

わたなべ かずひろ

氏名（本籍地） 渡 邊 和 洋

学 位 の 種 類 博士（農学）

学 位 記 番 号 農第 764 号

学位授与年月日 平成 24 年 3 月 8 日

学位授与の要件 学位規則第 4 条第 2 項

論 文 題 目 定植前苗施用によるリン酸肥料の有効利用

博士論文審査委員 （主査）教 授 南 條 正 巳

教 授 國 分 牧 衛

教 授 金 濱 耕 基

論文内容要旨

【はじめに】

リン(P)は、多量必須元素の1つであり、肥料成分としても窒素とカリウムに並ぶ3大要素として、作物栽培には欠かせないものになっている。しかし、施肥されたリンは土壤中で鉄やアルミニウムと結合し、不溶化するため、作物が吸収利用できず、その利用率は低く、特に我が国に広く分布する黒ボク土壌でその傾向が顕著である。そのため、作物が実際に吸収利用する5～20倍ものリン酸肥料が施用されている。その一方で、リン酸肥料の原料であるリン鉱石の枯渇が懸念されるようになり、肥料価格も上昇してきている。したがって、今後も農業生産を安定的に持続していくためには、リンの利用効率を高める技術開発が急務となっている。

そこで、本研究では、『①リン酸肥料は、リン酸の固定力の強い土壌にではなく、固定力の小さい培土に施用する』と『②作物の生育初期に、根の近傍にリン酸施肥を行い、可能な限りリン酸の吸収を促進させる』の2つの基本的な考え方に立ち、新たな施肥法＝「定植前リン酸苗施用法」を提唱し、1)適切な定植前リン酸苗施用方法の検討、2)圃場試験によるリンの利用率向上とリン酸施肥量の削減の実証、および3)本施肥法による初期生育促進のメカニズムの解明を行った。

なお、試験は福島県福島市の東北農業試験場畑地利用部(現東北農業研究センター福島キャンパス)において実施した。

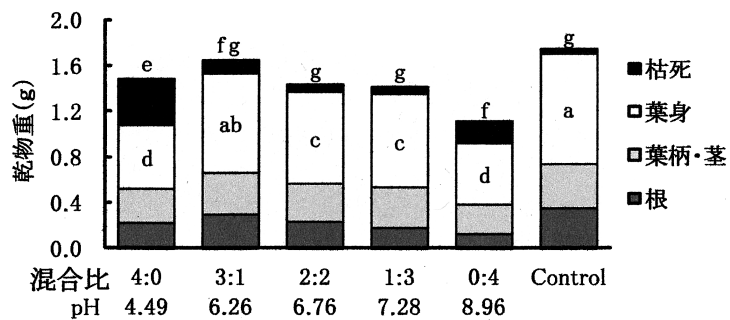
【適切な定植前リン酸苗施用方法の検討】

まずはじめに、3葉期のキャベツポット苗に、リン酸カリウム等のリン酸塩水溶液で $P=0.2 \sim 1.0$ gを与えたところ、処理10日後には、無施用苗の3～4倍のリンを吸収することが確認できた。しかし、その一方で、クロロシスや葉枯れなどの高濃度障害が発生することがあった。

そこで、濃度障害の発生を回避するための適切なリン酸の定植前施用条件について検討を行った。この結果、まず、処理リン酸塩としては、リン酸アンモニウムで障害が特に発生しやすいこと、またカルシウム塩では溶解度が低いため、水溶液の調整が困難なことから、リン酸カリウムが最も適切であると考えられた。

また、処理溶液のpHが5以下や8以上になると、障害の発生が顕著になるため(第1図)、第1リン酸カリと第2リン酸カリを、モル比で3:1の割合で溶かし、pHを約6.2に調整して使用することとした。

高濃度リン酸耐性について、10品種のキャベツで比較したところ、完全な耐性を持つ品種を見出すことはできなかったが、障害の発生程度には品種間差が認められた。そして、高濃度リン酸処理に比較的耐性のある品種においては、 $P=0.8\%$ 程度の処理までは適用可能であることが明らかとなった。



