

# 1 サンプスギ木炭が土壤に及ぼす影響

千葉大学大学院園芸学研究科

## 1. はじめに

近年、環境問題やエネルギー資源の枯渇などの問題が増大するにつれ、循環型社会への転換が求められている。中でもバイオマス系廃棄物は国内で年間 280Tg が発生していると考えられ、その再資源化に関しては、政府も 2002 年に「バイオマス・ニッポン総合戦略」を発表してバイオマスの利用を進めようとしている (8, 14)。

バイオマス系廃棄物の利用法のひとつとして炭化が注目されている。炭化はバイオマスの容量を減少させることができ、かつ炭化物は分解して二酸化炭素を発生させることもないので温暖化の抑制につながる (11)。また、家畜ふんを材料とする炭化物にはリン酸やカリウムなどが木炭などに比べて多く含まれているので、化学肥料との代替効果が期待されている (10)。加えて、炭化は堆肥化に比べて、時間と場所が節約でき、悪臭の軽減にもつながる (7, 8)。さらに炭化物の多孔質な構造を持つという特徴が保水性や排水性を改善し、土壤微生物に好適な環境を提供するとも考えられる (9, 12)。

また国内の林業においてはスギなどの針葉樹が最も多く生産されているが、それらの廃材は体積が大きく、また堆肥化などが難しいため積極的に利用されず、以前はほとんどが製材所で焼却処分されていた。しかし「廃棄物の処理および清掃に関する法律施行令 (1971 年 9 月 23 日発効、最終改正 2005 年 1 月 6 日)」および「ダイオキシン類対策措置法 (1999 年 7 月 16 日発効)」により製材所での焼却処分ができなくなり、現在は廃棄物処理業者に有料で処分を依頼している状態である。そこでも炭化を利用することで今まで廃材だったものを資材として活用できる可能性がある。

このように炭化はバイオマス系廃棄物の再資源化において有用であると考えられるが、炭化物に関する研究は木炭については多くの研究が為されているものの、それ以外のものを原料とする炭化物においては研究があまり為されていない (13)。また、炭化物の施用が土壤に対しどのように影響を与えるかということについても、未だ十分な検討が行われていない (10)。そこで本研究では鶏ふん炭、サンプスギ木炭、もみ殻くん炭を実験に供試し、これらが千葉県下に分布する 3 種類の畑土壤の理化学性に及ぼす影響について、ポット試験を行なった。

## 2. 実験材料および方法

### (1) 供試炭化物および土壤

炭化物は鶏ふん炭、サンプスギ木炭、もみ殻くん炭の 3 種類を、また畑土壤は火山灰土壤、粘土質土壤、砂質土壤を実験に供試した。鶏ふん炭は篩を通して 2～5 mm の大きさに調整したものをを用いた。また、サンプスギ木炭は製材残さ (背板) を炭化したものでウッドリサイクル協同組合より提供して頂いたものを 2～5 mm の大きさに調整した。もみ殻くん炭は粒径がほぼ均一であったので大きさの調整は行わずに使用した。供試土壤はいずれも千葉大学園芸学部土壤学研究室のコンクリート枠試験地より採取したもので、火山灰土壤は園芸学部 (松戸市) 内にて採取された淡色黒ボク土、粘土質土壤は館山市内にて採取された褐色森林土、砂質土壤は野栄町内にて採取された砂丘未熟土である。

## (2) 試験区の設定

試験区は A~L 区の 12 区を設けた (表-1)。A~D 区は火山灰土壌、E~H 区は粘土質土壌、I~L 区は砂質土壌の試験区とし、A、E、I 区は炭化物無施用 (土壌単独)、B、F、J 区は土壌に鶏ふん炭を添加、C、G、K 区はサンブスギ木炭、D、H、L 区はもみ殻くん炭を添加した。供試土壌は風乾し 2 mm の篩で調整したものを用い、炭化物を添加する際には体積比で 5 % の炭化物を混合した。

## (3) ポット試験の方法

炭化物を添加した各土壌を 3.5 号ポリポット (500mL) に充填し、土壌学研究室の野外圃場に 24 週間静置した。火山灰土壌、粘土質土壌および砂質土壌のポット当たりの重量は乾土でそれぞれ 280 g、370 g および 640 g であった。各試験区は 3 反復で試験を行った。計 9 回試料採取を行い、経時的に土壌理化学性の変化を測定した。最初の 5 回は 2 週間毎に、後の 4 回は 4 週間毎に試料を採取した。また、ポットの下に 500mL ポリビーカーを置き浸透水の採取を適宜行った。ポットの上部には寒冷紗を張り、直射日光が当たるのを防いだ。試験期間中土壌が乾燥しないようにかん水を適宜行った。ポット試験は 2005 年 6 月 9 日より開始した (図-1)。

## (4) 土壌理化学性

土壌の pH (H<sub>2</sub>O)、電気伝導度 (EC) および三相分布の測定には湿潤土壌を用いた。その他の測定では風乾試料を用いた。

pH (H<sub>2</sub>O) : ガラス電極法 (2) を用いた。

EC : 1 : 5 水抽出法 (3) を用いた。

アンモニア態窒素量 : ニトロプルシッド法 (1) を用いた。

硝酸態窒素量 : ヒドラジン還元-ナフチルエチレンジアミン法 (5) を用いて測定した。

三相分布 : 静置開始から 4、12 および 24 週間後の土壌を 100mL 土壌試料円筒で採取し測定した。

測定は 3 反復で行い、土壌三相計 (大起理化学社製 : MII 型 DIK-1100) を用いて固相率、液相率および気相率を求めた (4)。

炭化物の比重 : 1 L ポリビーカーに各炭化物を充填し、重量を測定することで炭化物の比重を計算した。

## (5) 浸透水の理化学性

浸透水は採取したものをろ過した後、実験に供試した。

pH (H<sub>2</sub>O) : pH 計 (堀場製作所製 : pH METER D-52) のガラス電極を浸透水中に浸し、計測を行った。

EC : 浸透水に EC メーター (東亜 DKK : CM-14P) の電極を浸し測定を行った。

硝酸態窒素量 : 浸透水を検量線の範囲に収まるように適当に 1 M 塩化カリウム溶液を用いて希釈した後、ヒドラジン還元-ナフチルエチレンジアミン法 (5) を用いて測定した。

## (6) 測定値の統計処理

測定値は平均値と標準偏差で表示した。統計処理には統計ソフト (オーエムエス出版社製 : Statcel2) を用い、試験区間で Tukey 検定を行い、5 % 有意水準で有意差が認められない場合は同一英文字を表示した。

### 3. 結果

#### (1) 供試炭化物と土壤理化学性

供試した土壤と炭化物の pH (H<sub>2</sub>O) および EC、硝酸態窒素量、アンモニア態窒素量および比重を表-2に示した。

pH (H<sub>2</sub>O) に関しては土壤が約 6 前後と弱酸性であるのに対し、炭化物はアルカリ性を示した。その中でも、もみ殻くん炭の値に比べ鶏ふん炭およびサンプスギ木炭は pH が高かった。このような値を示した理由としては炭化温度やアンモニア態窒素量が関わっていると考えられる。

EC は土壤の値に比べ炭化物の値が高い値を示した。鶏ふん炭では 17.64 d Sm<sup>-1</sup> と特に高い値であった。

硝酸態窒素量は炭化物よりも土壤の値が高く、また土壤の中でも砂質土壤に比べ火山灰土壤および粘土質土壤が有意に高い値を示した。炭化物の硝酸態窒素は鶏ふん炭、サンプスギ木炭、もみ殻くん炭の順で高かったが、最も高い鶏ふん炭でも火山灰土壤の約 15 分の 1 の値であり、砂質土壤とほぼ同じような値であった。

アンモニア態窒素量は鶏ふん炭が特に高い値を示した。これは鶏ふんを材料としているため、その中のアンモニア態窒素が残留していたためと考えられる。また土壤の中では火山灰土壤が有意に高い値を示した。

比重は土壤に対し炭化物のほうが軽く、特にサンプスギ木炭ともみ殻くん炭が低い値を示した。

#### (2) 土壤理化学性の変化

土壤の pH (H<sub>2</sub>O) の経時的变化を図-2~4に示した。pH (H<sub>2</sub>O) は火山灰土壤と粘土質土壤では約 6~7、砂質土壤では約 5.5~6.5 の幅で推移した。また、いずれの土壤においても鶏ふん炭施用区は最も高い値で推移した。サンプスギ木炭施用区およびもみ殻くん炭施用区は無施用区とほぼ同じ値を示した。

土壤の EC の経時的变化を図-5~7に示した。EC に関しても pH (H<sub>2</sub>O) 同様に鶏ふん炭施用区がいずれの土壤でも高い値を示した。特に 1 回目の試料採取時に高い値を示していたが、粘土質土壤および砂質土壤では 2 回目、火山灰土壤では 3 回目の試料採取時からほぼ一定の値で推移した。サンプスギ木炭施用区およびもみ殻くん炭施用区は無施用区とほぼ同じ値を示した。土壤毎では火山灰土壤、粘土質土壤、砂質土壤の順で高い値を示した。

土壤中の硝酸態窒素の経時的变化を図-8~10に、それをポット当たりの量に換算したものを図-11~13に示した。火山灰土壤および粘土質土壤では 1 回目の試料採取時の値から減少していき、火山灰土壤では 3 回目、粘土質土壤では 2 回目の試料採取からは少量しか検出されなかった。砂質土壤では 1 回目の試料採取時からほぼ同じ値で推移した。火山灰土壤では無施用区に比べ鶏ふん炭施用区で若干の上昇、サンプスギ木炭施用区で若干の減少傾向が見られたが、有意な差はなかった。

土壤三相分布の経時的变化を図-14~16に示した。サンプスギ木炭施用区において若干無施用区よりも固相率が減少する傾向が見られたが、全体的に炭化物を施用することによる大きな変化は見られなかった。

#### (3) 浸透水の理化学性

浸透水の pH (H<sub>2</sub>O) の経時的变化を図-17~19に示した。7 回目の試料採取時 (81 日目) に多雨による浸透水のオーバーフローがあり、全量採取ができなかったため 7 回目のサンプルの値は参考値

として示した。土壤の pH (H<sub>2</sub>O) と比較すると変化の幅が大きく火山灰土壤では約 5～7、粘土質土壤および砂質土壤では約 6～8 前後で推移していた。また、土壤の pH (H<sub>2</sub>O) と同様に鶏ふん炭施用区の pH (H<sub>2</sub>O) が他の区と比べて約 1～2 高い値を示し、サンプスギ木炭施用区およびもみ殻くん炭施用区は無施用区とほぼ同じ値を示した。

浸透水の EC の経時的変化を図-20～22 に示した。ここでも 7 回目の試料採取時の値は参考値として示した。浸透水の EC も土壤の EC とほぼ同じ傾向を示し鶏ふん炭施用区において高い値を示し、サンプスギ木炭施用区およびもみ殻くん炭施用区は無施用区とほぼ同じ値を示した。

