

消化液・堆肥・化学肥料の長期連用草地における土壌化学性

—— 開始3年目までの結果 ——

澤本卓治¹⁾・水上朋美¹⁾・松中照夫²⁾

Soil chemical properties in a grassland receiving long-term applications of anaerobically digested cattle slurry, farmyard manure, or chemical fertilizer

— Results of third-year measurements —

Takuji SAWAMOTO¹⁾, Tomomi MIZUKAMI¹⁾ and Teruo MATSUNAKA²⁾

(Accepted 10 July 2008)

1. はじめに

家畜排泄物の処理によって生じた物質を適切に農地に還元しながら、循環型農業・環境保全型農業を構築することは現代的課題である。本学においては、2000年3月にバイオガスプラントが建設され、同年11月より本格的に稼動しており、バイオガスプラントにおいてつくられた消化液が学内の農地に還元されている。しかしながら、消化液を長期連用した場合の肥効や土壌の理化学性等に与える影響については検討されていない。

このことを多方面から定性的に明らかにするために、消化液・堆肥・化学肥料の長期連用草地が本学附属農場内に設けられ、定期的なモニタリングが開始された(2003年春に耕起・播種、2004年10月処理区設置)。我々は、土壌の経年的変化を解析するための基礎的データを得るために、本長期連用草地における開始1年後(2005年9月)の土壌物理化学性の空間分布調査を実施し、その結果を本紀要にて報告した^{1,2)}。化学性についての結果を要約すれば、以下のとおりである。

1. 本草地開始1年後の土壌化学性は空間的特異性を示した^{1,2)}。
2. 施用資材の効果が発現している可能性があると思われたのは、表層(0-5 cm)土壌の水素イオン指数(pH(H₂O))のみであった。すなわち、化学肥料施用区の土壌のpH(H₂O)が低い傾向を示した¹⁾。

3. 塩基飽和度とpH(H₂O)は正の有意な関係を示し、化学肥料施用区で塩基飽和度とpH(H₂O)が最も低かった²⁾。
4. 以上のことが、処理(化学肥料などの施用資材)に起因するかどうかを確認するためには、塩基収支の見積りや継続的モニタリングが必要である^{1,2)}。

長期連用開始から開始1年後(2005年9月)までにおいて上記の結果を得た後、開始3年後までの経年的変化を解析するために、本長期連用草地において、再度土壌採取と化学分析を実施した(2007年8月)。本稿の目的は、得られたデータを報告し、処理(資材)による化学性の経年的変化が発現しているかどうかを検討することである。

2. 材料と方法

調査草地

本長期連用草地は酪農学園大学附属農場No.23圃場である。図1に本草地および試験区の模式図を示す。本草地は、2003年度より長期連用試験用の草地造成が行われ、2004年10月に試験処理区が設置された。管理履歴を表1に示す。

本草地は野幌丘陵地の斜面上にある。附属農場報告(2004年度)³⁾によれば、面積は1.0 haである。本草地内に斜面方向と直交方向に(江別-札幌方向に)、4処理2反復の試験処理区が設定されている(図1)。すなわち、何も施用しない区(無施用区、

¹⁾ 酪農学園大学酪農学部酪農学科土壌環境学研究室

Soil and Environmental Science, Department of Dairy Science, Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan

²⁾ 酪農学園大学酪農学部酪農学科土壌植物栄養学研究室

Soil Fertility and Plant Nutrition, Department of Dairy Science, Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan

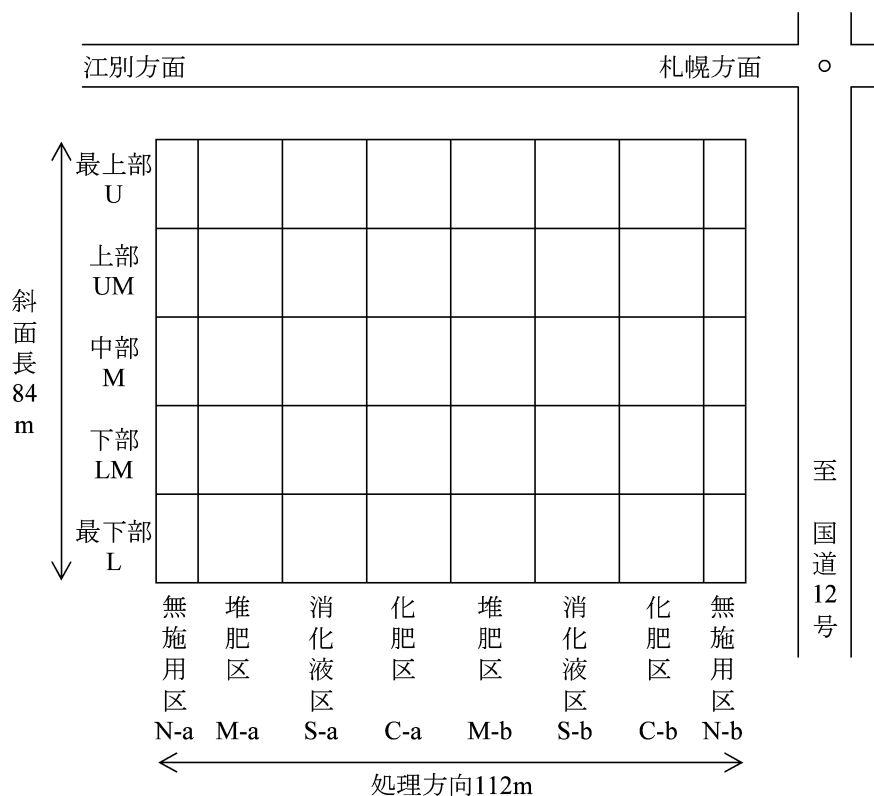


図1 長期連用試験が行われている草地(酪農学園大学附属農場 No.23 圃場)および試験区の模式図。無施用区の幅は8 m, 堆肥区, 消化液区, および化肥区の幅は16 mである。

