

オーチャードグラス／トールフェスク混播草地における牛ふん堆肥の 連年施用が牧草の収量と化学成分に及ぼす影響

小倉 振一郎*・遊佐 健司・宍戸 哲郎・田中 繁史・丹内 正樹・佐藤 衆介

東北大学大学院農学研究科

宮城県大崎市鳴子温泉字蓬田232-3 〒989-6711

2012年3月9日受付, 2012年5月24日受理

要 約

採草地への牛ふん堆肥（以下堆肥）の連年施用による牧草の収量および成分への影響ならびにその後の化学肥料への切り替えにともなう堆肥の残効について検討した。2005年秋に造成したオーチャードグラス／トールフェスク混播草地内に6区（各200 m × 14 m）の処理区を設け、2006–2008年に以下の処理を行った。①：無施肥，②：化学肥料の分割施用（N-P₂O₅-K₂O = 231-120-200 kg/ha/年），③：K₂O量で②と同量の堆肥を分割施用し，不足N量を尿素で補充（堆肥施用量は2,500–9,000 kg/ha/年），④：N量で②と同量の堆肥を分割施用（堆肥施用量は27,000–81,000 kg/ha/年），⑤：処理④の年間施用量を春に一括施用，⑥：処理④の2倍量の堆肥を分割施用。また，2009年には全区に化学肥料を施用（処理②）した。乾物収量に堆肥施用の明確な影響は認められなかったが，化学成分をみると，堆肥のみを施用した3つの区では2007–2008年にかけてCa含量が大きく低下し，P含量が上昇した。これらの区では，化学肥料に切り替えた2009年にも低Ca含量，低Ca/P比，高K含量，高K/(Ca+Mg)当量比および高NO₃-N含量が認められた。以上より，採草地におけるN量ベースの堆肥連年施用は牧草の無機物組成を悪化させ，その残効は化学肥料施用への切り替え翌年にも表れることが示された。

キーワード：化学成分，牛ふん堆肥，採草地，乾物収量，連年施用

東北畜産学会報 62(1): 6～16 2012

緒 言

家畜ふん尿は古くから堆肥として調製され，肥料効果および土壌改良効果を有することが知られている（江川，1964）。特に開墾地や地力の低い土地では堆肥の施用量が多いほど牧草収量が増加することが知られており（笠井，1957a；西潟ら，1957），堆肥は地力維持と作物生産性の増加にとって貴重な資源であった。その一方で，畜産の選択的拡大が始まった1960年代以降，わが国では飼料の多くを海外に依存し土地基盤を持たない畜産農家が大幅に増えたため，家畜ふん尿の集積にともなう畜産公害が懸念されるようになった（早川ら，1967；近藤ら，

1979，尾形，1979；西村，1993）。現在わが国では，毎年約9,000万トンもの家畜ふん尿が発生し，このうち牛ふん尿は60%以上を占める（横内ら，2006）。環境保全に配慮し，持続的に家畜生産を行うためには，家畜ふん尿の資源化と再利用が不可欠であることから，その堆肥化と農耕地への施用による粗飼料生産は，資源循環型農業の構築および粗飼料自給率向上にとって重要である。

良質な牧草を目標生産量に応じて安定的に生産するためには，牧草の生育に必要な各種要素を適正に施用し，牧草による養分収奪量を補填しなければならない（日本草地協会，2007）。家畜ふん尿の成分は家畜の種類によって異なるが，最も発生量の多い牛ふん堆肥の場合，一般にC/N比が高く，カリウム(K)が多く含まれている（尾形，1976；山口ら，2000；大谷と田鎖，2005；日本草地協会，2007）。このように，堆肥の成分バランスは作物が要求する養分バランスと必ずしも一致しないため（原

* 連絡者：小倉 振一郎（おぐら しんいちろう）
（東北大学大学院農学研究科 陸園生態学分野）
〒989-6711 宮城県大崎市鳴子温泉字蓬田 232-3
Tel. 0229-84-7378 Fax. 0229-84-7378
E-mail: s-ogura@bios.tohoku.ac.jp

田, 2004), 牧草地への堆肥の過剰施用は牧草の養分要求量に対して施肥成分に過不足を生じさせ、牧草生産性の低下や成分組成の悪化による家畜への有害化をもたらす恐れがある。

永年草地における牧草生産の場合、草地造成時に基肥として家畜ふん堆肥を用いることはあるが、追肥として用いることは少ないため、堆肥の草地への還元量には限界がある。しかし、牧草と飼料作物とを輪換栽培すれば、各作物を栽培する際により多くの家畜ふん堆肥を圃場に還元することができる。すでに東北地域では、家畜排泄物の農地への還元、地力の回復と土壤の物理化学性の維持、連作障害の防止などの観点から、飼料用トウモロコシ (*Zea mays*) と牧草とを輪換栽培する方法の有効性が示され (酒井ら, 1971), 実践事例も見受けられる (鈴木, 2006)。しかし、牛ふん堆肥を同一圃場に多量に連年施用する場合、化学肥料とは異なる施肥成分組成および肥効によって牧草の収量および化学成分に影響が生じる可能性がある。さらに、牧草地造成後に堆肥を追肥として連年施用した場合の牧草収量および化学成分への影響については明らかではない。

そこで本研究では、飼料用トウモロコシ生産に3年間供された後に新たに造成されたオーチャードグラス (*Dactylis glomerata*) / トールフェスク (*Festuca arundinacea*) 混播草地において、牛ふん堆肥の施用が牧草生産性および品質に及ぼす影響を3年間にわたり調査した。また4年目には、3年間にわたり施用された堆肥の残効について検討するため、すべての処理区に化学肥料を施用した場合の牧草収量および化学成分について調査した。

材料と方法

試験地の造成

本試験は、東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター陸域生産システム部 (宮城県大崎市鳴子温泉) 内の採草地 (3.0 ha) で行われた。この採草地は3年間の飼料用トウモロコシおよび6年間のイネ科牧草の採草が交互に行われている圃場であり、土壤は非アロフェン質黒ぼく土である。トウモロコシは2003年4月から2005年9月まで栽培され、150 kg N/ha/年、150 kg P₂O₅/ha/年および150 kg K₂O/ha/年 (化成肥料1,000 kg/ha/年) および牛ふん堆肥が20,000 kg FM/ha/年施用されていた。その後、2005年10月20-29日にオーチャードグラスとトールフェスクとの混播草地として造成された。造成時の播種量および施肥量は以下のとおりである。オーチャードグラス種子20

kg/ha、ペレニアルライグラス種子15 kg/ha、尿素燐加安777 (N-P₂O₅-K₂O = 170-170-170 g/kg) 300 kg/ha、熔成燐肥 (N-P₂O₅-K₂O = 0-20-0 g/kg) 500 kg/ha、重過リン酸石灰 (N-P₂O₅-K₂O = 0-340-0 g/kg) 300 kg/ha、苦土石灰 (アルカリ成分550 g/kg、マグネシウム100 g/kg) 2,000 kg/ha、牛ふん堆肥 (N-P₂O₅-K₂O = 12.3-11.2-25.0 g/kg) 20,000 kg/ha。

牛ふん堆肥の調製および成分分析

本試験で用いた牛ふん堆肥は、乳牛および肉牛のふんに水分調整材としてオガクズおよびグラスサイレージを混和し、初期水分を70%以下とした後、堆肥製造施設において30-60日間、一週間に2-3回攪拌して調製した。調製後、十勝農業協同組合連合会農産化学研究所 (北海道帯広市) に依頼し、水分含量、pH、電気伝導度 (EC) および全窒素 (TN)、リン酸 (P₂O₅)、酸化カルシウム (CaO)、酸化マグネシウム (MgO)、酸化カリウム (K₂O)、灰分、全炭素 (TC)、硝酸態窒素 (NO₃-N)、アンモニア態窒素 (NH₄-N) および無機態窒素 (無機N) の含量を測定した (表1)。この分析結果に基づき、以下に記した各処理区の堆肥施用量を算出した。

