

下水汚泥由来の肥料資源を有効利用した高タンパク飼料用米の栽培

| | | |
|---------------|-----|------------------|
| 山形大学大学院農学研究科 | 非会員 | Cheikh Adrame BA |
| 山形大学農学部 | 非会員 | Luc Duc PHUNG |
| 東京大学大学院工学系研究科 | 非会員 | Dung Viet PHAM |
| 山形大学工学部 | 非会員 | 佐々木 貴史 |
| 岩手大学理工学部 | 正会員 | 伊藤 歩 |
| 山形大学農学部 | 正会員 | ○渡部 徹 |

1. はじめに

著者らは、下水処理水を灌漑に利用することで、無施肥で高タンパク飼料用米を栽培することに成功している。しかし、下水処理場から離れた水田に処理水を送ることは困難である。そこで、窒素やリン酸を多く含み、有機質肥料として利用実績が多い汚泥コンポストを併用することで、灌漑する処理水の量を減らす戦略を立てた。即効性に乏しいコンポストは基肥には適しているが、（高タンパク米の生産に不可欠となる栽培後期に窒素を供給する）追肥に用いることは難しい。そこで、本研究では、岩手大学がMAP対策のために開発した手法²⁾によって余剰汚泥から回収した汚泥濃縮分離液と、嫌気性消化後の汚泥の脱水過程で回収される脱水分離液をそれぞれ追肥に用いて、基肥としてのコンポストとの併用で高タンパク飼料用米の栽培に挑戦した。

2. 方法

2. 1 余剰汚泥濃縮分離液を用いた栽培試験

1/2000 アールのワグネルポットを用いて、飼料用米（品種：べこあおば）の栽培試験を実施した。実験は、基肥としての汚泥コンポスト（CSS）と追肥としての余剰汚泥濃縮分離液（SASE）を施用し、両者の投入量の組み合わせをそれぞれ3反復で試験した（表1）。実験には、山形県鶴岡市の鶴岡浄化センターの消化汚泥から製造されたCSSと、岩手県盛岡市の都南浄化センターの余剰汚泥から回収されたSASEを用いた。比較のための対照区T1-1では、飼料用米の栽培でしばしば行われる多肥栽培の水田を想定し、基肥および追肥として化学肥料（CF）をそれぞれポット当たり0.8および0.5 g-N施用した。

2. 2 消化汚泥脱水分離液を用いた栽培試験

2. 1の栽培試験の結果をもとに、基肥としてのコンポスト使用量を0.8g-Nに統一した上で、追肥を消化汚泥脱水分離液（LD）に変更して、同様の飼料用米栽培試験を実施した。LDの施用は、処理区T2-2～T2-4では中干し後の1回のみとして、その施用量は段階的に増加させた（表2）。処理区T2-4～T2-7では、LDの施用量総計は同等として、その施用回数を1回から4回に増やした。この実験には、鶴岡浄化センターの消化汚泥から製造したCSSと消化汚泥の脱水時に発生するLDを用いた。

表1. 余剰汚泥濃縮分離液を用いた栽培試験の条件

| 処理区 | 基肥 | | 追肥 | | | | N _{total} |
|------|-----|----------------|------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| | 種類 | N ₀ | 種類 | N ₁₀ | N ₅₀ | N ₈₀ | |
| T1-1 | CF | 0.8 | CF | 0 | 0.5 | 0 | 1.3 |
| T1-2 | CSS | 1.3 | SASE | 0 | 0.8 | 0 | 2.1 |
| T1-3 | CSS | 1.3 | SASE | 0 | 0.8 | 0.3 | 2.4 |
| T1-4 | CSS | 1.3 | SASE | 0.3 | 0.8 | 0.3 | 2.7 |
| T1-5 | CSS | 2.6 | SASE | 0 | 0.8 | 0 | 3.4 |
| T1-6 | CSS | 2.6 | SASE | 0 | 0.8 | 0.3 | 3.7 |
| T1-7 | CSS | 2.6 | SASE | 0.3 | 0.8 | 0.3 | 4.0 |

