



農研機構

転炉スラグによる土壌pH矯正を核とした 土壌伝染性フザリウム病の被害軽減技術

－ 研究成果集 －

農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業（課題番号24015）

2015年2月

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
東北農業研究センター

本資料は、農林水産省の「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業」
(旧：新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業)により実施した研究成果を中心にとりまとめたものです。

研究課題：転炉スラグによる土壌pH矯正を核としたフザリウム性土壌病害の
耕種的防除技術の開発（課題番号：24015）

研究期間：2012～2014年度（3年間）

中核機関：農研機構東北農業研究センター

参画機関：(地独)青森県産業技術センター農林総合研究所、岩手県農業研究センター、宮城県農業・園芸総合研究所、福島県農業総合センター、東京農業大学、農研機構北海道農業研究センター、青森県農林水産部農林水産政策課農業改良普及グループ、青森県中南地域県民局地域農林水産部農業普及振興室、岩手県中央農業改良普及センター軽米普及サブセンター、宮城県農林水産部農業振興課

**本資料の複製や転載にあ
たっては、必ず当センター
の承諾を得て下さい。**

* 「農研機構」は、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーション
ネーム（通称）です。

はじめに

東北地域の野菜作は、夏場の比較的涼しい気候を活用した栽培体系が主体です。しかし、夏場は土壌病害が発生するのに十分な気温に達するため、被害が発生して栽培上の問題になっています。特にフザリウム病の発生は深刻であり、ホウレンソウやレタスなどに大きな被害を与えているところです。

この状況を解決するために、東北地域の研究機関の病害担当者が様々なアイデアを出す中で、青森県産業技術センター農林総合研究所が転炉スラグを用いて育苗土と圃場の土壌酸性改良を行うと作物に生理障害を出さずにハクサイ根こぶ病の被害が抑制されることを実証しました。そこで、私たちは転炉スラグをフザリウム病菌による土壌病害の被害低減に利用できないかとの議論をスタートさせました。また、約30年前から土壌酸性改良によりハクサイ根こぶ病の解決を図る研究を実施されていた東京農業大学の後藤逸男先生も交えてさらに検討を加え、本プロジェクトの骨格を構築しました。

また、転炉スラグについては、釜石市にある肥料会社が転炉スラグを原料とした石灰肥料を東北地域で既に販売しており、開発した技術の普及場面でも資材の確保は問題ないことを確認して本プロジェクトを進めてきたところです。

ところが、2011年3月の東日本大震災で東北地域はその対応に追われ、また転炉スラグの肥料会社は津波で工場が被災して肥料供給が中断されるなど、本研究はいったん棚上げになりました。しかし、東北地域の復興には震災以前から問題になっている土壌病害解決が重要と考え、関係者が当センターに集まってこれまでの試験結果の検討や今後の試験計画などを検討しました。また、(社)日本鉄鋼協会鉄鋼スラグ新機能フォーラムとも情報交換を行い、鉄鋼業サイドからも本プロジェクトの推進に協力していただきました。その結果、2012年度の「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」に採択されました。

このように、本プロジェクトは東日本大震災を乗り越えて立ち上げたものであり、その研究成果には東北地域の野菜生産関係者が大きな期待を寄せています。参画した研究機関は震災復興業務と平行して時間的あるいは予算的余裕がない中で、精力的にデータを収集しました。その結果をここに紹介できるのは、研究担当者に加え、普及支援を担当していただいた機関や実証試験圃場を提供いただいた生産者などの皆様のご協力があったからです。ここに深く感謝申し上げます。

平成27年2月

プロジェクト研究総括者

農研機構東北農業研究センター 生産環境研究領域 上席研究員 門田育生

目次

1. 転炉スラグの特徴

- 1) 土壌pHを弱アルカリ性にしても作物栽培が可能な転炉スラグ（転炉滓(さい)）・・・ 2
- 2) 転炉スラグ施用でフザリウム属菌は殺菌されない・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
- 3) 転炉スラグ施用量の決め方・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5

2. フザリウム属菌による土壤病害の被害軽減事例

- 1) ホウレンソウ萎凋病・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
- 2) レタス根腐病・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 10
- 3) イチゴ萎黄病
 - (1) 転炉スラグの粒状・粉状の違いがイチゴ萎黄病の被害に及ぼす影響・・・・・・・・ 12
 - (2) 耐病性品種を併用したイチゴ萎黄病の被害軽減技術・・・・・・・・・・・・ 14
- 4) セルリー萎黄病・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 16

3. フザリウム属菌以外による土壤病害に対する影響

- 1) 細菌性病害の被害発生に与える影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 20
- 2) ナス半身萎凋病の被害発生に与える影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 22

4. 転炉スラグを施用した圃場における施肥管理法

- 1) 土壌pH矯正圃場での施肥管理法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 26
- 2) 微量元素の土壌中での挙動と作物への移行・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 28

5. 転炉スラグ施用が栽培環境に与える影響

- 1) 復田後の水稻の生育・収量・品質に及ぼす影響・・・・・・・・・・・・・・・・ 32
- 2) 土壌微生物相への影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 34

6. 本成果の取り扱い上の注意点・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 36

- * プロジェクト参画者一覧・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 37

1. 転炉スラグの特徴

1) 土壌pHを弱アルカリ性にしても作物栽培が可能な転炉スラグ(転炉さい)

1 これまでの土壌酸性改良の常識：pHを6.5以上に高めるな！？

日本には酸性土壌が広く分布しています。そのため、特に野菜栽培では土壌酸性改良が大切な土づくりの一環となります。これまでの常識では、pHを6.5以上に高めてはいけないとされてきました。その理由は、野菜に深刻な微量元素欠乏を生じるためです。しかし、世界で最も肥沃な土壌チェルノーゼムのpHを測定すると8以上にも達します。チェルノーゼムには日本の土壌より微量元素が多量に含まれているため、高pHでも生育に支障ありません。

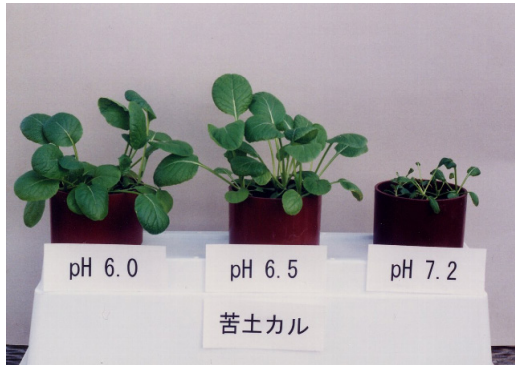


図1 高pHで発生するコマツナの微量元素欠乏

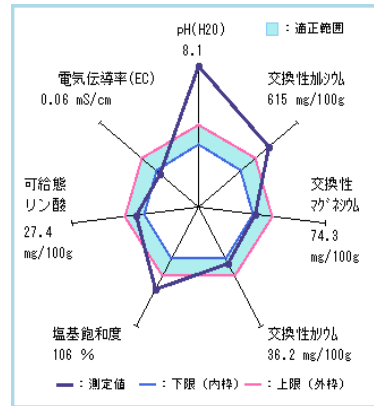


図2 チェルノーゼムの土壌診断図

2 土壌pHを7以上に高めても微量元素欠乏が出ない転炉スラグとは？

転炉スラグとは、製鉄所で銑鉄から鋼を製造するための転炉で副成される資材で、転炉さいとも呼ばれています。スラグ(鉱さい)とはいっても、原料は全て天然物(鉄鉱石・石灰岩・コークス)で、しかも1,600℃の高温で生産されるので、カドミウムやヒ素などは全く含まれていません。

副産石灰肥料あるいは特殊肥料として肥料取締法による登録を受けた肥料です。転炉スラグにはマンガンやホウ素などの微量元素が含まれているため高pHでも生育に支障ありません。



図3 転炉スラグ
(副産石灰登録品)



図4 転炉スラグ区では微量元素欠乏が出ない

表1 転炉スラグの肥料成分含有量

成分	可溶性ケイ酸	アルカリ分	可溶性苦土	可溶性マンガン	可溶性リン酸	鉄分	可溶性ホウ素
含有量(%)	10~13	45~50	3~5	3~5	1~2	23~27	0.1前後

