

鶏ふんの施用時期を考慮した水稻の 施肥設計方法の開発

大家 理哉・鷺尾 建紀*

Development of Fertilization Design Method of the Paddy Rice Which Considered Application Time of Poultry Manure

Masaya Ooya and Tatsuki Washio

緒言

環境保全型農業への意識の高まりや近年の肥料価格の高騰を受けて、従来土づくり資材とされていた家畜ふん堆肥に含まれる肥料成分量を考慮した施肥設計技術が開発されている(石橋, 2010; 実用技術開発事業18053マニュアル編集委員会, 2010)。家畜ふん堆肥のうち、発酵や乾燥処理した鶏ふん堆肥(以下、鶏ふんとする)は、他の畜種に比べて窒素含量が高く、緩効的な有機態窒素以外に尿酸態やアンモニウム態窒素など速効的な画分を多く含むため、水稻作では基肥の代替としての利用が可能で(瀧, 1996; 田淵ら, 2010)、本県においても基肥の代替として鶏ふん利用が増えている。しかし、鶏ふんを施用してから移植までの期間が長期化した場合、生育量が不足して、収量が低下する事例がしばしば報告されている(原ら, 2008; 有澤ら, 2010)。鶏ふん中の有機態窒素は、微生物の作用によってアンモニウム態窒素に無機化され、アンモニウム態窒素は硝酸態窒素に硝化される。そのため、乾田期間に施用された鶏ふん中の窒素は無機化してアンモニウム態窒素に変化するだけでなく、一部は硝化して硝酸態窒素に変化することが予想される。筆者らはこれまでに、入水前の乾田期間に鶏ふんを施用した場合、鶏ふん中の窒素が無機化や硝化作用を受け、降雨による流亡や入水による脱窒や流亡で損失する結果、肥料的

効果が減少することを確認した(大家ら, 2010; 大家ら, 2013a)。そして、鶏ふん施用から入水までの期間が14日以内の場合に限り、基肥代替効果が確保されることが明らかになっている(大家・鷺尾, 2013b)。

鶏ふんは、化学肥料に比べて肥料成分含量が低く、形状も様々であることから、施肥機を使った田植同時施肥は困難であり、乾田期間中にライムソワーやブロードキャスターで散布して耕うんする方法が一般的である。そのため、繁忙期には鶏ふん施用後、入水までに14日を超えることは少なくないと考えられるが、14日を超えた場合の肥料的効果の減少を考慮した施肥設計技術は明らかにされていない。

そこで、鶏ふん施用後の日数と肥料代替効果の減少を考慮した窒素補てんが水稻の生育及び収量に及ぼす影響を栽培試験で検討した。さらに、岡山県内で製造されて流通している複数の鶏ふんについて、施用後日数が窒素の無機化率及び硝化率に及ぼす影響をシミュレーション試験で検討した。以上の結果をもとに、施用後の日数が14日を超えた場合の施肥設計方法を開発したので報告する。

試験方法

1. 鶏ふん施用後の日数と、肥料代替効果の減少を考慮した窒素補てんが水稻の生育及び収量に及ぼす影響(栽培試験)

本研究は、委託プロジェクト研究「高糖分飼料イネ「たちすずか」生産における堆肥連用効果に応じた適切な施肥管理の実証」(2010～2012年度)において実施したものの一部であり、2013年度土壤肥料学会名古屋大会で発表したものである

* 現岡山県農林水産総合センター普及連携部

2019年12月13日受理

(1) 試験区の概要

岡山県農林水産総合センター農業研究所（赤磐市）内の圃場（細粒質普通灰色低地土，粘質）で2012年から2013年の2か年，‘ヒノヒカリ’のポット成苗を用いた移植栽培を行った。慣行の施肥体系である高度化成を分施した化成分施区と，鶏ふん施用時期と窒素補てんの有無が異なる5つの試験区の計6区を設けた（表1, 2）。試験区は鶏ふん施用を移植の3，21，42日前とする3水

準を設けた。鶏ふん3日前施用区は対照区とし，基肥に乾燥鶏ふんと穂肥相当として被覆尿素（LPSS100）を用いた全量基肥施肥体系とした。供した鶏ふんは同一の製造箇所で作られた乾燥鶏ふんで，成分特性を表3に示した。鶏ふんと被覆尿素的の施用量は，岡山県土壌施肥管理システム（石橋，2005）を用いて，化成分施区と肥効が同等となるよう決定した。なお，3日前施用区の鶏ふん施用は入水後の代かき直前であり，肥料的