表1. 試験期間中に供試した牛ふん堆肥の性状および化学成分。

| 項目 | 平均値 | 最小値 | 最大値 |
|--------------------------------------|------|------|------|
| 水分 (% FM) | 64.2 | 57.7 | 70.0 |
| pH | 8.1 | 7.5 | 8.6 |
| EC (ms/cm) | 10.9 | 9.0 | 13.3 |
| TN (g/kg) | 19.9 | 15.9 | 22.9 |
| P ₂ O ₅ (g/kg) | 18.1 | 10.9 | 23.2 |
| CaO (g/kg) | 16.8 | 11.9 | 22.4 |
| MgO (g/kg) | 9.6 | 7.0 | 11.5 |
| K ₂ O (g/kg) | 49.8 | 33.0 | 63.6 |
| 灰分 (g/kg) | 297 | 224 | 363 |
| TC (g/kg) | 374 | 334 | 412 |
| NO ₃ -N (g/kg) | 0.52 | 0.16 | 1.09 |
| NH ₄ -N (g/kg) | 0.11 | 0.05 | 0.26 |
| 無機N (g/kg) | 0.63 | 0.23 | 1.36 |

処理区の設置と試験地の管理

2006年5月に、施肥管理の異なる以下の6つの処理区 (各区の大きさは200 m × 14 m) を設けた (図1)。

- 1) 「無施肥」区：無施肥区。
- 2) 「化成・分」区：化学肥料による慣行施用区 (東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター, 2006)。2006年 (1年目) の生草の収量見込を30,000 kg FM/haとし、一番草収穫後に草地化成212と尿素を、二番草収穫後に草地化成212を、三番草収穫後に草地化成212と熔リンを施用 (年間の計画施肥量：N-P₂O₅-K₂O = 79-50-60 kg/ha/年)。2007-2008年 (2-3年目) における生草の収量見込を

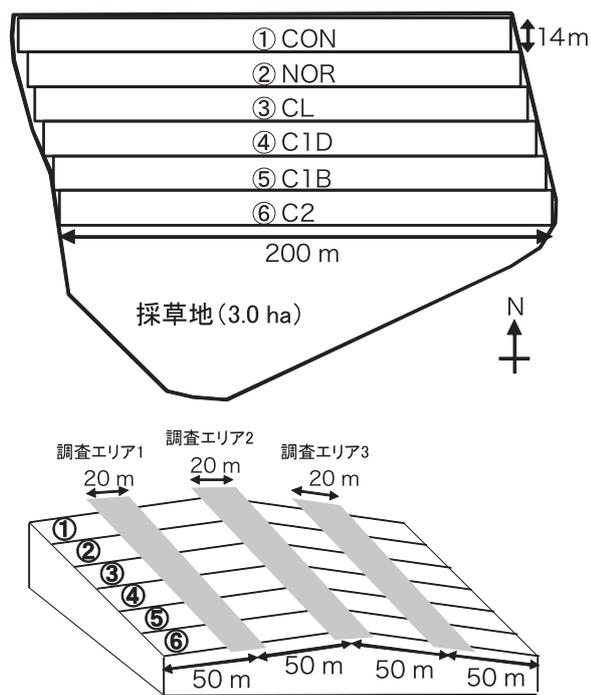


図 1. 試験地の概要.

50,000 kg FM/ha とし、早春および一番草収穫後に草地化成 212 と尿素を、二番草収穫後に草地化成 212 を、三番草収穫後に草地化成 212 と熔リンを施用 (年間の計画施肥量: $N-P_2O_5-K_2O = 231-120-200$ kg/ha/年)。この施肥量は日本草地協会 (2007) における宮城県の基本値 ($N-P_2O_5-K_2O = 240-100-210$ kg/ha/年) とほぼ等しい。

- 3) 「堆肥 K・分」区: K 量で「化成・分」区の年間施肥量と同量となるように、牛ふん堆肥を早春および各収穫後に施用し、不足する窒素量を尿素で補充した区。2006 年には、一番草収穫後および二番草収穫後に牛ふん堆肥と尿素を、三番草収穫後に牛ふん堆肥のみを施用 (計画施肥量は $N-P_2O_5-K_2O = 62-18-60$ kg/ha/年、堆肥の施肥量は 2,500 kg/ha/年)。2007-2008 年には、早春、一番草収穫後および一番草収穫後および二番草収穫後に牛ふん堆肥と尿素を、三番草収穫後に牛ふん堆肥のみを施用 (計画施肥量は $N-P_2O_5-K_2O = 203-59-198$ kg/ha/年、堆肥の施肥量は 9,000 kg/ha/

年)。

- 4) 「堆肥 N・分」区: 窒素 (N) 量で「化成・分」区の年間施肥量と同量の牛ふん堆肥を分割施用した区。2006 年には一番草収穫後、二番草収穫後および三番草収穫後に施用 (計画施肥量は $N-P_2O_5-K_2O = 79-144-482$ kg/ha/年、堆肥の施肥量は 27,000 kg/ha/年)。2007-2008 年には、早春、一番草収穫後、二番草収穫後および三番草収穫後に牛ふん堆肥と尿素を、三番草収穫後に施用 (計画施肥量は $N-P_2O_5-K_2O = 253-514-1711$ kg/ha/年、堆肥の施肥量は 81,000 kg/ha/年)。
- 5) 「堆肥 N・一括」区: 「堆肥 N・分」区と同量の牛ふん堆肥を春にまとめて毎年 1 回施用した区。2006 年には一番草収穫後、2007-2008 年には 4 月上旬に施用。
- 6) 「堆肥 2N・分」区: 「堆肥 N・分」区の 2 倍量の牛ふん堆肥を早春および各収穫後に散布した区。2006 年における計画施肥量は $N-P_2O_5-K_2O = 158-288-963$ kg/ha/年 (堆肥の施肥量は 54,000 kg/ha/年)、2007-2008 年における計画施肥量は $N-P_2O_5-K_2O = 506-1028-3421$ kg/ha/年 (堆肥の施肥量は 162,000 kg/ha/年)。

2009 年 (4 年目) には、上記 6 処理区すべてに等量の化学肥料を施用した。すなわち、生草の収量見込を 40,000 kg FM/ha とし、早春に草地化成 212 (273 kg/ha) と尿素 (33 kg/ha) を、一番草収穫後に草地化成 212 (140 kg/ha) と尿素 (53 kg/ha) を、二番草収穫後に草地化成 212 (207 kg/ha) を、三番草収穫後に草地化成 212 (50 kg/ha) と熔リン (100 kg/ha) を施用した (計画施肥量は $N-P_2O_5-K_2O = 174-87-134$ kg/ha/年)。

各区に実際に投入した年間成分施肥量を表 2 に示した。供試した堆肥の成分は調製時期によってやや変動したものの、概ね想定どおりの成分施肥量となった。

上記の処理区では、毎年 5 月 21 日 - 6 月 12 日 (一番草)、8 月 1 日 - 9 月 9 日 (二番草) および 10 月 12 日 - 11 月 12 日 (三番草) にモアコンディショナにより収穫し、ロールバールサイレージを調製した。また、エゾノギシ (*Rumex obtusifolius*), ヨモギ (*Artemisia princeps*),

表 2. 各処理区に実際に投入した成分量 (kg/ha/年)。

| 処理区 | 2006 年 | | | 2007 年 | | | 2008 年 | | | 2009 年 | | |
|---------|--------|-------------------------------|------------------|--------|-------------------------------|------------------|--------|-------------------------------|------------------|--------|-------------------------------|------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| 無施肥 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 174 | 87 | 134 |
| 化成・分 | 79 | 50 | 60 | 231 | 120 | 200 | 231 | 120 | 200 | 174 | 87 | 134 |
| 堆肥 K・分 | 62 | 22 | 74 | 281 | 53 | 164 | 211 | 30 | 147 | 174 | 87 | 134 |
| 堆肥 N・分 | 68 | 137 | 457 | 237 | 446 | 1,375 | 173 | 251 | 1,196 | 174 | 87 | 134 |
| 堆肥 N・一括 | 69 | 140 | 466 | 244 | 377 | 935 | 152 | 260 | 786 | 174 | 87 | 134 |
| 堆肥 2N・分 | 142 | 288 | 958 | 460 | 854 | 3,090 | 342 | 498 | 2,371 | 174 | 87 | 134 |

シロクローバ (*Trifolium repens*) およびオオバコ (*Plantago asiatica*) 等の広葉草本の繁茂を抑制する目的で、2007年9月4日にスルホニルウレア系除草剤 (製品名: ハーモニー 75DF 水和剤[®], デュボン社) を 30 g/ha, 900 l の水で 30 倍に希釈して散布した。

早春, 一番刈り後, 二番刈り後および三番刈り後の施肥は, それぞれ 4月7-19日, 5月23日-7月6日, 8月22日-9月25日および10月18日-12月1日に行った。

