寒冷地ではその素質が収量に大きく反映する<sup>42)</sup>。しかし暖地の本実験においては、おおむね移植後20日間で、生育ならびに養分含量に及ぼす苗組成の効果は消失し、生育差がなくなった。また、N多リン酸増肥区は初期生育に最も効果がみられ茎数が多くなった。しかし、稈が細く、1穂粒数が減少し、登熟歩合が低下し、初期生育の促進が収量増に結びつかない。一方、苗のリン酸が0.5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>以下では生育ステージが遅れ、登熟歩合の低下から減収となった。そして苗のリン酸含有率が0.5~0.7%では茎数増加が若干遅れるが、収量は大差なく、リン酸が0.7%以上の場合は収量への影響がない。

## 3. 窒素施用法によるリン酸の肥効

### 1) 試験方法

#### (1) 試験の条件

供試水田は農試Ⅱ-4水田圃場、土壌は凝灰岩を含む花こう岩湖成沖積土、減水深0.7cm/日、グライ土壌粘土型(1969年に深さ60cm、幅4m間隔で暗渠設置)。試験面積6aのうち3aを1969年より稲、麦無リン酸栽培とし、3aをリン酸施肥として継続し、1970年と1971年の2か年にわたって本試験を実施した。供試水田土壌の理化学性は第49表のとおりである。

#### (2) 試験区の規模と構成

1区12.5m<sup>2</sup>とし、1970年は3連制、1971年は4連制で行った。試験区名と窒素の分施肥は第50表のとおりである。無リン酸区(P(-)区)はリン酸無施用3作目、1971年は同じく4作目の継続無リン酸区である。リン酸区(P(+))区は毎作リン酸肥料を施用し、本実験においては、両年ともリン酸1.5kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/aを全量基肥施用した。

窒素の施用時期は1970年は基肥6月18日、中間追肥(1)6月29日、中間追肥(2)7月20日(出穂35日前)穂肥8月1日とした。1971年は基肥6月16日、中間追肥(1)7月2日、(施肥後除草機を押し、肥料を土壌と混合)中間追肥(2)7月2日、穂肥7月31日とした。

1970年は、中間追肥(2)および穂肥の有無によって生育

第49表 供試水田土壌の理化学性

(1970年5月)

層位	深さ (cm)	土性	PH (H <sub>2</sub> O)	T-C (%)	T-N (%)	T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	風乾土 遊離 NH <sub>4</sub> -N (mg/100g)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	吸収係数		CEC (me)
									N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
1	0~18	CL	5.7	1.4	0.14	65.0 (41.0)	8.4 (7.9)	0.96	205	366	11.7
2	18~38	CL	5.7	0.7	0.06	23.0	—	—	—	—	7.4
3	38~50	CL	5.4	0.6	0.07	50.0	—	—	—	—	9.1

注：( )はP(-)区 NH<sub>4</sub>-Nは30°C 4週間湛水

第50表 試験区とその施肥設計の内容

1970年度

区	名	Nの分施 (kg/a)					
		P	N	基肥	中間1	中間2	穂肥
P(-), P(+) とも 共通	3-2-0-0			0.3	0.2	0	0
	3-2-1-1			0.3	0.2	0.1	0.1
	7-3-0-0			0.7	0.3	0	0
	7-3-1-3			0.7	0.3	0.1	0.3

1971年度

区	名	Nの分施 (kg/a)					
		P	水管理	N	基肥	中間1	中間2
P(-), P(+) とも 共通	湛水		5-2-0-0	0.5	0.2	0	0
			5-2-1-2	0.5	0.2	0.1	0.2
	中干し		5-2-0-0	0.5	0.2	0	0
			5-2-1-2	0.5	0.2	0.1	0.2

後期の窒素濃度を変え、リン酸の肥効をみた。1971年は生育後期の窒素施肥の有無に、湛水と中干し処理を設け中干しは7月4日から7月23日までの長期間で弱い中干し(pF 1.5を目標)とした。

施用肥料の形態は、両年ともリン酸は重過リン酸石灰、窒素および加里は基肥および中間追肥(1)にNK硫酸塩、中間追肥(2)に塩化アンモニウム、穂肥にはNK塩化

物を使用した。なお加里の施用量は窒素に準じた。

(3) 一般栽培の概要

水稻品種は両年ともサトミノリを供試した。植付様式24×24cm (17.4株/m<sup>2</sup>)、1株3本植とし、1970年は6月19日に移植、10月15日刈取り、1971年は6月17日移植10月14日に刈取った。なお、一般の中干しは5日間行った。

(4) 分析法および土壌水分の測定

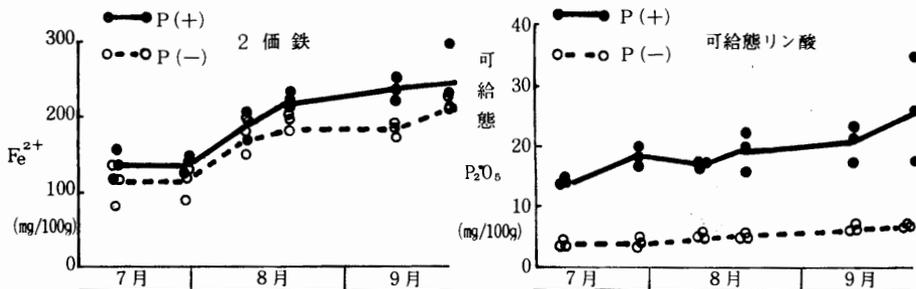
土壌；可給態リン酸は Bray No. 2 法、2価鉄はα-α'ディピリディール法、pF はポーラスカップを土中に埋設し、テンションメーターで毎日10時に測定した。作物体：窒素はケルダール法、リン酸はバナトモリブデン酸法で、詳細は前試験のとおりである。

2) 試験結果と考察

1970年作付期間の気象の特徴として、分げつ期が寡照であった。そのため全般に莖数が少なく、有効茎歩合が概して高い傾向にあったが、窒素施用量の違い、あるいは生育中後期の窒素追肥の有無による有効茎歩合には差がみられた。1971年の気象は、分げつ期は日照時間が多かったため、リン酸施肥の有無による莖数差が大きく現われた。しかし、出穂後の気温、日照量が低かったため、登熟歩合はやや落ちたが、処理間の差は認められ、両年とも試験遂行上、支障がないものと思われた。

(1) 土壌中の2価鉄、可給態リン酸および中干し期間の土壌水分

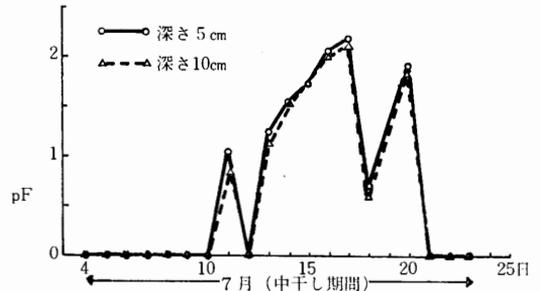
作付期間における Bray No. 2 可給態リン酸含量の



第50図 土壌の2価鉄および Bray No. 2 可給態リン酸含量 (1970年)

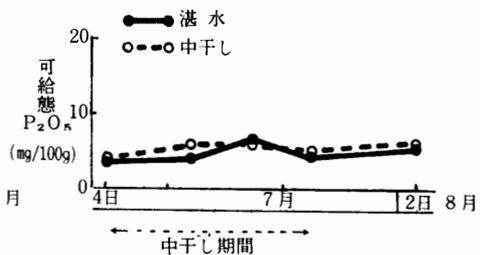
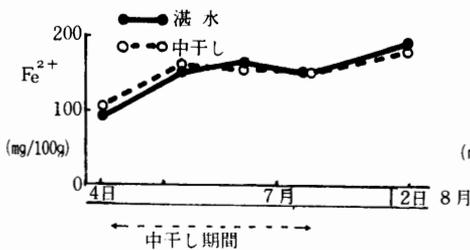
消長について、両年にわたり調査したが、P(-)区の含量は両年とも3~7mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100gであり、P(+ )区は1970年は15~35mg, 1971年は15~40mgの範囲で、2価鉄含量の増加とともに高くなり、また、P(+ )区はP(-)区より2価鉄が増加し、より一層還元が進んだことを示している(第50図)。なお、窒素施肥法による可給態リン酸含量にはほとんど変化がなかった。また、土壌 pH は湛水初期6.2前後であり、その後8月中旬から落水期までの湛水期間は6.9~7.0であった。

つぎに、1971年、中干し処理による土壌の変化は、例年より雨量の少ない年であったので、処理開始1週間で田面に亀裂ができ、中干し中期から後期に、1~1.5cmの大亀裂が畦間に沿って生じた。しかし pF の推移は、第51図のように pF 1.5以上が4~5日程度であり、土壌水分が高く経過した。また、深さ5cmと10cmでは、後者が僅かに高いが、両者の pF は同様の傾向で推移した。



第51図 中干し期間の pF の推移

湛水処理および中干し処理による土壌2価鉄と可給態リン酸含量の時期別変化をP(-)区について第52図に示した。中干し区は亀裂外の場所から採土して分析に供したが、本土壌の粘土質グライ土では、第51図に示された



第52図 水管理による土壌2価鉄および Bray No. 2 可給態リン酸含量 (P(-)区) (1971年)

土壌水分の低下においても、2価鉄ならびに可給態リン酸含量にはほとんど変化がみられなかった。このような傾向はP(+ )区についても同様であり、また、土層の深さおよび稲株からの距離別、すなわち土壌の酸化還元異なる場所における可給態リン酸含量についても、第51表、第52表に示したように大差がない。このことは、IV-2試験において、花こう岩質土壌は、他の土壌より酸化還元の変化に対する可給態リン酸の変動が小さく、可給化量は概して多いことをのべたが、圃場試験において

第51表 作土の深さ別2価鉄と Bray No. 2 可給態リン酸含量 (採土、7月21日)

作土の深さ (cm)	Fe <sup>2+</sup> (mg/100g)	可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)
0~2	48	24.3
2~6	117	23.4
6~10	164	25.2
10~14	137	22.2

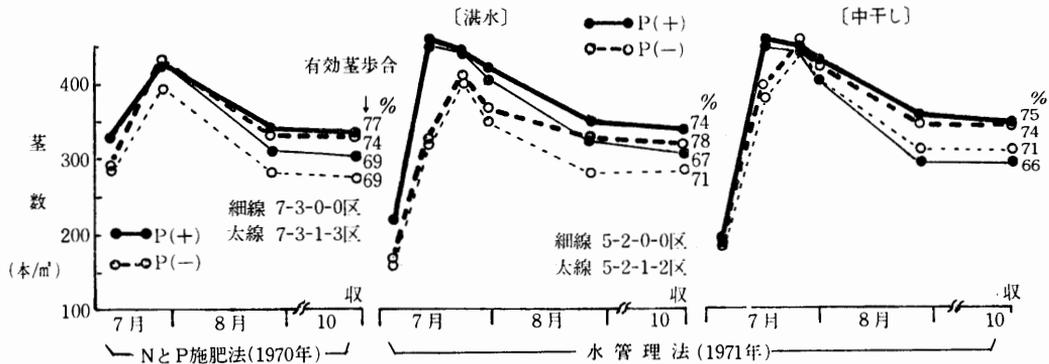
第52表 作付場所による作土の2価鉄と Bray No. 2 可給態リン酸含量 (採土、7月23日)

場所	Fe <sup>2+</sup> (mg/100g)	可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)
稲株中央	198	23.9
根ぎわ	107	23.7

も同様のことが指摘された。

(2) 水稻生育と窒素、リン酸含有率の推移

1970年における水稻生育は、圃場観察から、P(-)区の葉色は、移植後3週間まではP(+ )区より濃く葉身が直立型となり、リン酸欠乏の症状を呈した。しかし、7月末には消失し、P(+ )区の生育と変らなくなった。草丈は分けつ期には差がなく、P(+ )区とP(-)区との差が最も大きく現れた時期は出穂期頃であり、P(+ )区が勝った。一方、茎数の推移は生育初期ほどP(-)区が劣るが、漸次増加し、7月末には窒素施用量の多い区ではP(+ )区に近づいた。



第53図 茎数の推移

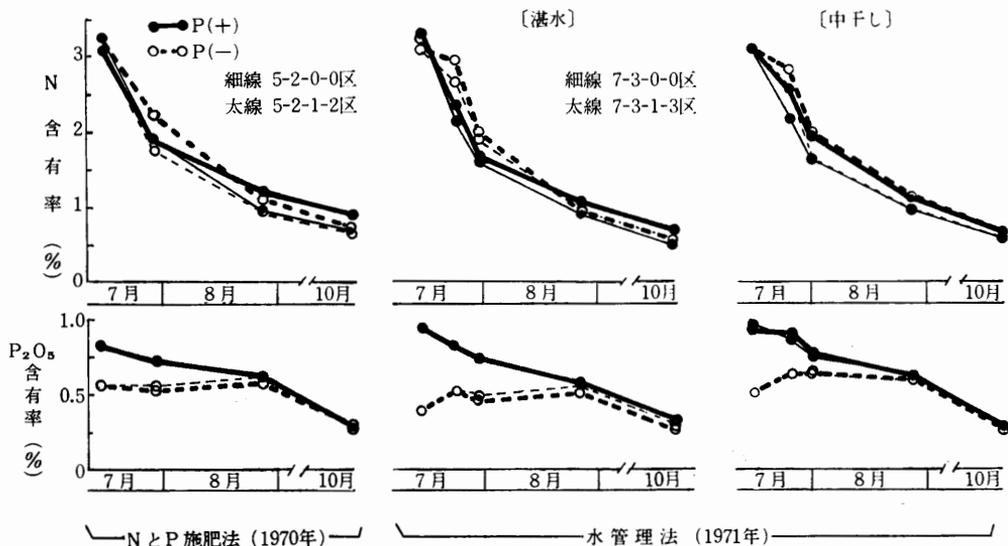
1971年における生育概況は、P(-)区の初期生育におけるリン酸欠乏の徴候は1970年と同様であったが、この年は前述のように、生育初期好天であったため初期生育が良好で、絶対に株当たり茎数が多かった。しかしリン酸施肥の有無には明らかな差がみられた。

両年におけるリン酸施肥の有無、窒素の施肥法を変えた場合の茎数の変化は第53図のようである。まず、1970年は、基肥窒素0.7kg/aの施肥区について図示したが、P(-)区では後期窒素追肥なし(7-3-0-0区)の場合には最高茎数が劣ること。また、追肥なしによってP(-)区P(+)区とも無効茎が多くなるが、後期窒素(7-3-1-3区)によって有効茎歩合が増加した。

図に示さなかった基肥0.3kg/aの施肥区についても同様な傾向にあったが、茎数が少なく、有効茎歩合が高くなった。

1971年では、7月中・下旬の生育調査回数を多くし、処理区による最高分げつ期をとらえ茎数の推移をみた(第53図)。この図でみられるように灌水処理、中干し処理ともP(+)区はP(-)区より分げつ速度が早く、最高茎に達する時期も早い。これらについてはII-3で詳細に論及したところであるが、後期窒素追肥の有無による分げつ期以後のP(+)区とP(-)区の茎数の変化は灌水処理の場合には窒素施肥法が同一であるとP(+)区がP(-)区より茎穂数が多い。有効茎歩合は後期窒素追肥によってP(+)区、P(-)区とも増加するが、おおむねP(-)区の方が高くなり、この場合、とくにP(+)区の茎数減少の抑制に後期窒素追肥がより効果的に働いたとは考えられなかった。

一方、中干し処理についてみると、リン酸施肥の有無による茎数増加の傾向、および後期窒素追肥の有無による

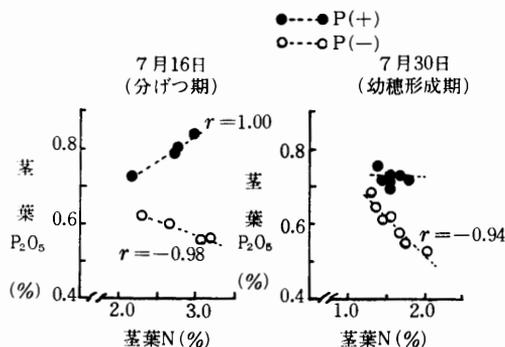


第54図 茎葉の窒素およびリン酸含有率の推移

る莖数の消長は、湛水処理区と同様であったが、P(+)区の後期窒素追肥による有効茎歩合の増加はP(-)区のそれよりも高い。すなわち、P(+)区の有効茎歩合は66%から75%になったのに対し、P(-)区では71%が74%となりP(+)区が勝った。このことは弱い中干しによる根圏土壌の改善が窒素供給の持続性とあいまって、根の健全さの維持<sup>126)</sup>に役立ったものと推論される。

これら処理区の窒素、リン酸含有率の消長については第54図に示した。両年における共通の傾向は、窒素含有率がP(-)区で7月中・下旬にかけておおむね高く経過するが、出穂期以降は劣り、P(+)区が勝る。また、後期窒素追肥によって、窒素含有率が高まり、これら窒素濃度の傾向は有効茎歩合と相関が高い。また、中干し処理効果としてP(+)区は、中干し期間の茎葉の窒素含有率は、その期間の湛水処理の含有率より高く経過しており、これについてはすでに明らかにしたが<sup>113)</sup>、このことが有効茎歩合を高めた結果と考えられる。

体内のリン酸および窒素についてみると分けつ期において、リン酸欠乏症が両年とも現われたが、このときの茎葉のリン酸含有率は0.56% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>以下であり、窒素含有率は正常水稲より高い傾向が認められた。また、同一圃場の参考試験区と併せて、茎葉の窒素とリン酸含有率の関係を見ると、第55図に示したように、P(-)区は分



第55図 茎葉の窒素とリン酸含有率の関係 (1970年)

げつ期および幼穂形成期において、窒素含有率の増大はリン酸含有率の低下を招いた。一方、P(+)区では、分けつ期における窒素とリン酸の含有率は、ともに増加する。しかし幼穂形成期では窒素含有率が增大しても、リン酸はほぼ一定であることが認められた。

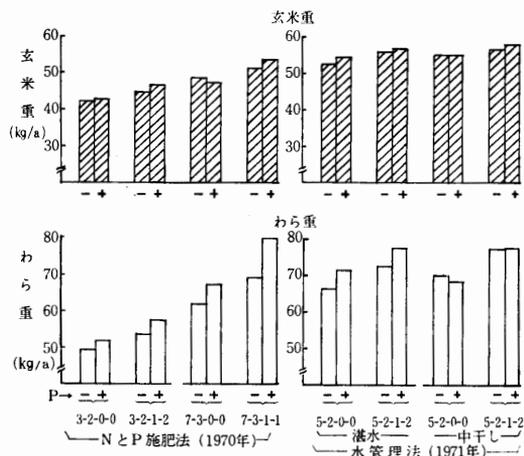
(3) 収量および成熟期の養分吸収

1970年、1971年の両年における収量を第56図に、また、その分解調査については第53表に示した。1971年の結果は、窒素については基肥量の多いもの、および後期

第53表 水稲の収量分解調査

区名	窒素	リン酸	穂数 (本/㎡)	1穂粒数	有効茎歩合 (%)	玄米収量比
1970年	3-2-0-0	(-)	233	83.5	76.6	(100)
		(+)	245	95.0	72.2	101
	3-2-1-2	(-)	239	86.0	75.8	107
		(+)	275	90.3	80.1	111
	7-3-0-0	(-)	273	93.5	69.4	(100)
		(+)	297	90.5	69.3	97
7-3-1-2	(-)	322	96.3	74.0	105	
	(+)	327	98.3	77.0	110	
1971年	湛水	5-2-0-0 (-)	280	93.4	70.9	(100)
		(+)	301	85.8	67.0	103
	5-2-1-2	(-)	315	102.5	68.0	106
		(+)	334	90.9	74.1	108
中干し	5-2-0-0	(-)	305	94.9	70.6	105
		(+)	292	97.7	66.1	105
	5-2-1-2	(-)	339	98.9	73.9	107
		(+)	341	98.7	75.4	109

窒素追肥の方が収量が高い。一方、リン酸施肥の有無と窒素施肥の関係を見ると、基肥窒素量が多く、後期窒素追肥なしの場合はP(+)区がP(-)区より玄米収量が低い。しかし後期窒素追肥ではP(+)が勝った。これらを収量構成要素からみると、P(+)区で後期窒素追肥なしが低収になったのは有効茎歩合、一穂粒数の低下によるところが大きい。後期窒素追肥ではこれらの要因をプラスにおきかえる効果のあることがみられた。一方、基



第56図 窒素とリン酸および水管理による玄米およびわら収量

肥窒素の少ない0.3kg/aでは、玄米収量は後期窒素追肥なしによってもP(+)区がP(-)区より高く、このことは茎数の推移でのべたように、基肥少肥では地力窒素の利用による効果が強く現われたものと推測される。