表1 試験区の施肥設計（化成分施区は別表）

| 試験年次 | 試験区 | 各資材の施用日 | | 施肥窒素の内訳 | | | 成分施用量 | | |
|-------|---------------|---------|------------|----------|-----|---------|--------|-------------------------------|------------------|
| | | 鶏ふん | 尿素 LPSS100 | 鶏ふん | 尿素 | LPSS100 | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| | | | | N kg/10a | | | kg/10a | | |
| 2012年 | ① 42日前施用 | 5/7 | 6/15 | 4.5 | 0 | 2.4 | 6.9 | 3.9 | 3.4 |
| | ② 42日前施用+N補てん | 〃 | 〃 | 4.5 | 3.3 | 2.4 | 10.7 | 3.9 | 3.4 |
| | ③ 21日前施用 | 5/28 | 〃 | 4.5 | 0 | 2.4 | 6.9 | 3.9 | 3.4 |
| | ④ 21日前施用+N補てん | 〃 | 〃 | 4.5 | 2.2 | 2.4 | 9.0 | 3.9 | 3.4 |
| | ⑤ 3日前施用(対照区) | 6/15 | 〃 | 4.5 | 0 | 2.4 | 6.9 | 3.9 | 3.4 |
| 2013年 | ① 42日前施用 | 5/9 | 6/17 | 5.5 | 0 | 3.5 | 8.9 | 4.1 | 3.2 |
| | ② 42日前施用+N補てん | 〃 | 〃 | 5.5 | 3.9 | 3.5 | 12.8 | 4.1 | 3.2 |
| | ③ 21日前施用 | 5/30 | 〃 | 5.5 | 0 | 3.5 | 8.9 | 4.1 | 3.2 |
| | ④ 21日前施用+N補てん | 〃 | 〃 | 5.5 | 2.6 | 3.5 | 11.6 | 4.1 | 3.2 |
| | ⑤ 3日前施用(対照区) | 6/17 | 〃 | 5.5 | 0 | 3.5 | 8.9 | 4.1 | 3.2 |

表2 化成分施区の施肥設計

| 試験年次 | 試験区 | 施肥日と施肥窒素量(N kg/10a) | | | | 成分施用量 | | |
|-------|--------|---------------------|-----------------------|-----------|-----------|--------|-------------------------------|------------------|
| | | 基肥 尿素硫加 磷安48号 | 分けつ肥 尿素硫加 磷安48号 | 穂肥Ⅰ 硫安 | 穂肥Ⅱ 硫安 | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| | | | | | | kg/10a | | |
| 2012年 | ⑥化成分施区 | 6/15 | 7/4 | 8/3 | 8/10 | 8.0 | 5.0 | 5.0 |
| | | 3.0 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | | | |
| 2013年 | ⑥化成分施区 | 6/17 | 7/5 | 8/9 | 8/12 | 10.5 | 6.0 | 6.0 |
| | | 4.0 | 2.0 | 2.0 | 2.5 | | | |

表3 供試した鶏ふんの成分特性

| 試験年次 | 種類 | 窒素(N) | リン酸(P ₂ O ₅) | カリウム(K ₂ O) | C/N | アンモニウム態窒素/全窒素 |
|-------|--------------------|-------|-------------------------------------|------------------------|-----|---------------|
| | | % | | | 比 | % |
| 2012年 | 乾燥鶏ふん ^z | 4.47 | 3.89 | 3.37 | 7.2 | 9.8 |
| 2013年 | 〃 | 4.55 | 3.38 | 2.64 | 7.6 | 3.3 |

^z 同一の製造箇所

効果の減少は無いものとし、窒素補てんを行う区は設定しなかった。21日前施用区及び42日前施用区については、鶏ふん施用から移植までに無機化及び硝化する窒素量を推定して、硝化する窒素量を代かき前に尿素で補てんする区をそれぞれ設けた(表4)。鶏ふん中窒素の無機化量は前述のシステムで、2012年及び2013年に実測した地温(5cm深)データにより下記の推定式で算出した無機化率に、鶏ふん由来の窒素施用量を乗じて推定した。

$$\text{無機化率} = A(1 - \exp(-k \cdot t)) + B$$

ただし、 $k = C \exp(-E_a / R \cdot T)$

$$t = \sum \exp[E_{a1}(T - T_s) / R \cdot T \cdot T_s]$$

A：最大無機化率(%), k：無機化速度定数(d⁻¹)

t：温度変換日数(d), B：最大無機化率(%), C：定数

E_a：無機化速度に対する見かけの活性化エネルギー(J mol⁻¹)

E_{a1}：硝化速度に対する見かけの活性化エネルギー(J mol⁻¹)

T：日平均温度(K), T_s：標準温度(K)

R：気体定数(8.318 J mol⁻¹)

なお、最大無機化率は100%、標準温度は25℃とした。

硝化量は、実測した地温(5cm深)データにより下記の推定式で算出した硝化率に、無機化量を乗じて推定した。

表4 鶏ふん施用から移植までの日数が鶏ふん中窒素の無機化及び硝化に及ぼす影響

| 試験年次 | 鶏ふん施用から移植までの日数 | 鶏ふん施用量 kg/10a | 鶏ふんに由来する投入窒素(N)量と移植までに無機化及び硝化するN量 | | |
|-------|----------------|------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------|
| | | | 投入N N kg/10a | 投入Nのうち 無機化N ^z N kg/10a | 無機化Nのうち 硝化N ^y |
| 2012年 | 42 | 100 | 4.47 | 3.79 | 3.28 |
| | 21 | 100 | 4.47 | 3.77 | 2.17 |
| | 3 | 100 | 4.47 | 0.44 | 0.01> |
| 2013年 | 42 | 120 | 4.55 | 4.55 | 3.88 |
| | 21 | 120 | 4.55 | 4.51 | 2.64 |
| | 3 | 120 | 4.55 | 0.15 | 0.01> |

^z 土壌施肥管理システムと地温により推定

^y 大家ら(2013a)の硝化推定式と地温により推定

表5 鶏ふん中窒素の無機化及び硝化量の推定方法(イメージ)

| 鶏ふん施用後 の日数 | N kg/10a | |
|---------------|--------------------|--|
| | 無機化N量 ^z | 硝化N量 ^y |
| 当日 | x ₁ | y ₁ |
| 2~6日目 | x ₂ | y ₂ |
| 7~11日目 | x ₃ | y ₃ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| (n-4)~n日目 | x _n | y _n |
| | 推定した硝化量 | Σ(y ₁ , y ₂ , y ₃ , ..., y _n) |

