

暖地の花こう岩質水田における リン酸の肥効に関する研究

河 本 泰

昭和 56 年 11 月

広島県立農業試験場

(広島県東広島市八本松町)

**BULLETIN
OF THE
HIROSHIMA PREFECTURAL
AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION
No. 43**

CONTENTS

Studies on the Effect of Phosphorus in the Granitic Alluvial Paddy Soils in
Warm Regions

Yutaka KOMOTO 1

Hiroshima Prefectural Agricultural Experiment Station
(Higashihirosihma, Hiroshima Prefecture, Japan)

November, 1981

暖地の花こう岩質水田における リン酸の肥効に関する研究

河 本 泰

目 次

緒 言	1
第1章 長期リン酸試験圃場における土壌中のリン酸含量と水稻の生育	3
まえがき	3
第1節 土壌中の可給態リン酸含量と水稻の生育収量	3
第2節 土壌リン酸の多少に伴う稲体組成と生育の変動	7
第3節 要 約	14
第2章 土壌環境の変化による可給態リン酸含量の変動と水稻に対するリン酸の肥効	15
まえがき	15
第1節 中干し処理による土壌のリン酸可給化量の変化と水稻生育	15
第2節 乾田直播栽培におけるリン酸の肥効	20
第3節 堆肥連用のリン酸の肥効への影響	27
第4節 要 約	35
第3章 花こう岩質水田におけるリン酸の肥効特性	37
まえがき	37
第1節 各種水田土壌におけるリン酸可給化量	37
第2節 塩基置換容量の異なる土壌におけるリン酸の肥効	40
第3節 鉄添加のリン酸の肥効に対する影響	47
第4節 要 約	52
第4章 リン酸の育苗期投与および窒素追肥がリン酸の肥効に及ぼす影響	53
まえがき	53
第1節 苗のリン酸量の差異が本田での生育に及ぼす影響	54
第2節 窒素の施肥法によるリン酸の肥効の変動	58
第3節 要 約	64

第5章 気象条件が水稻に対するリン酸の肥効に及ぼす影響	65
まえがき	65
第1節 気温および日照の変化がリン酸の肥効に及ぼす影響	66
第2節 気象の異なる場所におけるリン酸の肥効	77
第3節 要 約	85
第6章 暖地の花こう岩質水田におけるリン酸の施肥法	86
まえがき	86
第1節 水稻に対するリン酸の施肥時期と生育収量	86
第2節 要 約	91
第7章 総 括	91
引用文献	95
Summary	102

最近におけるリン酸肥料の国内消費量の推移(102)をみると、1963年には、リン酸の純成分として532千トンであったが、1974年には692千トンとなり、また、水稻に対するリン酸の施肥量も10a当り、1963年には平均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。

こんどは有限であるリン酸資源の活用からも、またリン酸施肥の経済効率を高めるうえからも、土壌のリン酸肥沃度の適正な把握とともに、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の施肥効果は、火山灰土壌⁴³⁾や冷害年における寒冷地で高いとされている^{24, 55)}。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続けても収量低下がおこらない^{68, 100, 104)}こと、またリン酸吸収係数の高い土壌でかえって玄米収量が増加する¹⁵²⁾ことが知られ、暖地の水稻に対するリン酸の肥効は寒冷地と異った側面をもっていると考えられる。

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、その可給化量と水稻の時期別リン酸吸収量の相互の量的関係が明確にしめされていない。

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、最近では米質改善の目的で、リン酸追

肥が登熟に及ぼす効果や、品質に与える影響などについて検討されている^{43, 96)}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西南暖地では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従来の研究結果はさまざまである。また、土壌の可給態リン酸や、他の要素との関連を定量的に把握していない場合が多く、従ってリン酸施肥によって増収の結果が得られたとしても、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作物への吸収^{12, 14, 116, 142)}、また、湛水によるリン酸の有効化^{4, 61, 124)}、有機物のキレート作用によるリン酸の有効化^{98, 131)}、pHの上昇によるリン酸の易溶化¹⁴⁵⁾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、他の要素など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^{139, 161)}、リン酸の有効利用および施肥合理化に貢献してきた。

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が乏しい。

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、リン酸施肥問題の検討には、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、合理的なリン酸施肥技術への道が開かれ、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、水稻のり

ン酸含量と生育の関係、水田土壌のリン酸肥沃度と施肥との組み合わせによるリン酸供給力の調節などの研究が行われ、技術化への提言が行われるまでにいたった(43, 46, 170)。また、志賀ら(124, 130)によって寒冷地における水田土壌のリン酸肥沃度と、リン酸施肥に対する水稲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(81)によって、土壌のリン酸吸収係数を高め、水稲体内のN/P比を調節することによって生産量を増大させようとする試みがなされた。しかし、これまで花こう岩質水田における水稲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(101, 104)、しかも、そのほとんどが断片的なものにすぎない。

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(62)を含む花こう岩質水田土壌において、水稲に対するリン酸の肥効が現

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関係から総合的に解明し、施肥技術確立の基礎資料を得ようとしたものである。すなわち、水稲作付期間の土壌の変化に伴うリン酸の有効性と水稲の生育の関係、気象条件に伴う水稲の生育、およびリン酸吸収の量的推移、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。

本研究の基盤としては、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があり、現在も継続されている。

本論文は、この長期継続のリン酸試験を基礎とし、主として1967年から1976年にわたって、長期継続リン酸試験と並行して実施した試験研究についてとりまとめたものである。

第1章 長期リン酸試験圃場における土壌

中のリン酸含量と水稻の生育

まえがき

一般にわが国の水田では、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、湛水によるリン酸の有効性の増大および水稻のリン酸吸収量が麦に比べて少ない^{20, 21)}ことなどによって、水稻に対するリン酸の肥効は小さく、無リン酸栽培を行っても水稻の収量は低下しがたいといわれている。

川崎³⁷⁾がまと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^{37, 69)}。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はない。また、長期のリン酸試験で、土壌中のリン酸含量を全リンで表わしている^{100, 104)}場合もみられる。この方法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のには意味はあるが、土壌リン酸を水稻の生育相と対比しながらみるには適当でない。水稻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^{8, 170)}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、溶媒による抽出法、土壌溶液中のリン酸濃度測定法、³²P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、水稻のリン酸吸収量との関係を推定することができて、水稻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には適当でなく、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¹²⁴⁾は水田土壌のリン酸供給力の測定方法として、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第2液による抽出法が適しているとした。Bray第2液抽出法は、リン酸施肥直後の土壌や火山灰土壌においては、水稻のリン酸吸収との間に問題が残るようである。しかし、測定操作が簡単で再現性が高いので、本試験では、主としてこの方法により土壌中の可給態リン酸含量を測定し、水稻生育との関係を検討した。

広島県立農業試験場で1930年から40数年にわたって実施している花こう岩質水田における水稻に対するリン酸試験では、長期的な観点から、主として作物の生育、収量ならびにリン酸吸収の様相をとらえ、土壌のリン酸供給の持続効果の年限をとらえようとしている。

本章では、この長期継続試験におけるリン酸の効果を、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る処理区について、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、ならびに水稻のリン酸吸収量を調査した。また、リン酸吸収量の多少が水稻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。

第1節 土壌中の可給態リン酸含量と水稻の生育収量

第1項 試験方法

1) 供試圃場

農試水田圃場；土壌は花こう岩に由来する湖成沖積、灰褐色土壌、壤土マンガン型、SLで粘土鉱物はカオリンを主体としている¹⁶⁵⁾。試験開始は1930年で以後毎年次の試験区を設けた。

本研究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（麦作にのみリン酸施肥）および各作無リン酸区（稲作、麦作ともリン酸無施肥）を選び、さらにその各々に、窒素少量、窒素多

量および窒素多量堆肥併用の3処理区を設けて行ったものである。リン酸施肥量としては、一作当り $0.75 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{a}$ を施用した。窒素は、水稻作では窒素少量 0.8 kg/a 、窒素多量および窒素多量堆肥併用 1.2 kg/a を施用した。堆肥の施肥量は一作当り 75 kg/a であった。ここでは1967年の結果を示す。

2) 栽培法と管理

水稻品種、チヨヒカリを6月24日に、株当り3本を $24 \times 24 \text{ cm}$ ($17.4 \text{ 株}/\text{m}^2$) の正条植で普通期栽培とし、幼穂形成期1週間前に中干しを行った。収穫は10月28日。

3) 土壌分析

(1) 土壌 pH: ガラス電極法

(2) 土壌の2価鉄: α - α' ディピリディール法³⁷⁾

湛水土壌の採取にあたっては、なるべく土壌が空気に触れないように円筒管で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壌をよく混合した。分析には、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_3 (pH4) 溶液200ml中に入れ、1時間振盪し、一夜放置後、上澄液5~10ml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^{2+} mgとして表示した。

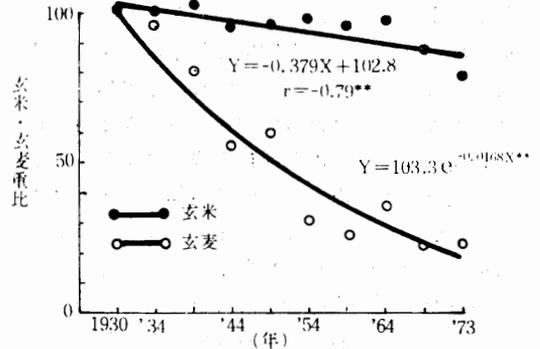
(3) 土壌の可給態リン酸: Bray第2液抽出リン酸(以下Bray第2液可給態リン酸という)法。2価鉄測定と同時に同一土壌5g(乾土約3g)を予めBray第2液(0.1N $\text{HCl} \cdot 0.03 \text{ N NH}_4\text{F}$ 溶液)⁹⁾ 30mlを入れた100ml容の三角フラスコに入れ、正確に1分間激しく振盪し、濾過した液についてJackson法²⁸⁾によりリン酸を定量し、乾土100g当りの P_2O_5 mgで表わした。

(4) インキュベーションによる土壌の可給態リン酸の測定: 内径1.6cmの試験管に供試土壌3gを入れ、蒸溜水5mlを加えた後、酸化防止のため、ゴム板を水平に入れ、30℃恒温器に一定期間放置した。測定時水量補正を行った後、速やかにBray第2液2.5ml(塩酸の濃度を補正した液)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。

第2項 試験結果及び考察

1) 1930年より1973年までの収量と土壌リン酸含量の概況

リン酸施肥効果についてみると、麦作では、各作無リン酸区は試験開始後数年で玄麦収量が10数%減収し、その後も低下し続け、リン酸による収量差が大きく現われた。しかし水稻では、各作無リン酸区の玄米収量は低収割合が少なく、40数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、窒素多量堆肥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別推移でみたもので、その違いが明らかに示されている。



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)

供試土壌の全リン酸含量は、試験開始時は $69 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ g}$ であった¹⁰⁾。現在では、各作リン酸区が 130 mg であるのに対し、各作無リン酸区は約 35 mg まで低下している。

2) 1967年の結果および考察

(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次の通りであった。8月下旬から9月上旬にかけて温度が高く、多照であったので生育が良く、とくに例年より穂数が多く収量が高く、暖地的性格が強くと現われた年で、各作無リン酸区においても高収であった。リン酸の施肥効果が収量に反映しなかった。しかし

処理区間における生育の差異は、例年とほぼ同様に認められ、長期継続試験における最近の一般的生育状況とみてよい。

すなわち、各作無リン酸区では、田植後14日頃よりリ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、窒素少量や窒素多量堆肥のそれよりも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。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、裏作リン酸区においては各作リン酸区と同様な生育を示し、リン酸施肥の多少による違いは認められなかった。

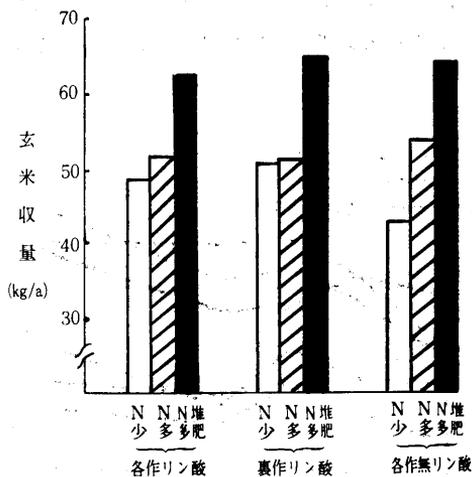
第1表 長期リン酸試験圃における水稻生育
(38年経過後1967年の生育)
(分けつ穂数/㎡)

区名	項目	最高分げつ期 7月28日		成熟期	
		草丈 (cm)	分けつ数 (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
窒素多 量堆肥	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

(2) リン酸施肥と収量

収量を第2図に示した。窒素多量堆肥では、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。窒素施用量では、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にくい。この年はとくに生育後半に好天が

続いたこともあって、各作リン酸区と各作無リン酸区との収量が現われず、窒素少量の場合には穂数減が影響し、12%の減収となった。



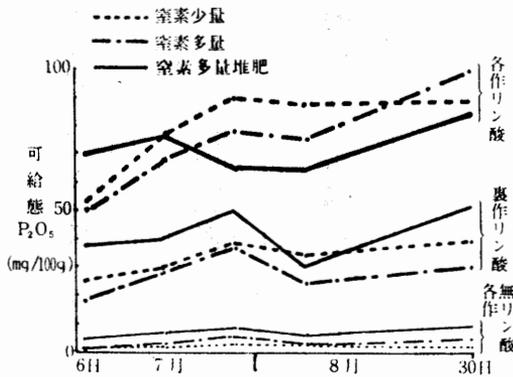
第2図 リン酸施肥の有無による玄米収量
(38年経過後1967年の収量)

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(100)。また、栄養生長期間におけるリン酸欠乏症状は、窒素多量で激しく現われる。しかし収量低下は窒素多量が窒素少量よりおこりにくい。これらの点については疑問が持たれるところであるが、これには、根が生育後期に下層まで伸び、下層土からのリン酸をより多く吸収しているのか否か、あるいは、生育時期別の体内窒素濃度とリン酸吸収の関係などの考察が必要であると思われる。これらについては、第4章で窒素施用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。

(3) 土壌のBray第2液可給態リン酸含量

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図のようである。可給態リン酸含量は、還元が進んでいない生育初期、あるいは8月上旬頃、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 P₂O₅ / 100g であり、裏作リン酸区

では20~50mg/100g, 各作無リン酸区は2~8mg/100gである。窒素多量堆肥と窒素多量および窒素少量の間では、窒素多量堆肥で生育初期にリン酸含量が高くなった。また、各作リン酸区および裏作リン酸区で、窒素少量が窒素多量より可給態リン酸含量が高い傾向にあった。



第3図 土壤中のBray第2液可給態リン酸含量の推移 (1967年)

ところで、各作無リン酸区の場合、窒素多量堆肥では堆肥に含有されるリン酸の補給(1作に75kg/aの堆肥施用によるリン酸量は0.14kg/a)によって、土壤中の可給態リン酸含量が多少は高く経過するものと考えられたが、その全量は5mgから8mg P₂O₅/100g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、初期分けつ数において僅かに少ないが、最高分けつ期以降の生育は各作リン酸区と遜色ないまにいたる。しかし、窒素少量各作無リン酸区では、可給態リン酸は3mg/100gで、この含量では分けつ数は挽回できなかつた。

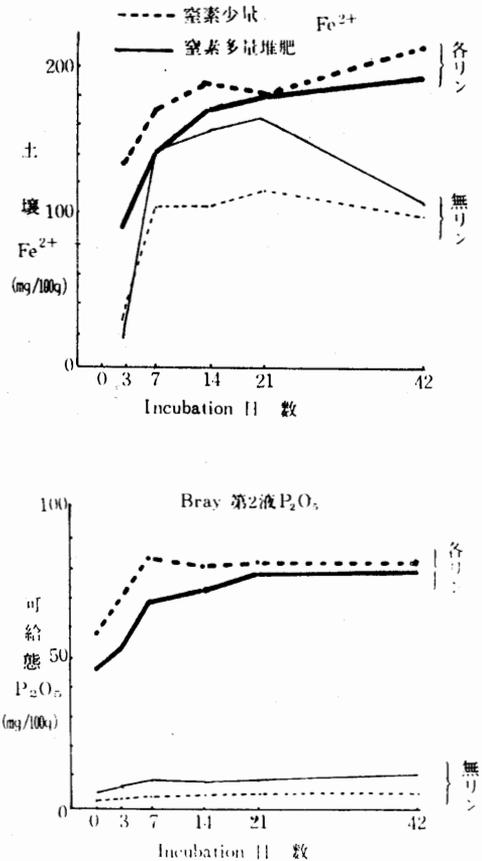
これらの可給態リン酸含量と初期の茎数増加についてみると、裏作リン酸区では分けつ数が抑えられることはない。この場合の土壤の可給態リン酸含量は第3図に示したように、20~30mg/100gであることから、この程度存在すれば、分けつに対するリン酸の制約はうけず、正常に生育することがうかがわれた。

一方、玄米収量については、窒素多量堆肥各

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/100g以上あれば収量低下をおこしにくい。しかし、窒素少量および窒素多量の各作無リン酸区では5mg/100g以下であり、これ以下で減収しやすい。

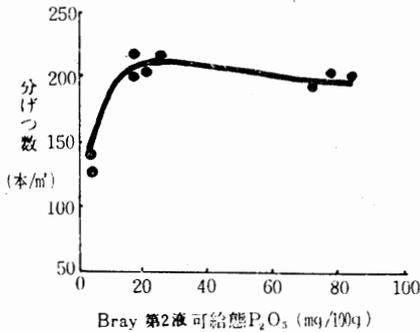
なお、室内実験から、これら試験区土壤の可給態リン酸含量は2価鉄の増加、すなわち、土壤の還元の発達で可給化量の増大傾向がみられ、それはリン酸含量の高い場合において明らかである(第4図)。なお圃場の場合も同じ処理区はこの結果とはほぼ同様の傾向を示した。

さらに、土壤の可給態リン酸含量と水稻生育の関係を明らかにするため、無肥料区の土壤にリン酸の施肥量を変え、可給態リン酸含量と分



第4図 湛水土壤のFe²⁺とBray第2液可給態リン酸含量

げつ期の分けつ数増加の関係をみた。その結果は第5図のようで、可給態リン酸が15~20mg P₂O₅/100g 付近までは分けつ数は増加する。しかしそれ以上では増加せず、75mg/100g 以上では逆に分けつ抑制の傾向がみられる。



第5図 土壤の可給態リン酸含量と分けつ数の関係
7月15日((分けつ期)(1968~1970年))

第2表 土壤のBray第2液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 ₂ O ₅ (mg/100g)	Fe ²⁺ (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	—	
土壤の全P ₂ O ₅ (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

また、第2表に示したように、最高分けつ期における土壤の可給態リン酸が6mg P₂O₅/100g においては、リン酸の欠乏症が僅かに現われ、それが4mg/100g に低下すると症状が著しくなるのが観察された。また玄米収量でも、土壤の可給態リン酸が6mg/100g 以上で影響は少なく、5mg/100g 以下で減収割合が大きくなった。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/100g

以下の場合には、全リン酸含量は45mg/100g 以下であった。

以上の結果を北日本のそれと対比するに、志賀ら¹²⁷⁾によれば、北海道の寒冷地における水稻生育とBray第2液可給態リン酸含量の関係は、分けつ期では、30~50mg P₂O₅/100g 以下で分けつに対してリン酸施肥の効果があり、また20mg/100g 以下で収量に対して施肥効果が期待できるとしている。しかしながら、西南暖地において、採土および分析法を同一条件で行った上記の結果は、分けつ期において分けつに対してリン酸施肥効果が現われる可給態リン酸含量の限界は15~20mg P₂O₅/100g 以下であり、また、収量に対しては5mg/100g 以下で、それ以上では施肥効果が期待できず、暖地では寒冷地より低い土壤リン酸含量で正常な生育をすることが認められた。

第2節 土壤リン酸の多少に伴う稲体組成と生育の変動

第1項 試験方法

1) 供試圃場

試験区および耕種法は前試験に準じた。実施年は1968年と'69年の2か年である。

2) 植物分析

窒素: 1mm篩別の粉碎試料(80℃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: 粉碎試料2~4gを50ml容のルツポに入れ、450℃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¹⁰⁵⁾により定量した。

0.7N塩酸加水分解による全炭水化物: 振動ミルで微粉にした試料0.2gを試験管により、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。

第2項 試験結果及び考察

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窒素多量堆肥処理において、リン酸施用の効果が現われていない。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。

第3表 玄米収量に対するリン酸の効果と穂数の関係 (1981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	窒素多量堆肥	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

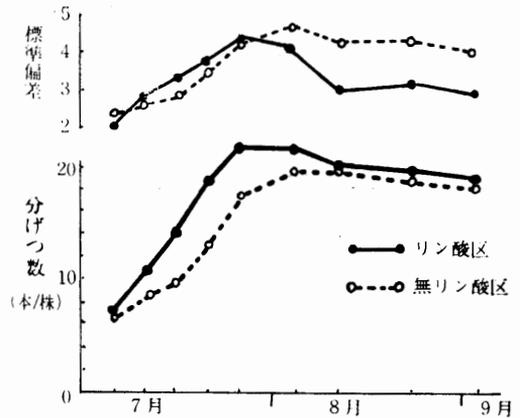
注) +および-は5%以上±は5%以下

1) 水稻の生育概況

供試材料は長期継続リン酸試験における'68年と'69年の水稻より得た。各作無リン酸区の生育の概況はさきに述べたが、'68年にさらに詳細にその経過をみた。すなわち、リン酸区の分けつ数は活着後急増し、分けつ期における葉身は軟弱で彎曲している。これに対し、無リン酸区の分けつ増加は緩慢で、7月20日頃に両区の分けつ数の差が最大になる(第6図)。その後、リン酸区は7月下旬に最高分けつ期に達するが、無リン酸区は8月上旬頃であり、最高分けつ期がリン酸区より後にずれる。そして無効分けつになる割合がリン酸区より少なく、穂数はリン酸区に接近し、効率的な分けつ数増加の様相を示す。

この最高分け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、晩期栽培や無効分け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¹³⁴⁾を起すことがあるが、リン酸の不足ではそのような症状にはならない。



第6図 リン酸施肥の有無と分けつ数増加傾向
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

また、第6図に1株分けつ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と、その影響が大きく現われる。他方、リン酸区においては、リン酸栄養の制約がなく、個体が小さい偏差を小さくしたものと考える。

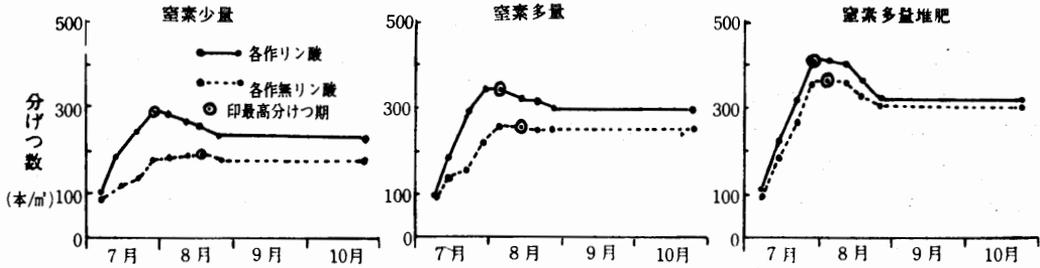
つぎに、リン酸施肥の有無と生育の関係を窒素少量、窒素多量および窒素多量堆肥についてみた。これらのリン酸の肥効は草丈よりも分けつ数の差として強く現われたので、分けつ数の推移を第7図に示した。また時期別乾物重の変化は第8図のとおりである。

第7図の分けつ数の推移についてみると、分けつ数は、各作リン酸区では窒素多量堆肥が最も多く、ついで窒素多量、窒素少量の順となった。無効分けつ数は窒素少量より窒素多量で少なく、そのため窒素多量は穂数確保には有利である。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、窒素多量堆肥で小さい。このような分けつ数の推移から、各作リン酸区と各作

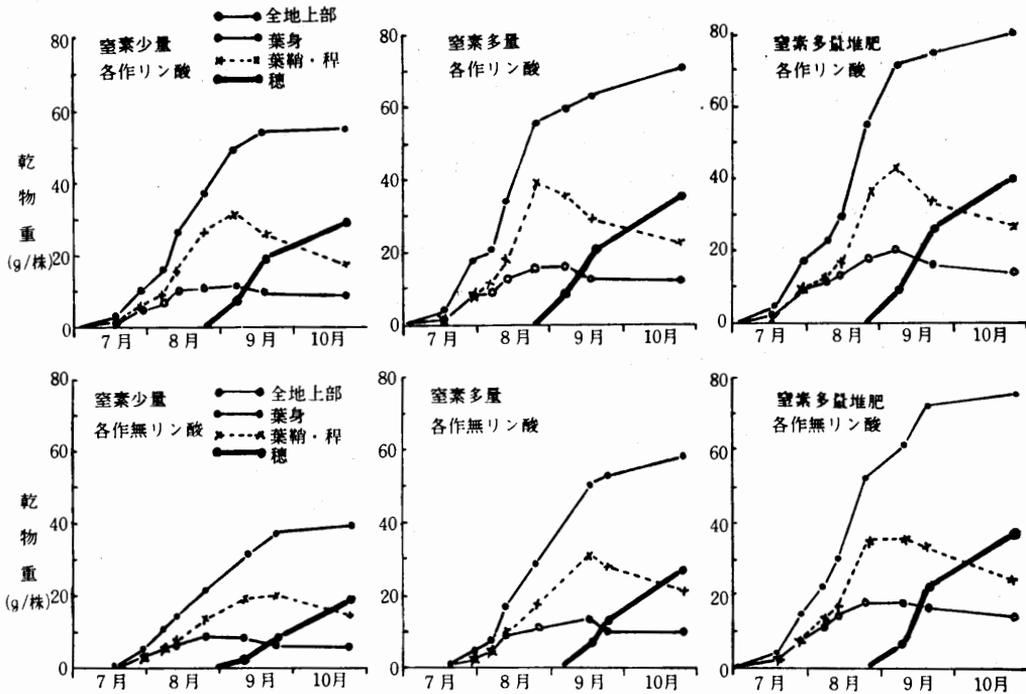
無リン酸区の穂数差は、窒素多量堆肥が最も小さく、ついで窒素多量、窒素少量となった。これらの穂数差は収量差と同じようになり、窒素多量堆肥では各作リン酸区と各作無リン酸区の収量差が小さく、窒素少量で大きい。すなわち前者はリン酸の肥効が現われにくい、後者で

は現われやすい。

つぎに、時期別乾物重の推移からリン酸の肥効をみると、各作リン酸区は各部位の増加速度が大きく、それは穂揃期まで続く、しかし各作無リン酸区の増加は緩やかである。この関係は、窒素少量および窒素多量でよく現われた。



第7図 リン酸施肥の有無による分げつ数の変化



第8図 水稻乾物重の時期別変化

出穂期以後、葉身や葉鞘、稈の乾物重は減少するが、とくに葉鞘において著しい。処理間の減少の様相は、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強く、窒素多量堆肥で弱く現われた。葉鞘や稈の乾物重の減少は、村山ら⁹³⁾も指摘しているように、出穂後に稈や葉鞘の蓄積澱粉が糖として粒へ移行すること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、各作無リン酸区は乾物生産が少ないため、穂への移動および出穂後の同化蓄積量が相対的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。一方、窒素多量堆肥の各作無リン酸区では、最終穂重は各作リン酸区と大差なく、乾物重は高い。このことは、各作無リン酸区においては、リン酸区と穂数に差がなく、出穂後においても光合成機能が衰えなかったことによるものと推定される。

また、全地上部に対する葉身の割合から、炭水化物集積の関係をみると、第4表に示したように、その葉身比率は、分けつ盛期においては各作リン酸区は各作無リン酸区より高いが、それ以後では低くなり、炭水化物の集積、すなわち葉鞘や稈に貯蔵される炭水化物が各作リン酸区で大きいことが暗示される。

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
窒素多量堆肥	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少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物を合成型とし、これは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表に示したように、リン酸施肥の有無との関係でみると、窒素少量および窒素多量堆肥では、各作リン酸区は貯蔵型に由来するものが多く、一方の各作無リン酸区は合成型が多い傾向にあり、出穂以後に同化される澱粉への依存度の高いことがうかがわれた。

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

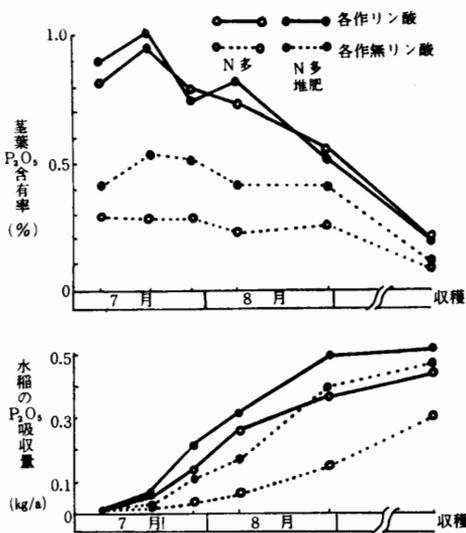
区名	項目	割合 (%)			
		穂の乾物重比の 穂揃期までの貯蔵 産物	穂の全炭水化物 含量の内容 穂揃期までの貯蔵 型	穂の全炭水化物 含量の内容 穂揃期後の合成 型	穂の全炭水化物 含量の内容 穂揃期後の合成 型
窒素少量	各作リン酸	71	29	52	48
	各作無リン酸	44	56	43	57
窒素多量	各作リン酸	59	41	45	55
	各作無リン酸	60	40	54	46
窒素多量堆肥	各作リン酸	63	37	42	58
	各作無リン酸	49	51	37	63

石塚ら⁵²⁾や戸刈ら¹⁴⁸⁾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、茎葉の澱粉が移動にさいして、一旦糖に分解可溶化し穂で再合成される澱粉量は少ないとしている。しかし、村山ら⁹³⁾や鈴木ら¹³⁴⁾は、茎葉中の澱粉も分解可溶化して穂へ移行することを認めている。村山ら⁹³⁾は茎葉中に貯蔵された澱粉のうち、窒素少量区で4.0%、中量区で3.0%、多量区で8%が分解可溶化して移動するとしている。このような穂への澱粉の移動の違いは、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、澱粉が分解可溶化し、茎葉から穂へ移動する量が異なつたことは、リン酸が蛋白代謝と炭水化物代謝と密接な関係にあることによつても明らかである。

2) リン酸の多少による稲体組成の変化

つきに、このような生育経過をたどつた水稻の茎葉のリン酸含有率および吸収量を、窒素多量と窒素多量堆肥の各作リン酸区と各作無リン酸区についてみた。その結果は第9図に示した。この図から、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、窒素多量堆肥各作無リン酸区では0.53%まで上がり、その後、緩やかに低下している。一方、各作リン酸区では分けつ期に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60%が吸収されたのに対し、各作無リン酸区では23~36%に過ぎなかった。しかしそれ以後の吸収が増大し、出穂以降においてはかなりのリン酸が吸収され、成熟期には窒素多量で各作リン酸区の69%、窒素多量堆肥では各作リン酸区の92%に達し、各作無リン酸区は後期のリン酸吸収が盛んになる特性を示した。



第9図 水稻の時期別リン酸含量の推移

さて、分けつ数の増加と茎葉のリン酸含有率について、本谷⁴²⁾は分けつ数の減少について、茎葉のリン酸含有率が0.28%以下、分けつが旺盛になるのは0.45%以上としている。本試験において1968年と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分けつ数についてみた結果は第6表のようである。この表から、窒素少量および窒素多量の各作無リン酸区のリン酸含有率は0.23~0.26% P_2O_5 で分けつ数は少なく、本谷のいう分けつ数が減少する限界値にある。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、分けつ数は裏作リン酸区が多い。

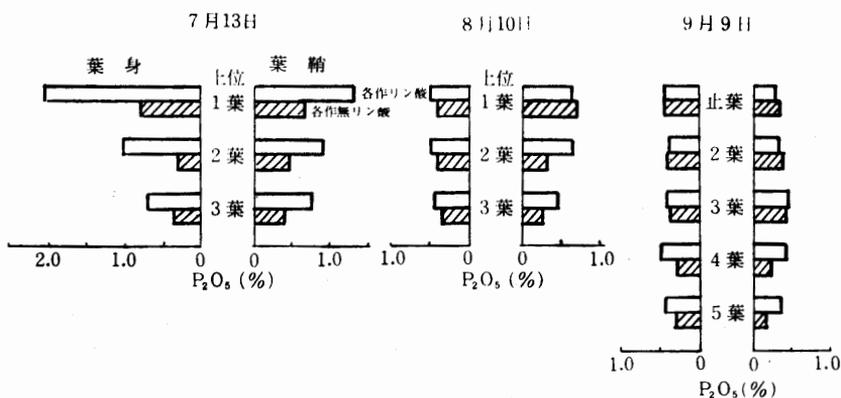
第6表 分けつ期の分けつ数と茎葉のリン酸含有率 (1968年, '69年, '72年平均値)

区名	項目	分けつ数 (本/m ²)	最高茎数の区を100にしたときの値	茎葉の P ₂ O ₅ (%)
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
窒素多量堆肥	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

したがって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_2O_5 以上、窒素多量では0.96%以上で分けつ数の増加には無関係か、あるいは減少の傾向もうかがわれる。このことは、さきに述べた土壌の可給態リン酸含量と分けつと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ことを示すともいえる。

玄米収量に及ぼす分けつ期茎葉のリン酸含有率の影響をみるに、裏作リン酸区では、リン酸による分けつ数の抑制は起こらない土壌リン酸含量である。このため収量に対してもほとんど問題



第13図 葉位別(葉身, 葉鞘)リン酸含量の時期別変化

第3節 要 約

花こう岩質沖積砂壤土の乾田において、40年余り無リン酸栽培を継続しても、水稻の収量は高く維持される。このことについて、土壌中のBray第2液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、窒素多量で95および窒素多量堆肥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 $50 \sim 100 \text{ mg P}_2\text{O}_5 / 100 \text{ g}$ 、裏作リン酸区 $20 \sim 50 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ 、各作無リン酸区 $2 \sim 8 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ とリン酸の施肥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た。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分けつ数増加の関係は、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 $20 \sim 30 \text{ mg P}_2\text{O}_5 / 100 \text{ g}$ 以上存在すれば、分けつ数増加に対するリン酸の制約はうけない。また、 $75 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ 以上では堆肥が入らない場合、分けつ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 $6 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ 以上存在すれば収量低下を起こしがたいが、 $5 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ 以下で減収することが多い。