植生調査および化学分析

本圃場は, 北から南にかけてごく緩やかに傾斜していると同時に, 東西方向にも緩やかな傾斜がある (図1)。このような地形を考慮し, 調査エリアを各区内の尾根部および東西斜面中腹の3ヶ所に設けた (20 m×14 m)。そのエリア内で牧草の生育が中庸で牧草被度が80%以上の地点に1 m×1 mの方形枠を置き, 内部を地上10 cmの高さで刈取り牧草サンプルとした。このサンプリングを, 各年5月16-26日 (一番草), 7月24日-8月1日 (二番草) および10月3-23日 (三番草) に行った。牧草の化学成分については, 十勝農業協同組合連合会農産化学研究所に分析を依頼し, 可消化養分総量 (TDN), 粗タンパク質 (CP), 酸性デタージェント繊維 (ADF), 中性デタージェント繊維 (NDF), カルシウム (Ca), リン (P), マグネシウム (Mg), K および硝酸態窒素 (NO₃-N) の含量を測定した。また無機物含量については, 得られた分析値を日本飼養標準 (肉用牛) (農業・食品産業技術総合研究機構, 2008) で示されている肉用牛の基準値および摂取許容限界値と比較した。

結 果

牧草の乾物収量

牧草地上部の乾物収量を図2に示した。2006年には5,383-6,976 kg DM/ha/年であった。2007年には「無施肥」区で3,859 kg DM/ha/年と減少し, それ以外の区では5,156-7,489 kg DM/ha/年であった。化学肥料を施用した「化成・分」区および「堆肥 K・分」区では, 一番草の収量が他区に比べやや高かった。2008年にも「無施肥」区では4,717 kg DM/ha/年と低かったのに対し, それ以外の区では9,176-11,816 kg DM/ha/年と増加した。

すべての区を化学肥料に切り替えた2009年には, 全区で乾物収量が増加し, 11,013-15,625 kg DM/ha/年となった。特に一番草の収量は, 堆肥のみを施用した「堆肥 N・分」区, 「堆肥 N・一括」区および「堆肥 2N・分」区でやや高かった。

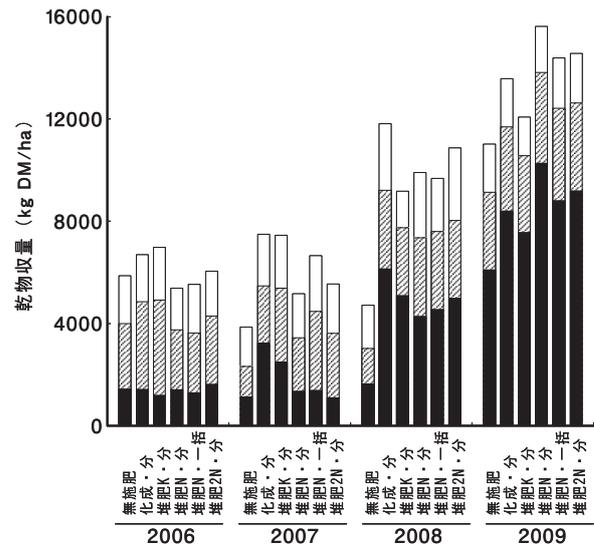


図2. 各処理区における乾物収量の変化。

■: 一番草, ▨: 二番草, □: 三番草。

牧草の養分含量

牧草地上部の TDN, CP, ADF および NDF の含量を表3に示した。TDN 含量は, 試験期間を通じて処理区間差は認められず, 2006-2008年には596-721 g/kgの範囲で推移し, 化学肥料に切り替えた2009年には612-742 g/kgの範囲であった。

CP 含量は, 2006年には処理区間でほとんど差は認められなかったが, 2007-2008年目には「無施肥」区 (101-140 g/kg) に比べ他の5つの区 (119-210 g/kg) でやや高くなった。2007年の二番草および2008年の一番草と二番草では, 堆肥のみを施用した「堆肥 N・分」区, 「堆肥 N・一括」区および「堆肥 2N・分」区で他区に比べやや高くなった。

ADF および NDF 含量は, いずれも試験期間を通じて処理区間差は認められず, 2006-2008年にはそれぞれ206-401 g/kg および 442-685 g/kg の範囲で推移し, 化学肥料に切り替えた2009年にも234-401 g/kg および 445-666 g/kg と同様の範囲で推移した。

牧草の無機物含量

牧草中無機物含量 (Ca, P, Mg および K) の結果を表4に示した。

Ca 含量は, 2006年から処理区間差が認められた。「堆肥 2N・分」区では, 2006年二番草から他区に比べ低下し, 2008年三番草まで1.80-2.67 g/kgと低く推移した。反対に「無施肥」区では2007-2008年に2.73-4.00 g/kgと高く推移した。また2008年には一番草において, 堆肥のみを施用した「堆肥 N・分」区および「堆肥 N・一括」区でも2.10-2.17 g/kgと低い値を示した。堆肥のみを施

表 3. 各処理区における牧草地上部の TDN, CP, ADF および NDF 含量 (g/kg).

| 処理区 | 2006 年 | | | | | | 2007 年 | | | | | |
|---------|--------|------------------|-----|----|-----|----|--------|----|-----|----|-----|----|
| | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | |
| | 平均 | SD ¹⁾ | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD |
| TDN 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 702 | 8 | 605 | 2 | 648 | 9 | 677 | 11 | 640 | 9 | 635 | 8 |
| 化成・分 | 721 | 6 | 596 | 3 | 648 | 4 | 666 | 6 | 636 | 12 | 634 | 11 |
| 堆肥 K・分 | 715 | 9 | 604 | 23 | 647 | 9 | 698 | 9 | 642 | 4 | 635 | 5 |
| 堆肥 N・分 | 719 | 7 | 626 | 13 | 641 | 15 | 696 | 8 | 657 | 5 | 659 | 1 |
| 堆肥 N・一括 | 712 | 9 | 617 | 14 | 642 | 9 | 689 | 11 | 648 | 15 | 639 | 6 |
| 堆肥 2N・分 | 713 | 10 | 621 | 15 | 648 | 5 | 688 | 12 | 662 | 13 | 658 | 11 |
| CP 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 103 | 8 | 90 | 8 | 113 | 7 | 110 | 8 | 110 | 8 | 140 | 6 |
| 化成・分 | 100 | 2 | 95 | 11 | 113 | 5 | 175 | 8 | 135 | 5 | 156 | 2 |
| 堆肥 K・分 | 103 | 3 | 78 | 19 | 107 | 7 | 184 | 12 | 128 | 7 | 160 | 10 |
| 堆肥 N・分 | 104 | 10 | 82 | 6 | 101 | 11 | 143 | 2 | 163 | 18 | 164 | 13 |
| 堆肥 N・一括 | 104 | 4 | 84 | 4 | 97 | 12 | 161 | 4 | 159 | 20 | 166 | 18 |
| 堆肥 2N・分 | 97 | 11 | 81 | 17 | 115 | 2 | 155 | 4 | 168 | 19 | 177 | 6 |
| ADF 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 238 | 8 | 387 | 6 | 334 | 6 | 275 | 9 | 344 | 17 | 341 | 5 |
| 化成・分 | 206 | 10 | 401 | 2 | 325 | 6 | 307 | 6 | 358 | 16 | 339 | 10 |
| 堆肥 K・分 | 209 | 5 | 389 | 26 | 330 | 14 | 268 | 4 | 347 | 4 | 334 | 13 |
| 堆肥 N・分 | 209 | 10 | 349 | 15 | 333 | 14 | 253 | 9 | 337 | 6 | 328 | 1 |
| 堆肥 N・一括 | 206 | 13 | 365 | 26 | 326 | 18 | 270 | 7 | 346 | 20 | 344 | 9 |
| 堆肥 2N・分 | 210 | 19 | 367 | 23 | 323 | 1 | 266 | 2 | 329 | 18 | 325 | 9 |
| NDF 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 493 | 35 | 677 | 11 | 597 | 7 | 564 | 26 | 628 | 24 | 624 | 16 |
| 化成・分 | 446 | 21 | 685 | 5 | 596 | 5 | 577 | 8 | 628 | 17 | 611 | 4 |
| 堆肥 K・分 | 459 | 21 | 660 | 39 | 589 | 22 | 511 | 3 | 612 | 8 | 596 | 12 |
| 堆肥 N・分 | 442 | 9 | 625 | 23 | 598 | 18 | 502 | 21 | 573 | 22 | 577 | 11 |
| 堆肥 N・一括 | 455 | 13 | 652 | 32 | 592 | 31 | 524 | 15 | 579 | 37 | 596 | 24 |
| 堆肥 2N・分 | 452 | 42 | 643 | 30 | 597 | 9 | 531 | 14 | 578 | 25 | 575 | 4 |