^z 施用当日はアンモニウム態窒素量(x₁)

それ以外は土壌施肥管理システムと地温により推定(x₂, x₃, ..., x_n)

^y 大家ら(2013a)の硝化推定式と地温により推定(y₂, y₃, ..., y_n)

$$\text{硝化率} = A \{ 1 - \exp [-k (t - \text{TAU})] \}$$

$$\text{ただし, } t = \sum \exp [\text{Ea1} (T - T_s) / R \cdot T \cdot T_s]$$

$$\text{TAU} = \sum \exp [\text{Ea2} (T - T_s) / R \cdot T \cdot T_s]$$

A : 最大硝化率(%), k : 硝化速度定数(d-1), t : 温度変換日数(d)

TAU : 硝化開始までの日数(d)

Ea1 : 硝化速度に対する見かけの活性化エネルギー (J mol⁻¹)

T : 日平均温度(K), T_s:標準温度(K), R:気体定数(8.318 J mol⁻¹)

Ea2 : 温度に依存する誘導期に対する見かけの活性化エネルギー (J mol⁻¹)

なお, 最大硝化率は100%, 標準温度は25℃で, 硝化速度に係る特性値は, k : 0.1030 d⁻¹, TAU : 5.24 d, Ea1 : 6029 J mol⁻¹, Ea2 : 3822 J mol⁻¹であった (大家ら, 2013a).

鶏ふん中窒素の無機化及び硝化は地温に応じて経時的に進行する。無機化量は, 施用当日については鶏ふん中のアンモニウム態窒素量とした。翌日以降については, 無機化量を1日毎に算出するのが正しいが, 膨大な計算が必要となるため5日間毎の無機化量とし, 5日間に満たない場合は5日未満の無機化量とした (表5)。そして, それぞれが硝化する窒素量は, 上述の硝化推定式を用いて求め, これらを合計して硝化量とした (表4)。なお, 1区の面積は25.3m² (5.75m×4.4m) で, 2反復で試験を行った。

(2) 耕種概要と調査項目

2012年の入水は6月12日, 尿素及び被覆尿素の施用及び代かきは6月15日, 移植は6月18日, 収穫は10月3日に行った。2013年の入水は6月12日, 尿素及び被覆尿素の施用及び代かきは6月17日, 移植は6月20日に行い, 収穫は10月7日に行った。栽植密度は2か年ともに18.5株/m²とした。また, 中干しは2012年, 2013年ともに7月下旬から8月初旬にかけて1週間程度行った。

生育調査は, 生育が中庸な連続した10株について行い, 生育期間中の茎数, 葉色 (SPAD), 収穫直前の穂数, 穂長を調査した。収穫調査は, 連続した10株×5条について行い, わら重, もみ重, 精玄米重, 収量構成要素 (もみ数/m², 登熟歩合, 千粒重), 精玄米の品質 (整粒歩合, 食味, 粗タンパク) を調査した。また, 鶏ふんの肥料代替効果を確認するため, 移植の約14日後に作土中のアンモニウム態窒素量を測定した。稲体中の成分含量や土壌化学性は常法 (財団法人日本土壌協会, 2000) により分析した。

(3) 統計処理方法

統計処理は試験区①～⑤について行った。すなわち, 対照区である試験区⑤に比べて生育や収量が劣ることが予想されるため, Dunnetの片側検定 (<対照区) による対比較を行った。

2. 鶏ふん施用から移植までの日数が鶏ふん中窒素の無機化及び硝化に及ぼす影響 (シミュレーション試験)

鶏ふんは県内で多くの製品が流通しており, 製造所や製造方式によって窒素含量は1.7~6.6%と, 変動が大きいことが指摘されている (岡山県農林水産部, 2014)。そのため, 鶏ふんの種類によって肥料代替効果も大きく変動することが予想される。岡山県土壌施肥管理システムに登録されている鶏ふん22種類の成分含量及び窒素無機化特性値を用いて, 鶏ふんを施用してから移植までの日数の違いが肥効に及ぼす影響を確認するため, 前項と同じ手法で, 移植日時点の無機化率及び硝化率を算出した。温度データは日平均気温の平年値 (アメダス地点:岡山, 1979~2000年) を用いた。ただし, 日平均気温が14℃以下の場合に地温が気温を上回るため, 過去の調査で明らかにした関係式 {日平均地温=0.0008 (日平均気温)² + 0.8132 (日平均気温) + 2.4582} で推定した地温を用いた。栽培条件として, 水稻の移植日は6月15日, 鶏ふん施用は移植の92日前 (3月15日), 61日前 (4月15日), 31日前 (5月15日), 14日前 (6月1日) と仮定した。