4) 水稻の生育に対するリン酸の影響は、草丈より分けつ数に強く現われ、各作無リン酸区の分けつ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には穂数減が大きく影響し、それは窒素少量で大きく、窒素多量堆肥で小さく現われた。

5) 分けつ数増加に対しては、分けつ期茎葉のリン酸含有率が $0.55\% \text{ P}_2\text{O}_5$ でも、リン酸施肥の効果があり、 $0.8\% \text{ P}_2\text{O}_5$ 程度含有する場合には施肥効果が分けつ数増加に現われない。

一方、収量増に対しては、分けつ期茎葉の含有率が $0.30 \sim 0.45\% \text{ P}_2\text{O}_5$ 以下で施肥効果が高い。

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。また穂揃期以前には、各作無リン酸区の葉位別リン酸含有率はいずれも低い。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、各作リン酸区では玄

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一旦分解可溶化して移行するのに対し、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察された。

第2章 土壤環境の変化による可給態リン酸含量の変動と水稻に対するリン酸の肥効

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^{20, 21)}、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、湛水条件下では土壤還元に伴う pH の 6.7 付近までの上昇によるリン酸溶出量の増大¹⁴⁵⁾、リン酸第二鉄からリン酸第一鉄への変化による溶解度の増大⁴⁾、土壤中の硫化水素の発生によるリン酸の溶出、また、土壤の有機態リン酸の一部の還元に伴う無機化などがある²⁷⁾。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壤のリン酸含量が低くても、リン酸による収量低下が起こりにくい。

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、生育期間中、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壤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、土壤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壤中の可給態リン酸含量の変化と趣を異にするであろう。また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。

しかしながら花こう岩質土壤は、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、この種の土壤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、堆肥施用のリン酸の肥効への影響について、窒素多量堆肥無リン酸区では、土壤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。この堆肥併用では、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^{98, 131)}の効果も当然、リン酸の有効化に関係するであろうが、低リン酸含量の土壤における堆肥の連用が土壤の酸化還元と関連して、土壤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。

第1節 中干し処理による土壤のリン酸可給化量の変化と水稻生育

第1項 試験方法

1) 試験の条件

1970年に、広島農試水田土壤(凝灰岩を含む花こう岩沖積土壤(L))に、花こう岩風化土を重量比で1:1に混合した土壤を用いて行った。試験の規模はa/5000ポットを使用し、生土を乾土換算で4kgを充填した。供試土壤の理化性は第7表のとおりである。

第7表 供試土壤の理化性

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

2) 試験区の構成

試験区の構成および処理内容は第8表に記載

した。弱い長期中干し（以後中干しという）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、および流亡により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、浸透水をビニール袋に採水し、それを中干し期間の灌水用に使用した。中干し期間は7月4日から7月24日までとした。

第8表 試験区の構成と施肥設計

区名	P ₂ O ₅ 基肥 (mg/100g)	N(g/ポット)			K ₂ O 3回分施 (g/ポット)	
		基肥	追肥	穂肥		
P ₅₀	灌水	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 ₁₀	灌水	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 ₀	灌水	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

注) 中干し期間7月4日～7月24日

3) 一般栽培管理

水稻移植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。なお生育期間に4回採取、また土壌を数回採取し分析に供した。

4) 分析法

土壌および植物分析法は第1章に記載した。

第2項 試験結果及び考察

1) 土壌中の可給態リン酸含量と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pF1.5になるように調節したが、実測pFには第9表に示したように、かなりの変動がみられた。なお、中干し期間に葉身の萎凋は全

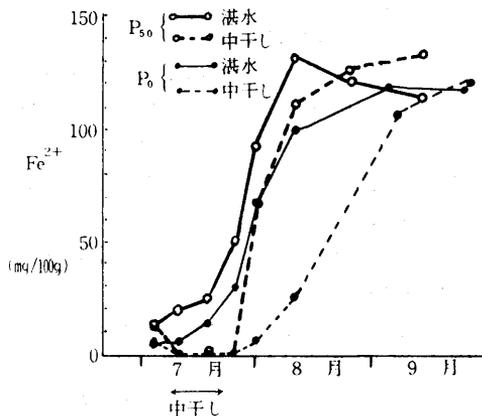
くなく、肉眼的にも多水分の畑状態であった。

土壌の2価鉄含量を第14図に、また、Bray第2液可給態リン酸含量を第15図に示した。

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 12日	13日 16日	17日 21日	22日 24日
P ₁₀ N増区, P ₅₀ N増区	2.6~1.4	1	2	3	4
P ₁₀ 区, P ₅₀ 区	2.2~0.8	1	2	3	4
P ₀ 区, P ₀ N増区	2.0~1.0	1	2	3	4

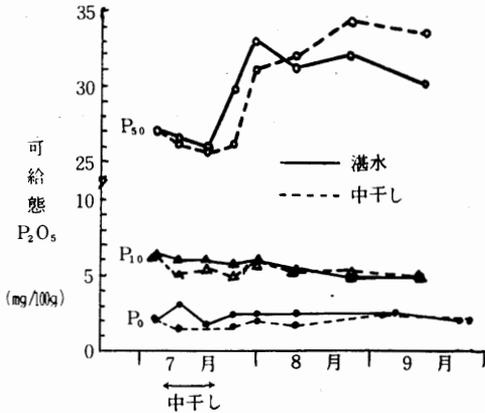
注) pF値は、中干し期間土壌を4回採取し、含水率を測定しpFに換算した。灌水量は生育の良、不良によって1回の量を加減した。また天候によっても灌水回数および量を調節した。



第14図 中干しによる土壌2価鉄の消長

第14図から、中干し処理期間には2価鉄はほとんど存在せず、土壌は酸化的に経過した。しかし、その後の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月下旬には中干し區と灌水區に大差がなく、両者はともに還元的となった。また、リン酸施肥量の多いものほど土壌の還元が早く進んだ。このことには、リン酸が藻類の発生を助長し、それが有機物源となって微生物活動を旺盛にすること(100)、リン酸施肥區は根の発育がよく、根の

呼吸により培地から酸素がとられること³⁷⁾、¹³³⁾、あるいは土壌有機物の補給源になる旧根量が多いことなどの理由が考えられる。



第15図 中干しによる土壌のBray第2液可給態リン酸含量の消長

このように、中干処理やリン酸施用によって、土壌の酸化還元の様相が異なるが、Bray第2液可給態リン酸含量の変化は第15図のように、P₅₀区で26～34mg P₂O₅/100g、P₁₀区で4.9～6.4mgであり、P₀区の場合は生育の全期間を通じて、1.4～3.1mgで推移した。中干しによって可給態リン酸含量は低下するが、その程度は小さく、なかでもリン酸多施用のP₅₀区では減少量が少ない。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、P₅₀区では土壌還元の進行とともに増加し、8月上旬までは湛水区より低いが、それ以降は還元の進行と平行して増加する。他方、P₀区およびP₁₀区においては土壌の還元化と可給態リン酸の増加とは必ずしも平行せず、中干し後の可給態リン酸含量は湛水区より劣り、期間中の増減も小さい。

中干しによる可給態リン酸含量の減少は、酸化的な土壌のため、リン酸が主としてリン酸第二鉄の形で存在すること⁴⁾および第10表に示すように、中干終了後土壌pHが低下し、低pHによるリン酸溶解度の低下¹⁰⁷⁾などによると考えられる。とくにP₀区においては、水

稲はリン酸欠乏のため生育が劣り、土壌中に施肥窒素が残存し、畑化により硝酸化成が促進されたことから、原土よりpHが低下したと考えられた。

第10表 作付期間中の土壌pH

区名	7月24日 (中干し終了)	8月10日	穂揃期	
P ₅₀	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 ₁₀	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 ₀	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

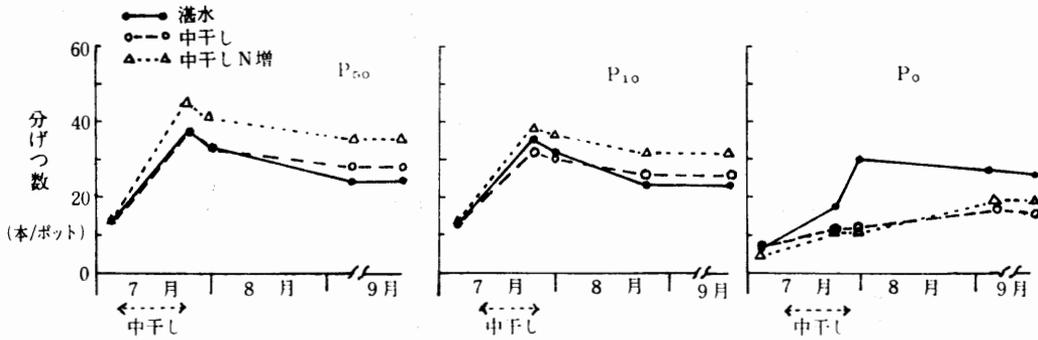
2) 水稻の生育, 収量

ここで、中干期間の生育は、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、P₀区に現われ、P₁₀区、P₅₀区では全く認められず、また、生育差は草丈より分けつ数に大きく現われた。第16図に示すように、中干しが分けつ数に及ぼす影響についてみると、P₅₀区では分けつ数は抑制されず湛水処理と同等である。P₁₀区では僅かに分けつ数の減少となり、窒素増施によってもP₅₀区のように増加しない。一方、P₀区では中干しによって著しく悪くなり、窒素増肥によっても増加しなかった。これら分けつ数の変化には、土壌の酸化還元による直接的影響は非常に小さく、主として可給態リン酸含量が支配的と考えられた。

つぎに中干後再湛水による生育は、P₅₀区、P₁₀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る。しかしP₀区では、中干処理は湛水処理より劣り、7月24日中干し後の乾物重をみても、分けつ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第2液可給態リン酸含量と対比してみると、P₅₀



第16図 中干しによる分げつ数の推移

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	穂 揃 期			成 熟 期		穂 数 (本)	1穂粒数	登熟歩合 (%)	籾重 百分比
		7月24日 茎葉重 (g)	茎葉重 (g)	穂重 (g)	茎葉重 (g)	籾重 (g)				
P ₅₀	灌水	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 ₁₀	灌水	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 ₀	灌水	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

区すなわち、可給態リン酸が $25 \text{ mg P}_2\text{O}_5 / 100 \text{ g}$ 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。P₁₀区では約 $6 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ が中干しによって $5 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ まで低下したため、分げつ数の増加に影響がみられた。また、P₀区の可給態リン酸含量は $2 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ であり、この場合の生育は著しく劣り、激しいリン酸欠乏症状が観察された。

中干し後の生育後半には、可給態リン酸の多少の増加と、中干し処理による根の健全化¹³³⁾の二次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表に示すように、P₅₀区では中干しが灌水より勝り、P₁₀区ではそれらは同一収量となり、またP₀区においては中干しによって20%の減収となった。増収あるいは減収の要因としては、穂数

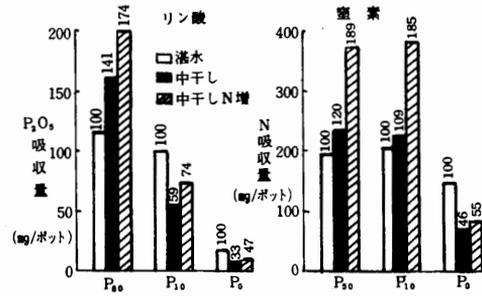
と登熟歩合が大きく関係した。なお、窒素増施によりP₅₀区では28%の増収となった。これは、生育後半の窒素栄養が収量に結びついた結果と考えられた。

3) 体内のリン酸、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灌水後の間接的効果に分けた。まず、直接的効果として、中干終了直後の稲体の成分含有率を第12表に、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P₅₀区では、中干しによって含有率は高まり、中干し窒素増施でさらに高まる傾向がみられ、またその吸収量においても同様であった。

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		
		N	P ₂ O ₅	全炭水化物	N	P ₂ O ₅	全炭水化物
P ₅₀	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 ₁₀	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 ₀	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）

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。それに中干し期間は多水分で酸化的であったことから、根の健全性が維持されたこともあってリン酸吸収を助長したものと考えられる。一方、P₁₀区およびP₀区のBray第2液可給態リン酸が5mg/100g以下では、中干しによって稲体のリン酸含有率は低下し、窒素増施による効果も認められず、P₀区においては湛水区の47%の吸収量となり、その低下が大きい。

窒素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、また全炭水化物も増加の傾向にある。このことは坂井ら¹¹⁸⁾が認めた結果と同様である。しかしP₀区、すなわち、茎葉のリン酸含有率が0.2% P₂O₅以下の場合には、中干しによって窒素含有率が低下し、窒素の増施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、P₅₀区では変わらず、P₁₀区で僅かに低下した。また、リン酸吸収量は第18図のように、P₀区では中干しによって低下するが、P₁₀区、P₅₀区では吸収抑制はほとんどみられない。ま

た窒素増施によってリン酸吸収量は増加し、とくにP₅₀区において明らかである。一方、窒素含有率は土壌リン酸含量の少ないP₀区、P₁₀区において高い傾向を示し、またその吸収量はおおむねリン酸吸収量と同じ傾向であった。

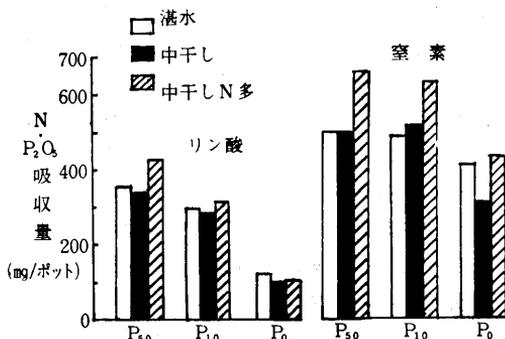
これら体内リン酸および窒素含有率の澱粉生成に及ぼす影響は、P₀区ではリン酸が制限因子となり粗の澱粉蓄積が劣るが、P₁₀区ではその影響が少ない。すなわち、穂揃期茎葉のリン酸含有率が0.4% P₂O₅以上であれば、粗の全炭水化物含量は、それ以上のリン酸が存在する場合と大差がない。また、前試験にならって粗の澱粉生成を貯蔵型と合成型に分けると、P₁₀区では合成型に由来するものが多い。すなわち、出穂後に同化される澱粉に依存する割合が多く、中干し処理でそれが強く現われる。これには根の健全性もさることながら、穂揃期における窒素含有率の高いこと⁷⁶⁾が大きく関与しているものと考えられる。

以上、花こう岩質土壌における水稻栽培で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¹²⁴⁾は湛水状態から吸収されるリン酸は、畑状態のものより多く、その増加の傾向は、泥炭質水田において高く、火山性のもので低いことを示している。しかし花こう岩質土壌では、Bray第2液可給態リン酸含量がP₀区のように2～3mg P₂O₅/100gと極

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 ₂ O ₅ (%)	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 ₅₀	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 ₁₀	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 ₀	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

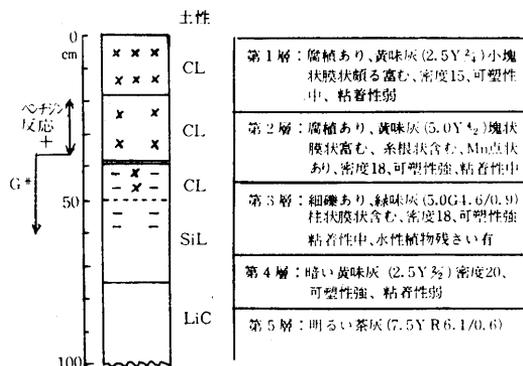
端なりリン酸不足土壌においては、中干しにより、水稻のリン酸吸収が著しく抑制され、収量にも大きく関与する。しかし可給態リン酸が5~6 mg/100gのP₁₀区では、中干し処理で僅かにリン酸吸収が抑制され分けつ数が少ない。しかし水稻は高窒素、高炭水化物の体組成となり、再湛水後は常時湛水処理より下葉の枯れ上がりも少なく、健全に生育し、湛水処理と同収量が得られた。なお、この中干し処理低リン酸土壌の籾収量は、土壌リン酸の高いP₅₀区の収量に匹敵した。P₅₀区の可給態リン酸含量は30mg/100g前後であり、P₅₀区では中干し処理でリン酸吸収量が高まり、下葉の枯れ上がりが少なく、リン酸による生育抑制は全くなく、収量は湛水処理を上回った。

このように本土壌では、低リン酸含量の場合においても、中干しが水稻生育に与える影響は少ないことが認められ、中干し、間断灌溉などの水管理に伴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。

第2節 乾田直播栽培におけるリン酸の肥効

第1項 試験方法

1) 試験の条件



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

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巾4m、長さ35.6mの短冊型4枠(6a)を一試験とし、各々の深さ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14表 供試土壌の理化学性

層位	深さ (cm)	土性	pH (H ₂ O)	T-C (%)	T-N (%)	T-P ₂ O ₅ (mg/100g)	CEC (me)	吸収係数		遊離Fe ₂ O ₃ (mg/100g)
								N	P ₂ O ₅	
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(3L直播区)、乾田直播7葉期湛水(7L直播区)と、対照として湛水しろかきした移植区を設け、1区12.5m²の2連制で実施した。リン酸施肥量は、+P区に基肥1.5kg P₂O₅/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。窒素施用方法は第15表のごとくである。

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

3) 一般栽培の概要

直播の播種日は5月17日、30×15cm(22.2株)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)から湛水した。移植区は6月23日(44日苗)に30×15cm、1株3本植とした。中干しは7月25日から5日間、落水は9月18日、収穫10月17日、無リン酸区は3日遅れて刈取った。

4) 分析法

土壌および植物体の分析法は第1章に記載した。

第2項 試験結果及び考察

移植区は、苗床としてリン酸区のものリン酸施肥土壌に、無リン酸区のものリン酸無施肥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、明らかにリン酸に対する反応が生育に現われた。また、無リン酸系列では、生育期間を通じて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

作付土壌作土の湛水後におけるpH、2価鉄および可給態リン酸含量の変化は第20図のとおりである。これら三つの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

第15表 施肥設計(窒素)

区名	(a当りkg)					
	基肥	追肥			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。K₂O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。

れる。すなわち、移植区では pH の変動は小さいが、直播区では大きく、とくに 7 L 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 価鉄の関係でみると、7 L 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、7 L 直播区では乾田期間が長く、また気温も高かったために畑状態で可溶性有機物の分解が進み、湛水後、急激に還元になりにくい¹³³⁾ ことによるものであろう。また、7 月下旬の土壌の変化では、移植区はしろかき作業で土壌が泥状化しているのに対し、無しろかき、すなわち直播区ではいわゆる粒状構造⁷⁸⁾ であり、このため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考えられる。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⁴⁹⁾ も認めているが、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る。しかし圃場条件においては、浮草や藻類が +P 区ではポット条件より多くなり、これらが有機物源となって¹⁰⁰⁾ 土壌の還元を促進する。他方、-P 区ではそれが起りにくいことも併記しておきたい。

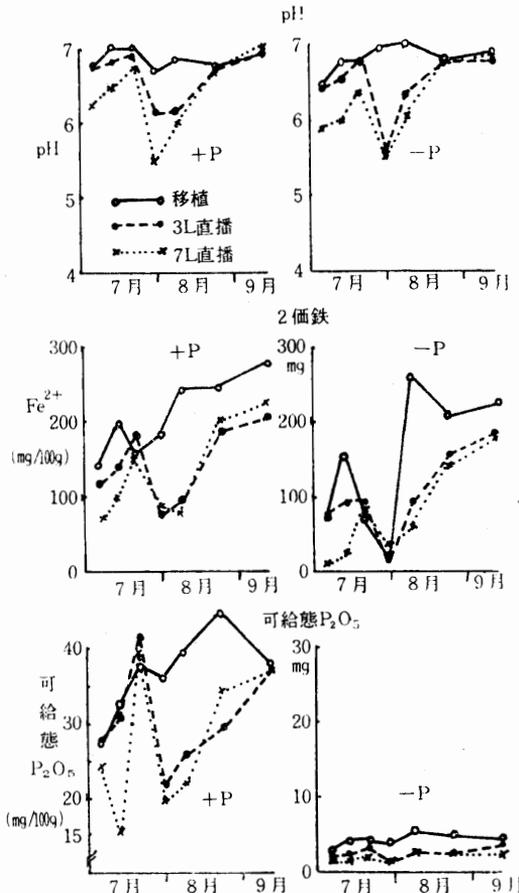
このような土壌の酸化還元に伴う Bray 第 2 液可給態リン酸含量の推移についてみると、+P 区では 2 価鉄の変化と同様の傾向にある。すなわち、移植区の可給態リン酸含量は $3.3 \sim 4.5 \text{ mg P}_2\text{O}_5 / 100 \text{ g}$ で、生育が進むにしたがい値は高くなる。これに対し、直播区は移植区より低く、 $2.0 \sim 4.0 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ であり、土壌が酸化的な時期の可給態リン酸含量は還元時の約 50% となったが、この抽出量について、土壌間の比較を第 3 章で行ったので、そこでその特性について述べる。

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 $5 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ 前後である。これに対し直播区では $3 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ 前後になり、7 L 直播区が湛水時期の早い 3 L 直播区より僅かに劣る。また 2 価鉄との関係は、これまでと同様に高い相関がみられなかった。このように、 $3 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ の低リン酸含量では、普通移植栽培の結果からみて収量減になることが予想される。

2) 水稻の生育収量

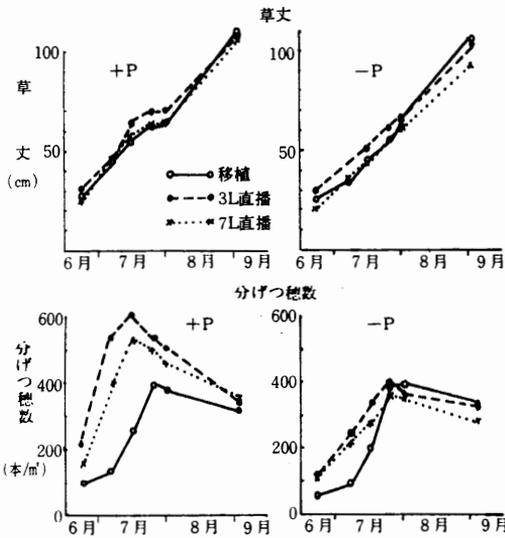
乾田直播栽培におけるリン酸施肥の有無による生育への影響は、乾田期間の幼植物で当然認められ、草丈、茎数および乾物重に差がみられた。しかしそれよりも、湛水 1 か月後の方に処理の差が明瞭に現われた。この場合、湛水による稲の黄化現象^{120, 169)} は湛水後に窒素追肥^{108, 137)} を行ったため認められなかった。

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現われる。分けづ数の増加においては、草丈よりさらに処理の差が明らかで



第20図 作付期間における土壌の pH と 2 価鉄および Bray 第 2 液可給態リン酸含量

あり、土壌リン酸の多少は移植区より直播区でその影響が大きい。中でも+3L直播区では、最高分けつ数が600本/m²に達したが、-P区のそれは400本/m²程度である。このように+P3L直播区では初期生育は旺盛であるが、最高分けつ期が移植の+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なった。このため無効分けつ茎が多くなり、穂数は移植栽培に近い値まで減少し、穂数確保に効率の悪い生育相となった。



第21図 移植と乾田直播における草丈および分けつ穂数の推移

これに対し、-P区では茎数の増加は少ないが、直播区では移植区より生育初期の増加が大で、穂数決定期である7月中旬頃には+P移植区より多くなり、直播区ではリン酸含量が低くても分けつ数は多くなる。

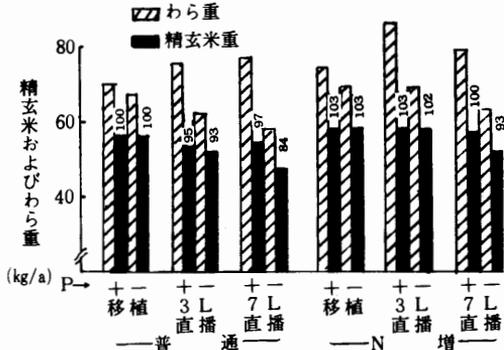
一般に、乾田直播栽培は灌水後の初期分けつが旺盛で、無効分けつが増加する(5, 48, 49)。本試験の+P区ではこれと同様の傾向にあるが、-P区では土壌リン酸含量が低いため、いわゆる直播型の生育相を示さず、+P移植区と類似の、無効分けつがあまり多くない生育型となり、このことが収量に好影響を及ぼしたものと考え

る。

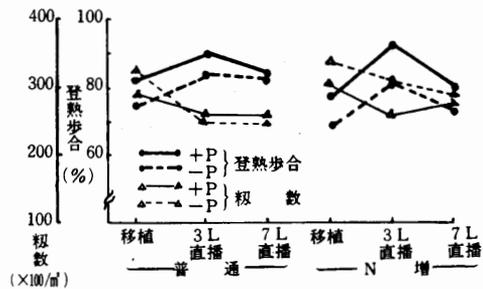
なお、出穂10日前の窒素増施区の生育は、出穂後の草丈、稈長が長くなり、有効茎歩合が高まり、穂数は普通肥区のものより勝り、その効果がみられた。

出穂期には処理による出穂の早晩がみられ、その時期は8月23日から31日の間であり、-P区は+P区より3~6日遅れ、その遅れは移植区より直播区で大きい。なお窒素増施区では若干早まる傾向にあった。

収量を第22図に、収量構成要素を第23図に示した。収量について、窒素増施区と普通区における+P区と-P区を比較すると、わら重では移植より直播に差が大きく、+P区で高い。中でも生育のよい3L直播窒素増施区にリン酸施肥の差が強く現われた。一方、玄米収量では、普通施肥の場合は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、7L直播区では-



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粗数の関係

P区が+P区より1.3%の減収となり、リン酸の施肥効果が大きい。第23図の収量構成要素をみると、-P区では*m*当りの粒数が多いが、登熟歩合が劣る。この傾向はとくに-P窒素増施3L直播区にみられるが、-P直播区は+P直播区より有効茎歩合の高いことから、穂数においては両者に差がない。一方、一穂粒数は-P区が勝る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

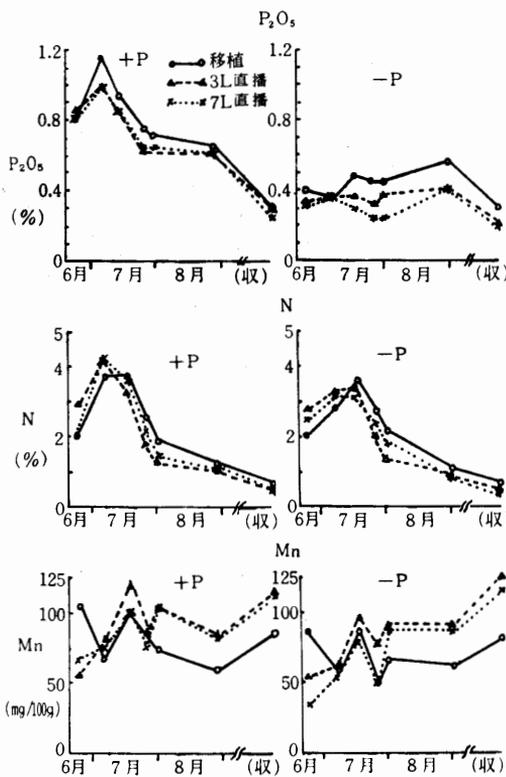
乾田直播栽培では灌水後も比較的酸化状態の培地で生育するが、そのような条件における体内リン酸濃度の推移、またリン酸吸収が窒素およびマンガン吸収に及ぼす影響について調べた。その結果は第24図のとおりである。茎葉中のリン酸含有率は直播区では移植区より相対的に低く、直播区の中でもおそく灌水した7L直播区で低い。これは+P区より-P区でより明ら

かであり、土壌がより酸化的に経過した-P区の直播区土壌の低供給態リン酸量と符合した。すなわち、分けつ期における茎葉のリン酸含有率は、+P区で0.7~1.0% P_2O_5 に対し、-P区は0.26~0.45%で、-P7L直播区は0.3%以下である。その後、+P区では成熟期まで含有率は低下するが、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%前後となる。一方、-P区は穂揃期までやや増加の傾向をたどるが、成熟期には移植区0.3%、直播区0.2%まで低下した。

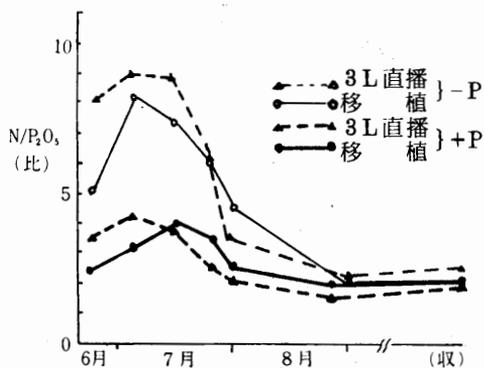
茎葉中の窒素含有率は土壌リン酸含量の多少や、移植、直播などの栽培法の影響をうけ、第24図のような推移を示す。すなわち、これまでの結果と同様に、+P区では最高の窒素濃度は早い時期に来るが、-P区では少し遅れて最高となる。そのため、幼穂形成期頃は-P区が+P区より高い。この時期の高窒素含有率は一穂粒数を高める⁷⁶⁾ので、粒数がとくに直播区において高まったことは、+P区との収量差を少なくする大きな要因であったと考えられた。

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⁴³⁾は、窒素、リン酸の体内濃度とともに N/P_2O_5 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_2O_5 比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_2O_5 以上で N/P_2O_5 比が4~5以上では蛋白代謝が活発となる。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。他方、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_2O_5 比で示したが、7月中旬のいわゆる分けつ最盛期には、+P区の比は4前後で、リン酸濃度が高く、蛋白代謝が盛んで、ことに直播区は移植区より早い時期から旺盛である。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_2O_5 比が高く、それは直播においてよく現われ、その比は8以上となった。この時期は+P区より粒数は劣り、本谷⁴⁵⁾



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



第25図 茎葉のN/P₂O₅比の時期別推移

のいう伸長型であろうが、7月下旬のN/P₂O₅比は+P区より高く、分けつ数は増加の方向で、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/P₂O₅比は高いが、移植区より分けつが旺盛であった。このことについては、直播栽培の分けつに対する生理生態的特性^{49, 50, 137}、すなわち、移植のような植え傷みがないことから、灌水後すぐに発根、分けつを起すこと、また酸化的に経過するので根腐れが急に生じないことによるものと考えられる。

つぎに、リン酸および窒素の吸収量については第16表に示したように、-P区のリン酸吸収量は分けつ期においては+P区より著しく劣る。-P区の中では早期灌水の3L直播区は土

壤の可給態リン酸含量が移植区より低い、茎数増や初期乾物重の増加が大きいため-P移植区より吸収量が多い。しかし後半の吸収は直播区が移植区より劣る。これは、-P直播区の土壌が酸化的に経過するため、リン酸の可給化量が移植区に比べて少ないことが影響していると考えられた。

他方、窒素吸収量は、-P 7L直播区で最高分けつ期に多く吸収されたが、その他の区はおおむねリン酸の吸収と類似の傾向を示した。なお10日前の窒素増施肥区は、窒素吸収量を増すと同時に、リン酸吸収量も増大した。

土壌リン酸の多少に伴う稲体のマンガン含有率の時期別推移は、第24図に示したように、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、直播区は移植区より高くなった。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¹³⁴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区でより還元が進んだことによる易還元性マンガンの増加とともに、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¹¹⁴)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多かったものと思われる。

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(分けつ期)		7月24日(最高分けつ期)		10月16日(収かく期)	
		P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N
+P	移 植	0.031	0.10	0.122	0.42	0.69(0.65)	1.15(1.40)
	3 L 直 播	0.087	0.37	0.182	0.49	0.57(0.66)	1.07(1.36)
	7 L 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)
	3 L 直 播	0.016	0.14	0.057	0.35	0.47(0.48)	0.84(1.11)
	7 L 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

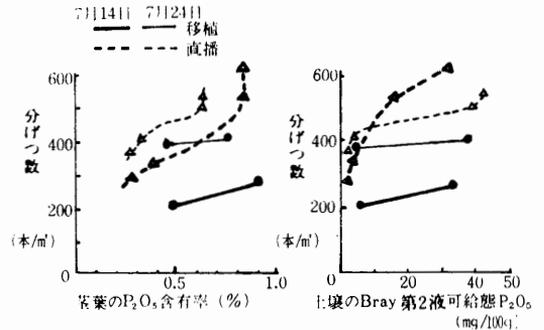
4) 直播栽培の可給態リン酸と生育について
以上、乾田直播栽培における土壌の可給態リン酸含量と生育、収量について、結果ならびに若干の説明を示したが、さらに二・三の考察を加える。

移植栽培と乾田直播栽培におけるリン酸の肥効について、立谷ら¹³⁶⁾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⁴⁹⁾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分けつ数の関係について、志賀ら^{127, 128)}は寒地水田において、移植栽培における分けつ初期の茎葉のリン酸濃度が0.9% P₂O₅までは、含有率の増大とともに分けつ数は増加し、そしてこの濃度を維持する土壌のBray第2液可給態リン酸含量は、50~60 mg P₂O₅/100gであると、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% P₂O₅で頭打ちになることをみている。本谷⁴²⁾も分けつ期の分けつ数はリン酸濃度とともに増加するが、それは葉身のリン酸含有率が0.78~0.90% P₂O₅までであり、これ以上では増加しないとしている。

直播栽培では初期分けつが多く、生育が促進される^{2, 5, 49)}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第2液可給態リン酸含量と分けつ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。この図から明らかなように7月14日の分けつ期および7月24日の最高分けつ期の両者とも、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、分けつ数は直播栽培の方が多。換言すれば、直播栽培では、ある一定の分けつ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、分けつ数

増加に有効な体内リン酸含有率の上限は、寒地と同様に0.9% P₂O₅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分けつ数の関係

このように直播栽培は、-P区においても分けつ数の増加が容易で、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第2液可給態リン酸が3 mg P₂O₅/100g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^{65, 80, 86)}ので、リン酸の肥効の異なることが考えられた。そこで、窒素増施肥区を設けたが、この場合の-P区と+P区の収量は同じになり、リン酸の施肥効果は窒素増施肥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第2液可給態リン酸が5 mg P₂O₅/100g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、その限界はさらに低く、3 mg/100g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、分けつ増加の時期も遅れたことから、穂数減が収量に影響し、低収となった。

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時期について、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分げつ数を多くし、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(65, 90, 121, 169)。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にもかなりの幅がある(50, 65, 80)。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(38, 57)。このように湛水時期を寒地型と暖地型に区別して試みるができるが、本試験の-P区では、寒地型湛水法で早期に分げつ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と考える。

