

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

— 初年度の結果（続報） —

澤 本 卓 治・井 上 徳 子・松 中 照 夫

Soil chemical properties in a grassland receiving long-term applications of anaerobically  
digested cattle slurry, farmyard manure and chemical fertilizer  
— A further study for results after the first year —

Takuji SAWAMOTO, Noriko INOUE and Teruo MATSUNAKA

酪農学園大学紀要 別刷 第32巻 第1号

*Reprinted from*

”Journal of Rakuno Gakuen University” Vol.32, No.1 (2007)

# 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

—— 初年度の結果 (続報) ——

澤本卓治<sup>1)</sup>・井上徳子<sup>1)</sup>・松中照夫<sup>2)</sup>

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

— A further study for results after the first year —

Takuji SAWAMOTO<sup>1)</sup>, Noriko INOUE<sup>1)</sup> and Teruo MATSUNAKA<sup>2)</sup>  
(June 2007)

## 1. はじめに

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月より本格的に稼働されており、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データを得るために、本長期連用草地における初年度の土壌物理化学性の空間分布調査を行った(2005年9月)。その結果を前報<sup>1)</sup>で述べた。化学性について要約すれば、以下のとおりである。

1. 本草地初年度の土壌化学性は空間的特異性を示した。
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(H<sub>2</sub>O))のみであった。すなわち、化学肥料施用区の土壌のpH(H<sub>2</sub>O)が低い傾向を示した。
3. 表層より下層(7.5-12.5 cm, 15-20 cm)の強熱減量(有機物含量の指標)は、斜面下部で高い値を示した。これは施用の効果ではなく、いわば「土地本来の特性」(長期連用開始前の圃場管

理の影響も含む)であると考えられた。

前報<sup>1)</sup>の報告後、保存した土壌試料を用い、上記の化学性に対し追加的な分析を実施した。すなわち、全炭素および全窒素含量、陽イオン交換容量、交換性塩基、および塩基飽和度を分析した。

一般に、有機物含量が高ければ、全炭素および全窒素含量が高い<sup>2)</sup>。陽イオン交換容量とは、粘土粒子や土壌有機物(腐植)が持っている負電荷の量である。したがって、一般的に有機物含量が高ければ、陽イオン交換容量も高い。交換性塩基とは負電荷に保持されている交換可能な陽イオン(Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>)である。交換性塩基の多寡は、土壌にもともと存在した交換性塩基と、肥料などのインプットと作物吸収などのアウトプットの塩基収支によって決まる。これらのインプットとアウトプットは、消化液・堆肥・化学肥料施用区ごとに異なっていると思われる。塩基飽和度は、陽イオン交換容量に占める交換性塩基の割合であり、これが高ければ土壌は塩基性に、低ければ酸性になる。

上述の結果2と一般的な事実、および消化液・堆肥・化学肥料は表面に散布されることを考慮すれば、以下の仮説が考えられる。すなわち、

仮説①: 表層(0-5 cm)の交換性塩基は処理区に特徴的な傾向を示す

仮説②: 表層(0-5 cm)の塩基飽和度とpHには正の相関がある

また、上述の結果3と一般的な事実から、以下の仮説が考えられる。すなわち、

<sup>1)</sup> 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

<sup>2)</sup> 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

仮説③：表層より下層では、斜面下部で全炭素含量、全窒素含量が高い

仮説④：表層より下層では、斜面下部で陽イオン交換容量が高い

以上から、本稿の目的は、本長期連用草地の初年度土壌の追加測定で得られた化学性データを報告・解析し、上記の仮説を検証することである。

## 2. 材料と方法

### 調査草地

酪農学園大学附属農場 No.23 圃場において調査を行った。図1に本草地および試験区の模式図を示す。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)<sup>3)</sup>によれば、面積は1.0 haである。2002年度以前は、江別側半分にはアルファルファが栽培され、札幌側半分にはチモシーが栽培されていた。2003年度に長期連用試験用の牧草(チモシーとシロクロバー)が播種され、2004年10月に試験処理区が設置された。

すなわち、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た(図1)。すなわち、何も施用しない区(無施用区、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

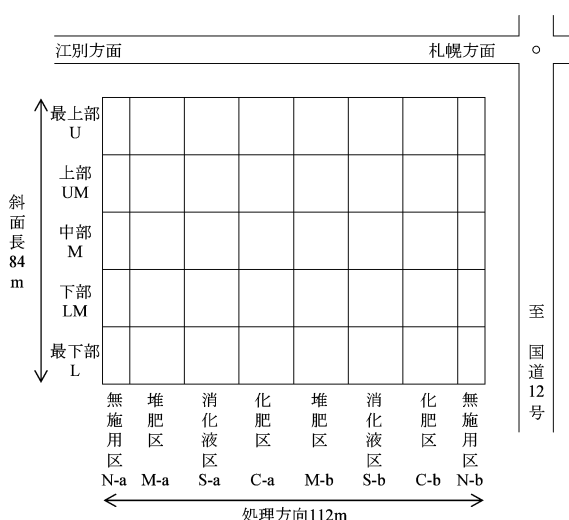


図1 長期連用試験が行われている草地(酪農学園大学附属農場 No.23 圃場)および試験区の模式図。無施用区の幅は8 m、堆肥区、消化液区、および化肥区の幅は16 mである。

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。管理履歴、施用された化学肥料(尿素主体)や消化液の性状・施用量などは前報<sup>1)</sup>に示した。