表1 管理履歴 (2003年から2005年の履歴については, 前報¹⁾に示した。)

年月日	作業等の内容
2006年04月28日	化肥区に, 化学肥料 ^{#1} 散布 (30 kg/10 a)
05月28日	消化液区に, 消化液散布 (3 t/10 a)
06月30日	圃場全体で, 一番草収穫 収穫ロール28本 (総量14.24 t, ロール1本当たり509 kg)
07月20日	化肥区に, 化学肥料 ^{#1} 散布 (20 kg/10 a), 消化液区に, 消化液散布 (2 t/10 a)
09月01日	圃場全体で, 二番草収穫 収穫ロール8本 (総量3.32 t, ロール1本当たり415 kg)
09月22日	圃場に, 薬剤散布 ^{#2}
11月02日	消化液区に, 消化液散布 (2 t/10 a)
11月10日	堆肥区に, 堆肥 ^{#3} 散布 (2 t/10 a)
2007年04月23日	化肥区に, 化学肥料 ^{#1} 散布 (30 kg/10 a)
04月24日	消化液区に, 消化液散布 (3 t/10 a)
06月27日	圃場全体で, 一番草収穫 収穫ロール21本 (総量9.36 t, ロール1本当たり446 kg)
07月02日	化肥区に, 化学肥料 ^{#1} 散布 (20 kg/10 a), 消化液区に, 消化液散布 (2 t/10 a) しかしながら, 江別方面化肥区 (C-a) に, 誤って消化液散布 (2 t/10 a), 札幌方面堆肥区 (M-b) に, 誤って化学肥料散布 (20 kg/10 a)
07月18日	江別方面消化液区 (S-a) に消化液散布 (2 t/10 a)
08月29日	圃場全体で, 二番草収穫 乾草コンパクト117本 (総量1.95 t, 1個当たり16.7 kg)
10月30日	消化液区に, 消化液散布 (2 t/10 a)
11月06日	堆肥区に, 堆肥 ^{#3} 散布 (2 t/10 a)

^{#1} 化学肥料の名称と成分等 前報¹⁾に示したものと同一である。

^{#2} 薬剤の名称と散布方法等 前報¹⁾に示したものと同一である。

^{#3} 学内で生産された麦稈・古紙堆肥であるが, 堆肥性状に関する情報は得られていない

記号 N), 堆肥のみを施用する区(堆肥区, 記号 M), 消化液のみを施用する区(消化液区, 記号 S), および化学肥料のみを施用する区(化肥区, 記号 C)の4処理である。各処理区の反復は, それぞれ江別方面側の処理区を a, 札幌方面側の処理区を b とした。これ以降, 各処理区は, 「消化液区 a」や「S-a」のように略記する。また, 各処理区内の斜面位置を等間隔に5つに分割した。すなわち, 斜面最上部(記号 U), 斜面上部(記号 UM), 斜面中部(記号 M), 斜面下部(記号 LM), および斜面最下部(記号 L)とした。以上の, 合計40区画において土壌を採取した。

土壌の採取

2007年8月29日~同30日に40区画のおおよそ中心点において, 土壌採取を行った。深さ0-5, 7.5-12.5, および15-20 cmの土壌を採取した。各深さの採取には, 100 mL容の円筒採土管を2つ用い, それらをあわせてひとつの袋に収納した。これを実験室に持ち帰り, 粗大有機物を取り除き, 風乾後2 mmの篩に通したものを, 分析用風乾土とした。

土壌化学性の測定

水素イオン指数, 電気伝導度, および強熱減量を測定した。以下に, その手順を示す。なお, pHと電気伝導度の測定はガラス電極式水素イオン濃度指示計D-54(堀場製作所)を使用した。

1. 風乾土5 gを50 mL容ポリビンにはかりとり, 純水12.5 mLを加え, 1時間振とう後, 懸濁液の水素イオン指数(pH(H₂O))を測定した。
2. 風乾土5 gを50 mL容ポリビンにはかりとり, pH7に調整した1 mol/L KCl溶液12.5 mLを加え, 1時間振とう後, 懸濁液の水素イオン指数(pH(KCl))を測定した。一般的にpH(KCl)は, 土壌の負荷電に吸着している水素イオン(H⁺)も測定されるため, pH(H₂O)よりも低い傾向を示すことが知られている。これは, 潜在的な酸性の強さを測定しているといえる。
3. 風乾土5 gを50 mL容ポリビンにはかりとり, 純水25 mLを加え, 1時間振とう後, 懸濁液の電気伝導度(EC, mS/m)を測定した。ECは土壌中の塩類の多寡を示す指標である。
4. 風乾土約10 gをるつぼにはかりとり, 550°Cで5時間以上加熱した。加熱により減少した重量の割合(乾土換算)を強熱減量(IL, %)とした。本方法によって得られた強熱減量は, 有機物(腐植)含量と正の有意な関係があることが報告されている⁴⁾ことから, ILが高いほど有機物(腐

植)含量が高いといえる。

上記測定は各風乾土につき3反復行い, それらの平均値を得た。なお, 土壌採取と分析方法は前回に実施したものとほぼ同様である。土壌採取ではランダムに地点順を選定し, 実験室の測定でも測定順をランダム化した。これは, 作業慣れ等による系統誤差を避けるためである。

データ解析

交互作用なしの二元配置による分散分析, および二元分散分析において有意性が認められた要因に対して, Tukeyの多重比較を行った。統計解析ソフトウェアSigmaStat[®]を使用した。

