

ISSN 1882-6415

Bulletin of
Shizuoka Prefectural
Research Institute of Animal Industry
Swine & Poultry Research Center
No.6
January, 2013

**静岡県畜産技術研究所
中小家畜研究センター研究報告**

第6号

平成25年1月

**静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター
静岡県畜産経営環境技術センター**

静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター
Bull, Shizuoka
Swine & Poultry
Res. Cen.
No.6

静岡県菊川市西方2780
Kikugawa-shi, Shizuoka-ken
Japan

静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター研究報告 第6号 (2013)

目 次

| | |
|------------------------------------------------------|----|
| 1. デュロック種系統造成 (第一報) | 1 |
| 寺田圭・寒川彰久・堀内篤・柴田昌利 | |
| 2. 戻し交配によるGFPミニブタの開発 | 7 |
| 柴田昌利・塩谷聡子・大津雪子 ¹ ・河原崎達雄 ² | |
| (1: 現東部農林事務所、2: 現東海大学農学部) | |
| 3. ワサビ茎葉の給与が鶏飼育に及ぼす影響 | 11 |
| 松井繁幸・池谷守司 | |
| 4. ウィンドウレス鶏舎内における赤色LEDによる照明が卵の生産と経済性に及ぼす影響 | 19 |
| 池谷 守司・松井繁幸 | |
| 5. 畜産排水処理における汚泥容量の自動計測制御システムの開発 (第1報)..... | 24 |
| 杉山 典・中村茂和・白岩佑美子・村松明弘 ¹ ・西村文武 ² | |
| (1: 協立電機株式会社、2: 京都大学大学院工学研究科) | |
| 6. 養豚排水のアンモニアストリッピング法による窒素除去に及ぼす諸要因 | 29 |
| 中村茂和・白岩佑美子・杉山 典 | |
| 7. 静岡県内における養豚排水の水質特性..... | 38 |
| 白岩佑美子・中村茂和・杉山 典 | |

Shizuoka Prefectural
Research Institute of Animal Industry
Swine & Poultry Research Center
No.6 2013

Contents

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 . The breeding of a Duroc strain (I)..... | 1 |
| Kei Terada, Akihisa Kangawa, Atsushi Horiuchi, Masatoshi Shibata | |
| 2 . Development of GFP-Transgenic mini-pig by backcrossing | 7 |
| Masatoshi Shibata, Satoko Enya, Yukiko Otsu ¹ , Tatsuo Kawarasaki ² (¹ Shizuoka Prefectural Toubu Agriculture and Forestry, ² Tokai University of Agriculture) | |
| 3 . Effect of leaf and stalk-feeding of Wasabi (Wasabia japonica Matsum) on breeding of hen ... | 11 |
| Shigeyuki Matsui, Moriji Ikeya | |
| 4 . The effect of red LED lighting on egg production and profitability in windowless poultry house | 19 |
| Moriji Ikeya, Shigeyuki Matsui | |
| 5 . Development of automatic measurements and regulation system of activated sludge volume in livestock wastewater treatment (I) | 24 |
| Tsukasa Sugiyama, Shigekazu Nakamura, Yumiko Shiraiwa, Akihiro Muramatsu ¹ , Humitake Nishimura ² (¹ Kyoritsu Electronic Corporation, ² Kyoto University) | |
| 6 . Factors affecting removal of nitrogen from swine manure wastewater by means of ammonia stripping | 29 |
| Shigekazu Nakamura, Yumiko Shiraiwa, Tsukasa Sugiyama | |
| 7 . Influent Characterization of swine wastewater in Shizuoka Prefecture | 38 |
| Yumiko Shiraiwa, Shigekazu Nakamura, Tsukasa Sugiyama | |

デュロック種系統造成（第一報）

The breeding of a Duroc strain (I)

寺田圭・寒川彰久・堀内篤・柴田昌利

要約：デュロック種系統豚「フジロック」の近交係数の上昇により、近交退化が懸念されるため、新しいデュロック種の系統造成を開始した。デュロック種系統豚である「シモフリレッド」「アイリスナガラ」「ゼンノー D-01」を導入し、選抜された第一世代の能力はDG雄948g/日、雌925g/日、BF雄2.32cm、雌2.60cm、EM雄29.5cm²、雌31.0cm²となった。血統の交雑を優先したため標準化された総合育種価の選抜差は雄0.00、雌0.25で大きな改良量は得られなかった。

系統豚を使用している農業者への聞き取りにより、肢蹄の強健性と消費者にPRできるおいしさへの改良が求められていることが分かった。そのため、強健性については肢蹄のスコアリング及びDNAマーカーの利用を検討している。おいしさについては選抜除外された全兄弟平均の筋肉内脂肪含量（IMF）が3%以下の個体の独立淘汰および、シェアバリュー、脂肪酸組成を改良目標に加えることを検討している。

（静岡畜技研中小研七研報6, 1～6, 2013）

はじめに

当センターでは平成22年に完成した大ヨークシャー種系統豚「フジヨーク2」、平成9年に完成したデュロック種系統豚「フジロック」の維持・販売を行っている。「フジヨーク2」および「フジロック」は静岡型銘柄豚として販売される豚肉の母豚・種豚として利用され、平成23年度は県内12戸の農家で29,546頭の肉豚が静岡型銘柄豚として販売されている。「フジロック」については、平成9年に完成し、15年間閉鎖群で維持をした結果、平均近交係数16%、血縁係数30%となっている。ランドレース種において、近交係数が10%上昇すると産子数が1.8頭減少するとの報告（石井2004）や、デュロック種においては近交係数が0%と25%を比較した場合、2ヶ月齢時体重が3.9kg減少する等の近交退化が報告されている（石井2004）。「フジロック」については、今後5年で平均近交係数が20%と突破すると予測され、近交退化の影響を受けることが懸念されたため、平成22年より新しいデュロック種の系統造成を開始した。

本報告では帝王切開にて本研究センターに導入した基礎豚、基礎豚同士を交配した第一世代の成績をもとに、今後の系統造成の目標を検討

した。

材料および方法

1. 供試材料

宮城県で造成された系統豚「シモフリレッド」、愛知県・岐阜県合同で造成された「アイリスナガラ」、全農畜産サービス株式会社で造成された「ゼンノー D-01」の妊娠豚それぞれ5頭を導入し、帝王切開にてSPF化した。得られた産子から体型、体重等により、「シモフリレッド」雄4頭雌11頭、「アイリスナガラ」雄2頭雌7頭、「ゼンノー D-01」雄5頭雌12頭を選抜した。また、当センターで飼養されている「フジロック」から雄3頭雌15頭を加え、合計で雄14頭、雌45頭を基礎豚（G0）にした。その後、基本計画（表1）に従い、G0の産子雄93頭、雌125頭を得て第一世代（G1）とした。

表1 系統造成の基本計画

| 世代 | 出生 | 一次選抜 | 二次選抜 | 交配 | 分娩 |
|-------|-----|------|------|----|-----|
| 基本計画 | 10月 | 12月 | 5月 | 6月 | 10月 |
| 雄(頭数) | 150 | 30 | 15 | 10 | 10 |
| 雌(頭数) | 150 | 90 | 40 | 40 | 30 |
| 体重 | | 30kg | 90kg | | |

2. 系統豚の選抜

一腹の平均体重が約30kgになる生後8週齢で一次選抜を実施した。選抜基準は体重・体型・肢蹄のやわらかさ、乳器、生殖器の形状とした。肢蹄のやわらかさについては平成23年度豚の新育種技術に関する研究会で示された図1を参考に評価を行った（家畜改良センター 2011）。ヘルニアやメラノーマの認められた個体は独立淘汰方式で除外した。一次選抜では基本的に一腹雄1頭、雌3頭を選抜した。体重90kg時に超音波測定装置にて体長1/2部位の背脂肪厚（BF）、ロース芯面積（EM）を測定し、再度図1の基準で肢蹄の評価を行った。これら測定値と30kg～90kgの一日増体重（DG）とにより2次選抜を実施した。DG、BF、EMについてはBLUP法にて育種価を推定し、改良目標に合わせた選抜指数式により総合育種価を推定した。

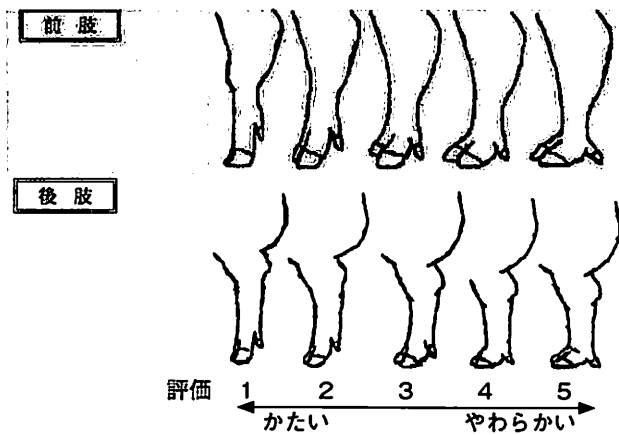


図1 肢蹄のやわらかさ評価基準

3. 枝肉・肉質調査

選抜除外豚去勢21頭、雌12頭、合計33頭を110kgでと殺し、枝肉・肉質調査に供した。供試豚は、と体長、ロース長、ロース断面積、平均背脂肪厚、ポークカラースタンド（PCS）を用いた肉色を検査した。肉質検査は、と殺後一晩冷蔵保存した枝肉から、胸最長筋の最後胸椎から第4腰椎までの部位を採取し試料とした。

筋肉内水分含量は、ミンチした試料約3グラムをアルミ秤量缶にとり、135℃で2時間乾燥後の重量の減少から算出した。筋肉内脂肪含量（IMF）は、水分含量測定後の材料を用い、エーテル抽出により回収された抽出物の重量を測定し、算出した。クッキングロスは、試料を2×2cm、長さ3cmに切り、ビニール袋で真空パッ

ク後、70℃で1時間加熱、流水中で30分冷却後の重量の減少から算出した。シェアバリューは、クッキングロス測定後の試料を用い、1×1cmに整形後、Warnar-Bratzler meat shear（Model235）により測定した。

脂肪酸組成は、背脂肪および腎周囲脂肪を加熱溶解後メチル化し、ガスクロマトグラフィー（島津製作所）により分析した。

遊離アミノ酸は細切した試料1gに1%スルホサリチル酸を加え、ホモゲナイズ、振とう、遠心分離後、0.45μmのメンブランフィルターでろ過し、アミノ酸自動分析装置（日立L8500）でグルタミン酸量と総アミノ酸量を測定した。

結果

表2 基礎豚世代の能力比較

| 系統名 | n | 一日増体重 (g/日) | 背脂肪厚 (cm) | ロース芯面積 (cm ²) |
|----------|----|----------------|--------------|------------------------------|
| シモフリレッド | 16 | 1015.7a | 2.88a | 33.2a |
| アイリスナガラ | 18 | 1101.3b | 2.58b | 35.1b |
| ゼンノーD-01 | 9 | 911.6c | 2.31c | 32.8a |
| 全体 | 43 | 990.1 | 2.58 | 33.5 |

異文字間に有意差有り P<0.05 Tukey 法により検定

基礎豚（G0）世代のDG、BF、EMの能力を表2に示した。DGについては「アイリスナガラ」が大きく、次いで、「シモフリレッド」系統が大きかった。いずれの系統においても有意な差が認められた。BFについて、「シモフリレッド」系統が厚く、次いで「アイリスナガラ」が厚かった。いずれの系統間においても有意な差が得られた。EMについて、「アイリスナガラ」が他の2系統と比較して大きく、有意な差が得られた。全体の平均としてはDG990.1g/日、BF2.58cm、EM33.5cm²となった。

G0世代のDG、BF、EMの能力が判明したため、系統豚の基礎的な能力として改良目標を表3のとおり設定し、前回のデュロック種系統造成時（堀内ら1996）、および文献値（佐藤2001）より遺伝的パラメーターを設定し、総合育種価を推定する式を作成した。

G1の選抜の状況を表4に示した。選抜を実施した結果、G1のDGは雄947.8g/日、雌925.4g/日となった。BFは雄2.32cm、雌2.60cmとなっ

表3 改良目標と遺伝的パラメーター、総合育種価を与える式

| | 一日増体重(g/日) | 背脂肪厚(cm) | ロース断面積(cm ²) |
|---------|------------|----------|--------------------------|
| 改良目標 | 950 | 2.5 | 38.0 |
| 参考 | | | |
| 前回フジロック | 930.0 | 2.70 | 35.4 |
| 基礎豚(G0) | 990.1 | 2.58 | 33.5 |
| 標準偏差 | 103.0 | 0.38 | 1.7 |

遺伝的パラメーター

| 選抜形質 | 基礎集団平均 | 相対希望改良量 | 表型分散 | 対角：遺伝率 | 対角下：遺伝相関 | 対角上：環境相関 |
|-----------------------|--------|---------|------|--------|----------|----------|
| | | | | DG | BF | EM |
| DG (g/day) | 990.1 | 0 | 9336 | 0.44 | 0.13 | -0.11 |
| BF (cm) | 2.58 | -0.08 | 0.13 | 0.1 | 0.42 | -0.16 |
| EM (cm ²) | 33.5 | 4.5 | 11.6 | -0.1 | -0.1 | 0.22 |

総合育種値 = 0.055647 DG育種値 - 1.828222 BF育種値 + 10.05355 EM育種値

表4 第1世代の選抜の状況

| 表型値 | 世代 | 性 | n | 選抜数 | 選抜率 | 平均 | 標準偏差 | 選抜個体の平均 | 選抜差 | 標準化された選抜差 | |
|-----|----|---|----|-----|------|-------|-------|---------|-------|-----------|-------|
| | | | | | | | | | | | DG |
| | | ♀ | 74 | 50 | 0.68 | 919.5 | 85.7 | 925.4 | 5.87 | 0.07 | |
| BF | 1 | ♂ | 32 | 15 | 0.47 | 2.44 | 0.37 | 2.32 | -0.12 | -0.33 | |
| | | ♀ | 74 | 50 | 0.68 | 2.65 | 0.32 | 2.60 | -0.05 | -0.16 | |
| EM | 1 | ♂ | 32 | 15 | 0.47 | 30.0 | 3.7 | 29.5 | -0.50 | -0.13 | |
| | | ♀ | 74 | 50 | 0.68 | 30.4 | 3.4 | 31.0 | 0.61 | 0.18 | |
| 育種価 | DG | 1 | ♂ | 32 | 15 | 0.47 | 12.54 | 45.1 | 6.69 | -5.86 | -0.13 |
| | | ♀ | 74 | 50 | 0.68 | 6.86 | 44.3 | 13.30 | 6.44 | 0.15 | |
| | BF | 1 | ♂ | 32 | 15 | 0.47 | -0.02 | 0.17 | -0.08 | -0.06 | -0.33 |
| | | ♀ | 74 | 50 | 0.68 | -0.03 | 0.15 | -0.04 | -0.01 | -0.08 | |
| | EM | 1 | ♂ | 32 | 15 | 0.47 | 0.02 | 0.9 | 0.05 | 0.03 | 0.03 |
| | | ♀ | 74 | 50 | 0.68 | -0.10 | 0.7 | 0.06 | 0.16 | 0.24 | |
| | 総合 | 1 | ♂ | 32 | 15 | 0.47 | 0.95 | 9.9 | 0.99 | 0.05 | 0.00 |
| | | ♀ | 74 | 50 | 0.68 | -0.55 | 7.8 | 1.42 | 1.97 | 0.25 | |

表5 肢蹄の評価

| | 世代 | 性 | n | 選抜数 | 選抜率 | 平均 | 標準偏差 | 選抜個体の平均 | 選抜差 | 標準化された選抜 |
|-------|----|---|----|-----|------|------|------|---------|------|----------|
| 前肢管囲 | 1 | ♂ | 32 | 15 | 0.47 | 18.7 | 0.6 | 18.9 | 0.2 | 0.3 |
| | | ♀ | 74 | 50 | 0.68 | 17.8 | 0.5 | 17.7 | 0.0 | 0.0 |
| 後肢管囲 | 1 | ♂ | 32 | 15 | 0.47 | 19.3 | 0.6 | 19.6 | 0.2 | 0.4 |
| | | ♀ | 74 | 50 | 0.68 | 18.4 | 0.5 | 18.4 | -0.1 | -0.1 |
| 前肢スコア | 1 | ♂ | 32 | 15 | 0.47 | 2.9 | 0.6 | 2.9 | 0.0 | 0.0 |
| | | ♀ | 74 | 50 | 0.68 | 2.6 | 0.6 | 2.6 | 0.0 | 0.0 |
| 後肢スコア | 1 | ♂ | 32 | 15 | 0.47 | 2.5 | 0.6 | 2.9 | 0.4 | 0.6 |
| | | ♀ | 74 | 50 | 0.68 | 2.0 | 0.5 | 2.6 | 0.5 | 1.1 |

スコア：柔らかさの評価基準による（図1）

表6 枝肉調査の結果

| 調査項目 | n | 第一世代 | n | H18調査フジロック(参考) |
|---------------------------|----|------------|----|----------------|
| 背腰長2 (cm) | 33 | 64.3 ± 2.2 | 16 | 66.8 ± 1.9 |
| ロース断面積 (cm ²) | 29 | 22.9 ± 3.3 | 16 | 21.6 ± 2.7 |
| 肩背腰平均脂肪厚 (cm) | 33 | 3.5 ± 0.5 | 16 | 2.9 ± 0.4 |
| 肉色PCS | 33 | 3.21 ± 0.4 | 14 | 3.96 ± 0.5 |
| 胸椎+腰椎数 (個) | 33 | 21.2 ± 0.5 | 16 | N.D. ± N.D. |

平均値±標準偏差

表7 肉質調査の結果

| 調査項目 | n | 第一世代 | n | H18調査フジロック(参考) |
|-------------------------------|----|--------------|----|----------------|
| 筋肉内脂肪含量 (%) | 33 | 4.02 ± 1.35 | 14 | 3.59 ± 1.61 |
| クッキングロス (%) | 33 | 28.01 ± 1.81 | 14 | 27.85 ± 1.41 |
| シェアバリュー (lb/cm ²) | 33 | 5.82 ± 1.82 | 14 | 7.58 ± 1.58 |
| グルタミン酸量 (nmol/g) | 33 | 0.25 ± 0.06 | 14 | 0.21 ± 0.12 |
| 総アミノ酸量 (nmol/g) | 33 | 7.28 ± 0.81 | 14 | 7.15 ± 0.49 |

平均値±標準偏差

表8 背脂肪内層の脂肪酸組成

| 背脂肪外層 | n | 第一世代 | n | フジロック(参考) |
|---------------------|----|-------------|----|-------------|
| C16-1(パルミトレイン酸) (%) | 33 | 3.2 ± 0.6 | 14 | 2.8 ± 0.3 |
| C18-0(ステアリン酸) (%) | 33 | 11.3 ± 0.2 | 14 | 11.5 ± 1.0 |
| C18-1(オレイン酸) (%) | 33 | 46.0 ± 1.7 | 14 | 44.5 ± 1.0 |
| C18-2(リノール酸) (%) | 33 | 14.0 ± 1.1 | 14 | 16.1 ± 0.8 |
| 不飽和合計 (%) | 33 | 63.1 ± 1.6 | 14 | 63.4 ± 1.5 |
| 背脂肪内層 | | | | |
| C16-1(パルミトレイン酸) (%) | 33 | 2.6 ± 0.5 | 14 | 2.5 ± 0.2 |
| C18-0(ステアリン酸) (%) | 33 | 14.2 ± 1.4 | 14 | 14.1 ± 1.1 |
| C18-1(オレイン酸) (%) | 33 | 44.2 ± 1.5 | 14 | 43.5 ± 1.2 |
| C18-2(リノール酸) (%) | 33 | 11.9 ± 1.1 | 14 | 13.1 ± 0.8 |
| 不飽和合計 (%) | 33 | 41.3 ± 1.8 | 14 | 40.9 ± 1.7 |
| 腎周囲 | | | | |
| C16-1(パルミトレイン酸) (%) | 33 | 2.5 ± 0.5 | 14 | 2.5 ± 0.3 |
| C18-0(ステアリン酸) (%) | 33 | 16.5 ± 1.5 | 14 | 16.3 ± 1.0 |
| C18-1(オレイン酸) (%) | 33 | 41.0 ± 1.4 | 14 | 40.7 ± 1.2 |
| C18-2(リノール酸) (%) | 33 | 11.6 ± 1.0 | 14 | 12.1 ± 0.5 |
| 不飽和合計 (%) | 33 | 55.1 ± 1.4 | 14 | 55.3 ± 1.2 |
| 飽和/不飽和 | 33 | 0.81 ± 0.04 | 14 | 0.81 ± 0.04 |

平均値±標準偏差

た。EMは雄29.5cm²、雌31.0cm²となった。また、肢蹄の評価結果を表5に示した。選抜された第1世代の前肢平均管囲は雄18.9cm、雌17.7cm、後肢平均管囲は、雄19.6cm、雌18.4cm、肢蹄の評価は、前肢で雄2.9、雌2.6、後肢で雄2.9、雌2.6となった。G1の枝肉・肉質調査の結果を表6に示した。第1世代の肉質調査豚の背腰長64.3cm、ロース断面積22.9cm²、平均背脂肪厚3.5cm、胸椎と腰椎数は21.2個となった。

