

不耕起栽培継続田への家畜糞堆肥連用が冬作期間中の無機態リン酸溶脱に及ぼす影響

| | |
|-------|--|
| 誌名 | 日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan |
| ISSN | 00290610 |
| 著者 | 大家, 理哉 山本, 章吾 久山, 弘巳 |
| 巻/号 | 78巻3号 |
| 掲載ページ | p. 237-243 |
| 発行年月 | 2007年6月 |

不耕起栽培継続田への家畜糞堆肥連用が冬作期間中の 無機態リン酸溶脱に及ぼす影響*1

大家理哉*2・山本章吾*3・久山弘巳*4

キーワード 不耕起栽培, 水田, 家畜糞堆肥, 無機態リン酸, 溶脱

1. はじめに

家畜糞堆肥などの畜産有機質資源は窒素やリン酸, 加里を多く含んでいる。畜産有機質資源を合理的に利用するためには, 化学肥料代替効果を解明することのほか, 連用した場合に畜産有機質資源由来の窒素やリン酸が表面流去や溶脱によって農地系外へ流出する危険が高まるため, 環境負荷の少ない土壤管理方法を確立することが求められている。

硝酸性窒素とは異なり, リン酸では土壤によるリン酸固定が働くため, 降下浸透に伴って土壤下層へ溶脱する量は少ないとされている¹⁾。しかし, リン酸吸収係数の低い土壤では施肥リン酸が下層へ移動しやすい²⁾こと, 不耕起栽培継続田では入水時に施肥リン酸が溶脱しうること³⁾から, 条件によってはリン酸でも溶脱リスクが高まることと予想される。

現在, 国内農耕地土壤の可給態リン酸含量は増加傾向にある⁴⁾。その背景には, 農地に施用されるリン酸のうち, 化学肥料に由来するリン酸以外に, 家畜糞堆肥など畜産有機質資源に由来するリン酸の施用割合が高いこと, そして, 施肥設計時にこれらに由来するリン酸量が考慮されていないことが指摘されている⁵⁾。畜産有機質資源の利用拡大に伴い, 農耕地土壤におけるリン酸富化が, さらに進むことが予想される。また, 牛糞堆肥に含まれるリン酸のうち易溶性無機態リン酸の割合は52~79%と高く⁶⁾, カラム試験において堆肥施用によってリン酸が主に無機態として溶脱しうることが報告されている⁷⁾。畜産有機質資源の合理的な利用を図る上で, 農耕地におけるリン酸の挙動について十分な注意が払われなければならない。

水の降下浸透に伴う肥料成分の溶脱を調査する方法には様々な手法があるが, ポーラスカップを用いて土壤溶液を吸引採取する方法の適用事例は多い。しかし, 乾燥時に採取が困難なこと, 亀裂や粗大孔隙等を通じた速い流れによ

る溶脱を評価できない可能性があることが指摘されている⁸⁾。そこで, 本報告では Pampolino ら⁹⁾が硝酸性窒素の溶脱をモニタリングする際に用いた resin 法の適用を試みた。本手法は陽/陰イオン交換樹脂を含有する resin capsule (以下, カプセル) を, 地表面と 60 度の角度になるように設置したカプセル導入用の outer tube を通じて, 地下部に設置し, これに吸着された成分をもとに溶脱程度を評価する手法である¹⁰⁾。測定位置上部の土層を攪乱しないため, 土壤中の亀裂や孔隙を経由する, いわゆるバイパスフローを考慮した評価が可能といわれている⁹⁾。また, ラインメーター等を埋設する方法に比べて設置が簡便で, 小面積の試験区に適用できる。

水田機能の維持と資源循環を図るため, 堆肥など畜産有機質資源の利用を前提とした飼料用水稲など自給飼料の生産は, 今後増加することが予想される。本報告では, 省力化と資源循環を目的とし, 家畜糞堆肥の利用を前提とし, 夏作に飼料用水稲, 冬作にイタリアンライグラスを作付けする不耕起栽培継続水田を対象に, resin 法により無機態リン酸溶脱量の調査を行った。しかし, この手法で調査を行う場合, 湛水期間中に田面水がカプセル導入用に設置した outer tube を伝ってカプセル設置位置に浸透することや, 降下浸透した水が outer tube 内にたまることから, 湛水期間中は溶脱量を正確に反映しない可能性がある。そこで, 非湛水期間である冬作期間だけを対象に, 無機態リン酸の溶脱量を調査し, 家畜糞堆肥など畜産有機質資源の連用によるリン酸蓄積とリン酸溶脱との関係を検討した。

2. 試験方法

1) 栽培体系

岡山県農業総合センター農業試験場内の不耕起栽培継続水田 (灰色低地土: リン酸吸収係数 15 g kg^{-1} 以下) において, 冬作であるイタリアンライグラス作付け期間中のリン酸溶脱量を調査した。この圃場では 1999 年の飼料用水稲作から不耕起栽培を開始した。5 月から 11 月の夏作に飼料用水稲を, 11 月から 5 月の冬作にイタリアンライグラスをそれぞれ作付けした。なお, イタリアンライグラスの播種は飼料用水稲立毛中に行った。不耕起栽培開始時から資源循環ならびに施肥コストの低減を図るために家畜糞堆肥の利用を前提とし, 1~5 作間に籾殻牛糞堆肥 30 Mg ha^{-1} または 10 Mg ha^{-1} を連用し, 5 作目に鶏糞ペレット堆肥 4 Mg ha^{-1} を施用した。リン酸溶脱量の調査は冬作