3 根こぶ病やホモプシス根腐病対策資材として既に実用化されています

転炉スラグを施用して土壌pHを7.0~7.5に高めると、アブラナ科野菜根こぶ病やキュウリホモプシス根腐病の被害が軽減されます。この技術はすでに全国各地のアブラナ科野菜産地や東北のキュウリ産地で実用化されています。従来の石灰資材に比べると多量施用になりますが、長期間にわたって効果が持続します。転炉スラグの施用量は緩衝能曲線から求めますが、通常10アール当たり数トンです。



図5 東京都三鷹市のカリフラワー畑



図6 岩手県内のキュウリ畑(岩館原図)

4 転炉スラグを使う際の注意点

- ①市販されている転炉スラグには粉状品と造粒品がありますが、酸性改良には粉状品をライムソーで散布することを推奨します。20kg袋の他に200kgのフレコン袋入りも市販されています。
- ②転炉スラグ施用後には、土壌の交換性マグネシウムが欠乏しやすいので、土壌診断分析結果に基づいて、水酸化マグネシウム(水マグ)などで補給して下さい。
- ③転炉スラグ施用後には、アルカリ効果により土壌中の有機態窒素が無機化しやすくなるので、窒素施肥量に注意して下さい。また、有機物の分解も促進されるので、補給に心がけて下さい。
- ④土壌pHの上昇により、ジャガイモそうか病が助長されるので、注意して下さい。



図7 転炉スラグ市販品



図8 転炉スラグの造粒品(左)と粉状品(右)



図9 土壌pH上昇により、ジャガイモそうか病を助長



図10 フレコン入りの転炉スラグ



図11 ライムソーによる転炉スラグ散布

(東京農業大学 後藤逸男、大島宏行)

2) 転炉スラグ施用でフザリウム属菌は殺菌されない

転炉スラグあるいは消石灰を用いて土壌pHを7.0~8.0程度まで矯正しても、フザリウム属菌の生存に影響することはありません。したがって、転炉スラグの被害軽減効果は殺菌作用ではないと考えられます。

このことは、被害が見られなくても病原菌は生存している場合もあることを示しています。そのため、農業機械や資材の洗浄など、病原菌を拡散しない取り組みはこれまで通りに実施する必要があります。

1 転炉スラグ

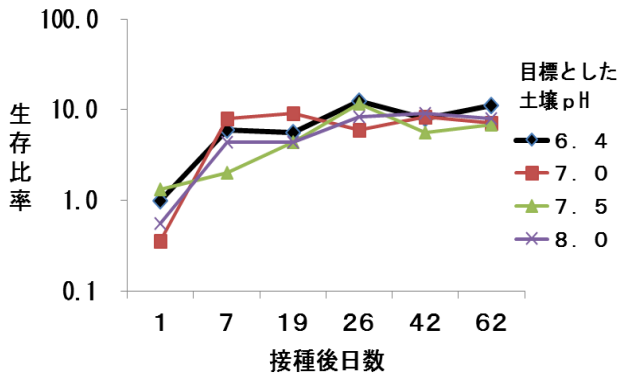


図12 転炉スラグの土壌施用がフザリウム属菌の生存に与える影響

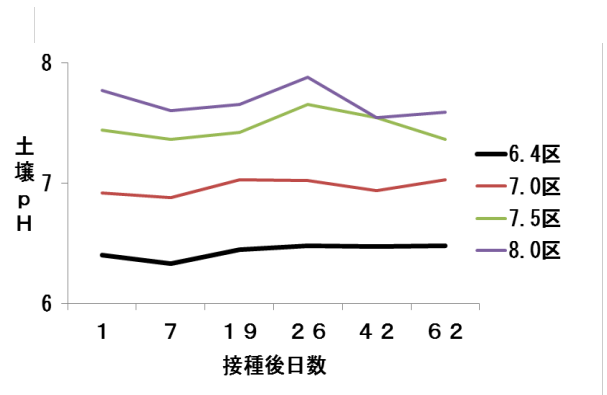


図13 試験期間の土壌pHの推移

2 消石灰

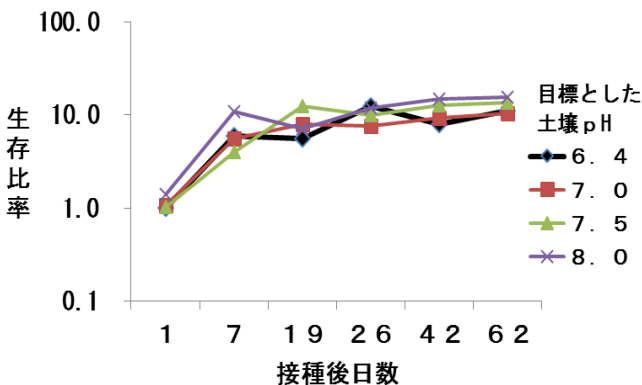


図14 消石灰の土壌施用がフザリウム属菌の生存に与える影響

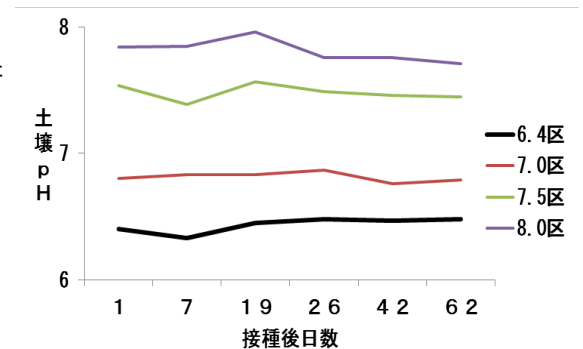


図15 試験期間の土壌pHの推移

注) 図12~15は実験室内での試験結果。土壌は育苗培土 (pH6.4) を用いた。生存比率は、フザリウム属菌 (トマト萎凋病菌) を土壌に接種した1日後のpH6.4の菌数を1としたときの各試験区での生存数の割合で示している。

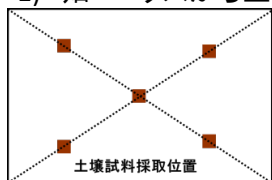
3) 転炉スラグ施用量の決め方

従来の炭カルや苦土石灰により土壌の酸性改良を行う際には、緩衝能曲線を作成せず、土壌pHを測定して、土性と腐植量を基にアレニウス表から施用量を決定する方法もありますが、使用する転炉スラグの種類や土壌の種類によりpHの上がり方が大きく異なります。転炉スラグを用いて、土壌pHを確実に7.5程度まで高めることが本技術の基本ですので、必ず緩衝能曲線を作成して、施用量を決定して下さい。

1 用意するもの: 畑やハウスから採取した土壌 ・ 施用する転炉スラグ ・ 500ccのプラスチック製 広口瓶4個 ・ 純水 ・ 振とう機 ・ pHメーター ・ 5~10mm目の園芸用ふるい

2 方法

1) 畑・ハウスから土壌を採取する。



- (1) 5ヶ所から、それぞれ約200gの土壌を採取する。
 - (2) 土壌を混合して、ふるいにかかけ、夾雑物を除去。
 - (3) 土壌水分を、圃場容水量程度に調整する。
- * 過湿の場合には、風乾する、乾いている場合には水を加えて、土壌を手のひらで握りしめ、開いても土塊が崩れない程度に調整する。

2) 土壌に転炉スラグを添加する。

(1) 4個の広口瓶に、土壌をそれぞれ100g採り、転炉スラグを0g、1.0g、2.5g、5.0g 添加する。

- ★ 測定結果を出すまでに時間的余裕がある場合は、★(お勧め)へ
- ★ 測定結果を急いで出す必要がある場合には、★(急ぎ)へ

★(お勧め)

- (2) 広口瓶に蓋をして、広口瓶を手でよく振り、土壌と転炉スラグをよく混合する。
- (3) 蓋を閉めた状態で、1週間静置する(室温)。
- (4) 1週間後、4個の広口瓶に純水を250ml加えて、振とう機で1時間振とうする。

★(急ぎ)