第3節 堆肥連用のリン酸の肥効への影響

第1項 試験方法

1) 試験の条件

圃場とポットを用いて実施した。圃場では、第1章、第1節の試験に記載した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)と窒素多量堆肥各作リン酸区(堆肥併用各リン区)、窒素多量堆肥裏作リン酸区(堆肥併用裏リン区)、窒素多量堆肥各作無リン酸区(堆肥併用無リン酸区)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。供試土壌は前試験に記載した花こう岩質沖積砂壤土である。

2) 試験区の規模と構成

圃場試験：施肥設計は第17表のとおりである。

ポット試験：a/5,000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。施肥設計は第18表に、また施用堆肥の内容は第19表に示した。+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る。また、+αは施用堆

肥に含有されるリン酸量に相当する施肥量を意味するものである。リン酸肥料は重過リン酸石灰を用いた。窒素および加里肥料はポット当たり0.8gを3回に分施した。

第17表 圃場栽培の施肥設計(硫酸根系列)

		(kg/a)				
区名	水稲作		麦作		施肥 P ₂ O ₅ 合計	
	堆肥	P ₂ O ₅	堆肥	P ₂ O ₅		
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:水稲1.2kg, 麦1.1kg, K₂O:水稲, 麦とも各0.75kg

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 ₂ O ₅	K ₂ 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)	ポット当たり施用量			乾物成分			
	現物 (g)	水分 (%)	施用量中の P ₂ O ₅ (mg)	P ₂ O ₅ (%)	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。

3) 一般栽培の概要

圃場試験の栽培概要は第1章、第1節で述べた。ポット試験は移植6月21日(1974年は6月18日)、収穫は10月中旬、ただし-P区は約1週間遅らせた。その他の管理は前試験

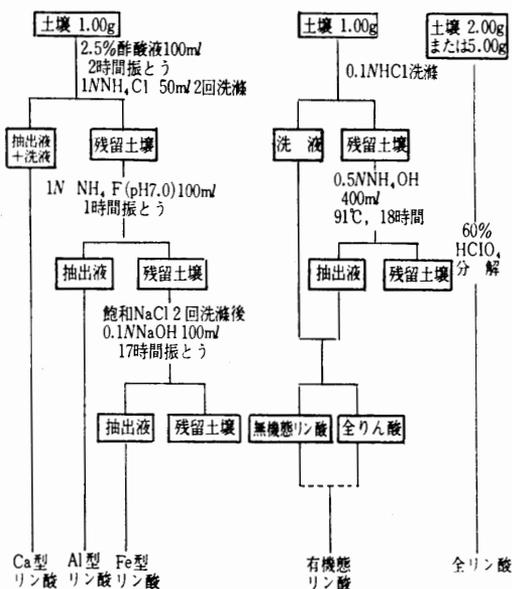
に準じた。

4) 分析法

圃場における土壌採取法は、あらかじめ灌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供した。

土壌および植物体の分析は第1章に記載した。

なお、土壌の形態別リン酸の定量は、風乾土をメーノ乳鉢で砕き、0.5mmの篩をことごとく通過させたものについて、関谷ら¹²²⁾の方法によって測定した。分析法の概略は第27図に示した。



第27図 土壌リン酸の形態別定量法

第2項 試験結果及び考察

1) 圃場試験における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肥法による収量およ

びリン酸吸収量についてみたのが第20表である。この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 P₂O₅/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。

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 ₂ O ₅ 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

なお堆肥の効果は、リン酸施肥の場合は無機肥料区の約10%の増収となり、堆肥併用無リン酸区では、無機肥料各リン区の約9%増となり、いかに堆肥施用によって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施用による土壌リン酸の効果発現がいかに高いかを裏付けている。

他方、これを水稻のリン酸吸収量からみると、無機肥料の場合、無リン区は各リン区の約60%の吸収量である。ところが堆肥併用の場合、それが90%となり、また堆肥併用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。

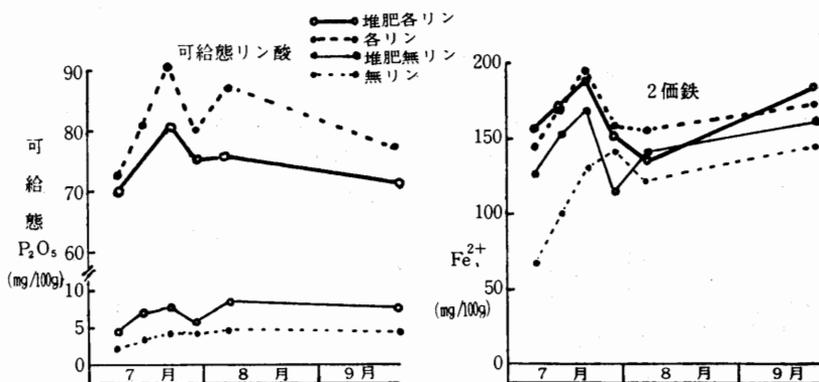
2) 圃場試験における土壌中の2価鉄とBray第2液可給態リン酸含量ならびに形態別リン酸含量

堆肥併用各リン区の施用堆肥中のリン酸含有量は、年間、7.5kg堆肥×2作×0.18% P₂O₅ = 0.27kg P₂O₅/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 0.4 4 kg, 麦 0.1 3 kg) であり 39), 施用堆肥中のリン酸は作物吸収量の約 4 7 % を占め, 残り 5 3 % (0.3 kg P₂O₅ / a) は毎年, 土壌および僅かに含有されている灌がい水から摂取していることになる。

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 4 2 年経過した '71 年から '73 年の稲作期間に測定した。その平均値で示したのが第 2 8 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。しかし無リン区の場合, 堆肥併用区の 2 価鉄含量は高く経過するのに対し, 無機肥料区では低く土壌還元の違いを示している。



第28図 作土の Bray 第 2 液可給態リン酸含有量と Fe²⁺ 含量の時期別推移

一方, このような還元状態における可給態リン酸含量の変化についてみると, 堆肥併用無リン酸区のリン酸値は 7 mg P₂O₅ / 100 g 前後であり, 無機質無リン酸区の 4 mg / 100 g 前後に比べて僅かに高い。これに対して無機質肥料各リン区の場合は 8 5 mg / 100 g 前後である。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 価鉄含量の変化と関係があるが, ここで注目すべきことは, 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 1 0 倍以上の違いがあっても, 水稻のリン酸吸収量には大差がないこと。また, 堆肥併用無リン酸区は無機質肥料無リン酸に比べて, リン酸吸収量が 1.6 倍も多く, 堆肥施用によってリン酸吸収の高まることがうかがわれる。

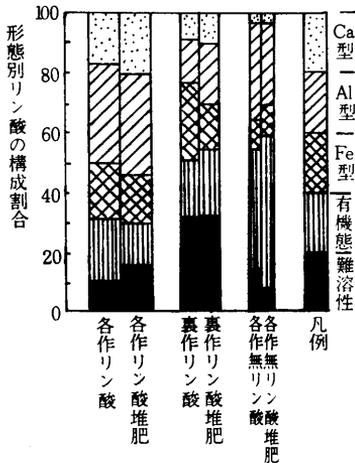
このことをさらに土壌の形態別リン酸含量から検討した。その結果は第 2 1 表および第 2 9

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 ₂ O ₅ (mg/100g)	形態別 P ₂ O ₅ (mg/100g)						
				Ca型	Al型	Fe型	Ca+Al+Fe	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	

図に示した。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よる差異はないが、裏リン区および無リン区では堆肥併用によって高まる。無機態リン酸含量は全リン酸が低い区ほど低いが、有機態リン酸含量は、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。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。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、堆肥併用の影響でCa型リン酸が増加する。それに対しAl型リン酸、Fe型リン酸は全リン酸含量の少ない区において、これらの割合が小さくなる傾向を示した。



第29図 土壌中の形態別リン酸の構成割合

高盛ら¹⁴²⁾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結果で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。これが定量法の差異^{13, 122)}によるものか否かは明らかでないが、無リン酸区で有機態リン酸が多いこと、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。しかし堆肥併用区では全リン酸、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Ca型リン酸のみが増加した。

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、Struthers¹³¹⁾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^{97, 98)}、橋本³³⁾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^{41, 73, 155)}、土壌pH^{26, 107, 115, 116, 155)}あるいは土壌の酸化還元^{10, 11)}や、土性および土壌の成因¹³²⁾によっても異なることが報告されている。東海林¹⁴⁹⁾や高盛ら¹⁴²⁾は鉍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¹⁰⁾は、湛水前には石灰と結合したものが有利であるが、湛水後はFe型リン酸やAl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稻は容易にリン酸を吸収できるものと思われ。

有機態リン酸についてみると、無リン酸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¹⁴²⁾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³¹⁾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^{35, 36)}ことなどから、堆肥併用区におけるリン酸の有効性には、有機態リン酸からの影響も大きいことが推定される。

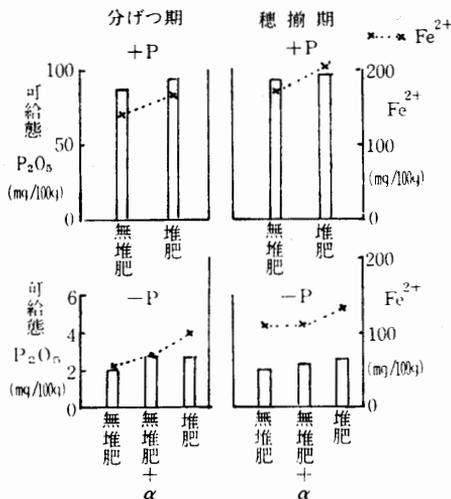
3) ポット試験における稲作期間の土壌2価鉄および可給態リン酸含量

圃場試験における堆肥の連用は、低リン酸含量の土壌においても高いリン酸吸収量を示すことが明らかとなった。しかしこれには、堆肥中の含有リン酸が影響していることが大きいとみて、この含有リン酸を差引いた条件、すなわち

含有リン酸量を無リン酸区に施肥したものととの比較においても、堆肥連用がリン酸の肥効増進に結びつくか否かについて、ポット試験で検討した。

1972年から3か年にわたって行い、各年次における水稻作付土壌の2価鉄およびBray第2液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ので、3か年の平均値で第30図に示した。土壌の2価鉄含量は、分けつ期および穂前期の両時期とも、土壌リン酸の多いほど多く、また堆肥施用によって増大することはこれまでと同様である。

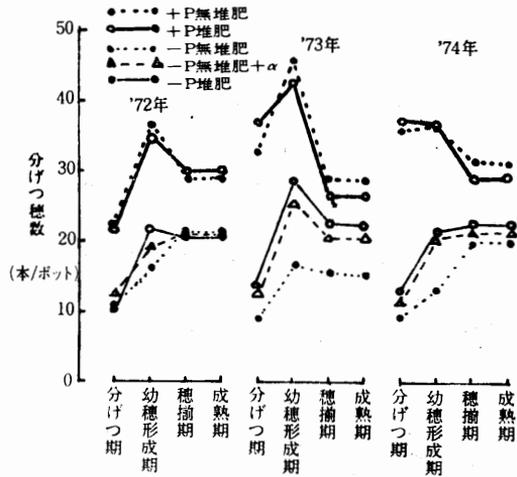
一方、可給態リン酸含量は、+P区では85 mg P₂O₅ / 100g 前後であり、-P区では2~3 mg / 100gで両者に極端な開きがある。+P区の場合はリン酸含量が高いため、リン酸が水稻生育の制限因子にはならず、したがって堆肥によるリン酸の効果は現われないであろう。しかし-P区では無堆肥+α区の可給態リン酸含量は、α量のリン酸が施肥されるため、含量が高まるのは当然であるが、他方、堆肥区は無堆肥区より高まり、無堆肥+α区とほぼ同程度となった。このことは堆肥施用による土壌還元の進行、および堆肥中のリン酸の有効化によるものと考えられる。これについては後述の水稻のリン酸吸収量と平行して考察を加えたい。



第30図 分けつ期(7月17日)と穂揃期における作土のBray第2液可給態リン酸と2価鉄含量

4) ポット試験における水稻の生育と収量
 一般に、その年の気象は水稻の生育相を変え、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(43, 45, 164)。本実験においても年次による差がみられた。

すなわち、1972年は生育の前半、低温寡照で、9月は多照のため、分けつは抑制的で有効茎歩合が高く、後半の枯れ上がりも少なく登熟は良好であった。1973年は前半が高温多照、後半は寡照に経過したため、分けつが旺盛であったが登熟が悪かった。1974年は前半並温寡照、後半は気温が高く、温度較差が大であった。そのため初期分けつは少なかったが登熟は良好であった。第31図は分けつ数の時期別推移を示した。-P区は+P区より分けつ数は少ないが有効茎歩合が高い。堆肥施用の効果は+P区では'73年と'74年に穂数が若干少ないが、リン酸による影響とは考えられない。



第31図 年次による分けつ(穂)数の時期別推移

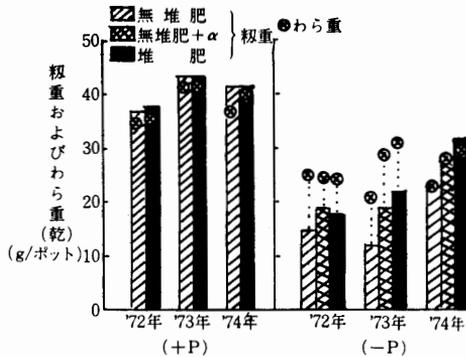
一方、-P区では試験開始の'72年には堆肥施用の効果は明らかでない。'73年、'74年には無堆肥+α区および堆肥区が勝り、なかでも堆肥施用による分けつ数増加が大きく、試験開始2年目から、堆肥区では無堆肥+α区と同様に生育初期から分けつ数の増加がみられたこと

も堆肥連用により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表の出穂調査結果の中で、-P区では+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果とみられる。なおリン酸不足の状態では、出穂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⁴³⁾が、暖地では穂揃いまでの期間が長びくことはなかった。

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
+P 堆肥	8.24	8.27	8.20	8.24	8.22	8.24
無堆肥	9.6	9.9	9.6	9.10	9.1	9.4
-P無堆肥+α	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

つぎに第32図および第23表の収量と収量構成要素についてみると、+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る差はみられない。ただし登熟歩合が無堆肥区に比べ堆肥区で高い傾向にある。これには粒数が堆肥区において僅かに少ないことが関与しているのか否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、



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
+P 堆肥	174	188	189	90.5	90.9	90.9
無堆肥	99	71	131	39.2	45.7	49.5
-P無堆肥+α	108	115	158	55.2	51.2	56.2
堆肥	97	120	171	74.1	66.8	78.2

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。この収量増の要因としては、粒数も若干増加しているが、登熟歩合が堆肥連用によって高まったことが大きい。

5) ポット試験における水稻の養分吸収

3年目の'74年における水稻三要素の含有率およびその吸収量を第24表に示した。リン酸含有率は8月1日及び穂揃期の茎葉において-P区が+P区の1/3程度と低い。-P区での堆肥施用の効果は吸収量において堆肥区が勝る。+P区ではリン酸の含有率は成熟期茎葉で0.3% P₂O₅であり、十分な含量であった。

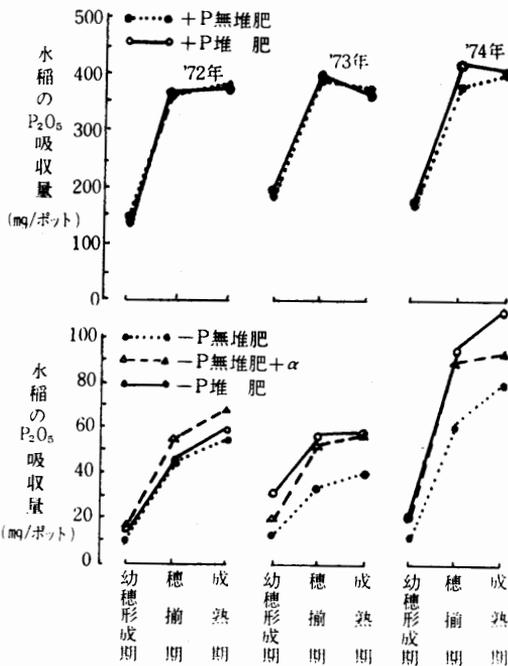
このようなリン酸吸収の違いが他の要素の吸収に及ぼす影響をみると、窒素は-P区の場合、リン酸含有率の低いほど窒素濃度が高く、リン酸含有率が高いほど低下の傾向を示した。窒素濃度の低下は生育量の増大による希釈効果によるものであり、窒素吸収量はリン酸含有率の低いほど少なく、高いほど多い。しかし堆肥連用の場合の窒素吸収量には窒素の施肥量が多いためか増加は認められない。

また、加里については窒素と同様な関係がみられ、堆肥区は堆肥中の加里が加わるので吸収量は高まった。

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区の5倍以上となり、年次による変化はあまり認められない。ところが、-P区の吸収量は年次とともに変化した。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。しかし2年目では堆肥区

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	茎葉	穂	茎葉	籾	茎葉	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 ₂ O ₅	+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 ₂ 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



第33図 年次による水稻の時期別リン酸吸収量

の吸収量が高まり、とくに幼穂形成期までの吸収が高い。3年目では生育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効果は、初年目におけるリン酸の肥効では少ないが、2年目以降の肥効にあらわれた。その効果は生育の前期にみられ、さらに3年目に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) ポット試験における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8年目の土壌について調べ、堆肥施用による土壌中のリン酸の変化についてみた。その結果は第25表および第34図に示した。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130 mg P₂O₅/100g に対して、-P区では20数mg/100g 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をみると、+P区では施肥リン酸量が水稻のリン酸吸収量より多いため作付後の土壌中のリ

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

リン酸含量は増加した。一方、-P区では作付後の全リン酸含量は減少した。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いが、無機リン酸に違いがみられた。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Ca型リン酸が増加し、Al型リン酸、Fe型リン酸および有機態リン酸が低下する。また、堆肥施用によっても同様の傾

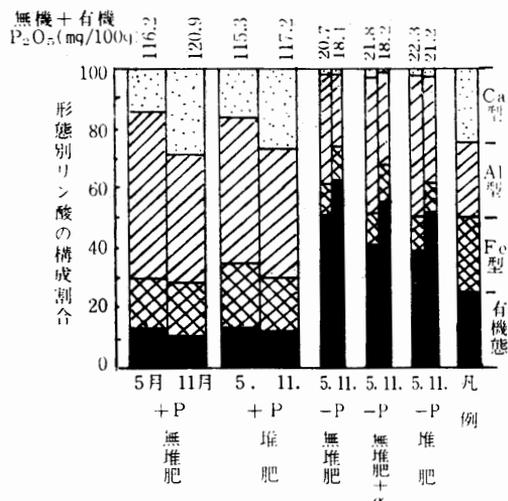
向が認められた。一方、-P区では、+α量の僅かなリン酸施用および堆肥の施用によって有機態リン酸の割合が低下した。作付前後の比較では、作付後における有機態リン酸の増加が明らかである。

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加する。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す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) 堆肥によるリン酸の肥効増進

寺沢(147)は無リン酸区に堆肥を施用することによって、出穂期を早めるが、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含量の土壤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量を無機リン酸で加えたものと、堆肥施用のものと比較した。しかし堆肥施用の効果に



第34図 水稻作付前後の土壤形態別リン酸の構成割合

注) 5月は作付前, 11月は作付後の含量

はリン酸以外の成分も加わり、結果を複雑にするので、高リン酸含量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、三要素およびその他の成分が十分に施肥された条件では、無堆肥区は他の要素によって生育を制限されず、第26表にみられるように、+P区では堆肥区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表のとおり、堆肥区の初年目は無堆肥+α区より劣るが、2年目以降はリン酸の効果が現われる。このことは、施用初年目においては、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堆肥区より僅かに高いことがうかがわれる。一方、土壌の還元が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の効果は、堆肥中のリン酸による可能性はうすく、吸収量の増加は、土壌還元促進による土壌リン酸の効果にもとづくところが大きいと推定した。

第26表 水稻のリン酸吸収量比および収量比

区名	水稻のP ₂ O ₅ 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	82	71	82	80	63	79
-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。

2年目および3年目の堆肥区では、無堆肥+α区以上の収量が得られ、とくに3年目においてはリン酸吸収量が上回った。このことは土壌還元によるリン酸の可給化に伴い、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、さらに施用した堆肥の有機態リン酸の無機化などにもとづくものであろう。そのほか、古川、川口²⁷⁾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の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考えられる。

ちなみに水稻に対する堆肥の施用効果^{29,112,163)}は、施用当初はほとんどみられないか、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、それには主として窒素的要因が大きいとみられている。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、土壌還元促進の結果であり、生育相からみると分けつ数の増加、または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。

第4節 要 約

暖地の花こう岩質水田土壌における水稻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を取上げ、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、水稻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中のBray第2液可給態リン酸含量と水稻生育の関係をみるに、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は小さい。P₀区のように、可給態リン酸が3mg P₂O₅/100g以下では、水稻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、分けつ数が少なく、収量も常時灌水より劣り、窒素増肥の効果もない。P₁₀区の可給態リン酸が5~6mg/100gの存在のもとでは、長期中干し処理でリン酸吸収が僅かに抑えられ、分けつ数は抑制されるが有効茎歩合が高まり、収量は常時灌水と同等であった。さらにリン酸多施用のP₅₀区においては可給態リン酸は30mg/100g前後で、分けつ数は変わらず、有効茎歩合が高いため、収量が多くなった。なお、この中干し期間の水稻のリン酸吸収量は常時灌水処理を上回った。これらのことから、本土壌では酸化状態

においても水稻はリン酸をよく吸収し、生育に対する影響の少ないことがわかれた。

2) リン酸施肥の多少が中干し期間の窒素吸収に及ぼす影響をみると、葉鞘のリン酸が0.2% P_2O_5 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% 程度では窒素吸収量は抑制されない。

リン酸が靱の澱粉生成に及ぼす影響は、 P_{50} 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_{10} 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、より強く現われた。

3) 湛水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、直播栽培で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第2液可給態リン酸含量は、直播では移植より少なく、ほぼ2価鉄含量と平行した。 $-P$ 区では直播が約 $3 mg P_2O_5 / 100 g$ 、移植で $5 mg / 100 g$ 前後と差がみられ、また、直播処理区間においては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、分けつ数の増加が急激で、とくに3L直播区で著しい。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、分けつ数の増加が早く、3L直播区は $+P$ 区の移植区以上の増加を示した。また、無効分けつになる率も少なく、穂数は $+P$ 区と同等となった。

玄米収量には、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。3L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、直播区と移植区はほとんど同収量であった。しかし7L直播区では $-P$ 区が約13%の減収となり、窒素増施によっても7%劣った。

これらを要するに、本土壌のBray第2液可給態リン酸が $20 \sim 40 mg P_2O_5 / 100 g$ 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3L直播区の場合、可給態リン酸が $3 mg / 100 g$ に低下しても直播の分けつ増加の特性から、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 $3 mg / 100 g$ 程度と判断した。

5) 1930年からの長期継続リン酸試験で堆肥併用無リン区の収量指数は、98と高く維持されているが、現在、その区のBray第2液可給態リン酸は $7 mg P_2O_5 / 100 g$ 前後であり、堆肥併用各リン区の $1/10$ 以下である。一方、無機質肥料無リン区は $4 mg / 100 g$ であり、堆肥併用無リン区が若干高いが、これは堆肥中に含まれるリン酸分によるものと、堆肥施用による土壌還元の発達、有機リンの無機化など、土壌リン酸可給化促進による間接的なものの両面の効果と推定した。

6) ポットを用いた堆肥のリン酸の肥効増進効果に関する試験で、 $+P$ 区では堆肥の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壌還元が進行し、可給態リン酸量も増加した。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、土壌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 $+a$ 区(施用堆肥中のリン酸相当量を施肥)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 $+a$ 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多くなった。他方、土壌の形態別リン酸含量からみると、土壌の全リン酸含量が高い場合や堆肥連用区で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。

第3章 花こう岩質水田におけるリン酸の肥効特性

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³⁷⁾は施肥標準調査のための植木鉢三要素試験の成績を、地質別に土壌を分け、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。また筆者⁶⁹⁾も土壌種類別のリン酸多量施肥の効果は、火山性土壌や洪積土壌にみられ、沖積土壌では効果の少ないことをみた。

一般にリン酸の肥効には、畑土壌の場合はリン酸吸収係数の大小が大きく関与しており、リン酸の肥効を高めるためには、そのリン酸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とおり、リン酸吸収係数がリン酸の肥効に関係しており、吉野¹⁷⁰⁾も水田におけるリン酸施肥量を決定するのに、土壌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¹⁵⁶⁾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、土壌のリン酸吸収係数が水稻に対するリン酸肥効に関する一要因となっているが、水田土壌では水稻の栽培期間中は、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、土壌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壌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、本土壌における水稻に

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いえる。そのため、このような土壌環境が間接的に水稻に対するリン酸肥効にどのように働かかについて、土壌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が異なる土壌を用いて、リン酸の施用量を変え、その効果を明らかにするとともに、土壌リン酸と肥料リン酸の肥効の違いについても検討した。

さらに、花こう岩質土壌の特性として、土壌の鉄含量の少ないことがあげられるが、水田における鉄資材の施用効果は、これまで各県で実施された施肥改善事業¹⁰³⁾や、耕土培養事業⁶⁴⁾、および各場所で行われたこれらの基礎的ならびに応用的試験研究において明らかとなり、多くの成果を収めた。しかし、これらの試験研究では、リン酸要因との関連でとりあげたものは少ない。本実験では鉄の施用が花こう岩質水田土壌の可給態リン酸含量と水稻生育に及ぼす影響について、とくに低リン酸含量の土壌における施用の影響を明らかにしようとした。

第1節 各種水田土壌におけるリン酸化給化量

第1項 試験方法

1) 供試土壌と処理法

花こう岩質土壌に対して、主として鉄およびアルミニウム含量の異なる二・三の土壌のうちから全リン酸含量がほぼ類似したものを選定し用いた。供試土壌の種類とその理化学性は第27表のようである。各々の土壌は風乾後2mmで篩別した後、径1.3cm、長さ11cmの塩基置換容量測定用の濾過管に、あらかじめ蒸留水を入れ、西条土壌10g、大朝土壌9g、庄原土壌およ

び佐賀土壌は各6gを、それぞれの管に徐々に充填し、常時灌水したものを、灌水7日後に下部を開き、落水したものを、落水期間の14日後に再灌水したものを、さらに土壌の還元を最大にするため土壌に対し0.1%グルコースを加用し、

30日間灌水処理したものを設けた。これらはすべて30℃の恒温器に放置し、適宜取り出し、2価鉄およびBray第2液可給態リン酸を定量し、土壌還元程度と可給態リン酸含量との関係を求めた。

第27表 供試土壌の理化学性

土壌の種類	土性	pH (H ₂ O)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	リン酸	遊離	可溶性	CEC (me)	置換性		塩基飽和度 (%)		
						吸収係数	T-P ₂ O ₅ (mg/100g)	Fe ₂ O ₃ (mg/100g)		Al ₂ O ₃ (mg/100g)	Ca (me)		Mg (me)	
西条(花こう岩質)	SL	6.2	0.87	0.11	7.9	314	141.8	836	36.3	11.1	7.49	0.31	7.55	68.0
大朝(黒ボク)	SL	5.5	3.21	0.24	13.4	650	154.9	908	136.5	19.3	3.39	0.42	3.60	18.6
庄原(頁岩質)	LiC	6.1	4.77	0.40	11.9	1,187	146.4	2,096	107.3	36.5	14.87	6.54	23.16	63.5
佐賀(海河成土)	LiC	5.4	1.78	0.18	9.9	990	142.0	2,272	152.8	31.0	9.57	4.95	15.18	48.9

注) 大朝土壌は花こう岩を含む黒ボク沖積土

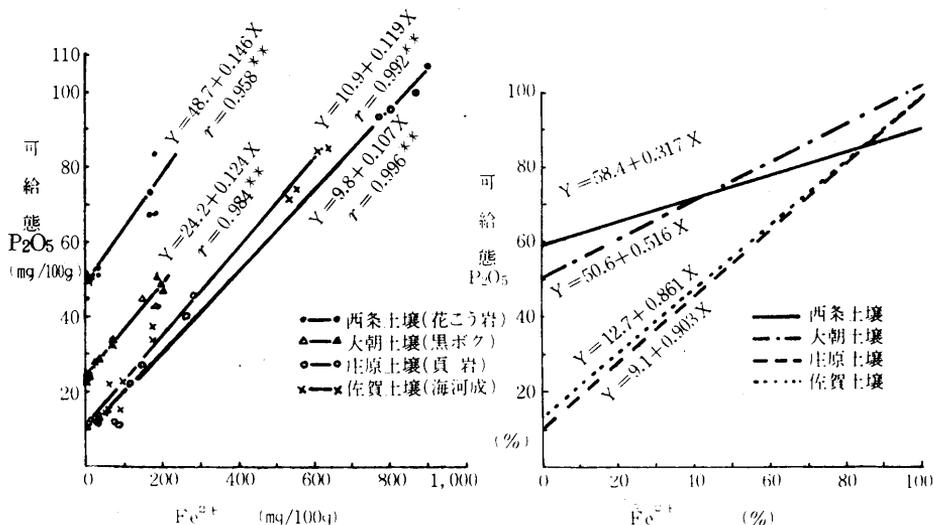
2) 分析法

土壌の遊離酸化鉄は硫化水素による還元法¹²³⁾、可溶性アルミニウムはアルミノン法¹⁴¹⁾、その他は第1章において記載した方法によった。

第2項 試験結果及び考察

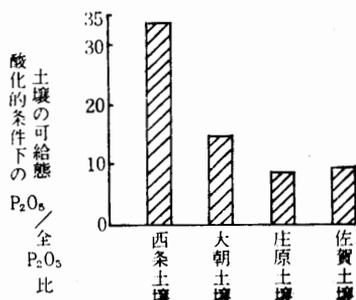
各種土壌の2価鉄生成量と可給態リン酸の関係は、第35図の左のようであり、また、2価鉄および可給態リン酸含量の最大値に対する各抽出値を百分比で表わしたものは、第35図の右のとおりである。左の図の実測値から土壌間

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係がみられた。2価鉄の増加量は庄原土壌が最も多く、西条土壌、大朝土壌では少ない。また、可給態リン酸含量は、庄原土壌や佐賀土壌では13mg P₂O₅/100gから100mg/100gと大きな広がりを示したのに対し、西条土壌と大朝土壌では増加量が少ない。右の図の百分比でみると、庄原土壌、佐賀土壌では、2価鉄含量の少ない条件下で可給態リン酸含量は高く、2価鉄の多い



第35図 土壌のBray第2液可給態リン酸と2価鉄含量の関係

条件で高くなり、2価鉄含量に可給態リン酸含量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は高い。また第36図の土壌の全リン酸含量に対する酸化的条件下の土壌の可給態リン酸含量の割合からみても、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ている。



第36図 全リン酸に対するBray第2液可給態リン酸の占める割合

以上の結果について若干の考察を加える。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る。前者は還元の強度を現わし、後者は還元容量を示すが、Ehの下降と2価鉄含量の増加傾向はよく一致する⁷⁰⁾ので、土壌還元程度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⁶⁾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酸化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た。また山中ら¹⁶⁰⁾によると、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。したがって土壌のグライ化作用は微生物関与の機作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。

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、リン酸吸収係数はあまり高くないが、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、遊離酸化鉄および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日で最大の還元到達し、ここでは山中ら¹⁶⁰⁾のいう、沖積土壌で還元化が早いという傾向はつかみ難かった。一方、湛水による2価鉄生成は浅見⁶⁾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の増加をみた。しかし西条土壌では酸化状態においても、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。すなわち、庄原土壌では10%の2価鉄生成で可給態リン酸含量は20%程度にすぎないが、西条土壌では10%の2価鉄生成で60%以上の可給態リン酸が存在する。一方、黒ボク土からなる大朝土壌では、可溶性アルミニウムが多いため、抽出液のNH₄F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には、活性鉄が支配的と考えられた。

このことから、遊離酸化鉄含量の高い頁岩質土壌あるいは古生層土壌などでは、還元時にはリン酸施肥の必要性が少なくとしても、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い。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2節 塩基置換容量の異なる土壌におけるリン酸の肥効

第1項 試験方法

1) 試験の条件

供試土壌としてCEC小の土壌には、場内水田圃場の凝灰岩を含む花こう岩質沖質砂壤土の

心土を用い、枠当り乾土として150.3kgを生土で充填した。一方、CEC大の土壌には、CEC小の同じ心土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, pH6.8, CEC162.5 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。

第28表 供試土壌の理化学性

土 壌	土性	pH (H ₂ O)	CEC (me)	T-N (mg/100g)	T-P ₂ O ₅ (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

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、リン酸を施肥した跡地土壌を土壌リン酸区として用い、その土壌リン酸とこの年度に施用した施肥リン酸と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行った。

2) 試験区の規模と構成

使用した木枠は1区面積1.08m²(60×180cm)で底にポリエチレンフィルムを敷き、有底とした。初年度の実験ⅠのCECの大小によるリン酸施用量試験の区名および内容は第29表のとおりである。

次年度の実験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、内容は第30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 壌	P ₂ O ₅ 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) P₂O₅は重過リン酸石灰を用い全量基肥施用、N、K₂Oは各区とも0.8-0.3-0.4kg/aの分施とした。

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 壌 P ₂ O ₅ (mg/100g)	P ₂ O ₅ 施 肥 量 (mg/100g)		合 計 (mg/100g)	N (kg/a)	K ₂ O (kg/a)
		土 壌	施 肥			
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

3) 一般栽培の概要

実験Ⅰ リン酸施用量と水稻生育について
水稻品種、サトミノリ、田植6月24日(44日苗、普通移植)栽植密度20×24cm、1株2本植、基肥施肥6月24日、追肥7月10日、穂肥8月5日、収穫10月16日。