*1 本報告の一部は 2002 年度日本土壤肥料学会関西支部大会および 2005 年度日本土壤肥料学会島根大会において発表した。

*2 岡山県農業総合センター農業試験場 (現在, 岡山県備中県民局農林水産事業部 710-8530 倉敷市羽島 1083)

*3 同上 (709-0801 赤磐市神田沖 1174-1)

*4 同上 (現在, 岡山県農業総合センター総合調整部 709-0801 赤磐市神田沖 1174-1)

2006 年 8 月 21 日 受付・受理

日本土壤肥料学雑誌 第 78 巻 第 3 号 p. 237~243 (2007)

である 6 作目 (調査 I : 2001 年 11 月~2002 年 5 月) および 8 作目 (調査 II : 2002 年 11 月~2003 年 5 月) 期間中に実施した。

2) 調査 I (6 作目 : 2001 年 11 月~2002 年 5 月) における調査概要

リン酸施用量とリン酸溶脱量との関係を明らかにするために、不耕起栽培開始後のリン酸施用履歴が異なる各試験区のリン酸溶脱量を調査した。各試験区における由来別のリン酸施用量は表 1 のとおりで、試験区 No. I-1~I-8 では 1~5 作間に投入されたリン酸の大部分は籾殻牛糞堆肥に由来した。試験区 No. I-9, I-10 では堆肥など畜産有機質資源の施用履歴がなく、施用されたリン酸は化学肥料に由来した。試験区あたりの面積は 25 m² で無作為に配置した。

リン酸溶脱量を調査した 6 作目の施肥は表 1 のとおりであった。試験区 No. I-1~I-8 では鶏糞ペレット堆肥 (現物 1 kg あたり T-N 25.0 g, P₂O₅ 68.4 g, K₂O 38.1 g) と牛尿 (尿 1 L あたり T-N 3.81 g, P₂O₅ 0.18 g, K₂O 9.73 g) を用いた。基肥に鶏糞ペレット堆肥を 3.6 Mg ha⁻¹, 3 月に追肥として牛尿を 7.9 kL ha⁻¹ 施用した区のリン酸施用量は 247 kg ha⁻¹ であった。基肥に鶏糞ペレット堆肥を 1.2 Mg ha⁻¹, 3 月に追肥として牛尿を 23.6 kL ha⁻¹ 施用した区のリン酸施用量は 86 kg ha⁻¹ であった。試験区 No. I-9, I-10 では基肥に過リン酸石灰で 80 kg ha⁻¹ のリン酸を施用した。

3) 調査 II (8 作目 : 2002 年 11 月~2003 年 5 月) における調査概要

調査 II では、一時的な耕起処理がリン酸溶脱に及ぼす影響について検討した (表 2)。耕起処理は、家畜糞堆肥の連用によって土壌表層に蓄積した有機物およびリン酸を低減させるために行い、ロータリー耕で約 11 cm 深まで耕起した。イタリアンライグラスの播種を飼料用水稲立毛中に行うため、耕起処理は 7 作目の飼料用水稲作付け前に行い、飼料用水稲作を耕起直播栽培とした。次作の 8 作目のイタリアンライグラス作におけるリン酸溶脱量を調査し

た。

4) リン酸溶脱量のモニタリング方法

リン酸溶脱量の調査は、陽/陰イオン交換樹脂 (1 個あたり 2.2 mmol_e) を含有するカプセル (PST-1¹⁰, UNIBEST, Inc.) を地表下 50 cm 深に 1 試験区あたり 2 連設置し、2~3 週間ごとに回収した。カプセルに吸着された無機態リン酸 (PO₄³⁻) 量の測定は以下のように行った。回収したカプセルを 0.1 kg L⁻¹ 塩化カリウム溶液 20 mL で 20 分間振とうし、ろ液を得た。これを 3 回繰り返して約 60 mL のろ液を得た。ろ液中の無機態リン酸濃度をモリブデンブルー法により測定し、カプセルに吸着された PO₄³⁻ 態のリン酸量を設置期間あたりのリン酸溶脱量 (μg カプセル⁻¹) とし、本文ならびに図表中に記述した。予備試験において、無機態リン酸吸着量が既知のカプセルを供試し、0.1 kg L⁻¹ 塩化カリウム溶液による回収試験を行ったところ、回収率が 95% と高いことを確認した。

5) 土壌分析

各作付け終了後、土壌は表層土 (0~3 cm 深), 作土 (3~13 cm 深), 下層土 (13~26 cm 深) の層位別に採取し、分析に供した。土壌中全炭素, 可給態および水溶性リン酸の分析は土壌環境分析法¹¹⁾ に準じた。土壌中のリン酸は酸化物の P₂O₅ 態として、本文ならびに図表中で記述した。なお、可給態リン酸の抽出はトルオーグ法により行い、可給態および水溶性リン酸の発色操作はモリブデンブルー法により行った。

3. 結果と考察

1) 調査 I (6 作目 : 2001 年 11 月~2002 年 5 月)