### 土壌試料

2005年9月、40区画のおおよそ中心付近にて、深さ0-5、7.5-12.5、および15-20 cmにおいて採取された風乾土(120点)である。採取および風乾土の調整法は前報<sup>1)</sup>で述べた。

### 土壌化学性の測定項目と方法

前報<sup>1)</sup>においては、水素イオン指数(pH(H<sub>2</sub>O)、pH(KCl))、電気伝導度、および強熱減量を測定した。これに加えて、全炭素含量(total carbon, 略記TC, 単位%)、全窒素含量(total nitrogen, 略記TN, 単位%)、および、炭素/窒素比(carbon/nitrogen ratio, 略記C/N, 単位g/g)を測定した。これらの測定には、乾式燃焼法<sup>4)</sup>(機器名:CN コーダ(PERKIN ELMER Series II CHNS/O Analyzer 2400))を用いた。また、陽イオン交換容量(Cation Exchange Capacity, 略記CEC, 単位cmol<sub>c</sub>/kg)、交換性塩基(Exchangeable Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, and Na<sup>+</sup>, 略記Ex.Ca, Ex.Mg, Ex.K, Ex.Na, 単位cmol<sub>c</sub>/kg)、および塩基飽和度(base saturation, 略記BS, 単位%)を測定した。これらの測定においては、1 mol/L 酢酸アンモニウム溶液および100 g/L KCl 溶液を用いたショーレンベルガー法<sup>4)</sup>を用いた。なお、以上の分析反復は1とし、分析順をランダム化した。

### 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<sup>5)</sup>を使用した。

## 3. 結果および考察

得られた土壌化学性のデータ、ならびに Tukeyの多重比較の結果を付表1~27に示す。表1に二元配置による分散分析の結果を示す。

### 交換性塩基

二元配置による分散分析の結果の結果、表層(0-5 cm)では4つの交換性塩基全てにおいて処理因子に有意性が認められた。これらについて詳細に検討す

る。まず、交換性カルシウムでは(図2), 表層(0-5 cm)において最も低い区(C-b)と次に低い区(C-a)はいずれも化学肥料区であった。しかしながら、交換性マグネシウムでは(図3), 交換性カルシウムの表層(0-5 cm)において認められたような特定の処理区が低い(高い)といった特徴は認められなかった。一方、交換性カリウムでは(図4), 表層(0-5 cm)において最も高い区(M-b)と次に高い区(M-

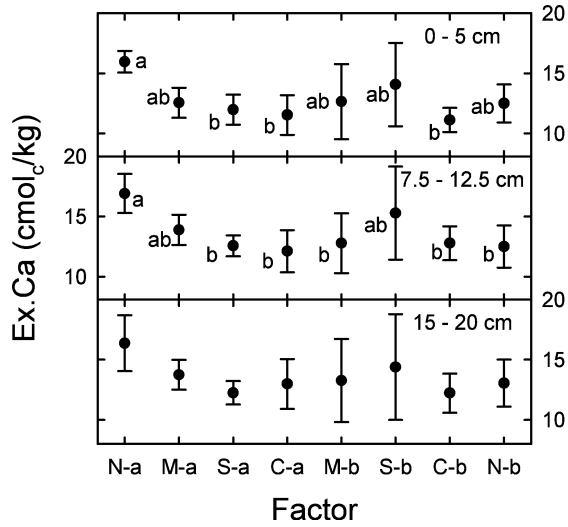


図2 交換性カルシウム(Ex.Ca)。横軸は現地処理区の並び順になっており、Nは無施用区、Mは堆肥区、Sは消化液区、Cは化肥区、-aは江別方面側の処理区、-bは札幌方面側の処理区を示す。点および誤差棒は、それぞれ平均値と標準偏差を示し、符号は、二元分散分析で有意性が認められた場合における多重比較の結果を示す(同符号間に有意差はない)。

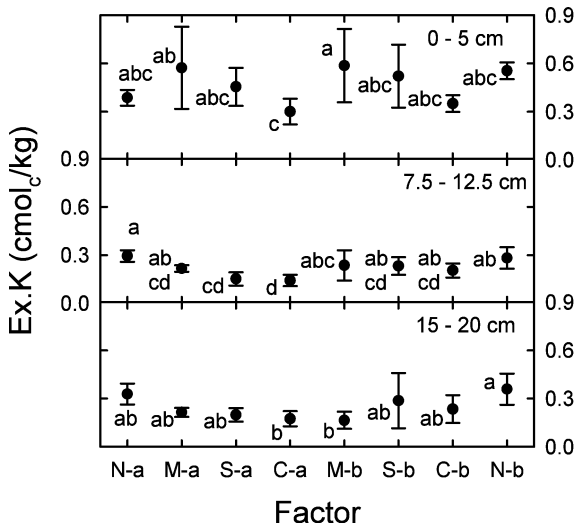


図4 交換性カリウム(Ex.K)。図の書式は図2と同様である。

a)はいずれも堆肥区であり、最も低い区(C-a)と次に低い区(C-b)はいずれも化学肥料区であった。また、交換性ナトリウムでは(図5), 表層(0-5 cm)において最も高い区(S-a)と次に高い区(S-b)はいずれも消化液区であった。

以上のように、マグネシウムを除く交換性塩基においては、表層(0-5 cm)において処理区に特徴的な傾向を示していると思われ、仮説①:「表層(0-5 cm)の交換性塩基は処理区に特徴的な傾向を示す」は成立していると考えられる。

しかしながら、現段階ではこの「特徴的な傾向」が処理に起因するものと断定することはできない。それは、偶然性やもとの(処理によらない)空間的特異性を示している可能性を完全には排除でき