(2) 4個の広口瓶に純水を250ml加えて、振とう機で5時間振とうする。

3) 土壌懸濁液のpHを測定する。

- * 電極を懸濁液に挿入して、1分後に測定値を読むと再現性がよい。その際、pHメーターの読みは、小数点以下1桁でよい。

4) 測定値を図にプロットして緩衝能曲線を作成する。

5) 緩衝能曲線より、転炉スラグ施用量を決定する。

[事例(右図)]

- ① 土壌pHを7.5とするには、
土壌100g当たり、3gの転炉スラグが必要。
- ② 改良深10cmの場合には、3t/10a。
- ③ 改良深15cmの場合には、 $3 \times 1.5 = 4.5\text{t}/10\text{a}$ 。

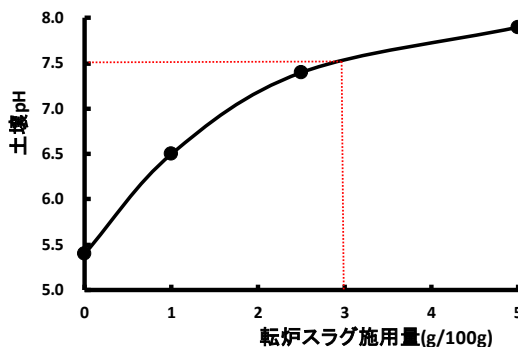


図16 緩衝能曲線

6) 注意点

- * 転炉スラグを秤量する時には、よく攪拌しながら。
- * 畑・ハウスに転炉スラグを散布した後は、速やかに混和する。
- * 土壌混和2~3週間後に播種・定植することが望ましい。また、その前に土壌pHを測定して、充分上昇していない場合には、転炉スラグを追加施用することが望ましい。

(東京農業大学 後藤 逸男)

2. フザリウム属菌による土壌 病害の被害軽減事例

1) ホウレンソウ萎凋病

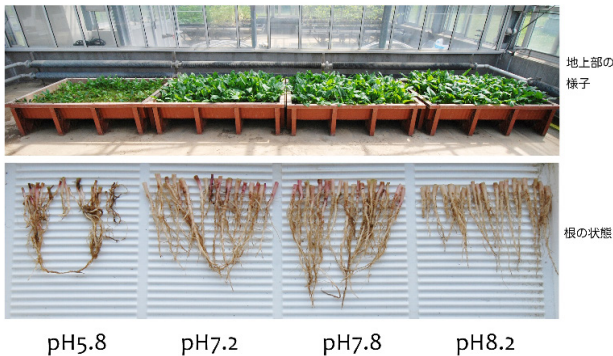
1 病害抑制に好適な土壌pHの検討

土壌pHが高いほど、ホウレンソウ萎凋病の発生を抑制できますが、土壌pHが8を越えると生理障害が発生しやすくなります。矯正目標はpH7.5とします。

表2 転炉スラグ処理量が萎凋病の発病及びホウレンソウ生育に及ぼす影響(2012、隔離床試験)

転炉スラグ処理量 (kg/10a)	土壌pH (深度0-10cm)	土壌pH (深度0-20cm)	地上部 発病度 ¹⁾	根部 発病度 ¹⁾	調製重 (g) ²⁾	草丈 (cm) ²⁾	葉色 (SPAD値) ²⁾	根部乾物重 (g) ³⁾
0	5.8	5.6	77.5	53.8	3.5±1.4	13.0±3.2	43.5±5.6	0.7
5,000	7.2	6.7	12.5	20.0	14.1±5.9	25.3±3.3	42.3±4.9	1.3
10,000	7.8	7.1	5.5	16.3	14.2±4.1	25.6±1.8	45.0±3.0	1.5
20,000	8.2	7.6	3.5	7.5	18.5±5.0	28.5±2.4	43.0±2.2	1.1

1)50株調査 2)20株調査の結果を平均値±標準偏差で表示 3)20株合計値 供試品種:プリウス



土壌pHが8を越えると、生理障害（葉色が淡くなる、根の生育が悪くなる）が発生しやすくなるので矯正目標pH（7.5）に注意が必要です。

図17 調査時における生育状況(2012、隔離床試験)

2 圃場の土壌pH矯正による被害軽減効果および生育・収量への影響

本病発生圃場に転炉スラグを処理し、土壌pHを矯正することで本病の被害を軽減できます。緩衝能曲線の作成結果に基づいて、作土10cmの深さまでpH7.5に矯正することを目標に、転炉スラグを処理します。

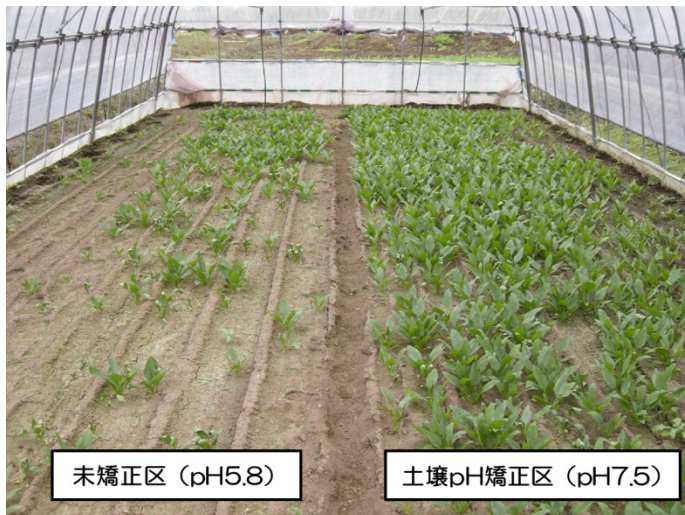


図18 転炉スラグによるホウレンソウ萎凋病被害軽減効果

試験概要(図18~20)

2013年に岩手県八幡平市現地圃場において試験を実施。転炉スラグを2t/10aを処理し、土壌pHを7.5に調整。品種は、1、2作目サンホープゼン、3作目ミラージュ。

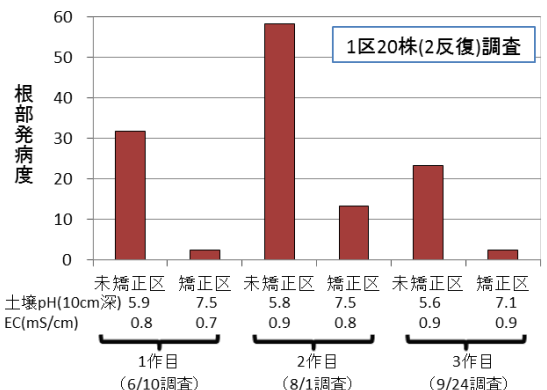


図19 現地試験における根部発病調査

現地圃場においても生育・収量に対する負の影響は認められませんでした。

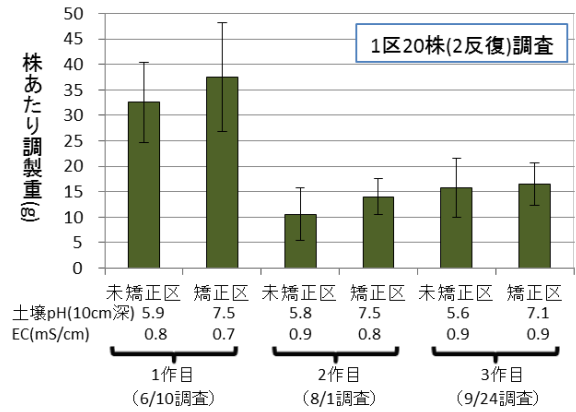
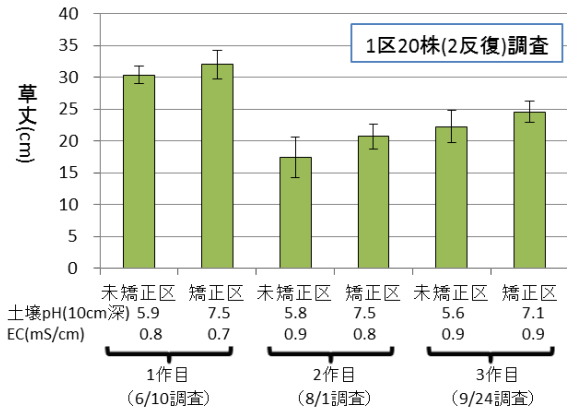
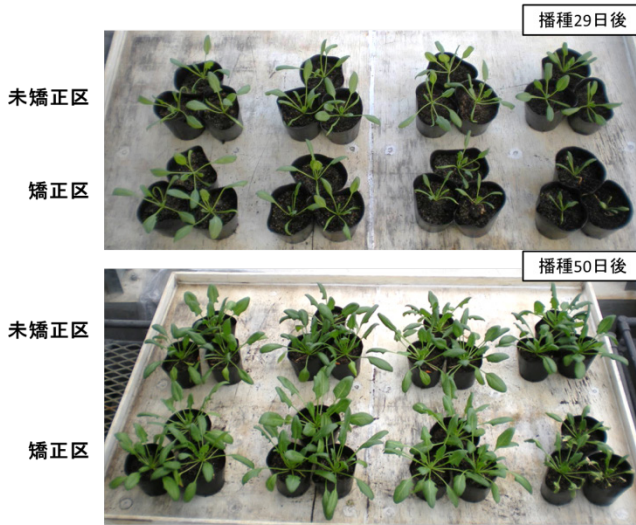