G1の肉質調査の結果を表7に示した。IMFは4.02%、クッキングロス28.01%、シェアバリュー5.82lb/cm²、グルタミン酸量0.25nmol/gとなった。また、背脂肪内層の脂肪酸組成を表8に示した。オレイン酸量44.2%、リノール酸量11.9%、脂肪酸全体のなかで不飽和脂肪酸量は41.3%、飽和脂肪酸量は58.7%となった。

考 察

現在の「フジロック」と交配させるため、新たに導入した「シモフリレッド」「アイリスナガ

ラ」「ゼンノー D-01」のG0世代の成績から、「シモフリレッド」はDG、「ゼンノー D-01」はBF、「アイリスナガラ」はEMの能力が高いことがわかった。それぞれの系統豚の高い能力を次世代のフジロックに導入することを目的として、改良目標は前回のデュロック種系統造成時の目標を上回る能力に設定し改良を行った。その結果、G1世代では雄、雌ともDG、BFは改良目標に近く、目標を達成することが比較的容易と考えられるが、EMは+5cm²と差が大きく、今後の改良の方向はEMの改良と考えられた。G1では導入したそれぞれの系統豚を均等に交配させたため、強い選抜は行わなかった。その結果、総合育種価の標準化された選抜差は雄で0.00、雌で0.25とあまり改良は進まなかった。G0がそれぞれ異なった特徴を持っているため、第2世代の選抜までは血統の交配を主眼におき、選抜を行う予定である。選抜除外豚の枝肉調査については、平成18年に調査したフジロックと比較して、ロース断面積は同程度、背脂肪厚は大きくなった。PCSによるG1の肉色は消費者が好ましい

とされている3に近かった。今後、ロース芯面積が大きく、背脂肪が薄くなる方向に改良を進めていく。

現在県下で系統豚を使用している農家に聞き取りを行ったところ、デュロック種に求められていることは強健性や販売を行う際に消費者にPR出来るセールスポイントなどであった。強健性については、デュロック種は主に止め雄で使用されることが主であることから長い使用に耐える肢蹄が求められる。図1に示されているつなぎのやわらかさ評価は家畜改良センターが提唱した評価基準で全国的に使用されている。したがって、全国との比較や遺伝的パラメーターの正確性等で、優れた評価基準と考えられる。本評価は選抜には使用せず、つなぎのかたい（1に近い）個体とやわらかい（5に近い）個体との交配を行うことにより中庸である3に近づける計画である。また、管囲について、G1世代では選抜に使用しなかったため、改良量を得られなかった。管囲については関係する有意なゲノム領域が発見されており（奥村ら2012）、本系統造成でもDNA解析を実施中で、今後活用していきたい。

生産された肉の「おいしさ」については消費者へのPRが重要である。豚肉の理化学的成分と官能検査の関係特に脂肪の量や質に関しては、IMFが2.5%以下であると硬さが増し、多重性を減少させる（Devolら1989,日本飼料標準豚2005）という報告や、脂肪酸組成で高いパルミトリン酸および低いステアリン酸含量を持つと食味の評価が高い（木全ら2001）という報告がある。G1世代の選抜除外豚の肉質調査の結果、IMFは4.02%であったが、IMFはBFと高い相関があり、EMと高い負の相関があることが知られている。（兵藤1997）。今後EMの増加を改良していく場合、IMFの減少を招く可能性がある。そのため、全兄弟のIMFの平均が3%以下の場合、独立淘汰を行うという選抜方法を利用する等、適切なIMF含量について検討していきたい。「シモフリレッド」はIMFを改良目標に設定して造成されたものであり（鈴木ら2002）本系統造成にも活用価値が高いと考える。

G1世代の脂肪酸組成は現在のフジロックとほぼ同じ組成であった。背脂肪を薄くした場合、

軟脂の発生が懸念される（入江1989a）。軟脂の指標としては腎臓周囲脂肪の飽和/不飽和割合と相関が高く、0.8以下では脂肪の硬度が小さいと報告されている（入江1989b）。今回の枝肉検査では軟脂の豚は見られなかったが、腎臓周囲脂肪の飽和/不飽和割合は0.81で軟脂の発生の可能性がある。そのため、背脂肪の改良に合わせて、腎臓周囲脂肪の飽和/不飽和割合も検討していく必要がある。

DG、BF、EM、肢蹄の強化、IMF、腎臓周囲脂肪の飽和/不飽和割合が現在設定を検討している改良目標である。これら目標の相関、遺伝率等を勘案して、改良目標を設定することが今後必要である。また、改良目標は生産者が消費者や業者に有利性を説明するための根拠となる数字でもあるので、静岡型銘柄豚を生産している農家に改良目標について説明し、納得のいく改良目標の設定も今後の課題となっている。

参考文献

- Devol DL, McKeith FK, Bechtel PJ, Novakofski J, Shanks RD, Carr TR. 1988. Variation in composition and palatability traits and relationships between muscle characteristics and palatability in a random sample of pork carcass. *Journal of Animal Science*, 66 : 385-395.
- 堀内篤・知久幹夫・河原崎達雄・室伏淳一・鈴木滋・曾根勝・榑崎眞澄・野口博通. 1996. SPF環境によるデュロック種系統造成(2). 静岡県中小家畜試験場研究報告, 9 : 1-7.
- 兵藤勲. 1997. 脂肪交雑のある豚. 畜産の研究, 51 : 19-24.
- 石井和雄. 2004. 豚の近交退化について. 養豚の友, 4 : 22-26.
- 入江正和. 1989a. 豚脂肪の理化学的性状に及ぼす諸要因(4). 畜産の研究, 43 : 1143-1152.
- 入江正和. 1989b. 豚脂肪の理化学的性状に及ぼす諸要因(1). 畜産の研究, 43 : 793-798.
- 家畜改良センター. 2011. つなぎ評価の実施状況について. 平成23年度豚の新育種技術に関する研究会添付資料.
- 木全誠・石橋晃・鎌田寿彦. 2001. 肉食の理化学成分と官能検査との関係. 日本養豚学会誌, 38 : 45-50.
- 日本飼料標準豚(2005年版). 2005. 42-43. 社団法人中央畜産会. 東京.
- 奥村直彦・松本敏美・林武司・廣瀬健右・普川一雄・伊藤哲也・上西博英・美川智. 2012. 平成24年日本畜産学会第115回大会報告, III : 29-13.
- 佐藤正寛. 2001. 家畜育種の理論とその応用(34). 畜産の研究, 55 : 510.
- 鈴木啓一・門脇宏・柴田知也. 2002. 優良雄型種豚選抜試験. 平成13年度宮城県畜産試験場試験成績書, 65-74.

戻し交配によるGFPミニブタの開発

Development of GFP-Transgenic mini-pig by backcrossing

柴田昌利・塩谷聡子・大津雪子¹・河原崎達雄²

要約：近年、実験動物として注目度が高まっているブタについて、体細胞クローン技術により作出したGFP遺伝子導入金華豚と県内で誕生したマイクロミニピッグ（MMP）を素材として、戻し交配によるGFPミニブタの作出を試みた。

雑種第一代、戻し交配第一世代と進むに従い、体重は低値で推移した。1腹当たり産子数は徐々に減少し、戻し交配ブタの家系内交配ではMMP程度（5.7頭）となった。

GFPミニブタの体重はMMPより有意に高値であったが、一般のミニブタと同程度以下で推移し、バラツキもMMP以下であった。従って、戻し交配第1世代の家系内交配により、GFPミニブタを作成することが可能であることが明らかとなった。

（静岡畜技研中小研七研報6, 7～10, 2013）

はじめに

1996年のヒツジでの成功（Wilmotら1997）に始まった体細胞クローン技術により、それまで前核注入法が主体であった遺伝子組み換え家畜の作出効率が進歩した。ブタにおいては、2000年の初めての成功例の報告（Onishiら2000；Polejaevaら2000）直後から異種移植のドナー動物とすることを目的に抗原をノックアウトしたブタなどの遺伝子組み換えブタが作出されてきた（Phelpsら2003）。当センターにおいても2002年にデュロック種及び金華豚で体細胞クローンブタを誕生させ、2004年にはオワンクラゲ由来の緑色蛍光タンパク質（GFP）を発現させる遺伝子を導入したGFP金華豚の作出に成功した（Kawarasakiら2009）。

一方、ブタは解剖学的、生理学的にヒトに近く倫理的障害も少ないことから、イヌやサルに替わる実験動物として有用であるといわれ、最近では一般のミニブタよりもさらに小型のマイクロミニピッグ（MMP）の実験動物としての有用性も報告されている（Kawaguchiら2011；

2012；Sugiyamaら2011）。

これまで実験動物としてブタの活用がされなかった要因の一つとして、家畜ブタは実験動物施設での飼育が困難であることがあげられ、遺伝子組み換えブタでもミニブタが必要とされる。しかし、体細胞クローンブタの作出効率は依然として低く、家畜ブタと比べ産子数の少ない（谷岡1981；中西ら1991；齋藤2009）ミニブタでの遺伝子組み換えは効率的ではない。

そこで、今回我々は、当センターで作出したGFP金華豚とマイクロミニピッグを用いた戻し交配によるGFP遺伝子を発現する実験用ミニブタの開発を試みた。

材料および方法

1. 供試豚

（1）GFP遺伝子導入金華豚

雌金華豚の皮膚細胞にエレクトロポレーション法により、GFP遺伝子を導入し、体細胞クローン技術により作出したGFP金華豚（Kawarasakiら2009）と一般の金華豚との後代産子9腹27頭（雄11頭、雌16頭）を、また、交配にはそれらの

（1：現東部農林事務所、2：現東海大学農学部）

うちGFP遺伝子を発現している雌6頭を使用した。

(2) MMP

戻し交配には2008年5月に帝王切開によるSPF化で導入した雄1腹2頭を、発育調査には同腹の雌2頭および2010～2011年に体細胞クローン技術により作出した雌3頭の合計5頭の雌の産子16頭(雄10頭、雌6頭)を用いた。

(3) 雑種第一代および戻し交配第一世代ブタ

GFP金華豚の雌にMMPの雄を交配させて作出した雑種第一代ブタ(F1)を3腹13頭を使用した。これらのうち毛色が白でGFPを発現している雌ブタ6頭を種豚として選抜した。

それらF1雌ブタに別の雄MMPを交配して作出した戻し交配第一世代(BC1)は4腹27頭を用いた。

(4) GFPミニブタ

上記BC1を家系内交配して得られた産子(BC1F2)をGFPミニブタとし、3腹11頭について調査を実施した。

2 試験方法

(1) 戻し交配による体重および産子数の推移

GFP金華豚、MMP、F1及びBC1の生時体重および8週齢時までの体重を週1度測定した。また、それぞれの世代の初産豚について、産子数とは乳開始頭数を調査した。

(2) GFPミニブタの発育

GFPミニブタの発育を調査するため、生後6カ月齢までの体重を測定し、GFP金華豚およびMMPと比較した。また、それらの品種内でのバラツキを見るために変動係数(標準偏差/平均値)を比較した。

(3) 供試豚の管理

供試豚は4週齢で離乳し、2カ月齢までは哺乳期子豚育成用配合飼料(CP 18%、TDN 81%)を給与した。その後、GFP金華豚は2～3ヶ月齢まで子豚育成用配合飼料(CP 14.0%、TDN 77.0%)を不断給与、以降は種豚用配合飼料(CP 14.5%、TDN 72.0%)を1～1.2kg/日給与した。また、GFPミニブタおよびMMPは2カ月齢以降ミニ豚用飼料(CP13.0%、TDN74.0%、ミニブタフードMP(株)オリエンタル酵母)を当センターの定法に従い体重の3～5%給与した。

(4) 統計処理

GFPミニブタ、MMPおよびGFP金華豚の体重の差をみるための統計処理は、統計ソフトPharmaco Analyst I(スリーエス・ジャパン社)を用いDunnnett検定により行なった。

結果および考察

GFPミニブタ作出の途中世代である戻し交配過程での経過を調査した。戻し交配の世代が進むにつれて、体重は低値で推移するようになりBC1はGFP金華豚とMMPの中間の値となった(図1)。

一方、世代毎の産子数は、純粋種であるGFP金華豚は8.2頭、MMPは5.7頭であった。交雑種ではF1が8.2頭とGFP金華豚と同程度であったのに対して、BC1が6.8頭、BC1F2が5.7頭と交配が進むにつれて、MMPと同程度にまで低下した(表1)。今回戻し交配に使用した雄のMMPは同腹の兄弟であり近交の影響も考えられた。

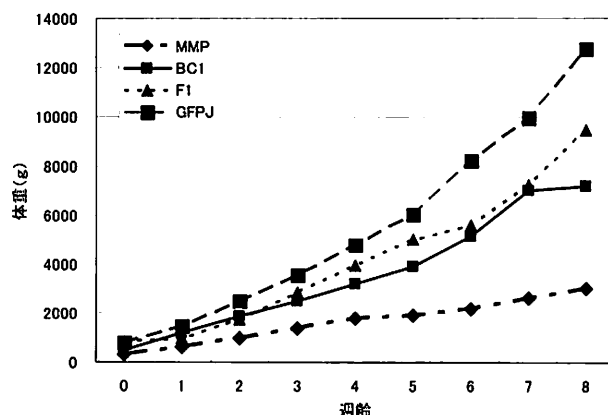


図1 各世代別の体重の推移

MMP:マイクロミニピッグ、BC1:戻し交配第一世代、F1:雑種第一代、GFPJ:GFP金華豚

表1 各世代の分娩成績

| 子豚品種 | 母豚品種 | 腹数 | 産子数 | 乳開始数 |
|-------|------|----|-----|------|
| GFPJ | GFPJ | 6 | 8.2 | 8.2 |
| F1 | GFPJ | 6 | 8.2 | 7.3 |
| BC1 | F1 | 4 | 6.8 | 6.8 |
| BC1F2 | BC1 | 3 | 5.7 | 5.3 |
| MMP | MMP | 3 | 5.7 | 4.7 |

GFPJ:GFP金華豚、F1:雑種第一代、BC1:戻し交配第一世代、MMP:マイクロミニピッグ、BC1F2:家系内交配

BC1の家系内交配によりGFPミニブタを作成した。GFP金華豚、マイクロミニピッグおよびGFPミニブタの体重の推移を図2、3に示した。GFPミニブタについては、性成熟達する6カ月齢まで、雌雄別に発育を調査した。

GFPミニブタの体重は、GFP金華豚との比較では雌雄ともに全期間を通じて有意に低値であった。MMPとの比較では、雄は1～5カ月齢時に有意に高値であったが、雄の生時及び6カ月齢時、雌では全期間を通じて有意な差は認められなかった。さらに、6カ月齢時の体重は雄11.5kg、雌15.2kgと、クラウンミニブタ（雄20.5kg、雌23.7kg）やゲッチングンミニブタ（雄19kg、雌15kg）での報告（中西ら1991、谷岡1981）と同等か低値であり、ミニブタ化されていると考えられた。今回使用したブタのうち、GFP遺伝子を組み込んだ金華豚が小型～中型であり（丹羽 1994）、戻し交配に用いたMMPは性成熟に達する6から7カ月齢時の体重が10kg前後と一般的なミニブタよりもさらに小さなブタであったことから、戻し交配を1世代と家系内交配を行っただけで十分に小さな個体となったと思われた。

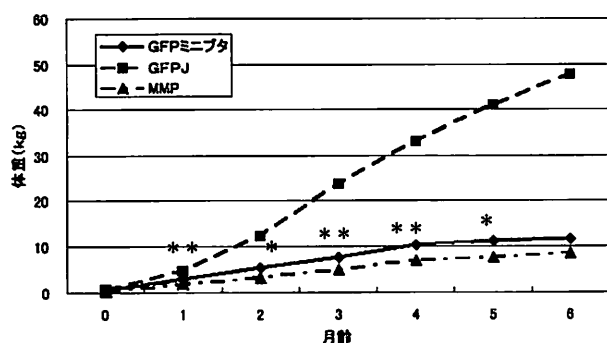


図2 GFPミニブタの体重の推移 (雄)

GFPJ:GFP金華豚、MMP:マイクロミニピッグ
MMPとGFPミニブタとの有意差：* $P<0.05$ 、** $P<0.01$
GFP金華豚とGFPミニブタは、全期間を通じ $P<0.01$ で有意差あり

また、GFP金華豚、MMPおよびGFPミニブタの体重の変動係数の推移を表2に示した。GFPミニブタは雑種第4代目に当たり、遺伝的に十分固定化されていないと考えられたが、体重のバラツキは、MMPよりも小さかった。

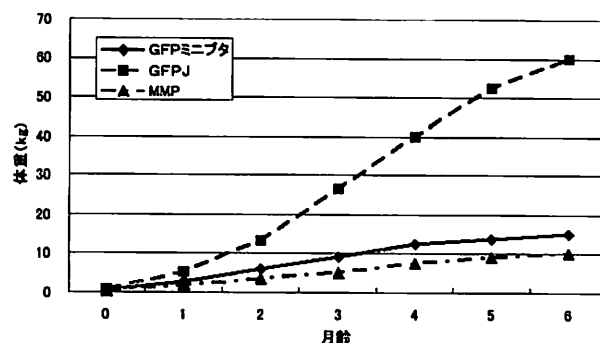


図3 GFPミニブタの体重の推移 (雌)

GFPJ:GFP金華豚、MMP:マイクロミニピッグ
MMPとGFPミニブタは、全期間を通じて有意差なし
GFP金華豚とGFPミニブタは、全期間を通じ $P<0.01$ で有意差あり

表2 体重の変動係数

| 性別 | 区分 | 例数 | 週 | | | | | | |
|----|---------|----|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 雄 | GFPミニブタ | 5 | 19.2 | 8.7 | 9.3 | 16.4 | 13.2 | 11.5 | 13.3 |
| | GFPJ | 11 | 18.5 | 18.4 | 14.1 | 7.1 | 7.2 | 8.8 | 8.6 |
| | MMP | 10 | 27.8 | 30.1 | 29.7 | 30.2 | 24.0 | 24.3 | 20.0 |
| 雌 | GFPミニブタ | 6 | 14.5 | 17.3 | 25.1 | 23.6 | 18.6 | 11.7 | 13.1 |
| | GFPJ | 16 | 22.5 | 19.4 | 16.1 | 10.2 | 12.6 | 12.6 | 12.2 |
| | MMP | 6 | 14.6 | 25.5 | 32.3 | 33.2 | 31.0 | 25.1 | 27.0 |

GFPJ:GFP金華豚、MMP:マイクロミニピッグ

今回のGFPミニブタ開発では、毛色関連遺伝子であるI遺伝子座 (Inhibition of color) のKit遺伝子がIのホモ接合型でGFPを発現している雄ブタを選抜した。Kit遺伝子は、ブタの毛色の優性白色に関与し、優性対立遺伝子Iをホモ接合型 (I/I) ないし、ヘテロ接合型 (I/i) で持つことにより毛色は白色となる（奥村と三橋2001；塩谷ら 2010）。したがって、今回選抜したGFPミニブタは大ヨークシャー種のみならず、デュロック種などの有色品種と交配しても産子はすべて白色になるとともに様々な大きさのGFP豚の生産が可能となる。また、GFP遺伝子については表現型での確認であり、ホモ型かヘテロ型については今後検討していく予定である。

さらに、現在GFPミニブタの精液をデュロック種、金華豚およびMMPに人工授精しており、今後これらの産子の発育について調査をしていく。

参考文献

- 塩谷聡子・河原崎達雄・大津雪子・桑原康・金子直樹・美川智. 2010. ミニブタの毛色コントロール. 静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター研究報告, 3: 9-16.
- Kawaguchi H, Miyoshi N, Miura N, Fujiki M, Horiuchi M, Izumi Y, Miyajima H, Nagata R, Misumi K, Takeuchi K, Tanimoto A, Yoshida H. 2011. Microminipig, a Non-rodent experimental animal optimized for life science research: novel atherosclerosis model induced by high fat and cholesterol diet. *Journal of Pharmacological Science*, 115:115-121.
- Kawaguchi H, Yamada T, Miura N, Takahashi Y, Yoshikawa T, Izumi H, Kawarasaki T, Miyoshi N, Tanimoto A. 2012. Reference value of hematological and biochemical parameter for the world smallest Microminipigs. *The Journal of Veterinary Medical Science*, 74:933-936.
- Kawarasaki T, Uchiyama K, Hirao A, Azuma S, Otake M, Shibata M, Tsuchiya S, Enosawa S, Takeuchi K, Konno K, Hakamata Y, Yoshino H, Wakai T, Ookawara S, Tanaka H, Kobayashi E, Murakami T. 2009. Profile of new green fluorescent protein transgenic Jinhua pigs as an imaging source. *Journal of Biomedical Optics*, 14 (5) :054017.
- 中西喜彦・小川清彦・柳田宏一・山内忠平. 1991. 近交系クラウンミニブタの体尺測定値と特徴について. 日本養豚学会誌, 28:211-218.
- 丹羽太左衛門. 1994. 養豚ハンドブック pp.29-30. 養賢堂. 東京.
- 奥村直彦・三橋忠由. 2001. ブタの毛色と毛色関連遺伝子. 日本畜産学会報, 72:524-535.
- Onisi A, Iwamoto M, Akita T, Mikawa S, Takeda K, Awata T, Hanada H, Perry AC. 2000. Pig cloning by microinjection of fetal fibroblast nuclei. *Science*, 289: 1188-1190.
- Phelps CJ, Koike C, Vaught TD, Boone J, Wells KD, Chen SH, Ball S, Specht SM, Polejaeva IA, Monahan JA, Jobst PM, Sharman SB, Lamborn AE, Garst AS, Moore M, Demetris AJ, Rudert WA, Bottino R, Bertera S, Trucco M, Starzl TE, Dai Y, Ayares DL. 2003. Production of alpha 1,3-galactosyltransferase deficient pig. *Science*, 299: 411-414.
- Polejaeva IA, Chen SH, Vaught TD, Page PL, Mullins J, Ball S, Dai Y, Boone J, Walker S, Ayares DL, Colman A, Campbell KH. 2000. Cloned pigs produced by nuclear transfer from adult somatic cells. *Nature*, 407: 86-90.
- 齋藤俊樹. 2009. 食用以外に利用される豚について. All about SWINE, 35:14-20.
- Sugiyama A, Nakamura Y, Akie Y, Saito H, Izumi Y, Yamazaki H, Kaneko N, Itoh K. 2011. Microminipig, a Non-rodent experimental animal optimized for life science research: In vivo proarrhythmia model of drug-induced long QT syndrome: Development of chronic atrioventricular block model of Microminipig. *Journal of Pharmacological Science*, 115:122-126.
- 谷岡功邦. 1981. ミニブタGの実験動物学的検討, ゲッチングンミニブタの実験動物化とバイオメディカル研究における有用性に関する研究報告書. pp1-16.
- Wilmut I, Schnieke AE, McWhir J, Kind AJ, Campbell KH. 1997. Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells. *Nature*, 385: 810-813.

