

第9節 土壤環境に関する試験研究

施肥による環境負荷を低減する生産技術を確立するため、緑肥の利用や有機農業の栽培技術等について試験した。

作物栽培時の施肥では、作物が吸収しきれなかった窒素成分が降雨によって地下浸透するため、地下水汚染が懸念されていた。そのため、緑肥による窒素成分の地下浸透の抑制効果を検討した。野菜栽培後に冬作として小麦を作付けすると、施肥による窒素溶脱量の50%程度が抑制されることが明らかになった。また、春・秋レタス栽培体系でえんばくを栽培すると、窒素溶脱量の8割が抑制された。さらに、窒素成分等は緑肥に吸収されるため、栽培後にすき込むことで、作物に窒素成分等が有効に利用され、化学肥料を3割削減できた。

環境負荷を低減する栽培として、県内の有機農業を実践する篤農家の事例を調査した。

水稻の有機農業栽培では、堆肥等をほとんど施用せず、雑草を繁茂させてすき込むことを毎年継続している篤農家の事例があり、土壌成分等を調査したところ、雑草のすき込み継続によって土壌中リン酸の可給性を高める可能性が示された。

県内では、これまで水稻の有機栽培における土づくりや雑草抑制等の技術が実証されているが、野菜類に関しては、多品目を少量栽培するための技術の体系化が進んでいない。そのため、野菜の有機栽培技術に関する先進事例を調査した。また、先進事例農家のボカシ肥料を施用した栽培技術等を試験場で再現し、技術の検証をするとともに環境面への影響を評価した。それらの技術を体系化し、有機農業・野菜の栽培マニュアルを作成し、公開した。

堆肥の肥料成分を有効活用し、化学肥料の減肥栽培を可能とするため、平成24(2012)年に肥料取締法で新設された混合堆肥複合肥料の製造方法や、その利用技術について検討した。試作した混合堆肥複合肥料では、生育に支障なく、化学肥料区と同程度の収量が得られた。この試験結果に基づき、混合堆肥複合肥料が商品化され、県内で販売されている。

県内の大豆単収は漸減傾向であり、全国的にも同様な傾向である。そのため、大豆の多収を阻害する要因を解析し、収量改善につながる指標を検討した。黒ボク土での可給態窒素の指標値は10~12mg/100gが適当であり、指標値以下の時は被覆肥料、有機質資材の施用により収量が1割以上増加した。

いちご新品種「とちあいか」及び「ミルキーベリー」の栽培技術を確立するため、窒素吸収量を明らかにし、各品種に適した施肥窒素量を提唱した。

東日本大震災に伴う福島原子力発電の事故により県内農耕地土壌に蓄積した放射性セシウムの吸収抑制試験と県内農耕地土壌濃度の経年変化を調査した。

カリ資材施用による玄米への放射性セシウム吸収抑制効果を明らかにし、その抑制効果は追肥よりも基肥施用で高まること、また、堆肥や稲わら等の有機物施用によっても高まることを明らかにした。県内農耕地土壌の放射性セシウムは、放射性セシウムの自然崩壊の理論値と同様に減少していることから、今後の土壌の放射性セシウム濃度は推測可能であることを明らかにした。

1 環境負荷を低減する生産技術の確立

(1) 緑肥や深根性作物を利用した窒素溶脱抑制技術の確立(平24~31)

ア 小麦作付けによる窒素溶脱抑制効果

作物栽培時の施肥では、作物が吸収しきれなかった窒素成分が硝酸態窒素となり土壌中に残る。硝酸態窒素は土壌への吸着が弱いため、降雨による地下水汚染が懸念された。そのため、黒ボク土の露地畑において、野菜栽培後に小麦を作付けした場合の硝酸態窒素溶脱の抑制効果を試験した。

野菜栽培後に冬作として小麦を作付けした場合、窒素溶脱量は年平均5kg/10a低下し、これは小麦を作付けしなかった場合のおおよそ50%に相当した。そのため、野菜栽培後の小麦作付けで施肥窒素の溶脱が抑制されることが明らかになった。

研究成果 36：31~32(2018)