図20 転炉スラグ処理後の生育調査結果 (左:草丈、右:調製重)

3 高EC土壌への転炉スラグ処理によるハウレンソウの生育に対する影響

土壌のECが高くなると、ハウレンソウの生育は抑制されますが、転炉スラグ処理により影響がさらに大きくなる場合があります。土壌分析結果に基づいて土づくりを正しく行った上で、本技術を導入してください。



試験区		A	B	C	D	
EC 実測値	栽培 開始時	未矯正区	1.06	1.75	2.82	4.06
		矯正区	1.09	1.91	2.82	3.59
	栽培 終了時	未矯正区	0.57	1.01	1.92	2.25
		矯正区	0.84	1.62	2.77	3.07

栽培開始時のpH 未矯正区:5.9~6.1、矯正区:7.5~7.7

図21 EC別土壌における生育状況

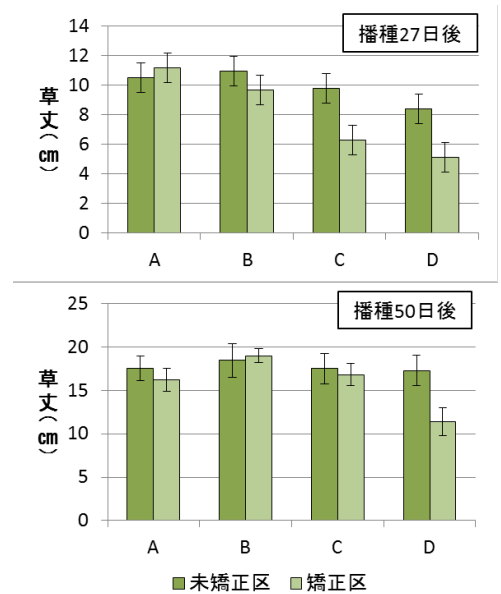


図22 EC別土壌における生育調査結果

図21、22は2014年のポット試験で、1区10株(反復なし)調査

土壌中のマグネシウム含量が低い圃場 (MgO含量が40mg/100g以下) では、転炉スラグのみを処理した場合、マグネシウム欠乏症が発生しやすくなりますので、転炉スラグ処理と同時に苦土肥料も施用しマグネシウム欠乏症の発生を抑制する必要があります。

2) レタス根腐病

1 基本技術としての圃場の土壌pH矯正

転炉スラグを用いて土壌pHを7.5程度に矯正することで、レタスの生育に悪影響なく根腐病の被害を軽減することができます。

圃場の土壌pH矯正の際には、緩衝能曲線の作成結果に基づいて、作土30cmの深さまでpH7.5に矯正することを目標に、所定量の転炉スラグを混和します。

品種「サウザー」



pH6.5 → pH7.1 → pH7.5

土壌pHを上げると発病が少なくなります

図23 転炉スラグによる土壌pH矯正とレタス根腐病の発病との関係

地下部の被害→

品種「サウザー」



pH矯正区 (pH7.5) ← | → pH未矯正区 (pH6.2)

※灰色低地土の圃場で
転炉スラグ3.7t/10a施用

図24 転炉スラグを用いた土壌pH矯正によるレタス根腐病の被害軽減効果 (2011年秋作予備試験)

2 併用する技術

(1) 品種の耐病性の活用

レタス根腐病菌には、レタス品種に対する病原性が異なる3つのレース (レース1、2、3) の存在が知られています。青森県で発生が確認されているレース1に対しては、土壌pH矯正と品種の耐病性を併用することで、根腐病の被害を効果的に軽減することができます。

表3 レタス根腐病菌レース1に対するレタス品種の耐病性 (2011~2012年接種試験)

耐病性	品種名
あり (◎)	「オアシス」、「極早生シスコ」、「サンパレー」、「パレイ」、「マリーナ」、「バラエティ (リーフレタス)」
あり~ややあり (◎~○)	「キングシスコ」、「サクラメント」、「ラプトル」
ややあり (○)	「アスレ」、「ウィザード」、「カーチス」、「カイザー」、「キングクラウン」、「クリスタル」、「サマーランド」、「サリナス88」、「スターレイ」、「ステディ」、「ステディ classic」、「デローサ」、「トップマーク」、「ワトソン」
なし (×)	【結球レタス】: 「サウザー」、「ひかまわまる」など46品種 【リーフレタス】: 「グリーンウェーブ」など19品種

注) 耐病性の評価は農林総合研究所が行った接種試験の結果に基づく。品種の選定に際しては、作型や地域で求められる品種特性 (晩抽性、耐暑性、形、色) 等を十分考慮します。

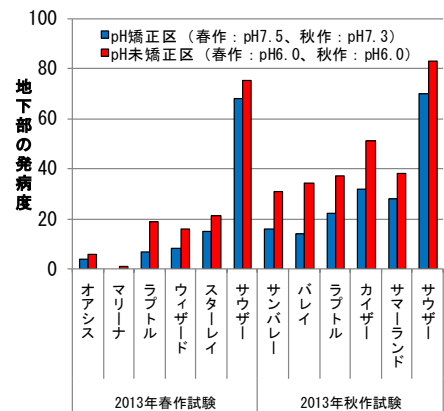


図25 転炉スラグによる土壌pH矯正と品種の耐病性の併用によるレタス根腐病の被害軽減効果

(2) ペーパーポット育苗

一般的な育苗方法のうち、セルトレイ育苗では定植時に株を取り出す際に根傷みすることがあり、傷口からの病原菌の感染が助長される恐れがあります。ペーパーポット育苗を行うと定植時の根傷みが少なく、根腐病の被害を軽減することができます。さらに、土壌pH矯正との併用で被害軽減効果が向上します。

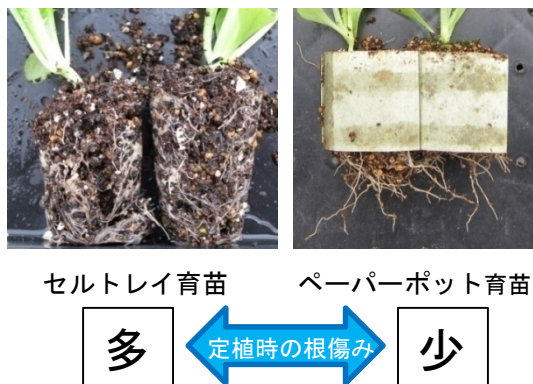


図26 育苗方法の違いによる根部の比較

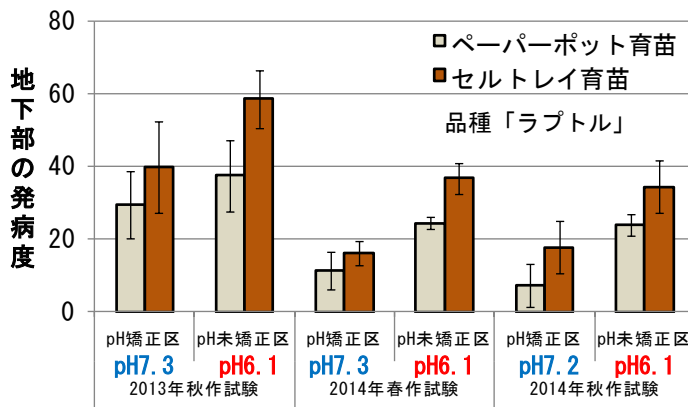


図27 転炉スラグによる土壌pH矯正と育苗方法の併用によるレタス根腐病の被害軽減効果

注意：レタスの育苗では、培土のpH矯正は行いません。レタスではpHを7.7~8.0程度まで上げ過ぎた場合に、培土の種類・育苗時期によって、育苗中の生育が悪くなる場合があります。