¹⁾ SD: 標準偏差。

| 処理区 | 2008 年 | | | | | | 2009 年 | | | | | |
|---------|--------|----|-----|----|-----|----|--------|----|-----|----|-----|----|
| | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | |
| | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD |
| TDN 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 678 | 6 | 640 | 4 | 671 | 5 | 641 | 11 | 651 | 24 | 736 | 3 |
| 化成・分 | 632 | 6 | 625 | 5 | 693 | 8 | 616 | 17 | 622 | 11 | 721 | 5 |
| 堆肥 K・分 | 641 | 25 | 626 | 15 | 689 | 12 | 626 | 7 | 631 | 10 | 723 | 6 |
| 堆肥 N・分 | 648 | 9 | 647 | 10 | 682 | 5 | 619 | 19 | 615 | 10 | 742 | 15 |
| 堆肥 N・一括 | 649 | 23 | 616 | 12 | 674 | 13 | 622 | 11 | 612 | 5 | 735 | 17 |
| 堆肥 2N・分 | 647 | 5 | 649 | 13 | 689 | 8 | 647 | 13 | 629 | 11 | 736 | 15 |
| CP 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 101 | 3 | 128 | 6 | 119 | 10 | 116 | 5 | 177 | 18 | 227 | 21 |
| 化成・分 | 126 | 4 | 140 | 4 | 210 | 24 | 114 | 24 | 176 | 15 | 220 | 14 |
| 堆肥 K・分 | 119 | 7 | 125 | 1 | 178 | 8 | 121 | 5 | 163 | 20 | 211 | 18 |
| 堆肥 N・分 | 139 | 9 | 172 | 12 | 188 | 9 | 123 | 13 | 156 | 2 | 248 | 10 |
| 堆肥 N・一括 | 160 | 33 | 153 | 13 | 154 | 9 | 127 | 17 | 168 | 8 | 241 | 3 |
| 堆肥 2N・分 | 134 | 11 | 164 | 9 | 191 | 8 | 125 | 10 | 155 | 12 | 243 | 17 |
| ADF 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 288 | 15 | 360 | 5 | 304 | 4 | 366 | 12 | 350 | 16 | 248 | 4 |
| 化成・分 | 361 | 16 | 384 | 10 | 274 | 15 | 401 | 19 | 363 | 11 | 245 | 9 |
| 堆肥 K・分 | 349 | 35 | 381 | 14 | 272 | 19 | 383 | 14 | 368 | 16 | 247 | 10 |
| 堆肥 N・分 | 340 | 13 | 369 | 4 | 293 | 11 | 393 | 25 | 388 | 10 | 234 | 7 |
| 堆肥 N・一括 | 342 | 30 | 396 | 12 | 304 | 12 | 393 | 16 | 376 | 12 | 239 | 7 |
| 堆肥 2N・分 | 348 | 5 | 366 | 8 | 291 | 4 | 360 | 18 | 372 | 14 | 247 | 7 |
| NDF 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 550 | 13 | 633 | 14 | 550 | 5 | 623 | 12 | 580 | 8 | 477 | 4 |
| 化成・分 | 630 | 16 | 633 | 6 | 537 | 8 | 666 | 27 | 610 | 34 | 497 | 11 |
| 堆肥 K・分 | 606 | 41 | 633 | 9 | 535 | 24 | 643 | 9 | 610 | 36 | 488 | 22 |
| 堆肥 N・分 | 610 | 17 | 571 | 18 | 553 | 6 | 647 | 25 | 607 | 1 | 445 | 19 |
| 堆肥 N・一括 | 606 | 52 | 617 | 18 | 545 | 15 | 647 | 21 | 598 | 13 | 458 | 22 |
| 堆肥 2N・分 | 622 | 9 | 599 | 11 | 562 | 10 | 618 | 18 | 602 | 18 | 453 | 14 |

表 4. 各処理区における牧草地上部の Ca, P, Mg および K 含量 (g/kg).

| 処理区 | 2006 年 | | | | | | 2007 年 | | | | | |
|---------|--------|------------------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|
| | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | |
| | 平均 | SD ¹⁾ | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD |
| Ca 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 2.93 | 0.23 | 3.20 | 0.10 | 3.27 | 0.29 | 3.57 | 0.38 | 3.20 | 0.70 | 3.87 | 0.78 |
| 化成・分 | 2.90 | 0.17 | 3.17 | 0.64 | 3.23 | 0.15 | 2.67 | 0.55 | 2.73 | 0.15 | 3.40 | 0.26 |
| 堆肥 K・分 | 3.00 | 0.35 | 2.80 | 0.20 | 2.90 | 0.26 | 3.17 | 0.15 | 2.97 | 0.12 | 3.57 | 0.23 |
| 堆肥 N・分 | 3.10 | 0.17 | 2.83 | 0.35 | 3.40 | 0.70 | 2.73 | 0.55 | 2.70 | 0.36 | 2.70 | 0.70 |
| 堆肥 N・一括 | 3.17 | 0.06 | 2.83 | 0.64 | 3.17 | 0.42 | 2.47 | 0.98 | 2.63 | 0.74 | 3.17 | 0.06 |
| 堆肥 2N・分 | 3.30 | 0.20 | 2.37 | 0.15 | 2.40 | 0.44 | 2.20 | 0.30 | 1.90 | 0.46 | 2.67 | 0.96 |
| P 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 2.20 | 0.26 | 2.57 | 0.59 | 3.03 | 0.23 | 2.53 | 0.25 | 2.90 | 0.20 | 3.87 | 0.35 |
| 化成・分 | 1.97 | 0.15 | 2.43 | 0.38 | 3.07 | 0.23 | 3.47 | 0.06 | 3.00 | 0.26 | 3.47 | 0.06 |
| 堆肥 K・分 | 2.00 | 0.10 | 1.90 | 0.53 | 2.43 | 0.55 | 3.00 | 0.44 | 2.73 | 0.25 | 3.53 | 0.23 |
| 堆肥 N・分 | 2.00 | 0.30 | 2.03 | 0.15 | 2.77 | 0.31 | 3.63 | 0.21 | 4.93 | 0.29 | 5.27 | 0.25 |
| 堆肥 N・一括 | 1.97 | 0.25 | 2.33 | 0.45 | 3.13 | 0.60 | 4.67 | 0.45 | 5.17 | 0.06 | 4.73 | 0.15 |
| 堆肥 2N・分 | 1.63 | 0.12 | 2.17 | 0.50 | 3.40 | 0.17 | 4.57 | 0.25 | 5.00 | 0.89 | 5.20 | 0.40 |
| Mg 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 1.87 | 0.06 | 2.30 | 0.10 | 2.63 | 0.06 | 2.00 | 0.17 | 2.20 | 0.00 | 2.87 | 0.23 |
| 化成・分 | 1.77 | 0.21 | 2.10 | 0.10 | 2.63 | 0.06 | 2.47 | 0.25 | 2.13 | 0.12 | 3.13 | 0.32 |
| 堆肥 K・分 | 1.87 | 0.15 | 1.80 | 0.20 | 2.20 | 0.17 | 2.20 | 0.53 | 2.10 | 0.10 | 3.20 | 0.26 |
| 堆肥 N・分 | 1.77 | 0.25 | 2.00 | 0.17 | 2.30 | 0.20 | 2.00 | 0.00 | 2.73 | 0.21 | 3.33 | 0.42 |
| 堆肥 N・一括 | 1.90 | 0.10 | 2.17 | 0.12 | 2.50 | 0.00 | 2.10 | 0.26 | 2.87 | 0.25 | 3.37 | 0.15 |
| 堆肥 2N・分 | 1.77 | 0.06 | 1.77 | 0.15 | 2.20 | 0.10 | 2.10 | 0.17 | 2.47 | 0.40 | 3.60 | 0.52 |
| K 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 24.9 | 1.4 | 19.6 | 1.1 | 21.4 | 0.9 | 18.5 | 2.3 | 20.3 | 1.1 | 22.7 | 1.3 |
| 化成・分 | 23.5 | 0.9 | 19.2 | 1.6 | 22.2 | 0.3 | 32.1 | 0.4 | 25.2 | 1.3 | 27.4 | 1.0 |
| 堆肥 K・分 | 23.2 | 0.4 | 20.5 | 1.2 | 21.9 | 1.0 | 27.7 | 4.8 | 24.4 | 0.4 | 26.9 | 0.9 |
| 堆肥 N・分 | 22.6 | 0.8 | 20.4 | 0.6 | 19.1 | 1.5 | 25.8 | 0.7 | 28.2 | 0.8 | 26.6 | 1.2 |
| 堆肥 N・一括 | 22.3 | 0.1 | 19.9 | 2.0 | 19.8 | 1.7 | 28.5 | 1.3 | 27.9 | 2.6 | 26.9 | 1.7 |
| 堆肥 2N・分 | 21.6 | 2.4 | 19.9 | 0.5 | 23.0 | 1.0 | 27.8 | 1.0 | 28.5 | 1.7 | 27.3 | 1.0 |