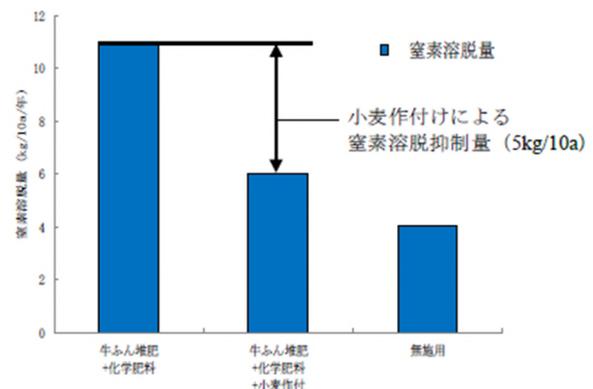


図1 小麦作付けによる窒素の溶脱抑制効果

イ えんばく作付けによる窒素溶脱抑制効果

現地で導入実績のある春・秋レタス栽培体系でのイネ科緑肥（えんばく）での窒素溶脱抑制効果を検証した。

春まきえんばくの導入による窒素溶脱低減量は、現地慣行に準拠した春・秋レタス栽培体系により生じる溶脱窒素量の約8割に相当した。これは地下水の硝酸態窒素濃度低減量に換算すると14.7 mg/Lの減と算出された。

研究成果 39：35～36(2021)



図2 緑肥（えんばく）導入による窒素溶脱量抑制効果

ウ えんばく導入による化学肥料減肥栽培

近年、肥料コストの高止まりが問題となっているため、緑肥は肥料の代替となる有機質資材として注目されている。本試験では現地で導入実績のある春まきイネ科緑肥（えんばく）を利用した現地作型でのレタス減肥技術を開発した。

春まきイネ科緑肥（えんばく）の出穂前すき込みとマルチの併用により秋レタスの窒素とカリの減肥（施肥基準量に対して3割減）が可能であった。

研究成果 39：37～38(2021)

表1 えんばく導入による化学肥料3割減肥の収量への影響

区名	全重 (g/個)	結球重 (g/個)
施肥基準区	1046 ± 72 a	637 ± 57 a
3割減区	967 ± 44 b	592 ± 21 a
3割減緑肥区	1046 ± 71 a	615 ± 54 a
無施肥区	764 ± 50 c	467 ± 57 b

値は平均値±標準偏差

異符号間に有意差あり Tukey, $\alpha=0.05$, $n=12$

(2) 有機水稲栽培の継続が土壤・水稲・雑草・動物類に及ぼす影響評価（平26～29）

本県南部の黒ボク土有機水田では、堆肥等をほとんど施用しない事例が見られる。その代わりに有機物の供給源と

して、秋からスズメノテッポウを主体とする雑草（以下「休閑期雑草」と称する）を繁茂させて春先にすき込むことを毎年継続して行っている。水稲有機栽培の継続や休閑期雑草のすき込みと土壤化学性の関係は知見が少ないため、特に土壤中のリン酸の可給性への影響を評価した。

休閑期雑草と稲わらをすき込む水稲の有機栽培を継続した黒ボク土水田において、継続8年以降では土壤中のリン酸の可給性が増加する傾向が見られた。この時期の休閑期雑草のすき込み継続による可給態リン酸の増加量は、すき込んだ雑草中のリン酸量の4.9倍であった。このことから、休閑期雑草のすき込み継続によって土壤中リン酸の可給性を高める可能性が示された。

研究成果 37：33～34(2019)

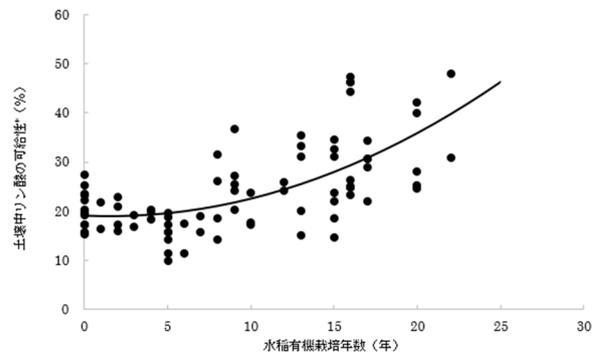


図3 有機継続年数が土壤中リン酸の可給性に及ぼす影響（土壤中リン酸の可給性＝可給態リン酸（ブレイIIリン酸）量/全リン酸量を示す。）

(3) 野菜における有機農業栽培技術の検証（平29～令和）

ア 有機農業・野菜の先進事例調査

県内では、これまで水稲の有機栽培における土づくりや雑草抑制等の技術が実証されている。しかし、野菜類に関しては、病虫害防除等の個別具体的な技術が多く開発されているものの、多品目を少量栽培するための技術の体系化が進んでいない。そのため、野菜の有機栽培技術に関する先進事例を調査することにより野菜類の有機栽培技術を評価検証した。