1971年の結果では、同一施肥量の場合には、中干し処理が湛水処理より玄米収量が勝る。また、後期窒素追肥の効果は湛水および中干し処理ともみられたが、リン酸との関係では後期窒素追肥によって湛水P(-)区の場合、玄米収量指数が100から106に上がり、P(+)区では103から108、また、中干しP(-)区の場合、105から107に、P(+)区では105から109にそれぞれ増収した。このうち、中干しP(+)区は収量が高く、しかも後期窒素追肥によってリン酸の施肥効果がみられたといえる。

しかし、これまで考えられていたリン酸施肥区が初期生育の促進、後期凋落による影響を改善するための後期窒素追肥の効果は、P(+)区がより効果的ではあったが初期生育が抑制的であるP(-)区においても追肥効果がみられ、圃場条件ではP(+)区の窒素追肥による増収効果はP(-)区と対比するとき、せいぜい3%程度で大きな期待はもてない。

リン酸および窒素施肥法と成熟期の吸収量との関係は第54表に示した。窒素は基肥量の多いもの、あるいは窒素追肥によって多くなるが、湛水処理と中干し処理とでは中干しが多くなる傾向にあった。一般に中干しは、窒

素成分の低下を示す場合が多いが<sup>113)</sup>、この場合は弱い中干しによるため、増加したものと考えられる。

一方、P(+)区はP(-)区より窒素吸収量が増加することはⅢ-3の結果と同様であるが、P(+)7-3-0-0区のように窒素吸収量は高いが、収量低下をきたすこともあり、収量は窒素吸収量とともに吸収のパターンが問題であるといえよう。

リン酸吸収量は窒素施肥量の多い場合、また、後期窒素追肥により増加する。なお、珪酸の吸収量はP(+)区がP(-)区より低下する傾向がみられた。

#### (4) 考 察

以上の結果を総合的に考察すると、リン酸が充分存在する条件では、とくに暖地の花こう岩質土壌においては、水稻は初期生育が促進されるため、後期には凋落をおこしやすく、充分にリン酸の効果を発揮することができないことがこれまでの結果から考えられた。そこで、より積極的にリン酸の効果を上げるため、窒素施肥法、とくに後期窒素追肥により無効茎を抑え、あるいは根の健全化をはかるための長期の弱い中干し処理を設け、登熟をよくする方法を試みた。

窒素施肥法では、後期追肥によって明らかに無効茎を抑え、一穂粒数の増加が認められ、また、長期の弱い中干し処理は強い中干し<sup>113)</sup>と異なって、土壌2価鉄の変化が少なく、たとえ、酸化的に傾いても、Bray No. 2可給態リン酸含量に大差がみられず、このことは水稻のリン酸吸収が低下していないことからもうかがうことができた。この中干し処理は、根の健全化<sup>68)</sup>によって後期の生育を良好にしたと考えられ、これらの処理によって明らかに玄米収量は増加した。

しかしながら、他方P(-)区についてみると、Bray No. 2可給態リン酸は3~7mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100gで、リン酸不足土壌であり、生育初期にはリン酸欠乏症が現われ、初期茎数が少ない。このような水稻でも中・後期のリン酸吸収の増大から、生育は回復した。この場合、リン酸不足の水稻は、初期分げつ数が少なく有効茎歩合が高いこと、窒素追肥によりさらにリン酸含有率を低下させることなどから、後期窒素追肥による効果は期待できないと考えられたが、さらに有効茎歩合が高まり、穂数が増加し、収量が増大した。

本谷ら<sup>43)</sup>は寒冷地水稻を対象に、水稻施肥に対する生育反応から、生育初期に窒素、リン酸が高濃度で供給された場合は生育凋落型となり、一般沖積田でこの生育型となりやすく、そのため、リン酸、窒素の併用分施により、生育の調整をはかることによって収量が増大することを認めている。しかし、本実験のような圃場の群落

第54表 成熟期の水稻の無機成分吸収量

区 名	吸収量 (kg/a)				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>		
1970年	3-2-0-0	(-)	0.75	0.44	—
		(+)	0.81	0.43	—
	3-2-1-1	(-)	0.83	0.45	—
		(+)	0.95	0.48	—
	7-3-0-0	(-)	0.96	0.50	—
		(+)	1.01	0.49	—
7-3-1-3	(-)	1.14	0.56	—	
	(+)	1.38	0.61	—	
1971年	湛水	(-)	0.87	0.52	9.8
		(+)	1.04	0.54	9.7
	5-2-1-2	(-)	0.98	0.55	10.6
		(+)	1.14	0.54	10.1
	中干し	(-)	0.99	0.53	10.3
		(+)	1.07	0.53	9.1
5-2-1-2	(-)	1.14	0.56	11.4	
	(+)	1.16	0.55	10.6	

条件のもと、あるいは後の試験でのべるように、暖地は寒冷地より乾物の増加速度は早いですが、莖数が少なく、有効茎歩合が高いことから、窒素追肥による莖数維持効果はみられるが、顕著ではない。

以上のことから、リン酸の効果を積極的に高めるための後期窒素追肥や弱い長期中干し処理は、それらの処理をしない場合のP(+)区とP(-)区の収量差よりも、処理による両区の収量差が大きくあらわれ、一応予期する成果は得られたが、著しい増収効果は現われず、2年間の4処理を通じて3%程度の増収効果として認められた。

#### 4. 要 約

花こう岩質水田土壌におけるリン酸の施肥反応は大きいですが、これが収量増に結びつかない場合が多い。そこで、リン酸施肥効果をより積極的に高める方法として、高リン酸苗が本田の生育、収量に及ぼす効果の検討と、窒素の後期追肥あるいは水管理として、長期の弱い中干しによる窒素供給の維持をはかりながら、根の健全化によるリン酸の肥効を検討し、つぎの結果を得た。

1) 苗代における窒素およびリン酸施肥量の違いによって生育差が大きく現われ、42日経過した苗では、莖葉の窒素含有率が1.6%N以下ではリン酸を増肥しても生育は進まず、また、リン酸含有率が0.49%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>以下では、窒素を増肥しても同様に生育が進まなかった。しかし、これらの含有率以上ではリン酸および窒素の増肥効果が認められ、莖葉のリン酸含有率は、リン酸増肥により1.74%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>と著しく増加することを認めた。

2) 窒素含有率が1.6%以下では、リン酸含有率の高い苗と低い苗の本田移植による発根量は変わらず、相対的に少ない。またリン酸が0.49%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>以下では、窒素含有率をあげた苗はかえって発根量が低下した。しかし苗のリン酸および窒素含有率がそれ以上の場合、それら含有率の増加とともに発根量は増し、中でも窒素中リン酸多苗は炭水化物含量が高く、外観、健苗と思われたが、窒素多リン酸多(N3.69%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>1.74%)苗の方が著しく発根量が增大した。

3) 窒素中苗は窒素含有率2.4%以下で、リン酸含有率の高い苗ほど、本田の初期生育は良好であるが、その後、本田養分の影響で移植後約20日間で生育量ならびに養分吸収に差がなくなり、収量に及ぼすリン酸の効果も現われない。

窒素多苗ではリン酸含有率の高い苗ほど移植後の莖数が多く、穂数においても勝ったが、稈が細く、1穂粒数が減少し、窒素、リン酸の吸収量にも差がなくなり、初

期生育の効果が収量増に結びつかなかった。

4) リン酸が充分存在するリン酸施肥区と、生育初期リン酸欠乏症のみられる無リン酸区について、窒素施肥ならびに長期の弱い中干しによる収量は、リン酸区は無リン酸区よりやや高い。また、窒素施肥条件では窒素基肥重点<後期窒素追肥<中干し後期窒素追肥の順となった。リン酸区で窒素基肥重点の場合は無効莖が増加し、一穂粒数が減少し、基肥重点の無リン酸区との収量差は-3~+3%となった。一方、後期窒素追肥の場合同様な処理によるリン酸区と無リン酸区の収量差は2~5%となった。このことから、収量に対するリン酸の肥効を高めるための、窒素および水管理による増収効果は約3%程度であった。

5) 以上、苗のリン酸含量を高め、莖穂数が増大しても収量増に結びつかず、また、後期窒素追肥や水管理によって増収はするが、無リン酸区に比較して顕著な効果が見られない。このことは本土壌のリン酸の可給化能の大きいことと高温が加わり、後期の生育差をなくし、改善処理によって収量は60kg/a程度となるが、この収量段階ではリン酸の積極的利用による効果は期待できないと判断された。

## VI 気象条件が水稻のリン酸の肥効に及ぼす影響

### 1. まえがき

これまで述べてきたように、当地方においては無リン酸栽培を長期間継続しても水稻の収量が低下しがたい。これは、土壌的には花こう岩質土壌の二・三の特性からリン酸が可給化されやすいこと。また、低リン酸含量土壌において、鉄の添加を行っても生育抑制はおこらず、収量はかえって勝ることなどについてはすでに検討した。このようなリン酸施肥効果の現われにくい要因は、これら土壌の特性の他に本地帯の温暖な気象の影響が関与していることは当然考えられるところである。

高橋<sup>132)</sup>は水稻の養分吸収に及ぼす水温の影響を検討し、低温による吸収抑制は、三要素が大きいこと、中でもリン酸の抑制が最も大きいこと。そして低温による抑制成分の順位は、呼吸作用と密接な関係にあることを報告した。石塚<sup>54)</sup>、田中<sup>136)</sup>は寒地と暖地では水稻の生育相が異なり、寒地は遅延型になりやすく、とくに冷害年にはその危険性が大きい。それに対して、暖地では生育初期促進型で秋落的になりやすい。このことから、寒地では基肥重点の施肥が、また、暖地では追肥重点の施肥法が重要となるが、とくに寒地でのリン酸施肥は、

初期生育促進のため基肥の必要性が大きいことを論じている。

また、農林省研究部が中心となり、十数県農試が分担した「水田土壌の生産力別分類に関する研究」、および、その後つづいて実施された「水田土壌型別地力構成要素の解析に関する研究」について、柳沢ら<sup>159,160)</sup>村山ら<sup>89)</sup>はこれらの成績をとりまとめた。これには広島農試も参画して試験が実施された。柳沢らはこれら水稻の時期別風乾物の推移から、生育型を3つのタイプに分け、広島農試圃場的水稻は3型に属し、この型は土壌的には1:1型粘土鉱物で塩基置換容量が小さく、暖地型で初期生育はきわめて良好であるが、乾物生産が登熟中期に頭打ちとなり、収穫期には全乾物が減少し、登熟過程がとくに悪く、枯れ上がり激しい。また村山ら<sup>89)</sup>は出穂期の稈、葉鞘の炭水化物の集積移行過程から、寒冷地は非蓄積型に属するが、広島を含む西南暖地的水稻は早期蓄積型に属し、水稻の養分含有率が低く低収水田であるとした。そして柳沢ら<sup>160)</sup>はこの報告のなかで、リン酸については寒地あるいは火山灰土壌では、リン酸の玄米生産能率が高く、このことはおおむね土壌中のリン酸が不足の状態にある。これに対して西南暖地ではリン酸に対する生産能率が低いとみている。このことは水稻のリン酸吸収が容易であり、リン酸施肥の必要性が少ないとするものである。

ここで、さらに具体的に、気象と水稻の生育相、およびそれに対するリン酸の必要性の有無を論及するには、土壌間差異、品種の違いなどを整理し、定量的に検討することが重要であると考え。そこで、本実験においては、本地帯におけるリン酸の肥効が現われにくい要因としての気象の関係をみるため、従来では、温度変化に対するリン酸の肥効は幼植物やポットで解明されたものが多いが、圃場条件、すなわち水稻の群落条件のもとでは生育の競合、あるいは温度、日照が土壌に及ぼす影響もポット条件とは異なり、そこに圃場試験の必要性があると思われたので、実験の主体を圃場においた。

すなわち、圃場における長期継続リン酸試験から、気温および日照とリン酸施肥の有無による分けつ増加の関係、および登熟に及ぼす影響について検討した。また、同一土壌および同一品種を用い、冷涼地の異なる場所における土壌リン酸の可給化量と水稻の生育収量について試験するとともに、普通期移植栽培のリン酸の肥効が、早植栽培や晩植栽培に比べてどのように異なるかをみた。なお、別の実験で温度によるリン酸の肥効を人工気象室で試み、これらの試験から暖地の気象の影響による効果について検討を加えた。

## 2. 気温および日照の変化に対するリン酸の肥効

### A. 水稻生育に及ぼす気温、日照とリン酸の関係

#### 1) 試験方法

Ⅱの試験に示した1930年から継続実施されているリン酸質肥料試験田の土壌の諸性質、試験区についてはすでに述べた。また、生育期間の土壌の可給態リン酸含量と生育、収量の関係についても記述した。この試験で、水稻に対するリン酸の効果が明らかにみられるようになった1947年から1968年の22年間にわたる、各作リン酸区と各作無リン酸区の茎数と玄米千粒重について、気象とリン酸の関係をみた。

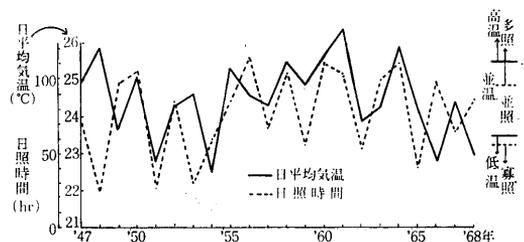
すなわち、茎数については、茎数増に最も影響を及ぼす7月上・中旬の日平均気温と日照時間の関係を、また玄米千粒重は、それが大きい影響をうける第2の時期<sup>80)</sup>として、9月上・中旬の日平均気温、日照時間の関係をみるため、各時期の気温を高温、並温、低温に分け、また、日照時間を多照、並照、寡照に分けた。

なお、この試験では、各々のリン酸処理区に窒素少量、窒素多量および標準(堆肥併用)処理が設けられているが、標準処理はリン酸施肥効果がみられないので、ここではとりあげず、窒素少量、窒素多量のものについて検討した。

#### 2) 試験結果と考察

##### (1) 分けつ増加に対する気温、日照時間とリン酸の関係

7月上・中旬の日平均気温、日照時間は第57図に、また、最高分けつ期の茎数と気象の関係は第55表に示した。第57図から、22年間の7月上・中旬の日平均気温は24.5°Cであり、これの±1°C、すなわち23.6~25.4°Cを当地方のこの期間の並温とし、これより上を高温、またこれより下を低温とした。日照時間は、7月上・中旬の平均値は77.1時間で、±20時間、すなわち57.2~97.0時間を並照とし、それ以上を多照、それ以下を寡照とした。これらの気温および日照の程度は、この地方の気象



第57図 7月上・中旬の日平均気温および日照時間 (広島農試気象観測より)

第55表 最高分けつ期（7月26日）における各作リン酸区に対する  
各作無リン酸区の年次別茎数の減少率と気象の関係

年次	1947	'48	'49	'50	'51	'52	'53	'54	'55	'56	'57
各作無リン酸区茎数 各作リン酸区茎数	(%) 3.3	-7.6	35.6	33.4	26.4	29.5	23.4	47.8	26.6	14.9	37.9
気象条件 (気温 日照)	並 並	高 寡	並 多	並 多	低 寡	並 並	並 寡	低 並	並 並	並 多	並 並
	'58	'59	'60	'61	'62	'63	'64	'65	'66	'67	'68
	46.5	11.1	11.5	16.0	9.4	13.8	14.9	25.5	41.8	10.4	34.6
	高 多	並 寡	高 多	高 多	並 寡	並 多	高 多	並 寡	低 多	並 並	低 並

注：各年次における数字は窒素少量区と窒素多量区のそれぞれの平均値

各作無リン酸区の 茎数減少率順位	気温 日照	低 多	≥	低 並	>	低 寡	≥	並 多	>	高 多	≥	並 並	≥	並 寡	>	高 寡
各作無リン酸区茎数 各作リン酸区茎数	平均 (%)	41.8		41.2		26.4		24.4		22.2		20.2		17.4		-7.6
類	度	(回)		1		2		1		4		4		5		4
				1		4		4		5		4		1		

注) (温度) 1947~1968年の7月上・中旬平均気温24.5°C, 高温は25.5°C以上, 並温は25.4~23.6°C, 低温23.5°C以下とした。(±1°C)

(日照) 1947~1968年の7月上・中旬総日照時間の年平均77.1時間, 多照は97.1時間以上, 並照97.0~57.2時間, 寡照57.1時間以下とした。(±20時間)

にしたがって一応段階別に分けたもので、水稻の生理作用から分けたものではない。

本谷<sup>42)</sup>は分けつと温度の関係について、20~23°Cでは蛋白代謝が旺盛になり、分けつ増加に有利な温度であるが、25°C以上になると伸長にエネルギーが向けられるため、分けつ増加には不利であるとのべている。本試験で設定した温度で、低温とは22.5°C~23.5°Cであり、この気温では茎数増加が最も旺盛となり、25.5°C以上のいわゆる高温該当年には茎数の少ない稲型となる。また、並温は低温と高温の中間の茎数増加が予想される。つぎに日照時間と茎数の関係についてみるに、松島<sup>79)</sup>は、日射量が少なきときは日照時間は少ないが、日射時間が少なくても日射量の多いときもあり、必ずしも相関は高いといえないとしている。田畑<sup>128)</sup>は、茎数増加に対して日照強度の影響が大きいとし、植田<sup>147)</sup>、小坂<sup>71)</sup>、松島<sup>80)</sup>も光度と茎数増とは比例関係にあることを報告している。このようなことから、茎数増には日照時間より日射量が作物生態的に重要と考えられるが、作物統計事務所が茎数増や登熟に対し日照時間を重要視しているように、ここでは大胆に、日照時間が多いと、光合成作用が旺盛であるとみなして考察を加えることとした。

すなわち、各年次における各作リン酸区に対する各作無リン酸区の茎数割合を窒素多量、窒素少量について算出し、その平均値を求め、その年の温度および日照条件と関係づけてみた。また、それらを整理し、各作無リン酸区の茎数の減少が最も大きく関与する気象条件の順位についても示した(第55表)。これによると、各作リン酸区と各作無リン酸区の茎数差の大きい気象条件は、1966年の低温多照であり、つぎに低温並照の年、つづいて低温寡照の年であり、低温が最も影響している。ここでいう低温とは、22.5°C~23.5°Cであり、この気温では最も茎数が増加するので<sup>42)</sup>、各作リン酸区の茎数が多い。反面、各作無リン酸区はリン酸不足のため増加せず、それらの差を大きくしたものと考える。一方、両区間に茎数差のでにくい気象条件は、1948年の高温寡照であり、ついで並温寡照となり、気温が比較的高く日照時間の少ないことがあげられる。日照が少なく、高温すなわち25°C以上では、分けつより伸長に向くため、各作リン酸区は例年より茎数が少なく、一方、各作無リン酸区では茎数は例年と変わらないため、両区の茎数差が小さくなったものとする。

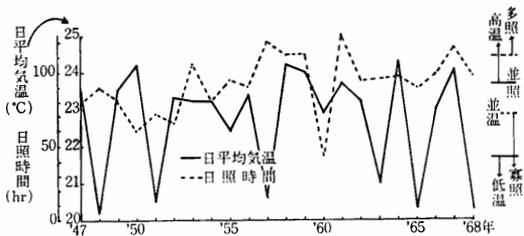
なお、第55表の中に気象別の出現頻度を示したが、類

度の多い気象条件は概して気温が高く、このため茎数差はでにくい。このことから、つまり本地帯の分けつ期における気象は、茎数増に及ぼすリン酸の肥効にそれほど大きく関与していないと判断された。

2) 玄米千粒重に対する気温、日照時間とリン酸の関係

各作リン酸区の出穂期はほぼ8月31日、各作無リン酸区では9月5日頃で、各作リン酸区より約5日遅い。

9月上・中旬の気温、日照時間は第58図に、またその気象とリン酸の関係は第56表に示した。第58図から、9月上・中旬における22年間の日平均気温は22.7°Cであり7月上・中旬と同じ分け方で±1°C、すなわち、23.6~



第58図 9月上・中旬の日平均気温および日照時間 (広島農試気象観測より)

21.8°Cをこの期間の並温とし、23.7°C以上を高温、21.7°C以下を低温とした。この期間の日照時間は平均92.1時間であり、±20時間、すなわち、112.0~72.2時間を並照とし、112.1時間以上を多照、72.1時間以下を寡照とした。

登熟期間の気温については、八柳<sup>161)</sup>は安全登熟のためには、出穂後15日間は平均気温が20°C以上23°Cを要し、その後は19°C以下に低下しても、平均気温の積算温度が最低880°Cが得られるとよいとしており、本谷<sup>42)</sup>も日平均気温が20°C以下では登熟不良をおこしやすく、籾への糖の移行から、少なくとも、出穂後平均気温、20°C以上を14日間経過させる必要があることを指摘している。また、村田<sup>90)</sup>も出穂後日平均気温21.2°Cが30日間続けばよいとしている。これらのことから登熟期間の日平均気温は、出穂後最低20°C以上が14日間は必要であることがうかがわれる。