ワサビ茎葉の給与が鶏飼育に及ぼす影響

Effect of leaf and stalk-feeding of Wasabi (*Wasabia japonica* Matsum) on breeding of hen.

松井繁幸・池谷守司

要約：低利用資源であるワサビ茎葉の鶏飼料としての利用性について調査を行った結果、以下の結果を得た。

- 1 ワサビ茎葉は水分含量が高く、そのままでは飼料栄養的価値は低い。
- 2 採卵鶏へ細断したワサビ茎葉を5g以上/日・羽給与することにより、生産性が低下する。また、卵殻質には影響はないが、卵黄色が濃くなる。
- 3 無薬飼育下のプロイラーへ細断したワサビ茎葉を10g/日・羽給与すると、一日増体量が増え生産性が向上し、抗菌剤添加と同等の成績となる。また、腹腔内脂肪割合が低下する。
- 4 駿河シャモへのワサビ茎葉の給与により、生産性には影響はないが、免疫機能が向上する。
以上より、ワサビ茎葉は鶏の免疫機能を強化することにより、飼料添加抗菌性物質の代替として利用できる可能性がある。

(静岡畜技研中小研七研報6, 11~18, 2012)

はじめに

静岡県では伊豆地方を中心にワサビ (*Wasabia japonica* Matsum) が多く生産されている。ワサビはその根茎部分が食用の主要部分であり、茎および葉部分については一部で食用としての利用はあるものの、ほとんどは廃棄処分されている。しかしながら、ワサビには多くの機能性成分があることが報告されており (木苗ら 2006)、その成分の一部は茎葉部分にもあるとされている。

一方、養鶏産業では近年の飼料価格の高騰・高止りによって生産者の多くが経営悪化に陥っており、生産コストの低減化や、生産物の高付加価値化による有利販売等の経営改善対策が急務となっている。生産コストの低減化にはより安価な飼料材料の利用や生産性向上技術が考えられ、また生産物の高付加価値化には機能性成分の付与や特殊な飼育方法による有利販売が考えられる。

そこで、低利用資源で比較的安価に利用でき、

かつ機能性成分の豊富なワサビ茎葉を活用した養鶏経営改善の可能性について検討した。具体的には、ワサビ茎葉給与による生産性への影響を調査し、ワサビ給与による鶏および生産物品質への影響、およびワサビの機能性の一つである抗酸化作用を利用した肉用鶏無薬飼育の可能性について検討した。

材料および方法

1 鶏への給与による生産性に関する調査

(1) ワサビの飼料成分分析

1) 試料

2010年7月に収穫した3年生の沢ワサビ (品種名 マズマ) について、その茎葉部を用いた。

2) 分析方法

水分、粗タンパク質、粗脂肪、粗繊維、粗灰分について、それぞれ定法 (石橋 2001) に従い分析した。すなわち、水分は135℃ 2時間乾燥法、粗タンパク質はケルダール法、粗脂肪はエーテル抽出法、粗繊維は静置法、粗灰分は600℃ 2時間灼熱灰化後の重量を測定した。

(2) 採卵鶏生産性調査

1) 供試鶏

試験鶏には2009年3月3日餌付けの白玉系採卵鶏品種(銘柄 ジュリア,大畑シェーバー)36羽を用いた。

2) 飼育管理

試験鶏は開放型鶏舎で単飼ケージ(幅22.5cm×奥行き40cm)にて飼養し、自由摂食・飲水とした。光線管理は当センターの飼育マニュアルに基づき、明期16時間となるよう調整した。

3) 試験区分と試験期間

試験区分は市販配合飼料のみを給与した対照区と、対照区飼料に約5mmに細断したワサビ茎葉を1羽1日あたり5g給与した5g区、および同様に10g給与した10g区の3区分に分けた。供試羽数は、4羽を1群とし、各区3群を割り当てた。なお、ワサビ茎葉給与量については、予備試験において一日に食べきれぬ量を明らかにし設定した(後述の肉用鶏も同様)。

試験期間は2010年6月4日(457日齢)から同年8月3日(518日齢)までの61日間とした。

4) 調査項目と調査方法

ア 飼養成績

産卵個数および卵重は毎日測定し、群毎のヘンデイ産卵率、平均卵重、産卵日量を算出した。また、各期の最終日に群毎の残飼量を測定し、1羽あたりの平均飼料摂取量、飼料要求率を算出した。これらの調査項目については同一試験区内の3群の平均値をその試験区の結果とした。なお、試験はワサビ給与開始前(6月4日~6月17日の14日間)、ワサビ給与馴致期間(6月18日~21日)、ワサビ給与中(6月22日~8月3日の42日)の3期に分け、給与開始前と給与中についてそれぞれの項目を調査した。

イ 卵質

給与開始前最終日、給与開始3週後、試験終了時において、それぞれの試験区から13~16個ずつ鶏卵を用い、卵殻強度、卵殻厚、ハウユニット、卵黄色(カラーファン値)を調査した。

(3) ブロイラー生産性調査

1) 供試鶏

試験鶏には2009年6月24日餌付けの市販ブロイラー品種(銘柄 チャンキー,遠州孵卵場)雌

を用いた。

2) 飼育管理

試験鶏はウインドレス鶏舎で平飼いにて飼養し、自由摂食・飲水とした。その他飼育管理はチャンキー飼育マニュアルに従った。

3) 試験区分と試験期間

試験区分は、一般的な飼料添加抗菌剤を利用した抗菌区と、試験開始以降は飼料添加抗菌剤を利用しない飼料を給与した無薬区、および無薬区飼料に約5mmに細断したワサビ茎葉を1羽1日あたり10g添加の3区分に分けた。供試羽数は、15羽を1群とし、各区3群を割り当てた。

試験期間は2009年7月15日(23日齢)から同年8月12日(50日齢)までとした。

4) 調査項目と調査方法

飼養成績(体重、飼料消費量、飼料要求率、生存率)、および解体成績について調査した。

(4) 地鶏(駿河シャモ)生産性調査

1) 供試鶏

試験鶏には静岡県で開発した地域銘柄鶏駿河シャモの雌(2011年5月18日餌付け)を用いた。

2) 飼育管理

試験期間中、試験鶏は簡易型平飼い開放鶏舎(パオ)にて飼養し、自由摂食・飲水とした。その他飼育管理は当センターの基準に従った。

3) 試験区分と試験期間

試験区分は、飼料添加抗菌剤を添加しない飼料のみを給与した対照区、および対照区飼料に約5mmに細断したワサビ茎葉を1羽1日あたり10g添加の2区分に分けた。供試羽数は、15羽を1群とし、各区3群を割り当てた。

試験期間は2011年7月26日(70日齢)から同年9月12日(118日齢)までとした。

4) 調査項目と調査方法

飼養成績(体重、飼料消費量、飼料要求率、生存率)、解体成績、および経済性について調査した。

2 生産物および鶏生理活性への影響調査

(1) 鶏卵の官能評価

採卵鶏への給与試験で生産された鶏卵を用い、市販飼料のみの対照区とワサビ茎葉を1日1羽あたり10g給与したワサビ区の卵について

官能評価を行った。鶏卵はゆで卵に調理し、センター職員20人のパネラーに対して、味・香り・総合評価について好ましい方（変わらないと感じた場合は“変わらない”）を選ばせた。

(2) 血清抗酸化活性への影響

ワサビの鶏への生理活性への影響について血清抗酸化力価を指標に調査した。採卵鶏では給与開始前と終了時に、ブロイラーでは試験終了時に採血し、分離した血清を用いてその抗酸化力について市販測定キット（PAO,日研ザイル）を用いて測定した。

(3) 免疫機能への影響

1) 供試鶏

駿河シャモ生産性調査で用いたものと同ロットの鶏を用いた。

2) 方法

自然免疫系と獲得免疫系について、それぞれ

次の指標を用いて測定した。自然免疫系では血清中 α 1酸性糖タンパク濃度を、獲得免疫系ではブルセラメリテンシス死菌（以下、BM）抗体価を測定した。 α 1酸性糖タンパクは、免疫刺激としてオイルアジュバントワクチンを140日齢に接種し、接種1日後、3日後、7日後における血清中濃度を測定した。BM抗体価は、2% BM菌液0.1mlを107日齢及び113日齢時に翼静脈内に接種し、113日齢、120日齢、126日齢、133日齢時にそれぞれ採血し、血清中のBM凝集素力価をマイクロプレートにて測定した。成績は凝集陽性を示す血清の最終希釈倍数の逆数の二進対数で表示した。

結 果

1 ワサビ茎葉の飼料成分

表1にワサビ茎葉の飼料成分を示した。ワサビ茎葉は水分が90%以上と非常に高かった。

表1 ワサビの飼料成分 (%)

| | 水分 | 粗タンパク | 粗脂肪 | 粗繊維 | 灰分 |
|------|-------|-------|------|------|------|
| 新鮮物 | 90.18 | 1.38 | 0.25 | 1.09 | 0.07 |
| (乾物) | - | 14.04 | 2.48 | 9.83 | 0.67 |

2 生産性への影響

表2に採卵鶏の飼育成績を示した。給与後では対照区と比較して5g区、10g区とも産卵率が低くなる傾向がみられた。

図1から4に卵質の結果を示した。卵殻強度はいずれの試験区も日齢が進むほど低下した。10g区では低下割合が若干少なかったが、ワサビ茎葉の給与による明らかな影響は認められ

なかった。卵殻厚も卵殻強度と同様にいずれの試験区も日齢が進むほど薄くなったが、ワサビ茎葉の給与による明らかな影響は認められなかった。ハウユニットでは試験期間を通じて一定の傾向は見られず、ワサビ給与による影響は認められなかった。卵黄色ではワサビ茎葉給与後において、5g区、10g区ともに、対照区と比較して有意にカラーファン値が高くなった。

表2 採卵鶏の飼育成績（給与後）

| | 産卵率 (%) | 平均卵重 (g) | 産卵日量 (g) | 飼料摂取量 (g/日・羽) | 飼料要求率 | 生存率 (%) | 粗収益* (円/羽) |
|------|------------|-------------|-------------|------------------|-------|------------|---------------|
| 対照区 | 92.15 | 66.74 | 61.5 | 105.8 | 1.72 | 100 | 172.9 |
| 5g区 | 87.62 | 65.71 | 57.5 | 104.4 | 1.82 | 93.75 | 149.2 |
| 10g区 | 86.63 | 65.21 | 56.5 | 106.2 | 1.89 | 100 | 137.5 |

有意差なし(n=4, Tukey-Kramer 法)

*粗収益=鶏卵売却費(160円/kg)-飼料費(55円/kg)

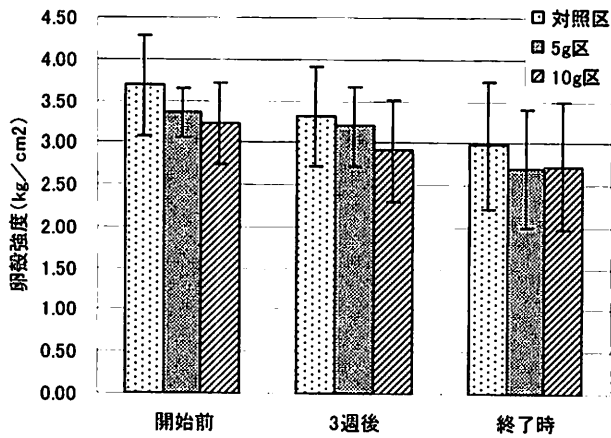


図1 卵殻強度の推移

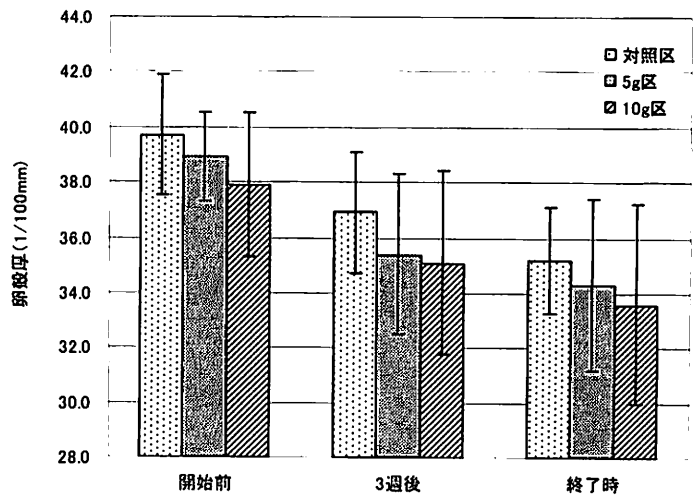


図2 卵殻厚の推移

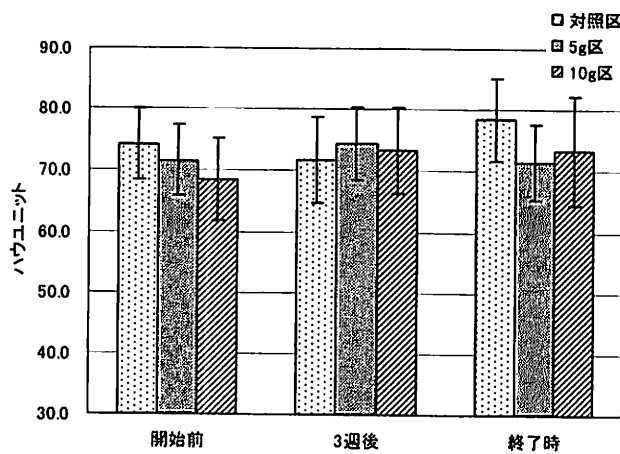


図3 ハウユニットの推移

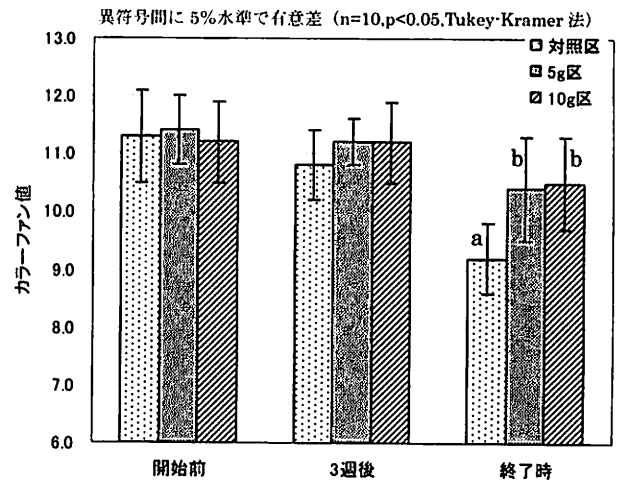


図4 卵黄色 (カラーファン値) の推移

表3にブロイラーの飼育成績を示した。終了時平均体重では、無薬区と比較して抗菌区とワサビ区で有意に重くなった。飼料消費量は無薬区と比較して抗菌区で有意に多く、ワサビ区とは差は見られなかった。飼料要求率は無薬区と

比較してワサビ区で有意に低かった。生産指数では抗菌区が最も高く、無薬区と比較して有意差が認められ、次いでワサビ区、無薬区の順となった。収益性ではワサビ区が最も高く、次いで抗菌区、無薬区の順となった。

表3 ブロイラーの飼育成績

| | 平均体重 (g) | 飼料摂取量 (g/日・羽) | 飼料要求率 | 育成率 (%) | 生産指数* | 粗収益* (円/羽) |
|------|---------------------|----------------------|--------------------|------------|---------------------|---------------|
| 無薬区 | 2762.4 ^a | 151.33 ^a | 2.24 ^a | 100 | 251.9 ^a | 160.3 |
| 抗菌区 | 2943.3 ^b | 162.99 ^b | 2.13 ^{ab} | 100 | 282.1 ^b | 174.4 |
| ワサビ区 | 2867.3 ^b | 153.86 ^{ab} | 2.10 ^b | 100 | 278.6 ^{ab} | 177.4 |

異符号間に5%水準で有意差 (n=3, p<0.05, Tukey-Kramer 法)

*生産指数 = (平均体重(Kg) × 育成率 × 100) / (飼料要求率 × 出荷日齢)

粗収益 = 生鳥販売単価 (200 円/kg) - 薬費 (100 円/羽) - 1 羽あたりの飼料費

(抗生剤含む飼料: 60 円/kg、無しの飼料: 59 円/kg、ワサビを 0 円/kgとして計算)

表4に解体成績を示した。ワサビ区ではモモ肉割合および腹腔内脂肪割合において、それぞれ抗菌区と比較して有意に少なかった。

表5に駿河シャモの飼育成績を示した。試験終了時の体重ではワサビ区が対照区と比べて有

意に少なかった。飼料要求率は有意差はなかったものの、ワサビ区で大きくなる傾向にあった。

表6に駿河シャモの解体成績を示した。いずれの項目についても各試験区間で差は認められなかった。

表4 ブロイラー解体成績

| | もも肉 | むね肉 | ササミ | 正肉 | 腹腔内脂肪 |
|------|---------------------|-------|------|-------|--------------------|
| 無薬区 | 19.82 ^{ab} | 24.71 | 4.33 | 48.85 | 2.44 ^{ab} |
| 抗菌区 | 20.04 ^a | 24.51 | 4.44 | 48.98 | 2.61 ^a |
| ワサビ区 | 18.88 ^b | 24.75 | 4.33 | 47.96 | 2.10 ^b |

と体重に対する割合(%)

異符号間に有意差(n=9, p<0.05, Tukey-Kramer法)

表5 駿河シャモの飼育成績

| | 終了時体重** (g) | 飼料摂取量 (g/日・羽) | 飼料要求率 | 育成率 (%) |
|------|----------------|------------------|-------|------------|
| 対照区 | 2944.5 | 120.7 | 3.90 | 100 |
| ワサビ区 | 2805.0 | 123.6 | 4.35 | 100 |

**：試験区間にp<0.01で有意差(n=44(出荷体重), n=3(体重以外), t検定)

表6 駿河シャモ解体成績

| | と体重(g) | もも肉 | むね肉 | ささみ | 心臓 | 筋胃 | 肝臓 | 腹腔内脂肪 |
|------|--------|-------|-------|------|------|------|------|-------|
| 対照区 | 2858.3 | 22.96 | 14.52 | 3.38 | 0.57 | 1.49 | 1.39 | 1.02 |
| ワサビ区 | 2663.3 | 22.11 | 14.75 | 3.29 | 0.51 | 1.18 | 1.38 | 1.03 |

と体重はg、その他はと体重に対する重量割合(%)

有意差なし(n=12, p<0.05, t検定)

2 生産物および鶏生理活性への影響調査

(1) 鶏卵の官能評価

表7に鶏卵の官能評価を示した。香りでは変わらないとする評価がもっとも多かった(50%)。味と総合評価ではワサビ区の鶏卵が最も割合が高く、次いで変わらない、対照区の順となった。

表7 鶏卵の官能評価(%)

| | 香り | 味 | 総合評価 |
|-------|----|----|------|
| 対照区 | 25 | 25 | 20 |
| ワサビ区 | 25 | 45 | 50 |
| 変わらない | 50 | 30 | 30 |