第1図 処理リン酸溶液の第1リン酸カリと第2リン酸カリの混合比がキャベツの部位別乾物重に及ぼす影響。

図中の異なるアルファベットは、各品種、部位ごとに処理間にTukeyの多重検定で5%水準で有意差があることを示す。
なお、a~dは総生存部重、e~gは枯死重について示す。

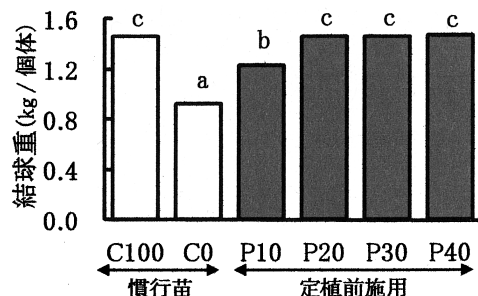
また、調査対象を種間レベルまでに広げると、イネ科作物は、双子葉植物に比べて高いリン酸濃度でも、障害の発生は少ない傾向が明らかとなった。

この他、強光や極端な高湿度条件も、障害の発生を助長する傾向が認められた。

【圃場試験によるリンの利用効率向上とリン酸施肥量の削減の実証】

1) ポット苗キャベツへの取り組み

ここまでの結果をもとに、第3葉が完全展開したキャベツポット苗に、 $P=0.75\%$ のリン酸カリ水溶液を25, 50, 75, 100mLずつ施用することで(75, 100mL施用は2日に分け施用)、苗へのリン施用量を変えて、リン酸無施肥の圃場に定植を行い、定植前リン酸苗施用法により、総リン酸施用量をどの程度まで削減できるかを検討した。慣行区(C100区)の施肥量は、 $P_2O_5=180 \text{ kg / ha}$ で、栽植密度41667株/haから一株あたりの施肥量は、 $P=1887\text{mg}$ である。したがって、苗ごとの定植前リン酸施用量は、それぞれ慣行施肥の10, 20, 30, 40%に相当する $P=188, 377, 566, 757\text{mg}$ になる(それぞれ、P10, P20, P30, P40区)。なお、試験を行った土壌は、リン酸吸収係数が約19 g/kgの淡色黒ボク土畑であった。



第2図 定植前リン酸施用がキャベツ結球重に及ぼす影響。

棒グラフ中の同じアルファベットは、5%水準で有意差がないことを示す。

この結果、第2図に示したように、慣行施肥量に対し、20%相当量の $P=377\text{mg}$ を含むリン酸カリ水溶液をポット苗に与えてから定

植することで、圃場へのリン酸施肥を行わなかった場合でも、慣行施肥と同等の収量を得ることができた。そして、このときのリンの利用率は、慣行施肥の 14.8% に対し、43% にまで大幅に向上した(第 3 図)。リンの利用率が高まった第 1 の要因は、当初の狙いどおり、圃場に直接施用される場合には不可給化してしまうリン酸を、本施肥法により節約できたことであると考えられた。また、P20 区の総 P 吸収量は、C100 区より約 100mg 少ないにもかかわらず(第 3 図)、同等の収量が得られたと云うことは、定植前リン酸苗施用により、慣行施肥における贅沢吸収分を節減する効果もあったものと考えられた。一方で、定植直後から、リンの吸収量が多く、生育初期の個体群生長速度(CGR)が高く、初期生育が促進された点も大きな要因であった(第 4 図)。さらにリンだけでなく、窒素やマグネシウムなどの必須養分の吸収も促進された点も注目された。

また、この定植前リン酸苗施用法を同じ圃場で 3 作続けても、収量の低下は認められず、土壌中へのリンの蓄積を回避することもできた。

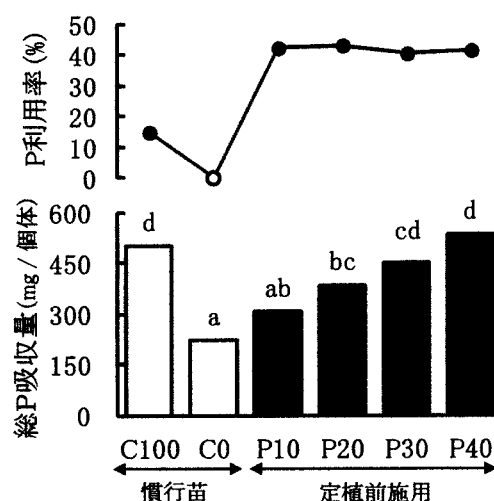
なお、定植時にリンを含む肥効調節型肥料を植え穴施用すると、濃度障害は発生しなかったが、初期生育の促進効果が認められず、十分な減肥効果も得られなかった。