一方、登熟期の日照については、松島<sup>80)</sup>は稔実歩合、千粒重はいずれも日射の強さと関係が深く、日平均250カロリー (cm<sup>2</sup>) 程度まで減少しても登熟に影響はないが、これ以下になると正比例的に悪くなるとしている。また千粒重は減数分裂期と乳熟期に日射量の影響が大きいとし、減数分裂期の日射量の低下は、籾殻形成が

第56表 各作リン酸区玄米千粒重から各作無リン酸区玄米千粒重の差と年次による気象の関係

年次	'47	'48	'49	'50	'51	'52	'53	'54	'55	'56	'57
各作リン酸区玄米千粒重 - 各作無リン酸区玄米千粒重 (g)	-	-	0.2	-	-	0.4	-0.1	-1.2	0.4	0.1	0.6
気象条件 (気温 / 日照)	-	-	並並	-	-	並寡	並並	並並	並並	並並	低多
	'58	'59	'60	'61	'62	'63	'64	'65	'66	'67	'68
	-0.2	0.5	1.0	-0.3	1.0	0.3	0.9	2.6	-0.6	0.1	1.1
	高多	高並	並寡	高多	並並	低並	高並	低並	並並	高多	低並

注：各年次における数字は窒素少量区と窒素多量区のそれぞれの平均値

各作無リン酸区の玄米千粒重低下の順位 (気温 / 日照)	低並	>	並寡	=	高並	≥	低多	>	並並	=	高多
各作無リン酸区千粒重 - 各作無リン酸区千粒重 平均(g)	1.3		0.7		0.7		0.6		-0.1		-0.1
頻度 (回)	3		2		2		1		7		3

注) (温度) 1947~1968年の9月上・中旬平均気温22.7°C、高温は23.7°C以上、並温23.6~21.8°C、低温21.7°C以下とした。(±1°C)

(日照) 1947~1968年の9月上・中旬総日照時間の年平均92.1時間、多照は112.1時間以上、並照112.0~72.2時間、寡照72.1時間以下とした。(±20時間)

劣ることにより千粒重が下がる。一方、出穂後15～25日の日射の不足は、粒の充実が悪くなり千粒重が低下するとした。植田<sup>147)</sup>によると、遮光によって、普通光の76%の光度にしたとき、植付4週後の茎数指数は55まで低下したが、千粒重指数は98となり、遮光は千粒重より茎数に与える影響が大きい。

さて、本実験の玄米千粒重について、日照時間および気温とリン酸の関係をみたが、第56表に示した気温の高低、日射の多寡は本地帯の平均値に対して言及したもので、生理的な観点から分けたものでないことは、分げつ期の気象の場合と同様である。なお、9月上・中旬は千粒重増加の重要な時期<sup>80)</sup>である。

このように分けた高温領域は、23.7°Cで、八柳のいう適温よりやや高く、また、低温は21.7°C以下であるが、これに該当した年の気温は21°C以下、20°C以上がほとんどであり、本谷<sup>42)</sup>のいう必要気温の範囲内に入るが、村田<sup>90)</sup>の適温より僅かに低いといえる。これらのことから、3段階に分けた気温は、水稲生理面からも登熟の良否に関係のある温度と思われる。

第56表は、各作リン酸区から各作無リン酸区の玄米千粒重を差し引いた年次による違いと、気温および日照時間との関係を示したものであり、また、リン酸施肥効果の現われる気象の順位についても記した。両区間で、千粒重差が大きく現われる気象は、低温、並照である。この場合各作無リン酸区は低温とリン酸の不足により、籾へのリン酸移行量が少なく、澱粉集積が悪かったものと考えられる。

両区の間で千粒重差の現われなかった気象は、高温、多照の条件であり、各作無リン酸区においても同化集積が多く、両区の差を少なくしたものと考えられる。なお頻度の多い気象条件は、並温、並照であり、この場合も区間の千粒重差はほとんどない。

以上、リン酸施肥の有無が分げつ増加と玄米千粒重に及ぼす気象の関係をみたが、分げつにリン酸の肥効が大きく現われるのは、低温、多照で、ここでいう低温とは

7月上・中旬の日平均気温22.5°C～23.5°Cで日照時間の多いときであり、また、千粒重に及ぼす効果では、低温並照で9月上・中旬の日平均気温20～21°Cである。しかし、本地帯ではこれに該当する気象の年は少なく、7月上・中旬では高温、寡照の傾向が強く、また、9月上・中旬では並温、並照が多く、これらはいずれもリン酸施肥の有無の差が少ないことから、気象的にも本地帯は水稲に対してリン酸の肥効がでにくいと考えられた。

### B. 温度の高低とリン酸の肥効試験

#### 1) 試験方法

##### (1) 試験の条件と処理内容

試験規模は a/5000ポット、供試土壌は上記の長期継続リン酸試験田の各作リン酸区と各作無リン酸区の作土を使用した。それら土壌の諸性質はⅡの試験にのべた。施肥設計は第57表に示すとおりで、また、温度処理は高温処理および低温処理を設け、高温区は昼間は旬別最高気温の平年値、夜間はそれより4°C下げた。また、低温処理は、夜間は旬別最低気温の平年値、昼間は4°C下げた。それらの具体的な温度設定は第58表に示した。

第57表 施肥設計 (ポット当り)

区名	N (g)				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 基肥 (g)	K <sub>2</sub> O追肥 (g)
	基肥	追肥1	穂肥	合計		
P(+)	0.3	0.2	0.2	0.7	0.3	0.5
P(-)	0.3	0.2	0.2	0.7	0	0.5

注) 窒素は硫酸アンモニウム、リン酸は過リン酸石灰、加里は硫酸加里を使用。  
P(+ )区は各作リン酸区土壌、P(-)区は各作無リン酸区土壌を使用した。

栽培概要：品種、水稲チヨヒカリ、移植日6月26日(45日苗)、ポット当り1株3本植とし、移植後活着まで網室で栽培し、7月7日に4ポットずつグループ分けし、人工気象室へ移し、生育全期間にわたる処理と、穂揃期(P(+ )区9月5日、P(-)区9月16日)以後人工

第58表 人工気象室内の温度 (°C)

区名	7月			8月			9月			10月		
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	
高温	昼	28	29	31	31	31	30	29	26	25	23	21
	夜	24	25	27	27	27	26	25	22	21	19	17
低温	昼	24	25	26	26	26	25	24	22	18	16	13
	夜	20	21	22	22	22	21	20	18	14	12	9

注) 昼6～18時、夜18～6時

気象室へ移し、登熟期間の温度処理について実施した。

(2) 分析法

土壌：pHはガラス電極法，2価鉄は $\alpha$ - $\alpha'$ ディピリディール法，可給態リン酸はBray No. 2法，作物体：窒素はケルダール法，リン酸はバナドモリブデン酸法によった。

2) 試験結果と考察

(1) 全生育期間の温度の高低によるリン酸の効果

土壌について，最高分げつ期頃の可給態リン酸，2価鉄およびpHは第59表に示した。

第59表 土壌のpH，2価鉄およびBray No. 2可給態リン酸含量（7月23日）

区名	pH	Fe <sup>2+</sup> (mg/100g)	可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)
高温	P(+)	6.24	112
	P(-)	6.48	81
低温	P(+)	6.08	77
	P(-)	6.38	79

可給態リン酸含量は，P(-)区は4mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g以下で，これは明らかに水稻のリン酸欠乏症が現われる含量であり，P(+)区ではこれまでの試験から充分の含量である。2価鉄含量は高温が低温より多い傾向にあり，土壌の還元が進行したといえる。しかし可給態リン酸の含量は温度による影響が少ない。このことはⅣの試験で花こう岩質土壌の特性としてのべたことと符合している。

水稻の生育，収量は第60表に示すように，草丈に及ぼす関係では，高温処理は草丈を伸長させ，低温で短くなり，また，茎数および穂数は高温で少なく，低温でやや多い傾向が認められた。これらの草型は暖地と寒地の生育相<sup>136)</sup>に類似した。リン酸施肥の有無は草丈，茎穂数に影響するが，P(+)区とP(-)区の穂数差は低温でより大きく現われ，リン酸施肥効果が明らかであった。収量は高温が低温より勝るが，リン酸の関係では，P(-)区は低温で登熟歩合が0となり著しく減収した。一方，P(+)区においても低温処理によって登熟歩合が劣り，P(-)区の高温処理よりも低下した。このことは前試験でのべたように，出穂後の平均気温20~23°Cが15日

第60表 水稻の生育および収量

区名	成熟期 草丈 (cm)	最高茎数 (本/株)	穂数 (本/株)	出穂期 (月・日)	出穂期間 (日)	1穂		株当り 穂重 (g/株)	登熟歩合 (%)		
						えい花数	不稔粒数				
高温	P(+)	105	43.5	26.0	8.28	9	65.5	1.9	1703	46.5	93.9
	P(-)	98	22.0	19.5	9.14	13	68.1	2.2	1328	27.1	69.1
低温	P(+)	92	44.0	30.0	9.7	13	62.4	6.0	1872	33.0	38.0
	P(-)	87	24.0	19.0	9.25	21	67.4	64.1	1281	7.0	0

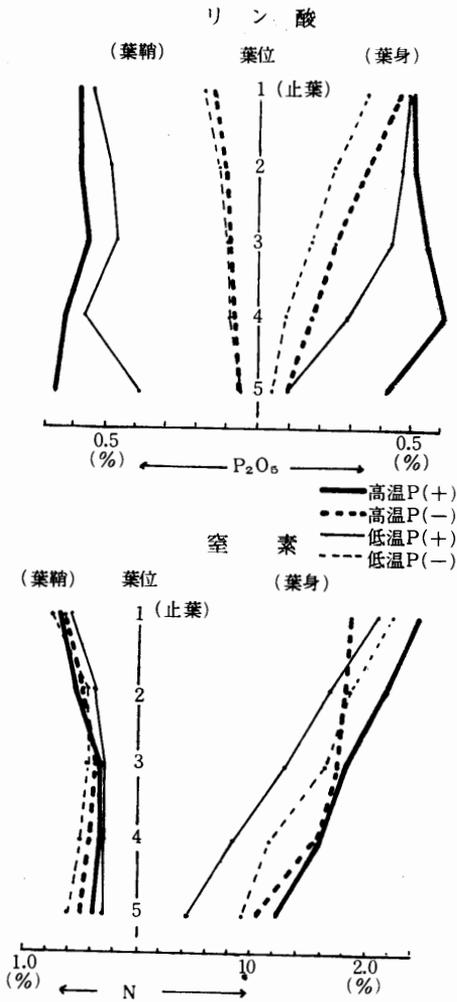
は必要であることからすれば，この温度処理による登熟条件はこれ以下の温度であるので，粒の充実に影響したものと考えられる。なお，リン酸含量の不足によって，さらにそれが助長されるようである。

つぎにこのような生育経過をたどった稲体のリン酸および窒素含量について，部位別に分析し，それらの濃度勾配を第59図に示した。第59図の上段は出穂期における葉身および葉鞘の葉位別リン酸含量をみたもので，これによるとP(+)区はP(-)区より，もちろん高いが，温度の関係では高温で含有率が高い。地域間のリン酸含有率は，寒地は暖地より高いことがみられる<sup>52,56)</sup>が，この場合は低温処理で低くなった。これの解釈については明らかではないが，温度差を大きくするため，低温を強くしたことによるのではないかと考えられる。リン酸含量について興味をひくのは，葉身のリン酸濃度勾配であ

る。すなわち，温度処理，リン酸施肥の有無によらず，止葉のリン酸含有率は他の葉身より高く，とくにリン酸吸収の少ない低温処理やP(-)区ではその勾配が大きい。そしてP(+)区の高温，低温およびP(-)区の高温の止葉含有率は0.5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>付近でほぼ同じ値を示した。このことはリン酸がより重要な器官へ体内移動をおこした結果と考えられる。低温P(-)区では止葉においても含有率の低いことがうかがわれた。

一方，リン酸施肥の有無による葉身窒素の濃度勾配は第59図下段に示したが，上位葉ほど含有率の高い傾向はリン酸と同じであるが，P(+)区は低温で窒素含有率が低く，P(-)区ではそれ以上の含有率を示した。

以上のことから，水稻はリン酸の不足状態におかれても上位葉へ集積するが，高温はさらにそれを助長し，同化能力および籾の澱粉集積に効果的に働くものと思わさ



第59図 穂揃期における葉位別リン酸および窒素の濃度勾配

れる。

(2) 登熟期間の温度とリン酸の肥効

土壌の可給態リン酸含量はP(+)区, P(-)区とも前試験と同程度である。生育, 収量は第61表に示した。こ

第61表 水稻の生育および収量

区名	穂数 (本/株)	1 穂		株当り 花数	穂重 (g/株)	登熟 歩合 (%)	
		えい 花数	不稔 粒数				
P(+)	高温	28	67.8	7.0	1898	42.3	71.3
	低温	29	65.1	2.8	1888	40.6	59.1
P(-)	高温	19	74.0	18.0	1406	25.5	15.2
	低温	17	83.6	14.6	1421	20.5	2.7

の試験は穂揃期以後の処理のため, 温度処理による穂数えい花数は差がない。登熟に及ぼす温度およびリン酸の影響として, 低温およびリン酸不足によって登熟歩合は著しく低下した。

つぎに水稻の部位別リン酸含有率は第62表に示した。

第62表 温度処理による水稻部位別リン酸含有率 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(%)

部 位	P(+)			P(-)		
	穂揃期 (処理前)	乳熟期 高温	乳熟期 低温	穂揃期 (処理前)	乳熟期 高温	乳熟期 低温
1 葉(止葉)	0.50	0.29	0.36	0.33	0.35	0.28
葉 2 葉	0.42	0.25	0.33	0.27	0.24	0.21
3 葉	0.41	0.17	0.21	0.19	0.18	0.15
身 4 葉	0.40	0.12	0.12	0.16	0.12	0.09
5 葉	—	0.12	0.14	0.11	—	—
1	0.55	0.32	0.43	0.22	0.16	0.17
葉 2	0.53	0.30	0.37	0.13	0.11	0.11
3	0.50	0.36	0.36	0.10	0.08	0.08
鞘 4	0.47	0.38	0.38	0.08	0.07	0.06
5	—	0.24	0.30	0.07	—	—
稈	0.38	0.37	0.46	0.17	0.13	0.16
穂	0.54	0.67	0.64	0.34	0.46	0.43

この表から低温処理によりP(+)区ではリン酸濃度が高い。昆野ら<sup>69)</sup>は種実に移行するリン酸は, 大部分は葉および稈にすでに存在していたものが移行すると考えられ, この移行は炭水化物の転流曲線と類似する。そして登熟期の低温は, リン酸に伴われた炭水化物が子実の方に順調に移行しないとされている。このことから, P(+)区では低温の影響でリン酸が茎葉にとどまったものといえよう。またP(-)区では, 高温が低温より葉身のリン酸濃度に高い傾向がみられるが, これは稈や葉鞘から光合成の場としての葉身へ送りこまれたものと考えられる。これらのことから登熟期の高温は, 籾へのリン酸の移動を容易にし, 登熟歩合を促進することがうかがわれた。

3. 気象の異なる場所におけるリン酸の肥効

1) 試験方法

(1) 試験地の条件

標高400mの山県郡大朝町広島農試冷冷地試験地(以下大朝とよぶ)の冷涼地と, 標高200mの東広島市八本松町, 広島農試(以下八本松とよぶ)の暖地において, 花こう岩質の八本松水田土壌を大朝へ運び, 同一の土壌条

件において、また、水稻品種はサトミノリの同一品種を使用し行った。

(2) 試験の内容

i. 梓試験 供試土壌は大朝、八本松とも、八本松水田Ⅱ-4圃場の1969年から4年5作にわたって無リン酸栽培を継続した土壌リン酸の低い作土であり、その理化学性は第63表のとおりである。

第63表 供試土壌の理化学性

土 壤	土性	pH (H <sub>2</sub> O)	全C (%)	全N (%)	全P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	還元土		遊離 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mg/100g)	CEC (me)	置換性	
						Bray No.2 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	リン酸 吸収係数			Ca (me)	Mg (me)
八本松土壌	CL	6.1	1.39	0.14	35.8	5.2	366	962	11.7	7.0	0.6

梓試験Ⅰ 本試験は大朝と八本松において、暦日を同じにして栽培した場合のリン酸の肥効をみようとしたもので、試験規模は、72×168×21(深さ)cmの木枠を圃場に埋設し、ポリエチレン布を敷き、有底とし、生土壌(乾土当たり145kg)を充填して、作土の深さを約12cmとした。苗代は八本松の苗床を使用し、5月10日播種、施肥はN、K<sub>2</sub>O各10g/m<sup>2</sup>とした。移植後の施肥設計は第64表に示した。本田における栽培概要は、移植日、

第64表 梓試験Ⅰ 暦日を同じにした栽培の施肥設計

場 所	N, K <sub>2</sub> O		
	基 肥	追 肥	穂 肥
	6月17日	7月8日	7月31日
	(kg/a)	(kg/a)	(kg/a)
大 朝	0.6	0.2	0.3
八 本 松	0.6*	0.2	0.3

注) \*6月18日施肥

大朝6月17日、八本松6月18日、植付様式は24×24cm、1株3本植で梓当たり21株とし、また、梓外にも同じ間隔で移植し、圃場と同じ群落条件とした。収穫は大朝10月29日、八本松10月21日に行った。

梓試験Ⅱ 大朝および八本松における適期栽培に準拠し、低リン酸土壌を用いてリン酸の肥効を検討するもので、梓は前試験と同様で、土壌は前試験終了後、1/2重量を大朝、八本松と相互に交換し、残土とよく混合して供試した。苗代は大朝と八本松において、八本松水田作土(Bray No. 2 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6 mg/100g)を用い行った。苗

代および本田の施肥量と施肥時期は第65表に示した。移植は大朝では5月10日(ビニールトンネル30日苗)、八本松では6月19日(40日苗)に行った。植付様式は前試験と同様にした。収穫は大朝9月25日、八本松10月20日、その他病害虫防除および栽培は一般の管理に準じた。

第65表 梓試験Ⅱ 地帯別適期栽培に準じた施肥設計

場 所	N, K <sub>2</sub> O			
	苗 代	基 肥	追 肥	穂 肥
	施肥(g/m <sup>2</sup> )	0.6(kg/a)	0.3(kg/a)	0.3(kg/a)
	24*, 12**			
大 朝	4月11日	5月11日	6月12日	7月20日
八本松	5月10日	6月18日	6月28日	8月1日

注) \*大朝, \*\*八本松  
基肥はNK化成肥料硫酸塩、追肥はNK化成の塩化物、リン酸は無施用。

ii. ポット試験 1960年から水稻、麦の2作を、無リン酸肥料で継続栽培したⅡ-4圃場の作土を採取し、それに花こう岩風化土壌を等量混合して、リン酸施肥とリン酸無施肥を作り、水稻を1作した後の土壌をポット試験Ⅰに使用した。また、ポット試験Ⅱは、前試験の土壌を混合均一化して再度供試した。

ポット試験Ⅰ 大朝および八本松の適期栽培に準じて、土壌中のリン酸の多少と地帯別リン酸の肥効をみようとするもので、試験規模はa/5000ポットを用い、ポット当り生土壌(乾土当り3.7kg)を充填した。供試土壌の性質は第66表に、施肥設計は第67表のようである。

第66表 供試土壌の理化学性

区名	土性	pH (H <sub>2</sub> O)	全C (%)	全N (%)	還元土	リン	遊離 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mg/100g)	CEC (me)
					Bray No.2 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	酸吸 収係 数		
P多 SL		5.6	0.82	0.07	40.2	198	727	8.5
P少 SL		5.5	0.77	0.07	6.9	248	713	8.1

第67表 ポット試験Ⅰ、地帯別適期栽培に準じた施肥設計N、K<sub>2</sub>O施肥量 (ポット当り)

区 名	基 肥	追 肥	穂 肥
	0.3g	0.2g	0.3g
大 朝	5月14日	6月8日	7月19日
八 本 松	6月17日	7月3日	7月30日

注) P多区、P少区とも共通、リン酸施肥はP多区0.74 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>g/ポットを全量基肥施用P少区は無施用とした。

栽培概要は移植日、大朝5月14日(36日苗)、八本松6月17日(38日苗)、作付様式はポット当り1株3本植とし、収穫は大朝10月4日、八本松10月13日に行った。

ポット試験Ⅱ a/5000ポットにリン酸施肥土壌と無施肥土壌を生土(乾土当り3.5kg)で充填し、八本松において植付より成熟期まで栽培したものと、八本松で幼穂形成期まで栽培し、幼穂形成期に大朝に移動し栽培したもの、および出穂期に大朝に移動した3系列について、生育、収量および養分吸収を調査した。供試土壌の性質は第68表に、また、試験区およびその内容は第69表に示した。移植日6月21日(42日苗)、ポット当り1株3本植、収穫日は大朝では10月18日、八本松では10月15日、その他は一般栽培に準じた。