各区の 1~5 作間の総リン酸施用量は 280~1,547 kg ha⁻¹ の範囲にあった。化学肥料を施肥した場合に比べて、家畜糞堆肥の多用によってリン酸施用量は増大する傾向を示した。一方、1~5 作間に作物に吸収された (持ち出し) リン酸量は 164~265 kg ha⁻¹ の範囲で試験区間の差は施用量に比べて小さく、リン酸施用量の増大は作物体吸収によるリン酸利用率を 59% から 13% まで低下させた (図表

表 1 1~5 作間および 6 作目の由来別リン酸施用量

| 試験区 No. | 過去 5 年間のリン酸施用量* (kg ha ⁻¹) | | | | 6 作目のリン酸施用量* (kg ha ⁻¹) | | | | | 合計 (A+B) |
|------------|---|------------------|-----|-----------|-------------------------------------|------------------|----|----|-----------|-------------|
| | 籾殻 牛糞 堆肥 | 鶏糞 ペレット 堆肥 | 化成 | 小計 (A) | 籾殻 牛糞 堆肥 | 鶏糞 ペレット 堆肥 | 牛尿 | 化成 | 小計 (B) | |
| I-1 | 1,152 | 274 | 80 | 1,506 | 0 | 246 | 1 | 0 | 247 | 1,753 |
| I-2 | 1,234 | 274 | 39 | 1,547 | 0 | 82 | 4 | 0 | 86 | 1,633 |
| I-3 | 1,152 | 0 | 80 | 1,232 | 0 | 246 | 1 | 0 | 247 | 1,479 |
| I-4 | 1,234 | 0 | 39 | 1,273 | 0 | 82 | 4 | 0 | 86 | 1,359 |
| I-5 | 466 | 274 | 165 | 905 | 0 | 246 | 1 | 0 | 247 | 1,152 |
| I-6 | 466 | 274 | 0 | 740 | 0 | 82 | 4 | 0 | 86 | 826 |
| I-7 | 466 | 0 | 165 | 631 | 0 | 246 | 1 | 0 | 247 | 878 |
| I-8 | 466 | 0 | 0 | 466 | 0 | 82 | 4 | 0 | 86 | 552 |
| I-9 | 0 | 0 | 280 | 280 | 0 | 0 | 0 | 80 | 80 | 360 |
| I-10 | 0 | 0 | 460 | 460 | 0 | 0 | 0 | 80 | 80 | 540 |

* リン酸施用量は P₂O₅ 態として示す。

表2 7作目および8作目の由来別リン酸施用量と1~8作間リン酸施用量の合計

| 試験区 No. | 耕起処理 の有無 | 7作目のリン酸施用量* (kg ha ⁻¹) | | | | | 8作目のリン酸施用量* (kg ha ⁻¹) | | | | | 1~8 作間合計 |
|------------|-------------|------------------------------------|------------------|----|----|-----|------------------------------------|------------------|-----|----|-----|-------------|
| | | 籾殻 牛糞 堆肥 | 鶏糞 ペレット 堆肥 | 牛尿 | 化成 | 小計 | 籾殻 牛糞 堆肥 | 鶏糞 ペレット 堆肥 | 牛尿 | 化成 | 小計 | |
| | | | | | | | | | | | | |
| II-1 | 不耕起継続 | 198 | 274 | 0 | 0 | 472 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2,107 |
| II-2 | 〃 | 198 | 0 | 0 | 0 | 198 | 0 | 0 | 129 | 0 | 129 | 1,686 |
| II-3 | 〃 | 66 | 274 | 0 | 0 | 340 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1,168 |
| II-4 | 〃 | 66 | 0 | 0 | 0 | 66 | 0 | 0 | 129 | 0 | 129 | 800 |
| II-5 | 〃 | 0 | 274 | 0 | 0 | 274 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 636 |
| II-6 | 〃 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129 | 0 | 129 | 669 |
| II-7 | 耕起処理 | 198 | 274 | 0 | 0 | 472 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2,227 |
| II-8 | 〃 | 198 | 0 | 0 | 0 | 198 | 0 | 0 | 129 | 0 | 129 | 1,806 |
| II-9 | 〃 | 66 | 274 | 0 | 0 | 340 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1,494 |
| II-10 | 〃 | 66 | 0 | 0 | 0 | 66 | 0 | 0 | 129 | 0 | 129 | 1,073 |
| II-11 | 〃 | 0 | 274 | 0 | 0 | 274 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 816 |
| II-12 | 〃 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129 | 0 | 129 | 669 |

* リン酸施用量はP₂O₅ 態として示す。

表3 5作目跡地土壤中の層別可給態リン酸、水溶性リン酸および全炭素含量

| 試験区 No. | 可給態リン酸* (mg kg ⁻¹) | | | 水溶性リン酸* (mg kg ⁻¹) | | | 全炭素 (g kg ⁻¹) | | |
|------------|--------------------------------|------|-------|--------------------------------|------|-------|---------------------------|------|-------|
| | 深さ (cm) | | | 深さ (cm) | | | 深さ (cm) | | |
| | 0~3 | 3~13 | 13~26 | 0~3 | 3~13 | 13~26 | 0~3 | 3~13 | 13~26 |
| I-1 | 1,684 | 199 | 66 | 119 | 40 | 5 | 130 | 25 | 10 |
| I-2 | 2,820 | 152 | 83 | 176 | 26 | 8 | 168 | 20 | 11 |
| I-3 | 644 | 193 | 61 | 125 | 36 | 2 | 148 | 24 | 7 |
| I-4 | 1,252 | 148 | 108 | 151 | 22 | 4 | 236 | 22 | 10 |
| I-5 | 381 | 145 | 60 | 58 | 25 | 4 | 49 | 19 | 6 |
| I-6 | 707 | 153 | 98 | 77 | 19 | 3 | 83 | 19 | 8 |
| I-7 | 286 | 159 | 58 | 53 | 18 | 4 | 75 | 23 | 8 |
| I-8 | 177 | 113 | 56 | 64 | 22 | 3 | 87 | 28 | 7 |
| I-9 | 138 | 133 | 39 | 20 | 13 | 2 | 33 | 20 | 5 |
| I-10 | 176 | 101 | 55 | 27 | 8 | 5 | 37 | 16 | 5 |