3. 結果および考察

付表1~12に得られた化学性の結果を示す。図2に, 今回(開始3年後, 2007年8月)得られた値と, 前回(開始1年後, 2005年9月)得られた値を各処理区ごとに示す。pH(KCl)および強熱減量については, 両年の値にほとんど差が認められないようであり, かつ特徴的な空間的特異性を示した。すなわち, 例えば強熱減量では, S-aとC-a区付近でもっとも低く, S-b区付近でもっとも高いといった特徴が維持されているようにみえる。

これに対して, pH(H₂O)および電気伝導度においては, 両年の値に差があり, 空間的特異性は両年において異なっているようにみえる。特に電気伝導度においては, 2年間で明らかな低下が生じている。この理由であるが, 前回時では草地造成の耕起や施肥によって, 比較的多くの塩類が残存していたためかもしれない。

このように, それぞれの化学性の値は, 土地本来の空間的特異性に加え, 草地造成後の変化, 処理(施用資材)による効果, さらに前回と今回の間の分析系統誤差のすべてが含まれた上で, その値を示しているものと考えべきである。

しかし, 草地造成後の変化と分析系統誤差はすべての地点で一様とみなすことができる。よって, 各40地点において2007年と2005年の差を計算し, その値について検討することによって, 土地本来の空間的特異性を除きながら処理による変化のみを抽出し検討することが可能であろう。そのため, 付表1~12にはこの差の値も示してある。

図3には, これらの差, すなわち2005年を基準とした化学性の変化を示す。これらの値について, 分散分析による有意性が認められ, かつ特定の処理(資

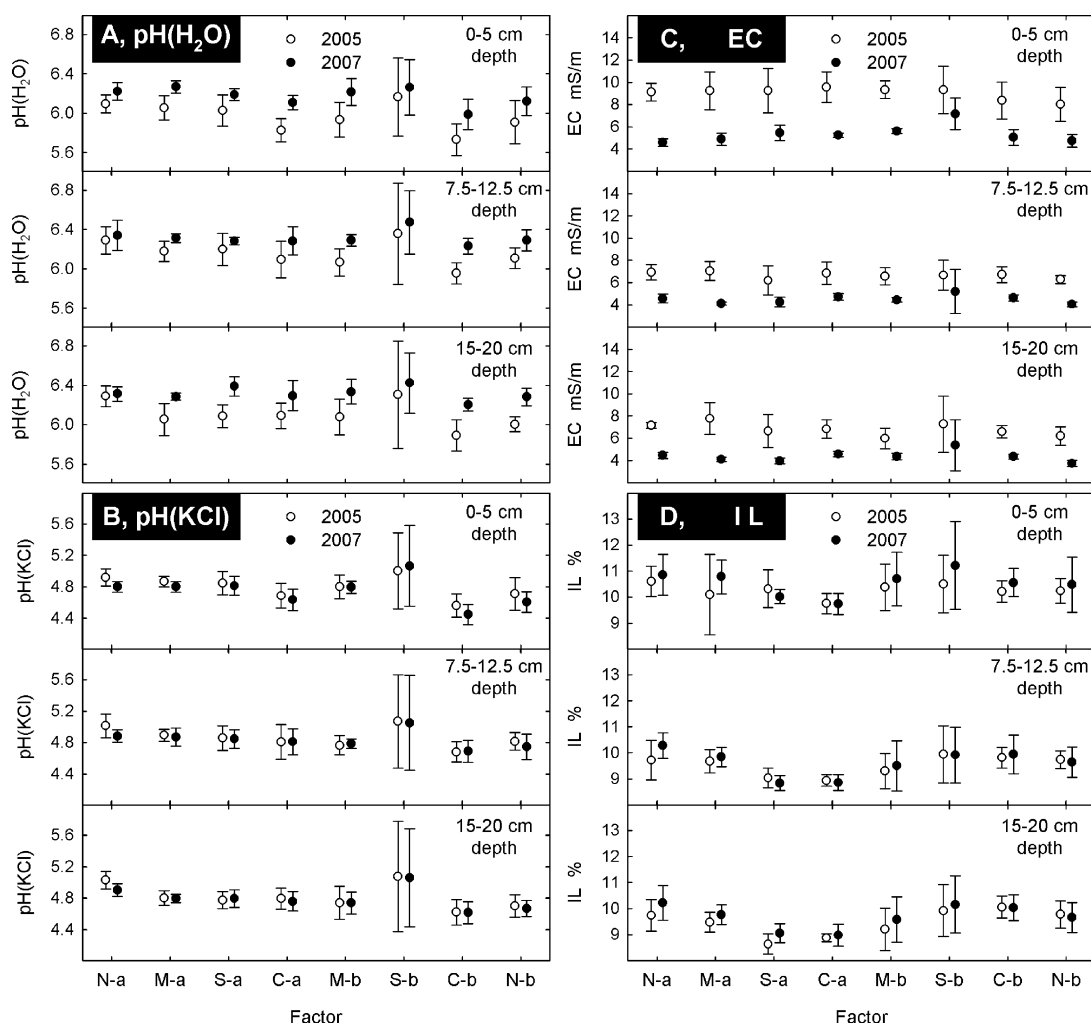


図2 2007年(●)および2005年(○)における化学性の値。Aは水素イオン指数(pH(H₂O)), Bは水素イオン指数(pH(KCl)), Cは電気伝導度(EC, mS/m), Dは強熱減量(IL, %)を示す。横軸は現地処理区の並び順になっており, Nは無施用区, Mは堆肥区, Sは消化液区, Cは化肥区, -aは江別方面側の処理区, -bは札幌方面側の処理区を示す。点および誤差棒は, それぞれ平均値と標準偏差を示す。