第68表 供試土壌の理化学性

区名	土性	全C (%)	全N (%)	リン酸吸収係数	遊離Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mg/100g)	CEC (me)	Bray No.2 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	
							風乾土	還元土
P(+)	SL	0.82	0.07	198	727	8.5	39.0	51.3
P(-)	SL	0.78	0.07	256	710	8.1	2.0	4.0

第69表 試験区名およびポット移動時期

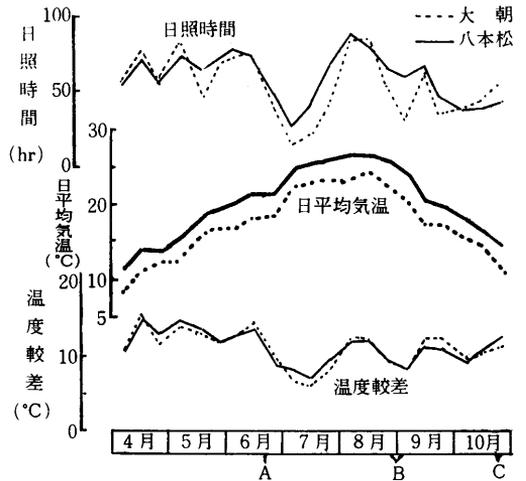
区名	移動月日
八本松	P(+)
八本松	P(-)
八本松	P(+)
八本松	P(-)
大朝	P(+)
大朝	P(-)

注) N施肥、基肥6月18日0.3g、追肥7月6日0.2g、穂肥8月3日0.3g、K<sub>2</sub>OはNと同一分施、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>はP(+区のみ0.74g重過リン酸石灰で基肥施用

2) 試験結果と考察

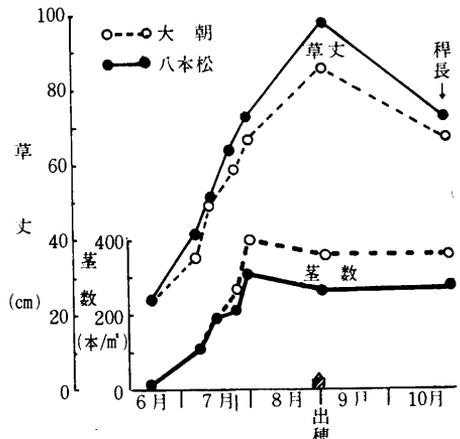
(1) 枠試験Ⅰ

大朝と八本松において、同期日に移植し、同じ施肥管理を行なった1974年の両者の気象は、第60図のようである。稲作期間の平均気温は、大朝が八本松より約2℃低く経過し、大朝では7月の分けつ期の平均気温が20~23℃であり、盛夏においても25℃以上にはいたらず、また、9月以後は約20℃以上が僅か7日程度であった。これに対して八本松では7月が23~25.5℃となり、9月は20~25℃が約30日間つづいた。温度較差は両者に差はないが日照時間は八本松が多い傾向にあった。



第60図 暦日を合わせて栽培した大朝と八本松の気象(1974年)  
注) A:移植, B:出穂, C:成熟  
日照時間は3半旬の合計値

大朝と八本松における生育状況は第61図に、また、収量は第70表に示した。生育と気温の関係をみると、大朝では、移植後1か月間平均気温が20℃以下であり、7月に入って20℃以上になったため、初期生育が劣った。し



第61図 暦日を合わせた栽培における大朝と八本松の生育状況

第70表 水稻の収量および収量構成要素

場所	わら重 (kg/a)	玄米重 (kg/a)	玄米千粒重 (g)	登熟歩合 (%)	1穂粒数	m <sup>2</sup> 当り数 ×100
大朝	55.9	35.1	18.7	66.5	64.9	232
八本松	47.4	48.0	20.4	85.7	94.9	246

かし7~8月は23°C前後がづいたため、草丈の伸長より、分げつに生育が向けられ<sup>42)</sup> 短程で茎穂数の多い草姿となった。これに対し八本松水稻は、移植後の平均気温は22°C前後であり、大朝より初期生育は促進されたが、7月中旬以降は25°C以上となったため、伸長が旺盛<sup>42)</sup>になり、草丈が高く、穂数の少ない様相を示した。出穂期は大朝が八本松より7日遅れ、また、出穂始めから終わりまでの期間は大朝で9日、八本松で3日かかり大朝における出穂期間の延長は、低温と、出穂期の茎葉のリン酸含量が八本松より低いことも関係すると思われた。第70表の収量調査から、玄米重は八本松が高く、大朝は八本松の27%減収となった。この要因はm<sup>2</sup>当りの粒数には関係がないが、登熟歩合、玄米千粒重が著しく劣ったことによるもので、出穂後平均20°C以上の日が少なかったこと<sup>43,90,161)</sup>とリン酸吸収量の少ないこと<sup>43)</sup>が影響したものと考えられる。なお、わら重は大朝が八本松より高い。これは大朝では同化産物の籾への移行が悪く、茎へ集積したことによるものと思われた。

つぎに体内の窒素、リン酸含有量について第71表に示したが、この表から茎葉の窒素、リン酸含有率とも大朝が八本松より低い傾向がみられた。一般に稲体の窒素、リン酸含有率は寒地で高く暖地で低い<sup>52,56,72,136)</sup>が、本実験においては逆の関係がみられた。これについては低リン酸土壌を用いたため、大朝でのリン酸吸収が低温により、とくに生育初期において抑制されたことが、窒素吸収にも影響を与えたものと思われる。

第71表 水稻の無機成分含有量

部位	場所	分げつ期		穂揃期		成熟期	
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
茎葉 (%)	大朝	3.04	0.32	0.84	0.28	0.42	0.10
	八本松	3.20	0.36	0.88	0.34	0.42	0.10
地上部 吸収量 (g/a)	大朝	82	9	696	232	717	288
	八本松	147	17	719	275	765	386

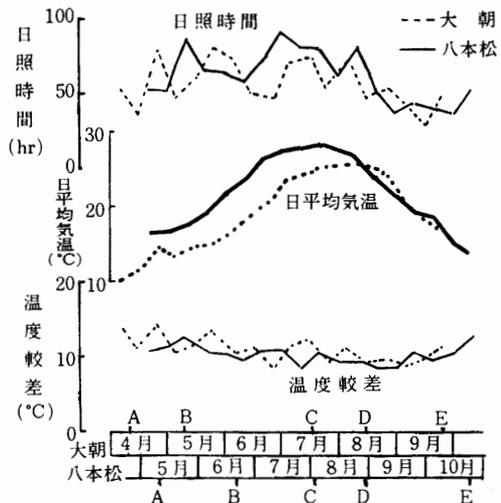
注) 採取月/日、分げつ期7/15(7/15)、穂揃期9/7(8/26)、成熟期10/29(10/21)、( )は八本松

以上のように、リン酸含量の低い土壌を用いて、同時期に栽培した場合のリン酸の肥効は冷涼地の大朝ではリン酸吸収が抑えられ、出穂が遅延するため、さらに低温条件で登熟することになり、リン酸不足とあいまって、登熟不良をおこし著しく減収する。一方、暖地の八本松では出穂後の気温が高いため、リン酸不足状態において

も、リン酸の吸収ならびに移行の高いことから高収量が得られ、気温がリン酸の肥効に及ぼす関係は、穂数または単位面積当りの粒数より、粒重に与える影響が大きいと判断された。

(2) 梓試験Ⅱ

大朝と八本松で、それぞれの地帯の適期栽培におけるリン酸の肥効について、1973年に実施した。その年の気象は第62図に示すように、両場所における出穂期を合わせて作図した。この図で移植から幼穂形成期頃までの両者の平均気温は3~6°Cの差があり、大朝で低く経過した。とくに移植から約20日間は平均気温15°C以下で、その後20日間は20°C以下であり、6月下旬にいたってはじめて20°C以上となった。一方、八本松では約22°Cで移植し、その後22~25°Cが10日間つづき、7月以降は25°C以

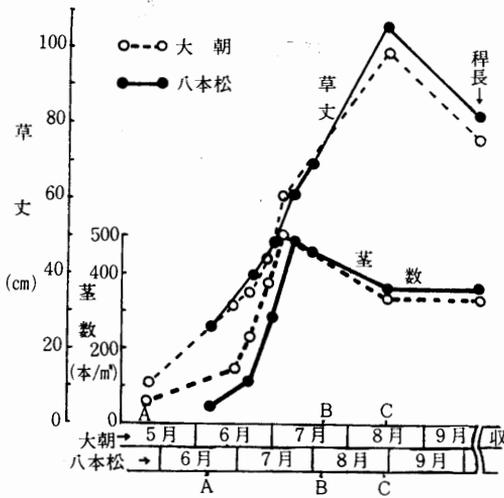


第62図 地帯別適期栽培に準じた大朝と八本松の気象の比較

注) A: 播種, B: 移植, C: 幼穂形成, D: 出穂, E: 成熟の各期を示す日照時間は3半月の合計を示す

上となり、幼穂形成期をむかえた。このような経過から移植後幼穂形成期までの栄養生長期間は、大朝では約70日であり、それに対し八本松では40日程度である。出穂期は大朝では8月12日、八本松ではそれより15日遅れであるが、両者とも適期の出穂範囲<sup>16)</sup>にあり、また登熟期間の平均気温は両者とも20°C以上が約30日間つづき、日照時間も大差がなく、登熟条件は良好と思われた。

さて、このような気象のもとでの水稻生育は第63図に示すように、大朝における分げつ数は、移植から約35日間はほとんど増加していない。新根の発生する温度の下限は、13.0~14.0°C<sup>42)</sup>とされ、また分げつ発生の下限



第63図 地帯別適期栽培に準じた大朝と八本松の生育状況  
 注) A：移植，B：幼穂形成，C：出穂の各期を示す

は17°C前後<sup>43,81</sup>)とみられ、大朝ではこのような低温で20日以上経過することから、生育が進まなかったと解釈される。しかし、一方では、低温は蛋白代謝の持続する期間が長く、かつ、根の活力が大きく後期生育に有利である<sup>43</sup>)ともいわれるが、本土壌の場合には、低リン酸

土壌において低温で経過させることはリン酸吸収からも好ましくない<sup>69</sup>)であろう。活着後大朝では6月上旬からまた、八本松では移植2週間後より、生育が旺盛となり、大朝では短穂多げつ型、八本松では長穂少げつ型となった。

つぎに第72表に示した収量についてみると、前試験と異って、大朝においても出穂後の気温が高く、登熟条件

第72表 水稻の収量および収量構成要素

場所	わら重 (kg/a)	玄米重 (kg/a)	玄米千粒重 (g)	登熟歩合 (%)	1穂粒数	m <sup>2</sup> 当り 籾数×100
大朝	60.1	47.9	22.3	93.8	73.6	245
八本松	68.1	57.6	20.9	89.1	87.4	319

が良好で、両者におけるリン酸の肥効は、この場合、出穂後よりもそれ以前の栄養生長期にあると思われた。玄米およびわら重は八本松が大朝より高い。登熟歩合は大朝が高く、稔実はきわめて良好であったが、大朝では1穂粒数が少なく、単位当りの粒数が確保できなかったことが低収要因である。これについて第73表に示した稲体の含有成分について、窒素およびリン酸の含有量から検討すると、最高分げつにいたる時期は大朝では移植後57日、八本松では27日後であり、この時期までの窒素およ

第73表 水稻の無機成分含有量

部位	場所	分げつ期		幼穂形成期		出穂期		成熟期	
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
茎葉 (%)	大朝	3.04	0.42	1.15	0.38	0.79	0.34	0.41	0.11
	八本松	3.12	0.33	2.17	0.38	0.98	0.35	0.48	0.14
地上部吸収量 (g/a)	大朝	371	46	557	184	804	341	764	359
	八本松	293	31	768	135	1,075	380	1,014	445

注1) 採取月/日, 分げつ期7/2(7/16), 幼穂形成期7/20(8/1), 出穂期8/13(8/29), 成熟期9/21(10/12)  
 注2) ( )は八本松を示す。

びリン酸吸収は大朝が高いが、幼穂形成期以降の窒素およびリン酸吸収は八本松より劣った。

大朝で相対的に養分吸収が低下したことは、低リン酸の土壌による移植後約40日間の低温条件のためと、使用土壌の塩基置換容量が小さいことから土壌溶液の窒素濃度が高く<sup>113</sup>)なり、それが降雨などによって流亡を多くし、施肥窒素の減少をきたしたことがあげられる。

保肥力の小さいこのような土壌で作付期間を長くする栽培では、幼穂形成期頃の窒素の肥効を低下させ、ひい

ては1穂着粒数の減少をまねく結果となった。この場合における低リン酸土壌の影響は、初期分げつを抑えたために、土壌-植物の系外に窒素が放出されたこと、また後期の窒素吸収が劣ったためにリン酸吸収が低下したものであり、リン酸の肥効は窒素吸収との関係で認められた。一方、八本松ではこれまでのべてきたように、幼穂形成期の茎葉の窒素含有率が高いことから、1穂粒数を多くし、また、大朝より本田の作付期間が短いことは窒素の系外損失を少なくしたと思われ、また、登熟にお

いても低温の影響はなく、低リン酸含量の稲体でも、収量構成要素が能率よく達せられたため、冷涼地よりも高収が得られたと解釈された。

(3) ポット試験Ⅰ

リン酸含有量の多と少の二つの土壌を供試し、地帯別適期栽培におけるリン酸の肥効についてみた。本試験を実施した1971年の大朝および八本松の気象は、枠試験Ⅱに示した第61図とほぼ同様の傾向を示したので、ここでは割愛した。この場合、八本松では、ポットと一般圃場の水稲の生育時期はほぼ同じであったが、大朝では、ポット栽培が一般圃場より約10日遅れて出穂した。そのため、出穂後の気温は若干不利な条件におかれた。

水稲の生育状況は第64図のようで、また収量成績は第74表のとおりである。草姿は大朝では短稈多げつ、八本松では長稈少げつとなることは前試験と同様であったがとくにP多区の分けつ期によく現われた。

第74表 水稲の収量成績

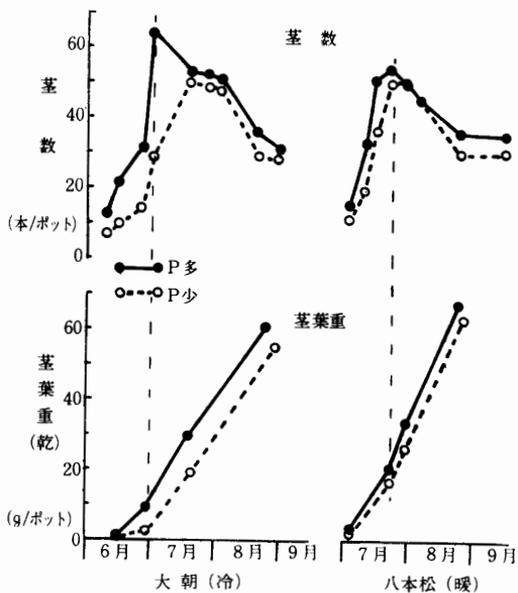
区名	稲重 (g)	わら重 (g)	稔歩合 (%)	稲収量比	
大朝	P多	41.1	42.9	91.2	100 —
	P少	28.0	41.2	86.2	68 —
八本松	P多	51.0	44.4	96.6	124(100)
	P少	41.5	41.5	93.6	101(81)

茎数の推移をみると、大朝の生育が旺盛のようであるが、茎葉重の関連でみると、P多区では、最高分けつ期の大朝の茎葉重はポット当たり約10gに対し、八本松では20gと高い。すなわち、大朝では小分けつが多く発生している。このことはP少においても同様で、大朝では茎葉乾物重の増加が緩慢であった。一方リン酸の多少による茎数の開き、および乾物重の差も大朝が大きく、八本松で小さく、リン酸の効果は大朝が高いことがうかがわれた。

収量は稲重、わら重ともに八本松が前期より高い。大朝では生育時期が多少遅れたこともあって稔歩歩合が若干劣り、稲収量に及ぼすリン酸の効果がよく現われた。八本松では、P少区はP多区より穂数と稔歩歩合が劣ったが、大朝のような大差はなく、P多区に近い収量が得られた。

このような地帯別の差異について、第75表、第76表の稲体の窒素とリン酸の含量からみると、窒素含有率は、P多区の場合は大差がないが、P少区では大朝において低い傾向がみられた。このことは前試験と同様に施肥窒素の系外損失によると考えられる。リン酸含有率は、茎葉、穂の乾物重が低い大朝で、高い傾向にあり、成熟期のリン酸吸収量は八本松と大差ない値を示した。

以上、この試験では、大朝は登熟期の気温が八本松より低く、また栄養生長期間が長びいたことから、リン酸の効果が大きく現われた。一方、八本松は、出穂期茎葉におけるP少区のリン酸含有率は0.21%と低い。本谷<sup>42)</sup>は、伸長期のリン酸0.3% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>以下では生育が阻害され、また籾では0.45%以下で青米が増すとしているが、



第64図 茎数および茎葉重の推移

第75表 水稲の窒素およびリン酸含有率

区名		N(%)				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)			
		出穂期		成熟期		出穂期		成熟期	
		茎葉	穂	茎葉	籾	茎葉	穂	茎葉	籾
大朝	P多	0.88	1.26	0.53	1.13	0.63	0.50	0.34	0.73
	P少	0.79	1.08	0.47	1.17	0.29	0.37	0.07	0.59
八本松	P多	0.85	1.21	0.45	0.96	0.56	0.47	0.18	0.70
	P少	0.84	1.21	0.40	1.09	0.21	0.35	0.04	0.43

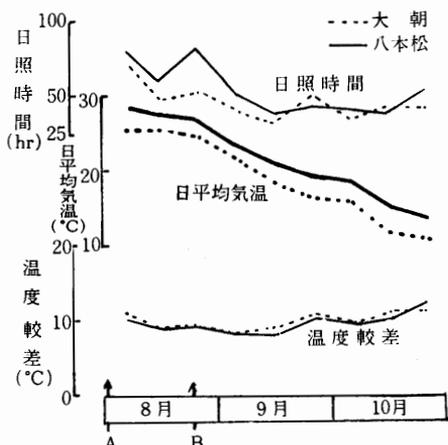
第76表 水稻成熟期の窒素およびリン酸吸収量

区名		N(mg/ポット)			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/ポット)		
		茎葉	籾	合計	茎葉	籾	合計
大朝	P多	227	464	691	146	300	446
	P少	194	328	522	32	165	197
八本松	P多	201	490	691	80	357	437
	P少	168	452	620	18	179	197

この試験ではこれ以下の低含量のため、八本松においても登熟に対して影響がみられた。しかし大朝と比較すれば、リン酸の肥効の小さいことがうかがわれた。

(4) ポット試験Ⅱ

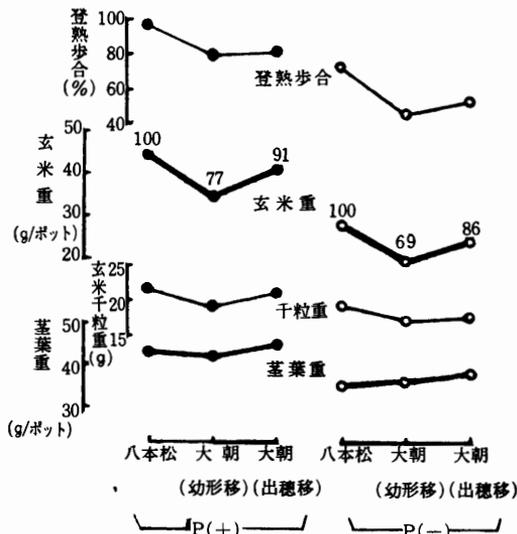
幼穂形成期および出穂期に、八本松から大朝へ水稻を移動した年の気象は、第65図のようである。両者の温度較差の差異は少ない。大朝では八本松より日照時間がや



第65図 ポット移動後の大朝と八本松における気象の比較 (1973年)  
注) A: 幼穂形成期 (移動) B: 出穂期 (移動)

や少なく、平均気温も2~3℃低い。出穂後20℃以上の平均気温は大朝では14日間あり、八本松では27日間であった。このため八本松では登熟に対する気温は好条件であったが、大朝では必要気温の最低<sup>161)</sup>か、僅かに不足<sup>90)</sup>であった。

水稻生育は、八本松から大朝への幼穂形成期移動により、草丈の伸長は抑えられ、出穂は3日遅延した。収量は第66図に、また籾体の窒素、リン酸含有量は第77表に示した。第66図から、玄米収量は大朝移動によっていずれも減収し、その程度はP(-)区がP(+ )区より大きくなり、幼穂形成期の移動は、出穂期の移動より減収した。これら減収要因は、登熟歩合と千粒重の低下に起因していることが明らかである。