* リン酸はP₂O₅ 態として示す。

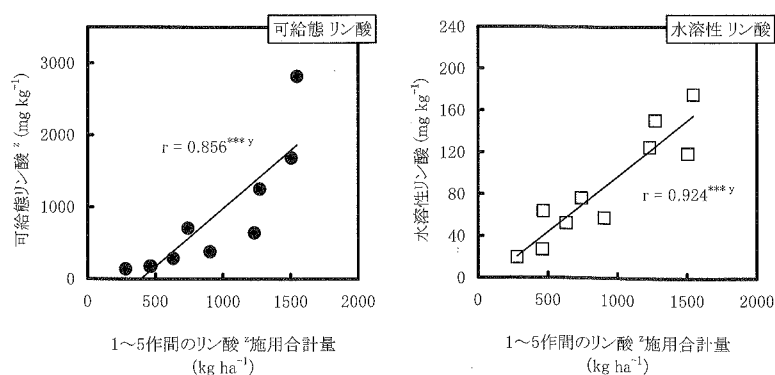


図1 リン酸施用合計量と表層土壌(0~3 cm)中の可給態リン酸(左),水溶性リン酸(右)との関係
* いずれもP₂O₅ 態として示す。*** p<0.001を表す。

省略)。モニタリング開始時にあたる5作目跡地土壤中の可給態および水溶性リン酸含量の垂直分布をみると、表層土で可給態および水溶性リン酸が蓄積していた(表3)。いずれの層位においても、その蓄積量は1~5作間のリン酸施用量に比例した(図1, 表層土のみ)。全炭素含量も同じように表層土で蓄積する傾向にあった(表3)。不耕起栽培継続田でわらを圃場還元する場合、地表面で未分解の有機物層が形成され、腐植やリン酸などが地表面に集積することが報告されている^{12,13)}。調査圃場では飼料用水稻

としての利用を想定しているため、収穫した地上部をすべて持ち出しているが、籾殻牛糞堆肥や鶏糞ペレット堆肥の連用によって、不耕起栽培継続田でわらを圃場還元する場合¹²⁾と同様に、表層土で可給態および水溶性リン酸、全炭素の蓄積が認められた。

各試験区における期間あたりのリン酸溶脱量は1.2~261.6(平均52.5)μgカプセル⁻¹の範囲であった。そして、各試験区における作付け終了時までの累積溶脱量は174.6~978.6(平均525.0)μgカプセル⁻¹の範囲であっ

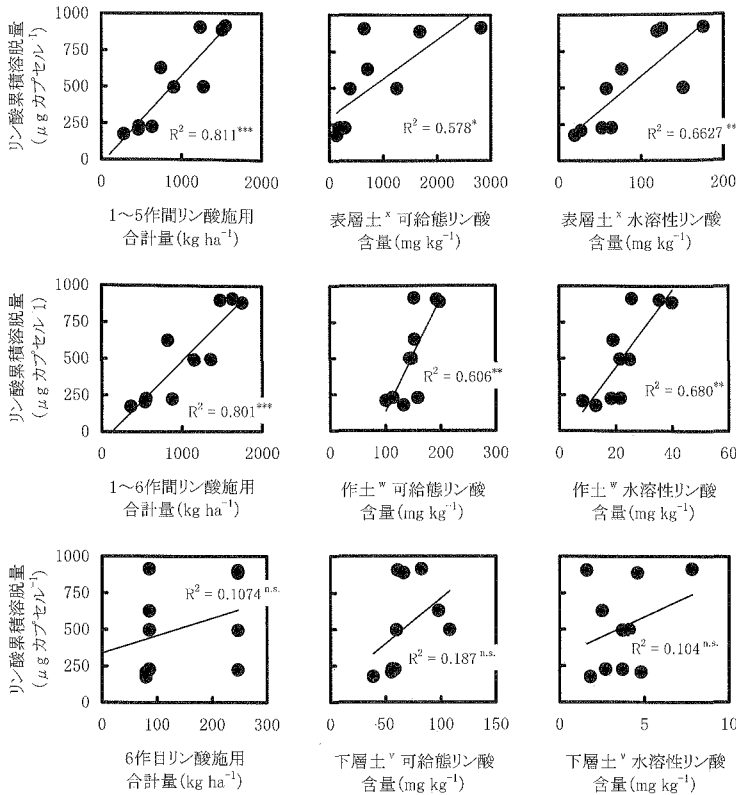


図2 各説明変数とリン酸累積溶脱量との相関図^zならびに単回帰モデルの決定係数^y
^z各説明変数はP₂O₅態としてx軸に、リン酸累積溶脱量はPO₄³⁻態としてy軸に示す。^yn.s. *p*>0.05, * *p*<0.05, ** *p*<0.01, *** *p*<0.001を表す。^x5作目跡地の表層土(0~3cm深), ^w作土(3~13cm深), ^v下層土(13~26cm深)。