(2) 血清抗酸化活性への影響

図5に採卵鶏の血清抗酸化力を、図6にブロイラーの血清抗酸化力を示した。いずれにおいても、ワサビ給与による影響は認められなかった。

(3) 免疫機能への影響

図7に血清中 α 1酸性糖タンパク濃度を示した。免疫刺激後の全ての期間において、試験区間で有意差は認められなかった。

図8にBM抗体価を示した。抗原接種2週目までは両区に差は見られなかったが、3週目以降はワサビ区の抗体価が高く、3週目では有意に高い値となった。

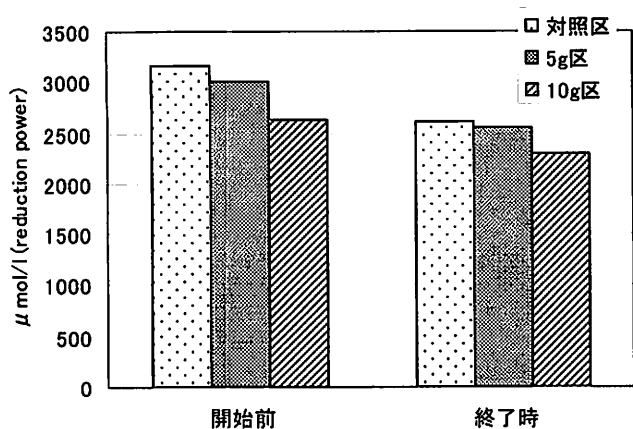


図5 採卵鶏血清抗酸化力

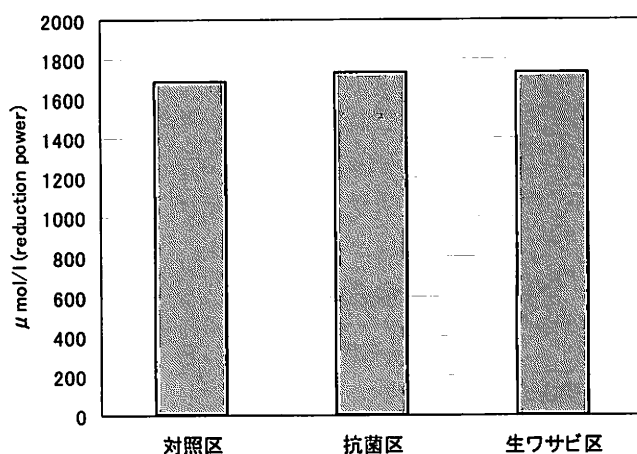


図6 ブロイラー血清抗酸化力

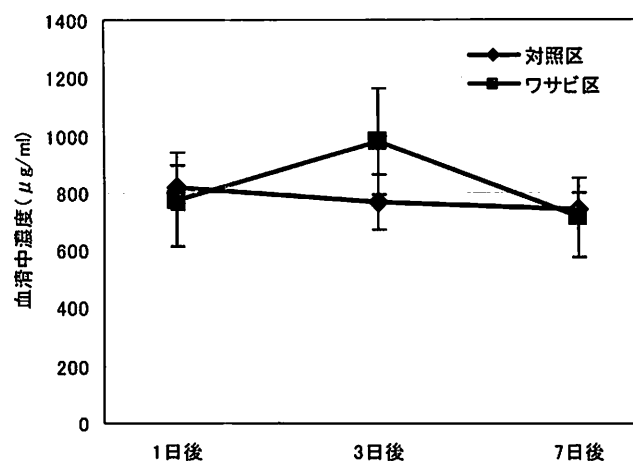


図7 血中α1酸性糖タンパク濃度の推移

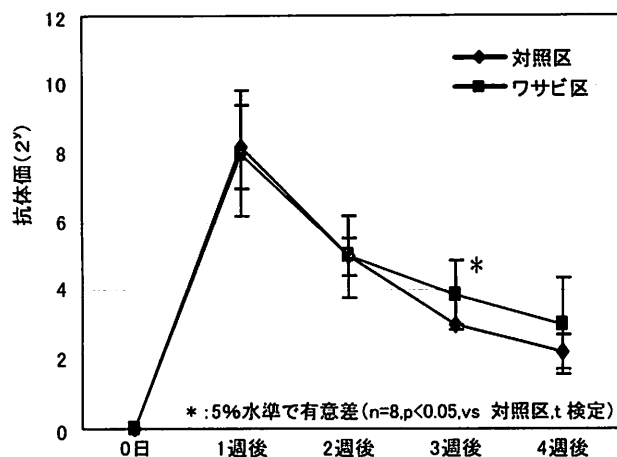


図8 BM菌抗体価の推移

考 察

低未利用資源を用いた鶏卵や鶏肉生産の事例はこれまで数多くあり（日本食鳥協会 2007）、これらは飼料コストの低減を目的とし、低未利用資源を栄養素として活用するものと、低未利用資源のもつ機能性を活かし生産物の差別化等を図ったものの2つに大別できる。今回、我々が着目したワサビ茎葉についてはこれまで飼料利用としての事例報告はなく、上記2つの活用方法について検討を行った。

まず、飼料コストの低減化について検討するため、ワサビ茎葉の飼料成分と、鶏へ給与した際の生産性への影響について調査した。ワサビ茎葉の飼料成分は、その約90%が水分であり、粗タンパクと粗脂肪はそれぞれ1.4%、0.25%となっており、原物では飼料栄養的な価値は非常

に低いものであった。乾燥物とすればタンパク原等、栄養的な利用の可能性も考えられるが、実際にこのワサビ茎葉を生産者段階で乾燥物として利用するには、乾燥する手間とコストがかかる。今回、そのコスト試算は行っていないが、現実的には生産者段階での乾燥加工は困難であり、ワサビ茎葉の利用形態としては原物のまま利用する方法が最も簡易かつ安価だと考えられた。そのため、鶏への給与試験は、すべて原物給与で行うこととした。

採卵鶏への給与による生産性への影響については、産卵率では対照区において給与前約88%だったものが給与後で約92%と増加したが、ワサビ茎葉を給与した5g区および10g区では給与前後で変化がなく、有意差はなかったもののワサビ茎葉の給与によって生産性が低下する傾向を示した。ワサビ茎葉を含まない飼料消費量は各試験区間で差がなく飼料要求量は各区とも

満たしていたと考えられるため、この生産性の低下の原因は養分の不足ではなく、ワサビ茎葉の給与そのものが何らかの要因によって産卵性に悪影響を及ぼしたものと思われる。その要因について今回は明らかにすることはできなかった。

卵質について、卵殻強度、卵殻厚、ハウユニットではワサビ茎葉の給与による影響は認められず、平均的な品質をもつ鶏卵として流通できると思われた。卵黄色では試験終了時においてワサビ茎葉を給与した2区において対照区よりも有意に濃くなった。卵黄色はカロテノイド由来の色素であるキサントフィル量によって変化することが知られている(奥村ら 2000)。ワサビ茎葉のキサントフィル含量は不明であるが、この成分はほとんどの植物に存在し葉の色素体から合成されることから、ワサビ茎葉に含まれるキサントフィルによって卵黄色が濃くなったと考えられた。

ブロイラーへの給与試験では、対照区と比べてワサビ区では平均体重が有意に重く、飼料要求量が改善され、抗菌区とは差は見られなかった。すなわち、無薬飼育下でのブロイラーへのワサビ茎葉給与により生産性が向上し、飼料添加抗菌性物質を利用した場合と同等の成績が得られた。この原因として、後述するワサビの抗酸化活性が考えられた。しかし、同様に行った駿河シャモへの給与試験では生産性の向上は見られなかった。これら2つの試験方法の相違として、①鶏種、②給与期間、③飼育環境が挙げられるが、どの要因がこの試験成績の違いの原因かは現段階では不明であった。

ブロイラーの解体成績ではワサビ茎葉の給与により腹腔内脂肪の減少が認められた。ワサビには抗肥満効果があることが報告されており(山崎ら 2009)、マウスの各臓器における脂肪蓄積を抑える作用があるとされている。今回の試験では詳細は不明だが、鶏においてもこのワサビの作用による可能性として考えられる。しかしながら、生産成績と同様に、駿河シャモでの解体成績では同様の結果は得られず、腹腔内脂肪の減少は認められなかった。

次に、ワサビ茎葉の給与による生産物の付加価値化について検討を行った。試験開始当初、

イソチアシアネート類などワサビ茎葉のもつ機能性成分の生産物への移行による付加価値化を検討したが、前述したとおり、鶏への給与量は1羽あたり10g/日と非常に限られており、成分を移行・蓄積させるには量が不足すると考えられ、またこれ以上の量では生産性を低下させる可能性もあったため、成分移行による付加価値化の可能性は低いと判断し、調査は行わなかった。もう一つの方法として、鶏の飼育方法による付加価値化、すなわち、前述した肉用鶏(ブロイラーおよび駿河シャモ)における無薬飼育による安全安心な飼育方法について検討した。無薬飼育下では細菌等の微生物侵襲が比較的多く、常に免疫刺激にさらされており、鶏はある種のストレス状況にあるといえる。このようなストレス状況下は鶏の酸化ストレスを増加させ、生産性および免疫機能を低下させる可能性が考えられる。一方、ワサビには抗酸化活性があることが報告されており(木苗ら 2006)、今回のブロイラーの成績の根拠として、ワサビの抗酸化活性によって鶏の酸化ストレスが緩和され生産性が向上した可能性が考えられた。このことを明確にするため、ワサビ茎葉を給与した鶏の血清抗酸化活性と、免疫機能への影響を調査した。その結果、血清抗酸化力には差が見られなかったものの、免疫機能については獲得免疫機能が向上することが明かとなった。今回用いた抗酸化活性の測定方法は、 Cu^{2+} の酸化還元反応を比色法で測定するもので、抗酸化活性のうち酸化抑制作用を指標として分析している。抗酸化活性にはこの他に活性酸素の抑制作用やラジカル消去、連鎖反応の停止等があり、これらの機序は抗酸化活性をもつ成分によって異なる。したがって、今回の試験方法ではワサビ茎葉の給与による酸化抑制作用は見られなかったが、他の機序によって鶏に抗酸化活性を与えていた可能性もあり、それによって免疫機能の向上が発現された可能性も考えられる。これらを明確にするにはワサビ茎葉の抗酸化活性と免疫機能の関係性について詳細に調査する必要がある。

以上から、ワサビ茎葉の給与による飼料コストの低減化は難しいが、無薬飼育下におけるブロイラーに対しては、ワサビ茎葉の給与により

鶏の免疫機能が活性化され生産性が向上し、抗菌性物質を利用する飼育方法と同等の成績が得られることから、飼料添加抗菌性物質の代替として利用できる可能性が示唆された。

参考文献

- 木苗直秀・小嶋操・古郡三千代. 2006.ワサビのすべて.学会出版センター.
- 石橋晃. 2001. 新編 動物栄養試験法. 養賢堂.
- 社団法人日本食鳥協会. 2007. 未利用資源の飼料化事例集.
- 奥村純一・藤原昇. 2000. 家禽学. 88. 浅倉書店.
- 山崎雅之・小川哲郎・山崎幸一・米山敏美・王莉・塩飽邦憲. 2009. ワサビの新機能の探索～ワサビ葉抽出エキスの抗肥満効果～. 日本衛生学会誌,64 : 640.

ウィンドウレス鶏舎内における赤色LEDによる照明が 卵の生産と経済性に及ぼす影響

The effect of red LED lighting on egg production and profitability in windowless poultry house

池谷 守司・松井繁幸

要約：ウィンドウレス鶏舎において、市販の白色レグホーン種を用い、育成期に白熱電球（白色区と略）と一般電球形赤色LED（赤色区と略）で別々に照明して育成し、成鶏期に白色区のみ一般電球形白色LEDに切り替えて、15時間の連続照明を行い、悪癖発生、卵の生産性、経済性及び行動等に及ぼす影響を検討し、以下の結果を得た。

1. 育成期において、悪癖の発生は両区とも見られなかった。また初産体重は赤色区が重くなったが、初産日齢、初産卵重に差は見られなかった。
2. 産卵成績、電気料金を含めて算出した1羽当たり収益については差が見られず、卵質に関する調査項目においても、差はみられなかった。
3. 放卵時刻は赤色区が白色区と比較して30分ほど遅くなった。また、赤色区の鶏の活動量は白色区に比較して有意に減少した。

以上の結果より、ウィンドウレス鶏舎内における光源として一般電球形赤色LEDを用いると、鶏の活動が抑制され、放卵時刻が遅くなるなどの行動特性が見られるが、卵の生産性に影響はなく、白熱電球に比較して電気料金が節約でき、1羽当たりの経済性も高くなることが明らかとなった。

（静岡畜技研中小研七研報6, 19～23, 2013）

はじめに

飼料価格が高騰する中で、養鶏農家にとって生産コストの低減は最重要課題となっている。ウィンドウレス鶏舎では白熱電球や蛍光灯を光源に用いて照明を行っている。その光源の一つとして、最近では比較的安価な一般電球形LEDが製造販売されている。養鶏関係におけるLEDの取り組みでは、肉用鶏では、電気使用量の節減（堀野ら2006）及び体重増加による生産に対する有効性（堀野ら2008）が報告されている。また卵用鶏では560nm、660nm、および880nmの3波長の光源を用いて産卵性に差がなく、飼料消費量の低減が報告されている（Rozenboimら1998）。前報において、白色LEDを光源として用いた場合、白熱電球を光源として用いた区に比較して、生産性や卵質に差がなく、電気使

用量が少なくなり、電気料金を含めた収益では、白色LEDを用いた区が有利であることを報告した（池谷ら2011）。

一方、光の色調に関しては、平飼い飼育条件下で赤色光を光源として用いた場合、育成期には、鶏の発育に影響はなく、成鶏期には破卵、傷卵率の減少が報告されている（藤中ら2001）。また、育成期に赤色光を光源として用いると、悪癖発生率が抑制されることが報告されている（佐々木ら1996）。これらは、市販の赤色電球あるいは白色電球に赤色を塗装処理した光源を用いており、赤色LEDを光源として育成期から成鶏期まで用いた場合、悪癖発生や生産性、及び鶏の行動等に及ぼす影響についての報告は見当たらない。

そこで、今回は、一般電球形赤色LEDをウィンドウレス鶏舎内の光源として用い、育成期における赤色LEDの悪癖防止効果、成鶏期におけ

る一般電球形白色LEDと赤色LEDの生産性や放卵時刻、行動等にどのような差が見られるか検討した。

材料及び方法

供試鶏は2011年3月1日餌付けの市販の白色レグホーンコマmercial (ジュリア) 384羽を用い、30日齢から113日齢まで表1に示したとおり、照明に用いた光源により赤色区、白色区に分け、それぞれ間口90cm、奥行き60cm、高さ60cmの育成用ケージに8羽ずつ収容した。

表1 試験区分

| 区分 | 光源 | | 供試羽数 |
|-----|-------|-------|----------|
| | 育成期 | 成鶏期 | |
| 赤色区 | 赤色LED | 赤色LED | 1群24羽 8群 |
| 白色区 | 白熱電球 | 白色LED | 同 |

この育成期においては、赤色区には中心波長620nm、消費電力2.4W調光器対応の赤色LED (東西産業株式会社製) を用い、白色区には100V白熱電球40w (パナソニック (株) 製) を用いた。114日齢時に成鶏舎に移動し、間口22.5cm、奥行き40cm、全面高さ44cm、後面高さ40cmのケージに1羽ずつ収容した。供試羽数は両区とも一区当たり1群24羽で8群の192羽ずつとした。同時に白色区は白熱電球から一般電球形LEDに切り替え、以後試験終了時まで点灯開始時刻は7時から連続15時間の一定照明とした。白色区に用いた光源は、前報と同様の電球色相当の光色で、全光束230lm、消費電力4.5w、調光器対応の一般電球形LED (東芝ライテック (株) 製) を用いた。両区とも鶏を飼育した区画は7m×8mの広さで、電球の使用個数は1区画当たり9個とし、鶏の位置での照度を5～10ルクスとなるように、調光器で調光した。成鶏期の試験期間は141～476日齢の336日間で、この間の飼料は自由摂取とした。調査項目は育成期においては「つつき」による悪癖の発生の有無、初産日齢、初産卵重、初産体重であり、成鶏期においては28日を1期として12期間をまとめた産卵成績、2期毎に6回調査した卵質および体重、25,45,65週齢時に連続して3日間、

7時から17時までの時刻別放卵割合、鶏の行動調査および1期毎に求めた電気使用量とした。このうち鶏の行動調査は、放卵のほぼ終了した13時から17時まで、1時間毎にケージで座る姿勢をとる鶏の数を肉眼で観測した。さらに、体重測定時にうずくまり姿勢を取る個体とそうでない個体を選定し、それぞれにマイクロミニ型アクティグラフ (米A.M.I社製) を装着し、活動値を計測した。その他1羽当たりの収益は、28日毎に2日間産卵した全ての卵重を測定し、卵のサイズ別生産割合を求め、全農たまご東京のサイズ別価格、飼料価格及び中部電力の電気料金を基に算出した。

結果

育成期における悪癖の発生は、両区とも見られなかった。また、初産に関する結果を表2、育成期から成鶏期の体重の推移を図1に示した。

表2 初産に関する成績

| 区分 | 平均初産日齢 | 同卵重 | 同体重 |
|-----|--------|------|---------|
| | (日) | (g) | (g) |
| 赤色区 | 138.7 | 42.7 | 1,616 a |
| 白色区 | 138.7 | 43.1 | 1,566 b |

異符号間に5%水準で有意差あり

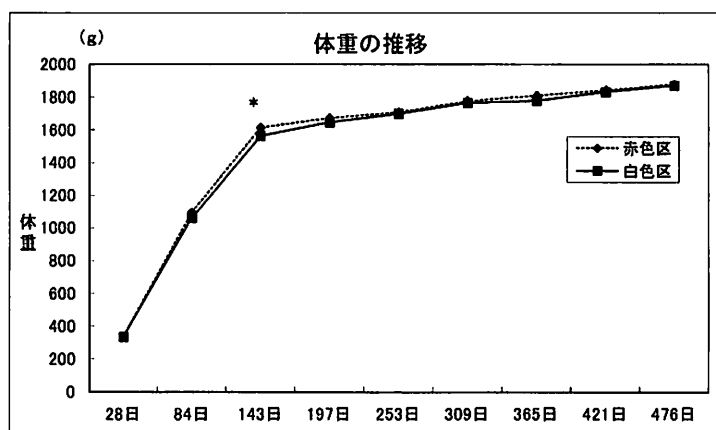


図1 体重の推移 * : 5%水準で有意差あり

平均初産日齢と平均初産卵重については、両区に差は見られなかったが、初産体重は赤色区が白色区より約50g重く、有意な差が認められた。しかし、その後はほぼ差がなく推移した。次に産卵に関する成績を表3に、卵質に関する成績を表4に示した。

表3 産卵成績 (141～476日齢)

| 区分 | 産卵率 (%) | 平均卵重 (g) | 産卵日量 (g) | 飼料消費量 (g/羽/日) | 飼料要求率 | 生存率 (%) | 一羽当たり | | |
|-----|---------|----------|----------|---------------|-------|---------|--------|------|-------|
| | | | | | | | 卵収益(円) | 電気料金 | 収益 |
| 赤色区 | 95.4 | 62.3 | 59.5 | 109.5 | 1.84 | 94.8 | 1,221 | 13 | 1,208 |
| 白色区 | 95.3 | 62.2 | 59.0 | 109.3 | 1.85 | 96.3 | 1,216 | 9 | 1,207 |

電気料金の122円は白熱電球の料金(参考値)

表4 卵質に関する成績

| 区分 | 卵殻強度 | 卵殻厚 | H-U | 卵黄色 | 卵殻卵重比 |
|-----|-----------------------|----------|------|------|-------|
| | (kg/cm ²) | (0.01mm) | | | (%) |
| 赤色区 | 4.2 | 38.3 | 84.7 | 11.8 | 9.6 |
| 白色区 | 4.2 | 38.1 | 85.2 | 11.7 | 9.6 |

産卵成績については両区間に差は見られなかった。電気使用量を含めた1羽当たり収益でも、卵の生産収益は赤色区が白色区より5円多かったが、電気料金が4円高くなったため、最終的な収益の差は1円とほとんど差が見られなかった。なお、同一条件でLEDを白熱電球に替えて使用すると、電気料金は122円となり、白熱電球から赤色LEDや白色LEDに切り替えることで、109円～113円のコスト低減が図られる結果となった。また、卵質に関しても両区に差が見られなかった。

次に25,45,65週齢時の各3日間における時刻別放卵割合を図2、3、4に、及びそれから求めた平均放卵時刻を表5に示した。平均放卵時刻は赤色区が白色区より、いずれの調査時期においても約30分遅かった。