第66図 八本松から大朝へ移動した水稻の登熟に及ぼすリン酸の効果 注) (幼形移)は幼穂形成期移動、(出穂移)は出穂期に移動

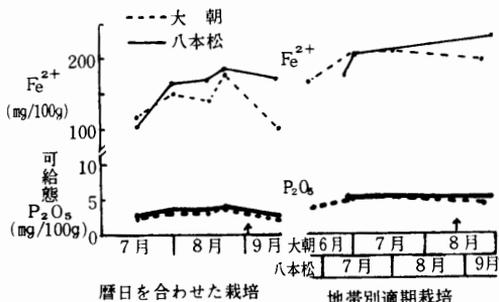
第77表 水稻の窒素およびリン酸含有量

区名		幼穂形成期		出穂期		成熟期		成熟期吸収量		
		茎葉	籾	茎葉	籾	茎葉	籾	N (g/ポット)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/ポット)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 比
		N(%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	N(%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	N(%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)			
八本松	P(+)	1.29	0.67	1.07	0.61	0.42	0.24	644	386	100
	P(-)	2.04	0.26	1.22	0.20	0.45	0.06	481	144	(100)
八本松	幼穂形成期 (移)	P(+)	—	—	—	0.56	0.31	648	353	91
		P(-)	—	—	—	—	0.59	0.07	492	96
大朝	出穂期 (移)	P(+)	—	—	—	0.44	0.26	648	370	96
		P(-)	—	—	—	—	0.52	0.07	492	108

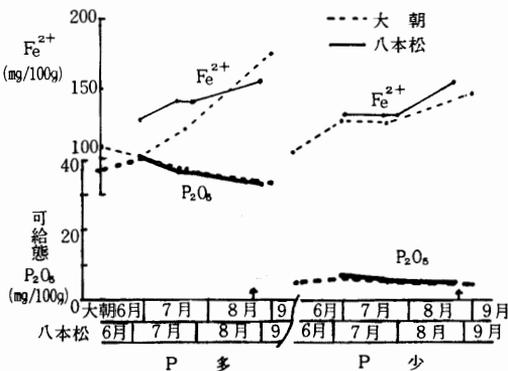
つぎに、移動による成熟期茎葉の窒素およびリン酸含有率についてみると、大朝が八本松より高い傾向にあるが、それらの吸収量は窒素においては八本松と大朝では差がない。しかしリン酸の吸収量は、とくにP少区で大朝移動により、しかも早く移動したものが低下したことが注目される。すなわち、気温の高低による養分吸収はアンモニア態窒素よりリン酸が影響を受けやすい(152)が本実験においても認められ、大朝では生育後期のリン酸吸収の低下と登熟期の気温が若干低いことが、粒の充実に影響したものと考えられ、冷涼地においては、暖地より生育後期にリン酸の必要性の大きいことが認められた。

(5) 土壌の可給態リン酸含量

梓およびポットにおける大朝と八本松土壌の Bray No. 2 可給態リン酸および2価鉄含量について、水稻作付期間中の時期別消長をみた。その結果は第67図および第68図に示した。梓試験に用いた低リン酸土壌の Bray No. 2 リン酸含量は、2~5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g であり、こ



第67図 梓栽培における土壌2価鉄と Bray No. 2 可給態リン酸含量の推移 (注) ↑印出穂期



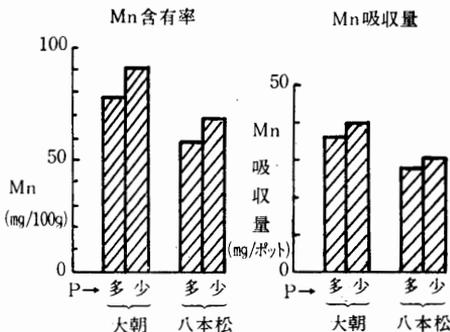
第68図 ポット栽培における土壌2価鉄と Bray No. 2 可給態リン酸含量の推移 (注) ↑印出穂期

の値はⅡの試験で明らかにしたように、収量に対しリン酸不足の含量であり、時期別含有量の変化は少ない。他方、2価鉄含量は大朝が低く、八本松で高く、八本松では土壤還元を進んでいることがみられる。しかし可給態リン酸含量は、同時期に移植したもの、あるいは地帯別適期栽培に準じた時期別変化においても両場所における差はごく僅かしか認められない。また、第68図のポット試験から、P多区の可給態リン酸は30~40mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100gで、稲作のリン酸含量としては充分であり、P少区では3mg前後で不足の含量である。この場合においても、リン酸の可給化量には両場所の差が認められない。このことはⅣ-2試験によって明らかにしたように、花こう岩質土壌は他の土壌より、リン酸の可給化に対する土壤還元の影響が少なく、全リン酸に対する可給化量が高いことと符合するものである。

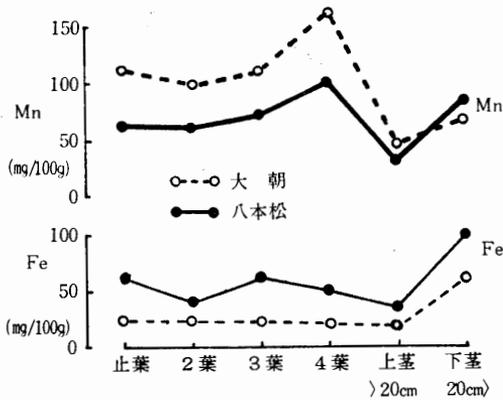
(6) 水稻体のマンガンおよび鉄含量

梓およびポットによる本実験において、土壌中のリン酸含量の多少は、稲体のリン酸含有率と比例的関係がみられたが、リン酸が稲体のマンガン含量に及ぼす関係を見るため、地帯別のマンガン吸収の違い、および両場所における水稻の部位別マンガンと鉄の含有率についてみた。それらの結果は第69図と第70図に示した。

第69図の成熟期における茎葉のマンガン含有率は、P多区はP少区より低く、その吸収量においても同様でP多区で少ないことが認められた。また、第70図に示した部位別のマンガン含有率についても、大朝で高く、八本松で低い。しかし鉄含有率は逆に大朝で低く、八本松で高い関係にあった。藤原ら(22,23)によると、水稻のマンガン吸収は低温および低温遮光下で著しく促進されること、鉄の吸収は逆にこのような条件では著しく少なくなることを認めており、本実験と同様であるが、大朝では土壌の2価鉄含量からみて、還元の発達が大朝より少なく、このことは根がより健全であったと推定され、そのためにマンガン吸収が増大したことも考えられる。



第69図 水稻成熟期における茎葉のマンガン含有量



第70図 水稻成熟期における部位別鉄およびマンガン含有率 (N少区)

以上、枠およびポット試験により、気象の違いとリン酸の肥効を土壌および植物からみたが、これらの結果を総合的に考察すると、冷涼地の大朝と暖地の八本松におけるリン酸の肥効は、両場所で6月中旬移植の場合は大朝では、登熟期の低温がとくにリン酸含量の低い土壌で登熟歩合の低下となり減収する。また、気象のよい条件で出穂させた場合には、生育前半のリン酸および窒素吸収の低下によって減収する。なお、温度の低い条件で登熟をさせる場合には、生育後期においてもリン酸吸収を促す必要があることがうかがわれた。一方、八本松では、登熟期の温度も高く、低リン酸の土壌では、生育中期の窒素の肥え切れが少なく、1穂粒数が低下せず、リン酸吸収も高く、収量低下の少ないことがみられた。

八本松は大朝より平均気温差が約3℃高く、八本松では高温による土壌中のリン酸の可給化が、リン酸の肥効を高めるであろうと考えられたが、両場所におけるリン酸の可給化量は、さきに示した本土壌の特性から差が非常に少なかった。このことから、八本松が大朝より水稻のリン酸吸収の高いことは、土壌リン酸の可給化量の増加よりも、高温による水稻根の養分吸収能の増大がより大きく関与していると判断した。

#### 4. 作季移動によるリン酸の肥効

##### 1) 試験の方法

##### (1) 試験の条件

供試水田は農試水田Ⅱ-4圃場で、土壌は凝灰岩を含む花こう岩質湖成沖積土、グライ土壌粘土型、減水深0.7cm/日である。圃場の前歴は、1969年よりリン酸施肥系列、およびリン酸無施肥系列として4年間継続させたもので、土壌断面および土壌の理化学性はⅢ-3試験に記載した。

##### (2) 試験区の規模と構成

1区12.5m<sup>2</sup>、2連制で実施した。試験区は早植栽培(早植)、普通移植栽培(普通植)、晩植栽培(晩植)の各栽培において、従来からのリン酸施肥系列をリン酸区(P(+))区に、リン酸無施肥系列を無リン酸区(P(-))区にし、また、それぞれに出穂10日前窒素施肥を設け、P(+), N区およびP(-), N区とした。各栽培における施肥法は第78表に記載したとおりで、窒素および加里の施肥法は、本田生育期間の長い早植では普通植の10%増、また、生育期間の短い晩植では普通植の20%減肥とした。

第78表 試験区名および施肥内容

区名	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 基肥	N 分 施				N 計	K <sub>2</sub> O
		基肥	追肥	穂肥Ⅰ	穂肥Ⅱ		
		5月22日	6月20日	7月19日 (7月21日)	7月28日 (8月1日)		
P(+)	1.5	0.6	0.2	0.3	0	1.1	1.1
早 P(+)	1.5	0.6	0.2	0.3	0.3	1.4	1.1
植 P(-)	0	0.6	0.2	(0.3)	0	1.1	1.1
P(-)	0	0.6	0.2	(0.3)	(0.3)	1.4	1.1

区名	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 基肥	N 分 施				N 計	K <sub>2</sub> O
		基肥	追肥	穂肥Ⅰ	穂肥Ⅱ		
		6月23日	7月4日	8月1日	8月11日 (8月14日)		
P(+)	1.5	0.5	0.2	0.3	0	1.0	1.0
普通植 P(+)	1.5	0.5	0.2	0.3	0.3	1.3	1.0
P(-)	0	0.5	0.2	0.3	0	1.0	1.0
P(-)	0	0.5	0.2	0.3	(0.3)	1.3	1.0

区名	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 基肥	N 分 施				N 計	K <sub>2</sub> O
		基肥	追肥	穂肥Ⅰ	穂肥Ⅱ		
		7月3日	—	8月11日	8月20日 (8月24日)		
P(+)	1.5	0.5	—	0.3	0	0.8	0.8
晩 P(+)	1.5	0.5	—	0.3	0.3	1.1	0.8
植 P(-)	0	0.5	—	0.3	0	0.8	0.8
P(-)	0	0.5	—	0.3	(0.3)	1.1	0.8

注) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は重過リン酸石灰、基肥N、K<sub>2</sub>OはNK硫酸塩、追肥および穂肥ⅠはNK塩化物、穂肥Ⅱは塩化アンモニウムを使用した。

##### (3) 一般栽培の概要

水稻品種は峰光を供試した。苗代は各栽培とも畑苗代とし、苗代播種ならびに施肥法は第79表のとおりである。

移植日は早植5月23日、普通植6月25日、晩植7月5日に行い、栽植様式24×24cm、17.4株/m<sup>2</sup>、1株3本植とした。穂肥Ⅰは出穂24日前、穂肥Ⅱは出穂10日前を目

第79表 畑苗代の施肥内容

区名	播種	N, K <sub>2</sub> O (g/m <sup>2</sup> )			苗代期間 (日)
		追肥Ⅰ	追肥Ⅱ	追肥Ⅲ	
早植	4月12日	8(4月25日)	4(5月4日)	4(5月14日)	41
普通植	5月13日	8(6月7日)	3(6月19日)	0	33
晩植	6月11日	8(6月19日)	0	0	24

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: +Pは基肥8g/m<sup>2</sup>施用, -P区なし

標に施した。刈取り時期は、早植P(+)系列9月12日, P(-)系列9月26日, 普通植P(+)系列10月9日, P(-)系列10月15日, 晩植P(+)系列10月15日, P(-)系列10月19日に実施した。

(4) 分析法

土壌:pHはガラス電極法, 可給態リン酸はBray No.2法, 2価鉄は $\alpha$ - $\alpha'$ ディピリディール法, 作物体:窒素はケルダール法, リン酸はバナドモリブデン酸法, 珪酸は重量法, マンガンは原子吸光法によった。

2) 試験結果と考察

(1) 気象と生育状況の一般概況

1973年の栽培期間における平均気温と日照時間は、第71図に示すとおりである。日照時間は生育の前半、ことに7月は例年より多照であり、登熟期間は平年並みかやや不足気味であった。各栽培と気象の関係をみると、早植は移植から出穂までが70日以上もあり、したがって幼穂形成期までの栄養生長期間が最も長く、また、P(+)区とP(-)区の出穂期の開きも大きい。移植は15°C前後

であるが、その後気温上昇が早く、分けつ期には20~23°Cの期間が長く続き、分けつ増加には最適<sup>42)</sup>の条件であった。しかし登熟期には25°C以上の高温<sup>1,90)</sup>が、とくにP(+)区では約30日間続いた。一方普通植は7月以降25°C以上の高温となり、分けつ増加には不利な条件<sup>42)</sup>であったが、登熟期の気温は20°C以上が約30日以上続き25°C以上の高温期間も少なく、村田<sup>90)</sup>のいう、出穂成熟の30日間、平均気温21.2°Cのとき登熟が最もよいとする気温に近く、登熟条件は良好であった。また晩植は普通植より高温条件で移植されたことと、栄養生長期間が短いため、穂数の確保は不利であり、また登熟期は平均気温20°Cが約23日間で、やや不足気味であった。

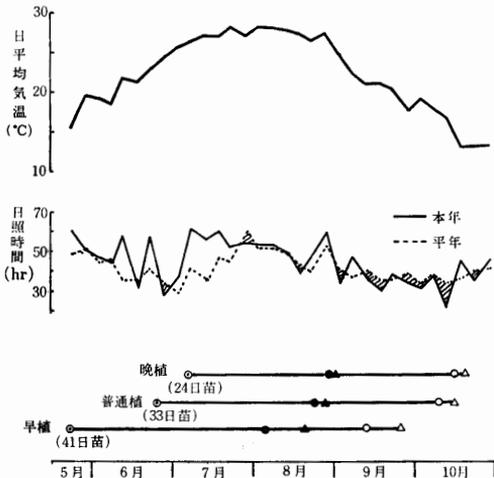
(2) 土壌 pH, 2価鉄およびBray No. 2 可給態リン酸含量

早植, 普通植, 晩植の各栽培における作土の pH, 2価鉄および Bray No. 2 可給態リン酸含量は第80表のとおりである。各栽培における2価鉄含量は、いずれの時期においてもP(+)区はP(-)区より高く、土壌還元が進行していることを示しているが、作季別では、普通植が早植や晩植より高く、土壌還元の発達が大きいのことについて、各試験区とも荒起こしは5月中旬に行ったが、早植では荒起こしから湛水までの期間が短く、普通植は荒起こしから6月22日の湛水まで土壌が比較的良好に乾き、晩植では7月上旬湛水の約30日間は畑状態の水分に保たれていたことから、湛水による有機物の分解は、普通植が最も旺盛であったと思われる、それによって土壌還元が促進され、2価鉄含量が増したものと判断された。

pHは6.8~7.0前後で植付時期による差はみられない。Bray No. 2 可給態リン酸含量は、P(-)区はいずれも5mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g以下であり、この値はいままでのできてきたように、水稻の収量低下をまねく土壌含有量であるが、普通植は他の栽培より僅かながら高い傾向が認められる。これは2価鉄含量も同様に高いことから、土壌還元の発達に関係があると思われた。一方、P(+)区では可給態リン酸含量は37~61mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100gであり、この範囲の含量では、リン酸による生育差が現われないことはこれまでの実験で明らかにした。このようにP(+)区とP(-)区においては、各栽培とも可給態リン酸含量に著しい差がみられた。

(3) 水稻の生育, 収量

各作季における草丈は生育の各時期ともP(-)区が劣り、成熟期の稈長では普通植がP(+)区91cm, P(-)区88cmで最も高く、早植は普通植よりP(+)区で6cm, P(-)区で4cm低く、また晩植は普通植よりP(+)区で4



第71図 移植時期および生育ステージにおける気象状況 (1973年)

注) ●移植日, ●P(+)出穂期, ▲P(-)出穂期, ○P(+)成熟期, △P(-)成熟期 (広島農試気象観測による)

第80表 水稻作付期間における土壌の pH, Bray No.2 可給態リン酸および 2 価鉄含量

区名	pH				Bray No.2 可給態P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)				Fe <sup>2+</sup> (mg/100g)				
	6月28日	7月19日	8月11日	9月6日	6月28日	7月19日	8月11日	9月6日	6月28日	7月19日	8月11日	9月6日	
早植	P(+)	6.81	6.62	6.74	6.90	44.6	36.7	38.6	37.6	248	194	256	262
	P(-)	6.75	6.84	6.68	6.77	2.7	3.5	3.3	3.1	148	206	211	230
普通植	P(+)	6.94	6.90	6.87	6.97	56.7	61.0	49.4	55.7	323	380	322	346
	P(-)	6.91	6.90	6.93	6.93	4.0	4.7	4.5	4.1	184	254	239	242
晩植	P(+)	7.00	6.77	6.94	—	51.1	49.8	45.3	—	297	249	291	—
	P(-)	6.94	6.83	6.70	—	3.3	3.9	3.4	—	194	218	197	—

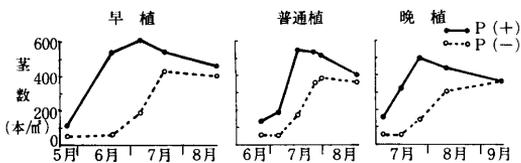
注) 出穂期, 早植: P(+)<sup>1</sup>8月4日, P(-)<sup>1</sup>8月14日, 普通植: P(+)<sup>1</sup>8月24日, P(-)<sup>1</sup>8月28日, 晩植: P(+)<sup>1</sup>8月29日, P(-)<sup>1</sup>9月1日

cm, P(-)区で11cmそれぞれ低く, リン酸が草丈に及ぼす効果は晩植に大きくみられた。茎数については, さらに処理間差が大きくみられたので, その時期別推移を第72図に, また茎葉乾物重の消長を第73図に示した。これらの図から, P(+)<sup>1</sup>区とP(-)<sup>1</sup>区の生育の開きが大きいのは早植および晩植であり, 普通植のP(-)<sup>1</sup>区は, これらの栽培のうちではP(+)<sup>1</sup>区に近い生育経過を示した。早植の場合, P(+)<sup>1</sup>区では分げつ期の好適気温<sup>42)</sup>によって分げつは著しく増加し, 6月以降は乾物が急増し, 他の栽培より生育が優れた。しかしP(-)<sup>1</sup>区では, 移植後30日間平均気温18~22°Cであり, また土壌の可給態リン酸含量も低いことから, 生育が抑制され, P(+)<sup>1</sup>区との開きを大きくした。このことは, さきのVI-2の長期継続リン酸試験でみられたように, 茎数差の大きく現われる気象は, 分げつ期の低温の影響が大きかったこと

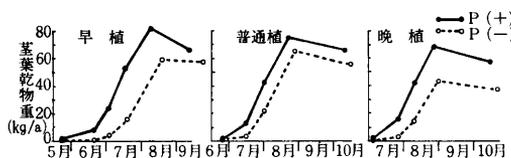
と符合する。このように早植のP(+)<sup>1</sup>とP(-)<sup>1</sup>区の生育相には著しい差がみられ, 前者は初期生育過剰型であり後者は生育中期促進型とみられた。

普通植ではP(+)<sup>1</sup>区は7月15日頃まで茎数が促進されるが, これに対しP(-)<sup>1</sup>区は約10日遅れで生育差がみられた。他方, 晩植では一般に栄養生長期が短いので, 多くの分げつ数が期待できず, 穂数の確保が困難とされているが<sup>144)</sup> P(+)<sup>1</sup>区では普通植よりやや劣った程度で大差がみられない。しかしP(-)<sup>1</sup>区では低リン酸土壌と高気温で茎数増が緩慢<sup>42)</sup>で, 生育量の少いまま出穂期を迎えたので, 乾物重においてもリン酸施肥の有無によって大きな差がみられた。

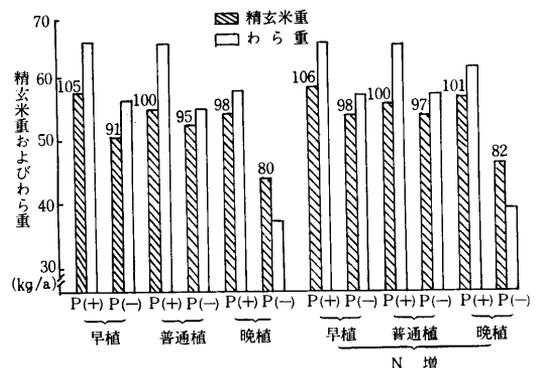
つぎに収量は第74図に, また収量構成要素は第75図に示した。第73図からP(+)<sup>1</sup>区における作季別玄米収量は, 早植が最も高く, ついで普通植, 晩植の順となったが, P(-)<sup>1</sup>区の減収は晩植が最も大きく, ついで早植で