浸透水の硝酸態窒素量の積算値を図-23～25 に示した。ここでは 7 回目の試料採取時の値を含めず、土壤毎にグラフを 2 つに分けて示した。また、これはポット当たりの値である。1 回目の試料採取時に多くの硝酸態窒素が溶脱しており、以降は値に大きな変化は見られなかった。炭化物の施用による影響は、鶏ふん炭施用区で無施用区よりも有意に増加、サンプスギ木炭施用区で無施用区よりも有意に減少していた。もみ殻くん炭施用区では火山灰土壤および粘土質土壤において若干の減少が見られたが無施用区との有意差はなかった。砂質土壤においては無施用区とほぼ同じ値を示した。

硝酸態窒素の生成量として、ポット当たりの土壤の硝酸態窒素量と浸透水の硝酸態窒素量を合計した値を図-26～28 に示した。硝酸態窒素生成量の増加にはアンモニア態窒素の酸化と土壤有機物の分解が、減少には脱窒と微生物による有機化の影響が考えられる。浸透水の硝酸態窒素と同様に鶏ふん炭施用区において無施用区よりも硝酸態窒素が有意に増加し、サンプスギ木炭施用区では有意に減少した。もみ殻くん炭施用区は火山灰土壤では無施用区との有意差が見られなかったが、粘土質土壤では有意に減少していた。砂質土壤では無施用区とほぼ同じ値を示した。

#### 4. 考察

炭化物自体の pH はいずれも土壤の pH よりも高い値を示していた。炭化物は一般的にアルカリ性を示すが、炭化物毎に違いがあるのは、炭化温度が炭化物の pH の変化に影響することなどが考えられる (15)。しかし土壤に施用した際には鶏ふん炭施用区で上昇が見られたものの、サンプスギ木炭およびもみ殻くん炭施用区では無施用区との変化がほぼ見られなかった。これには炭化物に含まれるアンモニア態窒素量や、炭化物の形状などが影響していると思われる。鶏ふん炭は細かい炭をバインダーで整形したペレット状という形状からサンプスギ木炭やもみ殻くん炭に比べて溶出が起りやすく、また材料が鶏ふんということでアンモニア態窒素や有機態窒素が多く残留していたために pH の上昇が起こったと考えられる。土壤毎では砂質土壤、粘土質土壤、火山灰土壤の順で鶏ふん炭施用区の pH の上昇が大きかったが、これは土壤の緩衝能の相違に基づくものと思われる。浸透水の pH に関しても同様の影響が考えられる。炭化物の土壤改良資材としての使用を考えた場合、鶏ふん炭は pH が若干高い値を示したが、一方で酸性土壤の矯正として使用できる可能性もある。

EC に関しても鶏ふん炭施用区が無施用区よりも高い値を示したが、これは pH (H<sub>2</sub>O) の上昇と同様の理由が考えられる。また、最も EC が上昇した鶏ふん炭を加えた際にも、土壤の EC が 1.0 dS m<sup>-1</sup>を超えなかったことから、炭化物の施用による EC の上昇が植物の生育を阻害することはないと思われる。

土壤中の硝酸態窒素は溶脱による影響が大きく、2、3 回目の試料採取の時点でほとんど溶脱してしまい、そのために土壤中の硝酸態窒素量に差が見られなかったと考えられる。浸透水の硝酸態窒素

量を見てみると、いずれの土壌でも鶏ふん炭施用区で無施用区よりも有意に高い値を示した。鶏ふん炭自体の硝酸態窒素量は少なかったことから、炭化物から発生したアンモニア態窒素が硝化し、それが溶脱したと考えられる。また、サンプスギ木炭施用区では硝酸態窒素量が無施用区よりも有意に減少していたが、これは炭化物による硝酸態窒素の吸着の影響か、または、サンプスギ木炭が硝化細菌に影響し、硝化を抑制したために起こったのではないかと思われる。硝酸化成が影響を受けているかを調べるためには土壌中のアンモニア態窒素の測定を行う必要がある。また、もみ殻くん炭施用区でも若干の減少の傾向が見られたが、無施用区との有意差はなかった。もみ殻くん炭は植物性の炭化物ということでサンプスギ木炭と似た影響を与えると思われるが、炭化温度の違いや、形状の差が影響してこのような結果になったと思われる。また、土壌の硝酸態窒素がほとんど検出されなくなった後も浸透水の硝酸態窒素量に若干の上昇傾向があったのは土壌中での生成に加え、降雨中に含まれる硝酸態窒素の影響も考えられる。

土壌三相分布に関してはサンプスギ木炭施用区で固相率の減少が見られたが、これはサンプスギ木炭の比重が小さいことが要因となっていると思われる。炭化物の比重を比べるともみ殻くん炭が最も低い値を示していたが、もみ殻くん炭施用区で変化がほとんどなかった理由としては、粒径の違いが影響したと考えられる(6)。

以上の結果から各バイオマス炭化物の施用が土壌の諸性質に及ぼす影響について、以下のようにまとめられる。鶏ふん炭は土壌および浸透水の pH と EC を上昇させ、硝酸態窒素も増加させる。しかし、土壌微生物活性への影響は小さい。サンプスギ木炭は硝酸態窒素を減少させ、また固相率を低下させるが、pH、EC および土壌呼吸量への影響は小さい。もみ殻くん炭は若干硝酸態窒素を減少させる傾向がみられるが、サンプスギ木炭よりは影響が小さく、pH、EC および土壌呼吸量にはほとんど影響しない。

結論として鶏ふん炭は酸性土壌の矯正や肥料の代替、補助資材として利用できると考えられる。またサンプスギ木炭に関しては硝酸の溶脱による地下水汚染の防止や、葉菜類に含まれる硝酸態窒素の減量などに利用できると考えられる。今後は炭化物の農業資材としての有効性を調べるために、炭化物を施用した畑土壌での作物栽培試験や硝酸過剰土壌への施用試験などを行う必要があると考えられる。

## 参考文献

- 1) Anderson, J.M. and Ingram, J.S.I 1989 : Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods, p.42-43 , C.A.B International, Wallingford
- 2) 土壌環境分析法編集委員会 1997a : 土壌環境分析法, p. 195-197, 博友社, 東京
- 3) 土壌環境分析法編集委員会 1997b : 土壌環境分析法, p. 202-203, 博友社, 東京
- 4) 土壌環境分析法編集委員会 1997c : 土壌環境分析法, p. 21-24, 博友社, 東京
- 5) 林敦敏・坂本一憲・吉田富男 1997 : ヒドラジン還元法を用いた土壌中の硝酸態窒素量の迅速分析法, 日本土壌肥料学雑誌, 68 (3) , 322-326
- 6) 磯部勝孝・藤井秀昭・坪木良雄 1996 : 木炭の施用がサツマイモの収量に及ぼす影響. 日本作物学紀事, 65, 453-459
- 7) 磯部勝孝・山中亘・片野功之輔 2002 : オカラ炭化物の施用が土壌理化学性とインゲンマメの生

- 育に及ぼす影響. 日本土壤肥料学雑誌, 73 (3), 287-290
- 8) 牧浩之・河野哲・渡辺和彦 2005: オカラ炭化物の諸性質とコマツナ栽培への施用効果. 日本土壤肥料学雑誌, 76 (1), 21-26
  - 9) 松原陽一・原田隆・八鍬利郎 1995: ネギ実生の生長に及ぼすVA菌根菌胞子接種濃度ならびに床土への炭化材添加の影響. 園学雑, 64 (3), 549-554
  - 10) 松丸恒夫・真行寺孝 2005: 牛ふん炭化物中リン酸, カリの肥料効果—特にコマツナに対する多量施用の影響—. 日本土壤肥料学雑誌, 76 (1), 53-57
  - 11) 小川眞 1999: 熱帯農林業における共生微生物・炭の利用と炭素固定. 土と微生物, 53 (2), 73-79
  - 12) 斎藤雅典 1989: VA菌根菌接種担体としての炭の可能性. 土と微生物, 34, 65-68
  - 13) 凌祥之 2002: 農業廃棄物の炭化による再利用技術の確立. 農業技術, 57 (6), 273-277
  - 14) 凌祥之・東理裕 2003: バイオマス由来の炭化物の用途開発と炭化装置の改良. 農業および園芸, 78 (10), 1049-1055
  - 15) 炭やきの会編 1991: 環境を守る炭と木酢液. p. 32-39, 家の光協会, 東京

表－1 各試験区の設定

試験区	内容	試験開始日
A 区	火山灰土壌	} 6月9日
B 区	火山灰土壌 + 鶏ふん炭化物	
C 区	火山灰土壌 + スギ炭化物	
D 区	火山灰土壌 + もみ殻くん炭	
E 区	粘土質土壌	} 6月10日
F 区	粘土質土壌 + 鶏ふん炭化物	
G 区	粘土質土壌 + スギ炭化物	
H 区	粘土質土壌 + もみ殻くん炭	
I 区	砂質土壌	} 6月11日
J 区	砂質土壌 + 鶏ふん炭化物	
K 区	砂質土壌 + スギ炭化物	
L 区	砂質土壌 + もみ殻くん炭	



図－1 野外ポット試験の様子

表－2 土壌と炭化物の理化学性

	pH (H <sub>2</sub> O)	EC (dSm <sup>-1</sup> )	硝酸態窒素 (mgNkg <sup>-1</sup> 乾土)	アンモニア態窒素 (mgNkg <sup>-1</sup> 乾土)	比重 (kgL <sup>-1</sup> )
火山灰土壌	6.00±0.01 a	0.08±0.002 a	24.57±6.92 a	7.87±0.22 a	0.71
粘土質土壌	6.00±0.02 a	0.05±0.001 ab	26.39±4.30 a	2.24±0.33 b	1.07
砂質土壌	5.77±0.05 b	0.02±0.002 b	1.25±0.28 b	1.24±0.02 b	1.51
鶏ふん炭化物	10.02±0.02 x	17.64±0.31 x	1.58±0.005 x	38.09±0.16 x	0.48
スギ炭化物	9.81±0.04 y	1.08±0.02 y	0.86±0.003 y	4.12±0.12 z	0.16
もみ殻くん炭	7.34±0.08 z	0.26±0.02 z	0.61±0.002 z	9.13±0.22 y	0.14

同一英文字は Tukey 検定（5%有意水準）において有意差が認められないことを示す。

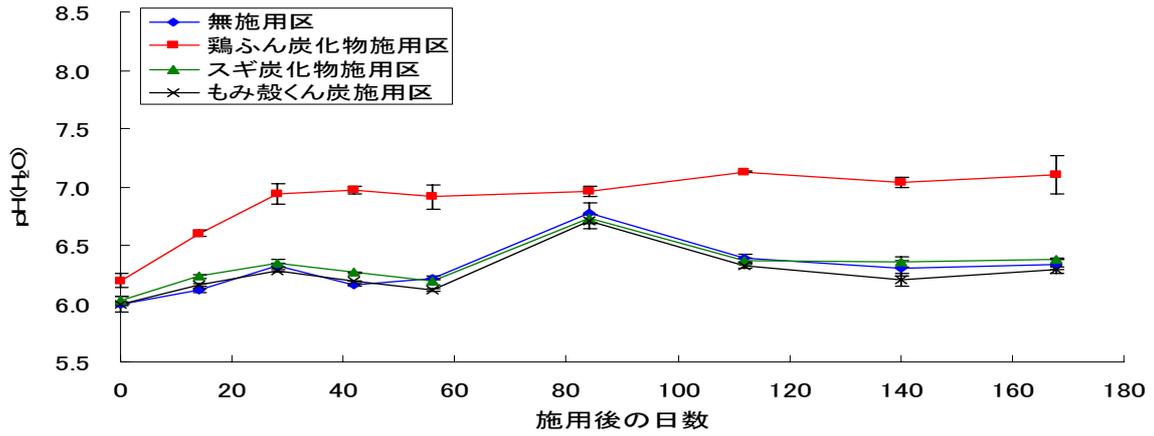


図-2 火山灰土壌の pH(H<sub>2</sub>O)の経時的変化(n=3)