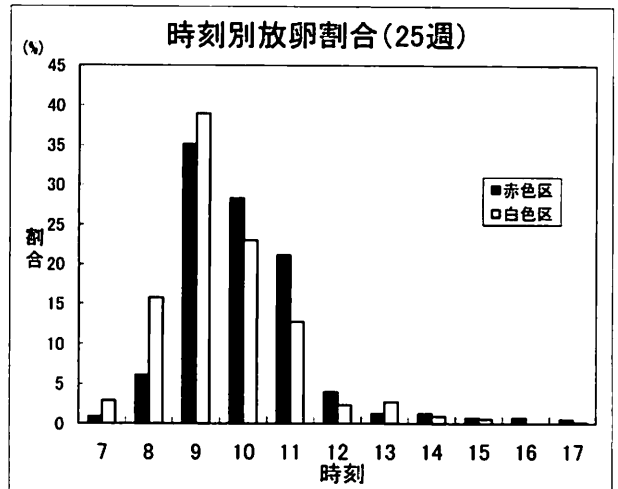


図2 時刻別放卵割合 (25週齢時)

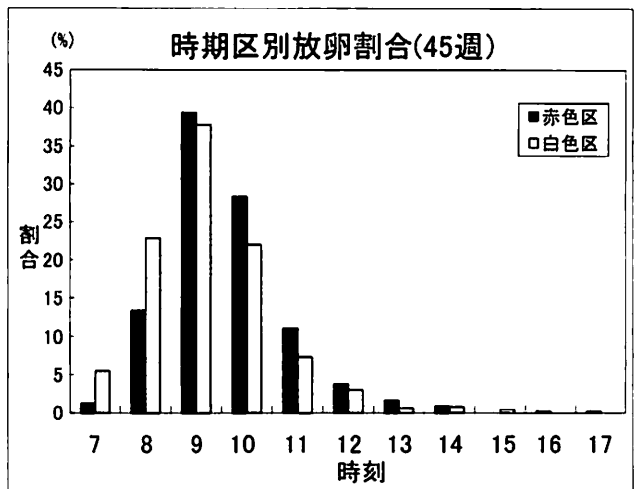


図3 時刻別放卵割合 (45週齢時)

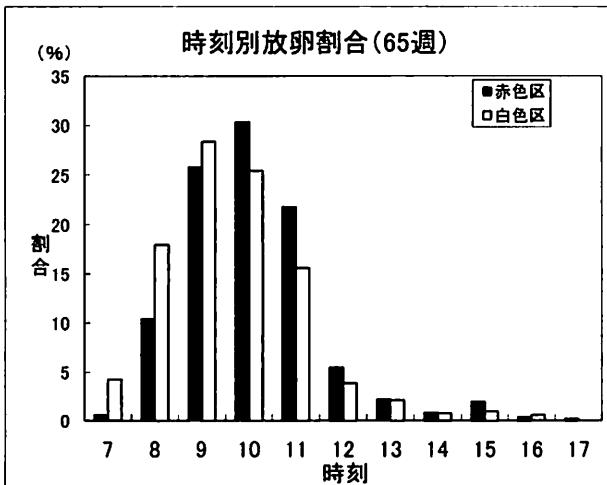


図4 時刻別放卵割合 (65週齢時)

表5 平均放卵時刻

| 区分 | 25週齢時 | 45週齢時 | 65週齢時 |
|-----|---------|--------|---------|
| 赤色区 | 10:00 a | 9:35 a | 10:05 a |
| 白色区 | 9:32 b | 9:12 b | 9:38 b |

異符号間に5%水準で有意差あり
(点灯開始時刻 7:00)

次に鶏の行動調査に関して、午後における1区(24羽)1時間当たりの休憩羽数の調査結果を図5に示した。赤色区の休憩羽数は白色区より多く見られたことから、赤色区では、午後に休憩の姿勢を取っている鶏が多いことが明らか

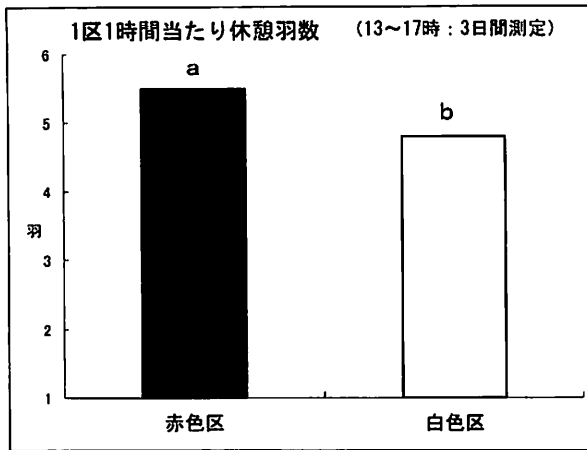


図5 1区1時間当たり休憩羽数

となった。また、鶏の活動値を測定した結果を図6に示した。体重測定時の、うずくまり姿勢の有無に関係なく、赤色区では鶏の活動が抑制されることが示された。

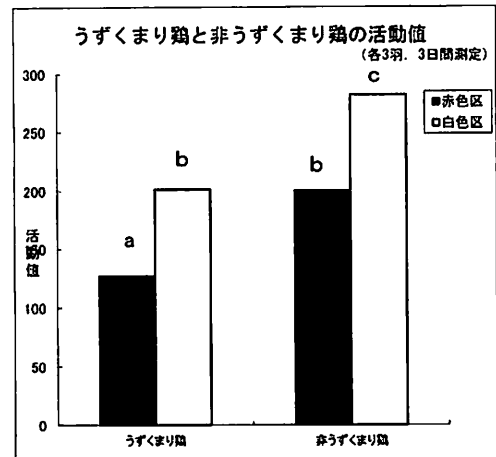


図6 赤色LEDが鶏の活動に及ぼす影響

考 察

育成期における悪癖の発生は、赤色区、白色区ともに見られなかった。この原因は、両区とも照度が5~10ルクスであり、悪癖が発生する可能性がある開放鶏舎内の照度が、通常500~1,000ルクスであるのに比較して、かなり低かったことによると考えられた。初産体重で赤色区が白色区より大きかったことに関しては、肉用鶏で見られた体重増加の効果(堀野ら2008)が現れたものと考えられる。しかし、その差は50gであり、平均初産日齢と平均初産卵重が両区で差はみられなかったことと併せると、卵用鶏の性成熟に関して赤色LEDの影響は少ないものと考えられる。成鶏期における産卵と卵質に関する成績に関して、両区に差が見られず、電気料金を含めた1羽当たりの収益にも差が見られなかったことから、卵の生産性に関して赤色LEDの影響はないものと考えられる。一方、放卵時刻については色調が関与しているものと思われるが、赤色区が白色区より約30分遅くなったこと、及び45週齢の調査時点においてのみ放卵時刻が両区とも約20分早まった原因は、明らかにはできなかった。また鶏の行動に関して、捕獲

時のうずくまり姿勢をとる個体とそうでない個体では、日常の活動も異なると思われるため、体重測定時にそれぞれ選定して、午後の行動と日常の活動値を測定した。その結果、放卵時刻の変化と同様に色調が関与しているものと考えられるが、赤色区の活動が抑制された原因については明らかではない。行動が抑制されることは、ウィンドウレス鶏舎においては、塵埃の発生抑制効果が期待できるが、赤色LEDの光は鶏舎内で従事する作業員にとって、あまり心地よい感じはしないとの指摘もあり、赤色LEDは高度にシステム化され、高密度多羽数飼育をしている鶏舎や、体重の増加と塵埃の発生抑制が期待できる肉用鶏飼育に利用するのが得策と考えられる。

以上の結果より、ウィンドウレス鶏舎内における光源として白熱電球の代わりに一般電球形赤色LEDを用いると、鶏の活動が抑制され、放卵時刻が遅くなるなどの行動特性が見られるが、卵の生産に影響なく、白熱電球に比較して電気料金が節約でき、1羽当たりの経済性も有利になることが明らかとなった。

参考文献

- 藤中邦則・龍田 健・山崎宗延. 2001. 赤色照明下における採卵鶏の育成期飼育密度と制限給餌及び産卵期の間欠点灯の検討. 兵庫県農業技術研究センター研究報告(畜産),37:10-13.
- 福田憲和・西尾祐介・上野呈一. 1987. 採卵鶏のウィンドウレス鶏舎における光線管理第4報. 成鶏期における低照度点灯の影響. 福岡県農業総合試験場研究報告,C-6:51-56.
- 堀野善久・鶴野 保. 2006. 発光ダイオードの養鶏分野への応用(1). 奈良県畜産技術センター研究報告,32:35-40.
- 同. 2008. 発光ダイオードの養鶏分野への応用(2). 奈良県畜産技術センター研究報告,34:19-25.
- 池谷守司・松井繁幸.2011. ウィンドウレス鶏舎内におけるLED電球による照明が卵の生産と経済性に及ぼす影響. 静岡県畜技研究所中小家畜研究センター研究報告,5:20-23.
- Rozenboim I, Eilberman E, Gvaryahu G. 1998. New monochromatic light source for laying hens. *Poultry Science*,77:1695-1698.
- 佐々木健二・坂倉 元・今西禎雄. 1996. 卵用鶏における悪癖防止による生産性の向上. 三重県農業技術センター試験成績報告書(畜産), 13:56-58.

畜産排水処理における汚泥容量の自動計測制御システムの開発（第1報）

Development of automatic measurements and regulation system of activated sludge volume in livestock wastewater treatment. (The first report)

杉山 典・中村茂和・白岩佑美子・村松明弘¹・西村文武²

要約：浄化槽の管理では、ばっ気槽の活性汚泥濃度を推定する方法としてSV(Sludge Volume)30が用いられているが、家畜浄化槽を巡回した結果、浄化槽管理への活用方法に関する多数の照会が寄せられた。そこで、当センターでは、光透過センサーを利用した汚泥容量の自動計測制御システムを試作し、試作したシステムを利用してMLSS濃度の制御試験を実施した。その結果、MLSS濃度の平均値が10,894.8mg/L、流入水のBOD値に対するMLSS濃度(F/M比)が0.13(kgBOD/(kgMLSS・日))の場合に、処理水のBOD平均値を17mg/Lまで低減でき、本制御を行うことで安定した良好な処理が達成できることを実証した。

(静岡畜技研中小研七研報6, 24~28, 2013)

はじめに

静岡県内における家畜浄化槽では、主に活性汚泥法などの生物学的な方法により排水の処理が行われている。生物学的な排水処理法は、汚水に含まれる生物分解性の成分（基質）を微生物、すなわち、活性汚泥に資化する方法であることから、基質と微生物とのバランスを適度に保つことが浄化槽の管理では求められる。浄化槽の日常管理では、活性汚泥の量を推定する簡易法としてSV(Sludge volume)30とよばれる方法が一般的に行われている。

SV30とは1リットルのメスシリンダーにばっ気槽混合液(以下、「混合液」とする。)を入れ、30分間静置した時に底部に沈降する汚泥量を百分率で表したのものである。SV30の測定により、活性汚泥の概略量や、汚泥の沈降性などを知ることが出来るが、県内の家畜浄化槽を巡回した結果、SV30の測定結果をどのように浄化槽の管理に反映したら良いかわからないという畜産農家の意見が多かった。

そこで、当センターでは、SV30と同様に混合液中の汚泥百分率を自動計測し、その計測

データに基いてばっ気槽内の汚泥濃度（以下、MLSS(Mixed Liquid Suspended Solid)濃度とする。)を調整する、汚泥容量の自動計測制御システムを試作した。本研究では、このシステムを用いて、屋内実験装置規模(処理能力0.7m³/日)でのMLSS濃度制御試験を行い、MLSS濃度が処理水の水質に及ぼす影響をBODで評価したので、その概要を報告する。

材料および方法

屋内実験装置の概要

屋内実験装置の概要を表1に示した。装置の構成は、ばっ気槽、沈殿槽、汚泥容量を計測するための汚泥容量計測容器（以下、「計測容器」とする。）を基本装置とした。流入水はセンターの家畜浄化槽施設の流量調整槽から定量的に流入するように設定し、ばっ気槽における水理学的滞留時間は48時間とした。ばっ気槽から沈殿槽への流入は越流方式で、沈殿槽後の処理水は自然流下とした。ばっ気槽のエアレーションは浄化槽用ブローア（安永エアポンプ(株)製LW-200 200L/分送風能力)を用い、溶存酸素計（山形東亜DKK株式会社製YPMS-48DO）による計測に

(1：協立電機株式会社、2：京都大学大学院工学研究科)

基いて溶存酸素濃度が $2.0\text{mgO}_2/\text{L}$ 以上となるように送風量を調整した。沈殿槽の底部には、汚泥引き抜き用の塩ビ配管を行い、配管の先に2方向バルブを取り付けた。2方向バルブの一方は浄化槽用ブローア（テクノ高城(株)製 HP-40 40L/

分送風能力）によるエア送風を利用したエアリフト方式によりばっ気槽に汚泥を返送し、他方向は汚泥廃棄用の電磁弁（SMC(株)製ML21）を取り付け、汚泥の返送・廃棄操作は全てパソコンによる通電管理で実施した。

表1 屋内実験装置の概要

| 単位装置名 | 有効容積 | 外寸法(cm) | 材質 |
|----------|-------|------------------------------|-------|
| ばっ気槽 | 700L | 縦90×奥行60×高さ225 | 鉄製 |
| 沈殿槽 | 700L | 立方体部縦75×奥行75×高さ115、正四角錐部高さ70 | 鉄製 |
| 汚泥容量計測容器 | 500ml | 縦5×奥行5×高さ47 | アクリル製 |

図1に汚泥容量の自動計測制御システムの概要図を示した。表2にシステムに用いたプログラミングの命令内容を示した。本システムでは、まず、ばっ気槽から混合液200mlを自動的に採取して計測容器にポンプ(古江サイエンス(株)製)で注入する(作動1)。計測容器の外部壁面2か所(垂直方向)に光透過センサー(OMRON(株)製)が取り付けられており(写真1)、混合液の注入30分後にセンサーが沈降汚泥と、汚泥から分離した上澄水との光透過量の相違を感知してシステム内のパソコン(三菱電機MELSEC-Qシステム)に信号を出力する(作動2)。混合液は計測後に廃棄して容器内の洗浄操作を行うが、システム内のパソコンでは、センサーからの入力信号により、混合液の汚泥容量が30%未満、30%から60%未満、そして60%以上となる3試験区(各々フェーズ1(P1)、フェーズ2(P2)、およびフェーズ3(P3)とする。)を識別する。パソコンから動力装置(ポンプ、電磁弁)を制御する出力用の信号は、返送汚泥ポンプの通電時間と、汚泥廃棄用の電磁弁の開閉時間を制御し、出力後、再度、作動1および作動2を行って汚泥容量を再計測し、常に汚泥容量が同一フェーズとなるまで出力を繰り返すループ式のプログラミングを構築した(作動3)。

図1 汚泥容量の自動計測制御システムの概要図

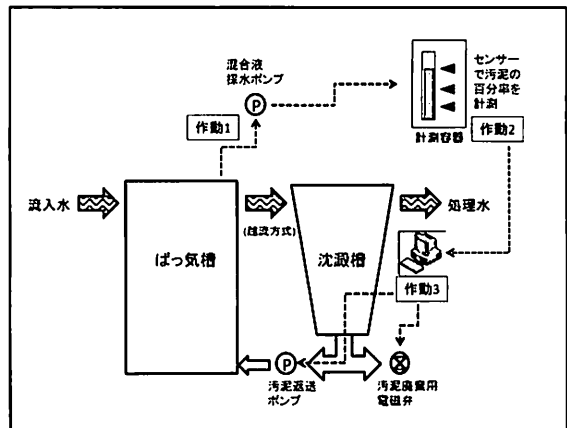


表2 システムのプログラミングの命令内容

| 各試験区 | プログラミングの命令内容 |
|------------|-----------------------------|
| フェーズ1(P1区) | 計測容器内の汚泥容量が30%未満となるよう設定 |
| フェーズ1(P2区) | 計測容器内の汚泥容量が30%~60%未満となるよう設定 |
| フェーズ1(P3区) | 計測容器内の汚泥容量が60%以上となるよう設定 |



写真1 計測容器に取り付けた光透過センサー

実験内容

水質の測定内容を表3に示した。実験では、表2に示した試験区ごとにばっ気槽に流入する流入水(以下、「流入水」とする。)と、沈殿槽から自然流下する処理水(以下、「処理水」とする。)のBODと、各試験区ごとのMLSS濃度を測定してMLSS濃度の違いがBODに及ぼす影響を評価した。各試験区は3週間実施し、BODおよびMLSS濃度は週1回の頻度で、代表水質となる同時間に採水して測定した。各試験区の1週間は汚泥濃度の安定化、動力装置の駆動状況を確認する準備期間とした。

表3 水質の測定内容

| 測定項目 | 測定対象 | 測定回数 | 測定方法 |
|------|---------|------|--------|
| BOD | 流入水、処理水 | 2回/週 | 下水試験方法 |
| MLSS | 混合液 | 2回/週 | 下水試験方法 |

結果

MLSS濃度の結果を図2に、流入水および処理水のBODの結果を各々図3および図4に示した。測定結果をまとめて表4に示した。図5にEPAマニュアル(1997)に基づくF/M比の求め方を示した。MLSS濃度の平均値は、P1区では2,210.0mg/Lであり、3,000mg/L以下で推移した。P3ではMLSS濃度が高く、最大で12,724mg/Lであった。流入水のBODは図3に示したとおり、全ての区において2,000mg/L以上と高い濃度で流入していた。処理水のBOD結果は図4に示したとおり、全ての区において水質汚濁防止法に基づく畜産排水の規制値基準である160mg/L以下であった。表4に示したとおり、処理水のBODの平均値はP1区が最も高く107mg/Lであった。P3区は平均値が17mg/Lであり、変動係数(標準偏差/平均値)としては36.5%と高い値であったが、最大値で28mg/Lであり、全ての測定値において30mg/L以下で推移した。F/M比はP1区が0.71、P2区が0.21、P3区が0.13であった。

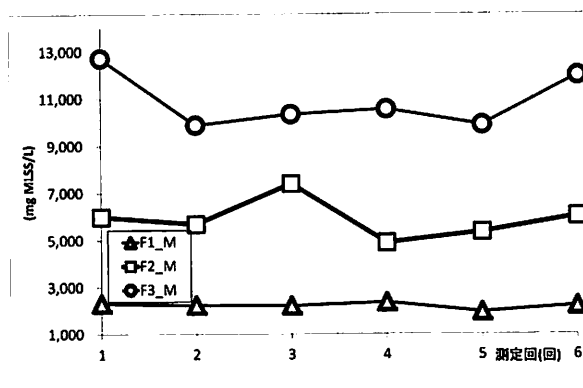


図2 MLSS濃度の結果

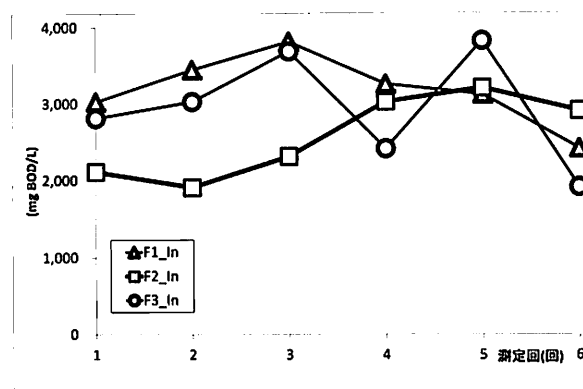


図3 流入水のBODの結果

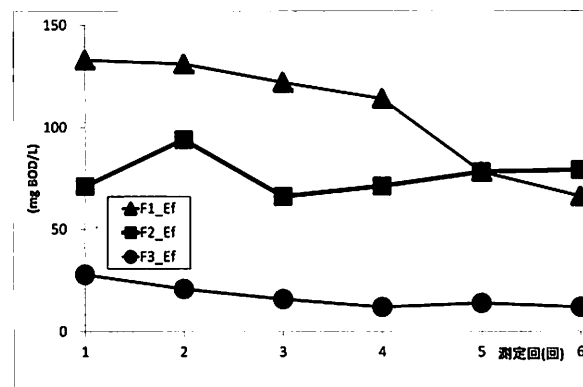


図4 処理水のBODの結果

表4 測定結果

| | (単位) | P1区 | P2区 | P3区 |
|--------------|------------------|---------|---------|----------|
| 流入水のBOD平均値 | (mg BOD/L) | 3,174.8 | 2,575.8 | 2,941.8 |
| 変動係数(SD/STD) | - | 14.7% | 20.7% | 24.9% |
| MLSS平均値 | (mg MLSS/L) | 2,210.0 | 5,884.2 | 10,894.8 |
| 変動係数(SD/STD) | - | 6.5% | 14.4% | 10.8% |
| 処理水のBOD平均値 | (mg BOD/L) | 107.3 | 76.5 | 17.2 |
| 最大値 | (mg BOD/L) | 133 | 94 | 28 |
| 最小値 | (mg BOD/L) | 66 | 66 | 12 |
| 変動係数(SD/STD) | - | 26.5% | 12.9% | 36.5% |
| F/M比 | kgBOD/(kg BOD・日) | 0.71 | 0.21 | 0.13 |