た。図2に示すように、リン酸の累積溶脱量を目的変数とする回帰分析を行った。過去5作間のリン酸投入量ならびに1~6作間のリン酸投入量を説明変数とした場合に、高い決定係数が得られたが、6作目のリン酸投入量を説明変数とした場合の決定係数は低かった。また、5作目跡地表層(0~3cm深)および作土層(3~13cm深)の可給態および水溶性リン酸含量を説明変数とした場合、比較的に高い決定係数が得られた。しかし、下層土(13~26cm深)のリン酸含量を説明変数とした場合の決定係数は低く有意でなかった。以上のことから、不耕起栽培継続田におけるリン酸溶脱量は、リン酸施用に伴って表層および作土層に蓄積した易溶性のリン酸量に比例して、増大することが示唆された。一方、カプセル設置位置に比較的近い下層土におけるリン酸量がリン酸溶脱に対する寄与は低いと考えられた。

次に期間ごとの降水量がリン酸溶脱量に及ぼす影響について調べた。データの解析では、堆肥由来のリン酸施肥量が比較的多いグループ(試験区No. I-1~I-4)と比較的少ないグループ(試験区No. I-5~I-8)、堆肥を無施用とし化学肥料だけでリン酸を施用したグループ(試験区No. I-9, I-10)に区分した。各グループの期間ごとのリン酸溶脱量平均値と降水量との関係を検討した(図3)。その結果、堆肥を施用したグループでは降水ピーク時にリン酸溶脱ピークが認められ、リン酸施肥量が多いほど累積溶脱量は増大する傾向を示した。一方で、比較的降水量が多かった調査期間後半のリン酸溶脱量は、いずれのグループも少なかった。その理由は次のように考えられた。イタリアンライグラスの冬期の生育は緩慢であったが、3月20

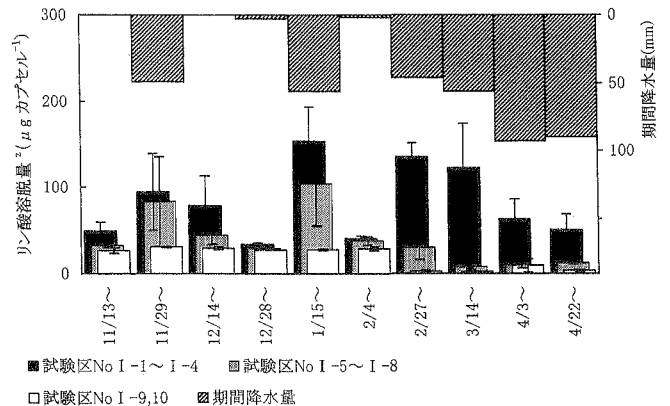


図3 期間あたりのリン酸溶脱量と降水量との関係(図中バーは標準誤差)
^zリン酸溶脱量はPO₄³⁻態として示す。

日時点の草丈は約20cm程度、収穫した5月2日時点では約120cm程度と3月以降の気温上昇とともに生育は旺盛になった。つまり、調査期間後半において、降水量とリン酸溶脱量が比例しなかったことは、イタリアンライグラスの生育が旺盛になり、土壤中のリン酸吸収が盛んになったためと考えられた。一方で、堆肥を無施用とし化学肥料だけでリン酸を施用したグループでは降水に伴うリン酸溶脱の明瞭なピークは認められなかった。

2) 調査II (8作目: 2002年11月~2003年5月)

図4に示すように、不耕起継続区におけるリン酸累積溶脱量は、調査Iと同様に、1~8作間のリン酸総施肥量と正の相関が認められた。しかし、耕起処理区におけるリン酸累積溶脱量は不耕起継続区に比べて顕著に少なく、リン酸総施肥量を反映しなかった。