1) SD: 標準偏差。

| 処理区 | 2008 年 | | | | | | 2009 年 | | | | | |
|---------|--------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|
| | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | |
| | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD |
| Ca 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 2.73 | 0.12 | 3.47 | 0.15 | 4.00 | 0.53 | 2.50 | 0.56 | 2.93 | 0.32 | 2.40 | 0.30 |
| 化成・分 | 2.70 | 0.72 | 2.63 | 0.06 | 3.03 | 0.49 | 1.97 | 0.25 | 3.57 | 0.55 | 2.33 | 0.25 |
| 堆肥 K・分 | 2.53 | 0.49 | 2.77 | 0.29 | 3.17 | 0.91 | 2.17 | 0.50 | 3.37 | 0.29 | 2.67 | 0.38 |
| 堆肥 N・分 | 2.10 | 0.46 | 2.80 | 0.60 | 2.80 | 0.66 | 1.93 | 0.15 | 2.63 | 0.06 | 2.47 | 0.23 |
| 堆肥 N・一括 | 2.17 | 1.16 | 2.80 | 0.46 | 3.03 | 0.32 | 1.57 | 0.15 | 2.57 | 0.50 | 2.37 | 0.29 |
| 堆肥 2N・分 | 1.80 | 0.36 | 2.13 | 0.92 | 1.93 | 0.40 | 1.63 | 0.32 | 2.33 | 0.61 | 2.20 | 0.36 |
| P 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 2.63 | 0.06 | 4.33 | 0.21 | 3.20 | 0.17 | 2.50 | 0.17 | 4.10 | 0.00 | 3.40 | 0.20 |
| 化成・分 | 2.63 | 0.21 | 3.43 | 0.15 | 3.07 | 0.15 | 2.40 | 0.17 | 3.80 | 0.30 | 3.23 | 0.15 |
| 堆肥 K・分 | 2.60 | 0.10 | 3.83 | 0.15 | 3.53 | 0.23 | 2.50 | 0.17 | 3.80 | 0.10 | 3.77 | 0.42 |
| 堆肥 N・分 | 4.03 | 0.25 | 4.33 | 0.12 | 4.60 | 0.10 | 2.77 | 0.25 | 4.33 | 0.12 | 3.63 | 0.42 |
| 堆肥 N・一括 | 4.27 | 0.21 | 4.33 | 0.21 | 4.83 | 0.12 | 2.53 | 0.21 | 4.07 | 0.42 | 3.37 | 0.06 |
| 堆肥 2N・分 | 4.50 | 0.17 | 4.97 | 0.57 | 5.60 | 0.20 | 3.30 | 0.10 | 4.97 | 0.85 | 4.60 | 0.53 |
| Mg 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 1.97 | 0.12 | 2.83 | 0.06 | 2.73 | 0.06 | 1.70 | 0.10 | 2.80 | 0.00 | 2.30 | 0.26 |
| 化成・分 | 2.10 | 0.26 | 2.37 | 0.12 | 2.70 | 0.17 | 1.50 | 0.10 | 2.73 | 0.12 | 2.13 | 0.21 |
| 堆肥 K・分 | 2.07 | 0.31 | 2.57 | 0.06 | 2.60 | 0.44 | 1.60 | 0.26 | 2.60 | 0.10 | 2.40 | 0.17 |
| 堆肥 N・分 | 2.00 | 0.20 | 2.93 | 0.47 | 3.00 | 0.26 | 1.63 | 0.06 | 2.90 | 0.00 | 2.57 | 0.15 |
| 堆肥 N・一括 | 2.27 | 0.46 | 2.73 | 0.25 | 3.07 | 0.15 | 1.43 | 0.06 | 2.50 | 0.10 | 2.43 | 0.25 |
| 堆肥 2N・分 | 2.00 | 0.00 | 2.87 | 0.12 | 3.17 | 0.35 | 1.50 | 0.10 | 2.97 | 0.29 | 2.73 | 0.15 |
| K 含量 | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 20.3 | 0.8 | 21.9 | 0.9 | 21.2 | 1.5 | 22.2 | 1.2 | 28.4 | 1.9 | 28.3 | 2.6 |
| 化成・分 | 26.5 | 1.4 | 26.5 | 1.0 | 29.7 | 1.6 | 21.7 | 1.3 | 26.2 | 1.8 | 26.2 | 5.5 |
| 堆肥 K・分 | 26.8 | 0.8 | 26.3 | 1.2 | 27.8 | 3.8 | 23.2 | 1.0 | 26.7 | 3.8 | 27.6 | 2.0 |
| 堆肥 N・分 | 28.6 | 1.4 | 30.5 | 1.8 | 31.0 | 0.8 | 24.1 | 1.8 | 29.6 | 1.4 | 33.6 | 2.2 |
| 堆肥 N・一括 | 28.9 | 1.2 | 28.5 | 0.4 | 29.1 | 0.7 | 23.5 | 1.9 | 32.4 | 0.7 | 33.0 | 1.0 |
| 堆肥 2N・分 | 27.9 | 1.7 | 28.2 | 1.7 | 29.7 | 1.4 | 24.1 | 1.3 | 28.5 | 3.0 | 32.2 | 1.4 |

用した「堆肥 N・分」区、「堆肥 N・一括」区および「堆肥 2N・分」区では、化学肥料に切り替えた 2009 年にも Ca 含量は 1.57-2.63 g/kg と低かった。

P 含量は、2007-2008 年にかけて堆肥のみを施用した「堆肥 N・分」区、「堆肥 N・一括」区および「堆肥 2N・分」区では 3.63-5.60 g/kg の範囲で推移し、他区の 2.53-4.33 g/kg に比べ高かった。中でも「堆肥 2N・分」区では、化学肥料に切り替えた 2009 年にも他区に比べ高く推移した。

Mg 含量には明確な処理区間差は認められず 1.43-3.60 g/kg の範囲で推移した。2006-2008 年には一番草から三番草にかけて増加する傾向が認められたが、化学肥料に切り替えた 2009 年には二番草で高い区が多かった。

K 含量は 2007-2008 年に処理区間差が認められ、施肥を行わなかった「無施肥」区では 18.5-22.7 g/kg であったのに対し、施肥を行った 5 つの区では 24.4-32.1 g/kg と高かった。特に、「化成・分」区の 2007 年一番草および「堆肥 N・分」区の 2008 年二番草および三番草の K 含量は、肉用牛の摂取許容限界値 (30 g/kg) を超過した。2009 年には、二番草および三番草で全ての区で上昇したが、特に堆肥のみを施用した「堆肥 N・分」区、「堆

肥 N・一括」区および「堆肥 2N・分」区で高まり (28.5-33.6 g/kg)、これらの区では三番草の値がすべて肉用牛の摂取許容限界値 (30 g/kg) を超過した。

牛ふん堆肥の施用による牧草中 Ca 含量の低下と P 含量の上昇、ならびに K 含量の上昇にともない、Ca/P 比が低下し、K/(Ca+Mg) 当量比が上昇した (表 5)。Ca/P 比は堆肥のみを施用した「堆肥 N・分」区、「堆肥 N・一括」区および「堆肥 2N・分」区で 2007 年から低下が認められ、2008 年まで 0.34-0.76 で推移した。特に「堆肥 2N・分」区では、2006 年二番草から低下し、以後処理区の中で最低の値で推移した。この傾向は化学肥料に切り替えた 2009 年にも認められ、「堆肥 N・分」区、「堆肥 N・一括」区および「堆肥 2N・分」区の Ca/P 比は 0.47-0.70 の範囲となり、「無施肥」区、「化成・分」区および「堆肥 K・分」区の Ca/P 比 (0.70-0.99) に比べ低かった。K/(Ca+Mg) 当量比をみると、2006 年には処理による明確な違いは認められず 1.39-2.11 の範囲であったが、2007-2008 年には「無施肥」区を除く 5 つの区で 1.56-2.81 へと上昇し、両年とも一番草で高かった。特に 2008 年の一番草では、堆肥のみを施用した「堆肥 N・分」区、「堆肥 N・一括」区および「堆肥 2N・分」