3 3つの耕種的方法を併用した被害軽減技術とその効果

①転炉スラグを用いた圃場の土壌pH矯正、②品種の耐病性の活用および③ペーパーポット育苗を併用することで、これまでの慣行栽培方法に比べて根腐病の被害を効果的に軽減することができ、収量が向上します。



被害軽減技術実証区 ← | → 慣行栽培区

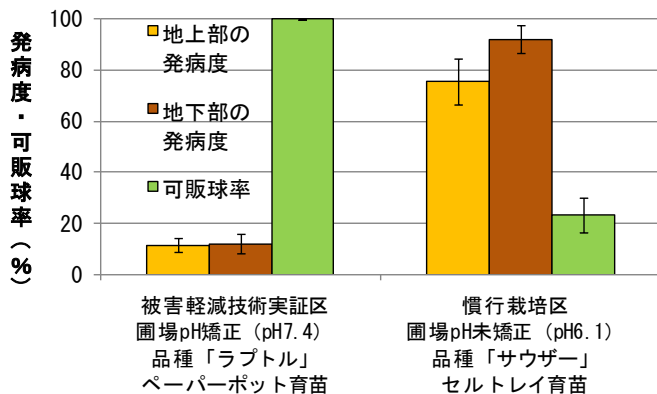


図28 転炉スラグを用いた土壌pH矯正に品種の耐病性とペーパーポット育苗を併用したレタス根腐病の被害軽減効果 (2014年春作試験)

3) イチゴ萎黄病

(1) 転炉スラグの粒状、粉状の違いがイチゴ萎黄病の被害に及ぼす影響

1 転炉スラグの種類

転炉スラグは複数の製品が流通し、造粒品（以下粒状）、粉状品（以下粉状）などの違いがみられます。市販の粒状、粉状の転炉スラグを用いて緩衝能曲線を作成すると、粉状では粒状よりもpH矯正効果が高く、少ない施用量で土壌pHの矯正が可能です。

pH6.2の園芸培土1kgを目標pH7.5として矯正する例



転炉スラグ造粒品(粒状) 44g



転炉スラグ粉状品(粉状) 27g

※緩衝能曲線は各土壌で作成する必要があります。

2 転炉スラグのイチゴ生育への影響

転炉スラグ施用によるイチゴ生育への影響を検討した結果、展開葉数、草丈、葉柄長、小葉長に影響はありません。また、収穫果数、収量においても影響がありません。果実品質では、転炉スラグ処理区で果皮硬度が高くなる傾向がありましたが、糖度、酸度、果肉硬度に影響はありません。

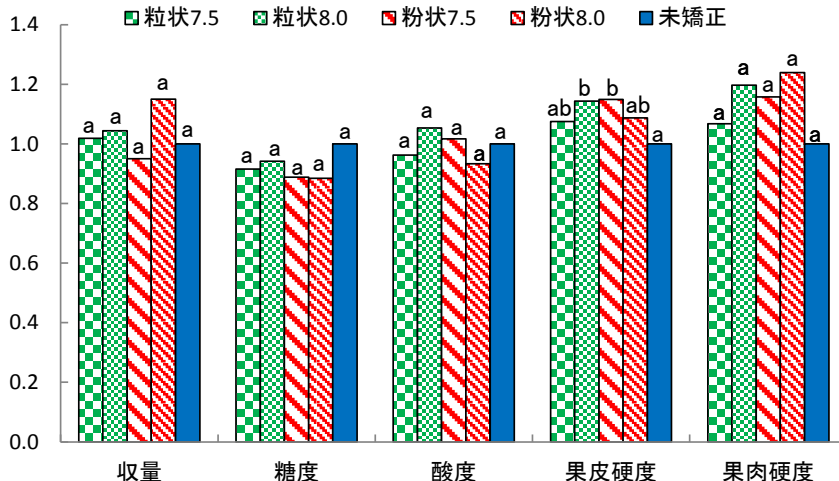


図29 各転炉スラグ資材が収量、品質に及ぼす影響

- ・各調査項目は無処理を1として算出した比率を示す。
- ・供試品種は「とちおとめ」。
- ・Tukey多重比較検定により同一アルファベット間に5%水準で有意差なし。

3 粒状、粉状の違いがイチゴ萎黄病の被害に及ぼす影響

粒状、粉状の各転炉スラグを用いた土壌pH矯正目標を7.5、8.0としてイチゴ萎黄病に対する被害軽減効果を検討した結果、地上部、根部発病株割合は、粒状よりも粉状で低い傾向が認められました。粉状は、粒状よりもpH矯正効果が高く、土壌中に微細に分散することで発病が抑制されたと考えられます。

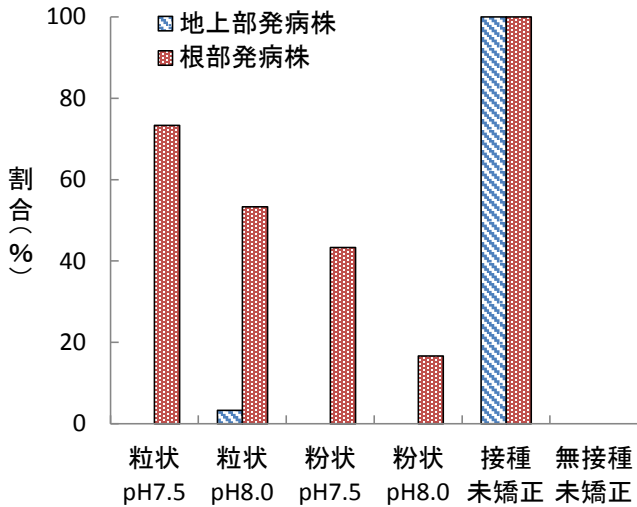


図30 各転炉スラグ資材による土壌pH矯正がイチゴ萎黄病の発病に与える影響(ポット試験)
 ・供試品種は「とちおとめ」。
 ・調査は接種58日後に行った。

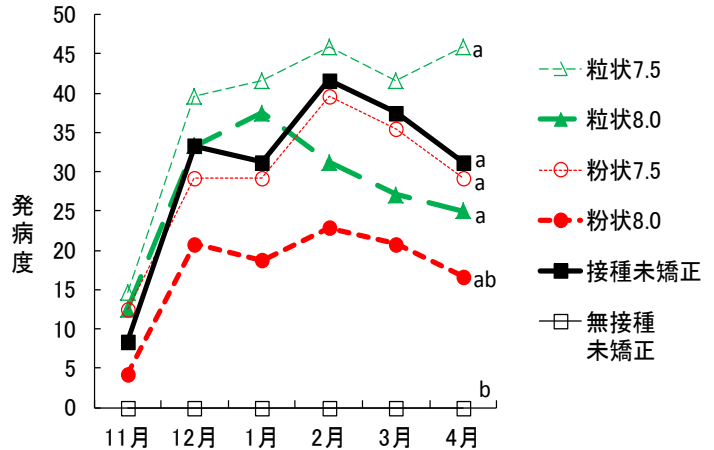


図31 各転炉スラグ資材と土壌pH矯正の違いによる地上部発病の推移(プランター試験)
 ・供試品種は「とちおとめ」。
 ・指数0:発病を認めない 指数1:小葉の奇形、黄化 指数2:枯死
 ・発病度 = $\sum(\text{程度別発病株数} \times \text{指数}) \times 100 / (\text{調査株数} \times 2)$
 ・発病指数について、Steel-Dwass多重比較検定により同一アルファベット間に5%水準で有意差なし。