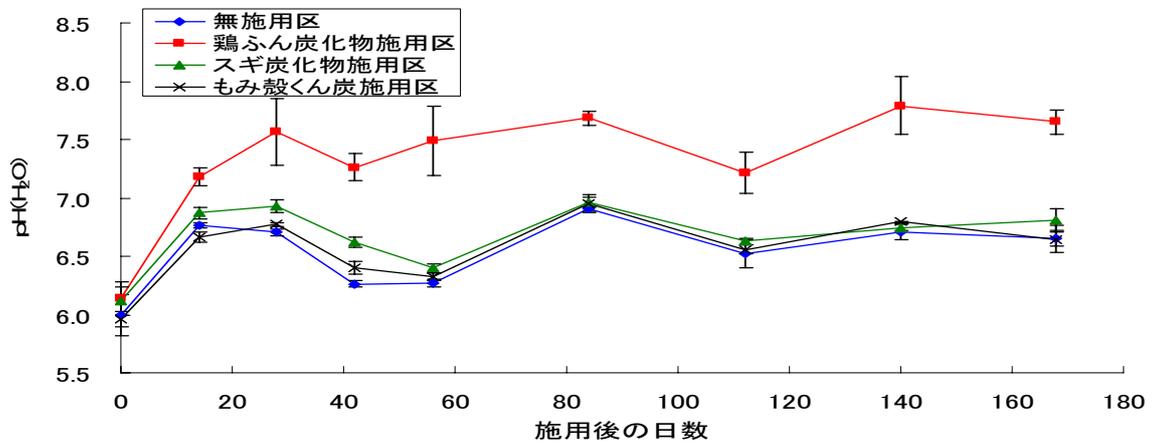


図-3 粘土質土壌の pH(H<sub>2</sub>O)の経時的変化(n=3)

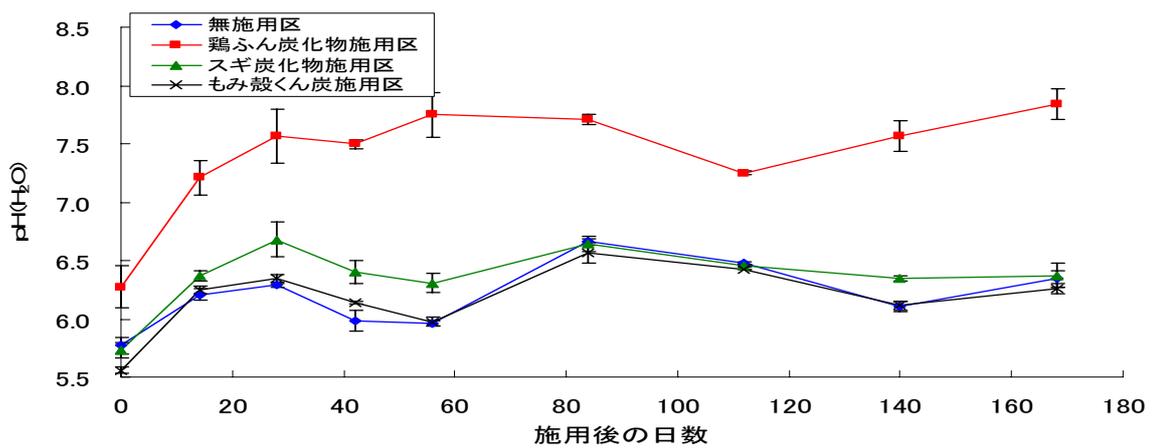
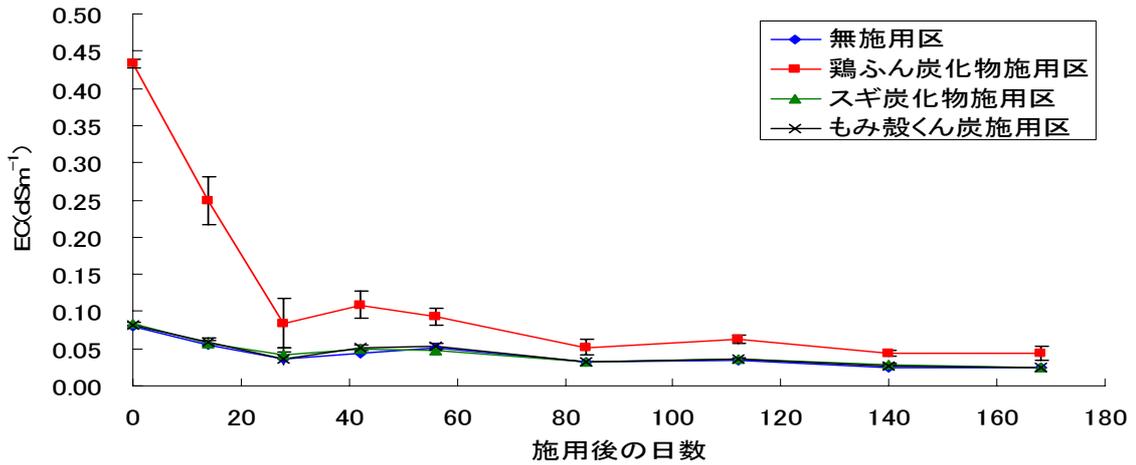
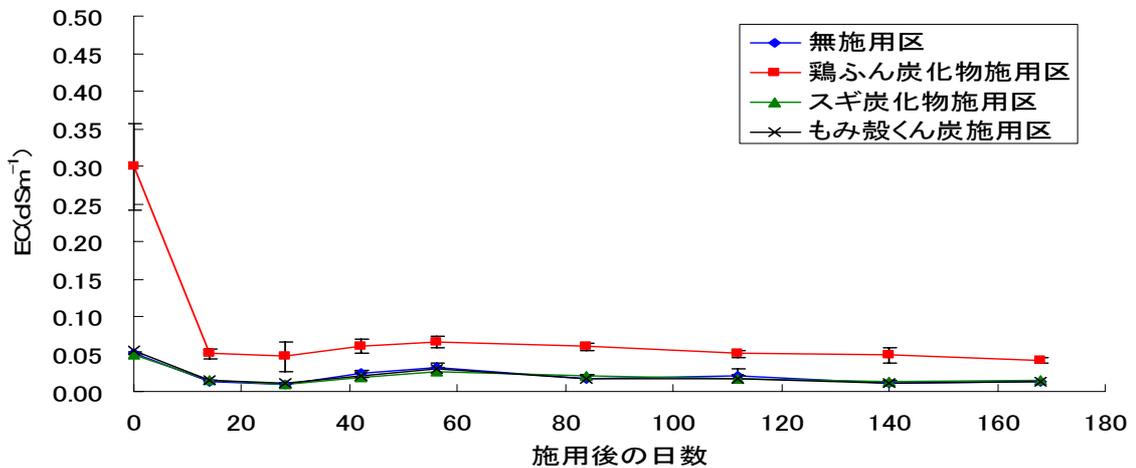


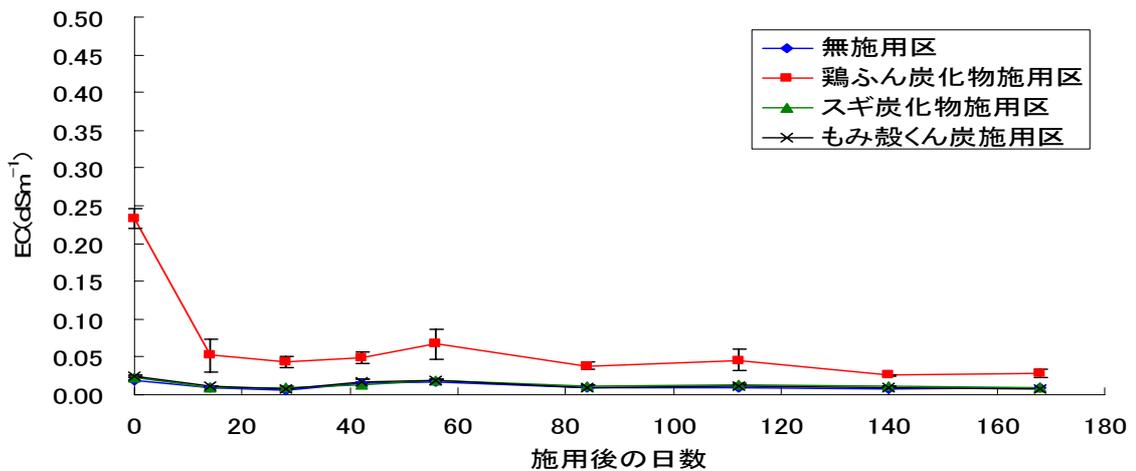
図-4 砂質土壌の pH(H<sub>2</sub>O)の経時的変化(n=3)



図－5 火山灰土壌の EC の経時的変化(n=3)



図－6 粘土質土壌の EC の経時的変化(n=3)



図－7 砂質土壌の EC の経時的変化(n=3)

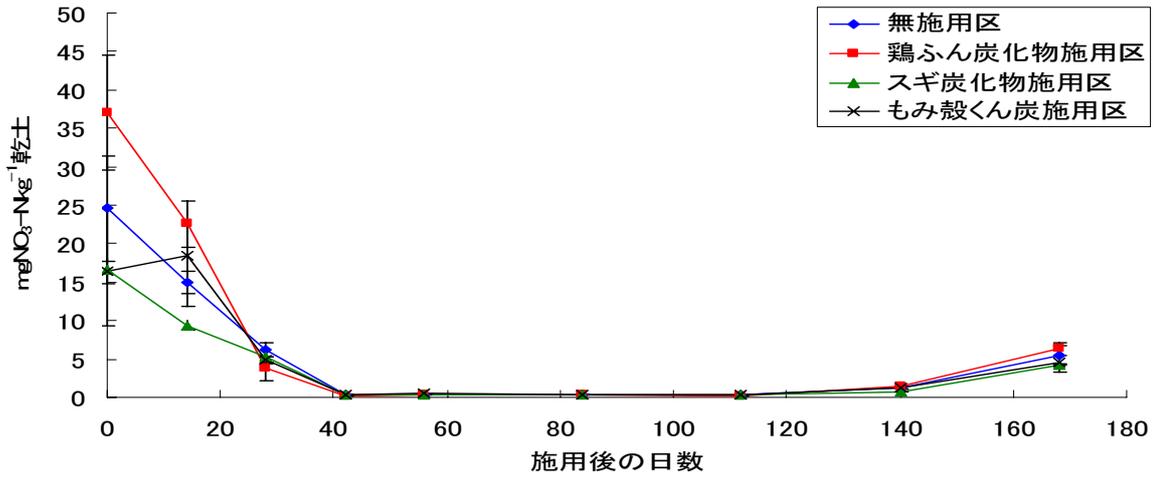


図-8 火山灰土壌の硝酸態窒素量の経時的変化(n=3)