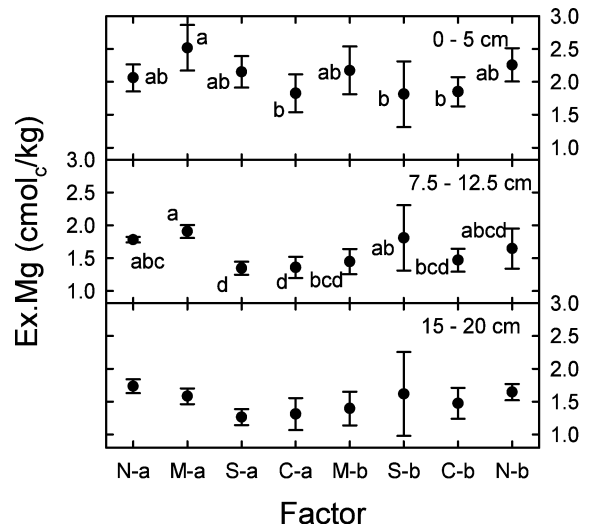


図3 交換性マグネシウム(Ex.Mg)。図の書式は図2と同様である。

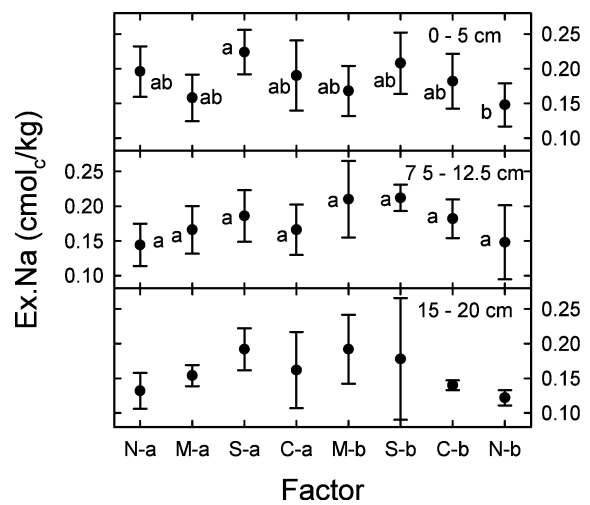


図5 交換性ナトリウム(Ex.Na)。図の書式は図2と同様である。

表1 二元配置による分散分析の結果

	処理因子に有意性が認められたもの (P<0.05)	処理因子に有意性が認められなかったもの (P>0.05)
斜面因子に有意性が認められたもの (P<0.05)	CEC (深さ0.0-5.0cm, 7.5-12.5cm, 15-20cm) Ex.Ca (深さ0.0-5.0cm, 7.5-12.5cm) Ex.Mg (深さ7.5-12.5cm) Ex.K (深さ0.0-5.0cm, 7.5-12.5cm) Ex.Na (深さ7.5-12.5cm)	Ex.Mg (深さ15-20cm)
斜面因子に有意性が認められなかったもの (P>0.05)	TC (深さ15-20cm) TN (深さ15-20cm) Ex.Mg (深さ0.0-5.0cm) Ex.K (深さ15-20cm) Ex.Na (深さ0.0-5.0cm) BS (深さ0.0-5.0cm)	TC (深さ0.0-5.0cm, 7.5-12.5cm) TN (深さ0.0-5.0cm, 7.5-12.5cm) C/N (深さ0.0-5.0cm, 7.5-12.5cm, 15-20cm) Ex.Ca (深さ0.0-5.0cm, 7.5-12.5cm, 15-20cm) Ex.Na (深さ15-20cm) BS (深さ7.5-12.5cm, 15-20cm)

TC 全炭素含量(%); TN 全窒素含量(%); C/N 炭素/窒素比(g/g); CEC 陽イオン交換容量(cmol<sub>c</sub>/kg); Ex.Ca 交換性カルシウム(cmol<sub>c</sub>/kg); Ex.Mg 交換性マグネシウム(cmol<sub>c</sub>/kg); Ex.K 交換性カリウム(cmol<sub>c</sub>/kg); Ex.Na 交換性ナトリウム(cmol<sub>c</sub>/kg); BS 塩基飽和度(%)

ないためである。特に、主要な塩基である交換性カルシウムは、どの深さにおいても処理方向で同じような空間的特異性を示しているようにも見え(図2)、このことは処理の効果が発現していない可能性も示唆している。前述したように、交換性塩基はインプットとアウトプットの収支で決まるために、それらを定量的に調査しつつ、モニタリング継続することで、正しい結論を導き出すことができると考えられる。

塩基飽和度

塩基飽和度は、表層(0-5cm)の処理因子のみ有意性が認められた(表1)。図6には、処理因子による塩基飽和度を示す。最も低い区(C-a)と次に低い区(C-b)はいずれも化学肥料区であった。図7に示すように、仮説②:「表層(0-5cm)の塩基飽和度とpHには正の相関がある」が認められた。