図5 F/M比の求め方

$$F/M比 = \frac{\text{kg BOD/日}}{\text{kg MLSS/日}}$$

$$\text{kg BOD/日} = \text{BOD(mg/L)} \times \text{流入量}$$

$$\text{kg MLSS/日} = \text{MLSS(mg/L)} \times \text{ばっ気槽容量}$$

考 察

今回試作したシステムによりMLSS濃度を制御した結果、MLSS濃度を最も高く保持したP3区でBODが最も低い値であった。試験区では全てBODの除去率が95%以上と良好であったが、表4に示したとおり、F/M比が低いほど、処理水のBODが低い結果であった。P3区では、処理水BODの変動係数が最も高かったが、最大で28mg/L、最小で12mg/L以下と低い値であった。本研究の結果から、汚泥容量の自動計測システムを構築することで、MLSS濃度を調整することが可能となり、生物学的な排水処理で最も重要な指標値であるF/M比を制御するのに有効であると考えられた。本システムを家畜浄化槽で実用化する場合、以下のような課題があると考えられた。

1. 汚泥の容量と濃度との相関と、汚泥沈降性について
2. 動力装置に対する適応性

以下、各々の課題について考察した。

1. 汚泥の容量と濃度との相関と、汚泥沈降性について

今回試作したシステムは、汚泥の容量を計測するものであることから、容量が濃度を反映するか評価する必要がある。山本ら(1985)は、食品工場の排水処理工程におけるSV30とMLSS濃度との相関を検討した結果、その相関はS型の近似曲線と直線で示されることを報告している。同報告によれば、MLSS濃度が10,000mg/L以上ではSV30とMLSS濃度との相関は直線的に示されることから、汚泥濃度が10,000mg/Lと高い場合、汚泥の容量は濃度を反映すると判断された。汚泥濃度が高い場合、汚泥のかさ密度は低下することからも容量は濃度を反映しやすいと考えられた。本研究では、各区のMLSS濃度の平均

値は2,210から10,895mg/Lであったが、Pradoら(2009)らは、養豚排水のMBR（生物膜処理）法の有効性を実証規模で評価した結果、ばっ気槽のMLSS濃度は10,000から11,000mg/Lの範囲であったことを報告している。

また、Yangら(1998)は、養豚排水を実プラントレベルでの活性汚泥法で評価した結果、MLSS濃度は8,000mg/L以上であったと報告している。生物易分解性成分の濃度が高い畜産排水では、汚水の成分が容易に活性汚泥に資化されてMLSS濃度は高まると判断された。したがって、MLSS濃度が高い家畜浄化槽では、汚泥の容量計測により汚泥濃度を推定することは可能と考えられた。

以下、汚泥の沈降性について考察した。MLSS濃度が2,000mg/L以下で運転されることが多い下水処理では、汚泥が膨化するバルキングとよばれる現象が起こり、汚泥の沈降性を悪化することがある。バルキング現象を呈した活性汚泥は、沈降性が悪化し、汚泥のかさ密度が低いことから、汚泥の容量は濃度を反映しにくい。バルキングの原因については未だ不明であるが、県内で30か所以上の家畜浄化槽を巡回した結果、バルキングを呈していたのは1か所のみで、流入負荷濃度が浄化槽の設計値より著しく低い条件下で運転されたまれな事例であり、バルキングは家畜浄化槽では発生しにくいと考えられた。一方で、畜産排水では処理水のBOD濃度が低い場合にあっても汚泥の沈降性が悪く、SV30が90%以上となる場合も少なくない。Liaoら(2000)は、人工下水を用いたSBR(回分式活性汚泥)法により、汚泥滞留日令(SRT:Sludge retention time)と汚泥の疎水性を検討した結果、SRTが16日以上と長期になるほど疎水性が高まり、汚泥の沈降性が高まること、また、F/M比が0.8以下と低いほど汚泥の疎水性が高いことを報告している。汚泥の沈降性悪化は、SS(浮遊物質)成分が処理水中に流出しやすくなることから、その対策が求められるが、現在のSV30のみの測定では、一過性の汚泥容量しか測定出来ず、返送汚泥の量により、ばっ気槽内のSRTが何日となっているのか、管理者である畜産農家が把握出来る術がないのが現状である。今回試作した汚泥容量の自動計測制御システムは、汚泥の容量のみな

らず、汚泥の返送量が正確に把握できることから、管理者は正確なSRTがわかり、最適なF/M比の保持とともに、沈降性の良好な汚泥性状を維持するのにも有用な手段になり得ると考えられた。

2. 動力装置に対する適応性

ばっ気槽における汚泥濃度の保持には、汚泥の生成速度や、汚泥返送量などが関係するが、多くの家畜浄化槽における汚泥返送は、ばっ気槽への送風量の一部を利用したエアリフト方式により行われている。高濃度な汚泥は粘性が高く、かつ、返送頻度が高い場合、送風ブローアなどの動力装置に過剰な負荷がかかる。今回の試作プログラミングにおいても、汚泥容量が同一フェーズになるまで汚泥返送を長期的に繰り返した場合、動力装置に対する過負荷となる可能性が考えられた。したがって、動力装置の負荷状況については、より長期的に評価する必要があると考えられた。

当センターでは、2012年度より「環境にやさしく管理が容易な畜産排水処理法の開発」に取り組んでおり、今回試作した汚泥容量の自動計測制御システムと同時に、EC(電気伝導度)計測を利用した流入水の有機物汚濁物質濃度の制御システムに着手している。これら技術の組み合わせにより、流入水の負荷(基質)と活性汚泥(微生物)を自動的に制御することで家畜浄化槽管理の負担は軽減され、より安定的な処理水の水質を確保する一助になると考えられた。

結 論

- ・光透過センサーを用いた汚泥容量の自動計測制御システムを試作した。
- ・同システムを用いて沈殿槽からの返送汚泥量を調整し、混合液の汚泥容量が30%未満(P1区)、30から60%未満(P2区)、60%以上(P3区)となるように制御した結果、F/M比はP1区が0.71、P2区が0.21、P3区が0.13であった。
- ・処理水のBOD平均値はP3区で17mg/Lまで低減でき、本制御を行うことで良好な処理が達成できることを実証した。

本研究の一部は、農業環境工学関連学会2012年合同大会(2012.9.12 宇都宮大学)にて発表した。

参考文献

- Liao.BQ, Allen DG, Droppo IG, Leppad GG, Liss.SN.2000. Surface properties of sludge and their role in bioflocculation and settleability. *Water Research*,35:339-350.
- Environmental Protection Agency. 1997. WASTEWATER TREATMENT MANUALS. p53.Ireland.
- Prado. N, Ochoa. J, Amrane. A. 2009. Zero Nuisance Piggeries: Long-term performance of MBR(membrane bioreactor) for dilute swine wastewater treatment using submerged membrane bioreactor in semi-industrial scale. *Water Research*, 43:1549-1558.
- Yang PY, Gan C,1998.An on-farm swine waste management system in Hawaii, *Bioresource Technology*. 65:21-27.
- 山本純雄・佐藤啓仁・箱守京次郎・鎌田治.1985. 汚泥沈降性指標とその光学的自動測定水質汚濁研究,8:39-46.

養豚排水のアンモニアストリッピング法による窒素除去に及ぼす諸要因

Factors affecting removal of nitrogen from swine manure wastewater by means of ammonia stripping

中村茂和・白岩佑美子・杉山 典

要約：養豚排水の主要な窒素形態であるアンモニアの除去を目的に、物理化学的窒素除去法の一つであるアンモニアストリッピング法について検討した。排水のpHを調整するアルカリ調整剤の種類や初期pH並びに曝気量等の要因がアンモニア除去に及ぼす影響について検討すると共に、対象とする養豚排水並びにアンモニアストリッピング法により処理された排水中のアンモニア態窒素濃度の簡易推定法についても検討し、以下の結果を得た。

アンモニア除去について、排水の初期pHや空気量と排水量の比（G/L比）の上昇に伴い、アンモニア除去率は高くなり、最高で90%の除去率が得られたこと等から、排水のpHやG/L比はアンモニアストリッピング法における主要な要因であることが示された。さらに、アルカリ調整剤として水酸化ナトリウムおよび水酸化カルシウムについて検討し、両者間のアンモニア除去に対する大きな違いは認められないことが今回の調査で明らかとなった。

pH調整前の養豚排水の電気伝導率（EC）とアンモニア態窒素濃度の関係には、有意な（ $P<0.01$ ）正の相関関係（ $r=0.90$ ）が認められた。また、アルカリ調整剤として水酸化カルシウムを使用し、G/L比を4に設定した場合、試験終了時の排水のECとアンモニア態窒素濃度の関係においても有意な（ $P<0.01$ ）正の相関関係（ $r=0.85$ ）が認められたことから、それぞれの排水のECを説明変数とした一次回帰式を用いることによるアンモニア態窒素濃度の推定の可能性が示唆された。

（静岡畜技研中小研セ研報6, 29～37, 2013）

はじめに

養豚業等の畜産事業場から公共用水域への放流水には、家畜の排せつ物由来の窒素が含まれている（和木ら（2010））。一方、水質汚濁防止法において、特定施設を有する事業場の場合、健康項目にアンモニアやアンモニア化合物等の窒素に関する排水基準があり、畜産農業を除いた業種における一律排水基準は100mg/Lである。しかし、畜産農業の場合、その基準を達成することが困難であるため、平成22年6月に行われた基準値の見直しにおいて、これまでの暫定基準値である900mg/Lが据え置かれたが、環境保全の立場から、次の見直し時には大幅な排水規制の強化が予想される。

養豚の排水処理施設では、一般に生物処理で

ある活性汚泥法により浄化処理されるが、排水中の有機性汚濁物質や窒素等の濃度が高く、これらの濃度によっては処理性能に影響を及ぼす可能性がある（徐ら（1997）、和木ら（2010））。さらに、その排水処理は生産者自らが行なっているため、安定した浄化処理が比較的困難であり、生産者の労力的、精神的な負担が大きい。一方、豚舎からの排水や埋立地の浸出水等のように、高濃度のアンモニアを含んだ排水の窒素除去については、物理化学的窒素除去法の一つであるアンモニアストリッピング法が一般的に知られている。この方法は水中のアンモニア態窒素がイオン態と遊離態として存在していることから、pHをアルカリ条件下とし、放散塔等にて大気と接触させることにより、遊離態のアンモニアを大気中に放散させるものである（津野と西田1995）。この方法に関しては、これまでの

報告から、対象排水のpHや温度、曝気量等の要因がアンモニア除去に及ぼす影響について、詳細な調査が行われている (Liaoら1995; Tonniら2006; 杉山2012)。この方法は比較的操作が容易であることに加え、新たな汚泥の発生がないことも特徴の一つとされている (Leiら2012) ことから、有用な窒素除去法であると考えられるが、pHを調整するアルカリ剤の種類がアンモニア除去に及ぼす影響が明らかになっていない。そこで豚舎からの排水を対象に、一般的に広く用いられている2種類のアルカリ調整剤を用い、アンモニアストリッピング法の主要な操作要因である排水のpHや曝気量等の要因がアンモニア除去率に及ぼす影響について検討した。そのため、ここでは主として排水のアンモニア態窒素について解析を行った。また、養豚排水のアンモニア態窒素の除去のためには、対象排水並びに処理された排水中のアンモニア濃度を把握することが管理上重要となる。しかし、実際の養豚場においては、生産者が排水中のアンモニア濃度を測定することは困難であると共に、実際に測定する場合、簡便な方法が求められると考えられる。そこで、対象とする養豚排水並びにアンモニアストリッピング法により処理された排水中のアンモニア態窒素濃度の簡易推定法について検討した。

材料および方法

1. 供試排水

供試排水は2012年3月から同年8月までの期間中、中小家畜研究センターに設置されている養豚排水処理施設 (汚水量日間平均約17m³) において、固液分離機を経た排水とした。また、その養豚排水は試験を行う当日に採水し、供試排水量は30Lとした。

2. 装置の概要

アンモニアストリッピング試験で使用した装置の概要を図1に示した。試験ではアンモニア除去用として約150Lのアクリル製の反応槽を用意し、そこへ30Lの排水を投入した。反応槽底部には曝気用装置 (エラストックス、三鈴工業) を設置した。また、全ての試験条件下にお

いて、試験中の発泡抑制のため、反応槽上部より消泡剤 (AF102、ダイヤニトリックス) を適宜、添加した。さらに、排水のpHおよび温度の計測のため、pHセンサー (PH10HLD、横河電機) および温度センサー (E52、オムロン) を反応槽内部に設置し、10分間隔で計測を行った。

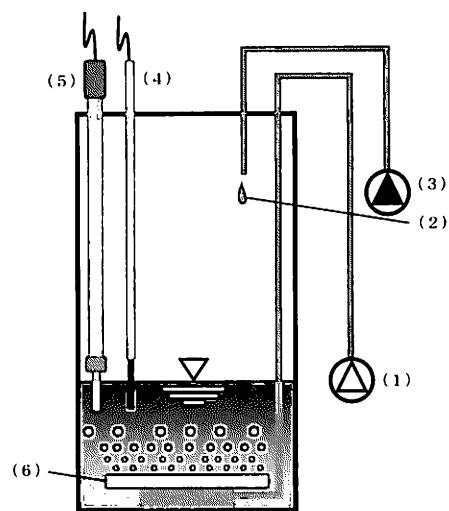


図1 アンモニアストリッピング反応装置の概要

(1) フロアー (2) 消泡剤 (3) 消泡剤添加用ポンプ
(4) 温度センサー (5) pHセンサー (6) 曝気用装置

3. アンモニアストリッピング法における条件設定

今回検討したアンモニアストリッピング法の諸条件については表1に示したとおり、アルカリ調整剤の種類および排水のpH、曝気量とし、各試験の反復は3とした。アルカリ調整剤については、一般的に使用されている水酸化ナトリウム (含有率48%) および水酸化カルシウム (スラリー状、含有率10%) について検討した。なお、3月から5月にかけて水酸化ナトリウムを用い、5月～8月にかけて水酸化カルシウムを用いた試験を行った。排水のpHについては、試験開始前のみアルカリ調整剤を用いて調整を行い、試験開始以降の調整は行わなかった。そのため、今回の試験において、試験開始前に調整したpHの値を初期pHとし、それらの値を9、10、11に設定した。曝気については、ブローアーからの送風量 (L/min) と供試排水量 (L) との比 (G/L比) を指標として検討し、その値を2および4に設定した。各試験における調査時間は21時間とし、自動採水器 (6712型、ISCO) による排水の

サンプリングは3時間毎に行った。

表1 アンモニアストリッピング試験における設定条件

| 項目 | 設定条件 |
|-------------|----------------------|
| アルカリ調整剤 | 水酸化ナトリウム 水酸化カルシウム |
| 排水の pH | 9、10、11 |
| 曝気量 (G/L 比) | 2、4 |

4. 調査項目

採取したサンプルは試験終了後、速やかに電気伝導率 (EC) やアンモニア態窒素濃度を測定した。ECは、電気伝導率計 (WM-32EP、東亜ディーケーケー) により、アンモニア態窒素濃度およびケルダール窒素濃度については下水試験法に準じて測定を行った。アンモニウムイオンやカリウムイオン等のカチオンはイオンクロマトグラフ法 (ICS1100、日本ダイオネクス) により測定し、ケルダール窒素は中和滴定法 (K-360、日本ビュッヒ) により測定した。アンモニア除去率は、各時点におけるアンモニア態窒素濃度を試験開始直前のアンモニア態窒素濃

度で除することにより求めた。また、経過時間に対するアンモニア態窒素濃度の変化量についても検討し、その値は式 (1) に示した一次反応速度式から求めることができ、この式は式 (2) に変形することができる。

$$d[C] / dt = -k [C] \quad (1)$$

$$\ln ([C_t] / [C_0]) = -k t \quad (2)$$

ただし、t: 時間、[C]: アンモニア態窒素濃度、[C₀]: 試験開始前のアンモニア態窒素濃度、[C_t]: 各調査時間におけるアンモニア態窒素濃度、k: 反応速度定数。

結 果

表2に2種類のアルカリ調整剤を用いたアンモニアストリッピング試験における排水について、pH調整を行う前の水質を示した。水酸化ナトリウムを用いた試験における排水の水質は、水酸化カルシウムの場合に比べ、ナトリウムイオンを除いた全ての項目において有意 (P<0.01) に高い値を示し、アンモニア態窒素では約90mg/L、ケルダール窒素では約160mg/L高かった。

図2にアルカリ調整剤として水酸化ナトリウムを使用した場合のアンモニア除去率とアンモニア態窒素濃度の変化量における経時変化について示した。アンモニア除去率について、初期pHが11、G/L比が2における除去率の平均値は最高で約40%であったのに対し、同じ初期pH、G/L比が4の場合、最高で約90%であり、G/L比2の場合に比べて約2倍以上であり、G/L比が高い場合の方がアンモニア除去率は高くなる傾向がみられた。そして、除去率が比較的高かったG/L比4の場合、初期pHが高い場合ほど高い除去率を示す傾向がみられた。また、経過時間に対するアンモニア態窒素濃度の変化量は、一次反応速度式により近似することができ、その値

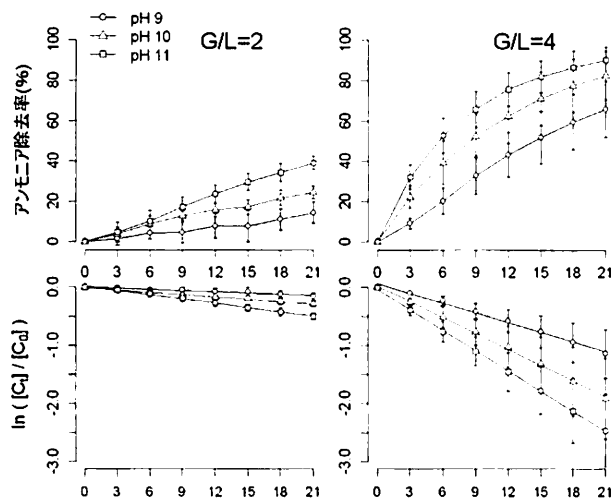


図2 水酸化ナトリウムをアルカリ調整剤として使用した場合のアンモニア除去率およびアンモニア態窒素濃度の変化量における経時変化

注1) 図中のバーは標準偏差を表す (n=3)。
注2) 図の上段はアンモニア除去率、下段はアンモニア濃度変化量を表し、左列はG/L比2、右列はG/L比4を表す。

表2 各アルカリ調整剤を用いたアンモニアストリッピング試験における供試排水の水質 (pH調整前)

| アルカリ調整剤 | 試験実施月 (月) | pH | EC (mS/cm) | アルカリ度 (CaCO ₃ mg/L) | アンモニア態窒素 (mg/L) | ケルダール窒素 (mg/L) | ナトリウムイオン (mg/L) | カリウムイオン (mg/L) |
|----------|-----------|---------|------------|--------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 水酸化ナトリウム | 3~5 | 8.5±0.2 | 6.6±0.9 | 2435±461 | 764.5±86.0 | 905.5±135.6 | 146.5±22.4 | 560.7±76.9 |
| 水酸化カルシウム | 5~8 | 8.3±0.1 | 5.2±0.7 | 1835±417 | 670.6±82.9 | 743.5±93.6 | 135.4±16.8 | 472.9±67.4 |
| 有意性 | — | ※※ | ※※ | ※※ | ※※ | ※※ | ns | ※※ |

表中の数値は平均値±標準偏差を表す (n=18)。

※※: T検定、P<0.01、ns: 有意差なし

については除去率と同様、G/L比が高い場合ほど高くなり、初期pHの上昇によっても高くなる傾向がみられたが、初期pHが10および11における大きな違いはみられなかった。

図3にアルカリ調整剤として水酸化カルシウムを使用した場合のアンモニア除去率とアンモニア態窒素濃度の変化量における経時変化について示した。アルカリ調整剤として水酸化カルシウムを使用した場合、水酸化ナトリウムの場合と比較して各測定値のばらつきは小さかったが、明らかな違いはみられなかった。

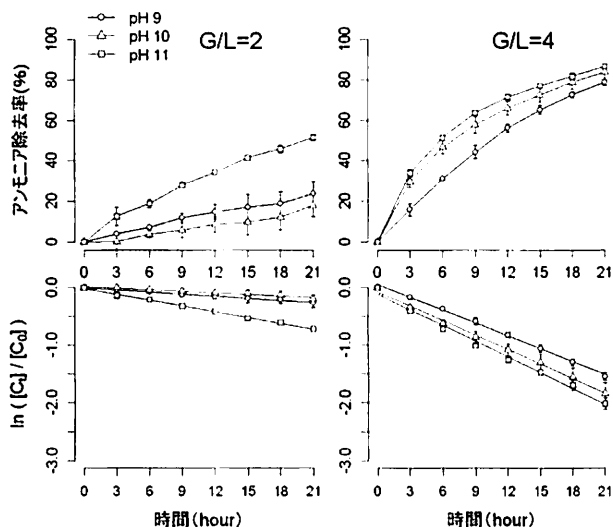


図3 水酸化カルシウムをアルカリ調整剤として使用した場合のアンモニア除去率およびアンモニア態窒素濃度の変化量における経時変化

注1) 図中のバーは標準偏差を表す (n=3)。
注2) 図の上段はアンモニア除去率、下段はアンモニア濃度変化量を表し、左列はG/L比2、右列はG/L比4を表す。