結果及び考察

1. 鶏ふん施用から移植までの日数と, 肥料代替効果の減少を考慮した窒素補てんが水稻の生育及び収

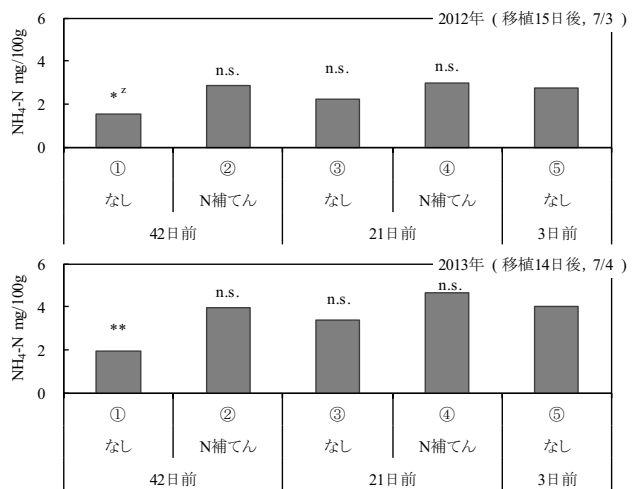


図1 生育初期の作土中のアンモニウム態窒素量

z 試験区①～⑤について, Dunnetの片側検定 (<対照区) による対比較

* : 5%水準, ** : 1%水準で対照区⑤と有意差があることを, n.s. : 5%水準で有意差がないことを示す

量に及ぼす影響（栽培試験）

鶏ふん施用から移植までの日数や窒素補てんが、移植の約2週間後の作土中アンモニウム態窒素量に及ぼす影響を調べた（図1）。2か年ともにアンモニウム態窒素量は、⑤3日前施用区に比べて、①42日前施用区で有意に少なかった。③21日前施用区や窒素補てんをした②及び④区では、⑤3日前施用区との間に有意差が認められなかった。鶏ふん施用から移植までの日数が42日と長期化すると、作土中のアンモニウム態窒素量は減少するが、硝化量を推定して尿素で補てんすることで、移植直前に施用した場合と同程度のアンモニウム態窒素量を維持できることが示唆された。

茎数は、2012年の試験では7月13日、2013年の試験では全ての調査日において、⑤3日前施用区に比べて、①42日前施用区で有意に少なかった。③21日前施用区や窒素補てんをした②及び④区では、⑤3日前施用区

との間に有意差が認められなかった（表6, 7）。

葉色は、2012年の試験では7月16日、2013年の試験では7月9日及び31日において、⑤3日前施用区に比べて、①42日前施用区で有意に低かった。③21日前施用区や窒素補てんをした②及び④区では、⑤3日前施用区との間に有意差が認められなかった（表6, 7）。

収穫期の穂数は、2012年の試験では有意差が認められず、2013年の試験では、⑤3日前施用区に比べて、①42日前施用区で有意に少なかった。稈長は、2か年ともに⑤3日前施用区に比べて、①42日前施用区で有意に短かった。穂長は2か年ともに有意差が認められなかった（表6, 7）。

収量や品質調査結果について、2013年のわら重が、⑤3日前施用区に比べて、①42日前施用区で有意に少なかったが、それ以外に有意差は認められなかった（表8, 9）。

表6 生育調査結果(2012年)

| 試験区 | 茎数 | | 葉色 | | | 収穫期 | | |
|---------------|--------------------|----------|-----------|------------|-----------|------------------|-----------|-----------|
| | 7/13 | 7/26 | 7/3 | 7/16 | 7/26 | 穂数 | 稈長 | 穂長 |
| | 本/m ² | | SPAD値 | | | 本/m ² | cm | |
| ① 42日前施用 | 315 + ^z | 399 n.s. | 39.3 n.s. | 38.0 * | 32.8 n.s. | 334 n.s. | 71.8 + | 18.6 n.s. |
| ② 42日前施用+N補てん | 347 n.s. | 444 n.s. | 39.8 n.s. | 41.6 n.s. | 37.3 n.s. | 371 n.s. | 76.9 n.s. | 18.6 n.s. |
| ③ 21日前施用 | 339 n.s. | 441 n.s. | 39.5 n.s. | 39.95 n.s. | 36.6 n.s. | 369 n.s. | 76.6 n.s. | 18.4 n.s. |
| ④ 21日前施用+N補てん | 358 n.s. | 463 n.s. | 40.8 n.s. | 41.05 n.s. | 36.1 n.s. | 356 n.s. | 76.4 n.s. | 18.7 n.s. |
| ⑤ 3日前施用(対照区) | 385 | 497 | 40.5 | 42.5 | 36.4 | 384 | 76.9 | 18.3 |
| ⑥ 化成分施(参考) | 332 | 388 | 40.2 | 39.4 | 33.9 | 335 | 75.5 | 20.0 |

^z 試験区①～⑤について、Dunnetの片側検定(<対照区)による対比較

^z + :10%水準, * :5%水準で対照区⑤と有意差があることを, n.s.:10%水準で有意差がないことを示す

表7 生育調査結果(2013年)

| 試験区 | 茎数 | | | 葉色 | | | | 収穫期 | | |
|---------------|---------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|
| | 7/9 | 7/19 | 7/31 | 7/9 | 7/19 | 7/31 | 8/26 | 穂数 | 稈長 | 穂長 |
| | 本/m ² | | | SPAD値 | | | | 本/m ² | cm | |
| ① 42日前施用 | 214 ** ^z | 465 * | 459 * | 37.1 + | 39.8 n.s. | 34.8 + | 32.8 n.s. | 357 * | 82.0 * | 19.0 n.s. |
| ② 42日前施用+N補てん | 294 n.s. | 584 n.s. | 564 n.s. | 39.9 n.s. | 40.7 n.s. | 36.3 n.s. | 34.5 n.s. | 428 n.s. | 87.3 n.s. | 18.4 n.s. |
| ③ 21日前施用 | 250 n.s. | 510 n.s. | 505 n.s. | 38.9 n.s. | 39.0 n.s. | 37.4 n.s. | 32.7 n.s. | 409 n.s. | 85.9 n.s. | 18.5 n.s. |
| ④ 21日前施用+N補てん | 268 n.s. | 556 n.s. | 542 n.s. | 40.1 n.s. | 41.1 n.s. | 36.8 n.s. | 33.0 n.s. | 424 n.s. | 85.8 n.s. | 18.8 n.s. |
| ⑤ 3日前施用(対照区) | 269 | 544 | 531 | 39.4 | 40.9 | 37.8 | 32.4 | 418 | 86.3 | 18.5 |
| ⑥ 化成分施(参考) | 267 | 508 | 481 | 40.4 | 39.5 | 35.9 | 35.0 | 403 | 83.4 | 19.9 |