イチゴ萎黄病が発生している現地土壌で各転炉スラグを用いて矯正目標pHを7.5として施用した結果、地上部、根部発病は、粒状よりも粉状で低い傾向が認められました。

しかし、イチゴ萎黄病においては、クロルピクリンくん蒸剤のような高い防除効果は期待できないため、他の防除法(14ページ)と併用する必要があります。

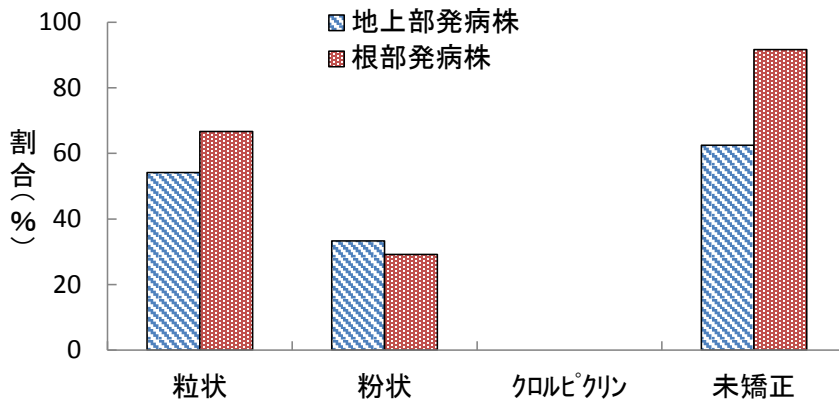


図32 各転炉スラグ資材による土壌pH矯正がイチゴ萎黄病の発病に与える影響(現地汚染土壌)
 ・供試品種は「とちおとめ」。
 ・定植は2013年9月25日、地上部調査は2014年4月29日、根部調査は2014年5月28日に行った。

(2) 耐病性品種を併用したイチゴ萎黄病の被害軽減技術

1 圃場の土壌pH矯正による被害軽減効果

転炉スラグを用いて土壌pHを7.5程度に矯正することで、イチゴの生育を損なわずに萎黄病の被害を軽減することができます。

圃場の土壌pH矯正の際には、緩衝能曲線の作成結果に基づいて、作土10cmの深さまでpH7.5程度に矯正することを目標に、所定量の転炉スラグを混和します。



図34 転炉スラグによる土壌pH矯正とイチゴ萎黄病の発病との関係（品種「もういっこ」）

図33 イチゴ萎黄病による被害症状

2 耐病性品種の併用による被害軽減効果

転炉スラグによる土壌pH矯正に、耐病性イチゴ品種「もういっこ」を併用することで被害の軽減効果が高まります。

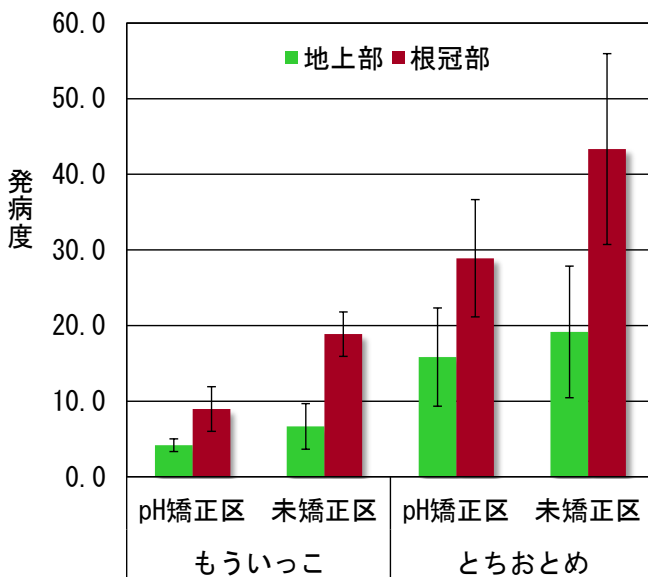


図35 萎黄病の発病と土壌pH矯正及びイチゴ品種の関係（植土区：2012）



図36 イチゴ萎黄病の品種間差（萎黄病菌接種・転炉スラグ未処理）

3 転炉スラグを用いた土壌pHの矯正によるイチゴ品質に対する影響

転炉スラグを施用して土壌pHを7.5に矯正しても、イチゴ品種「もういっこ」の収量及び果実品質に影響は見られません。

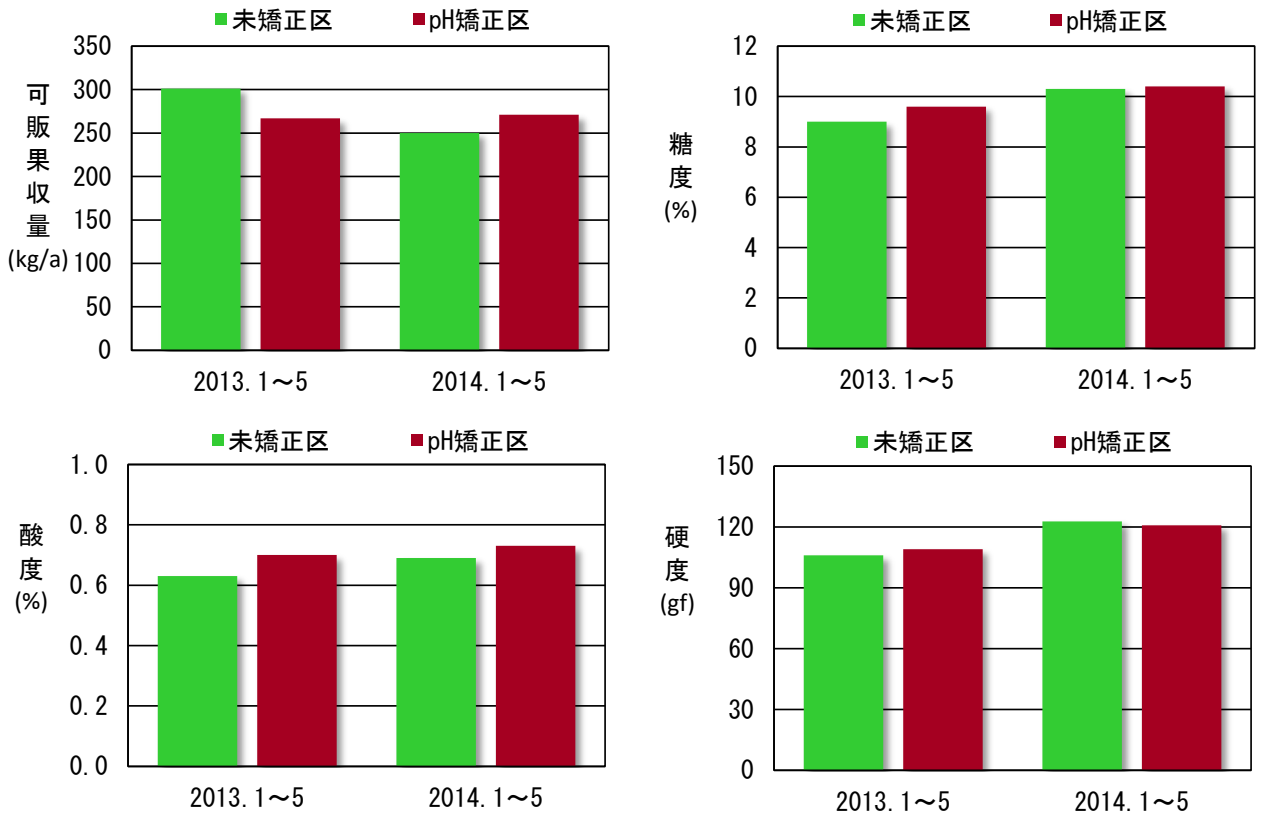


図37 転炉スラグによる土壌pH矯正とイチゴ品質の関係 (品種「もういっこ」)