材)が高い(低い)といった特徴が認められれば, それは, 処理(資材)によるなんらかの化学性の変化が発現していると考えてもよいであろう。

これらの差に対する分散分析の結果, 処理因子に有意性が認められたのは, 強熱減量の深さ15-20 cmのみ(P=0.037)で, それ以外の化学性と深さにおいては有意性が認められなかった(P>0.05)。しかしながら, 強熱減量の深さ15-20 cmに対するTukeyの多重比較の結果, 8つの処理区には有意差はないと判定された。

以上のことから, 本長期連用圃場開始3年後までにおいては, 処理(資材)による土壌化学性の変化は発現していないと結論される。前報¹⁾では化学肥料施用区土壌のpH(H₂O)(0-5 cm)が低い傾向を示したと述べたが, 本解析から化学肥料区において

pHの経年的変化(低下)は認められなかった。いいかえれば, 上記の傾向は, 土地本来の空間的特異性によるものであった可能性がある。モニタリングの継続が必要である。

4. 要 約

本学附属農場内に設けられた消化液・堆肥・化学肥料の長期連用草地における土壌の経年的変化を解析することを目的とした。草地内40地点において, 開始1年後(2005年9月)および開始3年後(2007年8月)に採取された土壌の化学性(pH(H₂O), pH(KCl), 電気伝導度, 強熱減量)を分析した。土地本来の空間的特異性, 草地造成後の変化, 分析系統誤差を取り除くために, 両年の差の値について解析した。その結果, 本長期連用圃場開始3年後までにお

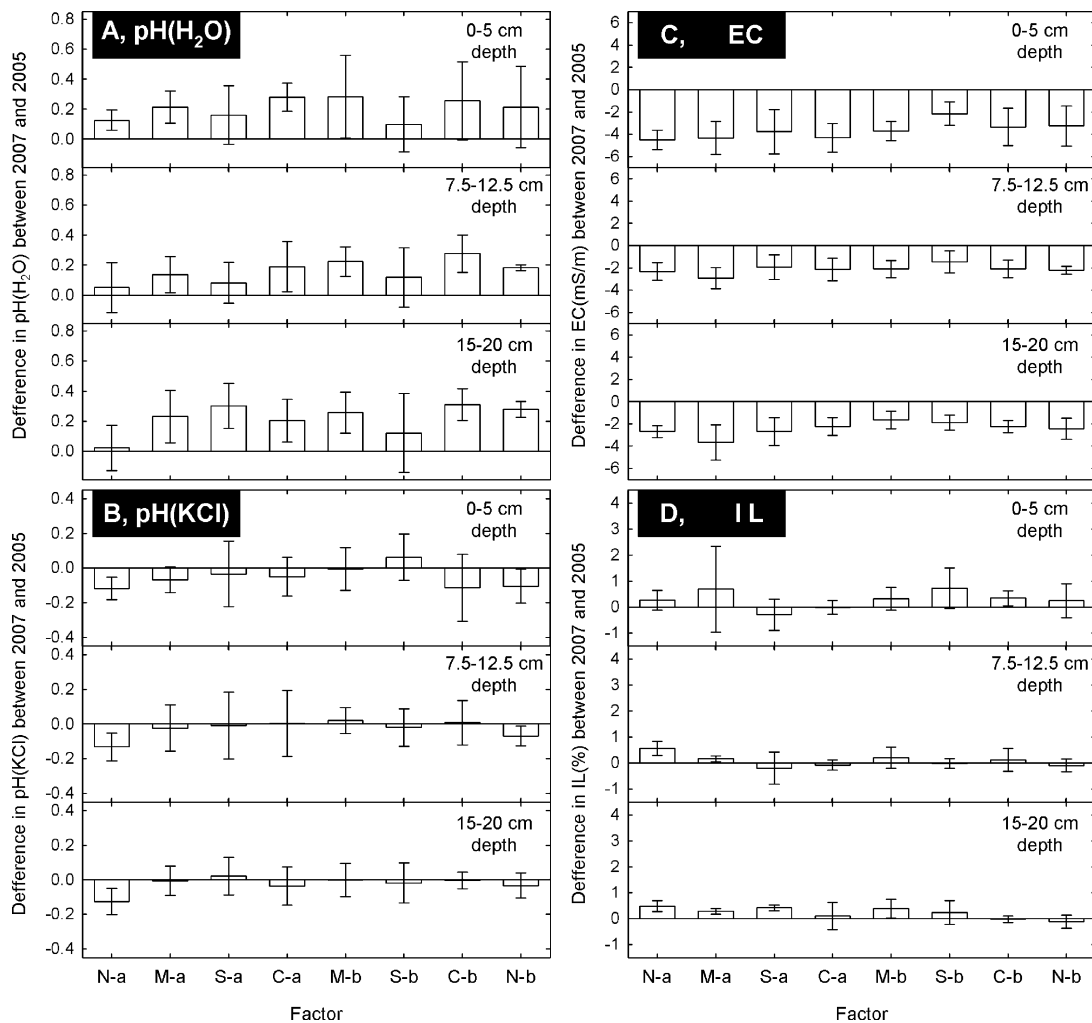


図3 2005年を基準とした化学性の変化。図の書式は図2と同様である。棒および誤差棒は、2007年値と2005年値の差の平均値と標準偏差を示す。

いては、処理（資材）による土壌化学性の変化は発現していないと結論された。

英文要約

The objective of this study was to analyze long-term changes in soil properties in a grassland at Rakuno Gakuen University, where anaerobically digested cattle slurry, farmyard manure, or chemical fertilizer had been repeatedly applied to the soil since 2004. We sampled the topsoil in September 2005 (1 year after the start of the application) and in August 2007 (3 years) at 40 points in the grassland. We measured the following soil chemical properties: pH(H₂O), pH(KCl), electric conductivity, and ignition loss. To eliminate the effects of spatial variation, the change since establishment of the grassland, and the

systematic error of analysis, we compared the soil chemical properties at each sampling point in 2007 with the corresponding values in 2005. The results (ANOVA) revealed that no significant long-term changes originated from the difference in the applied matter have become apparent yet.