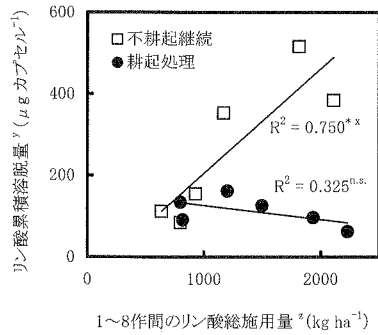


図4 1~8作間のリン酸総施用量と8作目リン酸累積溶脱量との関係

*リン酸総施用量はP₂O₅態としてx軸に示す。yリン酸累積溶脱量はPO₄³⁻態としてy軸に示す。x n.s. p>0.05, * p<0.05を示す。

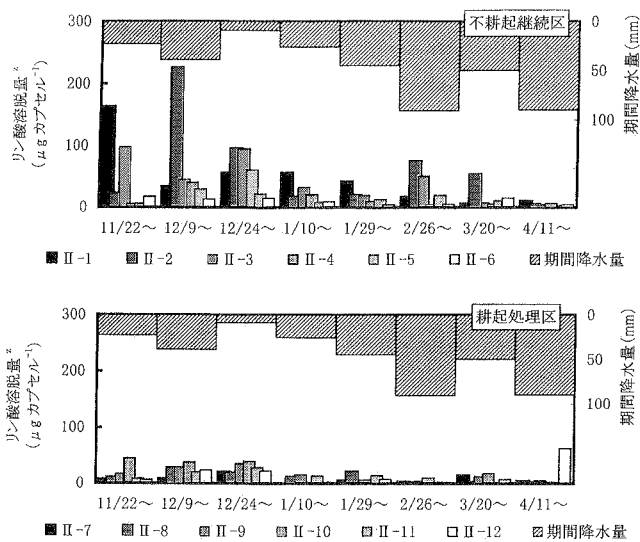


図5 期間あたりリン酸溶脱量と降水量との関係

*リン酸溶脱量はPO₄³⁻態として示す。

その要因を明らかにするために、7作目前に行った耕起処理の有無が土壌化学性に及ぼす影響を検討した。表4に示すとおり6作目および7作目跡地の可給態リン酸含量の

変化から、耕起処理は表層土(0~3 cm深)の可給態リン酸含量を顕著に低下させ、作土層(3~13 cm深)の可給態リン酸含量を増加させる傾向を示した。しかし、下層土(13~26 cm深)の可給態リン酸含量の増減に対する耕起処理の影響は判然としなかった。層位別の土壌の仮比重を調査していないため、可給態リン酸の増減量から移動量を類推することはできないものの、表層土に蓄積していたリン酸は耕起処理によって作土層に移動した以外に、一部は土壌と接触することで難溶性の画分に移行したと考えられた。

調査Iと同様に、期間ごとの降水量が不耕起継続区および耕起処理区のリン酸溶脱量に及ぼす影響について調べた(図5)。不耕起継続区では、降水時にリン酸溶脱が認められ、蓄積リン酸量が多い試験区(表4)で溶脱量は増大する傾向を示した。一方、耕起処理区ではリン酸溶脱は少なく、降水との関係は不耕起継続区に比べて判然としなかった。また、7作目跡地のリン酸蓄積レベル(表4)がほぼ同じで、8作目のリン酸施用量(表2)が同じである不耕起継続区のII-3区と耕起処理区のII-9区をもとにリン酸溶脱量を比較したところ、累積溶脱量は不耕起栽培を継続したII-3区で353.6μgカプセル⁻¹、耕起処理を行ったII-9区で125.6μgカプセル⁻¹と、不耕起栽培を継続した区で上回った。

以上の結果から、耕起処理区におけるリン酸溶脱量の減少は耕起処理による表層土可給態リン酸の難溶化以外に、表層および作土層中のリン酸が容易に下層へと移動しない理由があるものと考えられる。硝酸性窒素の降下浸透に関して、土壌孔隙を経由するバイパスフローが寄与することが報告されている⁹⁾。一方、不耕起栽培では耕起を行わないため、土壌孔隙が切断されずに維持されることが報告されている¹²⁾。また、石橋らは不耕起栽培継続区におけるリン酸溶脱に関して、土壌孔隙がリン酸の溶脱経路として機能する可能性を示唆している¹³⁾。本調査において、土壌中のリン酸含量が同程度であっても耕起処理区でリン酸溶脱

表4 耕起処理が可給態リン酸含量に及ぼす影響

| 試験区 No. | 耕起処理の有無 | 可給態リン酸*(mg kg ⁻¹) | | | | | | | | |
|---------|---------|-------------------------------|----------|--------|---------------|----------|--------|----------------|----------|--------|
| | | 表層土(0~3 cm深) | | | 作土層(3~13 cm深) | | | 下層土(13~26 cm深) | | |
| | | 6作目跡地(A) | 7作目跡地(B) | Δ(B-A) | 6作目跡地(A) | 7作目跡地(B) | Δ(B-A) | 6作目跡地(A) | 7作目跡地(B) | Δ(B-A) |
| II-1 | 不耕起継続 | 2,209 | 2,753 | 545 | 150 | 229 | 79 | 93 | 115 | 22 |
| II-2 | 〃 | 537 | 928 | 391 | 190 | 170 | -20 | 74 | 98 | 24 |
| II-3 | 〃 | 315 | 404 | 89 | 138 | 126 | -12 | 109 | 74 | -35 |
| II-4 | 〃 | 476 | 325 | -151 | 251 | 168 | -83 | 53 | 49 | -4 |
| II-5 | 〃 | 171 | 169 | -2 | 291 | 112 | -179 | 9 | 36 | 26 |
| II-6 | 〃 | 199 | 223 | 24 | 100 | 122 | 22 | 61 | 92 | 31 |
| II-7 | 耕起処理 | 1,816 | 417 | -1,399 | 163 | 399 | 237 | 77 | 103 | 26 |
| II-8 | 〃 | 1,524 | 306 | -1,218 | 175 | 220 | 45 | 35 | 54 | 19 |
| II-9 | 〃 | 900 | 384 | -516 | 138 | 238 | 100 | 36 | 49 | 13 |
| II-10 | 〃 | 616 | 323 | -294 | 143 | 206 | 63 | 22 | 34 | 11 |
| II-11 | 〃 | 148 | 229 | 81 | 107 | 123 | 16 | 21 | 75 | 54 |
| II-12 | 〃 | 231 | 186 | -45 | 143 | 134 | -9 | 46 | 42 | -4 |