表 5. 各処理区における牧草地上部の Ca/P 比および K/(Ca+Mg) 当量比。

| 処理区 | 2006 年 | | | | | | 2007 年 | | | | | |
|-----------|--------|------------------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|
| | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | |
| | 平均 | SD ¹⁾ | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD |
| Ca/P | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 1.35 | 0.21 | 1.30 | 0.34 | 1.08 | 0.01 | 1.42 | 0.28 | 1.12 | 0.32 | 1.02 | 0.29 |
| 化成・分 | 1.48 | 0.13 | 1.36 | 0.52 | 1.06 | 0.13 | 0.77 | 0.17 | 0.92 | 0.12 | 0.98 | 0.07 |
| 堆肥 K・分 | 1.51 | 0.25 | 1.55 | 0.39 | 1.22 | 0.17 | 1.07 | 0.12 | 1.09 | 0.14 | 1.01 | 0.13 |
| 堆肥 N・分 | 1.57 | 0.24 | 1.40 | 0.18 | 1.24 | 0.30 | 0.76 | 0.18 | 0.55 | 0.04 | 0.51 | 0.11 |
| 堆肥 N・一括 | 1.63 | 0.22 | 1.28 | 0.50 | 1.05 | 0.30 | 0.54 | 0.27 | 0.51 | 0.15 | 0.67 | 0.02 |
| 堆肥 2N・分 | 2.03 | 0.19 | 1.12 | 0.21 | 0.71 | 0.17 | 0.48 | 0.08 | 0.39 | 0.11 | 0.52 | 0.20 |
| K/(Ca+Mg) | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 2.11 | 0.14 | 1.44 | 0.09 | 1.45 | 0.11 | 1.37 | 0.20 | 1.56 | 0.22 | 1.36 | 0.18 |
| 化成・分 | 2.08 | 0.18 | 1.50 | 0.27 | 1.51 | 0.07 | 2.47 | 0.35 | 2.07 | 0.10 | 1.65 | 0.17 |
| 堆肥 K・分 | 1.99 | 0.19 | 1.83 | 0.13 | 1.74 | 0.17 | 2.14 | 0.01 | 1.95 | 0.05 | 1.56 | 0.02 |
| 堆肥 N・分 | 1.93 | 0.09 | 1.73 | 0.21 | 1.39 | 0.31 | 2.21 | 0.26 | 2.02 | 0.22 | 1.70 | 0.33 |
| 堆肥 N・一括 | 1.82 | 0.05 | 1.63 | 0.32 | 1.40 | 0.16 | 2.57 | 0.62 | 1.95 | 0.14 | 1.58 | 0.05 |
| 堆肥 2N・分 | 1.77 | 0.17 | 1.93 | 0.12 | 1.99 | 0.25 | 2.53 | 0.31 | 2.47 | 0.25 | 1.66 | 0.31 |

¹⁾ SD: 標準偏差。

| 処理区 | 2008 年 | | | | | | 2009 年 | | | | | |
|-----------|--------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|
| | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | |
| | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD |
| Ca/P | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 1.04 | 0.04 | 0.80 | 0.07 | 1.26 | 0.22 | 0.99 | 0.16 | 0.72 | 0.08 | 0.70 | 0.05 |
| 化成・分 | 1.02 | 0.24 | 0.77 | 0.04 | 0.99 | 0.16 | 0.82 | 0.12 | 0.94 | 0.13 | 0.73 | 0.11 |
| 堆肥 K・分 | 0.97 | 0.16 | 0.72 | 0.05 | 0.89 | 0.19 | 0.86 | 0.16 | 0.89 | 0.06 | 0.71 | 0.09 |
| 堆肥 N・分 | 0.52 | 0.14 | 0.65 | 0.16 | 0.61 | 0.14 | 0.70 | 0.09 | 0.61 | 0.03 | 0.69 | 0.13 |
| 堆肥 N・一括 | 0.51 | 0.28 | 0.65 | 0.09 | 0.63 | 0.06 | 0.62 | 0.03 | 0.64 | 0.14 | 0.70 | 0.10 |
| 堆肥 2N・分 | 0.40 | 0.06 | 0.44 | 0.20 | 0.34 | 0.07 | 0.50 | 0.11 | 0.47 | 0.06 | 0.49 | 0.11 |
| K/(Ca+Mg) | | | | | | | | | | | | |
| 無施肥 | 1.75 | 0.15 | 1.38 | 0.05 | 1.29 | 0.11 | 2.18 | 0.31 | 1.94 | 0.18 | 2.36 | 0.45 |
| 化成・分 | 2.24 | 0.32 | 2.09 | 0.05 | 2.06 | 0.24 | 2.53 | 0.31 | 1.67 | 0.18 | 2.52 | 0.57 |
| 堆肥 K・分 | 2.36 | 0.32 | 1.93 | 0.17 | 1.99 | 0.62 | 2.55 | 0.52 | 1.80 | 0.23 | 2.15 | 0.06 |
| 堆肥 N・分 | 2.76 | 0.26 | 2.09 | 0.49 | 2.05 | 0.14 | 2.68 | 0.23 | 2.06 | 0.13 | 2.60 | 0.26 |
| 堆肥 N・一括 | 2.64 | 0.63 | 2.00 | 0.21 | 1.86 | 0.12 | 3.02 | 0.20 | 2.48 | 0.17 | 2.64 | 0.22 |
| 堆肥 2N・分 | 2.81 | 0.33 | 2.15 | 0.43 | 2.15 | 0.42 | 3.03 | 0.43 | 2.08 | 0.47 | 2.48 | 0.26 |

表 6. 各処理区における牧草地上部の NO₃-N 含量 (g/kg).

| 処理区 | 2006 年 | | | | | | 2007 年 | | | | | |
|---------|--------|------------------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|
| | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | |
| | 平均 | SD ¹⁾ | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD |
| 無施肥 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 化成・分 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.15 | 0.10 |
| 堆肥 K・分 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.17 | 0.19 |
| 堆肥 N・分 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| 堆肥 N・一括 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.06 |
| 堆肥 2N・分 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.10 | 0.07 |

| 処理区 | 2008 年 | | | | | | 2009 年 | | | | | |
|---------|--------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|
| | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | | 一番草 | | 二番草 | | 三番草 | |
| | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD |
| 無施肥 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.03 | 0.82 | 0.83 | 0.32 | 0.31 |
| 化成・分 | 0.02 | 0.01 | 0.34 | 0.32 | 1.37 | 0.05 | 0.15 | 0.24 | 1.11 | 0.44 | 0.54 | 0.60 |
| 堆肥 K・分 | 0.01 | 0.01 | 0.11 | 0.15 | 0.04 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.50 | 0.48 | 0.19 | 0.19 |
| 堆肥 N・分 | 0.01 | 0.01 | 1.24 | 0.32 | 0.13 | 0.13 | 0.17 | 0.06 | 1.37 | 0.49 | 1.98 | 1.78 |
| 堆肥 N・一括 | 0.13 | 0.15 | 0.87 | 0.48 | 0.02 | 0.02 | 0.53 | 0.48 | 1.58 | 0.52 | 1.49 | 0.21 |
| 堆肥 2N・分 | 0.01 | 0.01 | 0.47 | 0.19 | 0.22 | 0.19 | 0.01 | 0.01 | 0.86 | 0.90 | 1.60 | 1.17 |

¹⁾ SD: 標準偏差。

区で高かった。2009 年にはすべての処理区で上昇したが、中でも堆肥のみを施用した 3 つの区で高く推移した。特に「堆肥 N・一括」区および「堆肥 2N・分」区では、一番草の値がそれぞれ 3.02 および 3.03 ときわめて高い値を示した。