^z 試験区①～⑤について、Dunnetの片側検定(<対照区)による対比較

+ :10%水準, * :5%水準, ** :1%水準で対照区⑤と有意差があることを, n.s.:10%水準で有意差がないことを示す

表8 収量及び品質調査結果(2012年)

| | わら重 | もみ重 | 精玄米重 | m ² 当たり もみ数 | 登熟 歩合 | 千粒重 | 整粒 | 食味 | 粗タン パク |
|---------------|-----------------------|----------|----------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|
| | 乾重 | 15%水分 | | | | 15%水分 | 歩合 | | |
| | kg/10a | | | ×1000 | % | g | % | HON値 | % |
| ① 42日前施用 | 744 n.s. ^z | 676 n.s. | 508 n.s. | 23.1 n.s. | 90.3 n.s. | 23.1 n.s. | 70.4 n.s. | 91 n.s. | 6.8 n.s. |
| ② 42日前施用+N補てん | 821 n.s. | 719 n.s. | 549 n.s. | 25.3 n.s. | 90.7 n.s. | 25.3 n.s. | 69.7 n.s. | 98 n.s. | 6.5 n.s. |
| ③ 21日前施用 | 818 n.s. | 724 n.s. | 552 n.s. | 25.6 n.s. | 90.2 n.s. | 25.6 n.s. | 68.5 n.s. | 97 n.s. | 6.6 n.s. |
| ④ 21日前施用+N補てん | 832 n.s. | 727 n.s. | 551 n.s. | 25.3 n.s. | 90.8 n.s. | 25.3 n.s. | 69.4 n.s. | 96 n.s. | 6.7 n.s. |
| ⑤ 3日前施用 | 824 | 724 | 555 | 25.3 | 91.7 | 25.3 | 69.8 | 96 | 6.5 |
| ⑥ 化成分施(参考) | 775 | 740 | 568 | 25.8 | 90.2 | 25.8 | 69.6 | 94 | 6.3 |

^z 試験区①～⑤について、Dunnetの片側検定(対照区)による対比較

n.s.: 10%水準で対照区⑤と有意差がないことを示す

表9 収量及び品質調査結果(2013年)

| | わら重 | もみ重 | 精玄米重 | m ² 当たり もみ数 | 登熟 歩合 | 千粒重 | 整粒 | 食味 | 粗タン パク |
|---------------|--------------------|----------|----------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|
| | 乾重 | 15%水分 | | | | (15%水分) | 歩合 | | |
| | kg/10a | | | ×1000 | % | g | % | HON値 | % |
| ① 42日前施用 | 735 * ^z | 770 n.s. | 554 n.s. | 29.9 n.s. | 79.3 n.s. | 23.4 n.s. | 70.1 n.s. | 84 n.s. | 7.6 n.s. |
| ② 42日前施用+N補てん | 831 n.s. | 821 n.s. | 591 n.s. | 31.7 n.s. | 80.7 n.s. | 23.1 n.s. | 67.9 n.s. | 85 n.s. | 7.5 n.s. |
| ③ 21日前施用 | 800 n.s. | 827 n.s. | 591 n.s. | 32.0 n.s. | 79.3 n.s. | 23.3 n.s. | 68.3 n.s. | 84 n.s. | 8.0 n.s. |
| ④ 21日前施用+N補てん | 832 n.s. | 828 n.s. | 598 n.s. | 32.5 n.s. | 79.1 n.s. | 23.3 n.s. | 68.4 n.s. | 83 n.s. | 7.6 n.s. |
| ⑤ 3日前施用 | 813 | 793 | 579 | 30.3 | 82.2 | 23.3 | 67.9 | 88 | 7.6 |
| ⑥ 化成分施(参考) | 753 | 789 | 592 | 29.4 | 83.8 | 24.0 | 70.7 | 83 | 7.9 |

^z 試験区①～⑤について、Dunnetの片側検定(対照区)による対比較

* : 5%水準で対照区⑤と有意差があることを、n.s.: 10%水準で有意差がないことを示す

⑥ 化成分施区と⑤ 3日前施用区は同等の肥効となるよう施肥設計を行い、⑤ 3日前施用区の施肥窒素量は⑥ 化成分施区に比べて少なかった(表1, 2)。しかし、生育期間中の茎数や葉色は⑤ 3日前施用区で⑥ 化成分施区を上回る傾向にあり(表6, 7)、化成に比べて緩効的な鶏ふんで窒素の利用率が高まった可能性を示すと考えられた。

2. 鶏ふん施用から移植までの日数が鶏ふん窒素の無機化及び硝化に及ぼす影響(シミュレーション試験)