図4に水酸化ナトリウムおよび水酸化カルシウムをアルカリ調整剤として使用した場合のpHの経時変化について示した。G/L比が2におけるpHは、初期pHが10および11の場合、経過時間に伴い低下する傾向がみられたが、初期pHが9の場合、試験期間中一定の値で推移する傾向がみられ、いずれのアルカリ調整剤においても同様であった。また、G/L比が4の場合、初期pHが10および11における排水のpHは試験開始直後より速やかに低下し、G/L比が2の場合に比べて顕著に低下したが、試験開始約6時間以降には一定の値で推移する傾向がみられた。試験終了時におけるpHは、水酸化ナトリウムを使用した場合、いずれのG/L比においても初期pHが高

い場合ほど高かったが、水酸化カルシウムを使用した場合、全てにおいて約9であった。

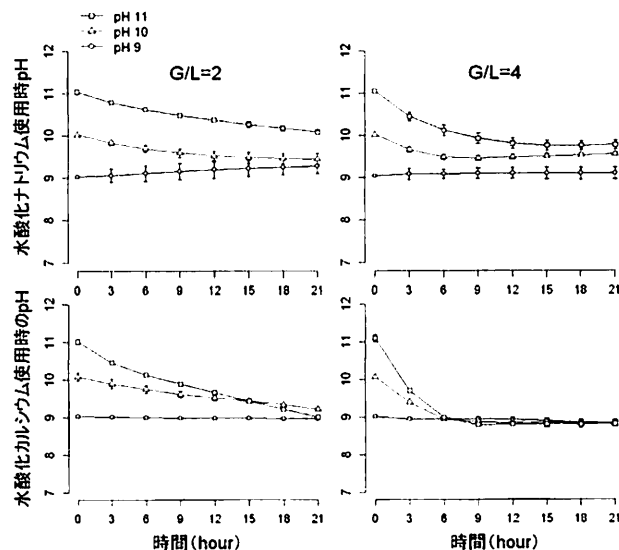


図4 水酸化ナトリウムおよび水酸化カルシウムをアルカリ調整剤として使用した場合のpHの経時変化

注1) 図中のバーは標準偏差を表す (n=3)。
注2) 図の上段はアンモニア除去率、下段はアンモニア濃度変化量を表し、左列はG/L比2、右列はG/L比4を表す。

試験終了時における排水の水質について、アンモニア除去率が高かったG/L比4における結果を表3に示した。排水のpHは、アルカリ調整剤の種類により異なり、水酸化ナトリウムを使用した場合、初期pHの値に応じて高くなる傾向がみられたが、水酸化カルシウムの場合ではいずれも同じ値であった。排水のECは、アルカリ調整剤の種類により異なり、水酸化ナトリウムを使用した場合、その値は4～9mS/cmであったのに対し、水酸化カルシウムの場合では低く、2～3mS/cmであった。さらに、水酸化ナトリウムでは、初期pHの上昇に伴い、高い値を示す傾向がみられたが、水酸化カルシウムの場合、初期pHの上昇に伴い、減少する傾向がみられた。

アンモニア態窒素濃度およびケルダール窒素濃度について、使用したアルカリ調整剤の種類および初期pHにおける二元配置分散分析を行った結果、いずれもアルカリ調整剤の種類による違いはみられなかったが、初期pHの違いによる有意差 (P<0.01) が認められた。それぞれのアルカリ調整剤において、初期pHが9におけるアンモニア態窒素濃度やケルダール窒素濃度は、初期pHが10や11の場合に比べて高く、pH10

と11の間には大きな違いは認められなかった。また、カリウムイオンについては、使用したアルカリ調整剤の種類による有意差 (P<0.01) が認められ、水酸化カルシウムを使用した場合の方が低かった。

図5にG/L比とアンモニア除去における一次反応定数の関係について示した。水酸化ナトリウムを使用した場合の一次反応定数とG/L比の関係は、G/L比2の場合に比べてG/L比4の場合のほうが有意 (P<0.01) に低く、水酸化カルシウムを使用した場合についても同様であった。また、それぞれのG/L比において、アルカリ調整剤の種類の違いが一次反応定数に与える影響は認められなかった。

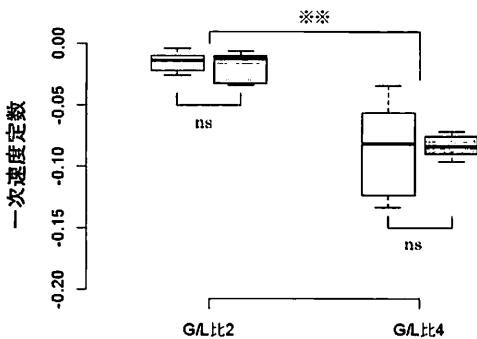


図5 G/L比とアンモニア除去における一次反応定数の関係

※※：二元配置分散分析、P<0.01 (G/L比)、ns：有意差なし (アルカリ調整剤)、交互作用 (G/L比×アルカリ調整剤) による有意差なし

図6にG/L比4における試験期間中の平均水温と一次反応定数の関係について示した。水酸化ナトリウムを用いた試験では、平均水温は15～25℃であった。また、いずれの初期pHにおいて水温の上昇に伴い、一次反応定数は低くなる傾向がみられた。しかし、初期pHが11の場合、水温が約23～26℃における一次反応定数はいずれも約-0.13であり、ほとんど変わらなかつた。一方、水酸化カルシウムを使用した試験の水温はいずれも約25℃であり、初期pH9における一次反応定数は、pH10および11の場合に比べ僅かに高い傾向がみられたが、pH10と11における一次反応定数の違いはほとんどみられなかった。

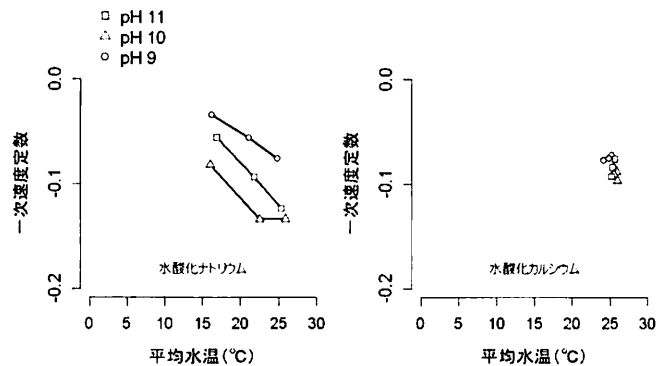


図6 平均水温とアンモニア除去における一次反応定数の関係 (G/L比4の場合)

表3 各アルカリ調整剤を用いたアンモニアストリッピング試験終了時における排水の水質 (G/L比4の場合)

| アルカリ調整剤 | 試験開始初期pH 設定値 | pH | EC (mS/cm) | アルカリ度 (CaCO ₃ mg/L) | アンモニア態窒素 (mg/L) | ケルダール窒素 (mg/L) | ナトリウムイオン (mg/L) | カリウムイオン (mg/L) |
|----------|-----------------|---------|---------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| 水酸化ナトリウム | 9 | 9.1±0.1 | 3.8±0.4 | 1351± 229 | 264.6±116.1 a | 371.4±81.5 a | 404.6± 51.4 | 642.0± 49.2 |
| | 10 | 9.6±0.0 | 6.5±0.6 | 3086± 276 | 144.4± 99.1ab | 312.6±80.3 ab | 1542.0±243.9 | 678.2± 63.5 |
| | 11 | 9.8±0.1 | 9.3±0.7 | 4948± 494 | 75.9± 51.8 b | 263.7±32.7 b | 1955.3±279.5 | 731.9± 42.3 |
| 水酸化カルシウム | 9 | 8.8±0.1 | 2.8±0.1 | 1251± 0 | 158.6± 17.7 a | 332.5±34.0 a | 167.3± 11.0 | 610.6± 26.9 |
| | 10 | 8.8±0.1 | 2.5±0.2 | 2485± 449 | 103.3± 23.6 b | 288.8±25.0 ab | 160.3± 14.5 | 563.6± 63.0 |
| | 11 | 8.8±0.1 | 2.2±0.3 | 1568±1126 | 70.6± 4.7 c | 229.3±64.4 b | 146.9± 28.3 | 507.5±100.5 |
| 要因 | アルカリ調整剤 | ※※ | ※※ | ※※ | ns | ns | ※※ | ※※ |
| | 初期pH | ※※ | ※※ | ※※ | ※※ | ※※ | ※※ | ns |
| | 交互作用 | ※※ | ※※ | ※※ | ns | ns | ※※ | ns |

表中の数値は平均値±標準偏差を表す (n=3)。

※※：二元配置分散分析、P<0.01、ns：有意差なし

表中の異なるアルファベット間には、各アルカリ調整剤の初期pH水準間において有意水準5%で差があることを表す (Fisher's PLSD法)。

考 察

図7に供試排水およびG/L比4における試験終了時の排水のECとアンモニア態窒素濃度の関係について示した。供試排水のECとアンモニア態窒素濃度の関係は、ECの上昇に伴い、アンモニア態窒素濃度も高くなり、有意な ($P<0.01$) 正の相関関係 ($r=0.90$) がみられた。また、G/L比が4における試験終了時の排水のECとアンモニア態窒素濃度の関係は、水酸化ナトリウムを使用した全ての試料において、ECが高くなるにつれてアンモニア態窒素濃度は低くなる傾向がみられた。一方、それぞれの初期pH毎についてみた場合、pH9については有意ではないものの、正の相関関係がみられ、その他の場合については判然としなかった。そして、水酸化カルシウムを使用した場合、全ての試料において、ECの上昇に伴い、アンモニア態窒素濃度も高くなり、有意な ($P<0.01$) 正の相関関係 ($r=0.85$) がみられた。さらに、それぞれの初期pHにおける試料については、いずれの場合も有意ではないものの、正の相関関係がみられた。

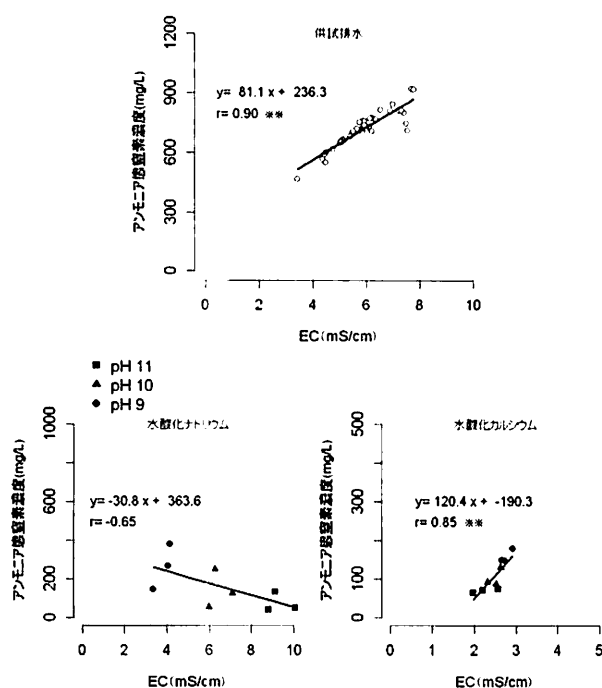


図7 ECとアンモニア態窒素濃度の関係

注) 図の上段は供試排水、下段は各アルカリ調整剤を使用した試験終了時の場合 (G/L比4)。

※※: $P<0.01$

1. 供試排水について

2012年3月から5月にかけて供試した養豚排水の水質は、同年5月から8月にかけて供試した排水に比べ、ナトリウムイオンを除いた全ての項目で高い値を示した (表2)。小規模事業場排水処理対策全科 (2002) によれば、気温の上昇に伴い、豚の飲水量やこぼれ水の増加、雨水の流入等により、養豚排水の希釈が起こることが知られ、気温が上昇する時期に実施した水酸化カルシウムを用いた試験においても同様の希釈が起こったことにより、アンモニア態窒素濃度等が低くなったと考えられた。また、養豚排水の場合、ケルダール窒素濃度は全窒素濃度とほとんど変わらず、ケルダール窒素の約7割はアンモニア態窒素であることが報告されている (和木ら2010)。今回供試した全ての養豚排水のケルダール窒素に対するアンモニア態窒素の割合は8~9割であることから、和木ら (2010) の報告とほとんど同じであり、養豚排水の主要な窒素形態はアンモニア態であることが改めて示された。

2. アンモニアストリッピング法によるアンモニア除去に及ぼす諸要因の影響について

今回の試験では、いずれのアルカリ調整剤において、初期pHが高くなるのに伴い、アンモニア除去率や経過時間に対するアンモニア態窒素濃度の変化量も高くなる傾向がみられたが、初期pHが10および11における除去率等の大きな違いはみられなかった (図2、3)。Liaoら (1995) は、養豚排水のアンモニアストリッピング法によるアンモニア除去の主要な要因として、排水のpHおよび温度、排水量に対するG/L比等に依存するとし、中でも排水のpHに関しては10.5の時が最も効率的であるとしている。また、AugustとXavier (2003) やSimonとRomana (2010)、杉山 (2012) は養豚排水のアンモニアストリッピング法による窒素除去において、排水のpHを10.5~11.5に上昇させた高pHは最も重要な要因であることを指摘している。今回の試験においても初期pH10および11におけるア

ンモニア除去率の大きな違いがみられないことから、Liaoら（1995）等の報告と同様の傾向がみられ、pHはアンモニア除去にとって主要な要因であることが改めて示された。また、アンモニア除去率等における各測定値のばらつきは、水酸化ナトリウムを使用した場合に比べ、水酸化カルシウムを使用した時のばらつきは小さかった（図2、3）。今回の試験では、水酸化ナトリウムおよび水酸化カルシウムを供試した試験の平均水温は両者で異なっており、水酸化ナトリウムの場合、15～25℃であったのに対し、水酸化カルシウムの場合、約25℃であった（図6）。養豚排水のアンモニア除去に密接な関係があるpH以外の要因として温度が知られており、効率的な窒素除去のためには比較的高い温度が必要とされる（Liaoら1995；AugustとXavier2003；杉山2012）。そのため、平均水温とアンモニア除去効率を表す一次反応定数の関係では、水酸化ナトリウムを使用した場合、各初期pHにより異なるが、平均水温の上昇に伴い低下する傾向がみられ、これまでの報告と同様、水温が高いほど効果的であることが明らかとなり、さらに、各試験における平均水温の違いがアンモニア除去に対して影響することが示された。そのため、水酸化ナトリウムを供試した試験に比べて平均水温の違いがほとんどなかった水酸化カルシウムの場合、アンモニア除去率に反映し、そのばらつきが小さかったのではないかと推察された。また、SimonとRomana（2010）は排水の温度が30～70℃の場合、アンモニア除去率の違いはほとんどないことを認めている。今回の水酸化ナトリウムを供試した試験においても、初期pHが11の場合、平均水温が約23～26℃における一次反応定数はいずれも約0.13であり、初期pHが10の場合においても平均水温が約25℃ではほとんど同じ値であった。さらに水酸化カルシウムを供試した場合、平均水温がほぼ同じであったことから初期pHによる一次反応定数の違いはほとんどみられなかった。以上のことから、今回の水酸化カルシウムを供試した平均水温以外における除去効率は不明であり、今後の詳細な検討が必要であるが、平均水温が約25℃未満の場合、除去率の初期pHに対する依存度は高く、平均水温が約25℃以上の場合、初期pHに対する依

存度は小さくなるのではないかと推察され、排水のpHや温度は、複合的にアンモニア除去に対して影響していることが推測された。

一方、今回の試験では、試験期間中における排水のpH調整は行わなかったため、初期pHが9の場合を除き、試験開始以降のpHは速やかに減少し、特にG/L比が2の場合よりもG/L比4の方が顕著に減少する傾向がみられた（図4）。アンモニアストリッピング法における排水のpHはアンモニア除去と密接に関係し、pHの低下は遊離態のアンモニアからイオン態のアンモニアへの解離反応により、アンモニアの揮散が減少し、このことがアンモニア除去率にも反映されることが知られており（AugustとXavier2003）、本試験においてもほぼ同様の傾向がみられた。すなわち、除去率が高かったG/L比4の場合、アルカリ調整剤として水酸化ナトリウムを使用した際の試験終了時におけるpHの平均値は、初期pHが9、10、11の場合、9.1、9.6、9.8と初期pHの値に応じて上昇したのに伴い（図4、表3）、アンモニア除去率の平均値も66%、83%、90%と上昇した（図2）。また、水酸化カルシウムの場合では、試験終了時のpHの平均値がいずれも8.8であったのに対して（図4、表3）、アンモニア除去率の平均値も78%、83%、86%といずれも比較的近い値であった（図3）。養豚排水のアンモニア除去に対しては、排水のpH以外にも温度が複合的に影響を与えることが推察されたことから、一概にpHのみでアンモニア除去に対する影響を説明することは困難であると共に、使用するアルカリ調整剤の種類によって多少異なるが、アンモニア除去率の程度をおおよそ反映する傾向がみられた。

Leiら（2012）の報告によれば、アンモニアストリッピング法におけるG/L比は、pHと同様に重要な要因であることを指摘している。また、アンモニアストリッピング法におけるG/L比については、養豚排水をアンモニア除去用の反応槽へ連続して投入する場合、反応槽を含めた装置の構造の違いにより異なることが考えられるが、その値はおおよそ50～2000と範囲が広い（Liaoら1995；AugustとXavier2003；SimonとRomana2010）。これに対し、回分式の場合は1～10（Leiら2012）であり、今回の試験も含

めてG/L比は連続式の場合に比べて低い。今回の回分式による試験の場合、いずれのアルカリ調整剤においてもG/L比が2から4へ上昇することにより、アンモニア除去における一次反応定数は有意に ($P<0.01$) 低くなる一方で、同じG/L比におけるアルカリ調整剤の違いによる有意差は認められなかったことから (図5)、Leiら (2012) の報告と同様、G/L比は排水のpHと同様にアンモニア除去に対して重要な要因であることが示され、使用するアルカリ調整剤の種類による一次反応定数の明らかな違いは認められないことが明らかとなった。

3. ECと排水中のアンモニア態窒素濃度の関係

今回供試した養豚排水のECとアンモニア態窒素濃度の関係は、有意な ($P<0.01$) 正の相関関係が認められた (図7)。これまでの報告においても養豚排水のECとアンモニア態窒素濃度の間に正の相関関係があることが知られており、養豚排水のECを説明変数とし、アンモニア態窒素濃度を推定する回帰式が提示されている (安西1988)。この回帰式におけるECの係数に対し、今回の試験で求めた係数は僅かに低かった。この違いに関する原因として、飼育頭数の規模や飼料、豚舎構造等の飼育環境の違いに加え、排水処理施設の違いが影響したのではないかと推測されるが、現時点では不明であり、今後、養豚排水のアンモニア態窒素濃度に影響を与える要因の探索やその因果関係についても検討が必要であると考えられた。

また、アンモニアストリッピング法における試験終了時の排水において、アルカリ調整剤の種類により、ECとアンモニア態窒素濃度の関係が異なった。すなわち、水酸化ナトリウムを使用した場合、初期pH9における正の相関関係がみられたが、その他のpHではその関係は判然とせず、全ての試料においては、負の相関関係がみられた。しかし、水酸化カルシウムの場合ではそれぞれの初期pHおよび全ての試料においても正の相関関係がみられた。そのため、アルカリ調整剤として水酸化ナトリウムを使用した場合、初期pHの違いにより、ECとアンモニア態窒素濃度の関係は異なる傾向がみられた一方で、水酸化カルシウムを使用した場合では、い

ずれの初期pHにおいて、ECを説明変数とした一次回帰式によるアンモニア態窒素濃度の推定の可能性が示唆された。また、水酸化カルシウムを使用した時の排水のECは、水酸化ナトリウムを使用した場合に比べて低く、ナトリウムやカリウムイオン濃度についても同様の傾向がみられた (表3)。ナトリウムイオン濃度については、アルカリ調整剤として添加した水酸化ナトリウムによる影響が大きいと考えられる一方で、水酸化カルシウムの場合、排水中のナトリウムおよびカリウムイオン濃度と水酸化カルシウムの添加量の関係は有意ではないものの、それぞれ負の相関関係がみられ、さらにECとの関係では有意な ($P<0.01$) 正の相関関係がみられた (データ省略)。このことから、養豚排水への水酸化カルシウムの添加により、これらイオンの一部が水溶性から交換性になり、水への溶出率が低下したことが、ECの低下を引き起こした原因の一つであると推測された。また、同様の現象が豚ふんや牛ふんの堆肥化において認められているが (畑中と窪田2002、高橋と梅本2005)、その作用機序については不明であり、堆肥と排水による形態の違いによる影響も不明であることから、今後の詳細な検討が必要であると考えられた。