謝辞：本調査研究を行うにあたり、名久井 忠 教授ならびに農場職員の皆様、特に上野秀樹氏には大変お世話になりました。ここに記してお礼申し上げます。

文 献

1) 澤本卓治・岡部彰洋・斎藤忠義・松中照夫 2006：消化液・堆肥・化学肥料の長期連用草地における土壌物理化学性——初年度の結果——，酪農学園大学紀要 自然科学編，31(1)，7-20.

付表1 深さ 0.0-5.0 cm における水素イオン指数 (pH (H₂O))。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。括弧内の値は、今回 (2007 年) の値と前回 (2005 年) の値の差である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値
斜面最上部	6.34 (+0.15)	6.24 (+0.35)	6.24 (+0.47)	6.09 (+0.39)	6.22 (+0.44)	6.75 (-0.09)	6.03 (+0.22)	6.09 (+0.20)	6.25 (+0.27)
斜面上部	6.15 (+0.02)	6.20 (+0.07)	6.18 (+0.13)	6.20 (+0.24)	6.45 (+0.65)	6.20 (+0.24)	5.96 (+0.15)	6.36 (+0.38)	6.21 (+0.24)
斜面中部	6.18 (+0.11)	6.23 (+0.27)	6.17 (+0.16)	6.07 (+0.36)	6.14 (+0.26)	6.21 (+0.29)	6.18 (+0.71)	6.14 (+0.55)	6.17 (+0.34)
斜面下部	6.29 (+0.15)	6.33 (+0.16)	6.25 (+0.11)	6.02 (+0.16)	6.12 (+0.12)	6.05 (+0.15)	5.75 (+0.06)	5.98 (+0.10)	6.10 (+0.13)
斜面最下部	6.15 (+0.20)	6.34 (+0.22)	6.10 (-0.07)	6.16 (+0.25)	6.15 (-0.06)	6.10 (-0.10)	6.02 (+0.14)	6.04 (-0.16)	6.13 (+0.05)
平均値	6.22 (+0.13)	6.27 (+0.21)	6.19 (+0.16)	6.11 (+0.28)	6.22 (+0.28)	6.26 (+0.10)	5.99 (+0.26)	6.12 (+0.21)	6.17 (+0.20)

付表2 深さ 7.5-12.5 cm における水素イオン指数 (pH (H₂O))。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。括弧内の値は、今回 (2007 年) の値と前回 (2005 年) の値の差である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値
斜面最上部	6.36 (-0.16)	6.31 (+0.27)	6.24 (+0.32)	6.22 (+0.37)	6.25 (+0.23)	7.04 (-0.22)	6.35 (+0.35)	6.31 (+0.18)	6.39 (+0.17)
斜面上部	6.25 (+0.01)	6.29 (+0.15)	6.34 (0.00)	6.29 (-0.05)	6.26 (+0.18)	6.29 (+0.13)	6.20 (+0.15)	6.39 (+0.21)	6.29 (+0.10)
斜面中部	6.31 (0.07)	6.28 (-0.02)	6.26 (+0.03)	6.11 (+0.12)	6.26 (+0.39)	6.29 (+0.29)	6.26 (+0.45)	6.15 (+0.19)	6.24 (+0.19)
斜面下部	6.59 (+0.30)	6.39 (+0.23)	6.29 (+0.07)	6.30 (+0.19)	6.30 (+0.18)	6.34 (+0.21)	6.14 (+0.26)	6.21 (+0.16)	6.32 (+0.20)
斜面最下部	6.19 (+0.03)	6.30 (+0.05)	6.28 (-0.01)	6.50 (+0.32)	6.39 (+0.14)	6.41 (+0.18)	6.21 (+0.17)	6.39 (+0.17)	6.33 (+0.13)
平均値	6.34 (+0.05)	6.31 (+0.14)	6.28 (+0.08)	6.28 (+0.19)	6.29 (+0.22)	6.47 (+0.12)	6.23 (+0.28)	6.29 (+0.18)	6.31 (+0.16)

付表3 深さ 15-20 cm における水素イオン指数 (pH (H₂O))。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。括弧内の値は、今回 (2007 年) の値と前回 (2005 年) の値の差である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値
斜面最上部	6.25 (-0.22)	6.28 (+0.47)	6.30 (+0.38)	6.24 (+0.37)	6.34 (+0.38)	6.97 (-0.28)	6.20 (+0.21)	6.42 (+0.36)	6.38 (+0.21)
斜面上部	6.39 (+0.13)	6.31 (+0.34)	6.49 (+0.35)	6.28 (+0.15)	6.42 (+0.41)	6.26 (+0.14)	6.25 (+0.27)	6.26 (+0.27)	6.33 (+0.26)
斜面中部	6.29 (+0.09)	6.26 (+0.05)	6.49 (+0.46)	6.14 (+0.05)	6.13 (+0.23)	6.31 (+0.43)	6.16 (+0.45)	6.21 (+0.29)	6.25 (+0.26)
斜面下部	6.24 (-0.03)	6.33 (+0.19)	6.37 (+0.25)	6.26 (+0.11)	6.33 (+0.16)	6.30 (+0.25)	6.12 (+0.39)	6.20 (+0.25)	6.27 (+0.20)
斜面最下部	6.39 (+0.14)	6.24 (+0.10)	6.29 (+0.07)	6.55 (+0.34)	6.45 (+0.10)	6.28 (+0.06)	6.28 (+0.23)	6.32 (+0.22)	6.35 (+0.16)
平均値	6.31 (+0.02)	6.28 (+0.23)	6.39 (+0.30)	6.29 (+0.20)	6.33 (+0.26)	6.42 (+0.12)	6.20 (+0.31)	6.28 (+0.28)	6.32 (+0.22)