牧草中 NO₃-N 含量は、2006-2007 年には 0.00-0.17 g/kg で推移した (表 6)。2008 年には、堆肥のみを施用した「堆肥 N・分」区、「堆肥 N・一括」区および「堆肥 2N・分」区では二番草でピークを示し、0.47-1.24 g/kg に達した。また「化成・分」区では季節の進行にともない上昇し、三番草では 1.37 g/kg まで上昇した。化学肥料に切り替えた 2009 年には、すべての区で値が上昇した。堆肥のみを施用した「堆肥 N・分」区、「堆肥 N・一括」区および「堆肥 2N・分」区では二番草および三番草で高く、それぞれ 0.86-1.58 g/kg および 1.49-1.98 g/kg に達した。しかしいずれの場合も、同一処理区内の変動が大きかった。

考 察

家畜ふん堆肥の施用量と牧草の収量との関係については多くの報告がある。笠井 (1957a) は、堆肥を基肥として 9,370 kg/ha (250 貫/反) から 31,880 kg/ha (850 貫/反) まで増加させるとイネ科牧草の収量が増加したことを報告している。さらに、追肥として堆肥を同量施用した場合も、その効果を認めている (笠井, 1957b)。一方、阿部 (1974) はオーチャードグラス主体草地に牛ふん堆肥を 30,000 kg, 60,000 kg および 90,000 kg/ha/年の 3 段階で 3 年間にわたり施用したところ、増収効果は認められなかった。畑地で実施した杉原ら (1979) の試験では、牛ふん堆肥の施用量が 80,000-160,000 kg/ha/年では収量が頭打ちとなり、増収効果はあまり認められ

ていない。またオーチャードグラス/シロクロバ混播草地で実施された近藤ら (1979) による牛ふん堆肥施用試験では、堆肥のみ施用した場合、80,000-160,000 kg/ha/年では収量が増加するもののその効果は緩慢であった。一方本研究では、年間窒素施用量がほぼ等しい「化成・分」区、「堆肥 K・分」区、「堆肥 N・分」区および「堆肥 N・一括」区の 4 つの区における年間収量に顕著な違いは認められず、また窒素量でこれら 4 つの区の 2 倍量を施用した「堆肥 2N・分」区でも増収効果は認められなかった。「堆肥 N・分」区および「堆肥 N・一括」区の堆肥施用量は 81,000 kg/ha/年、「堆肥 2N・分」区では 160,000 kg/ha/年であることから (2006 年にはそれぞれ 52,000 kg/ha/年および 102,000 kg/ha/年)、本結果は杉原ら (1979) および近藤ら (1979) とほぼ一致している。また化学肥料を施用した「化成・分」区および「堆肥 K・分」区では、2007 年の一番草の収量が他の区にくらべやや高かったが、この理由として早春に速効性肥料を施用したことにより牧草の生育が旺盛となった可能性が考えられる。一方、堆肥のみを施用した「堆肥 N・分」区、「堆肥 N・一括」区および「堆肥 2N・分」区では、化学肥料施用に切り替えた 2009 年の一番草収量が高くなったが、この理由として、過去 3 年間に施用された堆肥が土壌表層に蓄積し、その有機物が春の温度上昇によって分解したことにより、当年に施用された化学肥料の成分に加え、無機化した堆肥由来の窒素成分が相乗的に作用し牧草の生育が旺盛になったものと考えられる。

本研究で実施した施肥法および施用量の違いは、牧草の無機物含量に大きな差異をもたらした。すなわち、堆肥のみを施用した「堆肥 N・分」区、「堆肥 N・一括」区および「堆肥 2N・分」区では 2007 年以降に牧草中 Ca 含量が低下し、P 含量が上昇し、その結果 Ca/P 比が低下した。加えて、K 含量が上昇したと相まって、

これらの区では2008-2009年の一番草でK/(Ca+Mg)当量比が上昇した。この傾向は、堆肥施用量が多かった「堆肥2N・分」区で特に顕著に認められた。堆肥施用量の増加にともなう飼料作物中無機成分の同様の变化は、すでに牧草および飼料用トウモロコシで報告されている(近藤ら, 1979; 杉原ら, 1979; 伊東ら, 1982; 畠中ら, 1985)。黒毛和種成雌牛(体重500 kg)維持に必要な給与飼料中CaおよびP含量はそれぞれ2.4 g/kgおよび2.5 g/kgであるが(農業・食品産業技術総合研究機構, 2008), 本研究では2008年一番草において堆肥のみを施用した上記3つの区で牧草中Ca含量が要求レベルを下回っており, 逆にP含量が大きく上昇している。その結果, これらの区のCa/P比は適正値とされる1.5-2.0(農業・食品産業技術総合研究機構, 2008)を大きく下回り, 牧草の無機物バランスが悪化した。この結果は, 家畜ふん尿や家畜ふん堆肥の多量施用によってCa/P比が1未満に低下するという過去の報告(原田, 1977; 伊東ら, 1982; 畠中ら, 1985)と一致する。さらに本研究では, 化学肥料施用に切り替えた2009年の一番草にも同様の結果が認められた。このような牛ふん堆肥の施用にともなう牧草中P含量の増加は, 高いPの投入量によると考えられる。また牧草中Ca含量の低下は, K含量の高い牛ふん堆肥の施用によって牧草のK吸収とCa吸収が拮抗し, Kが多量に吸収された一方でCa吸収量が低下したため(近藤ら, 1979; 杉原ら, 1979; 伊東ら, 1982; 畠中ら, 1985)と考えられる。もう一つの無機物バランスの指標である牧草中K/(Ca+Mg)当量比は2.2を超えるとグラステタニーの発症の危険性が高まるとされるが(KempとHart, 1957), 本研究では「無施肥」区を除く5つの区において2007年以降, 特に一番草において2.2を超えた。本研究で用いた圃場は非アロフェン質黒ボク土であり, K供給力が高いこと, およびKの供給量が多い場合牧草は贅沢吸収すること(日本草地協会, 2007)が要因であると考えられる。しかし中でも「堆肥N・分」区, 「堆肥N・一括」区および「堆肥2N・分」区では, 2008年一番草のK/(Ca+Mg)当量比が他区にくらべ高く, 化学肥料に切り替えた2009年にもその傾向が認められた。したがって, 牛ふん堆肥のみを窒素量を基準に連年施用した場合, 土壌が低Caかつ高Kの状態となり, 化学肥料に切り替えた翌年にも牧草中K含量が高まり, 無機物バランスが悪化するといえよう。また本研究では, 化学肥料を慣行施用した「化成・分」区でも2008-2009年に牧草中K含量が上昇し, K/(Ca+Mg)当量比が2.2を超えた。同様の現象は, K量を基本に堆肥を施用した「堆K・分」区でも認められた。したがって, K供給力の高い土壌では, 従来の施肥基準量よりも

さらにK施用量を減らす必要があると考えられる。

堆肥のみを施用した「堆肥N・分」区, 「堆肥N・一括」区および「堆肥2N・分」区では, 牧草中NO₃-N含量が2008年に大きく上昇し, 化学肥料に切り替えた2009年にも高く推移した。作物中のNO₃-N含量は家畜ふん堆肥の施用量の増加に伴い上昇することはすでに知られている(近藤ら, 1979; 伊東ら, 1982)。本結果では, 2009年のNO₃-N含量は二番草から三番草にかけて大きく上昇したが, この原因は地温が上昇する夏季に堆肥の無機化が進行し(吉浦と北崎, 1977), また硝化菌の活性が高まるため(江原ら, 1966)であると考えられる。作物中のNO₃-N含量が2.2 g/kg DMを超えると家畜が硝酸中毒を発症する危険性が高まるといわれるが(Bradleyら, 1939; 吉田, 1974), 本結果では「堆肥N・分」区, 「堆肥N・一括」区および「堆肥2N・分」区において, 化学肥料施用に切り替えた2009年三番草で上記の限界値に近い値となっている。本研究では, 堆肥の連年施用は3年間であったが, さらに継続した場合は牧草中NO₃-N含量が上記の限界値を超えていた可能性がある。

本研究では, 堆肥を追肥として各収穫後に分割施用した場合(「堆肥N・分」区)も, 春に一括施用した場合(「堆肥N・一括」区)も, 牧草の地上部収量および化学成分に大きな違いは認められなかった。したがって, 堆肥を追肥として用いる場合, 年間施用量が同じであれば春に一括施用することで小労力化が図られ同様の施肥効果が得られると考えられる。