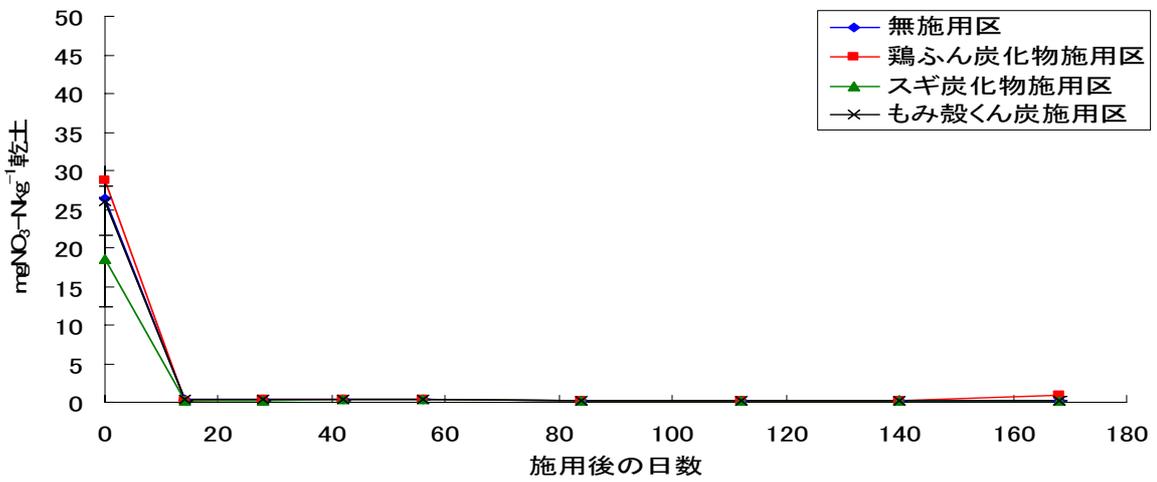


図-9 粘土質土壌の硝酸態窒素量の経時的変化(n=3)

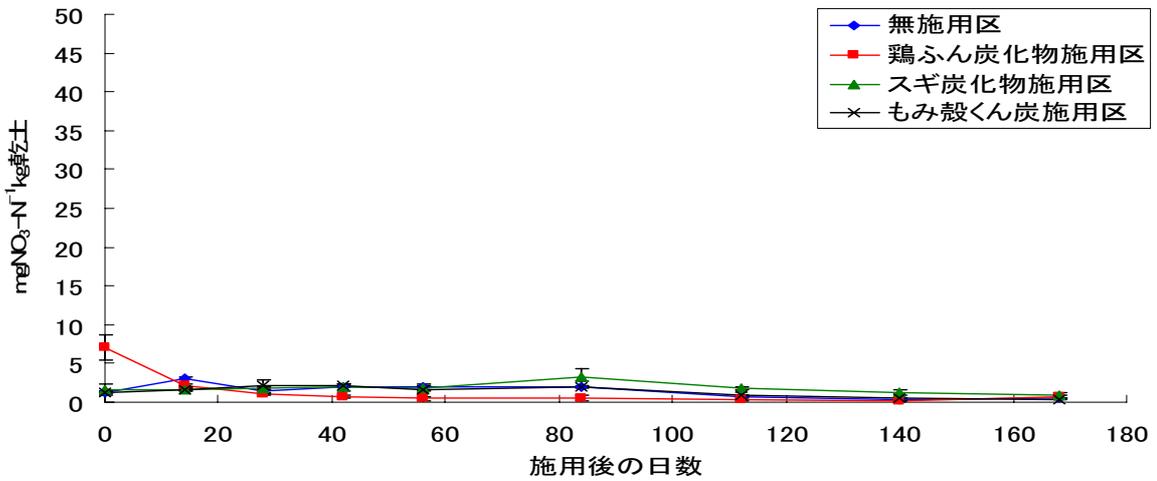


図-10 砂質土壌の硝酸態窒素量の経時的変化(n=3)

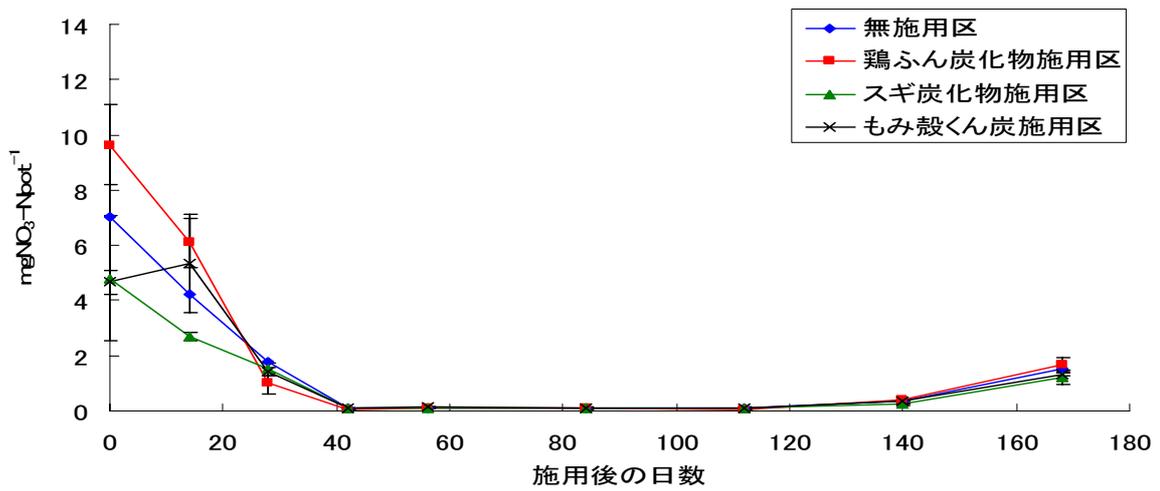


図-11 火山灰土壌におけるポット当たりの硝酸態窒素量の経時的変化 (n=3)

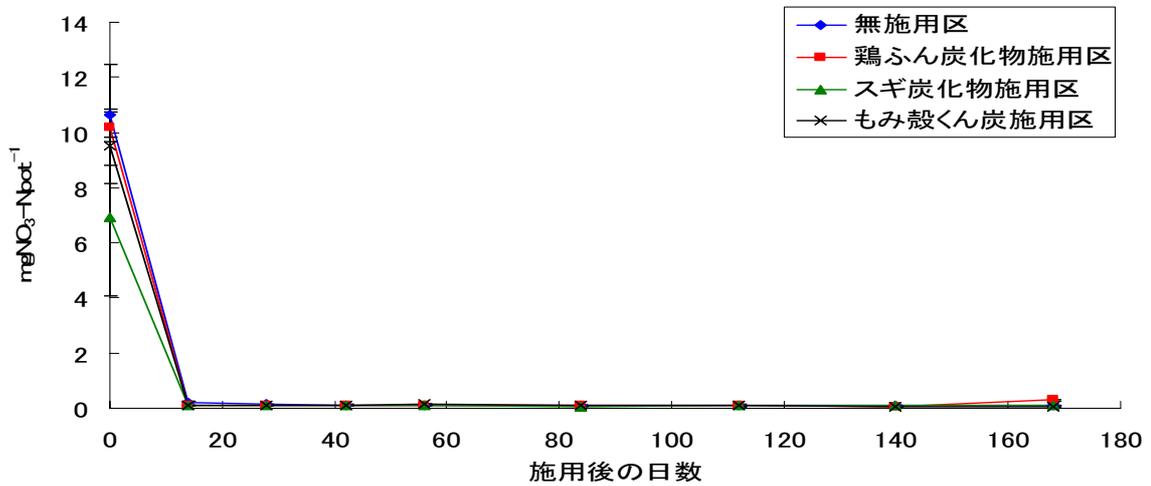


図-12 粘土質土壌におけるポット当たりの硝酸態窒素量の経時的変化 (n=3)

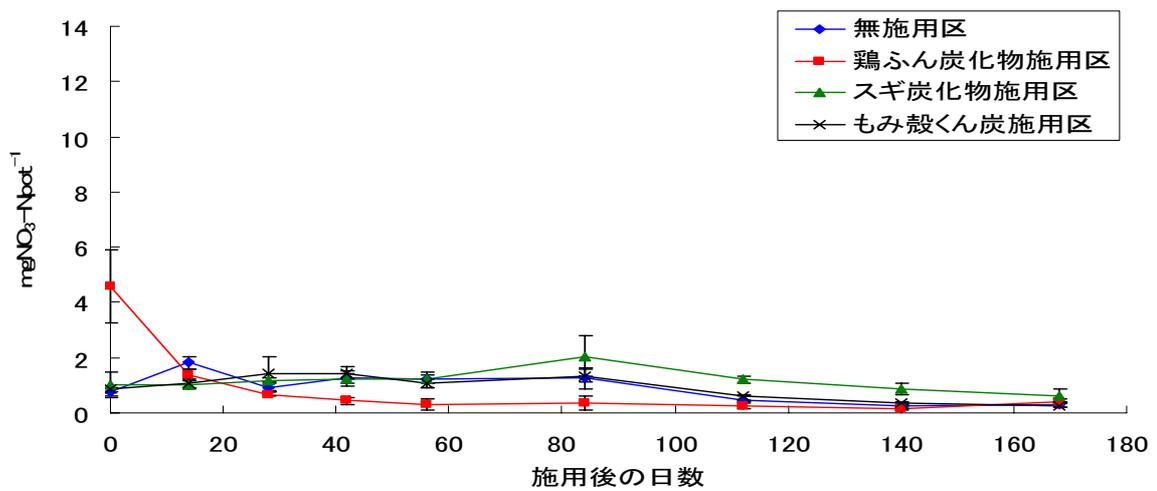
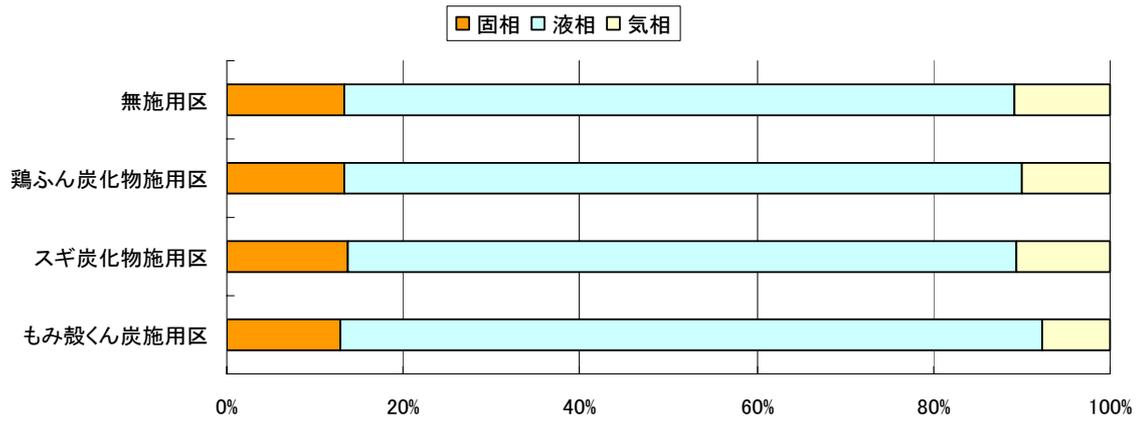
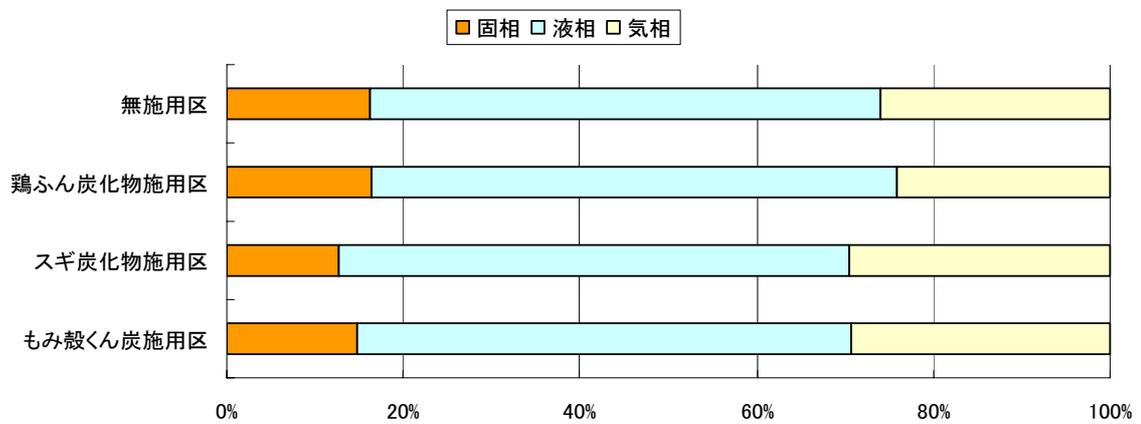