参考文献

- August B, Xavier F. 2003. Air stripping of ammonia from pig slurry: characterization and feasibility as a pre- or post-treatment to mesophilic anaerobic digestion. *Waste Management*, 23 : 261-272.
- 安西徹郎. 1995. 水稻に対する豚尿の施肥法に関する研究. 千葉県農試特報, 16 : 1-50
- 畑中博英・窪田泰之. 2002. 未利用有機物資源の堆肥化と利用技術. 石川県農業総合研究センター報告, 24 : 17-24
- 環境省水環境部閉鎖性海域対策室監修. 2002. 小規模事業場排水処理対策全科—小規模事業場排水対策マニュアル普及版—. 環境コミュニケーションズ. 東京. pp126
- Lei Z, Yong-Woo L, Deokjin J. 2012. Ammonia stripping for enhanced biomethanization of

- piggery wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 199-200 : 36-42.
- PH.Liao, A.Chen, K.V.Lo. 1995. Removal of nitrogen from swine manure wastewaters by ammonia stripping. *Bioresource Technology*, 54 : 17-20.
- Simon G, Romana M-L. 2010. Effect of pH, temperature and air flow rate on the continuous ammonia stripping of the anaerobic digestion effluent. *Process Safety and Environmental Protection*, 89: 61-66.
- 杉山典. 2012. 畜産排水の複合的処理法の開発. 京都大学博士論文, 129 – 152
- 高橋正宏・梅本英之. 2005. 消石灰添加が豚糞堆肥の電気伝導度ならびにミネラル溶出率に及ぼす影響. 日本畜産学会報, 76:191 – 199
- Tonni AK, Wai-hung Lo, Gilbert YS Chan. 2006. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, B129 : 80-100
- 津野洋・西田薫. 1995. 環境衛生工学. 共立出版. 東京. pp154
- 和木美代子・安田知子・福本泰之・黒田和孝・坂井隆宏・鈴木直人・鈴木良地・松葉賢次・鈴木一好. 2010. 養豚廃水の活性汚泥処理施設から排出される窒素の特性. 水環境学会誌, 33 : 33 – 39
- 徐開欽・全恵玉・須藤隆一. 1997. 畜舎排水の性状と原単位. 用水と廃水, 39 : 13 – 21

静岡県内における養豚排水の水質特性

Influent Characterization of swine wastewater in Shizuoka Prefecture

白岩佑美子・中村茂和・杉山 典

要約：養豚排水の特性を把握するため、2011年4月から2012年8月にかけて、静岡県内の養豚場13戸について、汚水処理施設に流入する原汚水を採水し、水質分析を行った。調査した養豚場における原汚水の水質の平均値は、pH 7.9、SS 1,431 mg/L、BOD 3,432 mg/L、CODcr 5,807 mg/L、T-N 1,499 mg/L、NH₄⁺-N 1.128 mg/L、T-P 150 mg/Lであった。BOD/CODcr比は平均0.7であったことから、原汚水は活性汚泥法などの生物処理に適していると考えられたが、BODや窒素濃度が高いこと、BODに対する全窒素の割合が高いことから、安定的に排水基準を満たすためには、生物処理の前処理工程として凝集処理等の負荷低減処理や、窒素成分の除去処理が必要であると考えられた。

(静岡畜技研中小研七研報6, 38~42, 2013)

はじめに

材料および方法

養豚排水の浄化処理には主に活性汚泥法が用いられているが、汚水処理施設の維持管理には専門的知識が求められ、家族経営が主体である養豚業では安定した処理水質を確保することが難しい場合があり、排水処理にかかる労力も大きな負担となっている。さらに、今後、水質汚濁防止法にかかる窒素規制の強化が予想され、これらに対応できる新たな排水処理法の開発が求められている。

これらの課題を解決するため、当センターでは、従来法より安定的な処理能力があり、簡易かつ省力的な排水処理法の開発を試みている。

新たな処理法の開発にあたり、養豚排水の水質特性を把握することが重要であるが、調査の例は少ない。本研究では、養豚排水の汚濁物質の性状や濃度に応じた効率的な処理法を検討するため、養豚場において汚水処理施設に流入する原汚水の水質調査を行った。

1 調査概要

2011年4月から2012年8月までの間に、静岡県内の養豚場13戸について、汚水処理施設に流入する原汚水（以下「原汚水」とする。）の採水を行った。調査農場の概要を表1に示した。

表1 調査農場の概要

| 農場 | 汚水処理方法 | 飼養頭数(頭) | 採水日 |
|----|--------------|---------|-----------|
| A | 活性汚泥法(標準型) | 2,000 | 2011/6/1 |
| B | 活性汚泥法(標準型) | 2,000 | 2012/4/26 |
| C | 活性汚泥法(標準型) | 2,200 | 2011/5/19 |
| D | 活性汚泥法(標準型) | 2,400 | 2011/6/29 |
| E | 活性汚泥法(標準型) | 2,500 | 2011/5/19 |
| F | 活性汚泥法(標準型) | 3,300 | 2011/6/29 |
| G | 活性汚泥法(標準型) | 4,200 | 2011/6/29 |
| H | 活性汚泥法(標準型) | 3,500 | 2012/8/2 |
| I | 活性汚泥法(膜浸漬型) | 1,000 | 2011/6/8 |
| J | 活性汚泥法(膜浸漬型) | 1,400 | 2011/4/12 |
| K | 活性汚泥法(ラグーン型) | 2,000 | 2012/8/2 |
| L | 活性汚泥法(酸化溝法) | 3,000 | 2011/4/15 |
| M | 簡易沈降法 | 1,500 | 2011/4/19 |

2 水質分析

原污水の水質分析項目は、pH、浮遊物質(SS)、生物化学的酸素要求量(BOD)、化学的酸素要求量(COD)、全窒素(T-N)、アンモニア性窒素

(NH₄⁺-N) および全リン(T-P) であり、表2に示す方法で分析を行った。各水質項目間について単回帰分析を行い、相関係数値を求めた。

表2 分析方法

| 測定項目 | 単位 | 測定方法 |
|---------------------------------|------|---------------------------|
| pH | - | 下水試験法(ガラス電極法) |
| SS | mg/L | 下水試験法(ガラス繊維ろ紙法) |
| T-BOD | mg/L | 下水試験法(ウインクラーアジ化ナトリウム変法) |
| S-BOD | mg/L | ガラスろ紙法にてろ過したろ液を溶解性BODとした。 |
| T-COD _{cr} | mg/L | ニクロム酸カリウムによる分解。吸光光度法 |
| S-COD _{cr} | mg/L | ガラスろ紙法にてろ過したろ液を溶解性BODとした。 |
| T-N | mg/L | 下水試験法(紫外線吸光光度法) |
| NH ₄ ⁺ -N | mg/L | 下水試験法(イオンクロマトグラフ法) |
| T-P | mg/L | 下水試験法(ペルオキシ二硫酸カリウムによる分解法) |

結 果

1 調査農場の概要

飼養頭数は、1,000頭から4,200頭であり、2,000頭前後の養豚場が最も多かった。浄化方式は、活性汚泥法が12戸、簡易処理法が1戸であり、活性汚泥法の内訳は、標準型が最も多く8戸、膜浸漬型が2戸、ラグーン型が1戸、酸化溝法が1戸であった。

2 水質結果

原污水の水質結果を表3に示した。pHは、平均7.9であり、中性よりやや高めであった。SSは、平均1,431 mg/Lであった。T-BOD、S-BODは、それぞれ、平均3,432 mg/L、2,683 mg/Lであった。T-COD、S-CODは、それぞれ、平均5,807 mg/L、3,961 mg/Lであった。全窒素は、平均1,499 mg/L、アンモニア態窒素は、平均1,128 mg/Lであった。全リンは、平均150 mg/Lであった。

表3 原污水の水質調査結果

| 測定項目 (単位) | pH | SS mg/L | T-BOD* ¹ mg/L | S-BOD* ² mg/L | T-COD _{cr} * ³ mg/L | S-COD _{cr} * ⁴ mg/L | T-N mg/L | NH ₄ ⁺ -N mg/L | T-P mg/L |
|--------------|-----|------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------|-------------|
| 検体数 | 13 | 10 | 12 | 9 | 13 | 12 | 7 | 9 | 5 |
| 平均値 | 7.9 | 1,431 | 3,432 | 2,683 | 5,807 | 3,961 | 1,499 | 1,128 | 150 |
| 標準偏差 | 0.6 | 1,236 | 2,536 | 2,470 | 3,771 | 2,640 | 932 | 241 | 72 |
| 最大値 | 8.9 | 4,600 | 8,393 | 8,720 | 13,090 | 9,400 | 2,932 | 1,490 | 272 |
| 最小値 | 6.8 | 60 | 192 | 221 | 485 | 1,010 | 634 | 820 | 94 |

*1 全BODを示す *2 溶解性BODを示す *3 全CODを示す *4 溶解性CODを示す

3 水質項目間の関連性

養豚排水の水質の各項目間の相関関係を表4に、水質項目間で相関の高かった項目の回帰グラフを図1に示した。

相関係数が0.7以上の関係は、SSとT-COD ($r=0.862$)、SSと全リン ($r=0.949$)、T-BODとT-COD ($r=0.776$)、T-BODと全窒素 ($r=0.987$)、T-CODと全窒素 ($r=0.939$)、T-CODと全リン ($r=0.835$)、全窒素とアンモニア態窒素 ($r=0.778$) との計7項目間であり、いずれも正の相関がみられた。

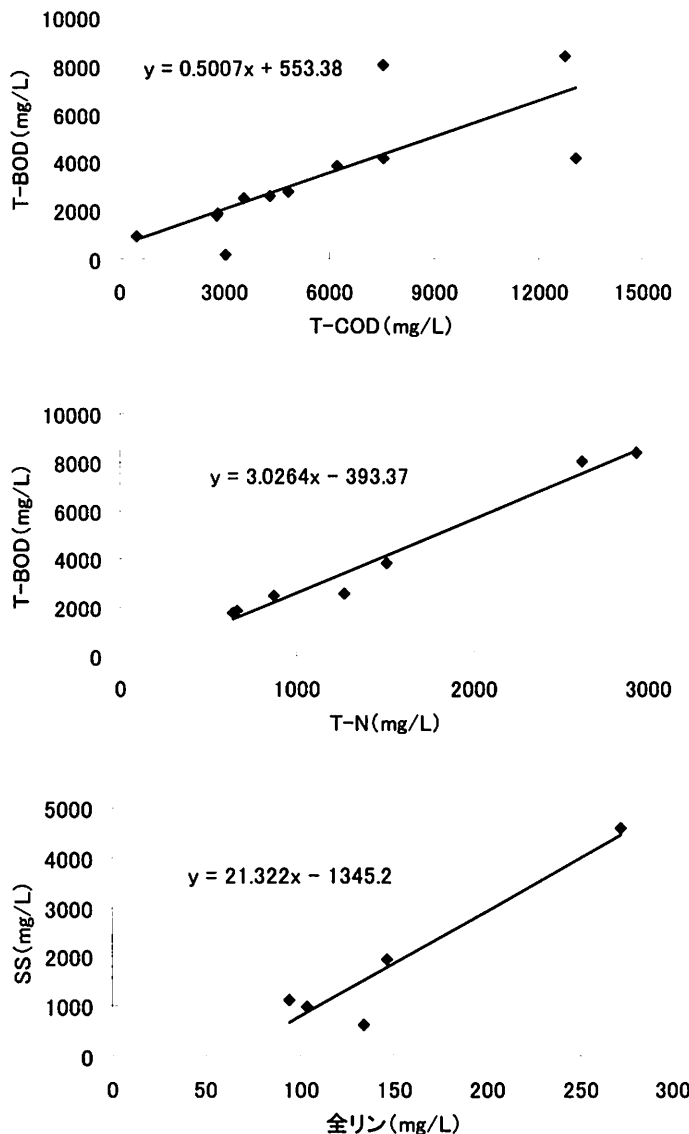


図1 水質項目間の回帰グラフ

表4 養豚排水の水質項目間の相関関係

| | SS | T-BOD | T-COD | T-N | NH ₄ ⁺ -N | T-P |
|-------|--------|--------|--------|-------|---------------------------------|-------|
| pH | -0.230 | -0.135 | -0.186 | 0.081 | -0.032 | 0.110 |
| SS | — | 0.683 | 0.862 | 0.665 | -0.119 | 0.949 |
| T-BOD | — | — | 0.776 | 0.987 | 0.093 | 0.546 |
| T-COD | — | — | — | 0.939 | 0.030 | 0.835 |
| T-N | — | — | — | — | 0.778 | 0.598 |

* 数値は、相関係数(r)

考 察

養豚排水の処理に一般的に用いられているのは、活性汚泥法等の生物処理である。しかし、その維持管理にはある程度の専門的知識が要求され、かつ手間もかかることから、その能力を十分発揮させていないのが実情である(除ら1997)。

当センターでは、安定的な処理能力があり、養豚農場でも実施可能な簡易かつ省力的な排水処理法の開発を目指して、負荷濃度低減のための凝集沈澱法、高い窒素成分への対応としてアンモニアストリッピング等の窒素除去法、より安定性の高い生物処理法を組み合わせた処理法を検討している。今回調査した養豚排水の原汚水の性状および濃度等から各処理工程の必要性を検討する。

1 汚濁物質の特性

畜産排水は、SS濃度が高く、有機物の濃度も高い(杉山2012)。主として活性汚泥法による生物処理が行われている他産業の有機性排水と比較すると、下水はBOD濃度300 mg/L以下(羽賀1995)であるのに対し、養豚排水のBODは平床式豚舎の場合6,386 mg/L、スノコ式豚舎の場合10,853 mg/L(除ら1997)と高い。今回調査した原汚水についても、T-BODは平均3,432 mg/Lと高い濃度であった。

養豚排水の浄化処理は、排水濃度が著しく高いため、一次処理としてスクリーン、振動ふるい、沈殿分離槽などにより固液分離を十分に行ったのち、希釈してBODを1,000 mg/L前後に調整してから曝気槽に導入する(除ら1998)とされている。一次処理による除去効果は、小規模事業場排水処理対策全科(2002)

によると、豚ふん尿混合汚水の事例で、ふるい分け、沈殿槽において、BODは20～60%、CODは25～60%、SSは33～90%、全窒素は12～45%、全リンは10～35%の除去率である。

調査した原汚水のBODは平均3,432 mg/Lであり、適切に一次処理を行い60%が除去されたと仮定しても1,373 mg/Lとなり、目安とされている1,000 mg/Lを超えているため、希釈や凝集沈殿等の前処理が必要と考えられた。

また、畜産排水は栄養塩類が顕著に多いため、一次処理による除去率が高くとも排水の窒素・リンは高い(除ら1998)。除ら(1997)の報告によると、養豚排水の全窒素は、平床式豚舎の場合995 mg/L、スノコ式豚舎の場合3,114 mg/Lであり、全リンは、平床式豚舎の場合215 mg/L、スノコ式豚舎の場合163 mg/Lである。原汚水の栄養塩類濃度の平均は、全窒素1,499 mg/L、全リンは150 mg/Lと高く、安定的に窒素除去を行うためには、アンモニアストリッピング等の処理を組み込む必要があると考えられた。

全リンについては、調査した原汚水におけるSSと全リンの相関が高いことから($r=0.949$)(図1)、凝集沈殿によるSS成分の除去に伴い、全リンも低減されると考えられた。

2 生物分解性の検討

家畜尿汚水中の多量のBODを処理するためには、生物処理が必須といえる(除ら1997)。生物分解性の難易度の指標の一つとしてBOD/COD比が用いられ、 $BOD/COD_{cr} > 0.6$ の場合、生物処理に適しているとされる(高橋ら1992)。調査した原汚水のBOD/COD_{cr}比は平均0.7であり(図2)、この条件を満たしていたことから、生物処理に適した排水と考えられた。

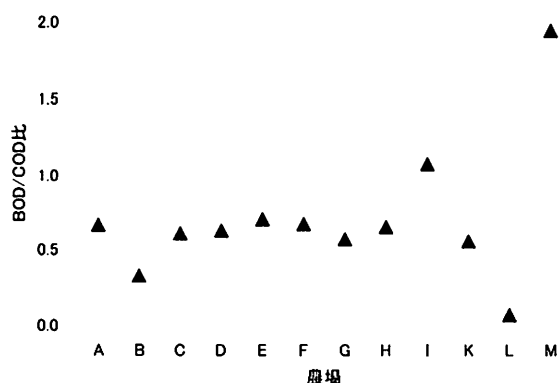


図2 各農場の原汚水におけるBOD/COD比

3 BODと全窒素比の検討

活性汚泥処理において十分に水質改善効果を得るためには、排水のBODと全窒素比が影響する。生物処理に適した排水の組成は、BOD : N=100 : 5とされ、BOD : N=100 : 15程度までは浄化が可能であるが、それ以上に窒素の割合が高いと生物処理の効率が低下し、処理が困難といわれている(除ら1997)。

調査した原汚水のBODに対する全窒素の比を図3に示した。BODを100とした場合、全窒素は平均37となり、処理に適した組成より大幅に窒素の比率が高く、このままでは生物処理による浄化が難しい排水であると考えられた。

また、和木ら(2010)の報告によると、養豚排水のケルダール窒素は全窒素濃度とほぼ等しく、ケルダール窒素に占めるアンモニア態窒素の割合は、平均72%である。調査した原汚水における全窒素に占めるアンモニア態窒素の割合は報告と同様の結果を示し、約70%と高かった。

これらの結果から、生物処理において有機物や窒素を安定的に除去するためには、処理に適した比率まで窒素を低減する必要がある、原汚水のアンモニア態窒素の割合が高いことから、その方法にはアンモニアストリッピング法等の窒素除去工程が有効であると考えられた。

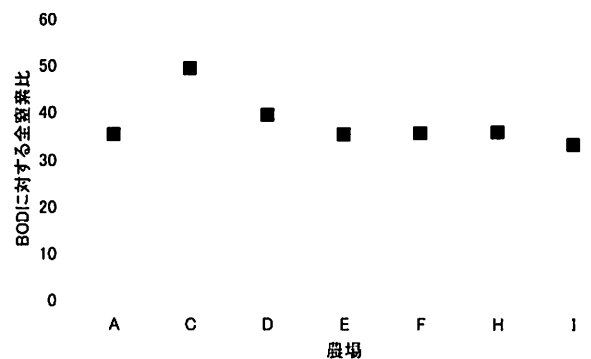


図3 各農場の原汚水におけるBODに対する全窒素比*

*BODを100とした場合の窒素の値

4 水質汚濁防止法の排水基準

畜舎排水には、水質汚濁防止法に基づき一律の排水基準が定められ、静岡県では、さらに条例により上乘せ排水基準が課せられている。「海域及び湖沼以外の公共用水域に排出される排水」の基準値は、日排水量50m³未満(7.5m³未満

は除く)の場合、BOD 160 mg/L (日間平均120 mg/L)、SS 200 mg/L (日間平均150 mg/L)である。

環境省の実態調査によれば、活性汚泥法の生物処理による除去率は、BOD 75.5%、COD 65.7%、SS 62.1%、全窒素45.7%、全リン46.1%であり(小規模事業場排水処理対策全科2002)、調査した排水においては、一次処理及び生物処理を適切に行った場合でも、放流水質基準を満たすことが難しい場合があると予想された。

5 複合的排水処理法の必要性

原汚水の水質結果から、調査した養豚排水は、汚濁物質濃度や窒素濃度が高いが、生物処理に適している排水であると考えられ、これまでの報告による全国の家畜尿汚水の特徴と一致した。

SSやBODが高濃度で污水处理施設に流入していることから、生物処理におけるBODの酸化分解能を向上させるためには、前処理工程として凝集処理等により負荷濃度を低減する方法は妥当であり、また、全窒素濃度に対するアンモニア濃度が高いことやBODと全窒素の比率から、アンモニアストリッピング等の窒素成分の除去処理は妥当であると考えられた。

参考文献

- 羽賀清典. 1995. 畜産系排水処理と負荷削減. 用水と排水, 37: 44-49
- 徐開欽・全恵玉・須藤隆一. 1997. 畜産排水の性状と原単位. 用水と排水, 39: 13-21
- 徐開欽・Chan-Woo Lee・全恵玉・須藤隆一. 1998. 畜産排水の処理対策とその高度化. 用水と排水, 40: 25-33
- 環境省水環境部閉鎖性海域対策室監修. 2002. 小規模事業場排水処理対策全科-小規模事業場排水対策マニュアル普及版-. 環境コミュニケーションズ. 東京. pp.135-138
- 杉山典. 2012. 畜産排水の複合的処理法の開発. 京都大学博士論文: 6、25-26
- 高橋信行・中井敏博・加藤義重. 1992. 有機化合物のオゾン酸化による生物分解性の変化. 水処理技術, 33: 325-335
- 和木美代子・安田知子・福本泰之・黒田和孝・坂井隆宏・鈴木直人・鈴木良地・松葉賢次・鈴木一好. 2010. 養豚廃水の活性汚泥処理施設から排出される窒素の特性. 水環境学会誌, 33: 33-39

静岡県畜産技術研究所
中小家畜研究センター研究報告

第 6 号

平成 25 年 1 月

編 集 静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター
発 行 静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター
〒439-0037
静岡県菊川市西方 2 7 8 0
TEL (0537) 35 - 2291(代)
FAX (0537) 35 - 2294

.....
印 刷 三 遠 商 会
〒436-0057
静岡県掛川市十九首 6 番地
TEL (0537) 24 - 5030