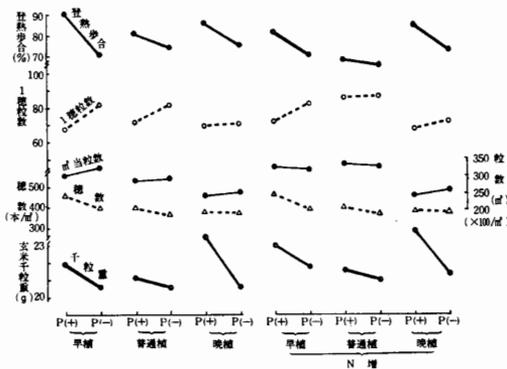
第72図 作季別茎数の推移



第73図 作季別茎葉乾物重の推移



第74図 作季別リン酸施肥の有無と水稻収量 (グラフ頭上の数字は精玄米収量指数)



第75図 作季別リン酸施肥の有無と収量構成要素

あり、普通植は小さい。換言すれば、玄米収量に対するリン酸の施肥効果は、晩植および早植で大きく、普通植で小さい。

出穂10日前の窒素増肥によって、P(+)区とP(-)区の収量差は縮まり、リン酸施肥効果が窒素によって小さくなる傾向がみられた。ただし晩植では稲体窒素濃度が高いため、その効果は明らかでなかった。

これらの結果を第75図の収量構成要素からみると、いずれの作季においてもP(-)区は穂数減となるが、1穂粒数が多くなっていることから、単位面積当りの粒数には大差がない。しかし登熟歩合および千粒重は、P(+)区との差が大きく、とくに早植と晩植にみられるが

これはP(-)区で低下するというよりも、これらの作季ではP(+)区で高まり、リン酸施肥によって、普通植以上に登熟を高めていることが収量差を大きくしたものである。一方、普通植では、P(+)区によって粒の充実がそれほど高まらないことから、P(-)区との収量差が小さくなったものと解釈される。このような結果は登熟の適温(90,161)からでは説明がつかず、繁茂度、稲体窒素濃度それに気温の相互関係によって生ずるものと思われる。

(4) 水稻の養分含量

水稻の窒素およびリン酸含有率は第81表に、それらの吸収量は第82表に示した。松浦<sup>82)</sup>は、早期水稻は普通期水稻よりリン酸吸収量が多く、無リン酸区では初期生育におけるリン酸要求度が普通期水稻より高いとみている。本実験における早植では、P(+)区に対するP(-)区のリン酸吸収比は普通植の比よりも低く、生育初期にリン酸の必要性が大きいため早植はリン酸吸収の絶対量が高いことが同様に認められた。一方、窒素については早植は普通植および晩植より生育の後半に含有率の低下がみられた。そのため、P(-)区では、窒素およびリン酸含有率の低下によって登熟歩合が下ったものと考えられる。このことはP(-)N区の窒素増肥によって玄米千粒重が増大することからも、早植では土壌リン酸の低含量が登熟期水稻のリン酸および窒素の吸収低下をきたし、これが要因となって減収すると考えられた。

一方、晩植では、P(-)区の茎葉リン酸含有率は普通

第81表 水稻の窒素およびリン酸含有率

(%)

区 名	茎 葉								
	分けつ期		穂 揃 期		成 熟 期		成 熟 期		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
早 植	P(+)			0.97	0.57	0.66	0.32	1.14	0.59
	P(+)	3.61	0.98	1.22	0.61	0.80	0.36	1.27	0.61
	P(-)			1.01	0.45	0.63	0.17	1.00	0.49
	P(-)	2.70	0.33	1.29	0.33	0.73	0.15	1.08	0.47
普通植	P(+)			1.18	0.63	0.83	0.34	1.15	0.53
	P(+)	3.26	0.99	1.39	0.65	0.87	0.34	1.30	0.53
	P(-)			1.22	0.51	0.77	0.25	1.13	0.57
	P(-)	3.31	0.44	1.65	0.52	0.84	0.22	1.30	0.55
晩 植	P(+)			1.32	0.63	1.13	0.26	0.75	0.56
	P(+)	3.19	1.00	1.72	0.72	1.29	0.35	0.98	0.56
	P(-)			1.58	0.41	1.15	0.14	0.71	0.50
	P(-)	3.31	0.41	1.95	0.38	1.27	0.13	0.84	0.46

注) 分けつ期: 早植6月21日, 普通植7月16日, 晩植7月26日

第82表 水稻の窒素およびリン酸吸収量

(g/a)

区 分		分 げ つ 期			穂 揃 期			成 熟 期		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (比)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (比)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (比)
早 植	P(+)	312	85	100	901	504	100	1,166	589	100
	P(+) P(+) N				1,155	552	(100)	1,334	624	(100)
	P(-)	15	2	2	713	308	61	928	377	64
	P(-) P(-) N				914	243	(44)	1,074	372	(60)
普通植	P(+)	396	120	100	997	512	100	1,248	547	100
	P(+) P(+) N				1,225	553	(100)	1,356	543	(100)
	P(-)	77	10	8	899	370	72	1,073	465	85
	P(-) P(-) N				1,211	384	(69)	1,241	448	(83)
晩 植	P(+)	498	156	100	1,017	469	100	1,085	468	100
	P(+) P(+) N				1,427	581	(100)	1,391	540	(100)
	P(-)	63	8	5	783	208	44	797	292	62
	P(-) P(-) N				937	191	(33)	956	277	51

注) 分げつ期：早植 6月21日，普通植 7月16日，晩植 7月26日

分げつ期は茎葉，穂揃期は茎葉と穂の含量，成熟期は茎葉と籾の含量の吸収量を示す。

植より低く，穂揃期における吸収量も他の作季より劣るが，これは低リン酸含量では体内窒素濃度が高いことによるリン酸の吸収抑制が加わっていることが考えられる。さらに晩植は，生育期間の短いことによって穂揃期のリン酸含有率，および保有量はP(+)  
P(+)  
N区の1/2と低く，P(-)  
P(-)  
N区では窒素増肥の効果がみられなかったことか

ら，晩植ではリン酸不足の単独要因が稔実に関与し，減収すると考えられた。

このように，早植および晩植ではリン酸施肥効果がみられたが，普通植ではこれらの関係が小さく，リン酸施肥の影響が収量に現われにくかった。

つぎに，籾体の珪酸およびマンガン含有率についての

第83表 茎葉の珪酸およびマンガン含有率

(SiO<sub>2</sub>%, Mn mg/100g)

区 名		分 げ つ 期		茎 葉		成 熟 期		籾	
		SiO <sub>2</sub>	Mn	穂 揃 期		成 熟 期		成 熟 期	
				SiO <sub>2</sub>	Mn	SiO <sub>2</sub>	Mn	SiO <sub>2</sub>	Mn
早 植	P(+)	4.2	84	7.3	45	10.4	56	3.5	5
	P(+) P(+) N			7.2	49	9.6	61	3.1	5
	P(-)	6.6	71	8.0	54	10.8	79	3.6	5
	P(-) P(-) N			8.2	59	11.2	84	3.7	6
普通植	P(+)	4.9	70	8.1	46	11.4	64	3.2	5
	P(+) P(+) N			8.1	54	11.4	52	3.1	6
	P(-)	6.9	55	7.9	63	11.9	80	3.4	5
	P(-) P(-) N			7.6	56	10.8	80	3.1	5
晩 植	P(+)	5.8	101	7.3	57	11.0	79	2.8	4
	P(+) P(+) N			7.5	55	9.8	65	2.5	4
	P(-)	7.9	66	8.3	60	11.6	90	3.2	6
	P(-) P(-) N			7.4	61	11.7	102	3.0	5

注) 分げつ期：早植 6月21日，普通植 7月16日，晩植 7月26日

結果は第83表に示した。この表から、茎葉の珪酸含有率はおおむねP(-)区がP(+ )区より高く、マンガン含有率は、分げつ期においてはP(-)区がP(+ )区より低いが、穂揃期以降では逆にP(-)区の含量が高く、珪酸と同様の傾向がみられた。なお、出穂10日前の窒素施肥による影響、および作季間の含量には大差がみられなかった。

## 5. 要 約

暖地では、水稻に対するリン酸施肥の効果が明らかでない要因の一つに高温があげられるが、圃場の栽培条件でこの関係をみたものは少ない。ここでは、花こう質土壌を用いての栽培期間の温度が水稻のリン酸吸収に与える影響、ならびに土壌リン酸の可給化量に及ぼす影響について、主として圃場で検討しつぎの結果を得た。

1) 1930年からの長期継続リン酸試験圃場において、1947年から22年間の気象と水稻生育の関係で、分げつに対してリン酸の肥効の現れる条件は、7月上・中旬の日平均気温が22.5~23.5°Cの低温に該当する気温で、また日照時間の多い年であった。一方、玄米千粒重に及ぼすリン酸の効果は、9月上・中旬の日平均気温が22~21°Cで、低温に該当する気温で、その期間の日照時間は並照(72.2~112.0時間)であった。しかしこれらに該当する年は比較的少なく、多くの年は7月は高温、寡照であり、9月は気温が比較的高く、リン酸の肥効のでにくい年が多いことがわかった。

2) 気温制御室で、温度を変えて栽培した稲体のリン酸の移行から無リン酸区の水稲では、高温処理(日間最高気温、夜間-4°C)は低温処理(日間最低気温、夜間-4°C)より止葉のリン酸含有率が高く、リン酸施肥区の止葉とほぼ同含量となり、体内移行の大きいことがみられ、この止葉のリン酸含量の増大は、光合成作用を旺盛にし、穂への澱粉の移行に効果的に働いたものと考えられる。

3) 標高400mの大朝(冷涼地)と標高200mの八本松(暖地)に、同じ花こう岩質土壌および同品種を用いた枠試験によるリン酸の肥効は、低リン酸土壌を用い、暦日を同じにした6月中旬植では、大朝においてはリン酸吸収が抑えられ、出穂期の遅延によって、登熟期はより低温条件となること、および体内リン酸含有率の不足から著しく稔実不良となる。一方、その地帯における適期栽培の場合には、大朝においては、低リン酸土壌の場合には、移植後長期間生育が進まず、そのため保肥力の小さい本土壌は、溶液窒素の系外損失から、粒数が減少し、また生育後半の窒素吸収の低下は、リン酸吸収を低下さ

せ減収にいたる。これに対し、八本松では分げつ期および登熟期の平均気温が3°C高く、また地帯別適期栽培では、登熟期の気温は大差がないが栄養生長期間は約5°C高いことから、生育およびリン酸吸収が勝り大朝より高収となった。

4) また、ポットを用いたリン酸の多少による収量は、大朝で大きく、八本松では小さい。大朝では低リン酸区は初期生育が進まず出穂が遅延したことと、窒素吸収の低下が影響し減収した。なお、生殖生長期以後に八本松から大朝へ移動したものはリン酸吸収が低下し減収した。このことから、冷涼地は暖地より生育の後期においても、リン酸の必要性が大きいがうかがわれた。

5) 作土の2価鉄含量の増加から、八本松が大朝より還元が発達したが、Bray No. 2 可給態リン酸含量は八本松が僅かに高いか、またはほとんど差がなかった。そのため、八本松における水稻のリン酸吸収量の増大は、土壌の可給態リン酸の増加からよりも、高温による水稻のリン酸吸収能の増大によるところが大きいと考えられた。

6) 早植、普通植、晩植におけるリン酸の肥効について、早植の無リン酸区では、生育初期のリン酸吸収が著しく劣り、生育が遅れ、生育後期のリン酸および窒素含有率の低下が減収要因となり、また、リン酸施肥が登熟に及ぼす効果は、普通植より高い関係がみられた。晩植では無リン酸区は窒素濃度は高いが、短期間の生育のため、リン酸含有率ならびに吸収量が低く、リン酸の直接的影響によって、登熟歩合に差が生じたことが減収要因となり、また、リン酸施肥が千粒重に及ぼす効果は普通植より大であった。これに対し普通植は早植および晩植のリン酸吸収のマイナス面が少なく、また、登熟に対するリン酸施肥反応が顕著にみられず、リン酸施肥区の差が小さくなり、リン酸施肥効果が最も認め難かった。

## VII 総 括

水田土壌におけるリン酸の行動や水稻におけるリン酸吸収、あるいはその役割りなどについての基礎的研究の進歩は著しい。しかし一般に水田においては水稻に対するリン酸の施肥反応が鈍いこともあって、その施肥技術は経験的なものが多く、基礎的研究との結びつきに乏しく、リン酸施肥技術の合理性に欠けているきらいがある。とくに西南暖地に広く分布する花こう岩質の沖積水田においては、長年にわたり無リン酸栽培を継続しても水稻の収量は低下しない例が多く、リン酸施肥効果の小

さいことが知られている。しかし一部ではなお多用しているむきもある。これらの問題について、土壌および作物を通じて体系的に解明されたものはほとんどない。

そこで、この研究は花こう岩質土壌の特性によるリン酸の肥効のあらわれかた、および温暖な地帯におけるリン酸に関する土壌と作物の相互関係を明らかにし、暖地における水稲に対するリン酸施肥効果のにくい理由と、適正な施肥技術の基礎資料をうるため、1930年から継続されているリン酸試験を基礎におき、1967年から1974年にわたって実施した。

試験はまず、長期継続リン酸試験圃場における水稲生育期間の土壌リン酸の可給化量と水稲の生育、リン酸吸収および体内炭水化物含量の関係について検討した。

つぎに、水稲栽培下における落水や水管理を異にした栽培法、あるいは堆肥施用などによる主として土壌環境の変化における可給態リン酸含量の多少と水稲収量との関係を調べた。また、花こう岩質土壌と他の土壌のリン酸の可給化の比較を行い、花こう岩質土壌の特性として塩基置換容量の小さいこと、および鉄含量などとリン酸肥効について、またリン酸と窒素栄養との観点から検討した。他方、暖地の気象条件とリン酸の肥効特性を明らかにするため、暖地と冷涼地の現地において、花こう岩質土壌を用いその効果を検討した。得られた結果の要はつぎのごとくである。

1) 土壌の Bray No.2 可給態リン酸含量と水稲生育  
1930年より長期継続リン酸試験圃場における最近10年間の各作リン酸区に対する各作無リン酸区の玄米収量指数は、窒素少量で90、窒素多量で95、標準(窒素多量堆肥併用)98と収量低下が少ない。また、裏作リン酸区は収量低下がみられない。これらの土壌の Bray No.2 可給態リン酸含量は、各作リン酸区50~100mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g、裏作リン酸区20~50mg、各作無リン酸区2~8mgでありこれらの含量は土壌還元発達とともに増加傾向を示した。

また、この試験および二、三の圃場試験から、茎数増加に対する Bray No.2 可給態リン酸含量は、20~30mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100gまで反応し、これ以上では分げつ増に影響がみられない。一方、玄米収量に対する可給態リン酸含量は5mg以下で減収する場合が多く、6mg以上では収量に対する影響が少ない。これらのことから、本地帯では生育、収量に対する土壌の可給態リン酸含量の下限が低いところにあることを認めた。

## 2) 稲体成分と生育の関係

リン酸施肥効果の認められる水稲体のリン酸含有率は、分げつ増加に対しては分げつ期のリン酸含有率が0.7

% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>以下であり、玄米収量に対しては分げつ期の含有率は0.30~0.45%以下の場合であった。

リン酸の体内濃度変化は葉鞘で最も大きく、処理間差もこの部位で大きく現われる。生育時期別では分げつ盛期に差が大きい。しかし、生育後期は無リン酸区においてもリン酸吸収量が多く、登熟期の含有率はリン酸区に接近する。また、これを葉位別にみると無リン酸区は栄養生長期は各葉位とも低含量であるが、穂揃期においては上位葉と下位葉の差が大きくなり、止葉ではリン酸区と大差がなくなり、登熟期の炭水化物の同化、移動に対してリン酸が有効に作用していると思われた。

他方、長期継続リン酸試験の稲体の炭水化物の時期別含量から、各作リン酸区は炭水化物代謝の時期が早められ、茎数減が大きい。各作無リン酸区は蛋白代謝期間が伸び、無効茎が少なくなる。反面、出穂が遅延する。しかし、穂重の増加と出穂期以後の茎葉重の減少から、各作無リン酸区は、出穂以後も多量に乾物を同化蓄積する傾向がみられ、各作無リン酸区が収量低下をおこしたい生育相になることを明らかにした。

## 3) 水管理をとまらぬ栽培法におけるリン酸の肥効

土壌水分の目標を pF1.5 においた弱い長期中干し処理による土壌の Bray No.2 可給態リン酸含量は、中干しによって低下するが、低下の度合は少ない。水稲生育との関係では、可給態リン酸が3mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g以下の場合には、水稲はリン酸吸収が抑制され、収量は低下する。しかし、5~6mgではリン酸吸収は僅かに抑えられるが有効茎歩合の高い生育相となり、収量差がなく、さらに30mg前後の存在では、リン酸吸収量は常時湛水処理より高い傾向がみられ、収量も上回った。

他方、乾田直播栽培の試験では、湛水後も常時湛水に比べ、土壌は酸化的に経過し、Bray No.2 可給態リン酸含量も若干低く経過した。

直播の湛水時期との関係では、7葉期湛水直播区では乾田期間が長いから、無リン酸区は穂数減となって減収するが、3葉期湛水直播区においては、リン酸区はリン酸吸収の抑制がなく、生育、収量にリン酸の制約がない。一方、無リン酸区では可給態リン酸含量は酸化条件下で5mgから3mgに低下しても直播栽培は茎数確保が容易なため、適正な窒素栄養条件を与えれば減収しないことを明らかにした。

以上のことから本土壌は、低リン酸含量の土壌で比較的酸化的な条件の栽培でも、水稲のリン酸吸収の低下は少なく、とくに乾田直播栽培では、収量に対する土壌可給態リン酸の下限は、常時湛水よりさらに低いことが認められた。

## 4) 堆肥連用によるリン酸の効果

1930年からの継続リン酸試験で、堆肥併用各作無リン酸区の Bray No. 2 可給態リン酸含量は7 mg  $P_2O_5/100g$  であり、一方無機質の各作無リン酸区は4 mgと若干の差が認められた。これは施用堆肥の含有リン酸によるものと、有機物によるキレート作用などにより有効化する両面が推論されるが、湛水およびその他の変化も考えられるので、ポットを用い、堆肥に含有されているリン酸分を無機リン酸で加えて検討した。その結果、湛水土壤における堆肥の施用は、生育初期に土壤の還元を促進し、可給態リン酸が増加すること、および堆肥連用による累積効果として、石灰型リン酸の増大から、リン酸が有効化されやすいことを明らかにした。

## 5) 花こう岩質土壤のリン酸可給化の特性

普通水田で、全リン酸が150 mg  $P_2O_5/100g$  程度含有する異なる4種類の土壤の酸化還元状態における Bray No. 2 可給態リン酸含量の変化は、佐賀土壤（海河成沖積土）および庄原土壤（頁岩質土壤）では、酸化状態で可給態リン酸含量は約10 mg  $P_2O_5/100g$  であるが、還元化とともに増加し、最大値は80~100 mg となり、酸化還元の影響を強くうける。また、大朝土壤（花こう岩を含む黒ボク土）は酸化状態で25 mg、還元状態で50 mg となり可給化されるリン酸量が少ない。それに対し花こう岩質土壤は、酸化状態で50 mg、還元状態で84 mg と、酸化状態においても還元時の60%が可給態のリン酸で占められ、また全リン酸に対する可給化量も大であった。

可給態リン酸の変動の大きい佐賀土壤などは2価鉄含量の変化が大きく、リン酸の可給化は2価鉄との関係が大きいことを認めた。一方、大朝土壤では可溶性アルミニウムの含有量が高く、抽出リン酸量は若干高まるが、不可給態のリン酸が多いと考えられた。これに対し、花こう岩質土壤はこれらの含量が少なく、リン酸吸収係数も小さいことから、酸化状態においても可給態リン酸が多いと判断した。

## 6) 塩基置換容量の小さい土壤におけるリン酸の効果

花こう岩質土壤でリン酸吸収係数を変えずに、主として C E C の要因のみを変えた場合のリン酸の肥効について、C E C 大の土壤は花こう岩質土壤にゼオライトを加え、一方、C E C 小の土壤は無添加とした。生育初期の茎数増加は、土壤の低リン酸レベルにおいても C E C 小の土壤は C E C 大の土壤より茎数が多い。このことは同茎数を確保するのに、C E C 小の土壤は大の土壤よりリン酸含量が少なくて達せられる。この要因は溶液中の窒素の影響が強く、窒素吸収の促進が同時にリン酸吸収を高めると考えられた。