前節に述べた理由と陽イオン交換容量も処理因子

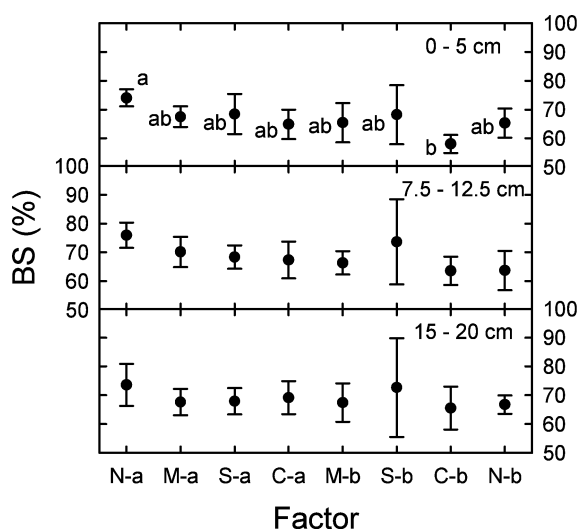


図6 塩基飽和度(BS)。図の書式は図2と同様である。

に有意性が認められた(表1)ことから、現段階ではこの結果が処理に起因するものだと断定することはできない。しかしながら、前報で議論したように化学肥料区ではpH低下の要因があり、実際に塩基飽和度が低下しつつある可能性もある。モニタリングの継続が必要と考えられる。

全炭素窒素含量

表1に示されたように、全ての深さにおいて、全炭素含量および全窒素含量とも斜面因子に有意性は認められなかった。よって、仮説③:「表層より下層では、斜面下部で全炭素含量、全窒素含量が高い」は認められなかった。

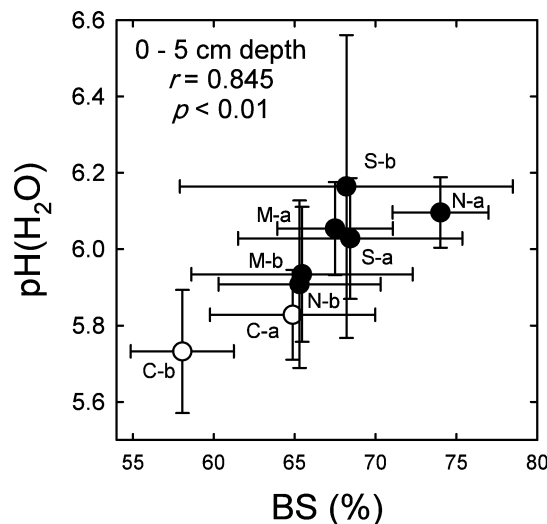


図7 表層(0-5cm)における塩基飽和度(BS)とpH(H<sub>2</sub>O)の関係。処理区名は図1および図2と同様である。点および誤差棒は、それぞれ平均値と標準偏差を示す。強調するために化学肥料区のみを白抜きの点で示している。

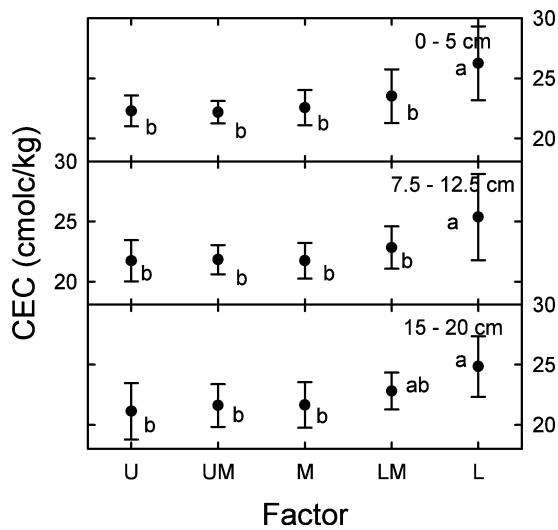


図8 陽イオン交換容量(CEC)。横軸は斜面の並び順になっており、Uは斜面最上部、UMは斜面上部、Mは斜面中部、LMは斜面下部、およびLは斜面最下部を示す。点および誤差棒は、それぞれ平均値と標準偏差を示し、符号は、二元分散分析で有意性が認められた場合における多重比較の結果を示す(同符号間に有意差はない)。

#### 陽イオン交換容量

図8に示すように、仮説④：「表層より下層では、斜面下部で陽イオン交換容量が高い」は、表層も含めた全ての深さにおいて認められた。

なお、本節と前節の結果は、処理の影響ではなく、斜面による物質移動や本試験開始前の圃場管理に起因するものと考えられる。しかしながら、これまで得られたデータからそれを明らかにすることはできない。

#### 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経年的変化を解析するための基礎データを得るために、初年度の土壌化学性の空間分布調査を実施した。本草地の交換性塩基は処理区に特徴的な傾向を示した。塩基飽和度とpH(H<sub>2</sub>O)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(H<sub>2</sub>O)が最も低かった。これらのことが、処理に起因するかどうかを確認するためには、塩基収支の見積りと継続的モニタリングが必要である。

#### 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
- 2) 松中照夫：土壌学の基礎，農文協，東京(2003)
- 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) 土壌標準分析・測定法委員会編：土壌標準分析・測定法，博友社，東京(1986)
- 5) SPSS: SigmaStat 2.0 for Windows User's Manual, SPSS Inc., Chicago, IL USA (1997)

#### Summary

Spatial variation in the chemical properties of a grassland soil was studied to obtain a basic understanding of the effects caused by long-term, repeated applications of anaerobically digested cattle slurry, farmyard manure, or chemical fertilizer. The grassland site is located at Rakuno Gakuen University, and was established one year before the measurements began. After one year of application, some soil chemical properties showed spatial variability. Quantities of exchangeable cations in the surface soils differed among the different applied materials. A significant positive correlation was found between base saturation and pH (H<sub>2</sub>O). Both base saturation and pH (H<sub>2</sub>O) in the chemical fertilizer plots were the lowest among the four treatments. In order to confirm that these differences were caused by the different fertilizer applications, mass balance analysis and continuous monitoring will be required.