供した鶏ふんの窒素含量は0.91～4.47%の範囲で、平均2.98%と、県内で流通する鶏ふん72点の分析結果(岡山県農林水産部, 2014)にある平均値3.0%(最小1.7～最大6.6%)と同等であった(表10)。シミュレーション試験で、鶏ふん窒素の無機化率の平均は92日前41.4%、61日前43.6%、31日前41.3%、14日前36.7%と、

鶏ふん施用から移植までの日数が長期化しても、平均値では無機化率の変化は小さかった。しかし、無機化率は窒素含量が高い鶏ふんほど高く、鶏ふん別の変動は、変動係数で51.6～67.6%と大きかった。

一方、無機化した窒素のうち硝化される窒素の割合である硝化率の平均は、92日前98.2%、61日前85.5%、31日前68.5%、14日前39.0%と、鶏ふん施用から移植までの日数が長期化すると、硝化率も高くなる傾向を示した(表10)。硝化率は個々の鶏ふんの窒素含量に関わらず、ほぼ同様の値であり、その変動係数は2.2～10.6%と無機化率の変動係数に比べて小さかった。その理由として、無機化率を推定するための無機化特性値は、鶏ふんによって異なるが、硝化率を推定するための硝化推定式は、いずれの鶏ふんでも共通であるためと考えられた。これらのことから、鶏ふん施用から移植までの期間において、鶏ふんの窒素無機化率は、

表10 鶏ふん施用から移植までの日数が鶏ふん中空素の無機化及び硝化率に及ぼす影響（シミュレーション試験）

| 鶏ふん 種別 | 製造 方式 | 鶏ふんの 窒素含量 N% (対現物) | 無機化率(%) | | | | うち硝化率(%) | | | |
|-----------|----------|-----------------------------|---------|-------|-------|------|----------|------|------|------|
| | | | 施用後の日数 | | | | 施用後の日数 | | | |
| | | | 92日 | 61日 | 31日 | 14日 | 92日 | 61日 | 31日 | 14日 |
| 1 | 乾燥 | 4.47 | 74.7 | 74.8 | 74.7 | 73.8 | 95.5 | 92.8 | 79.9 | 45.7 |
| 2 | 〃 | 4.33 | 84.5 | 84.5 | 84.4 | 83.2 | 95.4 | 92.8 | 79.7 | 45.6 |
| 3 | 〃 | 4.23 | 61.7 | 62.1 | 61.7 | 58.5 | 95.4 | 91.5 | 76.1 | 43.0 |
| 4 | 〃 | 4.17 | 63.6 | 63.8 | 63.6 | 61.9 | 95.4 | 92.3 | 78.3 | 44.5 |
| 5 | 発酵 | 3.77 | 51.1 | 54.0 | 51.0 | 43.1 | 97.8 | 86.8 | 68.4 | 38.5 |
| 6 | 〃 | 3.75 | 54.8 | 55.3 | 54.7 | 51.4 | 95.5 | 91.1 | 75.3 | 42.5 |
| 7 | 〃 | 3.49 | 30.9 | 33.8 | 30.7 | 24.6 | 100.0 | 84.0 | 65.4 | 37.0 |
| 8 | 〃 | 3.49 | 51.1 | 51.2 | 51.1 | 50.3 | 95.5 | 92.7 | 79.4 | 45.4 |
| 9 | 乾燥 | 3.01 | 29.0 | 33.7 | 28.9 | 21.6 | 100.0 | 80.3 | 61.9 | 35.5 |
| 10 | 発酵 | 3.00 | 36.4 | 41.7 | 36.1 | 27.3 | 100.0 | 81.0 | 62.5 | 35.7 |
| 11 | 〃 | 2.99 | 24.7 | 27.3 | 24.5 | 19.4 | 100.0 | 83.3 | 64.6 | 36.7 |
| 12 | 〃 | 2.78 | 35.1 | 38.7 | 35.0 | 27.8 | 100.0 | 83.6 | 65.0 | 36.9 |
| 13 | 〃 | 2.75 | 21.9 | 25.2 | 21.8 | 16.4 | 100.0 | 80.8 | 62.3 | 35.7 |
| 14 | 乾燥 | 2.53 | 27.3 | 30.7 | 27.1 | 21.0 | 100.0 | 82.2 | 63.5 | 36.2 |
| 15 | 〃 | 2.50 | 30.7 | 33.5 | 30.6 | 24.6 | 99.9 | 84.3 | 65.7 | 37.2 |
| 16 | 発酵 | 2.43 | 33.4 | 39.1 | 33.1 | 24.5 | 100.0 | 79.6 | 61.3 | 35.2 |
| 17 | 〃 | 2.36 | 8.5 | 10.6 | 8.4 | 5.8 | 100.0 | 75.8 | 58.3 | 33.9 |
| 18 | 〃 | 2.28 | 18.4 | 21.6 | 18.3 | 13.4 | 100.0 | 79.4 | 61.1 | 35.1 |
| 19 | 〃 | 2.22 | 35.7 | 36.2 | 35.7 | 33.2 | 95.6 | 90.7 | 74.5 | 41.9 |
| 20 | 〃 | 2.09 | 16.0 | 18.5 | 15.9 | 11.9 | 100.0 | 80.4 | 62.0 | 35.5 |
| 21 | 〃 | 2.03 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 96.7 | 95.5 | 91.2 | 75.5 | 42.6 |
| 22 | 〃 | 0.91 | 22.0 | 23.9 | 22.0 | 18.0 | 99.4 | 84.9 | 66.4 | 37.5 |
| 平均 | | 2.98 | 41.4 | 43.6 | 41.3 | 36.7 | 98.2 | 85.5 | 68.5 | 39.0 |
| 標準偏差 | | 0.90 | 23.6 | 22.5 | 23.6 | 24.8 | 2.2 | 5.4 | 7.3 | 4.0 |
| 変動係数 | | 30.20 | 57.0 | 51.6 | 57.2 | 67.6 | 2.2 | 6.4 | 10.6 | 10.3 |