N₀, N₁₀, N₅₀, N₈₀: 栽培開始から0, 10, 50, 80日目に施用した窒素量 (g/ポット)

N_{total}: 窒素施用量の総計 (g/ポット)

表2. 消化汚泥脱水分離液を用いた栽培試験の条件

| 処理区 | 基肥 | | 追肥 | | | | | N _{total} |
|------|-----|----------------|----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| | 種類 | N ₀ | 種類 | N ₁₅ | N ₅₁ | N ₇₁ | N ₈₈ | |
| T2-1 | CF | 0.8 | CF | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 1.3 |
| T2-2 | CSS | 0.8 | LD | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 1.3 |
| T2-3 | CSS | 0.8 | LD | 0 | 1.5 | 0 | 0 | 2.3 |
| T2-4 | CSS | 0.8 | LD | 0 | 2.5 | 0 | 0 | 3.3 |
| T2-5 | CSS | 0.8 | LD | 1.0 | 1.5 | 0 | 0 | 3.3 |
| T2-6 | CSS | 0.8 | LD | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 0 | 3.3 |
| T2-7 | CSS | 0.8 | LD | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 3.3 |

N₀, N₁₅, N₅₁, N₇₁, N₈₁: 栽培開始から0, 15, 51, 71, 81日目に施用した窒素量 (g/ポット)

N_{total}: 窒素施用量の総計 (g/ポット)

キーワード: 下水汚泥, コンポスト, 余剰汚泥濃縮分離液, 消化汚泥脱水分離液, 飼料用米

住所: 山形県鶴岡市若葉町1-23, Tel: 0235-28-2907, Email: to-ru@tds1.tr.yamagata-u.ac.jp

3. 結果及び考察

3. 1 余剰汚泥濃縮分離液を用いた栽培試験

7つの処理区における水稻の草丈、茎数の最大値と、分けつ期および出穂期における葉色を表3に示す。草丈については、SASEの施用量が多い処理区 T1-3, T1-4, T1-7 で対照区 T1-1 より有意に高かった。茎数と葉色（出穂期）でも、SASEの施用量が最も多い処理区 T1-7 で対照区 T1-1 に比べて有意に大きい値が得られた。

各処理区で収穫された玄米の収量とタンパク質含有率も表3に示す。収量はCSSの施用量が多い処理区（T1-5～T1-7）で少ない処理区（T1-2～T1-4）よりも高くなり、SASEの施用量も多い T1-7 で最大となった。タンパク質含有率は、CSSとSASEを施用したすべての処理区で対照区 T1-1 よりも有意に高く、T1-7 がやはり最大値を示した。

表3. 余剰汚泥濃縮分離液（SASE）を用いた栽培試験における水稻の生長、玄米の収量とタンパク質含有率

| 処理区 | 草丈の最大値 (cm) | 茎数の最大値 (本/ポット) | 葉色 (SPAD値) | | 玄米収量 (g/ポット) | 粗タンパク質 (%) |
|------|----------------|-------------------|------------|-------------|-----------------|---------------|
| | | | 分けつ期 | 出穂期 | | |
| T1-1 | 91.7±1.3 b | 52.3±2.1 b | 36.7±6.0 a | 43.4±2.6 b | 47.4±9.8 b | 6.50±0.16 c |
| T1-2 | 95.2±2.4 ab | 50.3±2.1 b | 33.1±7.0 a | 46.8±0.7 ab | 52.7±18.1 b | 7.43±0.32 b |
| T1-3 | 97.1±2.1 a | 50.3±3.8 b | 33.0±6.5 a | 45.9±1.8 ab | 53.4±14.0 b | 7.77±0.11 ab |
| T1-4 | 97.9±2.7 a | 51.7±2.5 b | 33.8±6.4 a | 45.7±0.9 ab | 66.5±12.9 ab | 7.84±0.06 ab |
| T1-5 | 96.0±1.7 ab | 59.0±2.7 ab | 35.4±7.9 a | 46.6±0.5 ab | 67.3±9.4 ab | 7.42±0.48 b |
| T1-6 | 96.6±0.3 ab | 59.7±0.6 b | 31.9±5.9 a | 46.4±0.5 ab | 71.2±2.0 ab | 8.08±0.17 ab |
| T1-7 | 97.5±1.9 a | 65.3±5.1 a | 34.2±8.5 a | 47.6±1.8 a | 88.9±5.4 a | 8.17±0.28 a |