図-13 砂質土壌におけるポット当たりの硝酸態窒素量の経時的変化 (n=3)

a) 3回目の試料採取時(4週間後)



b) 6回目の試料採取時(12週間後)



c) 9回目の試料採取時(24週間後)

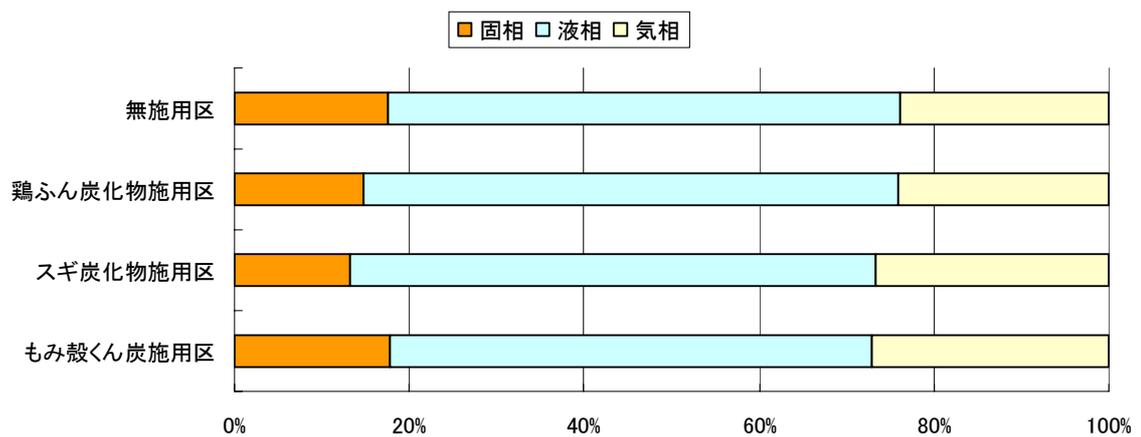
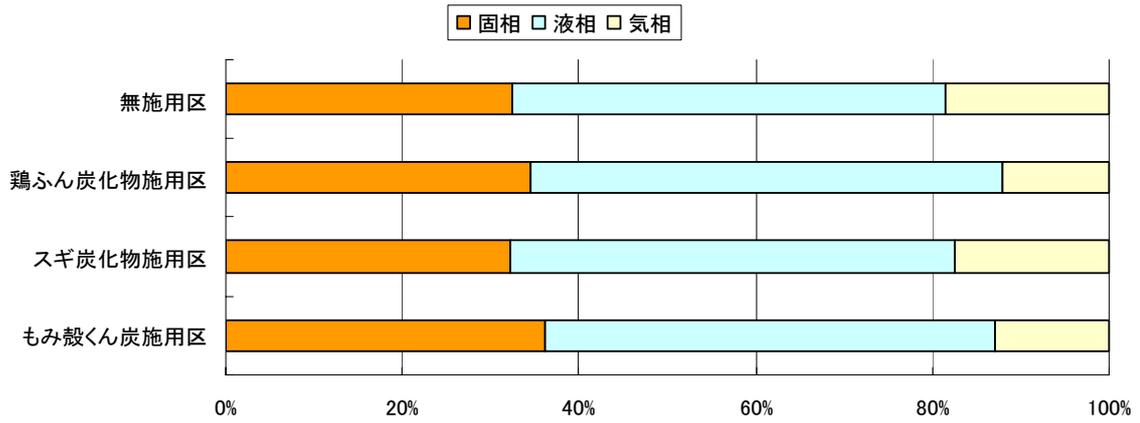
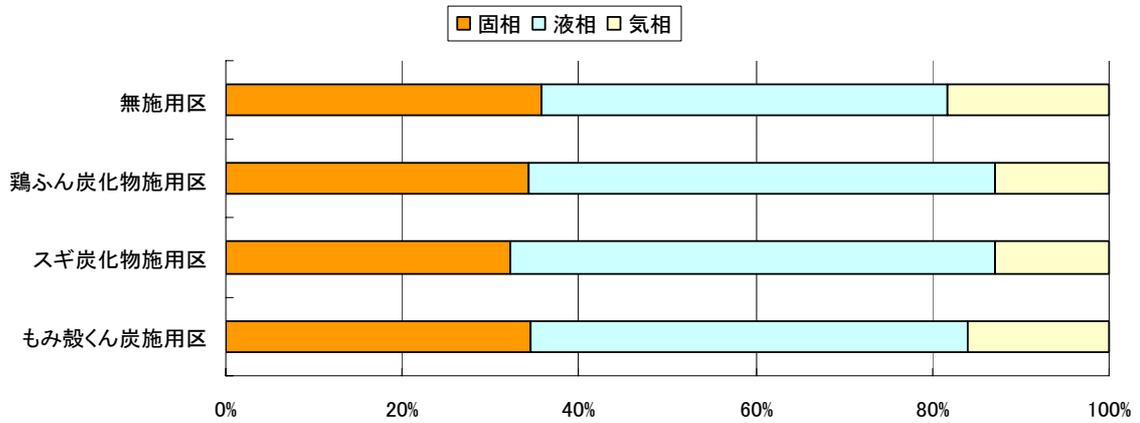


図-14 火山灰土壌の三相分布(n=3)

a) 3 回目の試料採取時(4 週間後)



b) 6 回目の試料採取時(12 週間後)



c) 9 回目の試料採取時(24 週間後)

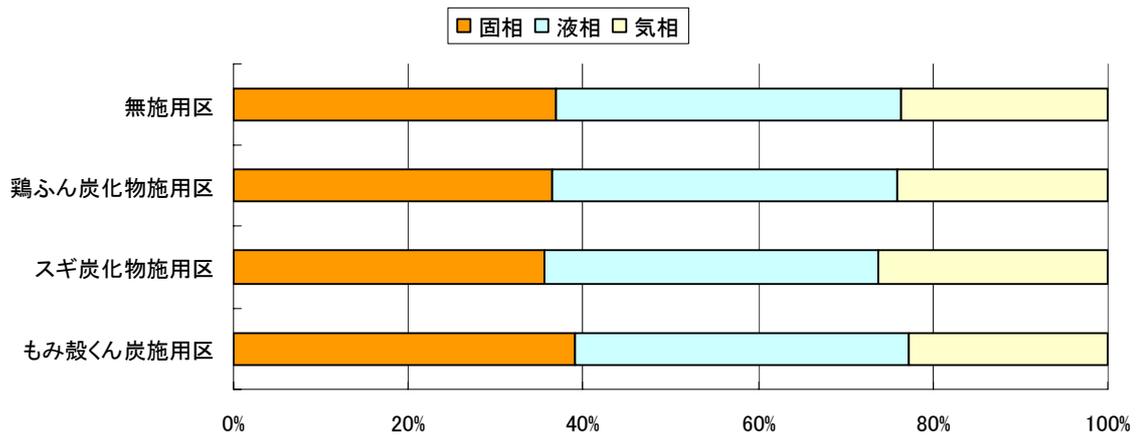
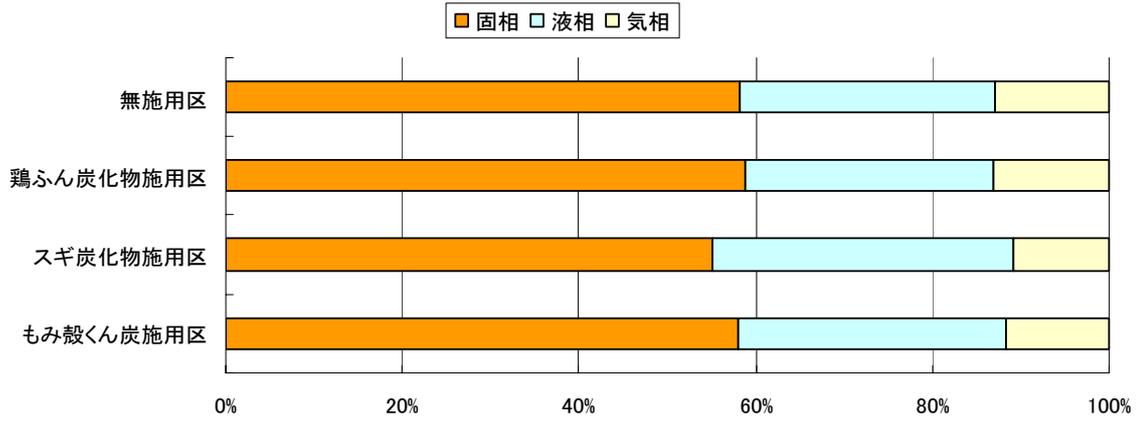
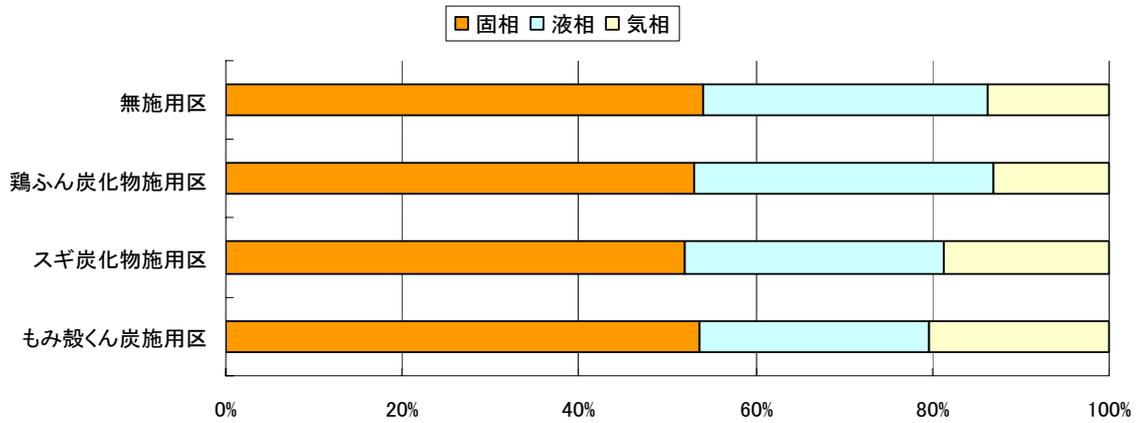