堆肥を施用した処理区のうち, 「堆肥N・分」区および「堆肥N・一括」区は年間N施用量が「化成・分」区と同量となるように堆肥のみを施用し, 「堆肥2N・分」区はさらにその2倍量としたが, それに対して年間K施用量を「化成・分」区と同量になるように堆肥を施用し, 不足N量を尿素で補充した「堆肥K・分」区では, これまで述べたような牧草中無機物含量の顕著な悪化は認められなかった。家畜ふん尿および家畜ふん堆肥の還元利用にあたっては, N, PおよびKの必要量を満たす施用量のうち, 最小値を草地に対する施用量の上限とし, 不足する肥料成分を化学肥料で補てんすることが基本である(日本草地協会, 2007)。本研究で設定した「堆肥N・分」区, 「堆肥N・一括」区および「堆肥2N・分」区はいずれもPおよびKの施用量が過剰であり, その影響は無機物含量およびそれらのバランスに明確に認められた。特にK供給力の高い土壌条件では, 堆肥の多量施用にともなうKの過剰投入により, 牧草中Ca含量の低下とK含量の上昇が1-2年間で顕著に表れ, その残効は化学肥料施用に切り替えた後にも生じると考えられる。したがって, 牛ふん堆肥を連年施用する場合, 2-3

年程度であっても、K量を基本として堆肥を施用し不足する成分を化学肥料で補てんすることが、安全な無機物含量の牧草を生産する上で不可欠であるといえよう。また本研究で行った施肥法および施肥量の違いは土壌の物理化学性の変化をもたらしていると考えられるため、更に調査する必要がある。

謝 辞

本研究の実施と取りまとめにあたり、多くの有益なご助言を賜った東北大学大学院農学研究科の伊藤豊彰博士に感謝申し上げます。また、植生調査と試料採取にご協力を賜った、東北大学大学院農学研究科の丸山紗知氏、赤坂千晶氏、飯野祥行氏、遠藤幸洋氏、館 訓子氏、北川 茜氏、横山美沙氏および岡崎 新氏に感謝申し上げます。本研究は、文部科学省地域連携融合事業「コンポスト総合科学プロジェクト」の一部として実施された。関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 阿部 功. 家畜ふん尿の高度利用. 主として牧草への施用事例から. 日畜東北支報, 24: 28-30. 1974.
- Bradley WB, Eppson, HF, Beath OA. Nitrate as the cause of oat hay poisoning. J. Am. Vet. Med. Assoc., 94: 541-542. 1939.
- 江川友治. 堆肥の土壌肥料的論議. 農業技術, 19: 1-5. 1964.
- 江原 薫, 山田芳雄, 梅津頼三郎. 飼料作物における硝酸態窒素含量に関する研究. 第1報. 窒素施用量が飼料作物の硝酸態窒素含量に及ぼす影響. 日作紀, 34: 292-297. 1966.
- 原田 勇. 牧草の栄養と施肥. 養賢堂, 東京. pp. 272. 1977.
- 原田靖生. 良質たい肥の製造と環境保全的な農地利用. 畜産の研究, 58: 1277-1283. 2004.
- 畠中哲哉, 萬田富治, 村井 勝, 秋山 侃. 耕地および採草地の土壌性状と収穫物の無機成分. 日草誌, 30: 419-427. 1985.
- 早川康夫, 橋本久夫, 奥村純一. 根釧地方火山灰土壌における牧草地土壌の理化学的特性とその施肥法に関する試験. 北海道立農試集報, 15: 84-100. 1967.
- 伊東祐二郎, 塩崎尚郎, 橋元秀教. 多腐植黒ボク土の畑地における牛ふん尿堆肥の大量施用と土壌の肥沃性. 九農試研報, 22: 259-320. 1982.
- 笠井重隆. 牧草に対する施肥の効果に関する試験. 第1報 イネ科牧草. 畜産の研究, 11: 773-774. 1957a.
- 笠井重隆. 牧草に対する施肥の効果に関する試験. 第3報 堆肥の追播効果. 畜産の研究, 11: 1477-1478. 1957b.
- Kemp A, t'Hart ML. Grass tetany in grazing milking cows. Nether. J. Agric., 5: 4-17. 1957.
- 近藤 熙, 石井和夫, 杉原 進. 混播草地に対する牛ふん厩肥の連年多量施用. 東北農試研報, 60: 41-62. 1979.
- 日本草地協会. 草地管理指標 - 草地の土壌管理および施肥編 - (改訂版). 1-147. 2007.
- 西潟高一, 渡辺公吉, 伊藤邦男. 樽前山系粗粒火山灰に対する堆肥施用試験. 北海道農試彙報, 73: 60-71. 1957.
- 西村 格. 環境問題から見た草地農業の問題点. II. 草地農業の関係する環境問題. 畜産の研究, 47: 1277-1284. 1993.
- 農業・食品産業技術総合研究機構. 日本飼養標準 - 肉用牛 -. 中央畜産会, 東京. pp. 1-191. 2008.
- 尾形 保. 家畜排泄物の土壌還元利用(1). 畜産の研究, 30: 195-198. 1976.
- 大谷文博, 田鎖直澄. 低カリウム飼料資源を活用した乳牛からのカリウム排泄量の低減化. 畜産の研究, 59: 93-97. 2005.
- 酒井 博, 佐藤徳雄, 藤原勝見, 佐藤 庚. 牧草を中心とした作付体系. 日草誌, 17: 151-160. 1971.
- 杉原 進, 石井和夫, 近藤 熙. 畑地に対する牛ふん厩肥の連年多量施用. 東北農試研報, 60: 17-40. 1979.
- 鈴木重男. 三セクによる町の活性化 - 山村の持っている多面的な機能を最大限に利用した町の活性化を目指して -. 東海畜会報, 17: 12-16. 2006.
- 東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター. 業務報告. 6. 農産・飼料関係. 複合生態フィールド教育研究センター報告, 22: 71-79. 2006.
- 山口武則, 原田靖生, 築城幹典. 家畜ふん堆肥の製造・利用の現状とその成分的特徴. 農業研究センター報告, 41: 1-178. 2000.
- 横内囃生, 市戸万丈, 代永道裕, 鈴木一好. 家畜排泄物利用の背景と技術開発の現状. 日草誌, 52: 43-49. 2006.
- 吉田則入. 牧草類の硝酸蓄積について. 北海道草研報, 8: 94-103. 1974.
- 吉浦昭二, 北崎佳範. 家畜ふん尿の性質と飼料作物(畑)への施用について. 大分県農技セ研報, 7: 49-66. 1977.

Effects of interannual application of cattle manure compost on forage yields and chemical composition in a meadow of mixed orchardgrass and tall fescue

Shin-ichiro OGURA, Kenji YUSA, Tetsuro SHISHIDO,
Shigefumi TANAKA, Masaki Tannai and Shusuke SATO

Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University, Osaki, Miyagi 989-6711 Japan

Corresponding: Shin-ichiro OGURA (Tel & Fax: +81-229-84-7378, E-mail: s-ogura@bios.tohoku.ac.jp)

We assessed the effects of interannual cattle manure application on yields and chemical composition of forage from a grass meadow for the three-year period from 2006 through 2008. In 2009, we assessed residual effect of the cattle manure application. Six plots (200 m × 14 m each) were fixed in a mixed meadow of orchardgrass and tall fescue established in 2005, and subjected to the following six treatments: 1) no fertilizer; 2) split application of chemical fertilizer (conventional application; N–P₂O₅–K₂O = 231–120–200 kg/ha/yr); 3) split application of cattle manure compost (amount equivalent to amount of K₂O in the treatment 2: 2,500–9,000 kg of compost/ha/yr) and chemical fertilizer to address N deficiencies; 4) split application of cattle manure compost (amount equivalent to amount of N in treatment 2: 27,000–81,000 kg of compost/ha/yr); 5) single application of cattle manure compost in spring (amount equivalent to annual amount of manure in treatment 4); and 6) split application of twice the cattle manure in treatment 4. We applied chemical fertilizer in 2009 to all six plots, as for treatment 2. Although there was no clear effect of compost application on forage yields during the experimental period, Ca content decreased and P content increased during 2007–2008 in the three treatments where only cattle manure compost was applied. These results indicate that interannual application of cattle manure reduces forage mineral balance in two years if we apply an amount equivalent to the amount of N in conventional treatments. We observed the following residual effects in 2009 in the three treatments where only cattle manure compost was applied: low Ca content, low Ca/P ratios, high K content, high K/(Ca+Mg) ratio and high NO₃-N content.

Key words: cattle manure compost, chemical composition, forage yield, interannual application, temperate grass meadow.