表中の数値は平均値±標準偏差（n=3）を示している。

数値に付いたアルファベットが異なる処理区の間には有意差（p<0.05）がある。

このように、下水汚泥由来の肥料資源であるCSSとSASEを適切に組み合わせることで、高タンパク飼料用米を十分な収量で収穫できるが、この方法を実水田に適用するためには、大量（処理区 T1-7 では10アールの水田で332m³）のSASEの運搬が制限となる。そこで、SASEよりも窒素濃度が約10倍も高いLDの利用に着目した。

3. 2 消化汚泥脱水分離液を用いた栽培試験

7つの処理区における水稻の草丈、茎数の最大値と、分けつ期および出穂期における葉色を表4に示す。処理区 T2-2～T2-4 を比較すると、LDの施用量が多い T2-4 ほど水稻の生長が促進されていた。一方、処理区 T2-4～T2-7 の比較でLDの施用回数の影響を検討したところ、1回（T2-4）または2回（T2-5）の施用が効果的であり、T2-6やT2-7で栽培後期に実施した3回目および4回目の追肥の効果は見られなかった。

各処理区で収穫された玄米の収量とタンパク質含有率も表4に示す。収量はLDの施用量が多いほど増加し、処理区 T2-4 では対照区 T2-1 と同程度の水準に達していた。施用量が最も多い処理区 T2-4～T2-7 の中には、2回施用する T2-5 の収量がやや多かった。タンパク質含有率も同様にLDの施用量が多いほど上昇した。施用量が最も多い処理区 T2-4～T2-7 の含有率は対照区よりも有意に高く、LDを1回のみ施用する T2-4 でその値が最大となった。

表4. 消化汚泥脱水分離液（LD）を用いた栽培試験における水稻の生長、玄米の収量とタンパク質含有率

| 処理区 | 草丈の最大値 (cm) | 茎数の最大値 (本/ポット) | 葉色 (SPAD値) | | 玄米収量 (g/ポット) | 粗タンパク質 (%) |
|------|----------------|-------------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|
| | | | 分けつ期 | 出穂期 | | |
| T2-1 | 102.0±2.0 ab | 57.7±3.8 a | 37.1±10.1 a | 45.0±0.3 bc | 74.1±9.2 ab | 8.23±0.16 c |
| T2-2 | 95.1±2.5 b | 49.0±3.0 a | 35.4±8.7 a | 43.0±0.2 c | 51.5±0.6 b | 7.76±0.10 c |
| T2-3 | 102.2±3.6 ab | 50.7±5.9 a | 35.6±8.8 a | 46.6±0.7 ab | 65.3±7.7 ab | 9.33±0.21 b |
| T2-4 | 106.7±7.6 a | 48.3±4.2 a | 36.0±7.2 a | 47.5±0.6 a | 74.0±8.4 ab | 10.93±0.39 a |
| T2-5 | 106.0±3.0 a | 56.7±1.5 a | 36.4±8.4 a | 47.2±0.4 a | 85.8±11.8 a | 9.19±0.38 b |
| T2-6 | 106.0±2.7 a | 59.0±8.2 a | 33.8±9.7 a | 46.5±1.2 ab | 76.8±9.5 a | 9.42±0.36 b |
| T2-7 | 107.2±4.2 a | 57.7±10.4 a | 34.7±8.2 a | 46.4±1.2 ab | 77.8±6.7 a | 9.42±0.15 b |

表中の数値は平均値±標準偏差（n=3）を示している。

数値に付いたアルファベットが異なる処理区の間には有意差（p<0.05）がある。

謝辞: この研究の一部は、国土交通省による下水道応用研究の支援を受けた。

参考文献 1) Phung et al., Sci. Rep., 10, 5485, 2020; 2) 白岩ら, 土木学会論文集 G (環境), 74(7), III_83-III_92, 2018