転炉スラグによる土壌pH矯正の効果は、砂壤土よりも埴土で安定して持続されました。

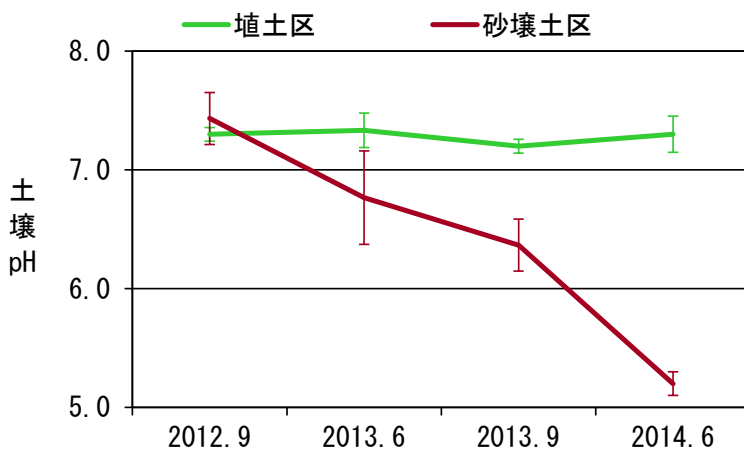


図38 土壌の種類と土壌pHの推移 (転炉スラグの施用は2012年のみ)



4) セルリー萎黄病

1 転炉スラグによる土壌酸性改良

転炉スラグを用いて土壌pHを7.5に改良することで、セルリーの生育に支障をきたすことなく萎黄病の発病を軽減することができます。



発病ハウス



被害株



無発病ハウス

図39 セルリー萎黄病による被害症状

表4 セルリーハウスの作付け体系

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
作型		セルリー		□ △	スイートコーン(緑肥)		□	太陽熱消毒	△	セルリー		□ △

転炉スラグ施用(初年度のみ)

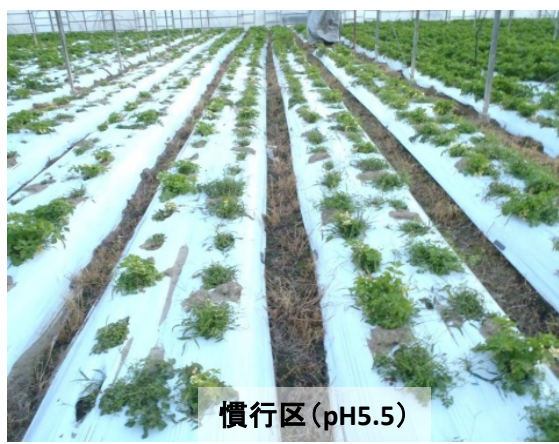
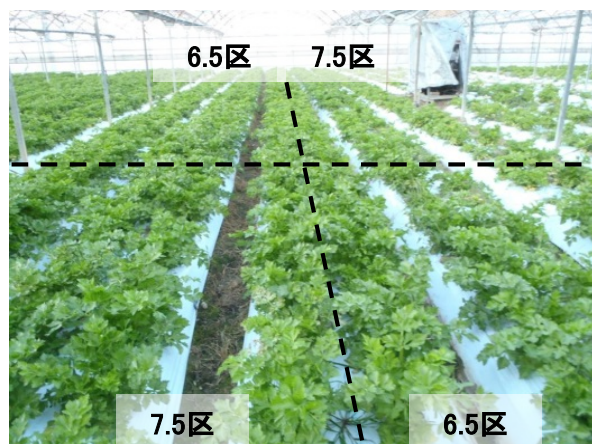


図40 転炉スラグによる土壌酸性改良とセルリー萎黄病発病の関係
 転炉スラグをpH6.5区には1t/10a、pH7.5区には3t/10a施用した。太陽熱消毒日数29日、積算地温1250°C (2012年度1期作の試験)

表5 発病度および跡地土壌の化学性

試験区	発病率 %	発病度	pH H ₂ O	EC dS/m	硝酸態窒素 mg/100g
慣行区(5.5)	100 a	87 c	5.4	0.61	19.5
6.5区	96 a	58 b	6.4	0.50	14.9
7.5区	73 a	30 a	7.5	0.40	12.0

同色・同一アルファベット間に有意差無し α=0.05 n=15

2 土壤養分適正化を組み込んだ総合防除対策が基本

フザリウム病は、リン酸過剰によって発病が助長されます。土壤養分が蓄積した園芸土壤では、土壤消毒の他に土壤診断に基づいた施肥改善と土壤酸性改良を組み合わせた総合防除対策が不可欠です。静岡県セルリーハウスのように夏期が不作付けとなる作型では、太陽熱消毒を組み合わせることで、萎黄病の被害を効果的に軽減することができます。



図41 収穫したセルリーの生育比較（2013年度1期作）

表6 2013年度1期作の施肥量

試験区	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg/10a		
慣行区	42	0	47
6.5区、7.5区	25	0	30
2003年施肥量	240	140	100

表7 収量および発病度

試験区	調整収量	発病率	発病度
	t/10a	%	
慣行区(5.5)	5.2	41.7	15.0
6.5区	5.5	16.0	5.3
7.5区	5.3	18.8	7.6

土壤診断に基づいて窒素施肥量を削減することで、酸性改良の持続効果が高まります。また、転炉スラグによる土壤の酸性改良だけでは、病原菌密度を減少させる効果は期待できません。

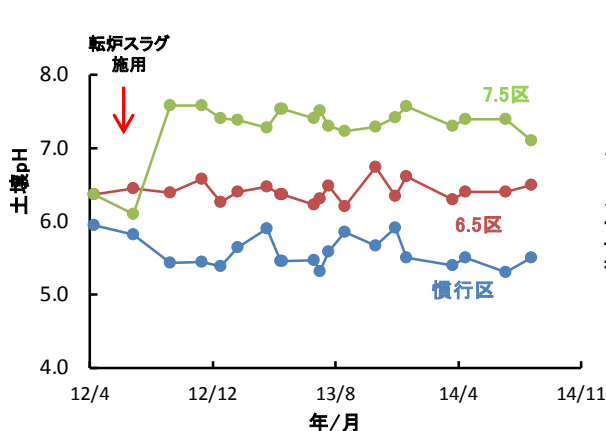


図42 作土におけるpHの経時変化

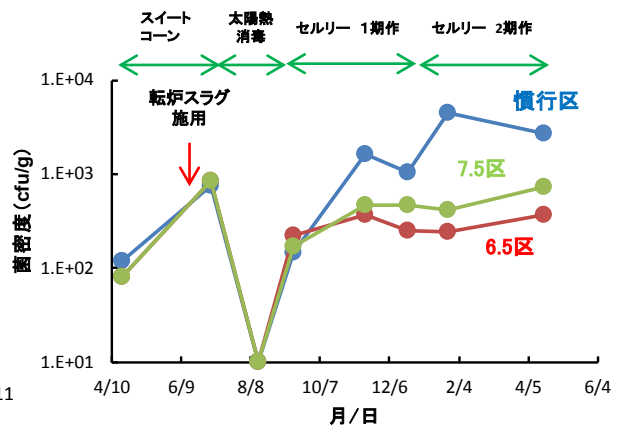


図43 作土におけるフザリウム属菌密度の経時変化（2012年度作）

3. フザリウム属菌以外による 土壌病害に対する影響

1) 細菌性病害の被害発生に与える影響

1 トマトかいよう病

転炉スラグを用いて育苗培土の土壌pHを7.5~8.0程度まで矯正してもトマト苗の生育に影響はありません。ただし、トマトかいよう病菌を接種するとpH7.5以上で被害が発生したことから、トマト育苗に転炉スラグを施用する場合は注意が必要です。また、転炉スラグを施用した圃場にトマト苗を移植しても、トマトかいよう病の被害が助長されることはありません。