実験Ⅱ 土壌リン酸と施肥リン酸の肥効について

品種、田植時期、栽植密度および施肥法は実験Ⅰと同様である。収穫10月20日。

4) 分析法

土壌および作物体の分析は第1章に記載した。

第2項 試験結果及び考察

実験 I リン酸施肥量と水稻の生育について

1) 生育

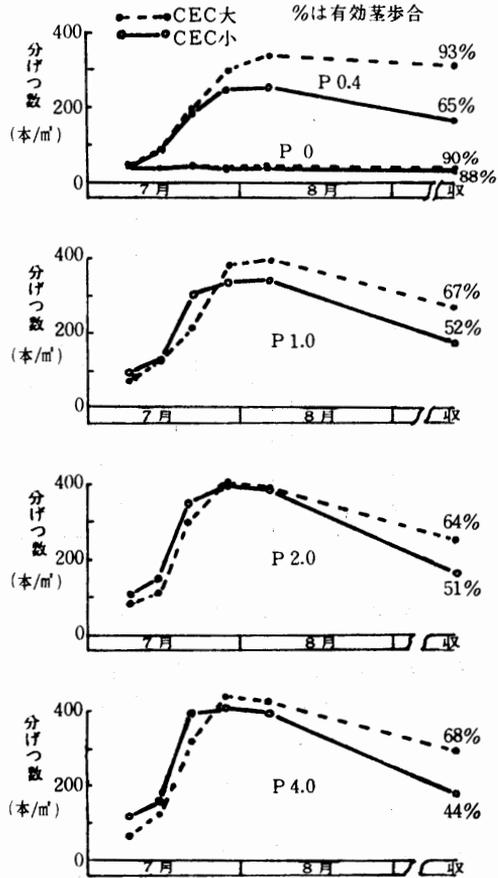
CECの大・小によるリン酸施肥量が、草丈および出穂に及ぼす結果は第31表に、時期別乾物重の推移は第37図のとおりである。P₀区ではCECの大・小にかかわらず、稲体は直立型となり、下位葉身の先端から黄褐色に変わり、リン酸欠乏症を呈し、草丈の伸長が悪く、とくに分けつ数が著しく抑制された。しかし0.4 kg P₂O₅ / a の僅かなリン酸施用 (P_{0.4}区) によって生育は急激に良くなった。

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	7月20日	8月5日				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

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日の幼穂形成期以降はCEC大の土壌がリン酸施肥量の増加とともに旺盛となるが、CEC小の土壌ではリン酸増による効果はみられなかった。出穂期はP_{1.0}区以下のリン酸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⁴³⁾ことはなく、また、温度は出穂始めから出穂終了までの期間の短縮には寄与しない¹³⁹⁾といわれているが、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が少ない。

一方、分けつ数はリン酸施肥量とともに急増し、分けつ数の増加速度はCEC小の土壌がCEC大の土壌より早く、それはP_{1.0}区以上の



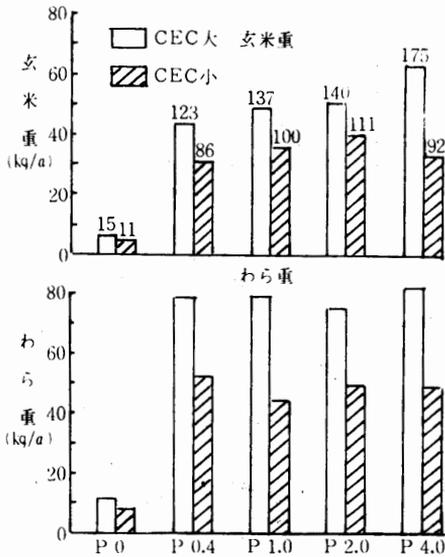
第37図 CECの大小とリン酸施肥量による分けつ数の推移

リン酸増肥でみられた。そしてこれらリン酸増肥によって最高分けつの時期が早まり、有効茎歩合が低下する。とくにCEC小の土壌にその傾向が強く現われた。

2) 収量および収量構成要素

リン酸施肥量に伴う収量の変動は第38図に、収量構成要素は第32表に示した。いずれのリン酸施肥量においても、CEC大の土壌がCEC小の土壌より収量が勝った。リン酸施肥量別でくらべると、わら重はP₀区が最も少ないが、P_{0.4}区とP_{4.0}区の間には差がない。玄米重はCEC大の土壌ではリン酸の施肥量の増加とともに増収するが、CEC小の土壌ではP_{2.0}区が最高となり、P_{4.0}区ではそれより低収となった。

これらの効果を収量構成要素からみると、C

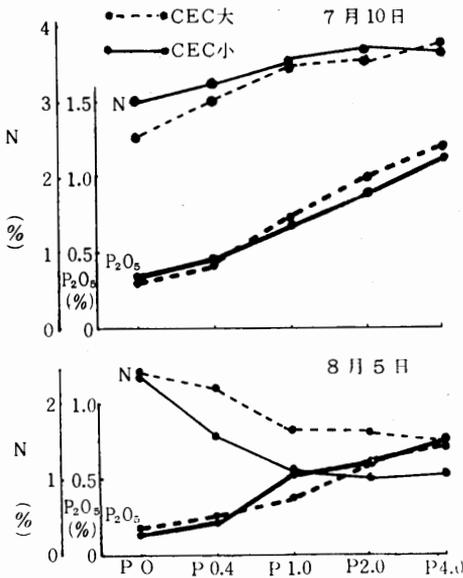


第38図 玄米重およびわら重

CEC大の土壌では、穂数および1穂粒数が増加しており、また粒の充実もリン酸増施とともによくなるが、CEC小の土壌では、リン酸増施で有効茎歩合が低く穂数減となり、その効果が認められなかった。

3) 稲体の養分含量

第39図から、7月10日の稲体のリン酸含有率はリン酸の増肥とともに高まり、また窒素



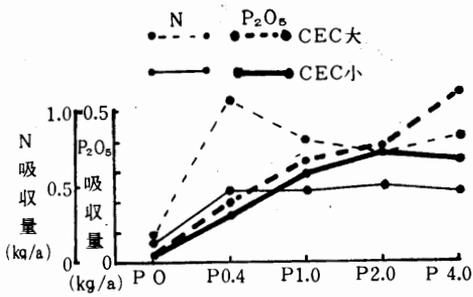
第39図 茎葉の窒素およびリン酸含有率

第32表 収量および収量構成要素

区名	CEC	P量 (kg/a)	玄米重 (kg/a)	穂数 (本/m ²)	主 稈 調 査			総歩合 (%)
					千粒重 (g)	完全粒歩合 (%)	1穂歩合 (%)	
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	

も同様に増加する。この場合、CEC小の土壌では、CEC大の土壌より窒素含量率が高く、リン酸含有率は逆に低い傾向にある。また8月5日における窒素濃度はリン酸増肥区ほど低く、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に基づくと考えられるが、CEC小の土壌では、それと同時にNH₄-Nの土壌吸着量の少ないことから、土壌系外への損失⁷⁷⁾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大のものはCEC小のものより高く、CEC小ではP_{2.0}区で頭打ちとなる。一方、窒素吸収量はP₀区では低く、リン酸施肥区で高まるが、P_{0.4}区とP_{4.0}区の間には差がない。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

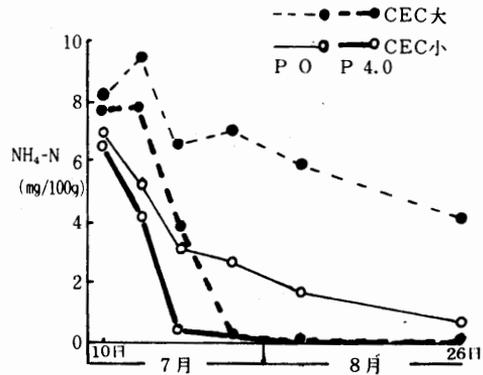
4) 土壤中の可給態リン酸含量とNH₄-N含量

水稻株間中心部の土壤中のBray第2液可給態リン酸含量は第33表のとおりであり、また、同一箇所におけるNH₄-Nの消長は第41図に、土壌溶液のNH₄-N含量は第34表に記載した。

第33表 土壤の可給態リン酸含量の変化

区名	Bray第2液可給態P ₂ O ₅ (mg/100g)					
	CEC P量	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

本土壌は水田下層土を用いたため、有機物含量がきわめて少ないことから、2価鉄の生成が少なく、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、これまで述べてきた水稻生育に及ぼす含量に比べて低い。しかし分けつ数の増加においてP 1.0 区以上は、一般普通田でリン酸が充分に存在している水稻と同程度の生育を示した。このような土壤におけるBray第2液可給態リン酸含量と生育の関係に



第41図 作付土壤のNH₄-Nの消長

第34表 土壤溶液中のNH₄-N含量

区名	NH ₄ -N (mg/土壤溶液100ml)	NH ₄ -N (mg/乾土100g)	
		7月15日	7月20日
大	0	0.2	0.1
	4.0	0.1	tr
小	0	1.1	0.8
	4.0	0.9	tr

注) tr: こん跡

については検討を要するが、本実験の土壤中の可給態リン酸含量は少ないながらも生育との関連は認められた。

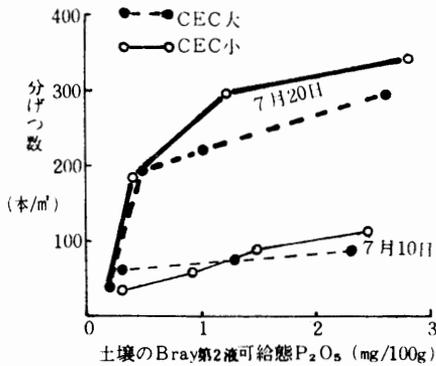
つぎに第41図の置換性NH₄-Nと第34表の土壌溶液のNH₄-Nの関係をみると、CEC小の土壤は生育初期において、置換性NH₄-N含量は低く、土壌溶液のNH₄-N含量が高い。筆者ら¹¹⁸⁾は初期分けつと土壌溶液のNH₄-Nの関係について、土性が異なってもCEC値が同じ場合は分けつ数は変わらないことを認めている。このとき、土壌溶液のNH₄-N濃度はほぼ同じである。一方、CECの異なる土壤では、同一施肥量の場合、CECの小さい土壤は溶液中のNH₄-N濃度が高くなり、分けつ数が増加し、分けつ数を同程度とするには、CECの大きい土壤の施肥量を増し、溶液中のNH₄-N濃度をCECの小さい土壤と等しくする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CECの異な

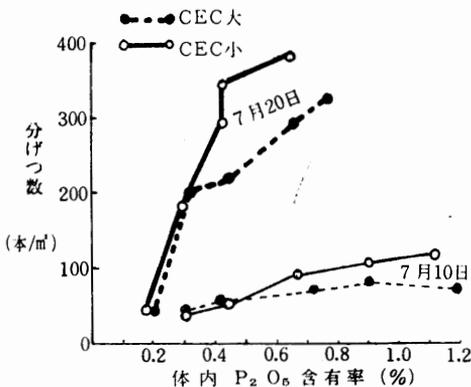
る両土壌は、リン酸吸収係数が類似しており、CEC小の土壌での分けつ数の増大をCEC大の土壌の同一リン酸施肥区と比較してみると、土壌の可給態リン酸含量の違いよりも、土壌溶液の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の影響を強くうけるものと思われた。他方、分けつ末期以降の置換性 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量は、CEC小の土壌が低い。これは前述したように生育初期の吸収増大と、土壌中の窒素の損失が加わる結果と考えられた。

5) CECとリン酸施肥効果

以上の結果に若干の考察を加える。CEC小の土壌で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。すなわち、土壌の可給態リン酸含量と分けつ数の関係は第42図のように、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、分けつ数はCEC小の土壌で多い。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



第42図 土壌の可給態リン酸含量と分けつ数の関係



第43図 水稻のリン酸含有率と分けつ数の関係

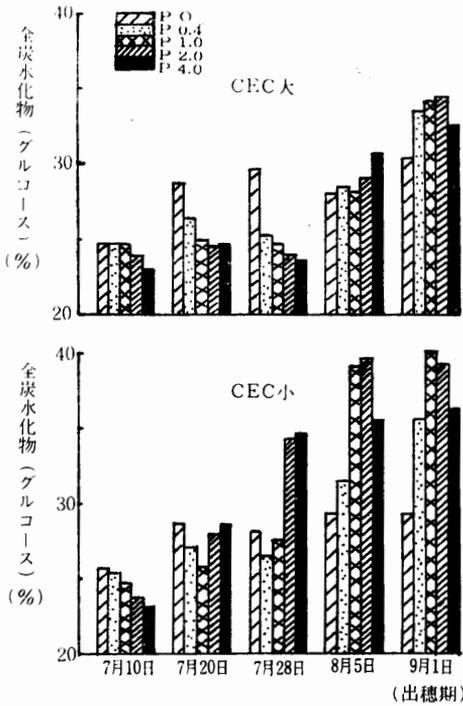
小の土壌がCEC大の土壌より分けつ数は増加する。換言すれば、CEC小の土壌では土壌中のリン酸含量あるいは作物体のリン酸濃度がCEC大の土壌より低くても分けつ数が確保されやすいことを示す。このことは、花こう岩質土壌では低リン酸含量においてもリン酸の肥効が現われにくい一要因と考えられる。

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。しかし、この種の土壌はアンモニア吸着量が小さいので、窒素の損失をまねきやすい。このため、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大の土壌では、これとは逆に、窒素の吸収利用にも無駄がなく、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に対する反応の差異は第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。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・小でみると、CEC小の土壌では7月下旬に、リン酸施肥量の多い区で全炭水化物含量が高い。このことは茎葉の窒素濃度の減少からも明らかで、生育量の増大に伴って全炭水化物含量の増大がみとめられる。リン酸施肥量が著しく少ない区においては、なおリン酸含有率の低いことが蛋白代謝を不活性化し¹⁹⁾、結果的に全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、栄養生長期にはリン酸施肥量の多い区ほど全炭水化物含量が低く、CEC小の土壌と相違した。なお、生殖生長期にはおおむね、リン酸施肥量の多いほど全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⁵³⁾が早く、とくにリン酸施肥量の多い区において顕著であり、このことは茎葉の窒素含量の低下、1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大のものより高く、初期生育が旺盛となるため、リン酸の施肥量はCEC



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

大のものより少なくてよく、また収量に対してCEC小の土壌で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、窒素施用方を重視したうえで、リン酸の肥効をみる必要があると考えられた。

実験Ⅱ 土壌リン酸と施肥リン酸の肥効について

1) 土壌リン酸および施肥リン酸の肥効について

実験Ⅰにおいて、CECの大・小の各土壌に、リン酸の施用量を変えて栽培した跡地の土壌を土壌リン酸区とした。一方、前年度無リン酸区で経過し、1970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第2液可給態リン酸含量ならびにpHは第35表に示した。土壌pHは、CEC大の区がCEC小の区より生育初期に高い傾向がみられるが、本土壌の湛水による2価鉄含量はこの時期では非常に少ない。すなわち、土壌還元が発達が弱く、還元に

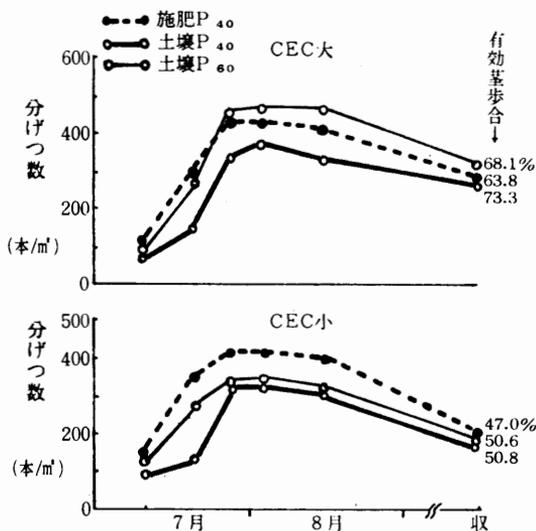
第35表 分けつ期における土壌のpHとBray第2液可給態リン酸含量

区名	項目	7月10日		7月20日	
		pH	可給態 P ₂ O ₅ (mg/100g)	pH	可給態 P ₂ O ₅ (mg/100g)
CEC大	施肥P40	7.2	1.83	7.1	1.50
	土壌P40	7.2	1.02	7.0	1.27
	土壌P60	7.2	2.23	6.9	3.25
CEC小	施肥P40	6.8	1.78	6.7	1.38
	土壌P40	6.8	1.07	6.6	1.10
	土壌P60	6.8	4.26	6.5	3.47

よるpHの変化が小さいことから、このpH差はCEC大の土壌におけるゼオライト添加による緩衝的効果と考えられる。ところで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^{15, 110)}が、本土壌のこの時期のpHは7年後であり、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、分けつ期における土壌のBray第2液可給態リン酸含量についてみるに、全リン酸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区の比較では、後者の含量が低い。この傾向は分けつ期の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違いを生育経過からみると、処理間の差は草丈より分けつ数に強く現われたので、その推移を第45図に示した。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区においては分けつ数の増加が緩慢である。またP60区の分けつ数の増加は土壌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、初期分けつ数は施肥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¹²⁵⁾も生育の初期には施肥リン酸の効果が大きく、土壌リン酸からのBray第2液可給態リン酸量とは必ずしも



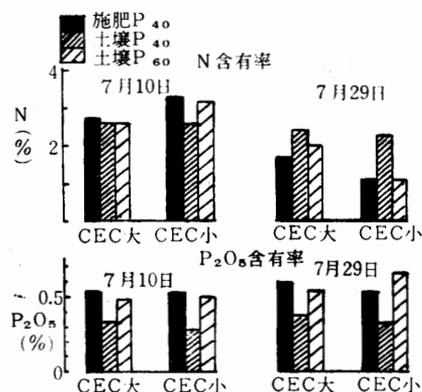
第45図 土壤P区と施肥P区における分げつ数の推移

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、その後の分げつ数は、CEC大の土壤、P₆₀区が8月以降において生育がよくなり、施肥P₄₀区以上の分げつ数となり、かつ有効茎歩合が高くなった。しかしCEC小の土壤では、土壤リン酸の高いP₆₀区に分げつ数をみると、CEC大の土壤にくらべて少ない。これは初期のリン酸不足および実験Ⅰの土壤分析から明らかのように、土壤のNH₄-Nが損失が大きいことと相まって後期の生育を低下させたことによるものである。

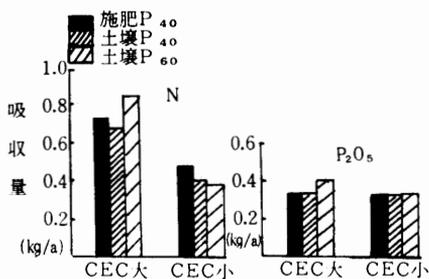
これらの関係を第46図の養分含量からみると、7月10日の分げつ期の窒素およびリン酸含有率は、施肥リン酸区が土壤リン酸区より勝り、とくにCEC小の土壤では溶液中の窒素濃度が高いため、これらの含有率が高い。7月29日の栄養生長末期においては、リン酸含有率は分げつ期と同様の傾向にあるが、窒素は生育量に左右され、生育良好な施肥P₄₀区の含有率が低く、生育の悪い土壤P₄₀区に高い傾向がみられた。

第47図に示した成熟期の窒素およびリン酸吸収量についてみると、CEC大の土壤の窒素吸収量はCEC小の土壤より明らかに高い。このことから、CEC小の土壤での窒素の系外損



第46図 茎葉の窒素、リン酸含有率

失がうかがわれる。また施肥P₄₀区と土壤P₄₀区では前者が高く、土壤P₆₀区との比較ではCEC大の場合は、土壤のNH₄-Nの保持能力が大きい、ため、土壤P₆₀区の生育は、初期において施肥P₄₀区よりもリン酸の制約を受け窒素吸収が劣るが、後半には秋まきりの生育となり、吸収量も高まった。しかしCEC小の土壤では、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大の土壤P₆₀区が高いが、その他の区はほとんど同様な吸収量を示した。



第47図 水稻成熟期の窒素およびリン酸吸収量

3) 水稻収量

収量調査の成績は第36表に示すように、CEC大の土壤はCEC小の土壤より相対的に高収である。CEC大では、施肥P₄₀区と土壤P₄₀区と比較では前者が高く、土壤P₆₀区は施肥P₄₀区より勝った。一方、CEC小の場合は

施肥P₄₀区が高い。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。しかし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が勝った。なお、このことは、わら重においても同様の傾向にあることから、千粒重や完全粒歩合に与える影響は少なく、出穂前の生育、ことに分けつ数との関連が大きいとみられた。

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P ₄₀	90.1	48.5	20.3	95.6	100
	土壌P ₄₀	83.4	43.4	19.7	94.9	89
	土壌P ₆₀	95.5	53.3	19.9	95.1	110
CEC小	施肥P ₄₀	66.5	29.5	21.9	96.6	100
	土壌P ₄₀	59.0	23.4	20.3	93.3	79
	土壌P ₆₀	60.5	24.7	21.8	96.2	84

以上、CECの大・小によるリン酸の効果は実験Iと同様であるが、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のBray第2液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、土壌リン酸が劣る。しかし生育後半においては、CEC大の土壌では、窒素保肥力が大きいことから、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、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、窒素保肥力が小さいことから窒素の損失を多くし、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。

第3節 鉄添加のリン酸肥効に対する影響

第1項 試験方法

1) 試験の条件

圃場枠試験：場内水田Ⅰ-4圃場で、1969年から'71年の3か年、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用い、1972年に処理を行った。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第2章第1節の試験田と同一（第14表参照）である。

ポット試験：1974年に、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。

2) 試験区の内容と栽培概要

圃場枠試験：規模、1区1.36m²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 ₂ O					P ₂ O ₅
	鉄	基肥	追肥	穂肥	基肥	
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, K₂O: 基肥はSO₄塩, 追肥はCl塩
P₂O₅: 重過リン酸石灰, 鉄はFe₂O₃mg/100g

添加鉄剤としては粉末のFe(OH)₃の化学薬品を用い、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、土塊を砕き、15cmの作土によく混合した。

栽培概要はつぎの通りである。水稻品種、サトミノリ、移植6月21日、24×24cm(17.4株/m²)、1株3本植。施肥時期、基肥6月19日、追肥7月3日、穂肥8月1日、収穫10月18日。

ポット試験：a/5000ポットを用い、生育途中の抜取を2連制、成熟期を3連制で行った。品種および区名は圃場試験と同一である。

N, K₂Oの施肥量はポット当り、基肥0.3g,

追肥 0.2 g, 穂肥 0.3 g とした。P₂O₅ は P(+) 区のみ に 基肥 0.7 g を 重過リン酸石灰 で 施用 した。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 は P(+) 区 10 月 14 日, P(-) 区 10 月 21 日 に 行っ た。

3) 分 析 法

植物 体 の 鉄 は 粉 碎 試 料 を 450℃ で, 4 時 間 灰 化 し, 珪 酸 分 離 後 濾 液 に つ い て 原 子 吸 光 法 に よ っ て 測 定 し た。そ の 他 の 成 分 は 第 1 章 に 記 載 し た 方 法 に よ っ た。

第 2 項 試 験 結 果 及 び 考 察

1) 土 壌 中 の Bray 第 2 液 可 給 態 リン 酸 含 量 鉄 添 加 に よ る 土 壌 中 の 可 給 態 リン 酸 含 量 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 は 圃 場 お よ び ポ ッ ト と も P(+) 系 列 が

P(-) 系 列 よ り 高 い こ と は 既 述 の 結 果 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。一 方, 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 で 明 ら か で あ る。

他 方, 可 給 態 リン 酸 含 量 は, 圃 場 の 場 合, P(+) 系 列 が 20~55 mg P₂O₅ / 100 g, ポ ッ ト で は 42~50 mg / 100 g で あ っ た の に 対 し, P(-) 系 列 は 3.4 mg / 100 g 以 下 で あ る。こ れ ら リン 酸 含 量 は こ れ ま で 述 べ て き た よ う に, 水 稻 生 育 に 対 し P(+) 区 で は リン 酸 の 制 約 は 受 け ない 含 量 で あ り, P(-) 区 で は 制 約 を 受 け, 生 育 抑 制 の 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 は, 鉄 添 加 に よ り 可 給 態 リン 酸 含 量 に あ ま り 変 化 が み ら れ ない。他 方, P(+) 区 で 鉄 添 加 土 壌 の 2 価 鉄 含 量 が 低 い 条

第38表 作土のpH, 2価鉄およびBray第2液可給態リン酸含量

(Fe²⁺, P₂O₅mg/100g)

圃 場 (1972年)										
区 名	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					
		リン酸	鉄	pH	Fe ²⁺	可給態 P ₂ O ₅	pH	Fe ²⁺	可給態 P ₂ O ₅	
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	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					
		リン酸	鉄	pH	Fe ²⁺	可給態 P ₂ O ₅	pH	Fe ²⁺	可給態 P ₂ O ₅	
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

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含量の低下がみられた。

このことは、第3章、第1節の試験で示したように、土壌の遊離酸化鉄含量が高い佐賀土壌（海河成沖積土壌）や庄原土壌（頁岩質土壌）では、鉄含量の低い西条土壌（花こう岩質土壌）に比してBray第2液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が、両者はいずれも2価鉄の増加において増加している

ことから、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は、まず、鉄添加による生育差は圃場枠で大きく、添加により生殖生長期以後の生育がよくなり、稈長が長くなった。リン酸施用の効果は草丈よりも分けつ数、穂数によく現われ、また、圃場枠よりポットで明らかな差がみられた。分けつ数、穂数の推移は第39表のとおりである。出穂期はP(-)区で遅れるが、ポット条件の方が遅れが大きい。

第39表 圃場枠およびポットにおける茎(穂)数の変化

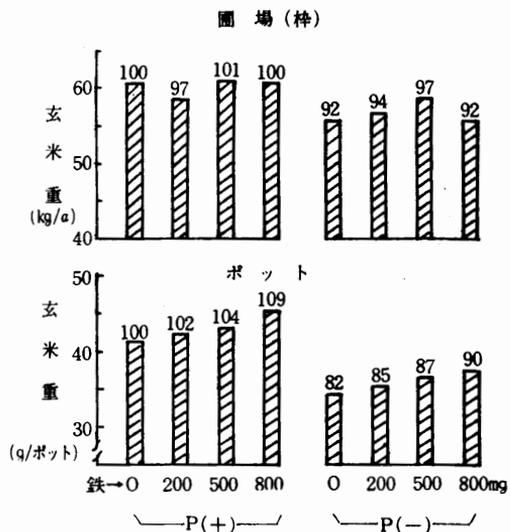
区名	圃場枠 (1972年) (本/㎡)						ポット (1974年) (本/ポット)				
	リン酸	鉄	7月6日	7月14日	7月31日	成熟期 出穂期 (月・日)	7月5日	7月6日	7月31日	成熟期	出穂期 (月・日)
P(+)	0	217	331	400	306	8.25	14.8	42.1	38.7	31.3	8.23
	200	216	346	424	314	8.24	14.4	42.7	36.8	32.0	8.23
	500	199	320	403	337	8.25	15.0	43.0	39.1	32.7	8.23
	800	214	327	409	318	8.25	15.0	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

鉄添加が分けつ数に及ぼす影響は、圃場枠でP(-)鉄800mg区が抑制傾向を示したほかは、添加による影響は意外に少なかった。

籾重、わら重(第40表)および玄米収量(第48図)は、P(+)系列がP(-)系列より高い。鉄添加による影響は、圃場枠のP(-)鉄800mg区の鉄多量施用の場合には、鉄添加が収量に反映しなかったが、それより少ない鉄添加区では、添加による抑制がなく、増収の傾向がみられた。ポットにおいてはいずれの鉄添加も収量増につながった。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含量率は第41表に示した。P(-)区のリン酸含有率は、分けつ期においては約0.3% P₂O₅で、P(+)区の1%



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		ポット							
区名	稲重	わら重	登熟歩合	一穂えい	稲重	わら重	登熟歩合	一穂えい	
リン酸鉄	(kg/a)	(kg/a)	(%)	花数	(g/ポット)	(g/ポット)	(%)	化	数
P(+)	0	75.4	79.0	92.1	87.2	49.7	50.9	89.4	64.3
	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	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		吸収量		吸収量		吸収量	
リン酸鉄	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	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			

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、0.55 kg/a 前後の吸収量となった。一方、ポットでは成熟期のリン酸吸収量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、圃場枠跡地の土壌の理化学性の変化をみた。その結果は第42表に示した。この表から、pHはP(+区、P(-区とも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。一方鉄添加による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ない。また鉄添加量が計算どおりの増加量はもたらさなかったが、鉄200mg、500mg、800mg各添加量の70~90%が遊離酸化鉄の増加となった。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添加区の吸収係数の違いは、100程度となり、あまり大きな差異はみられない。また、P(+系列の区はP(-系列の区より吸収係数が高い。これは全炭素含量からみて、P(+系列の区が腐植含量が高く、腐植は両性電解質であるので、腐植にリン酸イオンが弱く結合したため、吸収係数が高くなったものと考えられる。つきに鉄添加による形態別リン酸含量は、第

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 NH ₄ -N	遊離 Fe ₂ O ₃	リン酸 吸収係 数	
リン酸鉄	(H ₂ 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) NH₄-Nは30°C4週間灌水

43表のとおりである。P(+)区はP(-)区に比べて無機態のリン酸が多いが、有機態リン酸はほぼ同じ含量であり、これについては高盛ら¹⁴²⁾も同様のことをみている。鉄添加によって鉄型リン酸が増大するが、それ以外のリン酸については明らかでない。岡本ら^{106, 107)}は、酸性土壌でリン酸の鉄やアルミニウムによる固定が大きいとし、Yuan¹⁷¹⁾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¹⁰⁾によれば、灌水した酸性土壌では置換性の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可溶化される。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。このことから、本試験におけるP(-)区では、Ca型リン酸は非常に少ないが、鉄添加区においても水稻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るものと考えられる。

5) 鉄添加がリン酸の肥効に及ぼす効果

花こう岩質土壌は一般に遊離酸化鉄含量が少なく、リン酸吸収係数が低いために土壌に固定されるリン酸量も、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第2液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

第43表 水稻作跡の作土の形態別リン酸含量

(mg/100g) (1972年)							
区名	全 P ₂ O ₅	Bray 第2液 P ₂ O ₅	形態別			P ₂ O ₅	
リン酸鉄			Ca型	Al型	Fe型	有機 態	難溶 性
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第2液 P₂O₅は作付時の還元土、その他は風乾土による。

た場合には、リン酸の肥効が劣るのであろうか。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。しかし水稻を作付した灌水期間の土壌のBray第2液可給態リン酸含量は、土壌がごく僅かな酸化の期間においては、鉄含量の高いもので若干低い値を示した。しかし還元が進んだ段階では、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、灌水によって2価鉄含量の増加をもたらすと考えられるが、圃場枠においてはその傾向がみられず、生育後期には鉄含量の多い区で2価鉄の少ない傾向さえみられた。このことは鉄の添加によって土壌が改善され、水稻根による培地の酸化⁷⁹⁾が促がされたためと考えられる。ポットでは鉄添加量の多いほど2価鉄含量は高まるが、これは圃場条件よりも土壌温度が高いことにより還元が発達が大きかったことによるものと思われる。

このような鉄添加のリン酸の肥効への影響に関して、とくにP(-)系列に注目したが、鉄の添加が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。

水稻のリン酸吸収についてみると、圃場枠で

は初期の酸化条件のもとで、鉄添加の多い区に僅かに低下がみられた。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P(-)区においても収量が上った。

また、第4表にみられるように、鉄の添加量を増しても水稻の鉄含量は増加しない。この鉄添加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の増加につながったものと考えられる。

第44表 水稻の鉄含量 (Feng/100g)

区名	上位3葉		
	リン酸鉄	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⁸¹⁾は暖地水稻のリン酸濃度を調節するために、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P₂O₅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¹⁵²⁾。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⁴⁹⁾は佐賀の海河成沖積水田において、直播水稻が移植水稻よりリン酸吸収率の低いことをみている。しかし佐賀土壌には第3章、第1節で示したように、遊離酸化鉄が2.27%Fe₂O₃もあり、酸化還元によってBray第2液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稻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いては、鉄の添加によって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、水稻の生育およびリン酸吸

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を鉄によって抑制し、過剰分げつに至らさない調節の効果はなく、また、P(-)区においても鉄によるリン酸の吸収抑制の現象は認められない。したがって、本土壌における鉄添加による増収効果はリン酸吸収の調節よりも、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%Fe₂O₃から1.6%に増加させたとしても、移植水稻に対するリン酸の肥効に悪影響はなく、かえって根の環境をよくする効果が認められた。

第4節 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状態から湛水状態へ切替えた場合のリン酸の可給化の様相を調べた。また、土壌の塩基置換容量の小さいことと水稻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、ならびに水稻に対するリン酸の肥効に及ぼす影響について検討し、次の結果を得た。

1) 全リン酸含量が同程度の4種類の水田土壌を用い、インキュベーションにより、畑状態から湛水状態への切替えによるBray第2液可給態リン酸含量の変化を測定したところ、佐賀土壌(海河成沖積土)や庄原土壌(頁岩土壌)では、畑状態での可給態リン酸が10mg P₂O₅/100g程度であるが、還元化とともに増大し、82~107mg/100gとなった。大朝土壌(花こう岩を含む黒ボク土)では畑状態で25mg/100gから還元状態で50mg/100gとなり、全リン酸155mg/100gに対する可給化量は低い。こ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、畑状態で50mg/100gが還元状態では84mg/100gとなり、酸化状態においても可給態リン酸含量が高い。そのため水稻は乾田直播のような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) これら土壌のうち、遊離酸化鉄含量は大朝土壌、西条土壌において低い。還元による2価鉄の最大生成量は遊離酸化鉄含量と関係し、また土壌還元によるBray第2液可給態リン酸の増加は2価鉄の増大と深い関係にあった。

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、リン酸施肥量を変え、水稻に対するリン酸の肥効をみたところ、初期生育はリン酸施肥量に左右されるが、CEC小の土壌では低リン酸レベルにおいても分けつ数が多くなった。また、水稻のリン酸含有率がCEC大の土壌と等しい条件では、CEC小の土壌で分けつ数が多くなった。すなわち、土壌および稲体のリン酸が一定の条件では、CEC小の土壌での生育が勝る。これは、移動性窒素、とくに土壌溶液の窒素濃度が高く、窒素が水稻に利用されやすいことがリン酸の吸収を助長したためと考えられた。

4) 収量は、CEC大の区がCEC小の区より高く、CEC大の区はリン酸増肥に伴って増収したが、CEC小の区は土壌溶液の窒素濃度が高いため、初期生育がリン酸多施用区で旺盛となった。しかし生育後半は養分、とくに窒素の持続性が失われたため収量が低下した。このことから花こう岩質土壌では、リン酸の利用度が高く、CEC大の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、窒素吸収との関連で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大の区において、施肥P₄₀区と土壌P₆₀区の比較では、土壌P₆₀区が初期生育は劣ったが、その後の生育は良好となった。しかしCEC小の区では、土壌P₆₀区が施肥P₄₀区より低収となった。土壌P₆₀区で低収になったのは、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、その後リン酸が可給化されても窒素保持力の弱い土壌のため、多くの施肥窒素が系外へ失われたことによると推察された。