ボカシ肥料を使用している県内有機農業の優良事例を調査したところ、収量は慣行栽培と比べて平均して3割減であり、葉菜類>根菜類>果菜実類の順で多かった。果菜実類は病虫害による被害が大きかったが、葉菜類では害虫の発生を抑制できていた。

研究成果 40：23～24(2022)

イ 有機農業・野菜の栽培技術の検証

野菜の有機栽培における先進事例農家のボカシ肥料を

施用した栽培技術等を試験場で再現し、技術の検証をする
とともに環境面への影響を評価した。

センターでの栽培試験では、多くの品目で農家と同等の
収量が得られ、栽培方法の再現性を確認できた。また、ポ
カシ肥料は、三要素のバランスがよく、また、地下への硝
酸態窒素の浸透が少なく化学肥料より環境負荷が小さか
った。

なお、有機農業・野菜の栽培マニュアルをとりまとめて
冊子化し、ホームページで公開した。

研究成果 40：21～22(2022)

有機農業・野菜の栃木県内栽培マニュアル(2022)

表2 センター内ほ場での有機農業再現試験品目

キャベツ、レタス、チンゲンサイ、キュウリ、
ジャガイモ、ダイコン、コマツナ、ニンジン

(4) 黒ボク土における野菜の効率的リン酸利用技術の開 発 (平 29～31)

ア ねぎの土壤可給態リン酸基準値の見直し

本県に多い黒ボク土は、リン酸固定能が高いため、よう
りん等のリン酸質肥料による土壤改良が行われてきた。そ
の結果、リン酸が蓄積しているほ場も多い。また、化学肥
料等による環境への負荷低減が求められてきている。その
ため、低コストで環境に負荷をかけない施肥を目的として、
ねぎ栽培における可給態リン酸の基準値の引き下げにつ
いて検討した。

可給態リン酸濃度の異なるほ場で、リン酸の施肥量を変
えてねぎを栽培した。その結果、現行のねぎの可給態リン
酸の基準値 20～60mg/100g は、10～30mg/100g 程度に
引き下げられる可能性が示された。

研究成果 40：27～28(2022)

イ 混合堆肥複合肥料の製造および利用技術の開発

堆肥の肥料成分を有効活用し、化学肥料の減肥栽培を可
能とするため、平成 24 (2012) 年に肥料取締法で新設さ
れた混合堆肥複合肥料の製造方法を検討するとともに、そ
の利用技術について検討した。

牛・豚混合堆肥を現物比で 7:3 の割合で混合し腐熟した
原料を用いて化学肥料等を 5 割以上添加して調整した肥
料では、生育に支障なく、化学肥料区と同程度の収量が得
られた。

なお、この試験結果に基づき、混合堆肥複合肥料が商品
化され、県内で販売されている。

研究成果 39：39～40(2021)



写真1 開発した混合堆肥複合肥料

2 高品質・安定的な作物栽培技術の確立

(1) 奨励品種「里のほほえみ」収量向上をめざす土壤管理 技術の確立(平 27～31)

県内の大豆単収は 1996 年をピークに漸減傾向であり、
全国的にも同様な傾向である。大豆は栽培後期の窒素要求
量が高いことから、地力窒素の低下が原因の一つであると
の指摘は多い。

そのため、栃木県の大豆の奨励品種となった「里のほほ
えみ」の収量向上を目的に、大豆の多収を阻害する要因を
解析し、生産現場において把握でき、収量改善につながる
指標を検討した。

県内の土壤調査(3年間で30地点)から、作前土壤の
可給態窒素含量が大きいほど大豆収量は多かった。黒ボク
土での可給態窒素の指標値は10～12mg/100gが適当と考
えられた。可給態窒素が指標値以上のとき施肥窒素を基準
量施肥すれば収量250kg/10a以上得られると考えられた。
指標値以下の時は被覆肥料や有機質資材の施用により収
量が1割以上増加し、資材の施用効果が高いと考えられ
た。

研究成果 39：29～30(2021)