このように、ポット苗キャベツでは、定植前リン酸苗施用法により総リン酸施用量を慣行の 20% にまで削減することができ、リン酸の利用率を高めるために本施肥法が有効であることが示された。

2) セル成型苗キャベツでの取り組み

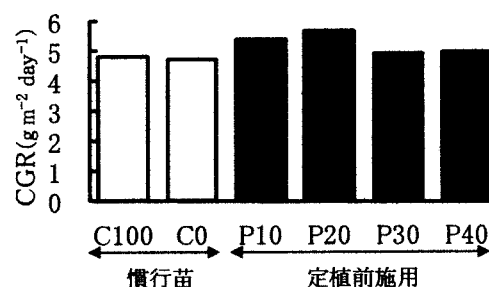
次に、生産現場での機械移植体系への適用の観点から、本施肥法のセル成型苗への適用について検討を行った。

ポット苗に比べて、苗土量が少ない 128 穴セル成型苗キャベツでは、リン酸カリウム



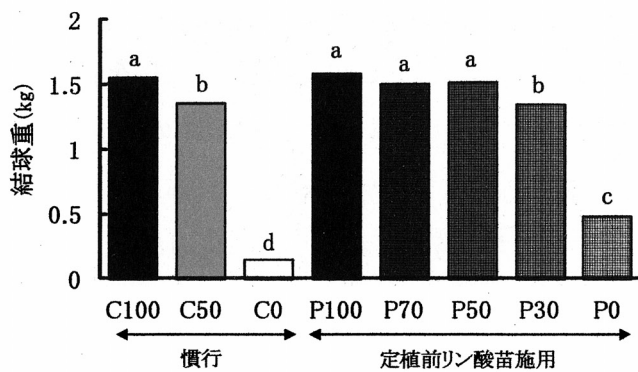
第3図 定植前リン酸苗施用が収穫時のP利用率と総P吸収量に及ぼす影響。

棒グラフ中の同じアルファベットは、Tukeyの多重検定で5%水準で有意差がないことを示す。

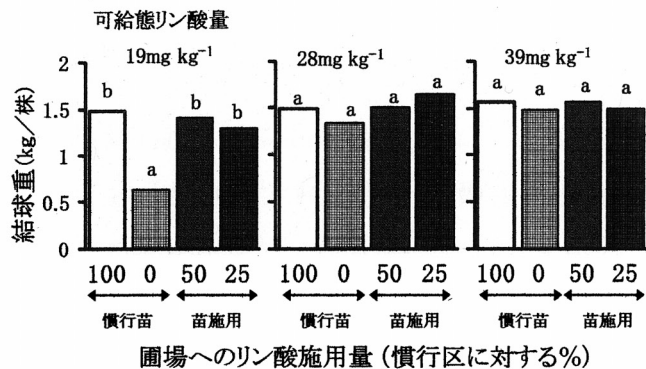


第4図 定植前リン酸施用がキャベツの生育初期のCGRに及ぼす影響。

溶液の濃度を P=1.0%以上とすると、障害の発生が顕著になったため、P=0.5%での処理とした。また、セル成型苗では、所定量のリン酸カリ溶液をセル毎に施用することが困難なので、セルトレイごと 1 時間の浸漬処理を行った。この苗を、リン酸の施用量を変えた圃場 ($P_2O_5 = 0 \text{ kg / ha}$ (無施用) ~ 180 kg / ha (慣行)) に定植した。圃場へのリン酸施肥には、過リン酸石灰を用い、全面全層施用した。この結果、セル成型苗キャベツでも慣行施肥に比べ 20%ほどの初期生育の促進が認められ、圃場へのリン酸施肥量を慣行の 50%にまで削減しても、慣行施肥並みの収量が得られ(第 5 図)、このときのリンの利用率は 35.7%であった。