6) 水酸化第二鉄を200~800mg Fe₂O₃ / 100g 添加した場合の土壌の遊離酸化鉄は1.1~1.6% Fe₂O₃ に増加したが、リン酸吸収係数は僅かに増大する程度であった。また、鉄添加によるBray第2液可給態リン酸含量の変化は少なく、水稻のリン酸吸収および生育に対する抑制作用はみられなかった。

7) 土壌への鉄添加によって後期の生育がよくなり、収量が増加した。これがとくに圃場よりポットにおいて顕著に現われたことから、ポットの土壌温度の-highいことが土壌還元を促進しリン酸の肥効を高めたこと、および鉄添加が生育後期の根の活性維持に役立ったためと考えられた。

第4章 リン酸の育苗期投与および窒素追肥 がリン酸の肥効に及ぼす影響

ま え が き

養分供給と水稻の生育反応については、すでに1980年代に春日井⁶⁰⁾や石塚⁵¹⁾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、収量の関係が明らかにされ、水稻に対する養分供給の基礎が樹立された。ついで木村⁶³⁾や高橋¹³⁸⁾岡島¹⁰⁹⁾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、本谷ら⁴⁵⁾は水稻の生産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しており、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な関係にある無機成分であるとし、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た。すなわち、それらの供給法から、水

稲の生育型を4つに区分し、期待する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で、群落としても茎葉の繁茂度が異なる条件にはそのまま適用できず、また本土壌は花こう岩質で腐植含量や塩基含量などが乏しいことから、このような地帯の水田におけるリン酸施肥体系の資料をうるには、その場所でリン酸と窒素の施肥法を検討することが重要と考える。

さて、これまで述べてきた本研究において、生育および体内組成からみたリン酸区と無リン酸区の大きな差異についてみると、リン酸区は初期分げつ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にあり、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してきた。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、土壌中のリン酸含量が低い場合にも、水稻の分げつ数増加が容易であることを明らかにした。本実験では、これら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、水稻の生産量を向上しう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、育苗期におけるリン酸および窒素の施肥法を変え、体内リン酸および窒素濃度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、リン酸区は無リン酸区より茎葉の窒素濃度が早く低下し、無効分げつ数が多くなるため、窒素追肥による分げつ数の維持をはかり、また水管理を組み入れ、土壌環境を改善してリン酸施肥による生産能をあげようと試みた。

第1節 苗のリン酸量の差異が本田での生育に及ぼす影響

第1項 試験方法

本試験は1969年に実施した。

1) 苗代

供試土壌には農試場内圃場の花こう岩質沖積水田心土を用いた。その理化学性は土性SL、全炭素0.33%、全窒素0.04%、全リン酸37mg P₂O₅/100g、CEC5.9meである。土壌は5.8×3.5cm、深さ10cmの木枠ポリエチレンフィルム張りの容器に、乾土換算10.8kgを生土で充填した。リン酸施肥量は0、15、100mg P₂O₅/100g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、リン酸に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。使用肥料には塩化物を用いた。ほかに水酸化マグネシウムを10mg MgO/100gの割合で全区に施肥した。

供試水稻品種は中生新千本、播種5月14日、109ml/m²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土壌、土性は壤土、全炭素1.41%、全窒素0.12%、全リン酸65mg P₂O₅/100g(湛水土)、CEC7.7meである。

植付けの条件は、60m²の地力均一な圃場に6月25日、前記の窒素、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3本植とし、1区2.5m²44株を移植した。

移植苗は、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N、K₂O各1.0kg/a、P₂O₅0.7kg/aとした。

3) 分析法

第1章に記載したとおりである。

第2項 試験結果及び考察

1) 苗代における結果

発芽は順調であったが、リン酸多量区は2葉期にいたり、葉色がうすらき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15ppm Fe 1ℓを塩化鉄溶液で施用した。その後はこの褐変現象はみられなくなり、

窒素、リン酸施用による差が明らかとなった。苗の生育はリン酸および窒素施肥量の多いもの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成分は第45表に示した。この表から水稻生育に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、とくに分けつ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が低下した。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な含有率を示した。すなわち、苗のリン酸含有率が0.49%、以下であれば窒素施用増によってリン酸含有率の低下を招く。苗のリン酸含有率が0.7%以上の場合は窒素施用増によるリン酸含有率の低下はおこらないことを認めた。

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 苗床施肥	草丈 (cm)	分けつ数 (本/個体)	葉令	10個体(乾)		苗の成分			
				茎葉重 (g)	根重 (g)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	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

一方、全炭水化物含量は、N多よりN少で高く、一般にみられる傾向と変わらないが、リン酸施肥との関係では、N中の場合にはリン酸多施用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多の場合にはリン酸施肥増の効果がより大きく現われ、生育量は旺盛となったが、全炭水化物含量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。

つぎに、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含量は第46表のとおりである。リン酸0区はこれまでの結果から、水稻

がリン酸欠乏症をおこすリン酸含量であり、リン酸15区の土壌は欠乏を生じない程度の低含

第46表 土壌のBray第2液可給態リン酸含量(苗抜取時)

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

量であり、またリン酸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

苗床より抜取った42日苗は、根を水洗した

後、根元0.5cmを残して断根し、本田に移植して発根量を調査した。その結果は第47表、第49図のようである。移植4日後および6日後の発根には、培地養分の影響は少なく、発根量の差は生体の大きさと体内成分の違いによるところが大きいとみてよい。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少段階で茎

葉の窒素が1.6%以下では、リン酸施肥量を増しても発根量は低リン酸区と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0.49%、以下では窒素増肥の効果がなく、かえって発根力は下がる。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能においても認められた。なお、これらの関係は、移

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	リン酸	発根量							
		移植4日後				移植6日後			
		根長 (cm)	根数 (本)	根重 (生g)	発根能*	根長 (cm)	根数 (本)	根重 (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)

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Hoagland⁴⁰⁾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。

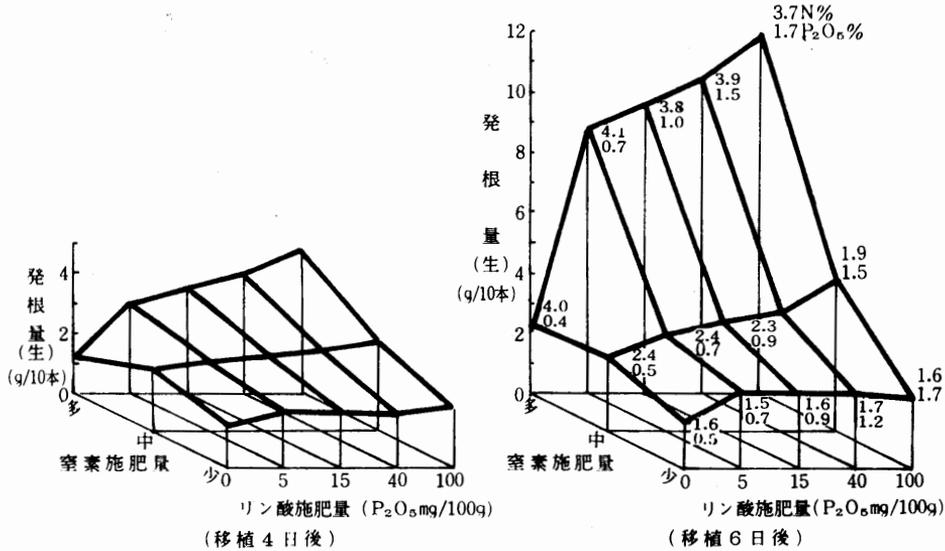
(2) 本田における生育収量および養分吸収

生育、収量ならびに養分吸収の結果は第48表に示した。本田における生育は発根力と関係が深く、生育初期ほどその傾向が強い。すなわち、リン酸含量の多い苗ほど初期生育が旺盛で、とくにN多リン酸増肥苗はその効果が明らかで、リン酸少肥苗より草丈、分けつ数が後期まで勝った。しかしこれらの増肥区は稈が細くなり、分けつ数、穂数増加の割には乾物重の増加が伴わず、また有効茎歩合が低下した。1本植と3

本植では上記の関係は同様の傾向にあるが、3本植は分けつ数、穂数が多く、とくにN多リン酸多量苗は長稈で稈が細くなり、登熟期には半ば倒伏した。

収量についてみると、無リン酸苗ではわら重、玄米重とも催かに低下する。リン酸増肥区では穂数増にはなるが、登熟歩合の低下から増収にはいたらなかった。

稲体の窒素およびリン酸含有率についてみるに、分け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。しかし吸収量はおおむね高リン酸苗が高い。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



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P₂O₅ %を示す。

第48表 本田における生育, 収量および養分収量

区名	7月16日		成熟期	わら重	精玄米重	精玄米	1	穂	登熟歩合	7月16日	7月16日	成熟期	成熟期
	苗床施肥	茎数								分けつ数	基葉		
	窒素	リン酸	(本/m ²)	(本/m ²)	(kg/a)	(kg/a)	収量比	えい花数	(%)	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	N
1	N少	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	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	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	N少	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	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	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

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中の高リン酸苗と低リン酸苗ではほとんど変わらない。しかしN多の場合には高リン酸苗の吸収が多い傾向にあった。

3) 苗の組成と生育収量について

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。苗のリン酸含有率は0.39% P_2O_5 から1.47%、窒素含有率は1.48%から4.08%の範囲となり、一応希望するものが得られた。一般に分げつ期茎葉のリン酸含有率は、リン酸増肥によっても1% P_2O_5 前後であり、増肥によっても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_2O_5 まで増加したことから、幼苗の場合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⁴³⁾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_2O_5 前後であり、窒素は2.5%前後である。窒素が2.5%以上存在すればリン酸は0.39%以上から分げつ増加に役立つことを明らかにしている。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分げつ数の増加はごく僅かである。しかしN多では窒素含有率は3.6%以上となり、リン酸増肥による分げつ数増加の効果がみられた。一方、リン酸含有率はN多無リン酸区で最も低下することから、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、体組成からみると、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⁴³⁾が、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、全炭水化物含量の少ない軟弱な苗となる。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ように、この時期のリン酸は窒素の存在において、一層蛋白質代謝を盛んにする⁴³⁾ために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も、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。このことから苗の望ましい組成は、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と考えられる。これについて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_2O_5 1.7%前後、N 3.0%前後のもの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⁴³⁾。

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大きく、その素質が収量に大きく反映する⁴³⁾。しかしながら暖地の本実験においては、苗のリン酸含有率の高いことがそれほど本田の生育に長く影響しない。すなわちN少およびN多の条件では移植後約20日で茎葉のリン酸含量ならびに生育量は同じになり本田の養分吸収に左右された。N多リン酸増肥の場合は、初期生育に最も効果がみられ分げつ数が多くなるが稈が細く、1穂粒数が減少し登熟歩合が低下した。このため初期生育の促進が収量に結びつかなかった。一方、苗のリン酸が0.5% P_2O_5 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る。さらに苗のリン酸含有率が0.5~0.7%では分げつ増加は若干遅れるが収量は大差なく、リン酸が0.7%以上では収量への影響が少ない。このことから、暖地においては、玄米収量60kg/a程度を得るためには、とくに苗のリン酸含有率を高くする必要はないと考えられた。

第2節 窒素の施肥法によるリン酸の肥効の変動

第1項 試験方法

1) 試験の条件

供試水田は農試Ⅱ-4圃場、土壌は凝灰岩を含む花この岩湖成沖積、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をリン酸施肥区として継続し、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 12.5㎡, 試験区名と窒素分施肥は第50表に示した。無リン酸区 (P(-)区) はリン酸無施肥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(+)) は毎作リン酸を施肥し, 本実験においては, 両年ともリン酸

1.5kg P₂O₅/a を全量基肥施用した。

窒素施用については, 1970年は中間追肥 (2回) および穂肥の有無によって生育後期の窒素濃度を変えてリン酸の肥効をみた。1971年は生育後期の窒素施用の有無に, 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

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 ₂ O)	T-C (%)	T-N (%)	T-P ₂ O ₅ (mg/100g)	風乾土湛水 NH ₄ -N (mg/100g)	遊離 Fe ₂ O ₃ (%)	吸収係数 N P ₂ O ₅	CEC (me)
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 NH₄-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)			
		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	水管理	名	Nの分施 (kg/a)			
			基肥	中間1	中間2	穂肥
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

8) 一般栽培の概要

水稻品種としては両年ともサトミノリ。植付様式 24×24 cm (17.4 株/㎡), 1株3本植とし, 1970年は6月19日移植, 10月15日刈取り, 1971年は6月17日移植, 10月14日に刈り取った。

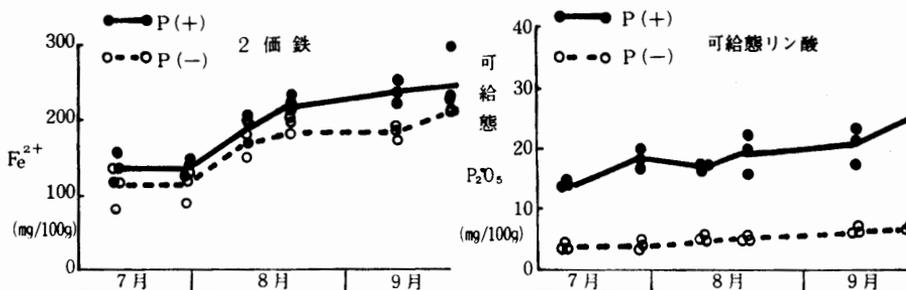
4) 分析法および土壌水分の測定

分析法は第1章に記載した。土壌水分はポラスカップを土中に埋設し, テンションメータで毎日10時に測定し, pF値をもとめた。

第2項 試験結果及び考察

1) 土壌中の2価鉄, 可給態リン酸含量ならびに中干し期間の土壌水分。

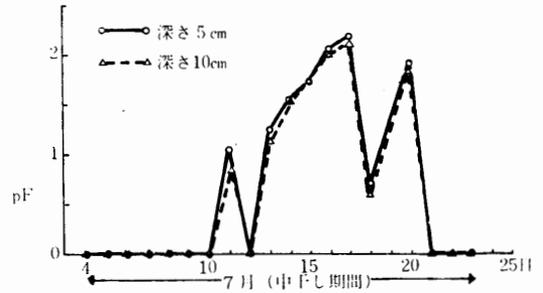
作付期間におけるBray第2液可給態リン酸含量は, P(-)区では両年とも3~7mg P₂O₅/100gであり, P(+))区では, 1970年は15~35mg/100g, 1971年は15~40mg/100gであった。これら可給態リン酸含量は2価鉄の増加とともに高く



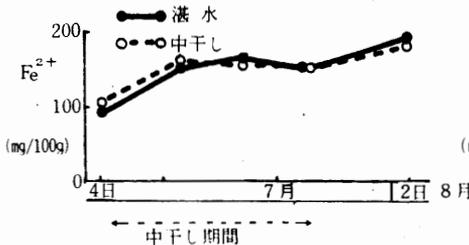
第50図 土壌の2価鉄およびBray第2液可給態リン酸含量 (1970年)

なり、またP(+)区ではP(-)区より増加し、より一層土壌還元が進んだことを示した。(第50図)。同期間内における土壌pHは湛水期には6.2前後を示し、その後、土壌の還元化とともに高くなり、おおむね6.9~7.0となった。

つぎに、1971年、中干し処理による土壌の変化は、処理開始1週間で田面に亀裂ができ、中干しの中期から後期にかけては、1.0~1.5 cmの大亀裂が株間に沿って生じた。しかしながら、pFの推移は第51図のように、pF 1.5以上が



第51図 中干し期間のpFの推移



第52図 水管理による土壌2価鉄およびBray第2液可給態リン酸含量(P(-)区)(1971年)

第51表 作土の深さ別2価鉄とBray第2液可給態リン酸含量(採土、7月21日)

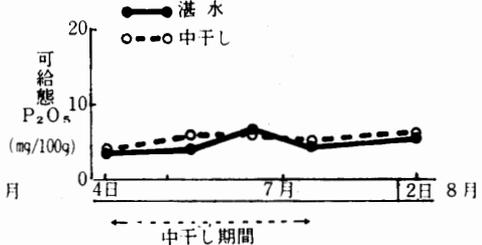
作土の深さ (cm)	Fe ²⁺ (mg/100g)	可給態 P ₂ O ₅ (mg/100g)
0~2	48	24.3
2~6	117	23.4
6~10	164	25.2
10~14	137	22.2

第52表 作付場所による作土の2価鉄とBray第2液可給態リン酸含量(採土、7月23日)

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

4~5日程度となり、大亀裂ができた割には土壌水分は高く経過した。深さ5cmと10cmでは大差がない。

このような中干し条件における土壌2価鉄および可給態リン酸含量の変化を湛水処理と比較した結果は第52図のようである。中干し区は亀裂外の場所から採土し分析試料とした。粘土質グライ土の本土壌では第51図に示すように土壌水分の低下に際しても、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い。



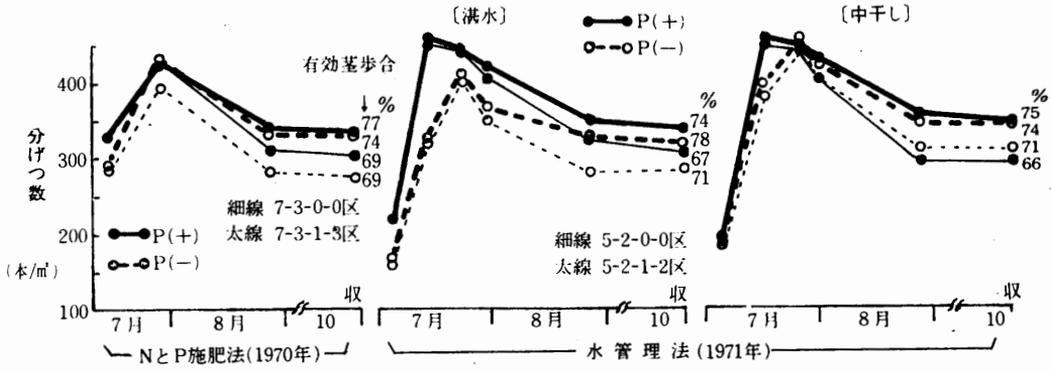
この傾向はP(+)区についても同様であり、また第51表および第52表に示すように、土層の深さや株からの距離を違えて採土したが、2価鉄の異なる場所においても可給態リン酸含量においては大差がない。このことは第3章、第1節において、花こう岩質土壌は他の土壌より酸化と還元の変化に対する可給態リン酸含量の変動が小さく、酸化的条件においても可給化量が概して多いことを述べたが、圃場試験においても同様なことが指摘される。

2) 水稻生育と窒素およびリン酸含有率

1970年における水稻生育をみるに、圃場観察では、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、リン酸欠乏症状を呈した。しかし7月末には欠乏症状は消失した。

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については前年度と同様であったが、生育期好天であったため、初期生育が良好で、総体に株当りの分けつ数が多かった。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と窒素施肥法を変えた場合の分けつ数の変化は第53図に示



第53図 分げつ数の推移

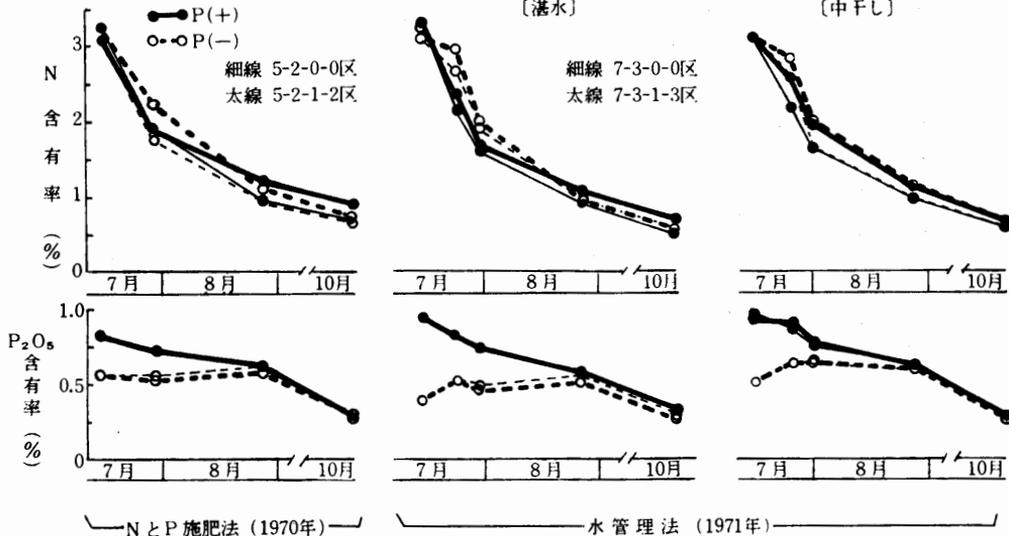
した。まず、1970年は、基肥窒素 0.7kg/a の施肥区について図示したが、P(-)区では、後期窒素追肥なし(7-3-0-0区)の場合には最高分げつ数が劣ること。また追肥なしによってP(-)区、P(+)区とも無効分げつ数が多くなるが、後期窒素追肥(7-3-1-3区)によって有効茎歩合が増加している。

図示しなかった基肥 0.3kg/a の施肥区についても同様な傾向がみられたが、分げつ数が少なく有効茎歩合が高まった。

1971年では、7月中・下旬の生育調査回数を増し、各区の最高分げつ期をとらえ、分げつ数の推移をみた(第53図)。この図から、湛水処理および中干し処理ともP(+)区はP(-)区より分げつ速度が早く、最高分げつ数に達する時期

も早い。これらについては第1章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(-)区に分げつ数の変化をみると、湛水処理の場合は窒素施肥法が同一であるとP(+)区がP(-)区より分げつ数、穂数が多い。有効茎歩合は後期窒素追肥によって両区とも増加するが、おおむねP(-)区の方が高くなる。この場合、とくにP(+)の分げつ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い。

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分げつ数増加および後期窒素追肥の有無による分げつ数の消長は、湛水処理と同様の傾向にある。しかしこの場合、中干し処理P(+)区の後期窒素追肥による有効茎歩合の

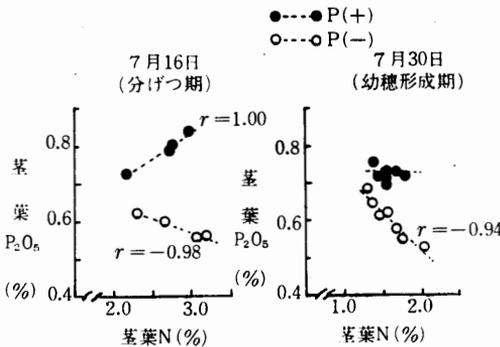


第54図 茎葉の窒素およびリン酸含有率の推移

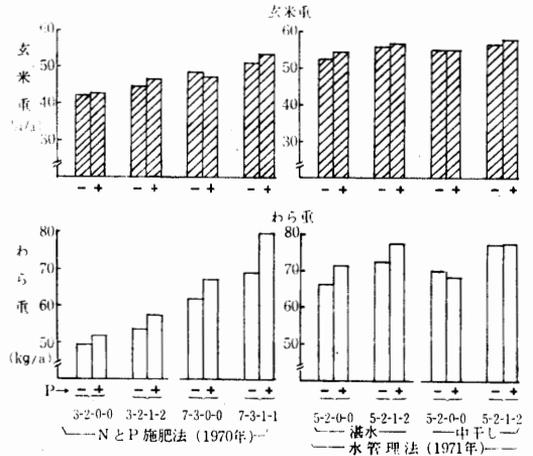
増加はP(-)区のそれよりも高い。すなわち、P(+)-区の有効茎歩合は6.6%から7.5%になったのに対し、P(-)区では7.1%が7.4%となりP(+)-区が勝る。このことは弱い中干しによる根圏土壌の改善が窒素供給の持続性とあいまって、根の健全維持¹³⁸⁾に役立ったことによるものと推論される。

これら処理区の窒素およびリン酸含有率の消長については第54図に示した。両年に共通した傾向は、窒素含有率がP(-)区では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る。これら窒素濃度は有効茎歩合と相関が高く、窒素濃度の高いほど有効茎歩合が高まる。また、中干し処理効果としてP(+)-区では、中干し期間の茎葉の窒素含有率はその期間湛水処理の場合の含有率より高く経過している。これについてはすでに明らかにしたが¹¹⁸⁾、このことが有効茎歩合を高めた原因と考えられる。

稲体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% P₂O₅ 以下であり、窒素含有率は正常水稻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、茎葉のリン酸と窒素含有率の関係をみると、第55図に示したように、P(-)区は分けつ期および幼穂形成期においては、窒素含有率の増大はリン酸含有率の低下を招く。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、幼穂形成期には窒素含有率が増大しても、リン酸含有



第55図 茎葉の窒素とリン酸含有率の関係 (1970年)



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

率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年と1971年の両年における収量を第56図に、また、その分解調査成績は第58表に示した。1970年の結果についてみるに、窒素基肥量の多いもの、および後期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(-)区より低収となっ

第58表 水稻の収量分解調査

区	名	穂数 (本/m ²)	1穂 粒数	有効茎 歩合 (%)	玄米 収量比 (%)		
						窒素	リン酸
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	
		(-)	322	96.3	74.0	105	
		(+)	327	98.3	77.0	110	
	1971年	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

た。しかし後期追肥によってP(+)区が優るようになった。すなわち、P(+)区で後期窒素追肥なしが低収となったのは、有効茎歩合および1穂粒数の低下によるところが大きい。後期窒素追肥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る。一方、基肥窒素の少ない0.3kg/a区では、玄米収量は後期窒素追肥なしによってもP(+)区がP(-)区より高い。このことは分けつ数の推移で述べたように、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年の水管理を加えた結果では、同一施肥量の場合は、中干し処理が湛水処理より玄米収量において優った。また後期窒素追肥の効果は両処理ともみられた。リン酸との関係では後期追肥によって湛水P(-)区では収量指数が100から106に上がり、P(+)区では103から108、また中干しP(-)区で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。

これまで推定していたリン酸施肥区での初期生育の促進、後期凋落による影響を改善するた

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 ₂ O ₅	SiO ₂	
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	5-2-0-0	(-)	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

めの後期窒素追肥の効果は、P(+)区でより効果的であった。しかし、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をP(-)区と対比するとき、せいぜい3%程度であり、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におけるこれら吸収量との関係は第54表に示した。窒素について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、中干し処理によって高まる傾向がみられる。一般には中干しは窒素の吸収低下を示す場合が多いが¹¹⁸⁾、この場合は弱い中干しであるため、増加したものと考えられる。

一方、P(+)区でP(-)区より窒素吸収量が増加することは第2章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る。収量には窒素吸収量とともに吸収のパターンが問題となるといえよう。

リン酸吸収量は窒素施肥量の多い場合、また、後期窒素追肥の場合に増加している。なお、珪酸の吸収量はP(+)区でP(-)区より低下する傾向がみられた。

4) 窒素追肥および中干しによるリン酸施肥効果について

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水田土壌においては、水稻は初期生育が促進されるため、後記に凋落しやすく、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に窒素の施用法、とくに後期窒素追肥により無効分けつを抑え、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分けつは抑えられ、1穂粒数が増加した。また、長期の弱い中干し処理は強い中干し¹¹⁸⁾と異って、土壌2価鉄の変化が少ない。また、たとえ2価鉄の含量が少なくなっても、Bray第2液可給態リン酸含量には大差がない。このことは水稻のリン酸吸収量が低下していないこ

とからもうかがわれた。この中干し処理は、根の健全化⁷¹⁾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玄米収量は明らかに増加した。

しかしながら、他方、P(-)区についてみると、Bray第2液可給態リン酸は3~7mgP₂O₅/100g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、初期の分けつ数が少ない。このような水稻においても、中・後期のリン酸吸収の増大から生育は回復する。この場合、リン酸不足の水稻は、初期分けつ数が少なく、有効茎歩合がすでに高いこと、窒素追肥によってさらにリン酸含有率が低下することなどから、後期追肥による効果は期待できないと思われたが、有効茎歩合がさらに高まり、穂数が増加し収量が増大した。

本谷ら⁴⁵⁾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る。とくに一般沖積水田でこの生育型となりやすい。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条件のもと、あるいは後述するように、暖地では寒冷地より乾物の増加速度は早い、分けつ数が少なく、有効茎歩合が高い。このことから、窒素追肥による分けつ数維持効果は認め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による収量差は、それらの処理をしない場合のP(+)区とP(-)区の収量差よりも大きくあらわれ、一応予期した成果が得られたが、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。

第3節 要 約

花こう岩質水田においては、リン酸が吸収されやすいため初期生育が旺盛となるが、後期に凋落的となり、収量増に結びつかない場合が多い。そこでリン酸の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について検討し、つぎの結果を得た。

1) 苗代における生育は、窒素およびリン酸施肥量によって大きく異った。すなわち、42日苗では、茎葉の窒素含有率が1.6%N以下ではリン酸を増肥しても生育が進まず、また、リン酸含有率が0.49%P₂O₅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、茎葉のリン酸含有率はリン酸増肥により1.74%P₂O₅と著しく増加することを認めた。

2) 苗の窒素含有率が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%P₂O₅以下では、窒素含有率をあげた苗はかえって発根数は低下した。しかし、苗のリン酸および窒素含有率がそれ以上の場合は、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、外観的に健苗と思われたが、窒素多・リン酸多(N3.69%、P₂O₅1.74%)苗の方が発根量が増大した。

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、リン酸の効果も収量には現われなかった。

窒素多苗ではリン酸含有率の高い苗ほど移植後の分けつ数が多く、穂数においても勝ったが、稈が細く、1穂粒数が減少し、窒素およびリン酸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、生育初期にリン酸欠乏症のみられる無リン酸区についてみると、窒素施肥ならびに長期の弱い中干しによる玄米収量への効果は無リン酸区よりリン酸区でやや高い。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

点の場合は無効分げつ数が増加し、1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。これらのことから、収量に対するリン酸区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%程度と考えられる。

5) 以上、苗のリン酸含量が高く、分げつ数、

穂数が増大しても収量増には結びつかない。また、後期の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みられない。このことから、本土壌のリン酸可給化能の大きいことが高温とともに、後期の生育差をなくし、改善処理によって玄米収量は60 kg/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かった。

第5章 気象条件が水稻に対するリン酸の肥効に及ぼす影響

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は低下しがたい。これについては、花こう岩質土壌と水稻の生育から、土壌特性を明らかにしてきた。

すなわち、土壌的には酸化状態においても可給態リン酸含量が多いこと、塩基置換容量の小さいことが、水稻の窒素吸収を促進し、間接的にリン酸の吸収を増加させること、また、堆肥施用によってCa型リン酸の割合が高まりリン酸吸収が容易になることなどから水稻生育が旺盛となる。一方、低リン酸含量土壌においては、有効茎歩合が高く、生育が秋優りとなることから、高リン酸含量土壌との収量差がなくなることにについて解明した。

本章では水稻に対するリン酸の効果の現われにくい要因として、さらに本地帯の温暖な気象との関係を明らかにしようとした。

高橋¹³⁹⁾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で大きい、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としている。石塚ら⁵⁶⁾田中¹⁴³⁾によれば、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では、初期生育促進のための基肥の必要性が大きいことを論じている。

また、農林省の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^{166, 167)}、村山ら⁹⁴⁾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風乾物重の時期別推移から、生育型を3つのタイプに分けているが広島農試圃場の水稻は8型に属する。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、乾物生産が登熟の中期に頭打ちとなり、収穫期には全乾物重が減少し、登熟過程がとくに悪く、枯れ上がりが激しい。また、村山⁹⁴⁾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の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¹⁶⁷⁾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、おおむね土壌中のリン酸が不足状態にある。これに対して、西南暖地ではリン酸の玄米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ろう。

こゝで、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る。また、従来は、温度変化に対するリン酸の肥効は幼植物で解明されたものが多い。しかし圃場条件、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、本試験では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と登熟に及ぼす影響をみるとともに、堆肥施用による効果についても検討した。また、同一土壌および同一品種を用い、暖地と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との関係について検討を加えた。

第1節 気温および日照の変化がリン酸の肥効に及ぼす影響

A 水稻生育に及ぼす気温、日照の影響とリン酸の関係

第1項 試験方法

1930年から継続実施し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第1章で述べた。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。この試験では、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'68年の22年間にわたる、各作リン酸区の分けつ数と玄米千粒重について気象とリン酸の肥効との関係をみた。

すなわち、分けつ数については、分けつ数増加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⁸³⁾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

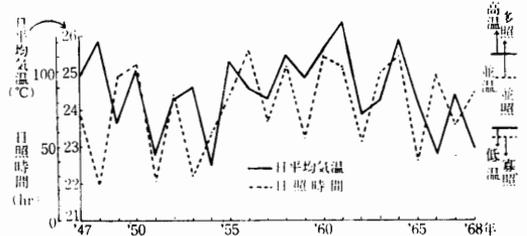
た。

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

第2項 試験結果及び考察

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分けつ数と気象の関係は第55表に示した。第57図に示すように、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25.5°C以上を高温、23.5°C以下を低温とし、23.6~25.4°Cを並温とした。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97.1時間以上を多照、57.1時間以下を寡照とし、57.2~97.0時間を並照とした。



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)

これらの気温および日照の程度は、この地方の気象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みたものではない。

本谷⁴³⁾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となり、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述べている。本試験で区分した低温とは、22.5~23.5°Cであり、この気温では分けつ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分けつ数の少ない稲型となろう。また並温では低温と高温の中間の分けつ数の増加が予想される。

つぎに、日照時間と分けつ数の関係についてみると、松島⁸²⁾は、日射量が少なきは

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はいえないとしている。田畑ら¹³⁵⁾は、分けつ数増加に対して日照強度の影響が大きいとし、植田¹⁵⁴⁾、小坂ら⁷⁴⁾、松島ら⁸⁸⁾も光度と分けつ数増加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、作物生態的に分けつ数増加には日照時間より日射量が重要と考えられるが、作物統計事務所が分けつ増加や登熟に対し、日照時間を重要視していることから、こゝ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分けつ数割合を窒素多量、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、各作無リン酸区の分けつ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)。それによると、各作リン酸区と各作無リン酸区の分けつ数の差の大きい気象条件は、1966年のような低温多照であり、つぎに低温並照の年、つづいて低温寡照の年で低温が最も影響している。こゝでいう低温とは、22.5～23.5℃であり、この気温では最も分けつ数が増加するので⁴⁸⁾、各作リン酸区の分けつ数が多い。一方、各作無リン酸区はリン酸不足のため増加せず、両区間の差を大きくしたものとする。他方、リン酸区と無リン酸区の間に分けつ数の差のでにくい気象条件は、1948年のような高温寡照であり、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℃以上では分けつより伸長に向うため、各作リン酸区は例年より分けつ数が少なく、各作無リン酸区は例年と変わらないため、両区間の分けつ数の差が小さくなったものとする。