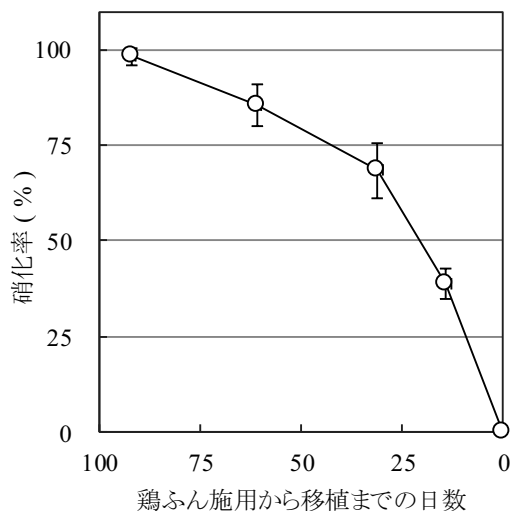


図2 シミュレーション試験による鶏ふん施用後の日数と硝化率との関係（バーは標準偏差）

ももとの窒素含量に応じて、岡山県土壌施肥管理システムを用いて推定する必要があるが、硝化率は、窒素含量の多少に関わらず、鶏ふん施用後日数のみに応じて推定することが可能と考えられた(図2)。

3. 水稻栽培における基肥代替としての鶏ふん施用と施用から移植までの日数を考慮した施肥設計方法について

一連の試験結果から、鶏ふん施用から移植までの日数が長期化した①42日前施用区では、⑤3日前施用区に比べて、生育に関する調査項目では劣る項目がしばしば認められ、有意差は認められなかったものの収量もやや低い傾向が2年続けて確認された。一方で、鶏ふん施用から移植までに無機化する窒素量と、このうち硝化する窒素量を推定し、移植前に尿素で補てんした②42日前施用+窒素補てん区では、⑤3日前施用区との間に生育に関する調査項目に有意差は認められず、施用後の日数が長期化することに伴う肥料的効果の減少を軽減できたと考えられた。生産現場では、移植の直前に鶏ふん施用することは困難な場合が多く、長期化に伴う肥料的効果の減少を合理的に軽減する手法として、有効と考えられた。また、③21日前施用区の生

育や収量について、⑤3日前施用区との間に有意な差は認められないが、生産場面においては安定生産を担保するために、窒素補てんの方がよいと考えられた。

鶏ふん中の窒素含量(TN)と硝化率/TNとの間には高い正の相関関係が認められた(図3)。すなわち、窒素含量が高い鶏ふんは、栽培試験のとおり基肥の代替資材として有用であるが、鶏ふん施用後の日数が長期化した場合には、鶏ふん中窒素の多くが硝化するため、窒素補てんが、生育量の確保に有効であると考えられた。また、今回の栽培試験で、窒素補てん量は鶏ふん施用から移植までの硝化量としたが、入水後は還元状態となるため、硝化は進行しないと考えられる。また、窒素補てんした試験区では、⑤3日前施用区と同等以上の生育や収量が認められることもあったため、硝化量の推定を鶏ふん施用から移植までとすることは過大であったと考えられた。これらのことから、硝化量の推定は鶏ふん施用から入水までとすることが望ましいと考えられた。