付表4 深さ 0.0-5.0 cm における水素イオン指数 (pH (KCl))。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。括弧内の値は、今回 (2007 年) の値と前回 (2005 年) の値の差である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値
斜面最上部	4.90 (-0.17)	4.80 (+0.04)	4.84 (+0.23)	4.63 (+0.09)	4.74 (+0.11)	5.97 (+0.14)	4.46 (-0.14)	4.71 (-0.07)	4.88 (+0.03)
斜面上部	4.77 (-0.19)	4.90 (-0.05)	4.94 (-0.07)	4.76 (-0.15)	4.84 (+0.13)	4.98 (+0.08)	4.46 (-0.30)	4.68 (-0.17)	4.79 (-0.09)
斜面中部	4.74 (-0.10)	4.81 (-0.07)	4.86 (+0.02)	4.49 (-0.05)	4.79 (-0.02)	4.83 (+0.23)	4.57 (+0.20)	4.43 (+0.05)	4.69 (+0.03)
斜面下部	4.84 (-0.10)	4.78 (-0.10)	4.82 (-0.05)	4.51 (-0.17)	4.70 (-0.12)	4.70 (-0.04)	4.23 (-0.24)	4.50 (-0.15)	4.64 (-0.12)
斜面最下部	4.76 (-0.03)	4.71 (-0.16)	4.61 (-0.30)	4.79 (+0.03)	4.90 (-0.13)	4.85 (-0.10)	4.51 (-0.09)	4.71 (-0.19)	4.73 (-0.12)
平均値	4.80 (-0.12)	4.80 (-0.07)	4.81 (-0.03)	4.64 (-0.05)	4.79 (-0.01)	5.07 (+0.06)	4.45 (-0.11)	4.61 (-0.11)	4.75 (-0.05)

付表5 深さ 7.5-12.5 cm における水素イオン指数 (pH (KCl))。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。括弧内の値は、今回 (2007 年) の値と前回 (2005 年) の値の差である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値
斜面最上部	5.00 (-0.27)	4.91 (+0.11)	4.96 (+0.28)	4.85 (+0.33)	4.75 (+0.06)	6.11 (0.00)	4.69 (-0.13)	4.91 (0.00)	5.02 (+0.05)
斜面上部	4.90 (-0.12)	4.98 (+0.05)	4.94 (-0.16)	5.00 (-0.10)	4.82 (+0.06)	4.96 (+0.13)	4.83 (+0.05)	4.78 (-0.07)	4.90 (-0.02)
斜面中部	4.87 (-0.06)	4.90 (-0.10)	4.82 (-0.01)	4.57 (-0.10)	4.72 (+0.09)	4.66 (+0.02)	4.72 (+0.19)	4.54 (-0.11)	4.73 (-0.01)
斜面下部	4.85 (-0.11)	4.89 (+0.04)	4.84 (+0.05)	4.73 (-0.13)	4.77 (-0.02)	4.70 (-0.12)	4.46 (-0.10)	4.62 (-0.14)	4.73 (-0.07)
斜面最下部	4.79 (-0.10)	4.67 (-0.22)	4.67 (-0.21)	4.90 (+0.02)	4.87 (-0.09)	4.82 (-0.13)	4.75 (+0.03)	4.88 (-0.03)	4.79 (-0.09)
平均値	4.88 (-0.13)	4.87 (-0.02)	4.85 (-0.01)	4.81 (+0.00)	4.79 (+0.02)	5.05 (-0.02)	4.69 (+0.01)	4.75 (-0.07)	4.84 (-0.03)

付表6 深さ 15-20 cm における水素イオン指数 (pH (KCl))。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。括弧内の値は、今回 (2007 年) の値と前回 (2005 年) の値の差である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値
斜面最上部	5.01 (-0.21)	4.77 (+0.09)	4.80 (+0.09)	4.70 (+0.12)	4.60 (+0.02)	6.16 (-0.15)	4.71 (-0.04)	4.72 (-0.15)	4.93 (-0.03)
斜面上部	4.86 (-0.16)	4.86 (+0.07)	4.97 (+0.03)	4.90 (+0.01)	4.78 (+0.13)	4.87 (+0.06)	4.74 (+0.04)	4.70 (+0.05)	4.84 (+0.03)
斜面中部	4.84 (-0.10)	4.82 (-0.11)	4.78 (+0.07)	4.59 (-0.16)	4.60 (+0.02)	4.71 (+0.14)	4.54 (+0.04)	4.51 (-0.02)	4.67 (-0.02)
斜面下部	4.97 (-0.01)	4.82 (-0.02)	4.77 (+0.09)	4.76 (-0.12)	4.79 (-0.05)	4.68 (-0.07)	4.41 (+0.01)	4.63 (-0.01)	4.73 (-0.02)
斜面最下部	4.84 (-0.15)	4.72 (-0.06)	4.66 (-0.17)	4.85 (-0.03)	4.93 (-0.13)	4.88 (-0.07)	4.69 (-0.07)	4.79 (-0.04)	4.80 (-0.09)
平均値	4.90 (-0.13)	4.80 (-0.01)	4.80 (+0.02)	4.76 (-0.04)	4.74 (-0.00)	5.06 (-0.02)	4.62 (-0.00)	4.67 (-0.03)	4.79 (-0.03)