図-15 粘土質土壌の三相分布(n=3)

a)3 回目の試料採取時(4 週間後)



b) 6 回目の試料採取時(12 週間後)



c) 9 回目の試料採取時(24 週間後)

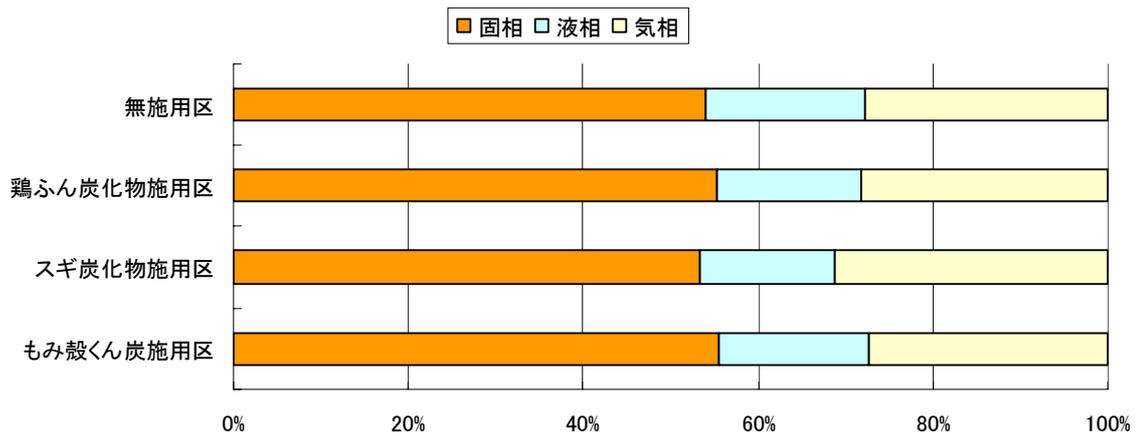


図-16 砂質土壌の三相分布(n=3)