玄米収量に対しては、C E C 大の土壤はリン酸施肥増とともに増収するが、C E C 小の土壤はリン酸多肥区において初期生育が盛んなため、養分の持続性が失われ、収量が低下した。このため、この土壤では、とくに窒素の施肥法を考慮する必要があると考えられた。また、施肥リン酸は土壤リン酸より生育初期の肥効が高く、それは C E C 小の土壤が大の土壤より明らかであった。これらのことから、花こう岩質土壤の水稲に対するリン酸の利用度が高いことは C E C の小さいことが窒素とくにアンモニア態窒素吸収と密接な関係にあることが認められた。

## 7) 鉄の添加によるリン酸の肥効

花こう岩質水田土壤に水酸化第二鉄を200~800 mg  $Fe_2O_3/100g$  添加した場合の土壤中のリン酸の多少による水稲生育の関係は、鉄添加量の増加によって0.93%  $Fe_2O_3$  から1.61%まで高まるが、リン酸吸収係数は400から500前後となり、その増加量が少ない。栽培期間の土壤の Bray No. 2 可給態リン酸含量は、リン酸の多少にかかわらず変化が小さく、2価鉄含量も大差がない。形態別リン酸では鉄添加量の多い区に鉄型リン酸の増加がみられた。湛水栽培下においては鉄を添加しても水稲のリン酸吸収や生育の抑制はみられず、むしろ添加区においては秋落対策的な効果があらわれ、後期生育が良好となった。可給態リン酸が2~3 mg  $P_2O_5/100g$  の低リン酸含量の土壤においても、とくにリン酸固定の影響はみられず、収量に対しては鉄添加によりプラスの効果のみられ、それは圃場条件よりもポットにおいて認められた。これらのことから、本土壤は気温が高いことも加わり、鉄施用によって遊離酸化鉄含量を1.6%  $Fe_2O_3$  に高めてもリン酸の肥効が低下しないことを認めた。

## 8) 水稲苗の窒素、リン酸含有率と本田の生育、収量

苗代期において、窒素とリン酸の施肥量から、苗の窒素濃度が低い場合のリン酸含有率の上限、またリン酸濃度が低い場合の窒素含有率の上限などを検討した。そのうち、窒素施用法との関係において、リン酸含有率は1.74%  $P_2O_5$  まで著しく増加することを認めた。窒素およびリン酸含有量の異なる苗の本田における発根量は、苗の N 3.7%、 $P_2O_5$  1.74% を含有したものが最も大であった。発根量の大きい苗は初期分げつ数が旺盛であったが、稈が細く、1穂粒数が少なく、また、リン酸吸収量も移植後3週間にして差がみられなくなり、収量増も期待できず、苗の良否と収量の関係は、とくに苗のリン酸含有率が0.5%  $P_2O_5$  以下では減収となるが、それ以上においては収量に影響がみられなかった。このことから本地帯では、60 kg/a 前後の収量段階においては、

とくに良質苗が収量におよぼす効果は認められないと判断した。

#### 9) 窒素供給法の変換によるリン酸の肥効

水稲生育期間の土壌のBray No. 2 可給態リン酸が20mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g 存在するリン酸区と、約4mg存在する無リン酸区圃場において、窒素施用方法および長期の弱い中干し処理などによる玄米収量は、リン酸区は無リン酸区よりやや高いが、窒素施用法の比較においては、後期窒素追肥中干し処理>後期窒素追肥>窒素基肥重点の順となり、基肥重点の場合、リン酸区は有効茎歩合の低下、1穂粒数の不足から収量は上がらず、無リン酸区との収量差は-3~+3%となった。一方、後期窒素追肥の場合のリン酸区と無リン酸区の収量差は2~5%となり、窒素の供給法によりリン酸区の生育相を変えることによるリン酸の効果がみられた。しかし、無リン酸区においても窒素供給法により収量が高まり、窒素供給法の改善によるリン酸の効果は約3%程度となり、普通水田ではとくに大きな期待がもてないと思われた。

#### 10) 暖地の気象条件におけるリン酸の肥効

圃場試験の22年間の気象と生育のとりまとめから、水稲の分げつ増加にリン酸肥効の現われる気象は、7月上・中旬の平均気温が22.5~23.5°Cで低温の区分に該当し、またその期間の日照時間が多い年である。一方、玄米千粒重に対する気象は、9月上・中旬の登熟期の平均気温が20~21°Cの低温の区分に該当し、日照は並であった。これらは一般的な実験による証明と一致したが、本地帯では7月は高温、寡照であり、9月は気温の高い年が多いため、リン酸の肥効が現われにくい気象条件であることが認められた。

また、高温は低温よりリン酸の吸収量が高く、しかも穂前期には活動葉の止葉に多く集積し、登熟歩合が高いことから同化および炭水化物の移行を容易にしたと考えられた。

#### 11) 地帯別気象条件下のリン酸の肥効

標高200mの八本松（暖地）と標高400mの大朝（冷涼地）において同一の花こう岩質水田土壌を用い、同一品種による水稲栽培試験で、まず、八本松に合わせ、暦日を同じにして低リン酸土壌を用い栽培した場合には、大朝ではリン酸吸収が抑えられ、出穂の遅延から、一層、登熟期は低温で経過することとなり、リン酸不足と低温により、著しく稔実不良をきたし、減収する。一方、その地帯の適期栽培に準じた場合は、大朝では初期低温のため、低リン酸土壌では初期生育が停滞し栄養生長期間が長期にわたったため、本土壌ではとくに窒素の系外損失をきたし、登熟期の気象条件はよく、稔実は良好であ

ったが、窒素およびリン酸吸収量の不足から減収した。また、八本松で適期栽培を行った水稲のポットによる大朝への移動から、大朝では生育後期においてもリン酸の必要性が大きく、八本松では小さいことが認められた。

一方、八本松では大朝より土壌還元の進行が早い、両場所における Bray No. 2 可給態リン酸含量は、僅かか、あるいはほとんど差が認められない。このことから八本松における水稲のリン酸吸収の増加は、土壌の可給態リン酸の変化からよりも、高温による吸収能の増大によるところが大きいと考えられた。

#### 12) 普通植に対する早植と晩植のリン酸肥効の比較

早植では分げつ期の気温が低いと、とくに無リン酸区においては生育が遅滞した。しかしリン酸区は分げつが多く、リン酸施肥の有無による茎数差が著しく現われた。無リン酸区はその後、生育は回復し、単位面積当りの穂数はリン酸区と同等となったが、窒素吸収およびリン酸吸収の低下から登熟歩合が劣り、リン酸区との収量差が大きく、リン酸施肥効果が認められた。一方、晩植では栄養生長期間が短いため、水稲の窒素含有率は高いが、無リン酸区ではリン酸吸収がともなわず含有率が低下した。出穂後の気象は悪くはなく、登熟条件は良好であったが、無リン酸区においてはとくに茎葉重が少なくリン酸区との収量差は登熟歩合、玄米千粒重にあらわれた。この場合にはリン酸吸収の直接的な影響から減収し、リン酸施肥効果が大きかった。

これに対し、普通植では無リン酸区においても他の作季より土壌の還元が進み、可給態リン酸も僅かながら多く、生育の遅延が少なく、リン酸区との収量差は小さく、リン酸施肥効果の現われにくいことがうかがわれた。

## 謝 辞

本研究は、広島県立農業試験場において行ったものである。研究の実施に当っては同場土壌肥料部長岡田正行氏から温かな指導と助言をいただいた。また、同部研究員佐近剛氏、前同部研究員藤原多見夫氏（現広島県果樹試験場）、前同部研究員中藪正之氏（現高冷地試験地）同部研究員宮地勝正氏、前同部研究員古井ンゲ子（現広島県果樹試験場）の各位から絶大なる協力をいただき、また、圃場試験では、業務課の職員各位の熱心な助力を得たことに対して深甚の謝意を表す。

本研究の遂行に当っては、広島県立農業試験場元場長中島健氏、元場長川竹基弘博士、前場長原田哲夫博士、現場長吉原千代司博士から有益な御教示と便宜を賜えられたことに対し深く感謝する。

また、常有益な指導と激励を賜った元中国農業試験場坂井弘博士（現農事試験場環境部長）、前同場吉沢孝之博士（現中華民国台湾亜洲蔬菜研究開発センター）、前北海道農業試験場志賀一一博士（現農事試験場環境部土壤肥料研究室長）、前中国農業試験場諸遊英行博士（現農事試験場作業技術部土壤肥料研究室長）に深甚なる謝意を表す。

本研究の実施に際し、懇篤な指導助言を与えられた京都大学教授川口桂三郎博士に謹んで感謝の意を表す。

本報文のとりまとめに当って指導と校閲を賜った農業技術研究所化学部長松坂泰明博士、同部串崎光男作物栄養科長、同部作物栄養科第一研究室鈴木皓博士に対し謹んでお礼申し上げる。

### 引用文献

- 1) 相見靈三・沢村浩・昆野昭：1959. 作物の登熟機構に関する研究 登熟期の炭水化合物及びそれに関与せる数種酵素活性に及ぼす気温の影響. 日作紀 27 : 405—407.
- 2) 天辰克巳・山川寛・波津久文芳・和田学：1952. 水稻直播栽培における灌漑時期に関する研究（第2報）. 九州農研 10 : 5—10.
- 3) 安藤奨：1967. 多因子要因計画の一部実施法による施肥法試験. 農及園 42 : 1333—1337.
- 4) 青木茂一：1941. 水田状態土壤中に於ける磷酸の行動に関する研究（第一報）. 土肥誌 15 : 182—202.
- 5) 荒木浩一・鈴木新一：1964. 直播水稻の栄養生理に関する研究（第1報）移植水稻と乾田直播水稻の比較. 四国農試報 11 : 13—29.
- 6) 浅見輝男：1970. 水田土壤中における遊離鉄の行動に関する研究（第1報）水田土壤中における遊離鉄の還元と土壤有機物. 土肥誌 41 : 1—6.
- 7) 馬場赴・橋高昭雄：1953. 水稻の莖葉基部における澱粉粒の形成に就いて. 日作紀 22 : 43—44.
- 8) BARROW, N. J. : 1967. Relationship between uptake of the soil—an attempt to test schofield's hypothesis-. *Soil Sci.* 104 : 99—106.
- 9) BRAY, R.H. and L.T. KURTY : 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59 : 39—45.
- 10) 江景村：1963. 水田土壤磷酸の固定及び有効形態の変化. 土肥誌 34 : 18—22.
- 11) ———— : 1963. 水田土壤中の無機磷酸の形態とその有効性. 土肥誌 34 : 360—364.
- 12) ———— : 1965. 水田土壤中各形態磷酸の有効性. 土肥誌 36 : 90—94.
- 13) CHANG, S.C. AND M.L. JACKSON : 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84 : 133—144.
- 14) CHANG, S.C. AND S.R. JUO : 1963. Available phosphorus in relation to forms of phosphates in soils. *Soil Sci.* 95 : 91—96.
- 15) CHO, C. M. AND A. C. CALDWELL : 1959. Forms of phosphorus and fixation in soils, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 23 : 458—460.
- 16) 江戸義治・前重道雅・伊藤夫仁：1975. 広島県における水稻生産の展開. 広島農試研究発表会資料 8—1 : 40—54.
- 17) 藤原彰夫・大平幸次・成田精一：1951. 作物の窒素栄養に関する研究（水稻編）（第2報）水稻体内の含窒素成分の分布と変異. 土肥誌 22 : 97—102.
- 18) ———— : 1959. 高等植物における磷の生理的機能に関する研究（第1報）水稻編 磷と鉄. マンガン. 窒素の相互関係が水稻収量に及ぼす影響. 土肥誌 30 : 162—170.
- 19) ———— : 1959. ———— (第2報) 水稻編 磷と鉄. マンガン. 窒素の相互関係が水稻含窒素成分に及ぼす影響. 土肥誌 30 : 230—236.
- 20) ————・黒沢諱：1959. ———— (第3報)（水稻編）磷と鉄. マンガン. 窒素の相互関係が水稻莖葉中の無機代謝に及ぼす影響について. 土肥誌 30 : 269—277.
- 21) ———— : 1960. ———— (第6報) 大麦編 磷と鉄. マンガン. 窒素の相互関係が大麦の無機代謝に及ぼす影響について. 31 : 159—164.
- 22) ————・石田博：1963. 冷害稲の栄養生理（第1報）栄養生長期における低温処理の影響. 土肥誌 34 : 97—100.
- 23) ———— : 1963. ———— (第2報) 最高分けつ期における低温及び遮光処理の影響. 土肥誌 34 : 101—106.
- 24) 深井強・串崎光男：1952. 気象条件との関連において考察した水稻作における三要素の意義について. 北海道農試彙報 63 : 37—42.
- 25) 船引真吾・吉永長則・上村親士：1967. 温州ミカンのライシメーター試験（第5報）リン酸の行動. 土肥誌 38 : 388—393.
- 26) ————・————— : 1967. ———— (第6報) 有効態リン酸について. 土肥誌

38：394—396.

27) 古川秀頭・川口桂三郎：1969. 湛水による易溶リン増加に対する有機リン寄与 特にフィチン酸リンについて. 土肥誌 40：141—148.

28) JACKSON, M.L. : 1958. Soil chemical analysis. 134—146.

29) 原田登五郎・1958. 粗大有機質肥料の施用効果 農林省振興局研究部監修 土壌肥料全編 養賢堂. 419—436.

30) ———・橋元秀教・湯本利信：1951. 水田土壌の有機態リン酸の無機化に就いて(予報). 土肥要旨集 21：325—326.

31) 長谷川奈治・宮本慎之丞：1962. 水稲直播栽培における施肥法に関する研究Ⅳ. 窒素質肥料の施用時期について. 中国農研 24：63—65.

32) 橋本雄司・口羽良和：1964. 腐植酸とニトロフミン酸のリン酸固定抑制作用について(第2報). 土肥誌 35：127—132.

33) 波津久文芳：1951. 水稲直播栽培における灌漑時期に関する研究(第1報). 九州農研 8：25—26.

34) 林武・瀧嶋康夫：1955. 土壌有機質の作物による利用に関する研究(第2報) 土壌有機質の無機化について. 土肥誌 26：135—138.

35) ———・—————：1956. —————(第5報) オキシン酸添加による土壌有機質の溶出及び無機化の促進について. 土肥誌 26：440—444.

36) 平野俊：1958. 磷酸. 農林省振興局研究部監修 土壌肥料全編 養賢堂. 552—553.

37) 平崎勇雄・森山真策・北村稔：1967. 水稲乾田直播栽培における窒素の分施肥法について Ⅱ. 中国農研. 36：18—19.

38) 広島農試：1964—1973. 肥料施用方法改善試験成績書.

39) HOAGLAND, D.R. : 1955. Lectures on the inorganic nutrition of plants. waltham, Mass., U.S.A. Published by the Chronica Botanica Company. 80—82. 谷田沢道彦訳

40) HONG, C.K. AND I. YAMANE : 1973. Phosphorus fractions in volcanic, muck, and mineral soil and their relation to soil chemical Properties, Tohoku university. 24：31—42.

41) 本谷耕一：1967. 水田におけるリン酸の施用効果 <2>—1 栄養生理的観点. 農林省農技研編 土壌肥料分野における試験研究上の問題点と主要課題の研究動向 3集：7—12.

42) ———：1961. 東北地方の火山灰水田の稲作改良に関する土壌肥料学的研究. 東北農試報 21：1—143.

43) ———・速水昭彦：1964. 水稲の生育調整に関する栄養生理的研究. 東北農試報 30：13—93.

44) ———・吉野喬：1965. 磷酸施肥に関する基礎研究. 東北農試報 32：41—60.

45) 細川秀一・田中幸彦：1951. 水稲の直播と移植による生育相の差異について(予報). 九州農研 8：37—38.

46) ———・—————・石田良晴：1952. 水稲の直播と移植による生育相の差異について. 九州農研 10：41—42.

47) 井手一浩・徳安雅行・小林淳：肥料三要素ならびに窒素施用量が乾田直播水稲と移植水稲へおおよぼす影響について. 佐賀農試報 11：15—32.

48) 飯塚俊介・増幸三・米倉正直：1967. 水稲乾田直播栽培の技術改善. 42：450—454.

49) 石塚喜明：1932. 水耕培養に依る水稲生育各期における窒素. 磷酸. 加里吸収利用状態の研究. 日農化誌 8：849—867, 917—931, 1016—1028.

50) ———・田中明：1953. 水稲の生育経過に関する研究(第2報) 各種有機成分の水稲生育経過に伴う消長. 土肥誌 23：113—116.

51) ———・—————：1953. —————(第3報) 各形態の窒素および炭水化物の消長. 土肥誌 23：159—165.

52) ———・—————：1953. 水稲生育相. 特にその栄養生理的特性の地域性に就て水稲施肥技術体系確立への一資料(予報). 土肥誌 24：173—175.

53) ———・—————：1969. 水稲の栄養生理. 増改訂版 養賢堂 331—337.

54) ———・—————：1952. 寒地と暖地の水稲栽培技術の比較. 農及園 27：537—541.

55) 入沢周作・月森善一・木村俊博：1963. 乾田直播栽培における窒素の施肥時期について. 中国農研 26：22—23.

56) 岩崎清治・速水昭彦・徳永美治・松村安治：1971. 古川と一身田における水田土壌の理化学性と水稲の養分吸収の比較 一水稲の収量限界向上の解明に関する現地調査から一. 東海近畿農試報 22：21—71.

57) 春日井新一郎：1939. 水耕法に関する研究. 土肥誌 13：669—822.

58) 川口桂三郎：1952. 水田土壌の磷酸問題. 大杉繁監修 土壌化学 養賢堂 734—745.

59) 経済企画庁総合開発局：1972. 土地分類図付属資料(広島県)

- 60) 木村次郎・千葉春雄：1943. 窒素養分の水稲生産能率に対する吸収経過による分解的研究. 土肥誌 17 : 479—497.
- 61) 耕土培養事業十周年記念誌：1961. 耕土培養事業十周年記念会 1—925.
- 62) 小泉順三：1967. 水稲乾田直播栽培の技術上の問題点. 農及園 42 : 1791—1794.
- 63) 小島懋・川口桂三郎：1959. 難溶性リン酸塩と硫化水素との反応 水田における土壌リン酸の有効化と溶脱の一機構. 食糧科報 22 : 59—67.
- 64) ———— : 1954. 難溶性リン酸塩の有効化について. 土肥誌 25 : 補1要旨集 34.
- 65) Komoto, Y. : 1971. Growth and yield of rice plants in low phosphorus soils. JARQ 6 : 63—67.
- 66) 河本泰：1967. 水田におけるリン酸の施用効果. 農技研編 土壌肥料分野における試験研究上の問題点と主要課題の研究動向 第3集 : 12—15.
- 67) ————・坂井弘：1967. 暖地水稲の多収施肥法に関する研究(第1報) 緩効性窒素質肥料(とくにグァニール尿素(GP))の肥効発現様式について. 中国農試報 E1 : 137—149.
- 68) ————・佐近剛・中敷正之：1968. 暖地水稲の低収性打破に関する研究(第1報) 一 堆肥の施用と栄養生長期間の落水が水稲の生育収量に及ぼす影響一. 土肥要旨集 14 : 91.
- 69) Konno, S. and Aimi, R. : 1959. Behaviour of phosphorus compounds during the ripening of rice plants. 日作紀 27 : 408—411.
- 70) 金野隆光・弘法健三：1970. 透水条件下における水田土壌の物質変化 水田土壌のリン酸について. 土肥誌 41 : 225—229.
- 71) 小坂博・安川傳朗：1938. 強度を異にせる日光利用法の一考案 反面鏡による反射光線の利用. 農及園 13 : 2415—2420.
- 72) Koyama, T., C. Chamek and P. Snitwongse : 1973. Varietal difference of Thai rice in the resistance to phosphorus deficiency. Tropical Agri. Research Center Ministry of Agriculture and Forestry Japan 4 : 1—32.
- 73) 玖村敦彦：1956. 水稲における葉身の窒素濃度が収量構成要素に及ぼす影響. 日作紀 24 : 177—180
- 74) 久津那浩三：1960. 水田におけるアンモニア溶脱の問題. 農業技術 15 : 491—494.
- 75) 前田乾一・竹内誠・出井嘉光：1968. 水田土壌の構造に関する研究 水稲生育に対する土壌構造と諸要因の相互関係. 土肥要旨集 14 : 107.
- 76) 前田正男：1962. 暖地水稲の根の生理と稲作診断 大阪農試 1—138.
- 77) 松村安治・本庄吉男：1964. 乾田直播水稲に対する灌水時期と土壌水分について. 農林水産技術会議事務局監修 水稲直播栽培に関する土壌肥料試験成績集 18 : 1—183.
- 78) ————・岩崎清治：1968. 磷酸吸収係数および有効態磷酸を指標とした客土効果に関する研究. 土肥要旨集 15 : 52.
- 79) 松島省三・山口俊二・眞中多喜夫・岡部俊：1953 稲作にはどの程度の日射の強さが必要か. 一 主要時期における日射強度が水稲の収量及び収量構成4要素に及ぼす影響. 農及園 28 : 1387—1392.
- 80) ————・岡部俊・和田源七：1956. 水稲生育各期の日射と収量並びに収量構成要素との関係. 農及園 31 : 1175—1180.
- 81) ————・角田公正：1959. 水稲収量成立原理とその応用に関する作物学的研究 生育各期の水温の高低並びにその日較差の大小が水稲の生育収量及び収量構成要素に及ぼす影響. 日作紀 27 : 357—358.
- 82) 松浦勝美：1963. 水稲早期栽培の施肥法に関する試験 1. 早期栽培に対する三要素適量試験. 山口農試報 14 : 99—105.
- 83) 三橋貞男・土屋正・和田山利明：1969. 乾田直播栽培の水稲に対する施肥技術について. 福島農試報 5 : 17—25.
- 84) 森谷陸夫：1963. 水田乾田直播限界地帯における出芽生育の促進. 農業技術 18 : 562—567.
- 85) ————・佐藤馨・佐藤昭介・千葉隆久：1962. 水稲乾田直播に関する研究 第2報 乾田直播における分けつ発現とその有効化について. 日作東北支部報 4 : 25—26.
- 86) 村上英行・古山光夫：1971. リン酸の幼穂形成期追肥が水稲の生育・収量に及ぼす影響. 中国農研 42 : 3—4.
- 87) 村山登・谷田沢道彦：1957. 炭水化物. 農業技術協会 作物試験法 307—308.
- 88) ————・吉野実・大島正男・塚原貞雄・川原崎裕司：1955. 水稲の生育に伴う炭水化物の集積過程に関する研究. 農技研報B 4 : 123—166.
- 89) ————・塚原貞雄・吉野実：1961. 水稲生育に伴う炭水化物の集積移行過程の諸型式について. 土肥誌 32 : 323—327.
- 90) 村田吉男：1964. わが国の水稲収量の地域性及