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分けつ数の減少率と気象の関係

年次	'47	'48	'49	'50	'51	'52	'53	'54	'55	'56	'57
各作無リン酸区分けつ数 (%)	3.3	-7.6	35.6	33.4	26.4	29.5	23.4	47.8	26.6	14.9	37.9
各作リン酸区分けつ数											
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

各作無リン酸区分けつ数減少率順位	気温・日照	低多	≥	低並	>	低寡	≥	並多	>	高多	≥	並並	≥	並寡	>	高寡
各作無リン酸区分けつ数平均 (%)	41.8	41.2		26.4		24.4		22.2		20.2		17.4		-7.6		
頻度 (回)	1	2		1		4		4		5		4		1		

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

(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)

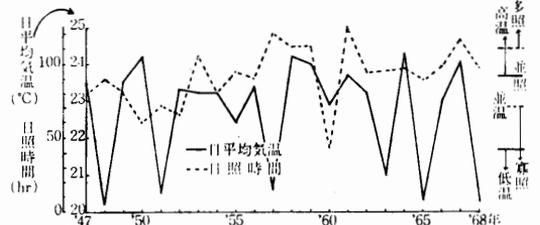
なお第55表中に気象別の出現頻度を示した。頻度の高い気象条件は概して気温が高い。このため分けつ数の差はでにくくなる。つまり、本

地帯における気象条件は、分けつ数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、日照時間の影響とリン酸の関係

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日頃となり、各作リン酸区より5日遅い。

9月上・中旬の気温、日照時間は第58図に、気象とリン酸の関係は第56表に示した。第58図に示すように、9月上・中旬における22年間の日平均気温は22.7℃であり、7月上・中旬と同



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)

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	1947	'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℃、高温は23.7℃以上、並温23.6~21.8℃、低温21.7℃以下とした。(±1℃)

(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)

じ分け方で、±1℃、すなわち、23.7℃以上を高温、21.7℃以下を低温、23.6~21.8℃を並温とした。また、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112.1時間以上を多照、72.1時間を寡照、112.0~72.2時間を並照とした。

登熟期間の気温について、八柳¹⁶³⁾によれば、安全登熟のためには、出穂後15日間は平均気温が20℃以上23℃を要し、その後は19℃以下に低下しても、平均気温の積算温度が最低880℃が得られるとよとみている。本谷⁴³⁾も日平均気温が20℃以下では登熟不良をおこやすく、

粳への糖の移行から、少なくとも出穂後、日平均気温20℃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⁹⁵⁾も出穂後、日平均気温21.2℃が30日間続けばよとしていいる。これらのことから登熟期間の日平均気温は、出穂後20℃以上が最低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、松島^{ら88)}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^2)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、籾殻形成が劣ることにより玄米千粒重が低下する。一方、出穂後15～25日の日射の不足は、粒の充実の悪化をもたらし、千粒重が低下するとした。植田¹⁵⁴⁾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週間後の分けつ数指数は55まで低下したが、千粒重指数は98となり、遮光は千粒重より分けつ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、水稻の生理的な観点から分けたものでないことは分け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⁸⁸⁾である。

このように分けた高温領域は、23.7℃で八柳のいう適温よりやや高い。また低温は、21.7℃以下であるが、これに該当した年の気温は21℃以下、20℃以上がほとんどであり、本谷⁴³⁾のいう必要気温の範囲内に入るが、村田⁹⁵⁾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、水稻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値の年次による違いと、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、籾へのリン酸の移行量が少なく、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、多照の条件であった。これについては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からであると考えられる。

なお頻度の高い気象条件は、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、リン酸施肥が分けつ増加と玄米千粒重に及ぼす効果と気象の関係では、まず、分けつにリン酸の肥効の大きく現われるのは、低温、多照である。こゝでいう低温とは、7月上・中

旬の日平均気温22.5～23.5℃で日照時間の多いときである。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℃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、並照が多い。これらの条件ではいずれもリン酸施肥の有無による差が少ないことから、気象的にも本地帯は水稻に対してリン酸の肥効が出にくいと考えられた。

B リン酸の多少と堆肥連用の年次別効果

第1項 試験方法

この試験では、堆肥連用の有無と土壌のリン酸含量を組合わせ、年次別収量から気象の影響のもとでの堆肥施用の効果をみようとしたもので、供試圃場は前試験Aと同じリン酸の長期連用試験田である。

すなわち、堆肥連用田には1930年からの年間150kg/aの堆肥を施用しており、各作リン酸区(以下リン酸多肥区という)には水稻作、麦作に合計1.5kg P₂O₅/a、裏作リン酸区(リン酸中肥区)には麦作に0.75kg P₂O₅/aのリン酸を施肥した。各作無リン酸区(無リン酸区)はリン酸無施肥である。また、無機肥料連用の窒素施肥量は水稻の場合、1.2kg/aで、堆肥併用処理は窒素1.2kg/aに堆肥を加えたものである。

この報告では、1962年から1974年の13年間の結果についてとりまとめた。

第2項 試験結果及び考察

1) 試験区の土壌の性質

試験開始から42年経過した1972年における作土の理化学性は第57表のとおりである。

堆肥併用区では、全炭素、全窒素含量およびアンモニア生成量などが増加しており、増加の程度はリン酸施肥で僅かながら高まっている。一方無機肥料区の場合は、無リン酸において全炭素および全窒素量が少なく、腐植の蓄積が少ない。

還元土のBray第2液可給態リン酸含量は、リン酸多肥区で約80mg P₂O₅/100g、リン酸中肥区40mg/100g、無リン酸区は堆肥併用の場合7mg/100g、無機肥料の場合4mg/100

第57表 供試土壌の理化学性

1972年11月採土(試験開始後42年経過)

区名	土性	pH	全炭素 (%)	全窒素 (%)	風乾土澆水 NH ₄ -N (mg/100g)	全リン酸 P ₂ O ₅ (mg/100g)	Bray No. 2液抽出 P ₂ O ₅ (mg/100g)
リン酸多肥	無機肥料	SL	5.6	1.16	0.11	11.0	149
	堆肥併用	SL	5.4	1.63	0.16	12.8	148
リン酸中肥	無機肥料	SL	5.3	1.21	0.12	11.4	89
	堆肥併用	SL	5.3	1.55	0.15	12.6	89
無リン酸	無機肥料	SL	5.3	0.97	0.10	9.0	40
	堆肥併用	SL	5.2	1.52	0.15	12.8	47

注) NH₄-N は 30°C 28 日間後の生成量, Bray 第2液 液抽出 P₂O₅ は 1968 年の作付澆水土で土壌と抽出液比 1:10。

第58表 水稻の収量および窒素, リン酸吸収量

1962~1974年(13年間の平均)

区名	穂数 (本/m ²)	わら重 (kg/m ²)	玄米重 (kg/m ²)	N 吸収量 (kg/m ²)	P ₂ O ₅ 吸収量 (kg/m ²)	
リン酸多肥	無機肥料	294	64.9	48.7	1.02	0.44
	堆肥併用	329	76.6	53.3	1.17	0.48
リン酸中肥	無機肥料	301	64.8	48.5	1.05	0.42
	堆肥併用	327	75.8	53.7	1.17	0.48
無リン酸	無機肥料	245	59.2	41.4	0.88	0.27
	堆肥併用	312	77.1	52.5	1.15	0.43

第59表 水稻の収量および窒素, リン酸吸収量の標準偏差と変動係数 (1962~1974年)

区名	穂数		わら重		玄米重		N 吸収量		P ₂ O ₅ 吸収量		
	標準偏差	変動係数	標準偏差	変動係数	標準偏差	変動係数	標準偏差	変動係数	標準偏差	変動係数	
リン酸多肥	無機肥料	41.1	14.0	5.78	8.9	4.09	8.4	0.102	10.0	0.042	9.5
	堆肥併用	40.7	12.4	7.71	10.1	5.98	11.2	0.153	13.1	0.062	12.5
リン酸中肥	無機肥料	31.6	10.5	4.69	7.2	3.58	7.4	0.085	8.1	0.049	11.6
	堆肥併用	47.2	14.4	7.52	9.9	5.39	10.0	0.167	14.3	0.043	9.2
無リン酸	無機肥料	40.4	16.5	6.01	10.2	5.99	14.5	0.128	14.6	0.036	13.2
	堆肥併用	35.8	11.5	7.01	9.1	6.01	11.4	0.132	11.6	0.035	8.1

gである。これらの含量と水稻生育については第1章で述べたが、リン酸が5mg/100g以下になると減収しやすいことから、無リン酸無機肥料区では収量に対し明らかにリン酸不足の土壌といえる。

2) 水稻収量および養分吸収の変動収量および窒素, リン酸の養分吸収量は第58

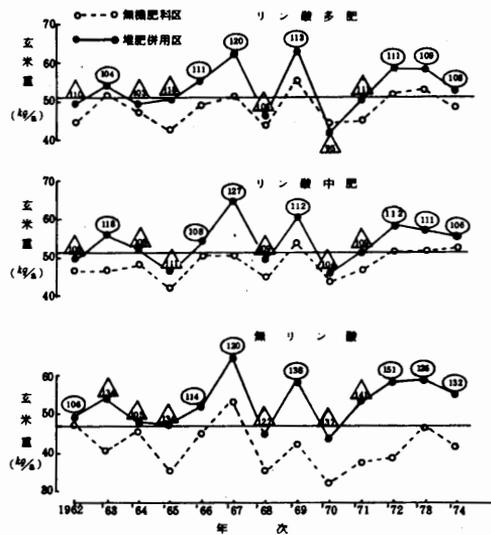
表に、また、これらの標準偏差および変動係数は第59表に示した。第58表から、無機肥料の場合、無リン酸区のリン酸多肥区に対する玄米収量比は85であり、堆肥併用の場合の無リン酸区は98と、これまで述べてきたように、花こう岩質土壌では低リン酸土壌においても高い収量が得られている。一方、無機肥料に対する堆肥併

用の玄米増収率は、リン酸施肥区で約11%、無リン酸区で27%となり、これらの増収要因は穂数と深い関係がみられる。また、窒素およびリン酸吸収量も堆肥施用により高まり、とくに無リン酸区でその効果が顕著に認められる。

第59表に示すように、玄米重、わら重および窒素の変動係数と標準偏差は、リン酸施肥条件では堆肥併用区が無機肥料区より大きく、無リン酸では無機肥料区が大きい。このことはリン酸施肥では堆肥の連用によって、年次間の収量ならびに窒素吸収量が大きく変化すること、一方無リン酸区の低リン酸土壌では無機肥料区に変化が大きいことを示している。また、穂数ならびにリン酸吸収量についても、無リン酸無機肥料区で変動の大きいことがうかがわれる。

3) 年次別収量と気象の関係

玄米収量について、処理間の年次別変化をみたのが第59図である。この試験は長期継続のため、この13年間では、処理区間で収量が大きく逆転することはなく、高収の区は高収、低収の区は低収と、区間に変化がないとみられる。一



第59図 年次別玄米収量

注) ○印中の数字は増収年の無機肥料区に対する堆肥併用区の収量指数、△印は減収年の収量指数。
各処理における中央横線は13年間の年平均収量を示す。

応、単年の無機肥料区と堆肥併用区の平均収量が13年間の平均収量より高い場合を増収年、低い場合を減収年として示した。それによると、リン酸施肥の多少では、リン酸多肥と中肥の年次変化はほぼ同様の傾向がみられ、変動係数についてはすでに述べたが、最高と最低の収量差においても、無機肥料区では約13kg/a、堆肥併用区は約20kg/aである。一方、無リン酸の場合は、無機肥料区で約32kg/a、堆肥併用区は21kg/aとなり、リン酸施肥では堆肥併用が、また無リン酸の場合は無機肥料区において収量差が大きい。つきに、増収年と減収年における無機肥料区に対する堆肥併用区の平均収量指数は第60表に、

第60表 増収年と減収年における堆肥併用区の増収割合

		リン酸リン酸無リン酸 多肥中肥無リン酸		
無機肥料区に対する堆肥併用区の玄米収量割合	増収年	111	113	127
	減収年	107	108	130

また第61表は13年間の日平均気温と日照時間の平均値を示した。第60表から堆肥による増収割合は、リン酸施肥条件では増収年が減収年より高い。無リン酸区においては逆に減収年の方が高くなっている。これを第61表の気象からみると、増収年は日平均気温が高く、日照時間が長い。ことに気温では6月下旬と7月に高くなっている。このことからリン酸施肥条件では堆肥の効果が一層高まったものと考えられた。

4) 年次別にみた玄米収量と窒素吸収量の関係

各年次ごとの玄米収量と窒素吸収量の関係を第60, 61, 62図に示した。これらの図から、収量と窒素吸収量にはリン酸多肥無機肥料区を除いて相関がみられ、ことに堆肥併用区では無機肥料区より高い関係が認められた。また堆肥併用区では、ある年次で窒素吸収量が増加しているのも堆肥施用の大きな特徴といえよう。

他方、各年次の収量と堆肥施用による収量増および堆肥による窒素吸収増加の関係は第63図、64図のとおりであるが、リン酸施肥条件においては、堆肥施用区と無機肥料区の収量差が大き

第61表 増収年と減収年における平均気温と日照時間

(1962～1974年の平均)

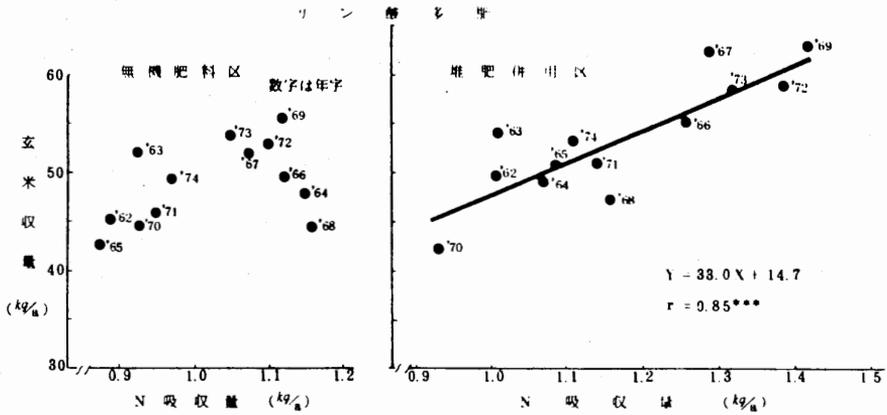
		6月(下)	7月	8月	9月
日平均気温 (t℃)	増収年	22.4	25.1	26.2	21.6
	減収年	21.5	24.5	25.9	21.5
	差	+0.9	+0.6	+0.3	+0.1
日照時間 (hr)	増収年(A)	77.9	262.6	280.4	238.3
	減収年(B)	66.5	242.7	284.9	226.3
	差	117	108	98	105

注) ・1.3年間の平均収量より、各年次の無機肥料区と堆肥併用区の平均玄米重が高い場合を増収年とし、低い場合を減収年とした。

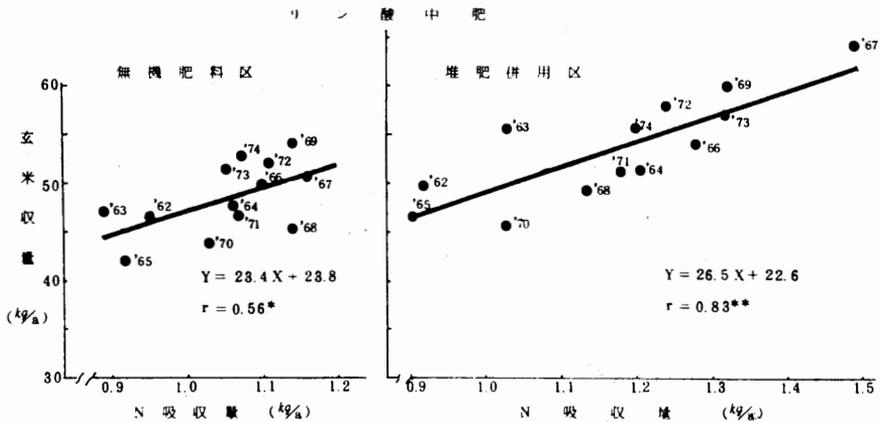
・増収年の年次 '63, '66, '67, '69, '72, '73, '74年。

減収年の年次 '62, '64, '65, '68, '70, '71年。

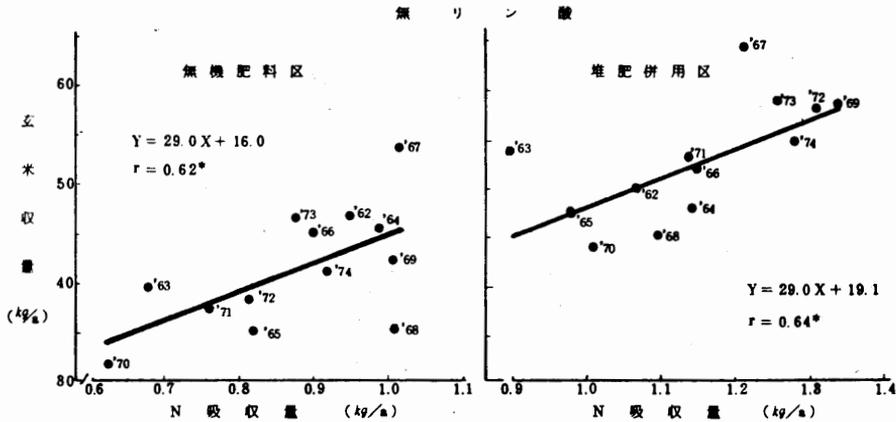
6月(下)は6月21日以降。



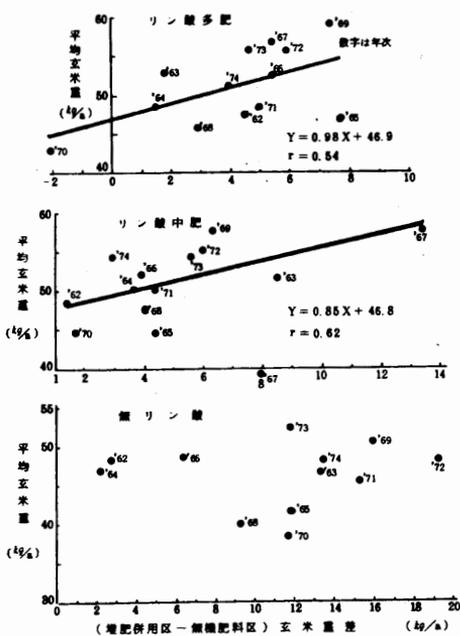
第60図 リン酸多肥における玄米収量と窒素吸収量の関係



第61図 リン酸中肥における玄米収量と窒素吸収量の関係



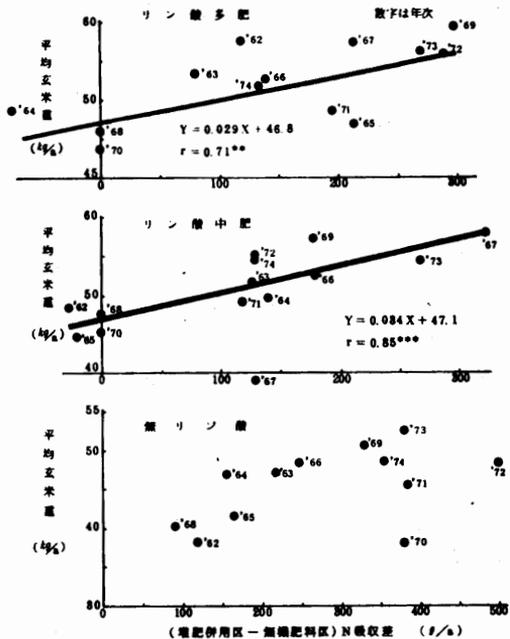
第62図 無リン酸における玄米収量と窒素吸収量の関係



第63図 年次ごとの収量と堆肥施用による収量増の関係

注) 平均玄米量は無機肥料区と堆肥併用区の年次ごとの平均値を示す。

く現われた年次は高収年であり、反対に堆肥が収量に反映しない年次は低収年である。また窒素吸収量においても、その差が大きい年は高収年、小さい年は低収年である。



第64図 年次ごとの収量と堆肥施用による窒素吸収増の関係

注) 平均玄米量は無機肥料区と堆肥併用区の年次ごとの平均値を示す。

一方、無リン酸の場合は、堆肥併用区と無機肥料区との収量差ならびに窒素吸収量の差が大きく異なるが、これらと収量の関係は認められなかった。

5) リン酸の多少と堆肥の効果について

原田 30) は、砂壤土には膠質物が少ないため、有機物の分解が早く、また粘土鉱物がカオリン系のもはモンモリン系より分解量ならびに分解速度が早いことを指摘している。本土壤は砂壤土の乾田で、カオリン系の粘土鉱物からなる¹⁶⁵⁾ため、地力窒素の発現が多いと考えられ、また温暖なことから寒地に比べ、有機物の分解が早く、水稻の地力窒素利用が高い¹¹⁹⁾ともいわれている。

さて、この試験では、リン酸多肥と中肥の条件における堆肥施用の効果は、リン酸施肥の多少によっては変わらず、収量は無機肥料より平均約11%の増収である。その内容は、収量の高い年に高く、無機肥料区との収量差も大きい。また堆肥併用区の窒素吸収量は収量と正の関係にあり、増収年は総じて気温が高く、日照時間の多い年である。

一般に寒冷地における堆肥連用の効果として、水稻収量の変動が少なく、安定化する^{42, 59, 87)}といわれているが、暖地におけるリン酸施肥条件、すなわち三要素区における堆肥施用の効果は高気温、多照の年に現われ、窒素吸収量が高まり収量が増大する。そのため年次による収量のバラツキが大きくなる。これは一見、不安定のようにみえるが、無機肥料すなわち堆肥無施用より高い収量水準で変化することから、収量の安全領域での変化が大きいと解すべきであらう。

他方、湛水土のBray第2液可給態リン酸が $4 \sim 7 \text{ mg P}_2\text{O}_5 / 100 \text{ g}$ の低リン酸の土壌である無リン酸における堆肥連用の効果は高く、無堆肥に比べ27%と増収率が高い。その内容についてみると、無堆肥の無機肥料区では減収年に

収量の低下が大きい。とくに分けつ数の減少が収量に大きく影響することから、分けつ期の低温、寡照が関与するところが大きいと考えられる。このようなことから変動係数ならびに標準偏差が大きくなり、これは収量増による変動より収量減の変動が大きいといえる。

以上のように、リン酸施肥条件における堆肥連用の効果は、高収年に発揮される。他方、無リン酸区での堆肥連用は高収年にも高い収量が得られるが、それよりも低収年に無機肥料区の収量低下が大きいのに対し、堆肥併用区では減収しにくい。このため、低収年に堆肥施用の効果が大きく現われると解釈された。

C 温度の高低とリン酸の肥効

第1項 試験方法

1) 試験の条件と処理内容

本実験は1969年に実施した。試験規模はa / 5000ポット。供試土壌には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第1章で述べた。施肥設計は第62表のとおりである。また温度処理としては高温区と低温区を設け、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℃下げた。また低温区は、夜間は旬別

第62表 施肥設計 (ポット当り)

区名	N (g)				P ₂ O ₅ 基肥 (g)	K ₂ O基肥・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。

第63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

最低気温の平年値、昼間は4℃上げた。それらの具体的な温度設定は第63表のとおりである。

栽培概要：水稻品種チヨヒカリ、6月26日ポット当り1株3本植とした。各作リン酸区（以下P(+区という）と各作無リン酸区（P(-区)）を7月7日、それぞれ高温、低温の人工気象室へ移し、成熟期まで温度処理を行ったものと、穂揃期まで自然状態で栽培し、穂揃後、P(+区、P(-区)を高温、低温の人工気象室へ移し登熟期間の温度処理を行った。

2) 分析法

第1章で述べたとおりである。

第2項 試験結果及び考察

1) 全生育期間の温度の高低によるリン酸の肥効

最高分げつ期頃の土壌中のBray第2液可給態リン酸、2価鉄およびpHは第64表に示した。

第64表 土壌のpH、2価鉄およびBray第2液可給態リン酸含量（7月23日）

区名	pH	Fe ²⁺ (mg/100g)	可給態 P ₂ O ₅ (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(-区では4 mg P₂O₅ / 100g以下で、これはこれまでの結果から明らかに水稻のリン酸欠乏症が現われる含量であり、P(+区では充分の含量である。2価鉄含量は高温処理が土壌還元の進行から、低温処理より高い傾向がみられる。しかし可給態リン酸含量には温度による影響が少ない。このことは第3章で述べたごとく、花こう岩質土壌は酸化還元の変化に対応するリン酸の可給化率が他の土壌より少なく、酸化状態の土壌においても相当に高い。このため、高温によって還元が進行しても、リン酸の可給化量が変わらないことが理解できる。

水稻の生育、収量は第65表に示すように、高温処理は草丈を伸長させ、低温では短くなり、分げつ数は高温で少なく、低温でやゝ多い傾向が認められ、暖地と寒地の生育相¹⁴³⁾の相違に類似した。リン酸施肥の有無は草丈、分げつ、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、リン酸施肥の効果が明らかである。収量は高温処理が低温処理より勝るが、リン酸施肥の有無との関係では、低温処理においては、登熟期間の温度が登熟に必要な温度以下であったため、P(+区においても登熟歩合が低下しているが、P(-区は低温による影響が大きく、登熟歩合は0となり、著しく減収した。

第65表 水稻の生育および収量

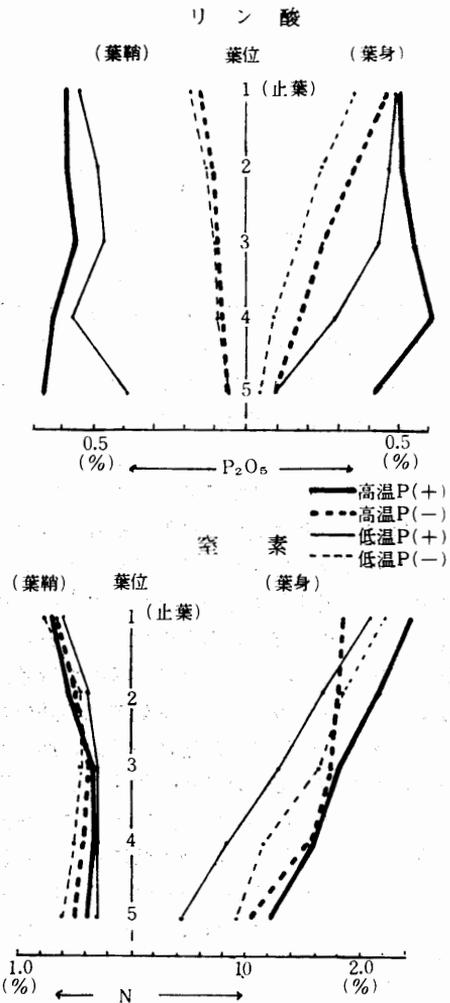
区名	成熟期 草丈 (cm)	最高 分げつ数 (本/株)	穂数 (本/株)	出穂期 (月・日)	出穂期間 (日)	1穂		株当り えい花数	穂重 (g/株)	登熟歩合 (%)	
						えい花数	不稔粒数				
高温	P(+)	105	43.5	26.0	8.28	9	65.5	1.9	1703	46.5	93.9
	P(-)	98	22.0	19.5	9.14	13	68.1	2.2	1328	27.1	69.1
低温	P(+)	92	44.0	30.0	9.7	13	62.4	6.0	1872	33.0	38.0
	P(-)	87	24.0	19.0	9.25	21	67.4	64.1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

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調べた（第65図）。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、P(+区はP(-区より高い。温度の影響では、高温で含有率が高くなる。

地域間のリン酸含有率では、寒地は暖地より高い54,58)ことがみられるが、この場合は低温

で含有率が低い。これについては処理間の温度差を大きくするため、低温処理を強くした結果と思われる。

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、温度処理や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おおむね高く、とくにリン酸吸収の少ない低温処理やP(-区では濃度勾配が



第65図 穂揃期における葉位別リン酸および窒素の濃度勾配

大きい。そして、P(+)区の高温や低温およびP(-)区の高温での止葉含有率はほぼ0.5% P₂O₅である。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る。なお低温のP(-)区では止葉の含量が他の葉身より高いが0.5%までには達していない。

他方、リン酸施肥による葉身窒素の濃度勾配は第65図下段に示した。この図によると、上位葉ほど含有率の高い傾向はリン酸含有率と同様であるが、P(+)区は低温で窒素含有率が低く、P(-)区では生育の抑制から、含有率はそれより高い値を示している。

このように、水稻ではリン酸の不足状態にお

第66表 水稻の生育および収量

区名	穂数 (本/株)	1穂		株当り えい花数	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

第67表 温度処理による水稻部位別リン酸含量率

部 位	P ₂ O ₅ (%)					
	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
葉 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
身 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
葉 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
鞘 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

かれても、リン酸は上位葉へ移行、集積し、高温はさらにそれを助長し、同化能力および粗の澱粉集積に効果的に働くものと思われ。

2) 登熟期間の温度とリン酸の肥効

この試験は穂揃期以後の温度処理がリン酸の肥効にどのように影響するかについて行ったものである。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った。生育、収量は第66表に示した。穂数および総えい花数は、それらが発生または着生後の処理によって変わらないが、登熟歩合は低温およびリン酸不足によって低下し、穂重の減少となる。

これら水稻の部位別リン酸含有率は第67表に示すように、P(+)区では低温処理によりリン酸の含有率が高まる。昆野ら(72)によれば、種実に移行するリン酸の大部分は、葉および稈にすでに存在していたものと考えられ、この移行は炭水化物の転流出線と類似する。そして登熟期

の低温により、リン酸に伴う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と考えられる。またP(-)区では、高温が低温より葉身のリン酸含有率が高いが、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。そして登熟期の高温は根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。

第2節 気象の異なる場所におけるリン酸の肥効

第1項 試験方法

1) 試験地の条件

標高 400m の広島県山県郡大朝町広島農試高冷地試験地(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、八本松の花こう岩質水田土壌を大朝へ運び、同一土壌条件において試験を実施した。また水稻は同一品種、サトミノリを用いた。

2) 試験の内容

枠試験

供試土壌は、大朝、八本松とも八本松水田Ⅱ-4土壌で、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含量の低い作土であり、その理化学性は第68表に示した。

第68表 供試土壌の理化学性

土 壤	土性	pH (H ₂ O)	全C (%)	全N (%)	全P ₂ O ₅ (mg/100g)	還 元 土					
						Bray 第2液 P ₂ O ₅ (mg/100g)	リン酸 吸収係数	遊離 Fe ₂ O ₃ (mg/100g)	CEC (me)	置 換 性 Ca Mg (me) (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

第69表 枠試験Ⅰ 暦日を同じにした栽培の施肥設計

場 所	N, K ₂ O		
	基 肥	追 肥	穂 肥
	6月17日 (kg/a)	7月8日 (kg/a)	7月31日 (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

なおこの実験は 1973 年と '74 年に行った。

枠試験Ⅰ 暦日を同じにした栽培

試験規模は72×168×21(深さ)cmの木枠を圃場に埋設し、ポリエチレンフィルムを敷き、生土壌(乾土換算 145kg)を充填し、作土の深さを約12cmとした。苗代は八本松の苗床を使用し、1974年5月10日播種、施肥はN, K₂O各10g/m²とした。本田における栽培概要は、大朝6月17日、八本松6月18日、植付様式 24×24cm, 1株3本植で枠当たり21株とし、また枠外にも同じ間隔で移植し同様な群落条件とした。収穫は大朝10月29日、八本松10月21日に行った。

枠試験Ⅱ 両場所における適期栽培

土壌は前試験と同様である。苗代は大朝、八本松において、同一の八本松水田作土(風乾土 Bray 第2液可給態リン酸 6mg P₂O₅/100g)を用いた。苗代および本田の施肥量と施肥時期は第70表に示した。移植は大朝1973年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である。収穫、大朝9月25日、八本松10月20日、その他、病虫害防除は一般の管理に準じた。

第70表 枠試験Ⅱ 地帯別適期栽培に準じた施肥設計

場 所	N, K ₂ O			
	苗 代	本 田		
	施肥(g/m ²) 24*, 12**	基 肥	追 肥	穂 肥
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。

ポット試験

1969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圃場作土に、花こう岩風化土壌を等量混合し、リン酸施肥とリン酸無施肥を作り、水稻を1作した後の土壌ポット試験Ⅰとして1971年に行った。ポット試験Ⅱは前試験土壌を混合均一化して、1973年に再度供試した。

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のリ

ン酸の肥効について検討するため、a/5000ポットを用い、ポット当り生土(乾土換算3.7kg)を充填した。供試土壌の性質は第71表に、施肥設計は72表のようである。

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本植とした。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(乾土換算3.5kg)で

第71表 供試土壌の理化学性

区名	土性	pH	全C (%)	全N (%)	還元土リン酸吸収係数 (mg/100g)	遊離Fe ₂ O ₃ (mg/100g)	CEC (me)	
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72表 ポット試験Ⅰ、地帯別適期栽培に準じた施肥設計N、K₂O施肥量(ポット当り)

区名	基肥		追肥		穂肥	
	0.3g	0.2g	0.3g	0.3g	0.3g	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 P₂O₅g/ポットを全量基肥施用P少区は無施用とした。

充填した。処理法として、P(+区)とP(-区)のそれぞれを、植付より成熟期まで八本松で栽培したもの、八本松で幼穂形成期まで栽培し幼穂形成期に大朝へ移動し栽培したもの、および出穂期に大朝へ移動した3系列について行った。供試土壌の性質は第73表に、試験区とその内容は第74表に示した。

移植、6月21日(42日苗)、ポット当り1株3本植、収穫は大朝10月18日、八本松10月15日に行った。

第2項 試験結果及び考察

1) 枠試験Ⅰ 暦日を同じにした栽培

大朝と八本松において、同期日に移植し、同じ施肥管理を行った1974年の両場所における気象は第66図のとおりである。この図より、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