第5図 128穴セル成型苗キャベツへの定植前リン酸苗施用と圃場へのリン酸施用量が結球重に及ぼす影響。図中の異なるアルファベットは、5%水準で有意差があることを示す。



第6図 リン酸肥沃度の異なる圃場に定植前リン酸苗施用を行ったキャベツを定植したときの結球重。

図中の異なるアルファベットは、圃場ごとにTukeyの多重検定で5%水準で有意差があることを示す。

また、可給態リン酸量(トルオーグ法)が 19, 28, 39 $\text{mg P}_2\text{O}_5 / \text{kg}$ と異なる圃場で、キャベツセル成型苗の定植前リン酸苗施用法による栽培を試みたところ、第 6 図に示したように、最も可給態リン酸が少ない 19 mg 区では、前述の試験結果と同様に、圃場へのリン酸施用量を慣行の 50%まで削減できたが、28 mg 区、39 mg 区では 25%まで削減しても、慣行施肥区と同等の収量が得られた。

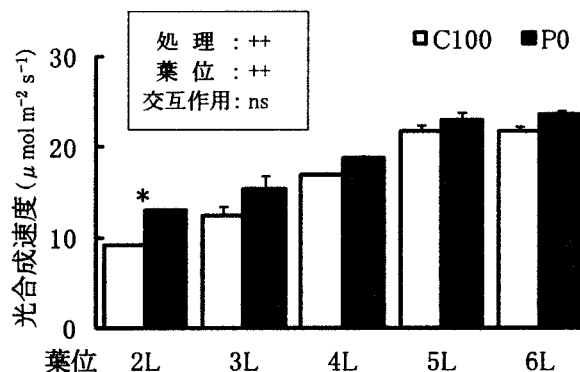
以上のように、キャベツのセル成型苗でも、定植前リン酸施用法が適用可能であり、土壌の可給態リン酸量に応じて、圃場に適量のリン酸を施用することで、機械移植体系の中でもリン酸施肥量の削減を図ることが可能であることが明らかとなった。

また、キャベツ以外に、スイートコーンでも本施肥法により、リン酸施肥量を大幅に削減することができた。

【定植前リン酸苗施用法による初期生育促進のメカニズムの解明】

定植前リン酸苗施用により、定植後の初期生育が促進されるメカニズムについて、ポット試験により検討を行った。定植前リン酸苗施用により、まず下位葉を含め、植物体全体のリン含有率が高まった。これに加えて、定植後14日前後に気孔コンダクタンスが高まったことから、活着が進んだことが推察できた。これらの結果、リンと水だけでなく、窒素やマグネシウムなどの無機養分の吸収も促進され、光合成速度が高まり

(第7図)、生育初期の乾物増加速度が高まったものと考えられた。



第7図 定植前リン酸苗施用を行ったときのキャベツの葉位毎の光合成速度。

図中のバーは標準誤差を、*は5%水準で葉位毎に処理間で有意差があることを、また枠内の++、nsは分散分析の結果、各要因効果、交互作用がそれぞれ1%水準で有意、有意でないことを示す。

【まとめ】

以上の結果から、今回開発した定植前リン酸苗施用法は、慣行の施肥法に比べ、リンの利用率を大幅に高め、リン酸肥料の施用量を削減することが可能であり、リン酸肥料の有効利用を図るために、大変効果的な技術であることが明らかとなった。

今後、生産現場に適した定植前リン酸苗施用の施用技術や、個々の作物種や土壌のタイプごとの適切な管理法などについて、なおいっそうの検討を加え、本施肥法を実用化していくことは、リン酸資源の効率的な利用を通じて、農業生産の長期安定化および増産に資するものと考えられる。

渡邊和洋・森谷茂・渡邊好昭・藤井國博 1997 . 定植前重点施用によるリン酸施用量の削減. 日本土壤肥料学雑誌: 68, 622-628 (1997)

渡邊和洋・渡邊好昭・新野孝男・新田恒雄 2005 . キャベツの定植前リン酸苗施用によるリン酸施用量の 80 %削減と土壤の化学性の変化. 日本土壤肥料学雑誌: 76, 35-31 .