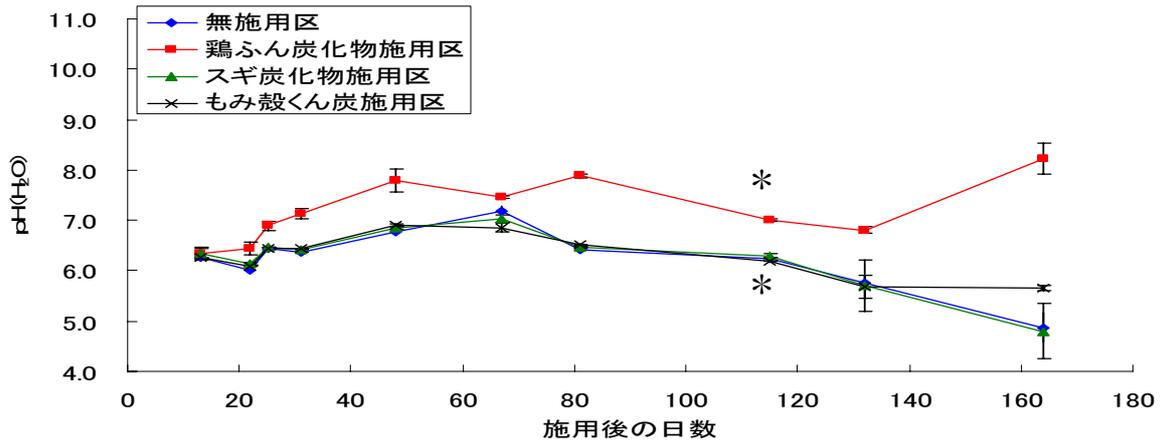


図-17 火山灰土壌における浸透水の pH(H<sub>2</sub>O)の経時的変化(n=3)  
 \*浸透水が全量採取されていないため、参考値として示す。

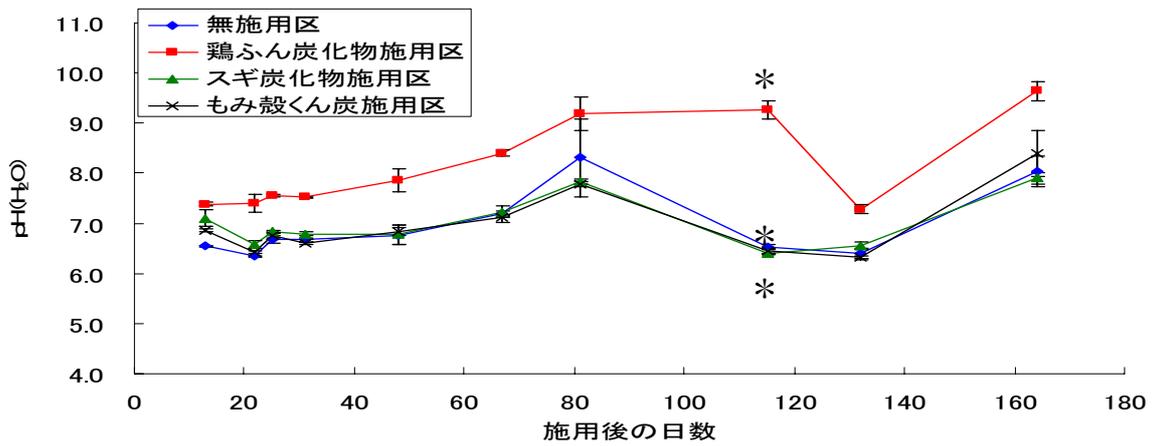


図-18 粘土質土壌における浸透水の pH(H<sub>2</sub>O)の経時的変化(n=3)  
 \*浸透水が全量採取されていないため、参考値として示す。

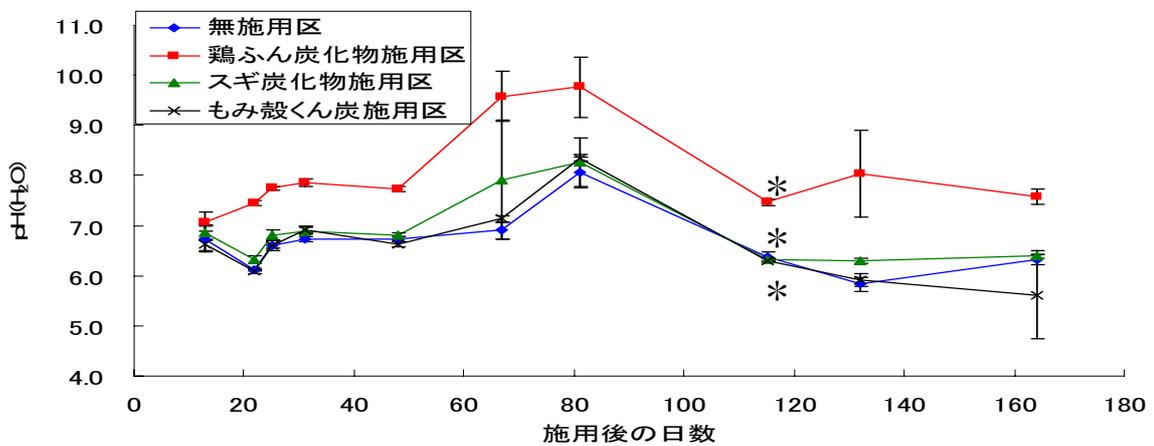


図-19 砂質土壌における浸透水の pH(H<sub>2</sub>O)の経時的変化(n=3)  
 \*浸透水が全量採取されていないため、参考値として示す。

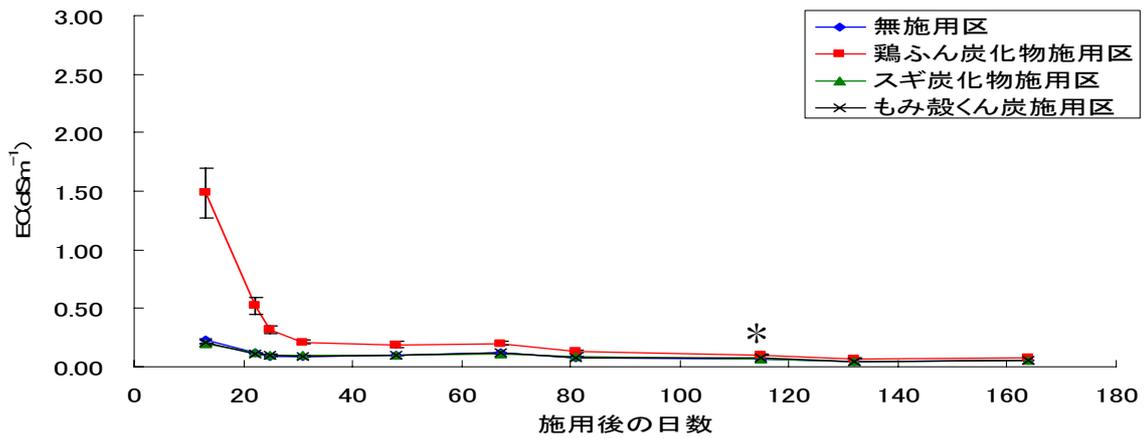


図-20 火山灰土壌における浸透水の EC の経時的変化(n=3)  
 \* 浸透水が全量採取されていないため、参考値として示す。

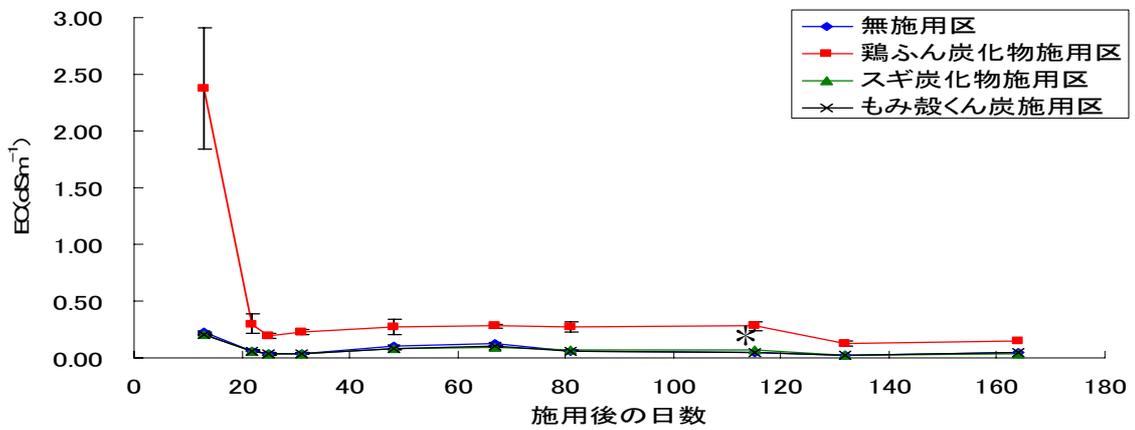


図-21 粘土質土壌における浸透水の EC の経時的変化(n=3)  
 \* 浸透水が全量採取されていないため、参考値として示す。

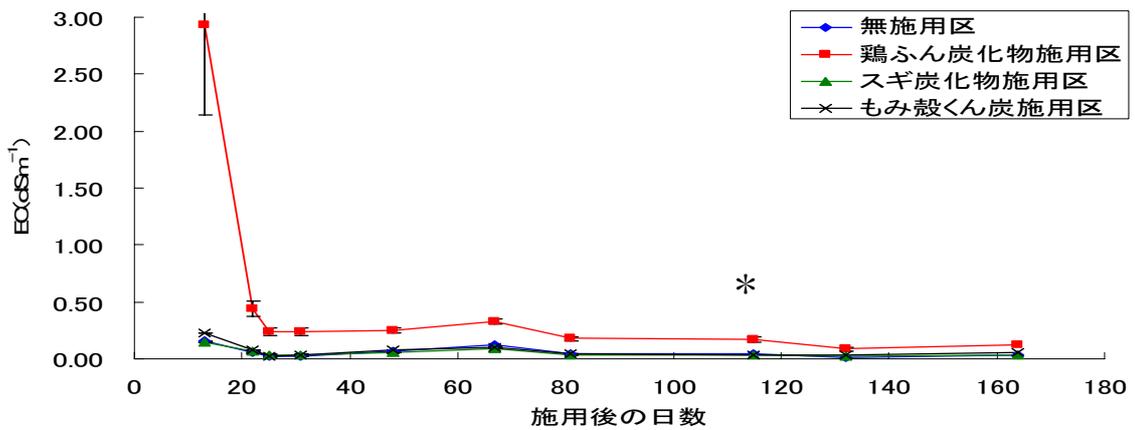
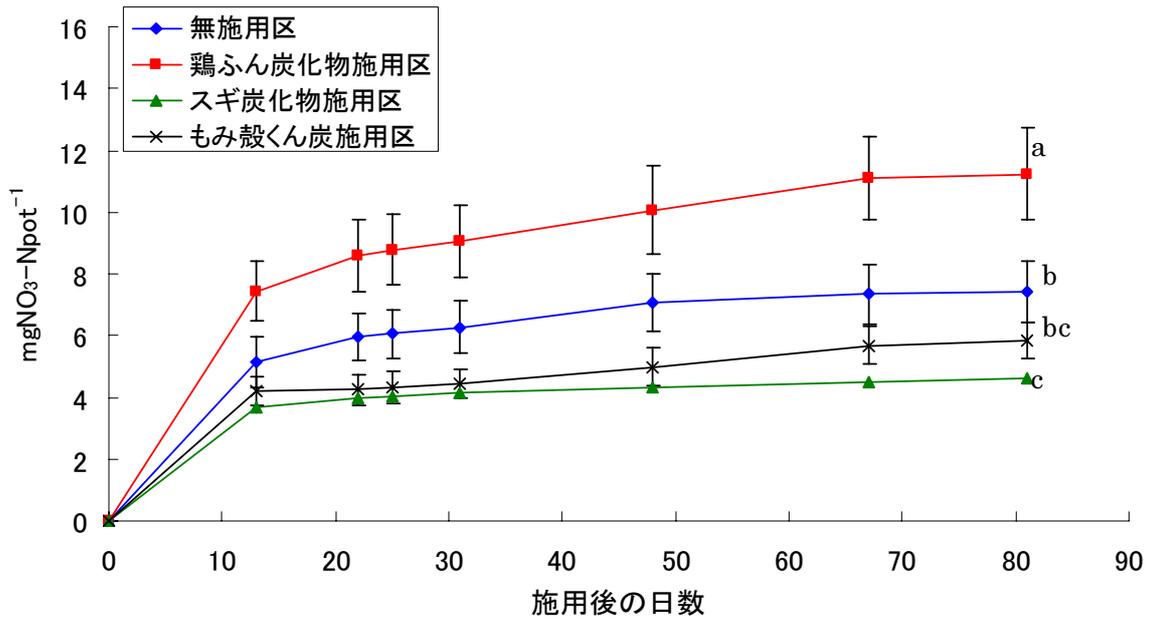


図-22 砂質土壌における浸透水の EC の経時的変化(n=3)  
 \* 浸透水が全量採取されていないため、参考値として示す。

a) 施用後 0～81 日目までの積算値



b) 施用後 115～164 日目までの積算値

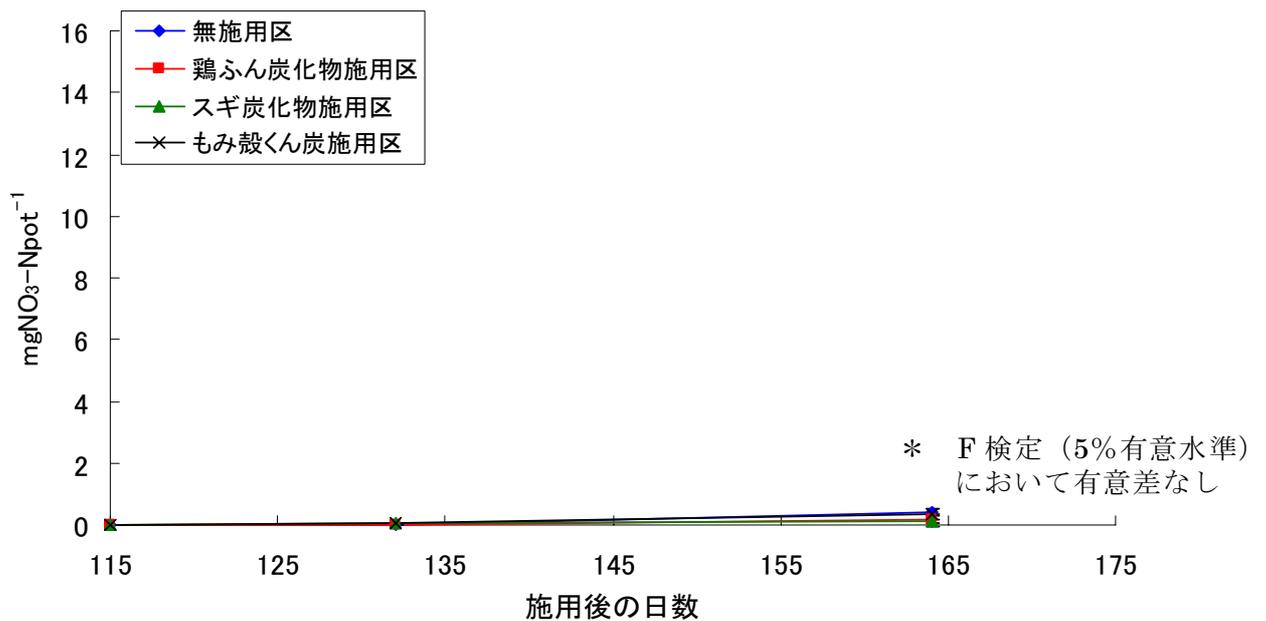
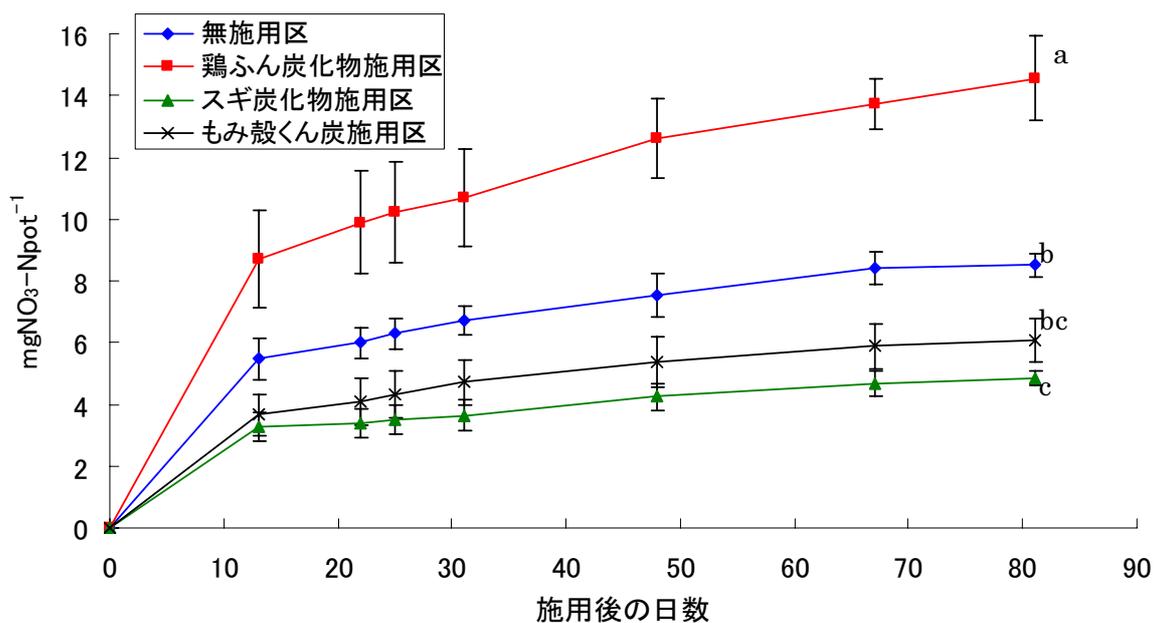


図-23 火山灰土壌における浸透水のポット当たりの硝酸態窒素量の経時的変化 (n=3)