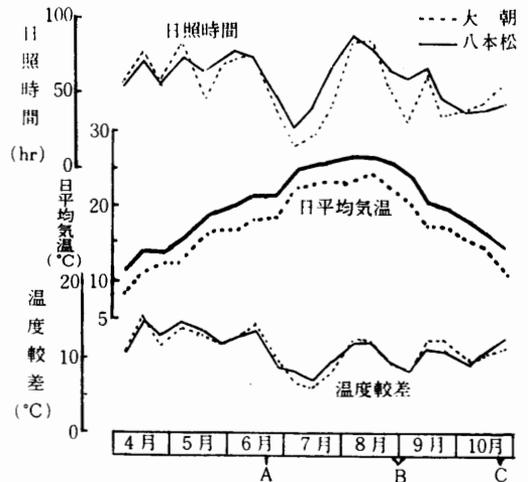
第73表 供試土壌の理化学性

区名	土性	全C (%)	全N (%)	リン酸吸収係数	遊離Fe ₂ O ₃ (mg/100g)	CEC (me)	Bray第2液P ₂ O ₅ (mg/100g)	風乾還元土
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74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(+)	なし	
八本松	P(-)	なし	
八本松	幼穂形成期(移動)	P(+)	8月3日
八本松	幼穂形成期(移動)	P(-)	8月3日
大朝	出穂期(移動)	P(+)	8月24日
大朝	出穂期(移動)	P(-)	8月24日

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、K₂OはNと同一分施、P₂O₅はP(+区)のみ0.74g重過リン酸石灰で基肥施用



第66図 暦日を合わせて栽培した大朝と八本松の気象(1974年)

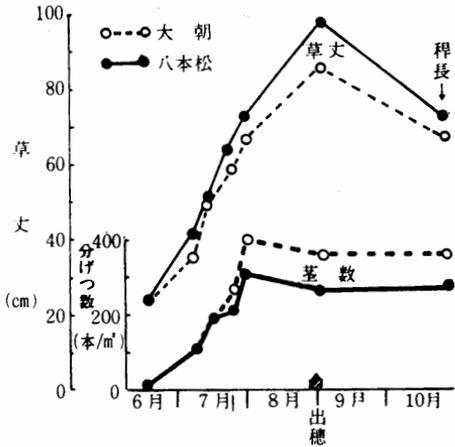
注) A:移植, B:出穂, C:成熟
日照時間は3半旬の合計値

にはならず、また9月以後は20℃以上が僅か7日程度と少ない。これに対して八本松では7月が23~25.5℃となり、9月には20~25℃が約80日間続いた。ま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。

大朝と八本松における生育状況は第67図に、また収量は第75表に示した。

第75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 ² 当り 粒数 ×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



第67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

生育と気温（第66図）の関係をみると、大朝では、移植後1か月間の平均気温は20℃以下であり、7月に入って20℃以上となるため、初期の生育が進まない。しかし、7～8月は23℃前後になるため、草丈の伸長より、分けつ増加に向けられ⁴³⁾短稈で分けつ数、穂数の多い草姿となる。これに対し、八本松での水稻は、移植後の平均気温は22℃前後であり、大朝より初期生育は促進されるが、7月中旬以降は25℃以上となるため、伸長が旺盛⁴³⁾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りまでの期間は大朝で9日、八本松で8日かゝり大朝で長い。大朝における出穂期間の延長は、低温と、出穂期茎葉のリン酸含量が八本松より低いことによると思われる。第75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%減となった。減収要因はm²当りの粒数には関係がないが、登熟歩合、玄米千粒重が低下することによるもので、出穂後、平均20℃以上の期数が少ないこと^{45,95,168)}

第76表 水稻の無機成分含有量

部位	場所	分けつ期		穂揃期		成熟期	
		N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅
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, 分けつ期7/15(7/15), 穂揃期9/7(8/26), 成熟期10/29(10/21), ()は八本松

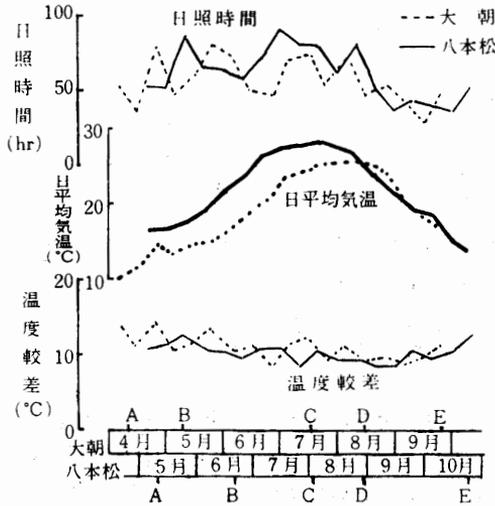
およびリン酸吸収量の低い⁴⁵⁾ことが影響したものと考えられる。なお、わら重は大朝が八本松より高い。これは大朝では同化産物の籾への移行が悪く、茎へ集積した結果と思われる。

つぎに、体内窒素、リン酸含有率については第76表に示した。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にある。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^{54,58,75,148)}が、本実験においては逆の関係がみられる。これについては、低リン酸含量の土壌を用いたため、大朝でのリン酸吸収が低温により抑制され、とくに生育初期の抑制が窒素吸収にも影響を与えたものと考えられる。

以上のように、リン酸含量の低い土壌を用いて、暦日を同じにして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。このため、より一層低温条件で登熟することとなり、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がよいために、リン酸の制約が少なく、大朝より高収が得られると判断された。

2) 梓実験Ⅱ 両場所における適期栽培

大朝と八本松において、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実施した。第68図に示した1973年の気象は大朝と八本松の出穂期を同一点に合わせて作図した。この図から移植より幼穂形成期頃までの両者の平均気温には3～6℃の差があり大朝で低い。とくに移植から約20日間は平均気温15℃以下で、その

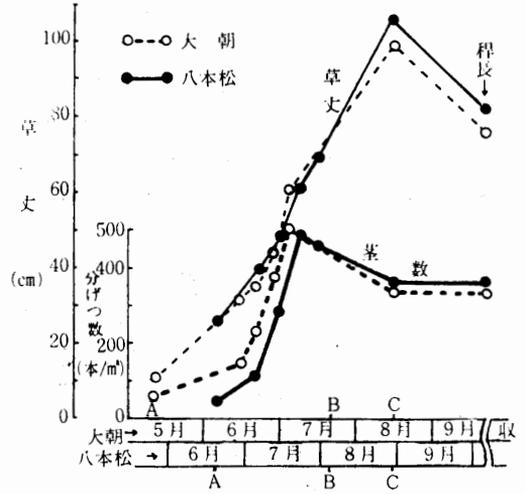


第68図 地帯別適期栽培に準じた大朝と八本松の気象の比較

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半旬の合計を示す

後20日間は20℃以下であり、6月下旬にいたってはじめて20℃以上となっている。一方、八本松では約22℃で移植され、22~25℃が10日間つづき、7月以降は25℃以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、大朝で約70日、八本松では約40日である。出穂期は大朝が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¹⁶⁾にある。また、登熟期間の平均気温は両者とも20℃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69図に示すように、大朝における分けつ数は移植後約35日間はほとんど増加していない。新根の発生する下限温度は13~14℃⁴⁸⁾とされ、また、分けつ発生の下限は17℃前後^{45, 84)}とみられるが、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、低温では蛋白代謝の持続する期間が長く、かつ、根の活力が高く、後期生育に有利である⁴⁵⁾ともいわれるが、本土壤の場合のように、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⁷²⁾であろう。活着後生育が旺盛と



第69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

第77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m ² 当り粒数	当り稈数×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

なるのは、大朝では移植後1か月、八本松では移植2週間後であり、大朝では短稈多げつ型、八本松では長稈少げつ型となった。

つぎに第77表の収量についてみると、前試験の結果と異って、大朝においても出穂後の気温が高く、土壌のリン酸含量は低い登熟条件が良好であり、両者におけるリン酸の肥効の差は、この場合には、出穂後よりもそれ以前の栄養生長期にあると思われた。すなわち大朝では、登熟歩合は高いが1穂粒数が少なく、単位面積当りの粒数確保ができなかったことが低収要因とみられた。これについて、第78表に示した稲体の窒素およびリン酸の含有量からみると、移植から最高分けつ期までは57日、八本松では27日である。この時期までの窒素、リン酸吸収量は八本松より大朝が高いが、それ以後は大朝が劣る。

大朝で相対的に養分吸収が低下したことは、

第78表 水稻の無構成成分含有量

部位	場所	分けつ期		幼穂形成期		出穂期		成熟期	
		N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅
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) 抜取月/日, 分けつ期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。

低リン酸の土壌における移植後約40日間の低温と、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(118)なり、それが降雨などによって流亡し、施肥窒素の減少をきたしたことがあげられる。

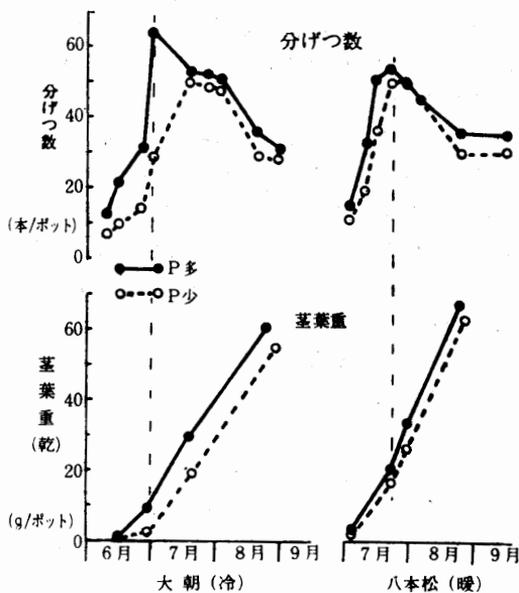
保肥力の小さいこのような土壌で作付期間を長くする栽培では、幼穂形成期頃の窒素の肥効を低下させ、ひいては1穂粒数の減少をまねく。この場合の低リン酸土壌の影響は、初期分けつを抑えたために、土壌-植物の系外に窒素が放出されたこと、また後期の窒素吸収が劣ったためにリン酸吸収が低下したことによるものであり、リン酸の吸収は窒素吸収との関連で認められた。一方、八本松ではこれまでのべてきたように、幼穂形成期の茎葉の窒素含有率が高いことから、1穂粒数を多くした。また大朝より本田の作付期間が短いことは、窒素の系外損失を少なくしたと思われ、また登熟においても低温の影響はなく、低リン酸含量の稲体でも、収量構成要素が能率よく充足された。これらのことから、八本松は冷涼地の大朝よりも高収が得られたものと解釈された。

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。

八本松ではポット栽培と圃場栽培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圃場の栽培より約10日遅れて出穂した。そのため出穂後の気温で若干不利な条件におかれた。

水稻の生育状況は第70図のようで、また収量成績は第79表のとおりである。第70図から草姿



第70図 分けつ数および茎葉重の推移

第79表 水稻の収量成績

区名		稈重 (g)	わら重 (g)	穂実歩合 (%)	籾収量比
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)

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るが、とくにP多区によく現われた。

つぎに分げつ数の推移をみると、大朝の生育が勝るようであるが、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

第80表 水稻の窒素およびリン酸含有率

区名		N(%)				P ₂ O ₅ (%)			
		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

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少区においても同様で、大朝では茎葉重の増加が緩慢であった。一方、リン酸施用量の多少による分けつ数の開き、および乾物重の差も大朝で大きく、八本松で小さく、リン酸の効果は大朝で高いことがわかれた。

収量は籾重、わら重ともに八本松が大朝より高い。大朝では生育時期が多少遅れたこともあって稔実歩合が若干劣り、籾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多区より穂数と稔実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。

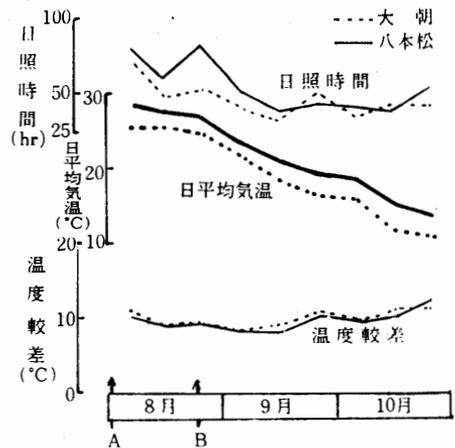
つぎに第80表、第81表の稲体の窒素とリン酸の含量からみると、窒素含有率はP多区の場合は大差がないが、P少区では大朝において低い傾向がみられる。このことは前試験と同様に施肥窒素の系外損失によると考えられる。リン酸含有率は大朝で高い傾向にあるが、成熟期の収量は八本松と大差がない。

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、また栄養生長期が長びいたことから、リン酸の肥効が大きく現われた。一方、八本松のP少区の出穂期茎葉におけるリン酸含有率は0.21% P₂O₅と低い。本谷(43)は、伸長期のリン酸が0.3% P₂O₅以下では生育が阻害され、また籾では0.45% P₂O₅以下で青米が増すとみている。本試験では、これ以下の低リン酸含量のため、八本松においても登熟に対してやゝ悪影響がみられた。しかし大朝と比較すればリン酸の肥効の小さいことがわかれた。

4) ポット試験Ⅱ

第81表 水稻成熟期の窒素およびリン酸吸収量

区名		N(㎎/ポット)			P ₂ O ₅ (㎎/ポット)		
		茎葉	籾	合計	茎葉	籾	合計
		大朝	P多	227	464	691	146
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



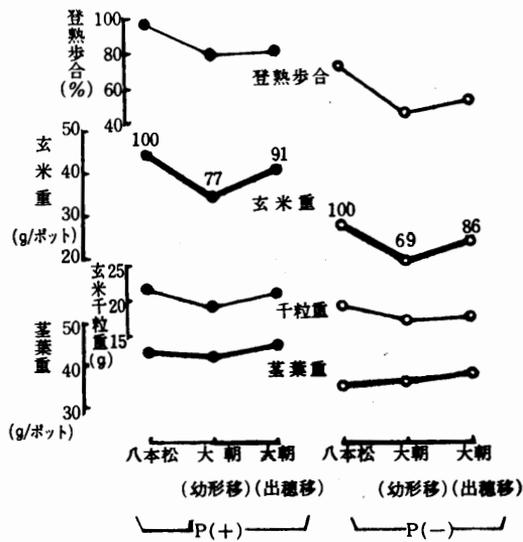
第71図 ポット移動後の大朝と八本松における気象の比較(1973年)

注) A: 幼穂形成期(移動)
B: 出穂期(移動)

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1973年の気象は第71図のようである。八本松と大朝における温度較差の違いは少ない。大朝では八本松より日照時間がやゝ少なく、平均気温は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(168)か、僅かに不足(95)であった。

水稻生育は幼穂形成期に八本松から大朝への移動によって、草丈の伸長は抑えられ、出穂期は3日遅延した。収量は第72図に、また稲体の窒素、リン酸含有率は第82表に示した。第72図から、収量は大朝移動によっていずれも減収した。その程度はP(-)区がP(+区)より大きく、また、幼穂形成期の移動は出穂期の移動より減収している。これらの減収要因は、登熟歩合と千粒重の低下に起因することが明らかである。

つぎに成熟期茎葉の窒素、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、窒素の吸収量においては両場所による差がない。しかしリン酸の吸収量は、とくにP少区で早い時期に移動(大朝)したものが低下したことは注目される。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が¹⁵⁹⁾、本実験においても認められた。すなわち大朝では生育後期のリン酸吸収の低下と登熟期の気温の低下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、暖地よりとくに生育後期にリン酸の必要性の大きいことが認められた。



第72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

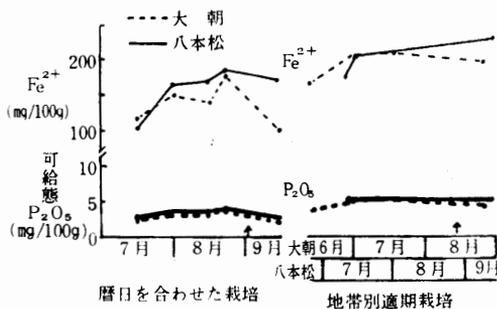
第82表 水稻の窒素およびリン酸含有量

区	名	幼穂形成期		出穂期		成熟期		成熟期吸収量		
		茎葉		茎葉		茎葉		茎葉・粒		
		N(%)	P ₂ O ₅ (%)	N(%)	P ₂ O ₅ (%)	N(%)	P ₂ O ₅ (%)	N (g/ポット)	P ₂ O ₅ (g/ポット)	P ₂ O ₅ 比
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)	—	—	—	—	0.56	0.31	648	353	91
	P(-)	—	—	—	—	0.59	0.07	492	96	(67)
大朝	出穂期(移)	—	—	—	—	0.44	0.26	648	370	96
	P(-)	—	—	—	—	0.52	0.07	492	108	(75)

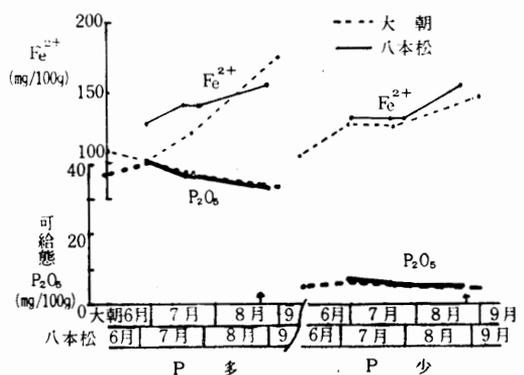
5) 土壌の可給態リン酸含量

大朝土壌と八本松土壌のBray第2液可給態リン酸および2価鉄含量について、水稻作付期間の時期別消長を枠試験とポット試験でみた。その結果は第73図、74図に示した。枠試験の低リン酸土壌のBray第2液可給態リン酸含量は2~5 mg P₂O₅ / 100g であり、この値は第1章で明らかにしたように、収量に対してはリン酸不足の含量であり、時期によるリン酸可給化

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、八本松では土壌の還元が大朝より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74図のポット試験から、P多区の可給態リン酸は、30~40 mg P₂O₅ / 100g であり、稲作のリン酸含量としては充分である。P



第73図 枠栽培における土壌2価鉄とBray第2液可給態リン酸含量の推移
注) ↑印出穂期



第74図 ポット栽培における土壌2価鉄とBray第2液可給態リン酸含量の推移
注) ↑印出穂期

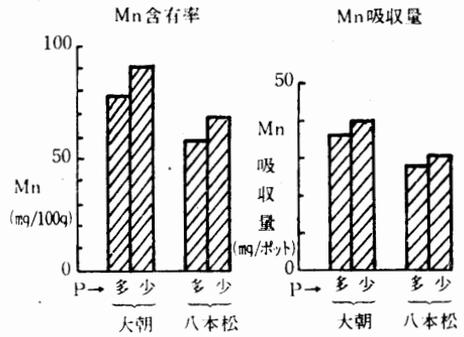
少区では $3 \text{ mg}/100\text{g}$ 前後で不足の含量である。この場合においても、リン酸の可給化量には差が認められない。このことは第3章において明らかにしたように、花こう含質土壌は他の土壌より、リン酸の可給化に対する土壌還元の影響が少なく、全リン酸に対する可給化量が高いことと符合するものである。

6) 水稻体のマンガンおよび鉄含量

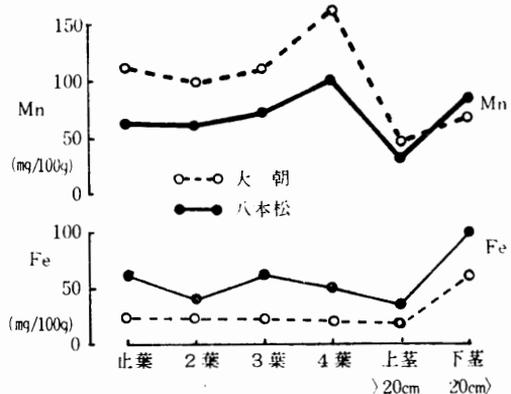
土壌中のリン酸含量の多少は、稲体のリン酸含有率と比例関係にあることがポット試験とも認められたが、リン酸が稲体のマンガン含量に及ぼす関係を地帯別および水稻の部位別についてみた。

第75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、吸収量においても同様でP多区で少ない。また76図に示した部位別マンガン含有率については、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。藤原ら²³⁾によると、水稻のマンガン吸収は低温および低温遮光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いる。本実験でも同様のことが認められるが、さらに、大朝では土壌の2価鉄含量からみて、還元の発達が八本松より少ない。このことから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。

以上、枠およびポット試験により、気象の違



第75図 水稻成熟期における茎葉のマンガン含有量



第76図 水稻成熟期における部位別鉄およびマンガン含有率

いとリン酸の肥効について、土壌および植物からみてきたが、これらの結果を総合して考察すると、冷涼地の大朝と暖地の八本松におけるリン酸の肥効を比べた場合、両場所でも6月中旬同

時移植の場合には、大朝では登熟期の低温が多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させた場合には、生育後期においてもリン酸吸収を促す必要のあることがわられた。一方、八本松では登熟期の気温も高く、低リン酸の土壌の場合、生育中期の窒素の肥え切れが少なく、そのため1穂粒数が低下せず、リン酸吸収量も高く、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が約3℃高いことから、八本松では高温による土壌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。しかし両場所におけるリン酸の可給量は、さきに示した本土壌の特性、すなわち、土壌の酸化還元土壌リン酸の可給化の反応速度への影響が他の土壌より少なく、酸化状態においても可給態リン酸の割合が多いことから、八本松で大朝より水稻のリン酸吸収が多いのは、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。

第3節 要 約

暖地では、水稻に対するリン酸施肥効果が明らかでない要因の一つに高気温があげられるが、圃場の栽培条件でこの関係をみたものは少ない。こゝでは、花こう岩質土壌を用いて、栽培期間の気温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を調査した結果、分けつ期においてリン酸の肥効の現われる条件は、7月上・中旬の日平均気温が22.5～23.5℃の低温区分に該当し、日照時間の多いことであった。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21～22℃で低温区分に該当し、その期間の日照時間が並照(72.2～112.0時間)であることであった。しかしこれらに該当する年

は比較的少なく、多くは7月は高気温、寡照であり、9月は気温が比較的高く、リン酸施肥効果のでにくい年が多い。

2) 長期継続リン酸試験圃場の堆肥併用と無機肥料の両処理について、リン酸施肥の有無と気象の関係を1962年から13年間にわたって見たところ、リン酸施肥の場合は堆肥施用によって増収するが、年次間の変動が大きく、気温が高く日照時間の多い年に、より多くの土壌窒素を吸収し高収となり、高水準での変化が大きい。一方、リン酸無施肥の場合、堆肥による増収率は高いが、無機肥料無リン酸区は低温や日照の少ない年に減収しやすいことから、堆肥併用の効果がより大きく現われると解釈された。

3) 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をみたところ、無リン酸区の水稲では、高温処理(昼間最高気温、夜間は4℃下げる)は低温処理(夜間最低気温、昼間は4℃上げる)より止葉のリン酸含有率が高く、リン酸施肥区の止葉とはほぼ同含量となり、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加は、光合成作用を旺盛にし、穂への澱粉の解糖移行に効果的に働いたものと考えられた。

4) 標高400mの大朝(冷涼地)と標高200mの八本松(暖地)において、同じ花こう岩質土壌および同品種を用いたリン酸の肥効の枠試験において、低リン酸土壌で暦日を同じにした6月中旬植の場合には、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が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、大朝では低リン酸の場合、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解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、八本松では分けつ期および登熟期の平均気温が3℃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℃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。

5) また、ポットにおけるリン酸の多少によ

る収量差は、大朝で大きく、八本松で小さい。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、および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。このことは、冷涼地では暖地より生育の前半はもとより、後期においてもリン酸の必要性が大きいことがうかがわれた。

6) 灌水による作土の2価鉄含量の増加から、八本松が大朝より還元的事であることがわかったが、Bray 第2液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。

第6章 暖地の花こう岩質水田における リン酸の施肥法

まえがき

土壌溶液中のリン酸濃度は、灌水条件においても低く¹²⁹⁾、下層土への移動はきわめて少ない⁹⁹⁾。したがって施肥リン酸のほとんどは作土中に存在している。一方、作物が正常な生育をするためには、生育初期にリン酸の必要性が高い¹¹⁴⁾ことが知られている。

これらのことから、水稻に対するリン酸施肥は、従来から基肥全量による初期生育促進の施肥法が唱導されてきた。

しかしながら、本報告の一連の試験から、暖地の花こう岩質土壌においては、リン酸を全量基肥に施用することの合理性が乏しいように考えられた。第1に分げつ期灌水土壌のBray 第2液可給態リン酸含量が15 mg P₂O₅/100 g 以下では分げつ数増加に影響を及ぼすが、20 mg/100 g 以上では分げつ数増加を示さない。ところが現地水田では後述のように土壌のリン酸含量はこの数値以上である。第2に、第2章で述べたように、花こう岩質水田土壌では酸化的条件においても、全リン酸含量に対する可給態リン酸含量の割合が他の土壌より高く、水稻は畑状態においてもリン酸をよく吸収する。第3に、土壌の塩基置換容量およびリン酸吸収係数が低いために、施肥に対する反応が大きく、水稻への窒素吸収の促進とあいまってリン酸が吸収されやすくなる。そのため、初期分げつ数の増加は肥効の持続性をともなわず、炭水化物代謝の時期が早まり、このため無効茎歩合が多

くなる。第4には、これら諸要因が高気温によって促進されることなどからである。

しかし水稻のリン酸吸収量は0.5から0.6 kg P₂O₅/a であることから、灌水土壌のBray 第2液可給態リン酸が50 mg P₂O₅/100 g 前後の土壌においては、全量基肥施用の必要性は少ないが、リン酸施肥を無視することはできないであろう。

本試験は、これらの要因および諸条件をふまえ、リン酸質肥料の合理的施用を図るため、従来の全量基肥施用に対して、リン酸施用の時期および分施肥が水稻の生育収量および米質に及ぼす影響をみるため、1974年から3か年にわたって検討した。

第1節 水稻に対するリン酸施肥時期と生育収量

第1項 試験方法

1) 供試圃場

第2章、第2節に記載した試験圃場を使用した。土壌は凝灰岩を含む花こう岩質、湖成沖積、グライ土壌粘土型、土壌の理化学性はすでに第2章で述べたが、塩基置換容量11.7meで、リン酸吸収係数が低く、作物に対する施肥反応の大きい土壌である。

2) 試験の構成

試験区名および施肥内容は第83表に示したとおりである。

3) 一般栽培の概要

水稻品種、サトミノリ。本田移植は6月16

第83表 試験区および施肥内容

区名	P ₂ O ₅ (kg/a)				合計	供試肥料 (1975・1976年)
	基肥	追肥	穂肥Ⅰ	穂肥Ⅱ		
標準(基肥P)	0.70	0	0	0	0.70	} 化成肥料(14:16:14) NK化成
追肥以後P分施	0	0.29	0.30	0.20	0.70	
穂肥以後P分施	0	0	0.42	0.28	0.70	} 重過リン酸石灰 化成肥料(15:8:15)
同一肥料分施	0.29	0.12	0.17	0.12	0.70	
無リン酸(6~8年)	0	0	0	0	0	} NK化成

注) N施肥 0.5-0.2-0.3-0.2 kg/a 分施

基肥 6月12日, 追肥 7月7日, 穂肥Ⅰ 7月31日, 穂肥Ⅱ 8月14日(出穂10日前)

1974年の供試肥料はNK化成および重過リン酸石灰を施用した。

第84表 作付土壌(作土)のBray第2液可給態リン酸含量(mg P₂O₅/100g)

区名	1974年			1975年		
	7月16日	7月23日	8月27日	7月15日	8月6日	8月25日
標準(基肥P)	<u>37.3</u>	<u>40.4</u>	<u>33.4</u>	<u>43.9</u>	<u>39.1</u>	<u>34.5</u>
追肥以後P分施	<u>32.5</u>	<u>35.8</u>	<u>36.0</u>	<u>40.8</u>	<u>35.7</u>	<u>33.6</u>
穂肥以後P分施	32.1	33.8	<u>33.6</u>	40.2	<u>31.0</u>	<u>32.9</u>
同一肥料分施	<u>35.3</u>	<u>38.5</u>	<u>38.2</u>	<u>43.3</u>	<u>36.0</u>	<u>30.6</u>
無リン酸(6~8年)	2.4	2.8	2.9	3.9	2.7	3.0

注) 下線の数字は本年リン酸施肥後の土壌分析値

~18日で30~40日苗を用いた。植付様式は24×24cm(17.4株/m²), 1株3本植とした。水管理は一般栽培に準じ, 中干しは出穂前28~35日の7日間行った。

4) 土壌および植物分析

土壌中の可給態リン酸および植物体の窒素, リン酸の分析法は第1章に記載したとおりである。

第2項 試験結果及び考察

1) 土壌中の可給態リン酸含量

3か年にわたり, 作土のBray第2液可給態リン酸を経時的に測定し, とくに全量基肥リン酸およびリン酸追肥後の含量の変化を追跡調査した。第84表は1974年と1975年の結果を示した。その中で基肥P区では0.7kgP₂O₅/a全量基肥のため, 生育初期において, 他の区より4~5mgP₂O₅/100g高い傾向がみられるが, 生育後期においては無リン酸区を除く全区はほぼ同様

な含量となった。

時期別の可給態リン酸含量は, これまでの結果からみれば, 生育後半に高まるが, 本実験においては, かえって生育初期に高い傾向がみられた。これについては湛水前の土壌の乾燥程度が強かったこと, 湛水開始から第1回の測定まで1か月以上経過していたこと, また花こう岩質土壌は頁岩質土壌に比べ, 弱還元においても可給態リン酸が増加しやすいことなどが原因としてあげられる。

なお, 無リン酸区の可給態リン酸含量は2.4~3.9mgP₂O₅/100gであり, リン酸施肥区より1/10程度と非常に少なく, 経時変化も小さい。この値はこれまでの結果から, 生育はもちろん収量に対しても影響を及ぼすほどの低含量である。

2) 水稻の生育とリン酸および窒素含量, 肥料リン酸と土壌リン酸の水稻生育に及ぼす

第85表 水稻の分けつ穂数とリン酸含有率の推移

(1974年)

区名	分けつ数 (本/m ²)				穂数 成熟期	茎葉 P ₂ O ₅ (%)					
	7月	7月	7月	7月		7月	7月	8月	出穂期	成熟期	
	5日	16日	23日	31日		5日	16日	1日			
標準 (基肥P)	165	357	359	352	306	1.11	1.09	0.69	0.69	0.36	0.61
追肥以後 P 分施	170	364	366	354	304	1.08	1.08	0.73	0.71	0.34	0.61
穂肥以後 P 分施	164	348	351	351	304	1.12	1.05	0.69	0.68	0.34	0.60
同一肥料分施	172	350	351	351	308	1.14	1.07	0.71	0.66	0.34	0.61
無リン酸 (6~8年)	103	175	214	275	252	0.31	0.34	0.29	0.49	0.11	0.53

注) 下線の数字は本年リン酸施肥後の生育ならびに含有率

第86表 成熟期水稻のリン酸含有率

区名	茎葉 P ₂ O ₅ (%)				籾 P ₂ O ₅ (%)			
	1974年	1975年	1976年	平均	1974年	1975年	1976年	平均
標準 (基肥P)	0.36	0.32	0.35	0.34	0.61	0.65	0.61	0.62
追肥以後 P 分施	0.34	0.33	0.34	0.34	0.61	0.65	0.61	0.62
穂肥以後 P 分施	0.34	0.37	0.35	0.35	0.60	0.64	0.59	0.61
同一肥料分施	0.34	0.34	0.34	0.34	0.61	0.67	0.62	0.63
無リン酸 (6~8年)	0.11	0.11	0.11	0.11	0.53	0.53	0.50	0.52

第87表 水稻のリン酸および窒素吸収量

(kg/a)

区名	茎葉+籾の P ₂ O ₅ 吸収量				茎葉+籾の N 吸収量			
	1974年	1975年	1976年	平均	1974年	1975年	1976年	平均
標準 (基肥P)	0.63	0.56	0.59	0.59	1.24	1.18	1.26	1.23
追肥以後 P 分施	0.62	0.56	0.57	0.58	1.27	1.21	1.25	1.24
穂肥以後 P 分施	0.59	0.59	0.58	0.59	1.19	1.23	1.32	1.25
同一肥料分施	0.62	0.58	0.58	0.59	1.24	1.18	1.25	1.22
無リン酸 (6~8年)	0.37	0.37	0.32	0.35	0.93	1.00	0.93	0.95

効果については、すでに第3章、第2節で明らかにしたように、初期生育に対する反応は、肥料から由来するリン酸が土壌リン酸より大きい。すなわち、土壌の Bray 第2液可溶性リン酸が 40 mg P₂O₅ / 100 g 程度では、リン酸基肥や追肥によってリン酸吸収量を促すことが考えられる。

このため、作付期間において、リン酸施肥時期を変えた場合の生育の変化および体内リン酸含量の推移をみた。その結果は第85表に示し

た。7月5日の分けつ初期の分けつ数は、無リン酸においてはリン酸区の約6割と少ないが、リン酸全量基肥施用に対し追肥以後 P 分施区および穂肥以後 P 分施区は、その時期にはまだ追肥を行っていないが、ほとんど差がみられない。また、追肥以後も基肥 P 区と変わらず、同一肥料分施区においても大差がない。

茎葉のリン酸含有率は、無リン酸区では、とくに生育初期に低く、後期に若干高まるが、リ

第88表 水稻の収量および収量構成要素

区 名	精 玄 米 百 分 比				3 か 年 平 均					
	1974年	1975年	1976年	平 均	わら重 (kg/a)	籾数 ($\times 100$ a)	登熟 歩合 (%)	玄 米 千粒重 (g)	籾/ わら (比)	籾数 (本/m ²)
標 準 (基肥 P)	(59.0)	(54.9)	(52.8)	100	64.1	284	75.4	22.1	1.10	815
追肥以後 P 分施	100	100	101	100	63.6	286	78.2	22.1	1.10	813
穂肥以後 P 分施	98	99	101	99	63.1	279	75.5	21.9	1.12	814
同 一 肥 料 分 施	101	99	100	100	63.1	278	73.2	22.1	1.12	816
無リン酸(6~8年)	94	97	90	94	51.8	277	79.0	21.6	1.27	277

注) () は標準区の精玄米重 (kg/a)

ン酸施肥区より低い。一方、リン酸施肥の処理区間では差が認められない。

第86表に示した成熟期のリン酸含有率についてみるに、リン酸の全量基肥区と追肥区に差がなく、とくに穂肥以後にリン酸を施用しても籾のリン酸含有率に変化のないことがうかがわれた。

つぎに、窒素、リン酸の吸収量についてみた結果は第87表のようである。リン酸の施肥時期によっては変化がない。無リン酸区は吸収量が劣り、リン酸区の約5.9%となり、窒素吸収量も低い傾向にあった。

このように、リン酸施肥区においては、分けつ数の増加速度あるいは水稻のリン酸含有率には、リン酸の施肥時期を変えてもほとんど変化がみられない。このことから、その年に施肥し