Watanabe K., Murayama T., Niino T., Nitta T. and Nanzyo M. 2005. Reduction of phosphatic and potash fertilizer in sweet corn production by pre-transplanting application of potassium phosphate to plug seedlings. *Plant Production Science*: 8, 608-616

渡邊和洋・新野孝男・村山徹・南條正巳 2007 . 移植前リン酸苗施用による水稻の初期生育促進. 日本作物学会紀事: 76, 181-188

渡邊和洋・新野孝男・村山徹・南條正巳 2011 . 定植前リン酸苗施用がキャベツとトウモロコシの生育初期の乾物生産, 光合成, 根の活性および養分吸収に及ぼす影響. 日本作物学会紀事: 80, 391-402

論文審査結果要旨

近年の土壌肥料分野では、リン資源の枯渇懸念と価格高騰、水系における環境影響などの問題から、地表面におけるリンの動態制御に広い関心が寄せられている。そして、各方面においてリン資源の回収・再利用技術の開発が進められている。そのような中で、回収されたリンの最終的な行き先は肥料として土壌に入る農業生産への利用であることが多い。ところが、土壌に一旦リンが施与されると、そこからの作物への吸収は効率が低く、大きな課題となっている。

当博士論文は土壌を使う作物生産の場でリンの利用を効率化する技術の一端を切り開く研究成果である。その技術の要点は、「リン酸肥料をリン酸の固定力の弱い倍土に施与する」とこと、「作物の生育初期に、根の近傍にリン酸液を施与して可能な限り吸収を促進させる」ことである。

はじめに、3葉期のキャベツ苗のポット栽培により、施与するリン酸液のpH やリン酸塩の種類、濃度が高すぎるための障害の出ない条件を検討した。その結果、リン酸塩については、アンモニウム塩やナトリウム塩よりもカリウム塩とし、pH を約 6.2 とする溶液が好適であることを見いだした。濃度条件は耐塩性の強い品種では 0.8%程度まで上げることが可能であった。

次に、上記のリン酸液肥料をリン濃度 0.75%とし、苗へのリン施与量を変えて、リン酸無施肥で淡色黒ボク土圃場を使い、露地栽培を行った。比較のための慣行区には 79 kgP/ha のリン酸肥料を施肥した。その結果、慣行リン酸施肥区に相当する結球重を得た定植前リン酸苗施用区のリン施与量は、慣行区のリン酸施与量の わずか 20%であった。これらの場合のリン利用率は、慣行施与区の 14.8%に対して、43%まで大幅に向上した。すなわち、リン酸液の定植前苗施与により、リン酸肥料を慣行の 1/5 まで減らせる可能性が示された。

さらに、生産現場での苗の機械移植に本技術を適用するために、セル成型苗への適用を検討した。ポット苗に比べて苗土の量が少なく、リンの処理濃度も 0.5%に下げる必要があった。したがって、効果は上記の結果より下がったが、それでも慣行の 50%減の施与量で慣行と同等の収量を得た。

可能な減肥の度合いは圃場のリンレベルによっても影響を受けた。圃場のトルオーグ法による可給態リンレベルが 19, 28, 39 mg P₂O₅ kg⁻¹ の場合について比較すると、28, 39 mg P₂O₅ kg⁻¹ では慣行の 25%まで肥料を少なくすることができた。

定植前リン酸苗施用により、幼植物体全体のリン濃度が高まること、気孔コンダクタンスが高まり、活着が進んだこと、光合成速度が高まり、生育初期の乾物増加速度が高まったことなどが、その効果の理由であると推察された。

リン酸肥料は生育初期に効くということは経験的に比較的以前から知られていたが、本論文ではそれを現在のリン危機への対応技術につなげており、審査員一同は本論文を博士論文として合格と判定した。