(2) 水稲の品質向上のための生育診断・予測技術の確立 (硫黄欠乏症の診断技術の確立 令 2～5)

近年、本県の一部水田では水稲移植後の茎数不足や葉の
黄化など硫黄欠乏と疑われる症状が散見されており、特に
低地土を中心に潜在的な欠乏が懸念される。硫黄欠乏症状
は、窒素欠乏症状に類似しているが、欠乏状態の判定方法
や欠乏時の硫黄施肥量の算出方法については明らかにな
っていない。

また、硫黄の可給性は銅など重金属によって低下するた
め県内の様々な土壤タイプの土壤を用いて硫黄の可給性
に及ぼす銅の影響を明らかにするとともに、かんがい水か

らの硫黄の供給量を調査した。

水稻栽培での土壤の硫黄欠乏状態の診断基準値を次のとおり設定した。

可給態硫黄濃度 - 全銅濃度/6 + かんがい水からの硫黄供給量 = 100 mg/kg

水稻で窒素欠乏と同様な欠乏症状を示し、窒素を施肥しても欠乏症状が改善できない場合、この基準値未満で硫黄欠乏状態を推測でき、その場合の硫黄施肥量を基準値から算出できる。

研究成果 43 : 25~26(2025)

3 園芸生産の戦略的拡大を実現する技術の開発

(1) いちご新品種「とちあいか」の栽培技術の確立(平 31~令 3)

いちご新品種「とちあいか」は、いちごに求められる多くの特性を有していることから、普及品種とすることが決定され、その能力を最大限に発揮できる栽培技術を早急に確立することが課題である。このため、「とちあいか」に適した施肥法の開発を目的として、養分吸収特性を明らかにした。

いちご「とちあいか」の窒素施肥基準量は、「とちおとめ」と同じ 10a 当たり 20kg が適正と考えられた。本試験の栽培条件では、窒素吸収量は 17kg/10a、収量は 7,000kg/10a であり、収量は、「とちおとめ」より 40%程度多かった。また、リン酸の吸収量は 10kg、カリは 23kg/10a であった。

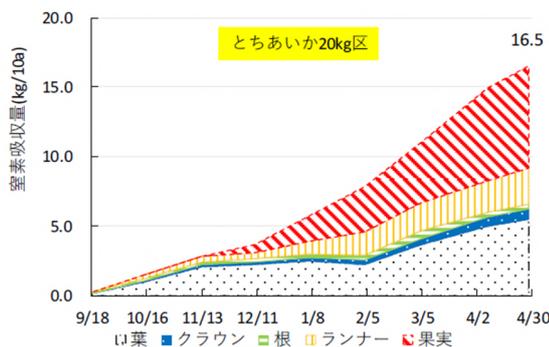


図4 とちあいかの窒素吸収量の推移 (R2 年度)

(2) いちご新品種「ミルキーベリー」の栽培技術の確立(平 31~令 3)

いちご新品種「ミルキーベリー」の収量、窒素(N)吸収経過および土壤中無機態 N 濃度の推移を把握して適正窒素施肥量を明らかにした。

いちご新品種「ミルキーベリー」の収量は、「とちおと

め」と同程度であり、収量 5,000kg/10a の場合、窒素吸収量は 13kg/10a であった。「とちおとめ」での施肥量と窒素吸収量の関係との比較から、「ミルキーベリー」で 5,000kg/10a の収量を得るための適正窒素施肥量は、17kg/10a と推定された。

研究成果 41 : 25~28(2023)

4 安全な農産物生産技術の開発

(1) 水稻におけるヒ素のリスクを低減する栽培管理技術の開発(平 26~29)

食品衛生法における玄米および精米中 Cd 含有量の基準値は、平成 23 (2011) 年に 1mg/kg から 0.4mg/kg へ改正された。平成 28 (2016) 年にコーデックス委員会において、玄米中無機 As 濃度の基準値が 0.35mg/kg と定められた。土壤の酸化還元条件に対して As と Cd は逆の挙動を示し、水管理のみでの同時低減は難しいとされる。近年、農業環境技術研究所 (現農業環境変動研究センター) が同時低減を目指した水管理や鉄資材施用技術も開発中であり、これまで知見のない黒ボク土水田において、その有効性や収量・品質への影響を確認した。