*リン酸はP₂O₅態として示す。

量が減少し、降水量との関係が判然としなかったことは、リン酸溶脱にバイパスフローが寄与する可能性を示唆するものと考えられた。

4. 総合考察

本調査ではイオン交換樹脂を含有するカプセルを深さ 50 cm の土壤中に一定期間設置し、これに吸着された無機態リン酸量をリン酸溶脱量とした。しかし、カプセルに吸着されるリン酸は、カプセル近傍を降下浸透するリン酸以外に、カプセル近傍土壌において易溶性の形態で存在するリン酸の一部も吸着されたはずである。また、土壌の還元化によってリン酸が無機態画分に移行し、これが吸着された可能性も考えられる。土壌還元については、調査圃場における非湛水期間中の地下水位は 80 cm 以下であったことから、カプセル設置位置 (50 cm 深) 近傍において還元によるリンの無機化は起こりにくく考えられた。また、カプセル近傍土壌のリン酸含量は調査していないものの、図 2 に示したように、下層土中のリン酸含量よりも、カプセル設置位置から比較的遠い表層および作土層中のリン酸含量を説明変数とした場合に、カプセルに吸着したリン酸量に対する寄与率は高く有意であった。以上から、設置期間中にカプセルに吸着されたリン酸量は表層および作土層から降下浸透してきたリン酸量を反映したと考えられた。

表面流去や代かき時落水の場合を除いて、リン酸は農地系外へ流出しにくいとされてきた¹⁾。しかし、本調査から、リン酸を多量投入した不耕起栽培継続田では、土壌中の易溶性リン酸が増大してリン酸溶脱リスクが高まる結果が得られた。不耕起栽培の継続によって土壌孔隙が発達することが報告されており¹²⁾、本調査において耕起処理区でリン酸溶脱量が減少したことは、土壌孔隙の発達程度がリン酸溶脱に関与する可能性を示唆したと考えられた。赤井らは、耕起移植および耕起直播田に比べて不耕起田で、深さ 50 cm における土壌溶液中の全リン濃度が入水時に 2~4 mg L⁻¹ と高い値を示すことが多いことから、水の縦浸透に伴いリンが地下へと溶脱しうること、栽培様式の違いに伴う土壌孔隙の発達程度がリン酸の溶脱に関与する可能性のあることを報告している³⁾。つまり、不耕起栽培継続田における肥料成分の降下浸透は土壌孔隙の発達とこれを経由する水移動の影響を受けやすいと考えられる。環境負荷の少ない土壌管理方法を確立する上で、こうした土壌孔隙の発達程度が肥料成分の降下浸透に及ぼす影響や土壌孔隙の発達程度を考慮した不耕起栽培の継続可能年数¹⁴⁾について、今後さらに検討する必要がある。

省力的管理が可能な不耕起栽培体系のもと、資源循環ならびに施肥コストの低減を図るため家畜糞堆肥の利用を前提とした場合に、主に化学肥料で施肥する場合に比べて、リン酸投入量が増大する傾向にあった。リン酸投入量の増大は作物吸収によるリン酸利用率を著しく低下させ、吸収利用されなかったリン酸は土壌中に蓄積して、溶脱量を増大させた。不耕起栽培体系において、リン酸の過剰投入は

農地系外へのリン酸流出の危険を高めると考えられ、家畜糞堆肥などの有機質資源を合理的に利用するためには、堆肥中のリン酸有効成分量を考慮した施用量の決定が重要と考えられた。

5. 摘要

不耕起継続水田に粃殻牛糞堆肥、鶏糞ペレット堆肥を連用し、飼料用水稲とイタリアンライグラスを輪作した。1~8 作の間に、これらの畜産有機質資源で投入されたリン酸量は、それぞれ 430~1,430, 80~790 kg ha⁻¹ P₂O₅ に上り、主に化学肥料で施肥した対照区のリン酸投入量を大きく上回った。そのため、リン酸の過剰蓄積による農地系外へのリン酸溶脱が懸念された。そこで、イオン交換樹脂を含有するカプセルを埋設する resin 法を用いて、不耕起水田への堆肥連用が冬作期間中の無機態リン酸溶脱に及ぼす影響を調査したところ、以下の結果が得られた。

1) 不耕起栽培継続田では、堆肥連用によって可給態および水溶性リン酸、全炭素含量が表層土 (0~3 cm 深)、ついで作土層 (3~13 cm 深) で多く蓄積した。両リン酸の蓄積量はリン酸総施用量に比例した。

2) 6 作目期間中のリン酸溶脱量に関する回帰分析を行ったところ、1~5 作間および 1~6 作間のリン酸投入量、表層および作土層 (3~13 cm) の可給態および水溶性リン酸含量を説明変数とした場合の寄与率は高く有意であった。しかし、6 作目のリン酸投入量、下層土 (13~26 cm) の可給態および水溶性リン酸含量を説明変数とした場合に寄与率は低く、有意な回帰式が得られなかったことから、表層や作土層に蓄積したリン酸が溶脱に大きく関与すると考えられた。また、期間降水量が多い時期に、リン酸溶脱量は増加する傾向を示したことから、水の縦浸透に伴いリン酸が下層へと移行するものと考えられた。

3) 7 作目に行った一時的な耕起処理によって、表層土に蓄積していた可給態および水溶性リン酸は顕著に減少した。表層の蓄積リン酸は作土層に移動した以外に、一部は土壌と接触し難溶化したものと考えられた。そして、8 作目のリン酸溶脱量は、不耕起継続区に比べて、耕起処理区では顕著に減少し、期間降水量との関係も判然としなかった。また、不耕起継続区と耕起処理区で土壌中リン酸含量が同程度であっても、耕起処理を行った試験区でリン酸溶脱量が少なかったことから、リン酸溶脱には表層および作土層のリン酸蓄積量のほか、土壌孔隙の発達程度が大きく関与すると考えられた。