付表1 深さ 0.0-5.0 cm における全炭素含量 (TC, %)

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	4.24	3.75	3.93	3.42	3.68	3.23	3.50	3.70	3.681	—
斜面上部	3.81	3.62	4.01	3.55	3.35	3.85	3.44	3.10	3.591	—
斜面中部	3.39	3.84	3.55	4.19	3.59	3.22	3.59	3.60	3.621	—
斜面下部	4.28	2.79	2.97	2.99	3.80	3.47	3.03	3.58	3.364	—
斜面最下部	3.97	3.25	3.02	2.98	4.13	4.25	3.22	3.32	3.518	—
平均値	3.938	3.450	3.496	3.426	3.710	3.604	3.356	3.460	3.5550	
有意差 <sup>#</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—		

# 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の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表2 深さ 7.5-12.5 cm における全炭素含量 (TC, %)

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	3.34	3.51	3.33	2.99	2.56	2.91	3.18	3.00	3.103	—
斜面上部	3.01	3.43	3.31	3.07	3.07	2.96	3.05	2.83	3.091	—
斜面中部	2.84	3.41	2.68	2.85	2.70	3.24	3.12	2.97	2.976	—
斜面下部	3.15	2.75	2.41	2.90	3.01	3.05	2.80	2.78	2.856	—
斜面最下部	3.76	2.66	2.75	2.41	3.29	3.61	3.36	3.15	3.124	—
平均値	3.220	3.152	2.896	2.844	2.926	3.154	3.102	2.946	3.0300	
有意差 <sup>#</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—		

# 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の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表3 深さ 15-20 cm における全炭素含量 (TC, %)

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	3.23	3.92	3.11	3.40	2.66	3.21	3.17	3.27	3.246	—
斜面上部	3.04	3.39	2.70	3.18	2.53	2.96	3.12	2.85	2.971	—
斜面中部	3.06	3.57	2.21	2.72	2.80	2.96	3.20	2.88	2.925	—
斜面下部	3.82	2.55	2.39	2.76	2.91	3.13	2.66	2.75	2.871	—
斜面最下部	3.60	2.89	2.71	2.58	2.78	3.47	3.23	3.18	3.055	—
平均値	3.350	3.264	2.624	2.928	2.736	3.146	3.076	2.986	3.0138	
有意差 <sup>#</sup>	a	ab	c	abc	abc	abc	abc	abc		

# 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の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表4 深さ 0.0-5.0 cm における全窒素含量 (TN, %)

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	0.37	0.29	0.34	0.32	0.30	0.29	0.28	0.30	0.311	—
斜面上部	0.31	0.30	0.31	0.30	0.29	0.34	0.27	0.31	0.304	—
斜面中部	0.29	0.34	0.29	0.29	0.34	0.28	0.30	0.33	0.308	—
斜面下部	0.36	0.26	0.26	0.26	0.32	0.31	0.26	0.32	0.294	—
斜面最下部	0.32	0.26	0.30	0.23	0.36	0.37	0.26	0.26	0.295	—
平均値	0.330	0.290	0.300	0.280	0.322	0.318	0.274	0.304	0.3023	
有意差 <sup>#</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—		

# 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の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表5 深さ 7.5-12.5 cm における全窒素含量 (TN, %)

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	0.32	0.29	0.31	0.30	0.22	0.28	0.31	0.26	0.286	—
斜面上部	0.26	0.28	0.30	0.29	0.29	0.27	0.25	0.25	0.274	—
斜面中部	0.24	0.33	0.23	0.25	0.25	0.29	0.30	0.27	0.270	—
斜面下部	0.28	0.26	0.20	0.26	0.26	0.31	0.28	0.25	0.263	—
斜面最下部	0.30	0.25	0.24	0.25	0.28	0.32	0.27	0.24	0.269	—
平均値	0.280	0.282	0.256	0.270	0.260	0.294	0.282	0.254	0.2723	
有意差 <sup>#</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—		

# 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の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 6 深さ 15-20 cm における全窒素含量 (TN, %)

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	0.27	0.31	0.25	0.31	0.27	0.29	0.28	0.30	0.285	—
斜面上部	0.30	0.29	0.22	0.27	0.24	0.29	0.29	0.29	0.274	—
斜面中部	0.29	0.36	0.18	0.22	0.29	0.30	0.30	0.24	0.273	—
斜面下部	0.27	0.22	0.22	0.29	0.29	0.29	0.23	0.26	0.259	—
斜面最下部	0.34	0.24	0.24	0.24	0.26	0.27	0.28	0.27	0.268	—
平均値	0.294	0.284	0.222	0.266	0.270	0.288	0.276	0.272	0.2715	
有意差 <sup>#</sup>	a	ab	b	ab	ab	ab	ab	ab		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 7 深さ 0.0-5.0 cm における炭素/窒素比 (C/N, g/g)

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	11.6	12.8	11.5	10.6	12.3	11.1	12.5	12.3	11.8	—
斜面上部	12.1	11.9	12.9	11.8	11.6	11.2	12.7	9.9	11.8	—
斜面中部	11.6	11.2	12.2	14.5	10.5	11.4	11.9	10.8	11.8	—
斜面下部	12.0	10.7	11.5	11.6	11.8	11.1	11.6	11.1	11.4	—
斜面最下部	12.6	12.6	10.1	13.0	11.6	11.6	12.4	12.7	12.1	—
平均値	12.0	11.8	11.6	12.3	11.6	11.3	12.2	11.4	11.77	
有意差 <sup>#</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 8 深さ 7.5-12.5 cm における炭素/窒素比 (C/N, g/g)