場内非汚染黒ボク土水田 (1M HCl 抽出土壤中ヒ素 (以下 As) 濃度 1.5mg/kg、0.1M HCl 抽出土壤中カドミウム (以下 Cd) 濃度 0.2mg/kg) において、県慣行水管理 (間断灌漑) でコシヒカリを栽培した。玄米中無機 As 濃度は 0.1mg/kg 未満 (国際基準値 0.35mg/kg 未満)、Cd 濃度は 0.01mg/kg 未満 (食品衛生法基準値 0.4mg/kg 未満) と低いレベルであり、本ほ場においては Cd 低吸収品種や鉄資材施用等の同時低減技術の必要性は低かった。

研究成果 38 : 41~42(2020)



図5 水管理が玄米中の無機 As と Cd 濃度に及ぼす影響

※図中「N.D.」は玄米中 Cd 濃度が<0.01mg/kg であることを示す。

(2) 農作物への放射性セシウム吸収抑制試験及び県内農

**耕地土壌での放射性セシウム濃度の経時的推移調査
(平 24～令 6)**

ア カリ資材施用効果

東京電力福島第一原発の事故によって降下した放射性セシウムの土壌を介した水稲への影響が懸念されている。そこで、放射性セシウム濃度の異なる黒ボク土水田においてカリ資材施用による玄米への放射性セシウム吸収抑制効果を評価し、玄米への移行係数（玄米 Cs/土壌 Cs。以下、移行係数と記す。）を 0.01 以下にする資材の種類や適正なカリ水準を明らかにした。

黒ボク土水田において、水稲移植から最高分けつ期頃まで土壌中交換性カリ含量を 20mg/100g 以上に維持すると玄米への放射性セシウムの移行係数を 0.01 以下にすることができた。塩化カリおよび大谷石粉末の施用はそのための有効な方法であった。

研究成果 34：31～32(2016)

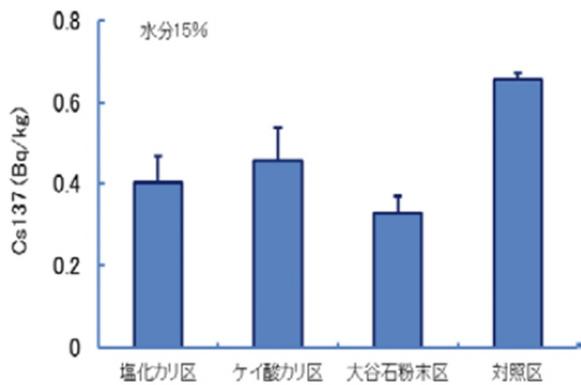


図6 各種カリ資材施用による玄米中放射性セシウム濃度への影響

イ 塩化加里の施用時期

土壌中の交換性カリウム水準の異なるほ場において、有効な塩化加里の施用時期および水稲への移行係数の年次変動を解明した。

水稲の放射性セシウムの吸収抑制のためのカリウム施用効果は、追肥よりも基肥施肥が高かった。

研究成果 34：33～34(2016)

ウ 有機物連用効果

放射性セシウムの玄米への移行係数に及ぼす牛ふん堆肥や稲わらなどの有機物連用の効果について検討した。

堆肥や稲わらの有機物連用によって、土壌中交換性カリ含量は高く維持され、放射性セシウムの玄米への移行係数は低く推移した。移行係数は、放射性セシウムの降下の1

年目は高かったが、その後は低下し横ばい状態となったことから、2年目には放射性セシウムの一部は土壌に固定されたと考えられた。

研究成果 40：15～16(2022)

エ 現地ほ場での塩化カリウム施用による効果

カリ増施による水稲の放射性セシウム吸収を抑制する技術を開発するため、平成 23 (2011) 年産玄米における放射性セシウム濃度が 50Bq/kg 程度の玄米を生産した水田（現地 1）および土壌中放射性セシウム濃度が 1000Bq/kg 程度と比較的高い水田（現地 2）において、作付け時の土壌中交換性カリ濃度を 25 mg/乾土 100 g および 35mg/乾土 100g に補正した試験区を設け、土壌中交換性カリ濃度の効果と持続性を調査し、その結果として水稲の放射性セシウム濃度への影響を検討した。