付表7 深さ 0.0-5.0 cm における電気伝導度(EC, mS/m)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。括弧内の値は、今回(2007年)の値と前回(2005年)の値の差である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値
斜面最上部	4.24 (-6.05)	4.38 (-5.82)	5.28 (-3.93)	5.30 (-2.82)	5.64 (-2.84)	9.30 (-2.28)	4.48 (-2.01)	4.94 (-5.29)	5.45 (-3.88)
斜面上部	5.05 (-4.39)	5.26 (-3.03)	5.43 (-7.15)	5.46 (-5.26)	5.38 (-5.17)	7.20 (-3.83)	5.68 (-4.65)	3.99 (-4.89)	5.43 (-4.80)
斜面中部	4.35 (-3.86)	5.70 (-5.93)	6.66 (-2.20)	5.18 (-3.38)	5.67 (-3.38)	5.31 (-0.99)	4.22 (-5.65)	4.43 (-2.73)	5.19 (-3.52)
斜面下部	4.64 (-4.12)	4.50 (-2.77)	4.92 (-2.44)	4.94 (-4.27)	5.51 (-3.48)	7.06 (-2.09)	5.78 (-2.17)	4.96 (-2.49)	5.29 (-2.98)
斜面最下部	4.72 (-4.21)	4.65 (-4.16)	5.09 (-3.12)	5.34 (-5.93)	5.94 (-3.70)	6.95 (-1.57)	5.05 (-2.21)	5.48 (-0.92)	5.40 (-3.23)
平均値	4.60 (-4.53)	4.90 (-4.34)	5.48 (-3.77)	5.24 (-4.33)	5.63 (-3.71)	7.16 (-2.15)	5.04 (-3.34)	4.76 (-3.26)	5.35 (-3.68)

付表8 深さ 7.5-12.5 cm における電気伝導度(EC, mS/m)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。括弧内の値は、今回(2007年)の値と前回(2005年)の値の差である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値
斜面最上部	4.26 (-3.28)	3.96 (-3.61)	4.93 (-2.95)	4.63 (-1.23)	4.38 (-1.23)	8.70 (-0.13)	4.39 (-3.51)	4.08 (-2.73)	4.92 (-2.33)
斜面上部	4.63 (-3.09)	4.11 (-4.04)	4.02 (-3.28)	5.02 (-1.42)	4.68 (-1.53)	4.73 (-0.83)	5.06 (-1.79)	3.93 (-1.96)	4.52 (-2.24)
斜面中部	4.74 (-1.70)	4.33 (-1.70)	3.91 (-1.16)	4.37 (-1.83)	4.29 (-3.07)	3.95 (-1.74)	4.41 (-1.70)	3.99 (-2.04)	4.25 (-1.87)
斜面下部	4.12 (-2.03)	4.16 (-2.94)	4.45 (-0.77)	4.54 (-3.73)	4.28 (-2.03)	4.17 (-1.98)	4.55 (-1.65)	3.90 (-2.40)	4.27 (-2.19)
斜面最下部	5.13 (-1.62)	4.08 (-2.31)	3.94 (-1.58)	5.02 (-2.50)	4.67 (-2.70)	4.47 (-2.63)	4.70 (-1.85)	4.42 (-1.91)	4.55 (-2.14)
平均値	4.58 (-2.34)	4.13 (-2.92)	4.25 (-1.95)	4.72 (-2.14)	4.46 (-2.11)	5.20 (-1.46)	4.62 (-2.10)	4.06 (-2.21)	4.50 (-2.15)

付表9 深さ 15-20 cm における電気伝導度(EC, mS/m)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。括弧内の値は、今回(2007年)の値と前回(2005年)の値の差である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値
斜面最上部	4.25 (-3.10)	3.99 (-6.00)	4.36 (-3.45)	4.44 (-1.54)	3.98 (-0.95)	9.41 (-2.29)	4.28 (-2.54)	3.34 (-3.94)	4.76 (-2.98)
斜面上部	4.25 (-3.16)	3.92 (-4.46)	4.14 (-4.13)	4.41 (-2.56)	4.62 (-0.90)	4.89 (-0.86)	4.69 (-1.84)	3.74 (-1.76)	4.33 (-2.46)
斜面中部	4.34 (-2.92)	4.04 (-3.08)	3.85 (-3.04)	4.57 (-1.46)	4.34 (-1.45)	4.06 (-1.59)	4.29 (-3.02)	3.74 (-1.65)	4.15 (-2.28)
斜面下部	4.82 (-1.98)	4.37 (-2.77)	3.71 (-1.04)	4.50 (-3.42)	4.21 (-2.26)	3.85 (-2.40)	4.10 (-1.67)	3.95 (-2.13)	4.19 (-2.21)
斜面最下部	4.76 (-2.23)	4.24 (-2.05)	3.83 (-1.81)	5.03 (-2.25)	4.68 (-2.65)	4.69 (-2.35)	4.47 (-2.11)	4.03 (-2.79)	4.47 (-2.28)
平均値	4.48 (-2.68)	4.11 (-3.67)	3.98 (-2.69)	4.59 (-2.25)	4.37 (-1.64)	5.38 (-1.90)	4.37 (-2.24)	3.76 (-2.45)	4.38 (-2.44)