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	10.6	12.0	10.7	10.0	11.8	10.4	10.3	11.6	10.9	—
斜面上部	11.4	12.2	11.0	10.6	10.6	11.0	12.3	11.4	11.3	—
斜面中部	11.8	10.2	11.8	11.5	10.9	11.1	10.4	11.0	11.1	—
斜面下部	11.1	10.5	12.2	11.2	11.6	9.8	10.0	11.2	11.0	—
斜面最下部	12.3	10.7	11.5	9.8	11.7	11.2	12.5	13.2	11.6	—
平均値	11.4	11.1	11.4	10.6	11.3	10.7	11.1	11.7	11.18	
有意差 <sup>#</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 9 深さ 15-20 cm における炭素/窒素比 (C/N, g/g)

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	11.8	12.5	12.5	11.0	9.9	11.0	11.4	10.9	11.4	—
斜面上部	10.0	11.6	12.4	11.8	10.7	10.2	10.8	9.9	10.9	—
斜面中部	10.5	10.0	12.6	12.5	9.7	9.8	10.7	12.1	11.0	—
斜面下部	14.0	11.7	11.0	9.5	10.0	10.8	11.7	10.6	11.2	—
斜面最下部	10.7	12.1	11.3	10.8	10.6	12.8	11.6	11.8	11.5	—
平均値	11.4	11.6	12.0	11.1	10.2	10.9	11.2	11.1	11.18	
有意差 <sup>#</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 10 深さ 0.0-5.0 cm における陽イオン交換容量 (CEC, cmol<sub>c</sub>/kg)

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	24.3	23.0	21.9	20.3	21.6	23.1	22.6	21.0	22.23	b
斜面上部	23.0	22.8	22.0	20.9	21.5	21.7	23.7	21.6	22.15	b
斜面中部	23.7	24.8	22.1	20.6	21.3	21.2	23.1	23.4	22.53	b
斜面下部	25.9	22.5	21.1	20.5	24.8	25.8	21.8	25.4	23.48	b
斜面最下部	29.2	23.9	21.1	24.3	28.7	29.9	25.2	27.1	26.18	a
平均値	25.22	23.40	21.64	21.32	23.58	24.34	23.28	23.70	23.31	
有意差 <sup>#</sup>	a	ab	b	b	ab	ab	ab	ab		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。



付表 11 深さ 7.5-12.5 cm における陽イオン交換容量 (CEC, cmol<sub>c</sub>/kg)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	24.3	23.2	21.1	19.2	19.8	22.3	22.4	21.1	21.68	b
斜面上部	23.5	22.6	21.5	20.8	19.8	21.7	23.0	21.4	21.79	b
斜面中部	23.7	23.7	19.8	20.8	20.1	21.4	22.3	21.7	21.69	b
斜面下部	24.9	23.2	20.7	19.8	24.1	23.2	22.5	24.0	22.80	b
斜面最下部	29.7	22.6	21.1	21.4	26.2	30.6	24.6	26.5	25.34	a
平均値	25.22	23.06	20.84	20.40	22.00	23.84	22.96	22.94	22.66	
有意差 <sup>#</sup>	a	abc	bc	c	abc	ab	abc	abc		

# 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の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 12 深さ 15-20 cm における陽イオン交換容量 (CEC, cmol<sub>c</sub>/kg)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	24.6	22.7	20.5	18.8	19.3	23.2	17.8	21.8	21.09	b
斜面上部	24.8	23.1	21.8	21.5	19.9	20.5	21.6	19.2	21.55	b
斜面中部	22.6	23.5	18.0	20.0	20.9	23.3	22.3	22.1	21.59	b
斜面下部	25.3	22.9	20.8	21.2	22.7	23.9	21.4	23.8	22.75	ab
斜面最下部	28.7	23.7	21.4	23.8	27.2	22.3	24.7	26.6	24.80	a
平均値	25.20	23.18	20.50	21.06	22.00	22.64	21.56	22.70	22.36	
有意差 <sup>#</sup>	a	ab	b	b	ab	ab	b	ab		

# 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の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 13 深さ 0.0-5.0 cm における交換性カルシウム (Ex.Ca, cmol<sub>c</sub>/kg)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	16.0	10.4	9.9	9.6	9.7	18.3	10.6	12.2	12.1	b
斜面上部	15.1	12.6	13.0	12.7	12.1	11.3	11.1	11.7	12.5	ab
斜面中部	15.1	13.5	12.0	10.6	10.4	10.3	10.0	11.1	11.6	b
斜面下部	16.4	13.1	12.9	11.1	13.4	13.5	11.2	12.3	13.0	ab
斜面最下部	17.2	13.2	12.1	13.7	17.6	16.9	12.7	15.2	14.8	a
平均値	16.0	12.6	12.0	11.5	12.6	14.1	11.1	12.5	12.80	
有意差 <sup>#</sup>	a	ab	b	b	ab	ab	b	ab		

# 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の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 14 深さ 7.5-12.5 cm における交換性カルシウム (Ex.Ca, cmol<sub>c</sub>/kg)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	17.8	12.9	11.3	9.3	10.9	20.1	12.9	12.3	13.44	ab
斜面上部	16.3	12.4	13.6	13.8	11.3	12.1	12.3	12.5	13.04	b
斜面中部	15.7	13.9	12.3	12.7	11.5	11.5	11.0	11.5	12.51	b
斜面下部	15.4	14.8	12.5	11.7	13.3	14.1	12.8	10.8	13.18	b
斜面最下部	19.3	15.4	13.1	13.1	16.9	18.6	14.9	15.4	15.84	a
平均値	16.9	13.9	12.6	12.1	12.8	15.3	12.8	12.5	13.60	
有意差 <sup>#</sup>	a	ab	b	b	b	ab	b	b		