現地 2 地点での試験で、水稲における放射性セシウム吸収抑制に対する塩化カリウムの施用効果が認められ、その効果は施用量の増加に伴って高くなった。また、施用したカリは土壌中で流亡しやすく長期的な持続性がないため、吸収抑制のためには毎年のカリ施用が必要であった。

研究成果 40：17～18(2022)

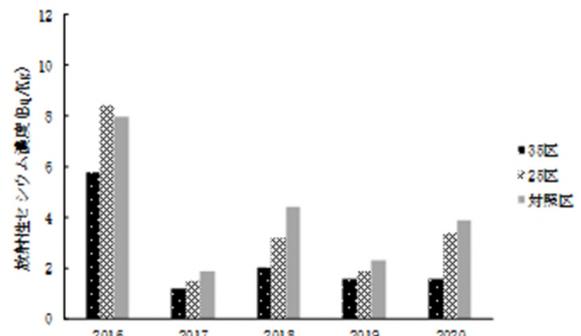


図7 玄米中の放射性セシウム濃度の経年変化（現地 2 ほ場）

オ 県内土壌定点調査

水稲の放射性セシウム吸収抑制対策として県内ではカリ施用を実施しているが、その対策終了に向けて、県内土壌の放射性セシウム濃度の推移を把握し、カリ施用の効果を検証した。

県内土壌の放射性セシウム濃度は年々減少し、その程度はセシウムの自然崩壊と同様だった。玄米の放射性セシウム濃度は平成 25 (2013) 年以降に減少し、その後は横ばい状態だった。放射性セシウムの土壌から玄米への移行係数については、平成 24 (2012) 年に比べて平成 25 (2013)

年以降では、土壤中カリウム濃度の減少の影響は小さかった。

研究成果 40：19～20(2022)

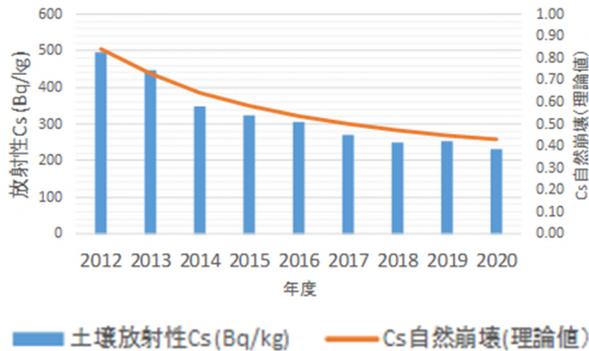


図8 県内定点(7地点)での土壤放射性セシウム濃度の推移

(3) 農薬の適正使用技術の確立

水稻への農薬散布による河川水中での農薬残留の実態を把握するため、県内小貝川流域で3年間調査を実施した。対象農薬を年間3～4成分、3年間の合計6成分として調査した結果、各農薬成分濃度は水域の生活環境動植物の被害防止に係る農薬登録基準(※1)や水質汚濁に係る農薬登録基準(※2)を下回り、各成分の最大検出値は水域基準の0.04%～55%、水濁基準の0.05～6.5%であった。

(※1 水域の生活環境動植物に被害を生じることを防止するための基準(環境省))

(※2 公共用水域の水質汚濁が原因となり、人畜に被害が出ることを防止するための基準(環境省))

研究成果 42：25～26(2024)

5 水田を最大限に活用した高度生産システムの確立

(1) 土壤環境改善によるアスパラガス多収栽培体系の構築

本県で栽培面積の増加が著しいアスパラガスの県内平均単収は10aあたり1,570kgで、最も多い熊本県の2,220kgに及ばない(2020年農林水産省作物統計調査)。また、単収は、670kgから4,300kg(本調査結果)とほ場間の差が非常に大きく、低生産性ほ場での増収が課題である。そこで、令和2(2020)年～4(2022)年まで主要産地で土壤環境の実態調査を実施し、収量と関連付けて低収の要因を明らかにした。

アスパラガスの県内主要産地ほ場33地点で実態調査を実施し、土壤環境と収量の関係を検討した。収量に対する

各調査項目の決定係数(r^2)は、0.00から0.15といずれも小さかった。収量に複数の環境因子を同時に関連付ける収量形成モデルを作成して解析した結果、収量は、減水深、腐植層の厚さ、無機態窒素、可溶性マンガ、可溶性亜鉛、交換性カリウム、可給態リン酸及び定植後年数に影響されているものと推察された。

研究成果 42：11～12(2024)