同一英文字は Tukey 検定 (5%有意水準) において有意差がられないことを示す。

a) 施用後0～81日目までの積算値



b) 施用後115～164日目までの積算値

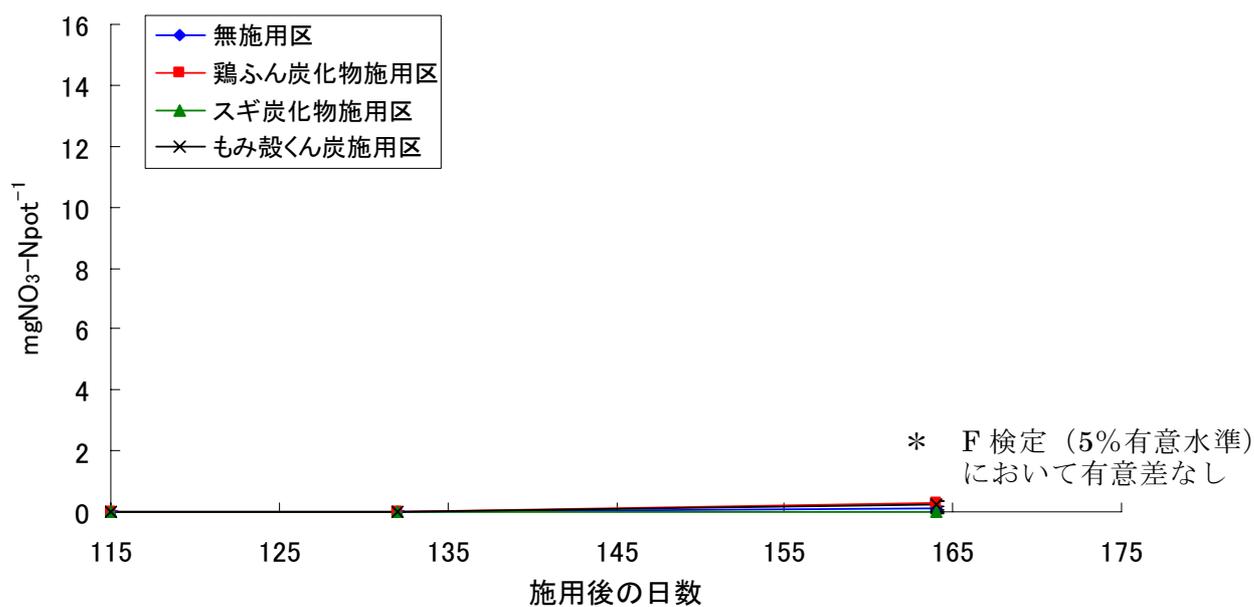
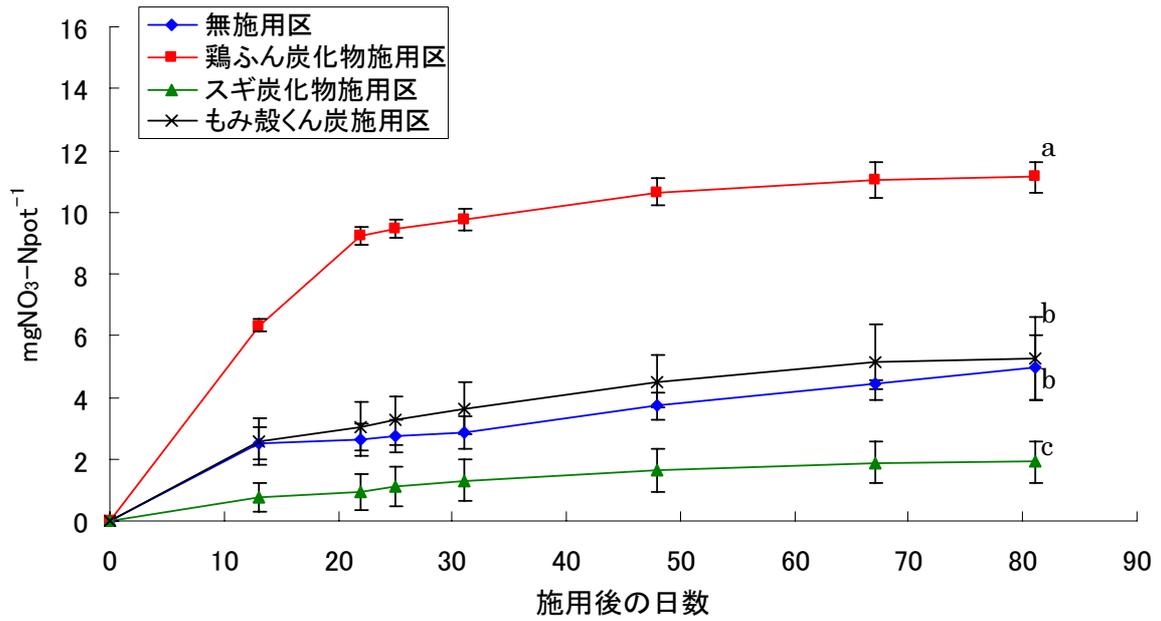


図-24 粘土質土壌における浸透水のポット当たりの硝酸態窒素量の経時的 (n=3)

同一英文字は Tukey 検定 (5%有意水準) において有意差が認められないことを示す。

a) 施用後 0～81 日目までの積算値



b) 施用後 115～164 日目までの積算値

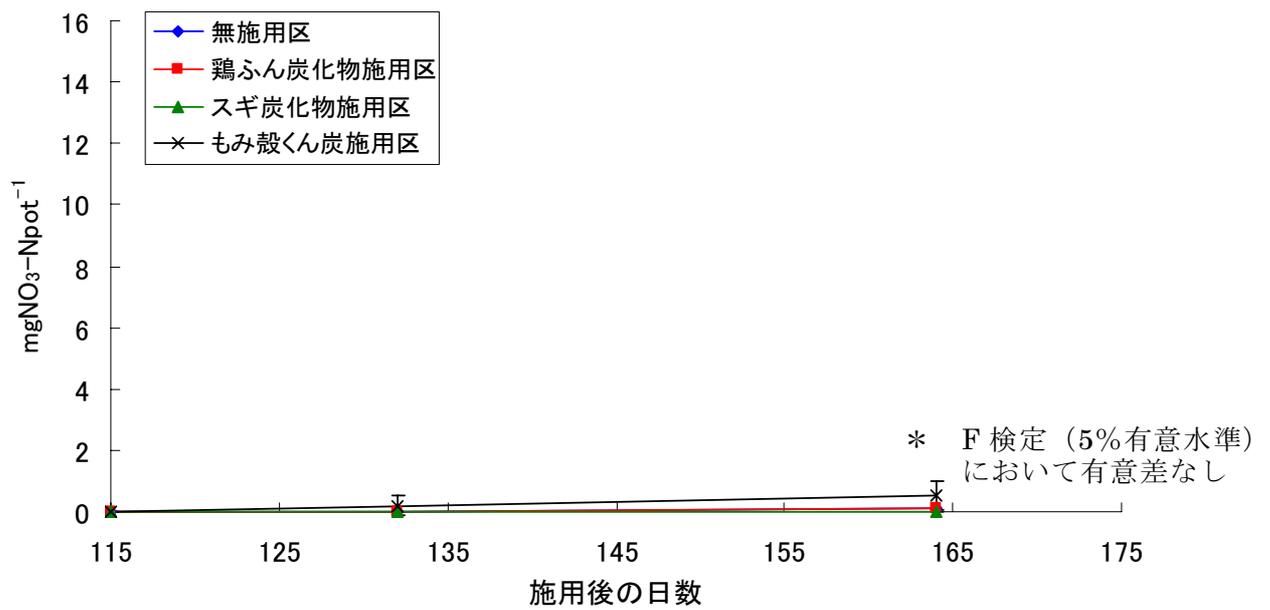


図-25 砂質土壌における浸透水のポット当たりの硝酸態窒素の経時的変化 (n=3)

同一英文字は Tukey 検定 (5%有意水準) において有意差が認められないことを示す。

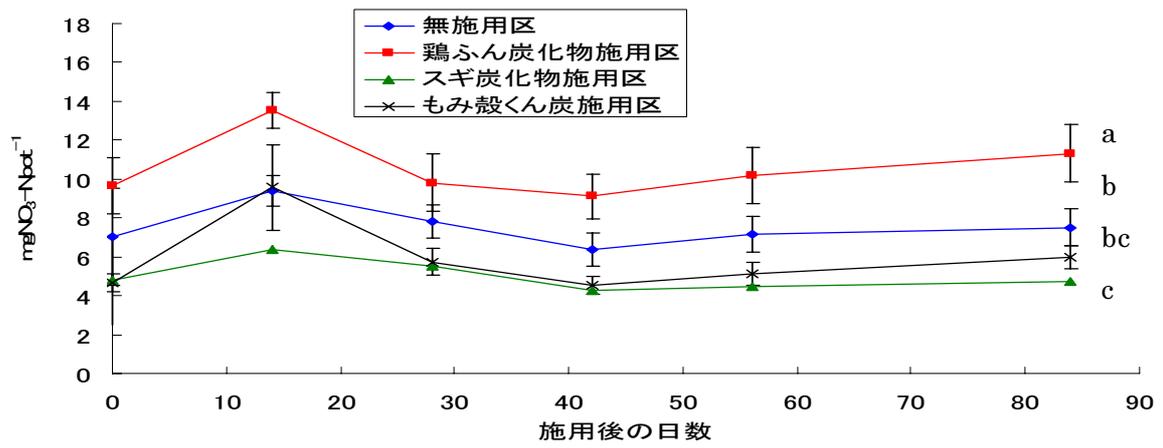


図-26 火山灰土壌のポット当たりの硝酸態窒素生成量(n=3)

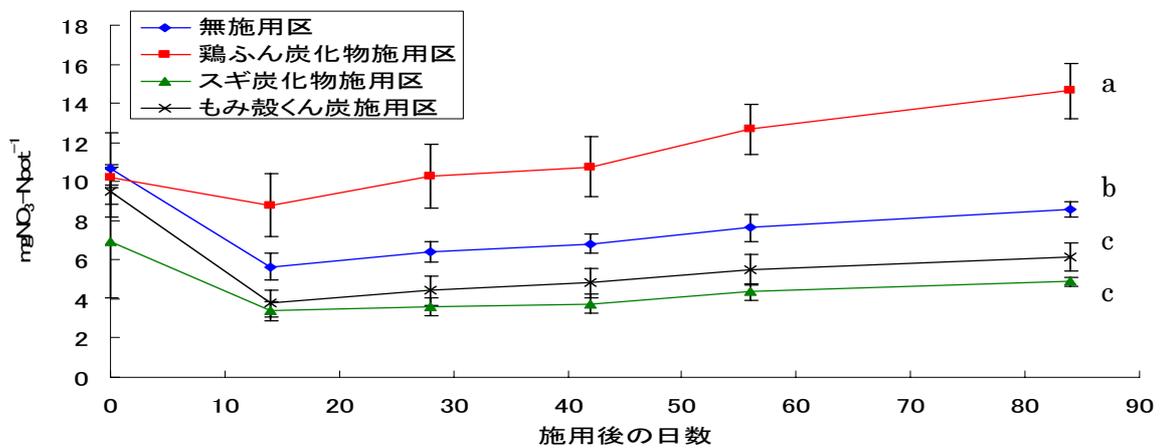


図-27 粘土質土壌のポット当たりの硝酸態窒素生成量(n=3)

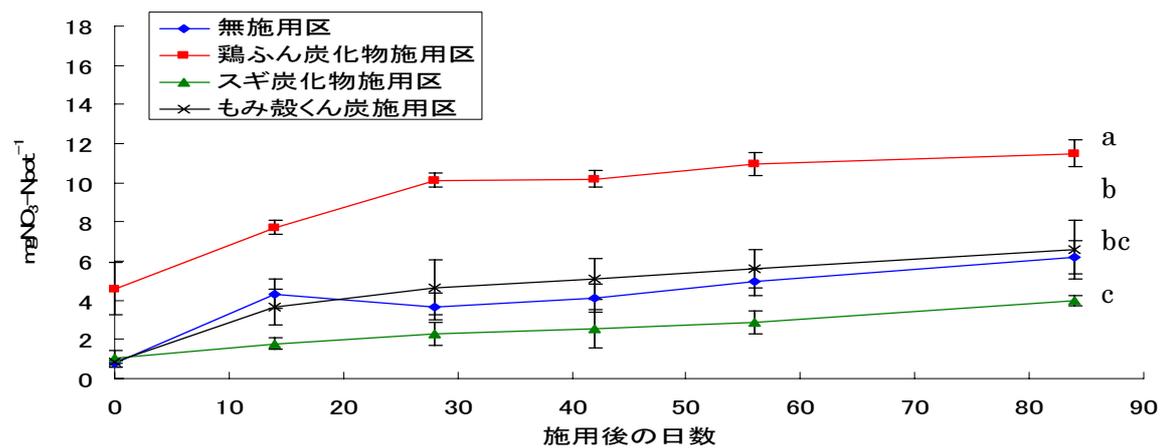


図-28 砂質土壌のポット当たりの硝酸態窒素生成量(n=3)

同一英文字は Tukey 検定 (5%有意水準) において有意差が認められないことを示す。