硝化する窒素量を補う別の方法として、鶏ふん施用量を増やすことも考えられるが、過剰な窒素が環境負荷となる以外に、鶏ふんにはリン酸や石灰を多く含む

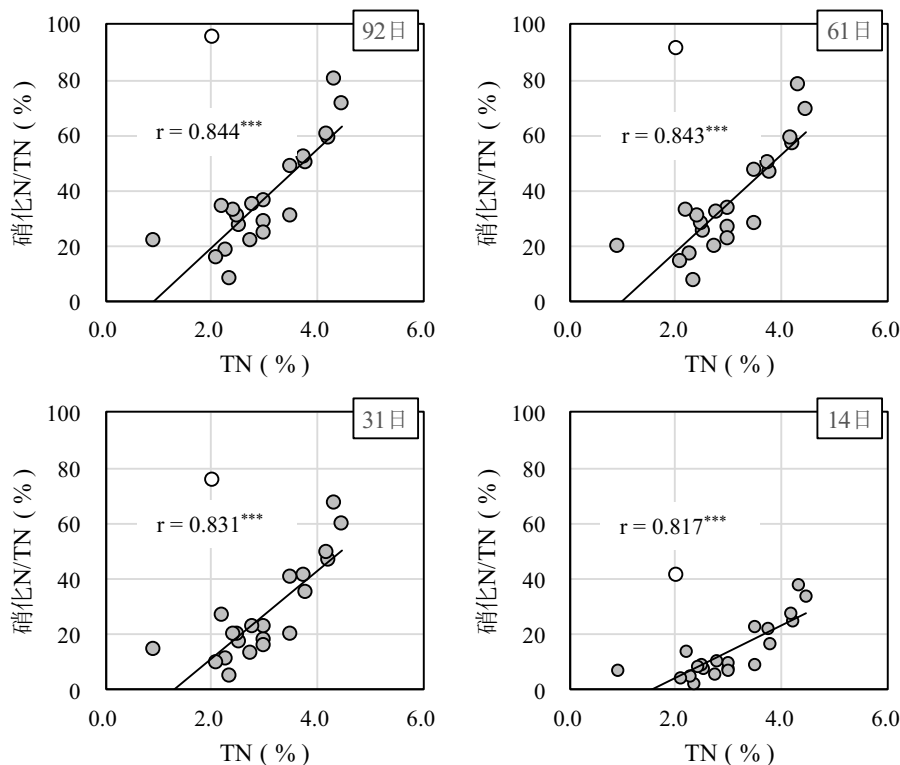


図3 鶏ふん施用から移植までの日数が鶏ふん窒素含量(TN%)と硝化率の関係に及ぼす影響(シミュレーション試験)
(No.21(O)は無機態窒素割合が高いため除いた)

ため、鶏ふん施用量を安易に増やすことは、リン酸や石灰の過剰施用となる可能性もある。このため、鶏ふん施用量を増やすよりも、上記の方法で硝化した窒素量を補てんするための追肥を行う方が良いと考えられた。また、鶏ふんは窒素以外にリン酸やカリウムを含むが、鶏ふん施用後の日数が長期化しても、これらは土壤中に保持されて多くが残存するため、残存量に応じた減肥が可能である（大家ら、2010）。

なお、地温や気温から無機化及び硝化する窒素量を算出する方法は煩雑であるため、より簡便に求めるためのツールとして「鶏ふんコレピタ君」（岡山県農林水産総合センター）を普及推進課と共同で開発した（大家・鷺尾、2013b）。これにより、使用する鶏ふんの成分含量など、計算に必要な複数の項目を入力することで、必要な窒素補てん量を求めることができ、鶏ふん施用後の日数を考慮した上で、合理的な施肥設計が可能となると考えられた。

摘 要

鶏ふんは、窒素含量が高く、粒度が均一なものは散布が容易なため、水稲作の基肥代替として利用が進んでいる。しかし、鶏ふんを施用してから移植までの日数が長期化した場合に、初期の生育が不足して、収量が低下する事例も少なくないことが指摘されている。そこで、鶏ふんの施用時期を考慮した収量確保のための施肥設計方法について検討した。まず、鶏ふん施用を移植の3、21、42日前と変えて栽培試験を行った。鶏ふん施用から移植までの日数が長期化した42日前施用では、3日前施用に比べて、収量に有意差は認められなかったが、生育は劣る傾向にあった。一方、鶏ふん施用から移植までに無機化する窒素量と、このうち硝化する窒素量を推定し、移植前に尿素で補てんすることで、3日前施用と同等の生育及び収量が得られた。

以上より、鶏ふん施用から移植までの期間が42日と長期化した際に、鶏ふんから無機化並びに硝化する窒素量を推定し、移植前に尿素で補てんする施肥設計方法が有効であると考えられた。

引用文献

有澤岳・信岡誠治・玉井富士雄・名越時秀・平野繁・福山正隆（2010）冬期鶏糞堆肥施用における水田土壌の肥料養分の推移と水稲による窒素吸収量。日本作物学会記事，79: 234.

原嘉隆・土屋一成・中野恵子・田中章浩（2008）熟度が異なる牛糞堆肥を飼料イネ栽培前後に施用した水

田土ポットにおける冬季の窒素溶脱。日作九支報，74: 14-16.

石橋英二（2005）土壌施肥管理システムの開発。岡山県農総セ農試研報，23: 33-41.

石橋英二（2010）たい肥など有機質資材の活用技術。農林水産技術研究ジャーナル，33: 31-35.

実用技術開発事業18053マニュアル編集委員会（2010）家畜ふん堆肥の肥料成分・窒素肥効評価マニュアル。（独）農研機構中央農業総合研究センター，pp.1-170.

岡山県農林水産部（2014）家畜ふん堆肥適正施用の手引き，岡山県農林水産部，pp.25.

大家理哉・鷺尾建紀・森次真一・高原知佳子・石橋英二（2010）家畜ふん堆肥の肥料成分を有効利用するための施肥設計。平成22年度試験研究主要成果，岡山県農林水産総合センター農業研究所，pp. 7-8.

大家理哉・鷺尾建紀・石橋英二（2013a）水稲非作付け期間に施用した家畜ふん堆肥等有機物中の窒素の動態。土肥誌，84(6): 437-446.

大家理哉・鷺尾建紀（2013b）水稲作における鶏ふん施用から入水までの期間を考慮した施肥設計方法。平成25年度試験研究主要成果，岡山県農林水産総合センター農業研究所，pp. 15-16.

田淵恵・高原知佳子・高津あさ美・大家理哉・森次真一・鷺尾建紀・石橋英二（2010）土壌施肥管理システムを活用した「コシヒカリ」への有機質肥料施用技術。平成22年度試験研究主要成果，岡山県農林水産総合センター農業研究所，pp. 9-10.

瀧勝俊（1996）水田における家畜ふん堆肥の適正施用技術に関する研究（第1報）。愛知県農総試研報，28: 89-95.

（財）日本土壌協会（2000）堆肥等有機物分析法。（財）日本土壌協会，東京，pp.14-19，35-39.