# 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の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 15 深さ 15-20 cm における交換性カルシウム (Ex.Ca, cmol<sub>c</sub>/kg)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	18.8	12.2	11.1	10.2	10.8	22.2	11.2	13.1	13.7	—
斜面上部	15.9	12.6	13.6	14.8	11.4	12.5	11.7	10.9	12.9	—
斜面中部	13.7	14.9	11.9	11.9	11.3	12.1	10.6	11.9	12.3	—
斜面下部	14.7	14.4	11.8	12.8	13.7	13.1	12.9	13.2	13.3	—
斜面最下部	18.7	14.6	12.8	15.2	19.1	12.0	14.7	16.1	15.4	—
平均値	16.4	13.7	12.2	13.0	13.3	14.4	12.2	13.0	13.53	
有意差 <sup>#</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—		

# 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の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 16 深さ 0.0-5.0 cm における交換性マグネシウム (Ex.Mg, cmol<sub>c</sub>/kg)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	1.86	3.01	2.05	2.00	2.13	1.03	2.10	1.94	2.015	—
斜面上部	2.00	2.37	2.19	1.88	2.10	2.20	2.09	2.46	2.161	—
斜面中部	2.02	2.66	2.55	1.53	1.90	1.60	1.68	2.10	2.005	—
斜面下部	2.02	2.08	2.00	1.54	1.94	2.12	1.70	2.23	1.954	—
斜面最下部	2.41	2.47	1.97	2.18	2.80	2.12	1.69	2.56	2.275	—
平均値	2.06	2.52	2.15	1.83	2.17	1.81	1.85	2.26	2.082	
有意差 <sup>#</sup>	ab	a	ab	b	ab	b	b	ab		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 17 深さ 7.5-12.0 cm における交換性マグネシウム (Ex.Mg, cmol<sub>c</sub>/kg)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	1.75	2.01	1.25	1.26	1.31	1.73	1.41	1.54	1.533	b
斜面上部	1.77	1.90	1.33	1.28	1.32	1.24	1.31	1.51	1.458	b
斜面中部	1.74	2.00	1.27	1.24	1.30	1.88	1.33	1.76	1.565	ab
斜面下部	1.81	1.81	1.49	1.39	1.64	1.61	1.58	1.31	1.580	ab
斜面最下部	1.84	1.81	1.40	1.63	1.67	2.59	1.72	2.11	1.846	a
平均値	1.78	1.91	1.35	1.36	1.45	1.81	1.47	1.65	1.596	
有意差 <sup>#</sup>	abc	a	d	d	bcd	ab	bcd	abcd		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 18 深さ 15-20 cm における交換性マグネシウム (Ex.Mg, cmol<sub>c</sub>/kg)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	1.84	1.50	1.22	1.15	1.28	1.15	1.56	1.52	1.403	a
斜面上部	1.80	1.66	1.22	1.16	1.13	1.27	1.29	1.65	1.398	a
斜面中部	1.57	1.73	1.17	1.13	1.30	1.29	1.41	1.56	1.395	a
斜面下部	1.76	1.43	1.48	1.44	1.47	1.68	1.84	1.66	1.595	a
斜面最下部	1.71	1.59	1.24	1.68	1.80	2.70	1.27	1.84	1.729	a
平均値	1.74	1.58	1.27	1.31	1.40	1.62	1.47	1.65	1.504	
有意差 <sup>#</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 19 深さ 0.0-5.0 cm における交換性カリウム (Ex.K, cmol<sub>c</sub>/kg)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	0.34	0.47	0.27	0.32	0.41	0.38	0.41	0.52	0.390	b
斜面上部	0.44	0.32	0.60	0.23	0.45	0.50	0.38	0.49	0.426	ab
斜面中部	0.33	0.84	0.49	0.26	0.67	0.40	0.29	0.55	0.479	ab
斜面下部	0.41	0.38	0.45	0.26	0.45	0.46	0.30	0.62	0.416	b
斜面最下部	0.41	0.85	0.46	0.43	0.95	0.86	0.37	0.59	0.615	a
平均値	0.386	0.572	0.454	0.300	0.586	0.520	0.350	0.554	0.4653	
有意差 <sup>#</sup>	abc	ab	abc	c	a	abc	abc	abc		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 20 深さ 7.5-12.5 cm における交換性カリウム (Ex.K, cmol<sub>c</sub>/kg)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	0.26	0.24	0.22	0.17	0.20	0.21	0.22	0.30	0.228	ab
斜面上部	0.35	0.20	0.13	0.13	0.17	0.17	0.15	0.26	0.195	b
斜面中部	0.27	0.22	0.12	0.09	0.16	0.22	0.17	0.22	0.184	b
斜面下部	0.31	0.19	0.13	0.18	0.26	0.24	0.22	0.24	0.221	ab
斜面最下部	0.28	0.23	0.16	0.14	0.39	0.32	0.26	0.39	0.271	a
平均値	0.29	0.22	0.15	0.14	0.24	0.23	0.20	0.28	0.220	
有意差 <sup>#</sup>	a	abcd	cd	d	abc	abcd	abcd	ab		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 21 深さ 15-20 cm における交換性カリウム (Ex.K, cmol<sub>c</sub>/kg)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	0.34	0.19	0.24	0.11	0.18	0.26	0.20	0.41	0.241	—