謝辞：本研究は、地域基幹農業技術体系化促進研究「中山間における畜産との連携を想定した省力・環境負荷軽減型水稻栽培体系の確立」(平成 11~15 年度)により実施されたものの一部であり、関係された方々のご協力に深く感謝いたします。また、本研究の遂行にあたり、沖縄県農業試験場園芸支場 久場峯子氏には resin 法に関する情報提供ならびにカプセル購入に際してご協力を頂きました。そして、岡山県農業総合センター農業試験場 石橋英

二化学研究室長には本論文をまとめるにあたり適切なご助言とご協力を頂きました。記して感謝いたします。

文 献

- 1) 竹内 誠：農耕地からの窒素・リンの流出，*土肥誌*，**68**，708～715 (1997)
- 2) 八槇 敦・戸辺 学・渡辺春朗・安西徹郎：砂質土における土壌の可給態リン酸含量と露地野菜の生育・収量の関係ならびに土壌中でのリン酸の移動，*千葉農試研報*，**38**，17～26 (1997)
- 3) 赤井直彦・石橋英二・尾崎保夫：水稲不耕起乾田直播栽培水田における土壌溶液および田面水中のリン濃度の推移，*土肥誌*，**74**，507～510 (2003)
- 4) 小原 洋・中井 信：農耕地土壌の可給態リン酸の全国的変動，農耕地土壌の特性変動 (II)，*同上*，**75**，59～67 (2004)
- 5) 西尾道徳：農業生産環境調査にもとづく我が国のリン酸施用実態の解析，*同上*，**74**，435～443 (2003)
- 6) 横田 剛・伊藤豊彰・小野剛志・高橋正樹・三枝正彦：製造条件の異なる牛ふん堆肥の無機態リン酸組成，*同上*，**74**，133～140 (2003)
- 7) Sharpley, A. and Moyer, B.: Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *J. Environ. Qual.*, **29**, 1462～1469 (2000)
- 8) <http://www.niaes.affrc.go.jp/inventory/center/mmanual/chapt5.html/>
- 9) Pampolino, M. F., Urushiyama, T. and Hatano, R.: Detection of nitrate leaching through bypass flow using pan lysimeter, suction cup, and resin capsule. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **46**, 703～711 (2000)
- 10) <http://www.unibest.us/>
- 11) 土壌環境分析法編集委員会編：土壌環境分析法，p. 272～273，博友社，東京 (1997)
- 12) 長期不耕起栽培圃場研究グループ：長期不耕起直播田の土壌及び水稲栽培の実態調査，*農業技術*，**49**，251～256 (1994)
- 13) 石橋英二・赤井直彦・山本章吾・石井俊雄・沖 和生：不耕起乾田直播水田土壌の特徴と生産力，*土肥誌*，**72**，807～811 (2001)
- 14) 金田吉弘：多様な水稲栽培方式における水田土壌肥料研究の現状と方向 3. 不耕起栽培における土壌・施肥管理，*同上*，**68**，69～74 (1997)

Effect of Successive Application of Compost to No Tillage-Paddy Field on Inorganic Phosphorus Leaching during Winter Cropping

Masaya Ooya, Shogo Yamamoto and Hiromi Kuyama
(*Okayama Pref. Gen. Agric. Cent.*)

Effect of successive application of compost to no tillage-paddy field of crop rotation, paddy rice and Italian ryegrass on inorganic phosphate leaching during the Italian ryegrass cropping period was investigated. Cow manure composted with chaff (CMCC) and pelletized poultry manure composted (PPMC) mainly derived phosphate for eight crops was 430-1430, and 80-790 kg ha⁻¹ P₂O₅, respectively. We investigated inorganic phosphate leaching using the resin method at the sixth and eighth crop. The following results were obtained. 1) Successive application of CMCC and PPMC to no tillage-paddy field caused the accumulation of soil available (Av-P) and water soluble phosphate (WS-P) at soil surface (0-3 cm depth) mainly and the cropping layer (3-13 cm depth) next, in proportion to the amount of phosphate applied. 2) Analysis of regression on the amount of inorganic phosphate leaching showed that a high *R*-squared value was obtained at the total amounts of phosphate applied from the first to fifth, or sixth crop, Av-P and WS-P at the soil surface and cropping layer, whereas, in the case of phosphate applied in the sixth crop or Av-P and WS-P at subsoil (13-26 cm depth), the *R*-squared value was very low. While inorganic phosphate leaching increased when precipitation was high, these data indicated that inorganic phosphate in soil moved downward by the depth of infiltration of water. 3) Temporary conversion to tillage-management before the seventh crop has remarkably decreased the content of the Av-P and WS-P at the soil surface. Therefore, inorganic phosphate leaching in the experimental plot of tillage-treatment remarkably decreased at the eighth crop in which the relation to precipitation was not clear. Between the two experimental plots of similar level for content of Av-P, the amount of phosphate leaching was lower in tillage-treatment. These data suggest that phosphate leaching in no tillage-paddy field is concerned with not only phosphate content at the soil surface and cropping layer, but also development extent of soil macro-pores.

Key words compost, inorganic phosphorus, leaching, no-tillage, paddy field

(*Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, **78**, 237-243, 2007)