たリン酸の効果はとくに現われておらず、土壌リン酸として40mg P₂O₅/100gの可給態リン酸が存在すれば充分な生育を示すものと考えられた。

3) 収量ならびに米質

基肥P区に対してリン酸分施各区の収量比および収量構成要素について、3か年の結果を第88表に示した。この表に示すように、リン酸施肥法によって籾数および登熟歩合には多少の違いがみられるが、穂数および千粒重には差がなく、また精玄米重においても分施肥による差は認められない。一方、無リン酸区の成熟期茎葉のリン酸含有率はリン酸区の1/8と低く、籾の含有率も低下したが、精玄米収量指数は、9.4と高い。これを収量構成要素からみると、登熟歩合、1穂粒数には差がなく、千粒重は僅

第89表 リン酸施肥法による白米の食味試験結果

		総合	外観	香り	味	粘り	硬さ
信 頼 区 間 推 定 値 (I)		±0.35	±0.31	±0.31	±0.37	±0.35	±0.37
平均 (\bar{x})	穂肥以後 P 分施区	0.13	0.08	0.25	0	0.08	-0.21
	同 一 肥 料 分 施 区	-0.08	-0.04	-0.08	-0.08	0	0.08
	無リン酸(6~8年)区	-0.04	0.13	0	0.08	0.21	0.08
判 定	穂肥以後 P 分施区	-	-	-	-	-	-
	同 一 肥 料 分 施 区	-	-	-	-	-	-
	無リン酸(6~8年)区	-	-	-	-	-	-

注) 基準=標準(基肥P)区

判定=-は基準との間に有意差がない

×は基準より悪い

○は基準より良い

実施時期=1974年12月('74年産米)

かに低い。しかし最も影響の大きいのは穂数であることが表から明らかである。

ところで、リン酸は米質、とりわけ食味に関係する⁸⁸⁾といわれているので、基肥P区を基準にして、リン酸分施の各区および無リン酸区について食味パネルテストを実施した。その結果は第89表のとおりである。判定の結果、3処理区とも基準(基肥P)に対し有意差が認められない。すなわち、無リン酸区は粗のリン酸含有率が若干低下したが、食味は変わらず、また穂肥以後のリン酸追肥によっても味は良くなるということがみられた。

4) 一般水田のリン酸の施肥法について

これまで行ってきた花こう岩質土壌における水稻に対する一連のリン酸試験から、この種水田でのリン酸施肥体系として、全量基肥施用の必要性の少ないことが考えられた。すなわち、湛水土壌のBray第2液可給態リン酸が $20\text{ mg P}_2\text{O}_5/100\text{ g}$ 前後でリン酸施肥は分けつ増加に関与しなくなる。換言すればそれ以上にリン酸を施用しても分けつ増にならない。これについては第1章で述べた。

ところで、古くからの一般農家の水田では、現在、土壌のリン酸含量がどれほど存在しているかについて、主として広島県中南部の花こう岩質と流紋岩質水田の作土について調べた。その結果第77図のように、リン酸吸収係数は400~500が最も多い。湛水土のBray第2液可給態リン酸は $20\text{ mg P}_2\text{O}_5/100\text{ g}$ 以下の水田はな

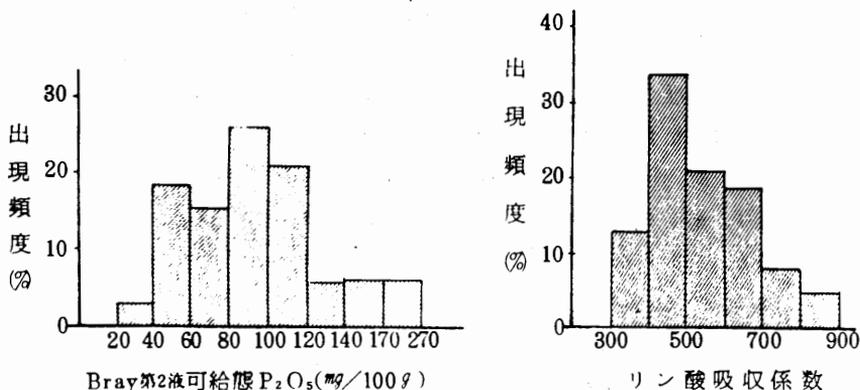
い。頻度割合の高い所は $80\sim 100\text{ mg}/100\text{ g}$ であり、含量の多い所では $270\text{ mg}/100\text{ g}$ にもおよんだ。

さて、本試験田の湛水土壌のBray第2液可給態リン酸含量は、リン酸施肥で $30\sim 40\text{ mg P}_2\text{O}_5/100\text{ g}$ であり、現地水田土壌より低含量である。このような土壌においても全量基肥リン酸区による初期の分けつ数の増加ならびにリン酸含量の増加は認められなかった。一方、リン酸追肥によっても稲体のリン酸含量は増加しなかったことから、水稻は施肥リン酸を積極的に利用し、その含量を高めているとは考えられない。

生育の経過に伴う下葉の枯上り現象は、基肥P区でやや多く、無リン酸区で少くまた、リン酸後期追肥区および同一肥料分施区においても少ないように観察された。これについては稲体の有機成分、すなわち炭水化物代謝や蛋白代謝の部位別検討が必要と思われる。

リン酸の施肥法と食味の関係については、その年の産米の結果からでは、粗中のリン酸含有率が若干低下しても味において有意差がなく、またリン酸追肥によってもよくなることは認められなかった。

以上のことから、古くからの施肥リン酸の蓄積量が多い現地水田では、移植水稻に対してリン酸の全量基肥施用がよいとする根拠に乏しい。むしろ基肥リン酸量を控えた方が生育からみて好ましいとも思われた。また、これまでの結果から、この種の水田では2~3年はリン酸無施



第77図 現地水田土壌(作土)のBray第2液可給態リン酸含量およびリン酸吸収係数とその出現頻度(点数38点)(1973年)

肥を行っても減収にはならないであろう。しかしリン酸は吸収量に見合うリン酸施肥料を基肥・追肥を含めて施肥するのが妥当と考える。

すなわち、水稻作付期間中に同一化成肥料を用い、リン酸も窒素と同じ割合で分施する方法は、水稻の収量や品質を落とさず、また施肥の簡易化につながるものと考えられる。

第2節 要 約

1) 湛水土のBray第2液可給態リン酸が30~40 $\text{mgP}_2\text{O}_5/100\text{g}$ 存在する水田で、リン酸の全量基肥施用に対し、分施が水稻の生育収量に及

ぼす効果について検討した。

2) リン酸の全量基肥施用によって、とくに初期の分けつ数が増加することはなく、また、リン酸施肥時期を変えることによる稲体のリン酸含量の変化も認められなかった。

3) 玄米収量にリン酸施用時期による差はなく、食味についても特別の関係はみられなかった。

4) 以上のことから、移植水稻に対し、従来のリン酸の全量基肥施用より、三要素含有の同一肥料を基肥から穂肥まで一貫して用いる方法は、収量を落とさず、施肥の簡易化につながる施肥体系と考えられた。

第7章 総 括

水田土壌におけるリン酸の行動や水稻のリン酸吸収、あるいはその役割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リン酸施肥に対する水稻の反応が鈍いこともあって、その施肥技術に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、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が低下していない例が多く、リン酸施肥効果の小さいことが知られている。しかし一部では窒素施肥量の2倍近くも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研究はほとんどみられない。

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、暖地における水稻に対するリン酸施肥効果の現われにくい理由の解明と、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施用試験を基盤にして、1967年から1976年にわたって実施したものである。

まず、長期リン酸試験圃場における水稻生育

期間の土壌リン酸の可給化量と水稻生育、リン酸吸収量および体内炭水化合物含量の関係について検討した。

つぎに、水稻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よる可給態リン酸含量の多少と水稻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量の比較を行い、花こう岩質土壌の特性として塩基置換容量との関連、および鉄含量の多少とリン酸の肥効、またリン酸の初期投与および窒素追肥の効果に関して検討した。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追求した。さらにこれらの結果をふまえて、リン酸施肥法の改善を図った。得られた結果の概要はつぎのごとくである。

1) 土壌のBray第2液可給態リン酸含量と水稻生育

1930年より長期継続して行われてきているリン酸試験田における最近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、窒素多量堆肥で98と収量低下が少ない。また裏作リン酸区では収量低下がみられない。これら土壌の湛

水下における Bray 第 2 液 (0.1 N HCl, 0.03 N NH₄F) 抽出可給態リン酸含量は、各作リン酸区 50~100 mg P₂O₅/100 g, 裏作リン酸区 20~50 mg/100 g, 各作無リン酸区 2~8 mg/100 g であり、土壤還元の発達とともに増加傾向を示した。

また、この試験と二・三の圃場試験から、分けつ増加に対する Bray 第 2 液可給態リン酸量は 20~30 mg P₂O₅/100 g まで反応し、これ以上では分けつ増に影響がみられないことがわかった。一方、玄米収量に対する可給態リン酸含量は 5 mg/100 g 以下で減収する 경우가多く、6 mg/100 g 以上では収量にに対する影響は少ない。これらのことから、本地帯では生育・収量に対する土壤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) 水稻体成分と生育の関係

リン酸施肥効果の認められる水稻体のリン酸含有率をみるに、分けつ増加に対しては、分けつ期のリン酸含有率が 0.7% P₂O₅ 以下であり、玄米収量に対しては、分けつ期の含有率が 0.30~0.45% P₂O₅ 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、処理間の差もこの部位で大きく現われる。生育時期別では分け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、無リン酸区では栄養生長期間に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水稻体の炭水化物の時期別含量から考えて、各作リン酸区では炭水化物代謝の時期が早められ、分けつ数の減少が大きくなるが、各作無リン酸区では蛋白代謝の期間が延び無効分けつ数が少なくなる。反面、出穂期が遅延する。しかし穂重の増加と出穂期以後の茎葉重の減少割合からみて、各作無リン酸区では、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にくい生育相となることを明らかに

した。

3) 水管理を伴う栽培法におけるリン酸の肥効

土壤水分の目標を pF1.5 においた弱い長期中干し処理を施すと、土壤の Bray 第 2 液可給態リン酸含量は中干しによる土壤酸化によって低下するが、その度合は少ない。水稻生育との関係では、可給態リン酸が 3 mg P₂O₅/100 g 以下の場合には、中干しにより、水稻はリン酸吸収が抑制されて収量は低下する。しかし、可給態リン酸が 5~6 mg/100 g 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、収量は低下しない。さらに 30 mg/100 g 前後では、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、土壤は酸化的に経過し、可給態リン酸含量も若干低く経過した。

直播の湛水時期とリン酸の関係では、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、リン酸区で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 5 mg P₂O₅/100 g から 3 mg/100 g に低下しても直播栽培は分けつ数の確保が容易なため、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壤は、低リン酸含量の土壤で比較的酸化的な条件の栽培でも、水稻のリン酸の吸収の低下は少なく、とくに乾田直播栽培では、収量に対する土壤の可給態リン酸の下限が常時湛水よりさらに低いことが認められた。

4) 堆肥連用のリン酸の肥効への影響

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 第 2 液可給態リン酸含量は 7 mg P₂O₅/100 g であり、一方、無機質の各作無リン酸区 4 mg/100 g と若干の差が認められた。この理由としては、施用堆肥の含有リン酸によるものと、有機物のキレート作用などによる有効化の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、堆肥に含有され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、および堆肥連用の累積効果として、石灰型リン酸の増加からリン酸が有効化されやすいことを明らかにした。

5) 花こう岩質土壤におけるリン酸の可給化特性

普通水田で、全リン酸を $150 \text{ mg P}_2\text{O}_5 / 100 \text{ g}$ 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 第2液可給態リン酸含量の変化について調べた。佐賀土壤（海河成沖積土および庄原土壤（頁岩土壤））では、酸化状態で可給態リン酸含量は約 $10 \text{ mg P}_2\text{O}_5 / 100 \text{ g}$ であるが、還元化とともに増加し、最大値は $80 \sim 100 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ 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 $25 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ 、還元状態で $50 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ となり、可給化されるリン酸量が少ない。これに対し花こう岩質土壤は、酸化状態で $50 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ 、還元状態で $84 \text{ mg} / 100 \text{ g}$ と酸化状態においても還元時の60%が可給態リン酸で占められ、また全リン酸に対する可給化量も大であった。

湛水による可給態リン酸含量の変動の大きい佐賀土壤などでは、2価鉄含量の変化が大きいことから、リン酸の可給化は2価鉄含量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、抽出リン酸量はこの方法では NH_4F の影響で若干多くであるが、不可給態のリン酸が多いと思われた。これに対し、花こう岩質土壤はこれらの含量が少なく、リン酸吸収係数も低いことから、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

花こう岩質土壤では一般に塩基置換容量（CEC）が小さい。そこでこのこととリン酸肥効との関係について検討した。リン酸吸収係数を変えずに、主としてCECの要因のみを変えた場合のリン酸の肥効について調べるため、CEC大の土壤としては花こう岩質土壤にゼオライトを加え、一方、CEC小の土壤は無添加として供試した。生育初期の分けつをみるに土壤の低

リン酸レベルにおいてもCEC小の土壤はCEC大の土壤より分けつ数が多い。このことは同じ分けつ数を確保するのに、CEC小の土壤は大の土壤よりリン酸含量が少くても達せられることを示す。この要因として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ことが考えられた。

玄米収量に対しては、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、リン酸多肥区においては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。したがって、この種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に肥効が高く、それはCEC小の土壤においてより明らかであった。

7) 鉄添加のリン酸の肥効に対する影響

花こう岩質水田土壤に水酸化第二鉄を $200 \sim 800 \text{ mg Fe}_2\text{O}_3 / 100 \text{ g}$ 添加した場合、土壤リン酸の多少の水稲生育への影響について検討した。鉄添加量の増加によって遊離酸化鉄は0.93% Fe_2O_3 から1.61%まで高まったが、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。水稲栽培期間の土壤の Bray 第2液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、また2価鉄含量にも大差がない。形態別リン酸含量では、鉄添加の多い区で鉄型リン酸の増加がみられた。

湛水状態においては、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後期生育が良好となり、秋落対策的效果があらわれた。また、可給態リン酸が $2 \sim 3 \text{ mg P}_2\text{O}_5 / 100 \text{ g}$ の低い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がみられた。これらのことから、本土壤で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、リン酸含有量率と本田での生育・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

などを検討した。窒素施肥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率の異なる苗の本田における発根量は、苗の窒素3.7% N, リン酸1.74% P_2O_5 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けつ数が旺盛であったが、稈は細く、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、収量増も期待できなかった。苗の良否と収量との関係は、とくに苗のリン酸含有率が0.5% P_2O_5 以下で減収となるが、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の収量水準においては、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) 窒素施肥法によるリン酸の肥効の変動

湛水土壤のBray第2液可給態リン酸が、20 mg P_2O_5 / 100 g 存在するリン酸区と、約4 mg / 100 g 存在する無リン酸区圃場において、窒素の施用方法および長期の弱中干し処理などを施した場合の収量は、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、窒素基肥重点の場合、リン酸区で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、リン酸区で窒素の供給法により生育相を秋優りにすることによってリン酸の効果が認められた。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る。そのため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、とくに大きな期待は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

長期継続圃場試験での22年間の気象と水稻生育のとりまとめから、分けつ増加に対してリン酸肥効の現われる気象条件は、7月上・中旬の平均気温が22.5~23.5℃で、低温区分に当該し、またその期間の日照時間が多い年であることが認められた。一方、玄米千粒重に対する気象条件は、9月上・中旬の登熟期の平均気温が

20~21℃の低温区分に該当し、日照は並であることであった。しかし本地帯の平年気象は7月は高温・寡照であり、9月は高温の日が多いため、リン酸の肥効が現われにくい気象条件であるとみられた。

一方、リン酸の多少に対する堆肥施用の効果をみた結果、リン酸区では高温・多照の好条件下で堆肥施用の効果がみられたが、他方無リン酸区では低温・寡照の年に無機肥料のみでは減収率が大きい。堆肥併用では少ないことから不作の年に堆肥の効果が認められた。

また一方、高温は低温よりリン酸吸収量が高く、しかも穂揃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すると考えられた。

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、同一品種による水稻栽培試験で、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著しく稔実不良となって減収した。一方、それぞれの地帯の適期栽培に準じた場合には、大朝では初期低温のため、低リン酸土壌で初期生育が停滞し、栄養生長期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、八本松で適期のポット栽培を行った水稻の大朝への移動から、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は早い。両場所におけるBray第2液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かった。このことから八本松における水稻のリン酸吸収の増加は、土壌の可給態リン酸の変化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) 暖地の花こう岩質水田におけるリン酸の施肥法

当地帯の水田では、長年にわたる施肥リン酸の蓄積によって湛水土壌の可給態リン酸が80~100 mg P₂O₅/100 g と高いところが多い。また水稻の生育状況からみて全量基肥施用の必要性が少ないと考えられたのでリン酸の分施について検討した。その結果、可給態リン酸が30 mg/100 g 程度存在する水田では、リン酸の全量基肥と分施で生育・収量およびリン酸吸収量にも差がなかった。生育状況の観察では、リン酸分施に下葉の枯れ上がりの少ない傾向がみられた。このことから水稻に対するリン酸の施肥法としては、全量基肥とするよりも、むしろ分施肥をとり、三要素含有の同一銘柄の化成肥料を基肥、追肥と一貫して施肥することが合理的であるととも施肥の簡易化につながるものと考えられた。

謝 辞

本研究は農林水産省指定試験として、広島県立農業試験場において行ったものである。

本論文のとりまとめにあたり、綿密な御校閲と御指導を賜った大阪府立大学農学部教授山口益郎博士、同教授中條博良博士、同教授上田博夫博士、同助教授駒井豊博士および御懇篤な御教示を賜った前農業技術研究所化学部長松坂泰

明博士（現日本大学農獣医学部教授）、元同部串崎光男作物栄養科長（現草地試験場環境部長）、前同部作物栄養科鈴木皓博士（現九州農業試験場環境第二部長）に謹んでお礼申し上げます。

また有益な指導助言を与えられた京都大学名誉教授川口桂三郎博士、元中国農業試験場坂井弘博士、元同場吉沢孝之博士（現野菜試験場環境部長）、農事試験場環境部土壌肥料研究室長志賀一一博士、同場作業技術部土壌肥料研究室長諸遊英行博士に深甚なる謝意を表します。

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、元場長原田哲博士、前次長岡田正行氏から有益な御教示と更宜を与えられたことに対して深く感謝します。

本研究の実施に当っては広島県立農業試験場土壌肥料部主任研究員佐近剛氏、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、前同部研究員古井シゲ子氏（現広島県果樹試験場）および業務課職員の各位の絶大なる協力をいただいたことに対して深甚の謝意を表します。

引 用 文 献

- 1) 相見豊三・沢村浩・混野昭：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ぞれに關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) 天辰克己・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. 水田状態土壌中における磷酸の行動に関する研究（第一報）. 土肥誌 15 : 182-202.
- 5) 荒木荒一・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. 水田土壌中における遊離鉄の行動に関する研究（第1報）水田土壌における遊離鉄の還元と土壌有機物. 土肥誌 41 : 1-6.
- 7) 馬場赴・橘高昭雄：1953. 水稻の茎葉基部における澱粉の形成について. 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. 水田土壌磷酸の固定及び有効形態の変化. 土肥誌 34 : 18-22.
- 11) 江景村：1963. 水田土壌中の無機磷酸の

形態とその有効性。土肥誌 34 : 360—364.

12) 江景村 : 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・前重道雄・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) 藤原彰夫・大平幸次 : 1959. 高等植物における磷の生理機能に関する研究(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) 藤原彰夫・大平幸次 : 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) 藤原彰夫・大平幸次・黒沢諦 : 1959. ————— (第3報)(水稻編)磷と鉄。マンガン・窒素の相互関係が水稻茎葉中の無機代謝に及ぼす影響について。土肥誌 30 : 269—277.

21) 藤原彰夫・大平幸次 : 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) 藤原彰夫・石田博 : 1963. 冷害稻の栄養生理(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) 藤原彰夫・石田博 : 1963. ————— (第2報)最高分げ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) 船引真吾・吉永長則・上村親士 : 1967. ————— (第6報)有効態リン酸について。土肥誌 38 : 394—396.

27) 古川秀顕・川口桂三郎 : 1969. 満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 土壤肥料全編 養賢堂. 419—436.

30) 原田登五郎 : 1959. 水田土壤の有機態窒素の無機化とその機構に関する研究。農技研報 B 9 : 171—173.

31) 原田登五郎・橋元秀教・湯本利信 : 1951. 水田土壤の有機態磷酸の無機化に就いて(予報)土肥要旨集 21 : 325—326.

32) 長谷川奎治・宮本慎之丞 : 1962. 水稻直播栽培における施肥法に関する研究 IV. 窒素質肥料の施肥時期について。中国農研 24 : 63—65.

33) 橋本雄油・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.

34) 波津久文芳 : 1951. 水稻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.

35) 林武・龍嶋康夫 : 1955. 土壤有機磷の作物による利用に関する研究(第2報)土壤有機磷の無機化について。土肥誌 26 : 135—138.

36) 林武・龍嶋康夫 : 1956. ————— (第5報)オキシ酸添加による土壤有機磷の溶出及び無機化の促進について。土肥誌 26 : 440—444.

37) 平野俊 : 1958. 磷酸。農林省振興局研究部監修 土壤肥料全編 養賢堂. 552—553.

38) 平崎勇雄・森山貞策・北村愼 : 1967. 水稻乾出直播栽培における窒素の分施肥について

II. 中国農研. 36: 18-19.

39) 広島農試: 1964-1978. 肥料施用方法改善試験成績書.

40) 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

41) 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.

42) 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 3集: 7-12.

43) 本谷耕一: 1961. 東北地方の火山灰水田の稲作改良に関する土壤肥料学的研究. 東北農試報 21: 1-143.

44) 本谷耕一: 1974. 地力増強について. 関西土壤肥料協議会要旨集. 42: 33-42.

45) 本谷耕一・速水昭彦: 1964. 水稻の生育調整に関する栄養生理的研究. 東北農試報 30: 13-93.

46) 本谷耕一・吉野喬: 1965. リン酸施肥に関する基礎研究. 東北農試報 32: 41-60.

47) 細川秀一・田中幸彦: 1951. 水稻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.

48) 細川秀一・田中幸彦・石田良晴: 1952. 水稻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.

49) 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稻と移植水稻へおおよぼす影響について. 佐賀農試報 11: 15-32.

50) 飯塚俊介・増幸三・米倉正直: 1967. 水稻乾田直播栽培の技術改善. 42: 450-454.

51) 石塚喜明: 1982. 水耕栽培による水稻生育各期における窒素・リン酸・加里吸収利用状態の研究. 日農化誌 8: 849-867. 917-931, 1016-1028.

52) 石塚喜明・田中明: 1953. 水稻の生育経過に関する研究(第2報)各種有機成分の水稻

生育経過に伴う消長. 土肥料 23: 113-116.

53) 石塚喜明・田中明: 1953. _____ (第3報)各形態の窒素および炭水化物の消長. 土肥料 23: 159-165.

54) 石塚喜明・田中明: 1953. 水稻生育相. 特にその栄養生理的特性の地域性に就て水稻施肥技術体系確立への一資料(予報). 土肥誌 24: 173-175.

55) 石塚喜明・田中明: 1969. 水稻の栄養生理. 増改訂版 養賢堂 381-387.

56) 石塚喜明・田中明: 1952. 寒地と暖地の水稻栽培技術の比較. 農及園 27: 587-541.

57) 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.

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

59) 鎌田金英治・岡田晃治: 1976. 水稻栽培における堆肥施用の効果 - 栽培条件と根の活性を中心にして - 農及園 51: 867-871.

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

61) 川口桂三郎: 1952. 水田土壤のリン酸問題. 大杉繁監修 土壤化学 養賢堂 734-745.

62) 経済企画庁総合開発局: 1972. 土地分類図付属資料(広島県).

63) 木村次郎・千葉春雄: 1948. 窒素養分の水稻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.

64) 耕土培養事業十周年記念誌: 1961. 耕土培養十周年記念会 1-925.

65) 小泉順三: 1967. 水稻乾田直播栽培の技術上の問題点. 農及園 42: 1791-1794.

66) 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 水田における土壤リン酸の有効化と溶脱の一機構. 食糧科報 22: 59-67.

67) 小島懋・川口桂三郎: 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.

- 68) KOMOTO, Y. : 1971. Growth and yield of rice plants in low phosphorus soils. *JARQ* 6 : 63-67.
- 69) 河本泰 : 1967. 水田における燐酸の施用効果. 農技研 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動行 第3集 : 12-15.
- 70) 河本泰・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 E 1 : 137-149.
- 71) 河本泰・佐近剛・中藪正之 : 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.
- 72) KONNO, S. AND AIMI, R. : 1959. Behaviour of phosphorus compounds during the ripening of rice plants. 日作紀 27 : 408-411.
- 73) 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.
- 74) 小坂博・安川傳朗 : 1988. 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.
- 75) 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.
- 76) 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.
- 77) 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.
- 78) 前田乾一・竹内誠・出井嘉光 : 1968. 水田土壌の構造と諸要因の相互関係. 土肥要旨集 14 : 107.
- 79) 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.
- 80) 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壤肥料試験成績集 18 : 1 - 183.
- 81) 松村安治・岩崎清治 : 1968. 燐酸収取係数および有効態燐酸を指標とした客土効果に関する研究. 土肥要旨集 15 : 52.
- 82) 松島省三・山口俊二・真中多喜夫・岡部俊 : 1953. 稲作にはどの程度の日射の強さが必要か. 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.
- 83) 松島省三・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.
- 84) 松島省三・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及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.
- 85) 松浦勝美 : 1963. 水稲早期栽培の施肥法に関する試験 I. 早期栽培に対する三要素適量試験. 山口農試報 14 : 99-105.
- 86) 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.
- 87) 南松雄 : 1976. 水田地力の現状と有機物施用の意義. 北農会 43 : 3-17.
- 88) 宮松一夫・寺島利夫 : 1970. 米の品質におよぼす土壌ならびに施肥の影響. 第2報 施肥法と施肥改善の影響. 福井農試報. 7 : 1-13.
- 89) 森谷睦夫 : 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.
- 90) 森谷睦夫・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が発現とその有効化について. 日作東北支部報 4 : 25-26.
- 91) 村上英行・古山光夫 : 1971. りん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.
- 92) 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.
- 93) 村山登・吉野実・大島王男・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.
- 94) 村山登・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: 823-827.

95) 村田吉男: 1964. わが国の水稻収量の地域性に及ぼす日射と温度の影響について。日作紀 33: 59-68.

96) 西山登・中島征志郎・西村利幸: 1967. 水稻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.

97) 野田昌也・斉尾健二: 1951. 土壤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.

98) 野田昌也・斉尾健二: 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.

99) 野口弥吉: 1949. 水稻栄養生理に関する研究〔8〕8. 幼穂形成期の窒素作用について。農及園 24: 757-760.

100) 農林省農業改良局・広島農試: 1953. 水稻に対する磷酸肥料の効果に関する試験成績(第1報)水稻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.

101) 農林省農業改良局・広島農試: 1954. —————(第2報)二毛作水田における磷酸の消費調整。1-75.

102) 農林省農産園芸局肥料機械課: 1976. 最近の肥料事情。P 3-14.

103) 農林省農林水産技術会議事務局: 1963. 1964. 施肥改善事業成績.

104) 農林省農林水産技術会議事務局: 滋賀農試: 1963. 水稻に対する磷酸肥料の効果に関する試験。指定試験(土肥) 3: 1-142.

105) 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 P 65-73.

106) 岡本昌雄・佐伯秀章: 1960. 土壤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.

107) 岡本昌雄・佐伯秀章: 1961. —————(第7報)磷酸の吸収と土壤の諸性質との関係。土肥誌 32: 107-110.

108) 岡崎晁・宇佐見宣・佐藤豊: 1969. 水稻

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稻の生育に及ぼす影響。福島農試報 5: 33-41.

109) 岡島秀夫・高城成一・高橋成人・本田強: 1958. 水稻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.

110) 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)土壤によるリン酸の吸収および土壤に吸収されたリン酸の溶出。土肥誌 33: 326-330.

111) 大島正男・村山登: 1960. 水稻の窒素栄養に関する研究〔1〕窒素栄養を異にする水稻の生育各期における遮光の影響。農技研報 B 10: 1-36.

112) 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。中国農試報 E 2: 229-245.

113) 尾崎英二・西川光一・大谷勇三・丸山武雄・瀧岡巖一: 1961. 水稻に対する三要素試験。石川農試報 3: 1-8.

114) RUSSELL, E. J. AND E. W. RUSSELL: 1950. Soil condition and plant growth. 藤原彰夫他訳。p48-45, p56-58, p.507, p.546-549, p.648.

115) 佐伯秀章・岡本昌雄: 1953. 土壤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.

116) 佐伯秀章・岡本昌雄: 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: 86-40.

117) 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。長野農試報 33: 24-27.

118) 坂井弘・河本泰・大山信雄: 1968. 暖地水稻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.

119) 坂上行雄: 1975. 本邦水田土壤の地力窒素に対する玄米重の依存性。土肥誌 46: 116

— 124.

120) 齊藤武雄・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.

121) 佐藤馨・森谷陸夫・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 水稻直播栽培に関する土壤肥料試験成績集 P 18—20.

122) 関谷宏三：1970. リン酸の比色定量法. 土壤養分測定法委員会編. 土壤養分分析法. 養賢堂 P 94—108.

123) 志賀一：1970. 鉄・遊離酸化鉄. 土壤養分測定法委員会編. 土壤養分分析法. 養賢堂 P 326—328.

124) 志賀一：1973. 寒地稲作における土壤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 水田土壤の磷酸供給力の測定について. 北海道農試報 105 : 31—49.

125) 志賀一・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壤における磷酸の行動と水稻生育. 土肥要旨集 12 : 44.

126) 志賀一・西野紀子：1967. ————— (第3報) 可給態磷酸レベルと水稻生育. 土肥要旨集 13 : 76.

127) 志賀一・西野紀子：1969. ————— (第5報) 窒素施用量との関係一. 土肥要旨集 15 : 89.

128) 志賀一・西野紀子：1971. ————— (第7報) 土壤中磷酸と水稻生育の関係の年次変異. 土肥要旨集 17 : 107.

129) 志賀一・西野紀子：1975. ————— (第8報) 平衡溶液中磷酸濃度と磷酸供給能. 土肥要旨集 21 : 83.

130) SHIGA, H. : 1976. Effect of phosphorus fertility of soils and phosphate application of lowland rice. *JARQ* 10 : 12—16.

131) 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.

131) 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.

133) 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.

134) 鈴木新一・仁紫宏保・河本泰・上野義視・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.

135) 田畑清光・手塚利正・手塚規：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.

136) 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学的管理について 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.

137) 立谷寿雄・宇佐見昭宣・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.

138) 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.

139) 高橋治助・柳沢宗男・河野通佳・矢沢文男・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.

140) 高橋治助・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.

141) 高橋達児：1970. アルミニウム 可溶性アルミニウム. 土壤養分測定法委員会編 土壤養分分析法 養賢堂 P 94—107.

142) 高盛内匠・酒匂正男：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.

143) 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.

144) 田中明：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.

145) 田中明・渡辺紀元・石塚喜明：1969. 難溶性リン酸塩の溶解度よりみた湛水土壤溶液リン酸濃度の解析. 土肥誌 40 : 406—414.

- 146) 低位生産地調査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.
- 147) 寺沢保房：1942. 水稻の生育に及ぼす堆肥中に保有せらるる燐酸の肥効に就て. 農及園 17: 53—55.
- 148) 戸川義次・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.
- 149) 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.
- 150) 東海林覚・樋口福男：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.
- 151) 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.
- 152) 徳永美治：1970. 水田の燐施用. 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.
- 153) 徳永美治・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.
- 154) 植田幸輔：1951. 光線の強度が水稻生育に及ぼす影響. 三重大報 2: 9—33.
- 155) 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.
- 156) 上沢正志・内田好哉：1976. 土壤燐の評価に関する研究(第1報) 一分けつ期水稻の燐含有率と土壤の無機燐画分. 土肥要旨集 22: 88
- 157) WADA, K.: 1964. Phosphate equilibria in arable soils different in soil type and management. *Soil Sci. Plant Nutr.* 10: 191—198.
- 158) 和田光史: M. L. Jackson: 1962. 速度論を適用した土壤Al, Fe燐酸塩のNH₄F抽出による分離定量, 土肥要旨集 8: 27.
- 159) WILLIAMS, D. E. AND JAMES VLAMIS: 1962. Differential Cation and anion absorption as affected climate. *Plant Physiol.* 37: 198—202.
- 160) 山中金次郎・木村悟：1958. 土壤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.
- 161) 山崎傳：1966. 微量要素と多量要素. 博友社 P 119—140.
- 162) 山崎傳・香山俊秋・小菅伸郎：1968. 水稻作における長期落水の効果について. 北陸農試報 6: 1—18.
- 163) 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.
- 164) 山下鏡一：1956. 水稻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. 青森農試場 3: 11—19.
- 165) 山下鏡一：1967. 堆肥の連用が水田土壤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.
- 166) 柳沢宗男：1962. 水田の生産力的分類と水稻栄養について. 土肥誌 33: 116—124.
- 167) 柳沢宗男・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 B14: 41—171.
- 168) 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.
- 169) 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. 山形農試法 2: 32—33.
- 170) 吉野喬・本谷耕一：1970. 水田における燐酸施肥の技術的考察. 東北農試報 40: 185—208.
- 171) 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 Effect of 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.

9) On the method phosphatic fertilizer application for the rice plants.

There were experiment the method of phosphatic fertilizer application in the paddy field.

That contains 30-40 mg of available $P_2O_5/100$ g in submerged soils that extracted by the Bray No.2 method.

There no difference in the yield of brown rice and the quality of rice grain between some method of split application of phosphatic fertilizer to basic application one only.

However, the method of split application of phosphate fertilizer were observed better on the growth pattern of rice plants rather than basic application.

From above results, there were considered that placement of compound fertilizer (contained three elements) through the growing period of rice plants were simplifying system for fertilizer application without reducing the yields of brown rice.

広島県農業試験場報告 第43号

暖地の花こう岩質水田における
リン酸の肥効に関する研究

昭和56年11月20日 印刷

昭和56年11月30日 発行

編集者 広島県立農業試験場
発行者 広島県立農業試験場
広島県東広島市八本松町

印刷所 さ か た 印刷
広島市中区広瀬北町5-21 電話(0822)31-0887