斜面上部	0.36	0.24	0.15	0.17	0.13	0.13	0.15	0.32	0.206	—
斜面中部	0.24	0.25	0.16	0.19	0.14	0.24	0.22	0.21	0.206	—
斜面下部	0.41	0.19	0.24	0.16	0.12	0.22	0.38	0.39	0.264	—
斜面最下部	0.29	0.20	0.20	0.24	0.25	0.58	0.22	0.46	0.305	—
平均値	0.33	0.21	0.20	0.17	0.16	0.29	0.23	0.36	0.245	
有意差 <sup>#</sup>	ab	ab	ab	b	b	ab	ab	a		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 22 深さ 0.0-5.0 cm における交換性ナトリウム (Ex.Na, cmol<sub>c</sub>/kg)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	0.18	0.20	0.22	0.11	0.13	0.15	0.13	0.11	0.154	—
斜面上部	0.14	0.12	0.25	0.19	0.19	0.21	0.21	0.12	0.179	—
斜面中部	0.23	0.18	0.26	0.25	0.15	0.18	0.16	0.18	0.199	—
斜面下部	0.21	0.16	0.21	0.20	0.15	0.26	0.18	0.16	0.191	—
斜面最下部	0.22	0.13	0.18	0.20	0.22	0.24	0.23	0.17	0.199	—
平均値	0.20	0.16	0.22	0.19	0.17	0.21	0.18	0.15	0.184	
有意差 <sup>#</sup>	ab	ab	a	ab	ab	ab	ab	b		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 23 深さ 7.5-12.5 cm における交換性ナトリウム (Ex.Na, cmol<sub>c</sub>/kg)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	0.12	0.18	0.14	0.17	0.17	0.20	0.14	0.07	0.149	b
斜面上部	0.12	0.20	0.20	0.12	0.17	0.22	0.21	0.20	0.180	ab
斜面中部	0.16	0.16	0.24	0.19	0.17	0.24	0.19	0.16	0.189	ab
斜面下部	0.13	0.11	0.17	0.14	0.26	0.19	0.17	0.12	0.161	ab
斜面最下部	0.19	0.18	0.18	0.21	0.28	0.21	0.20	0.19	0.205	a
平均値	0.14	0.17	0.19	0.17	0.21	0.21	0.18	0.15	0.177	
有意差 <sup>#</sup>	a	a	a	a	a	a	a	a		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 24 深さ 15-20 cm における交換性ナトリウム (Ex.Na, cmol<sub>c</sub>/kg)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	0.12	0.15	0.21	0.12	0.15	0.09	0.14	0.12	0.138	—
斜面上部	0.14	0.16	0.21	0.18	0.19	0.13	0.14	0.12	0.159	—
斜面中部	0.10	0.16	0.19	0.12	0.22	0.22	0.13	0.14	0.160	—
斜面下部	0.17	0.13	0.21	0.14	0.14	0.14	0.15	0.12	0.150	—
斜面最下部	0.13	0.17	0.14	0.25	0.26	0.31	0.14	0.11	0.189	—
平均値	0.13	0.15	0.19	0.16	0.19	0.18	0.14	0.12	0.159	
有意差 <sup>#</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 25 深さ 0.0-5.0 cm における塩基飽和度 (BS, %)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	75.6	61.3	56.6	59.3	57.3	85.7	58.8	70.2	65.60	—
斜面上部	77.1	67.6	72.8	72.1	69.1	65.6	58.2	68.3	68.85	—
斜面中部	74.7	69.3	69.2	61.4	61.6	58.9	52.7	59.4	63.40	—
斜面下部	73.4	69.8	74.0	63.9	64.3	63.4	61.1	60.4	66.29	—
斜面最下部	69.3	69.5	69.6	67.7	75.0	67.4	59.5	68.2	68.28	—
平均値	74.02	67.50	68.44	64.88	65.46	68.20	58.06	65.30	66.483	
有意差 <sup>#</sup>	a	ab	ab	ab	ab	ab	b	ab		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 26 深さ 7.5-12.5 cm における塩基飽和度 (BS, %)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	81.9	66.0	61.2	56.7	63.7	99.4	65.3	67.6	70.23	—
斜面上部	78.7	65.2	70.9	73.6	65.3	63.3	60.9	67.5	68.18	—
斜面中部	75.2	68.9	70.3	68.3	65.0	64.9	56.7	62.7	66.50	—
斜面下部	71.0	72.8	69.2	67.8	64.3	69.5	65.5	52.2	66.54	—
斜面最下部	73.0	77.8	70.3	70.4	73.5	71.2	69.6	68.5	71.79	—
平均値	75.96	70.14	68.38	67.36	66.36	73.66	63.60	63.70	68.645	
有意差 <sup>#</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。

付表 27 深さ 15-20 cm における塩基飽和度 (BS, %)。

	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	有意差 <sup>#</sup>
斜面最上部	85.8	62.1	62.4	61.3	64.1	102.4	73.6	69.5	72.65	—
斜面上部	73.3	63.4	69.4	75.9	64.6	68.2	61.3	67.7	67.98	—
斜面中部	68.9	72.6	74.8	66.8	61.7	59.4	55.4	62.3	65.24	—
斜面下部	67.3	70.3	65.9	68.6	68.1	63.4	71.2	64.7	67.44	—
斜面最下部	72.7	69.7	67.1	73.2	78.7	70.0	66.2	69.6	70.90	—
平均値	73.60	67.62	67.92	69.16	67.44	72.68	65.54	66.76	68.840	
有意差 <sup>#</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—		

# 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 の多重比較の結果を示した。同符号間には有意差がないことを示す。