付表 10 深さ 0.0-5.0 cm における強熱減量(IL, %)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。括弧内の値は、今回(2007年)の値と前回(2005年)の値の差である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値
斜面最上部	10.3 (-0.2)	10.4 (-0.1)	10.2 (+0.4)	10.0 (+0.3)	10.4 (+0.8)	9.3 (0.0)	10.1 (0.0)	9.7 (-0.3)	10.1 (+0.1)
斜面上部	10.6 (+0.3)	11.6 (+1.0)	10.1 (-1.1)	10.0 (+0.2)	9.6 (-0.4)	10.3 (-0.2)	10.5 (+0.1)	9.3 (-0.3)	10.3 (-0.1)
斜面中部	10.1 (0.0)	11.0 (-0.8)	9.9 (-0.5)	9.2 (-0.2)	10.2 (+0.4)	10.8 (+1.0)	10.7 (+0.4)	10.3 (+0.1)	10.3 (+0.1)
斜面下部	11.3 (+0.8)	9.9 (-0.1)	9.6 (+0.2)	9.4 (-0.1)	11.0 (+0.3)	12.0 (+1.3)	10.1 (+0.5)	11.2 (+0.4)	10.6 (+0.4)
斜面最下部	12.0 (+0.4)	11.0 (+3.4)	10.3 (-0.5)	10.1 (-0.3)	12.3 (+0.5)	13.7 (+1.5)	11.4 (+0.7)	11.9 (+1.3)	11.6 (+0.9)
平均値	10.9 (+0.3)	10.8 (+0.7)	10.0 (-0.3)	9.7 (-0.0)	10.7 (+0.3)	11.2 (+0.7)	10.6 (+0.3)	10.5 (+0.2)	10.5 (+0.3)

付表 11 深さ 7.5-12.5 cm における強熱減量(IL, %)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。括弧内の値は、今回(2007年)の値と前回(2005年)の値の差である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値
斜面最上部	9.9 (+0.8)	10.1 (+0.1)	8.4 (-1.0)	8.9 (0.0)	9.1 (+0.4)	9.1 (+0.1)	10.2 (+0.4)	9.0 (-0.4)	9.3 (+0.1)
斜面上部	10.2 (+0.6)	10.1 (+0.2)	9.1 (-0.1)	9.1 (+0.2)	8.8 (0.0)	9.4 (-0.1)	9.6 (0.0)	9.1 (-0.3)	9.4 (+0.1)
斜面中部	9.9 (+0.7)	10.1 (0.0)	8.8 (-0.2)	8.5 (-0.2)	8.8 (-0.2)	9.6 (+0.2)	10.1 (+0.4)	9.8 (0.0)	9.5 (+0.1)
斜面下部	10.3 (+0.6)	9.3 (+0.2)	9.1 (+0.7)	8.6 (-0.3)	9.7 (0.0)	9.7 (-0.3)	8.9 (-0.6)	9.9 (0.0)	9.4 (+0.0)
斜面最下部	11.1 (+0.1)	9.6 (+0.3)	8.8 (-0.4)	9.2 (-0.1)	11.1 (+0.8)	11.8 (0.0)	10.9 (0.4)	10.4 (+0.2)	10.4 (+0.2)
平均値	10.3 (+0.6)	9.8 (+0.2)	8.8 (-0.2)	8.9 (-0.1)	9.5 (+0.2)	9.9 (-0.0)	9.9 (0.1)	9.6 (-0.1)	9.6 (+0.1)

付表 12 深さ 15-20 cm における強熱減量(IL, %)。各地点の値は、分析反復(3)の平均値である。括弧内の値は、今回(2007年)の値と前回(2005年)の値の差である。

	無施用区 a	堆肥区 a	消化液区 a	化肥区 a	堆肥区 b	消化液区 b	化肥区 b	無施用区 b	平均値
斜面最上部	9.7 (+0.5)	10.1 (+0.3)	9.4 (+0.5)	9.0 (+0.1)	8.9 (+0.5)	8.8 (-0.2)	10.0 (+0.1)	9.1 (-0.1)	9.4 (+0.2)
斜面上部	9.9 (+0.3)	9.6 (+0.1)	9.4 (+0.3)	8.8 (-0.3)	9.0 (+0.6)	9.7 (+0.6)	9.8 (-0.1)	9.1 (-0.5)	9.4 (+0.1)
斜面中部	9.8 (+0.3)	10.2 (+0.3)	8.6 (+0.5)	8.7 (-0.2)	9.2 (0.0)	10.4 (+0.7)	10.3 (+0.1)	9.7 (+0.1)	9.6 (+0.2)
斜面下部	10.4 (+0.8)	9.3 (+0.3)	8.8 (+0.3)	8.7 (-0.1)	9.8 (0.0)	10.1 (-0.3)	9.4 (-0.2)	10.0 (+0.1)	9.6 (+0.1)
斜面最下部	11.3 (+0.5)	9.6 (+0.4)	9.1 (+0.5)	9.7 (+1.0)	11.0 (+0.8)	11.8 (+0.4)	10.7 (0.0)	10.4 (-0.2)	10.5 (+0.4)
平均値	10.2 (+0.5)	9.8 (+0.3)	9.1 (0.4)	9.0 (+0.1)	9.6 (+0.4)	10.2 (+0.2)	10.0 (-0.0)	9.7 (-0.1)	9.7 (+0.2)

- 2) 澤本卓治・井上徳子・松中照夫 2007: 消化液・堆肥・化学肥料の長期連用草地における土壤化学性——初年度の結果(続報)——, 酪農学園大学紀要 自然科学編, 32(1), 43-54.
- 3) 酪農学園大学・酪農学園短期大学部: 農場報告 第 29 号 (2004 年度) (2006).
- 4) 中橋正行・橋本均: 土壤診断の簡便化について——腐植および湛水法ケイ酸の場合——, 北農, 62, 276~281 (1995).
- 5) SPSS: SigmaStat 2.0 for Windows User's Manual, SPSS Inc., Chicago, IL USA (1997).