- ばす日射と温度の影響について. 日作紀 33 : 59—63.
- 91) 西山登・中島征志郎・西村利率: 1967. 水稲の乾田直播栽培における磷酸・加里の施用時期について. 九州農研 29 : 135.
- 92) 野田昌也・斉尾健二: 1951. 土壌中の鉄礬土による磷酸固定能に就て(第1報)鉄礬土による磷酸固定作用に及ぼす腐植の影響. 土肥誌 22 : 64—68.
- 93) ———— : 1953. 腐植酸による各種磷酸塩の有効化に就て(第1報)鉄・礬土・石灰—磷酸塩. 土肥誌 24 : 141—144.
- 94) 野口弥吉: 1949. 水稲の栄養生理に関する研究 [3] 3. 幼穂形成期の窒素の作用について. 農及園 24 : 757—760.
- 95) 農林省農業改良局 広島農試: 1953. 水稲に対する磷酸肥料の効果に関する試験成績(第1報)水稲に対する磷酸肥料の肥効並に磷酸肥料の連用が地力に及ぼす影響. 1—96.
- 96) ———— : 1954. ———— (第2報)二毛作水田における磷酸の消費調整. 1—75.
- 97) 農林省農産園芸局肥料機械課: 1976. 最近の肥料事情 P 3—14.
- 98) 農林省農林水産技術会議事務局: 1963. 1964. 施肥改善事業成績.
- 99) ————・滋賀農試: 1963. 水稲に対する磷酸肥料の効果に関する. 指定試験(土肥) 3 : 1—142.
- 100) 岡部達雄: 1975. りん, 作物分析法委員会編 栄養診断のための栽培植物分析測定法. 養賢堂 p65—73.
- 101) 岡本昌雄・佐伯秀章: 1960. 土壌磷酸の固定とその有効化に関する研究(第6報)粘土鉱物に固定されたPの形態. 土肥誌 31 : 87—90.
- 102) ———— : 1961. ———— (第7報)磷酸の吸収と土壌の諸性質との関係. 土肥誌 32 : 107—110.
- 103) 岡崎暁・宇佐見宣・佐藤豊: 1969. 水稲乾田直播栽培の灌漑法について 第1報 灌漑時期の早晚が水稲の生育に及ぼす影響. 福島農試報 5 : 33—41.
- 104) 岡島秀夫・高城成一・高橋成人・本田強: 1958. 水稲体における硫化水素の行動 第9報 硫化水素処理による生育相の攪乱について. 東北農研報 9 : 193—225.
- 105) 奥田東・河崎利夫: 1962. 各種塩基と結合したリン酸の肥効(第2報)土壌によるリン酸の吸収および土壌に吸収されたリン酸の溶出. 土肥誌 33 : 326—330.
- 106) 大島正男・村山登: 1960. 水稲の窒素栄養に関する研究 [1] 窒素栄養を異にする水稲の生育各期における遮光の影響. 農技研報 B 10 : 1—36.
- 107) 大山信雄・坂井弘: 1968. 堆きゅう肥の施用効果の解析的研究(第2報)堆肥中の塩基による施肥窒素の溶脱促進について. 中国農試 E 2 : 229—245.
- 108) 尾崎英二・西川光一・大谷勇三・丸山武雄・瀧岡敏一: 1961. 水稲に対する三要素試験. 石川農試報 3 : 1—8.
- 109) RUSSELL, E. J. AND E. W. RUSSELL : 1950. Soil condition and plant growth. 藤原彰夫他訳. p56—58, p.507, p.546—549, P.643.
- 110) 佐伯秀章・岡本昌雄: 1953. 土壌磷酸の固定とその有効化に関する研究(第1報)純系における基礎研究(その1)FeとPの反応. 土肥誌 23 : 253—256.
- 111) ———— : 1953. ———— (第2報)純系における基礎研究(その2)AlとPの反応並にFe—P系とAl—P系の比較検討. 土肥誌 24 : 36—40.
- 112) 酒井忠久・神谷十郎: 1968. 乾田直播栽培に関する研究 第2報 灌漑時期と灌漑法が生育収量におよぼす影響. 長野農試 33 : 24—27.
- 113) 坂井弘・河本泰・大山信雄: 1968. 暖地水稲の多収施肥法に関する研究(第2報)早期中干し栽培法について. 中国農試報 E 2 : 145—191.
- 114) 斉藤武雄・細田清: 1964. 乾田直播の水処理による生育相の変化. 東北農研 6 : 54—55.
- 115) 佐藤馨・森谷睦夫・蓮田宏・若生松兵衛: 1964. 湛水時期と施肥法に関する試験. 農林水産技術会議事務局監修 水稲直播栽培に関する土壌肥料試験成績集 p 18—20.
- 116) 関谷宏三: 1970. リン酸の比色定量法, 土壌養分測定法委員会編土壌養分分析法 養賢堂 p94—108
- 117) 志賀一一: 1970. 鉄. 遊離酸化鉄. 土壌養分測定法委員会編 土壌養分分析法 養賢堂 p326—328.
- 118) ———— : 1973. 寒地稲作における土壌の磷酸肥沃度および磷酸施肥の効果に関する研究 第1報 水田土壌の磷酸供給力の測定について. 北海道農試報 105 : 31—49.
- 119) ————・西野紀子: 1966. 寒地水田に於ける磷酸施用に関する研究(1)施肥前歴を異にする土壌における磷酸の行動と水稲生育. 土肥要旨集 12 : 44.
- 120) ———— : 1967. ———— (第3報)一可給態磷酸レベルと水稲生育. 土肥要旨集 13 : 76.
- 121) ———— : 1969. ———— (第5報)一窒素用量との関係一. 土肥要旨集 15 : 89

- 122) ———— : 1971. ———— (第7報) —土壤中磷酸と水稻生育の關係の年次変異. 土肥要旨集 17: 107.
- 123) SHIGA, H. : 1976. Effect of phosphorus fertility of soils and phosphate application of lowland rice. *JARQ* 10: 12—16.
- 124) STRUTHERS, P. H. AND D. H. SIELING : 1950 Effect of organic anions on phosphate precipitation by iron and aluminum as influenced by pH. *Soil Sci.* 69: 205—213.
- 125) SYERS, J.K., R. SHAH and T.W. WALKER : 1969. Fractionation of phosphorus in two alluvial soils and particle-size separates. *Soil Sci.* 108: 283—289.
- 126) 鈴木新一・河本泰 : 1962. 畑状態より水田状態への切替えが水稻根の生理機能に及ぼす影響. 中国農試報 A 8: 309—322.
- 127) ————・仁紫宏保・河本泰・上野義祝・大山信雄 : 1962. 水稻の青枯れに関する研究. 中国農試報 A 7: 165—272.
- 128) 田畑清光・手塚利正・手塚焔 : 1941. 水稻の生育に及ぼす気象因子の影響に関する作物学的研究. 農及園 16: 799—806.
- 129) 立谷寿雄・宇佐見昭宣・渡辺征一 : 1966. 水稻の乾田直播栽培における土壤肥料的管理について 第1報 三要素試験の乾田直播栽培と移植栽培における水稻生育の相違. 福島農試報 2: 33—43.
- 130) ————・———・佐藤豊 : 1967. ———— (第2報) 乾田直播栽培の水稻に対する施肥技術について. 福島農試報 3: 12—25.
- 131) 高橋治助・村山登 : 1953. 水稻生育に伴う養分の吸収状況 (1—2). 農業技術 8: (2) 27—30. (3) 17—20.
- 132) 高橋治助・柳沢宗男・河野通佳・矢沢文雄・吉田武彦 : 1955. 作物の養分吸収に関する研究. 農技研報 B 4: 1—83.
- 133) ————・村山登・大島正男・吉野実・柳沢宗男・河野通佳・塚原貞雄 : 1955. 窒素施用量の相違が水稻体の組成に及ぼす影響. 農技研報 B 4: 85—122.
- 134) 高橋達児 : 1970. アルミニウム 可溶性アルミニウム. 土壤養分測定委員会編 土壤養分分析法 養賢堂 p94—108.
- 135) 高盛内匠・酒匂正雄 : 1962. 土壤中の磷酸の型態に関する研究, 特に磷酸施肥との関係について. 広島農試報 12: 11—19.
- 136) 田中明 : 1960. 北の稲と南の稲—その1. 生育相と地域性一. 農業技術 15: 481—485.
- 137) ———— : 1962. 水田状態における水稻根の養分吸収(第5報) Fe—P系よりの磷酸の吸収. 土肥誌 33: 381—385.
- 138) ————・渡辺紀元・石塚喜明 : 1969. 難溶性リン酸塩の溶解積よりみた湛水土壤溶液リン酸濃度の解析. 土肥誌 40: 406—414.
- 139) 低位生産地調査事業十周年記念全国協議会 : 1957 低位生産地調査事業十周年記念論文集 p 1—1055.
- 140) 寺沢保房 : 1942. 水稻の生育に及ぼす堆肥中に保有せらるる磷酸の肥効に就て. 農及園 17: 53—55.
- 141) 戸刈義次・岡本嘉・玖村敦彦 : 1954. 水稻における炭水化物の生産及行動に関する研究(第1報) 生育に伴う諸器官中の主要成分含量の推移. 日作紀 22: 95—97.
- 142) 東海林覚・樋口福男 : 1970. リン酸多施跡地土壤のリン酸について リン酸多施によって水田土壤に蓄積されたリン酸の形態性と有効性について(第1報). 土肥誌 41: 319—322.
- 143) ————・——— : 1970. 土壤およびリン酸質肥料の差が水田土壤へのリン酸の蓄積形態におよぼす影響について. ———— (第2報). 土肥誌 41: 353—357.
- 144) 時枝茂夫 : 1969. 暖地における水稻の晩期栽培に関する研究. 山口農試報 18: 1—154.
- 145) 徳永美治 : 1970. 水田の磷酸施用. 農技研編 土壤肥料分野における試験研究上の問題点と主要課題の研究の動向 5集: 14—21.
- 146) ————・速水昭彦 : 1972. そ菜あと水田土壤における施肥残効養分と作物に対する有効性. 東海近畿農試報 24: 105—131.
- 147) 植田宰輔 : 1951. 光線の強度が水稻生育に及ぼす影響. 三重大報 2: 9—33.
- 148) 上村親士・吉永長則・船引眞吾 : 1967. 土壤中におけるリン酸の形態と有効化. 土肥誌 38: 398—400.
- 149) 上沢正志・内田好哉 : 1976. 土壤磷の評価に関する研究(第1報) 一分けつ期水稻の磷含有率と土壤の無機磷画分一. 土肥要旨集 22: 88.
- 150) WADA, K. : 1964. Phosphate equilibria in arable soils different in soil type and management. *Soil Sci. Plant Nutr.* 10: 191—198.
- 151) 和田光央・M. L. Jackson : 1962. 速度論を適用した土壤 Al, Fe 磷酸塩の  $\text{NH}_4\text{F}$  抽出による分離定量. 土肥要旨集 8: 27.
- 152) WILLIAMS, D. E. AND JAMES VLAMIS : 1962

- Differential Cation and anion absorption as affected climate. *Plant Physiol.* 37: 198—202.
- 153) 山中金次郎・本村悟：1958. 土壌のグライ化に関する研究（第2報）2価鉄の生成機構について. 土肥誌 29: 104—108.
- 154) 山崎傳：1966. 微量要素と多量要素 博友社 p 119—140
- 155) ———・香山俊秋・小菅伸郎：1963. 水稲作における長期落水の効果について. 北陸農試報 6: 1—18.
- 156) 山下鏡一：1964. 水田における堆肥の効果の解析. 農業技術 19: 6—11.
- 157) ———：1956. 水稲の出穂に及ぼす肥料の影響 第2報 冷害年次における肥料（肥料三要素, 堆肥及び硫酸の施用量）と出穂並に稔実歩合との関係. 青森農試報 3: 11—19.
- 158) ———：1967. 堆肥の連用が水田土壌の腐植ならびに理化学的諸性質に及ぼす影響. 九州農試彙報 13: 113—156.
- 159) 柳沢宗男：1962. 水田の生産力的分類と水稲栄養について. 土肥誌 33: 116—124.
- 160) ———・高橋治助：1964. 水田の生産力要因の解析に関する栄養生理学的研究. 農技研報B 14: 41—171.
- 161) 八柳三郎：1960. 東北地方における稲作の計画栽培について（2）,（3）. 農及園 35: 1095—1098, 1248—1252.
- 162) 吉田浩・鈴木多賀・若松正夫・佐藤隆：1967. 山形県における乾田直播栽培体系化に関する研究. 山形農試報 2: 32—33.
- 163) 吉野喬・本谷耕一：1970. 水田における磷酸施肥の技術的考察. 東北農試報 40: 185—208.
- 164) YUAN, T. L., W. K. ROBERTSON, and J. R. NELLER: 1960. Forms of newly fixed phosphorus in three acid sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24: 447—450.

# Studies on the Availability of Soil Phosphorus and the Response of Rice Plants to Applied Phosphorus in the Granitic Alluvial Paddy Soils in Warm Regions.

Yutaka KOMOTO

## Summary

In the granitic alluvial paddy soils in the south-western part of Japan, effects of phosphate application to rice plants are difficult to obtain so definitely. These studies were carried out to make clear this phenomenon and to obtain fundamental information on the effect of phosphate applications by examining relationships between soils and rice plants.

1) Available phosphate contents in soils determined by the Bray No.2 method and the growth of rice plants.

In the last ten years investigations which were continued to supply the phosphate in the fields from 1930, the brown rice yield index of the non-phosphate plot as compared with the rice and wheat cropping phosphate plot was 95 and yields of the wheat cropping phosphate plot did not show a decrease. The Bray No.2 available phosphate contents of the soils in these plots were 50-100 mg  $P_2O_5/100$  g in the rice and wheat cropping phosphate plot, 20-50 mg in the wheat cropping phosphate plot and 2-8 mg in the non-phosphate plot. These contents were increased as reduction in soils proceeded.

The tillering increased with increasing content of Bray No.2 available phosphate up to the level of 20-30 mg  $P_2O_5/100$  g soil, and the response was not observed at higher than this level.

Yields of brown rice were decreased in many cases when the available phosphate content was less than 5 mg and they were affected a little at the content of above 6 mg. As mentioned above, the limiting levels of the available phosphate content for the growth and yields was considered to be in a low level.

2) A relation between phosphate contents of rice plants and the growth.

At the tillering stage, the increase of tillers appeared at less than 0.7%  $P_2O_5$  of shoot phosphorus content and the increase of brown rice yield appeared at less than 0.30-0.45% as  $P_2O_5$ .

The difference of phosphorus content of rice plants among the treatments was most clearly appeared at the active tillering stage. At the later stages of growth phosphorus absorption by rice plants of the non-phosphate plot was increased and was near to that of the phosphate plot. Moreover, the phosphorus contents of each leaf at the tillering stage of non-phosphate plot were low, but at the full heading time the lower leaves contained less phosphorus and the upper ones had larger quantity of phosphorus which was similar to that of the phosphate plot.

In the phosphate plot, the period of carbohydrate metabolism was hastened and the number of tillers decreased at higher rate. On the other hand, in the non-phosphate plot, the period of protein metabolism was extended and non-productive tillers were reduced so that the pattern of growth became desirable.

3) The effects of the phosphate accompanied with irrigation managements.

A long period midsummer drainage at pF 1.5 of soil moisture reduced Bray No.2 available phosphate content but the rate of decrease was less and the phosphorus absorption by rice plants was not restrained largely.

In a direct sowing culture of rice plants on upland field the soils were kept in oxidative state after flooding as compared with continuous flooding and the phosphorus absorption by rice plants was slightly reduced at non-phosphate plot.

The direct sowing culture was easy to ensure the number of tillers, and the brown rice yields

did not decrease in the field which was flooded at three leaf stage.

4) The effects of phosphate in continuously supplied compost.

The brown rice yields of non-phosphate plot applied with compost did not decrease for long years. In order to make clear these reasons, an inorganic phosphate equal to the phosphate contained in the compost was supplied. As a result of this examination, continuously supplied compost was found to promote the reduction of soils at the beginning of growth and increased available phosphate and calcium phosphate. Namely, it was proved that the compost promoted the phosphate in soil to become available form to plants.

5) The characteristic of availability of phosphate in granitic alluvial paddy soils.

From a measurement of the Bray No.2 available phosphate in a reductive and oxidative condition of normal paddy soils which were consisted of four kinds of soils containing almost the same amount of total phosphate it was observed that the available phosphorus in the granitic alluvial paddy soils was large in amount in the oxidative state because of a little contents of free iron and soluble aluminum.

Since the granitic alluvial paddy soils had low base exchange capacity,  $\text{NH}_4\text{-N}$  concentration in soil solution was higher than those of the soils having a large base exchange capacity and rice plants can easily absorb the phosphorus and increase the number of tillers at the beginning of growth.

On the other hand, the contents of free iron in soils were increased by the supply of ferric hydroxide but the phosphate absorption coefficient changed only a little. In this case, even in the soils of lower phosphate content, the roots were healthy and decrease of the yield was not observed.

6) The method of nitrogen fertilizer application and phosphate response.

Rooting ability, growth and weights of seedlings which received different rates of nitrogen and phosphate at nursery stage were observed after transplanting. The seedlings of higher nitrogen and phosphorus concentrations showed large volumes of root and the early growth was better. But phosphorus absorption was not different after three weeks and in spite of an increase of tillers, the stalk became thin and the number of grains per head became less, so that the increase of yield could not be expected.

On the other hand, in the relation between phosphate response and the timing of nitrogen fertilizer application the nitrogen dressing at later stages was found to be effective both on phosphate plot and on non-phosphate plot. After all, it was difficult to expect the increase of yields by the application of phosphate under the improved method of nitrogen fertilizer application at later stages, because the increase of yield was limited within 3% at most.

7) The relation between phosphate response and the weather condition in warm regions.

On the basis of the relationship between weather conditions and rice growth in the field experiments for 22 years, it was noticed that high temperature and less sunshine at the tillering stage resulted in a small difference of number of tillers by phosphate. Moreover, because the temperature was relatively higher at the ripening period and grains matured well even at the non-phosphate plot, the phosphate response was difficult to find. Further, the phosphorus was absorbed actively and large quantity of it was present in the upper leaves under high temperature.

8) The phosphate response in the different weather conditions.

These experiments were carried out at Hachihonmatsu locating 200 meters above the sea level and at Oasa locating 400 meters above the sea level. There was difference of 2-3°C between the

two places but the granitic alluvial paddy soils were the same on both sites, and the variety of rice and methods of experiments were also the same.

As a result of this investigations, on low phosphate soils the ripening became worse at Oasa due to the shortage of phosphorus and lower temperature but at Hachihonmatse the low phosphate did not influence ripening.

While, in the cultivation on the right season in each sites, the yields on Oasa were decreased because of an undesirable growth at the early stage and loss of nutrients out of the system which were both caused by low temperature. But at Hachihonmatsu the yield was higher than Oasa on account of higher temperature and nutrient absorption.