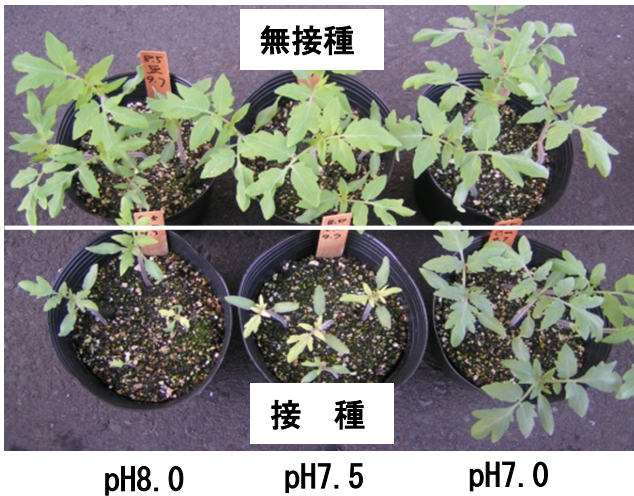


図44 育苗期感染によるトマトかいよう病の被害発生状況



病原菌接種によるトマトかいよう病の被害の発生



翌年、健全苗を移植するとかいよう病の被害はほとんどなかった。



図45 転炉スラグによる土壌pH矯正が圃場でのかいよう病の被害発生に与える影響

2 トマト青枯病

転炉スラグを施用すると、トマト青枯病の被害発生が少なくなります。消石灰などの石灰肥料の施用は本病の被害を軽減することが既に報告されていますので、転炉スラグでも同様の効果があると考えられます。



土壌pH矯正区
目標pH7.5、栽培中の実測値 pH7.3-7.7



土壌pH未矯正区
栽培中の実測値6.0-6.4

図46 土壌pH矯正がトマト青枯病の発生に与える影響

3 ハクサイ軟腐病

転炉スラグの施用の有無により、ハクサイの生育に大きな違いはありません。また、ハクサイの生育後半に軟腐病が発生しましたが、転炉スラグ施用によって被害の発生が助長されることはありません。

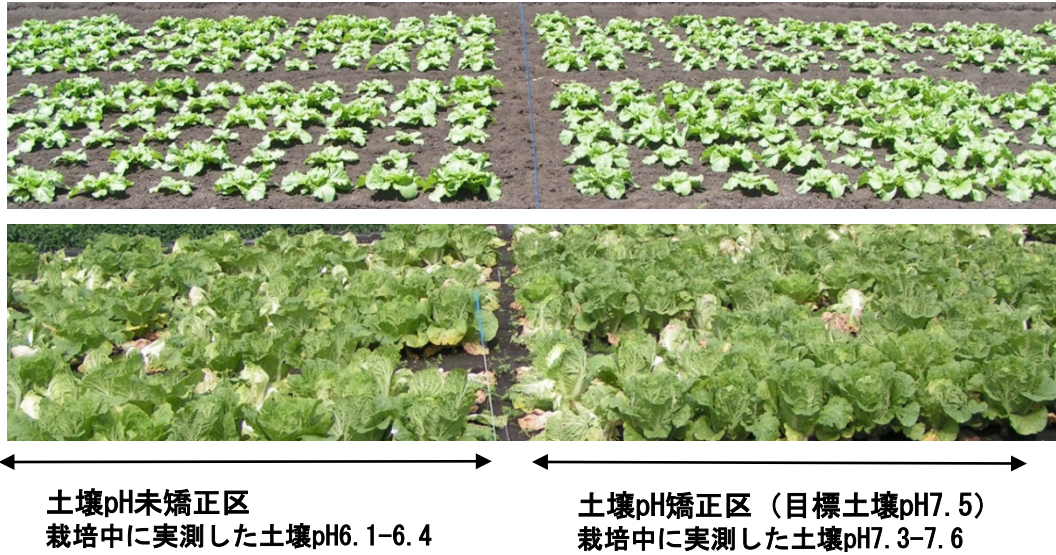


図47 転炉スラグによる土壌pH矯正がハクサイの生育および軟腐病の発生に与える影響
写真上：生育初期、写真下：生育中後期

4 土壌中での病原細菌の生存密度の推移

転炉スラグを土壌に施用してpH8.0程度まで矯正しても、そこに接種した病原細菌の生存にはほとんど影響はありません。また、トマト青枯病の被害が転炉スラグ施用により減少しますが、その作用は殺菌効果ではないと考えられます。

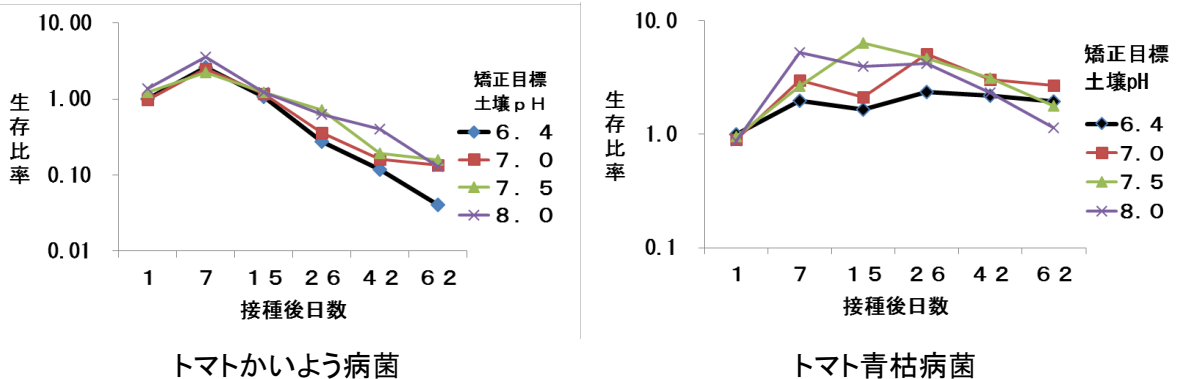


図48 転炉スラグ施用が病原細菌の生存に与える影響

2) ナス半身萎凋病の被害発生に与える影響

ナス半身萎凋病は、病原性糸状菌 *Verticillium dahliae* によって引き起こされる土壌病害で、産地では土壌消毒や耐病性台木でも防ぎきれない場合が認められるなど、新たな防除対策が求められています。

一方、他作物では *V. dahliae* による土壌病害と土壌pHとの関係について、pHが低い場合に発病が抑制される（参考文献1）、あるいは高pHで発病が促進される（参考文献2）とする報告があります（関係が明らかでないとする報告もあります）。そのため、以下のような場合に本病による被害の激化をまねくことが懸念されました。

- ・本病の被害軽減をねらって転炉スラグによる土壌pH矯正を行う。
- ・他病害（土壌伝染性フザリウム病・ホモプシス根腐病等）の被害軽減のため土壌pH矯正を実施した圃場で、ナスに転作する。

そこで、プランター試験や圃場試験により転炉スラグによる土壌pH矯正の影響を調べました。

表8 土壌pH矯正がナス半身萎凋病の発病程度に与える影響（自根）

試験場所	3週後		5週後		
	未矯正	pH矯正	未矯正	pH矯正	
プランター	25.0	66.7	79.2	91.7	
圃場	1	24.1	26.8	48.3	50.0
	2	22.2	16.5	47.7	48.3
	3	1.8	10.7	42.9	91.1

プランター試験は2013年度、圃場試験は2014年度の結果。なお、圃場試験の3は、1を実施した後の圃場に2回目の作付けを行った。数値はいずれも発病度。未矯正の土壌pH（作付け前）は、プランター試験では概ね6.1。圃場試験1および3では概ね5.5~6.0。圃場試験2は概ね6.7。いずれの試験でも矯正目標値は7.5（圃場の場合は表層10cm）とした。品種は「くろべえ」を用いた。

表9 土壌pH矯正がナス半身萎凋病の発病程度に与える影響（接木）

	3週後		5週後	
	未矯正	pH矯正	未矯正	pH矯正
プランター	12.5	6.3	15.6	37.5
圃場	0	1.8	0	60.7

プランター試験、圃場試験ともに2014年度の結果。なお、圃場試験は、表8の圃場試験3と同一の圃場。数値はいずれも発病度。未矯正の土壌pH（作付け前）は、プランター試験では概ね6.1。圃場試験では概ね5.5~6.0。いずれの試験でも矯正目標値は7.5（圃場の場合は表層10cm）とした。品種は「くろべえ」を用い、「トルバム」に接ぎ木した。

pH矯正を行った場合の発病は同等か、より発病が高くなる傾向が見られました（表8、9）。特に、pH矯正を行った汚染圃場で作付けを繰り返した場合に、矯正していない圃場と比較して発病がより激化する事例がありました（表8の圃場試験3、表9の圃場試験および図49）。

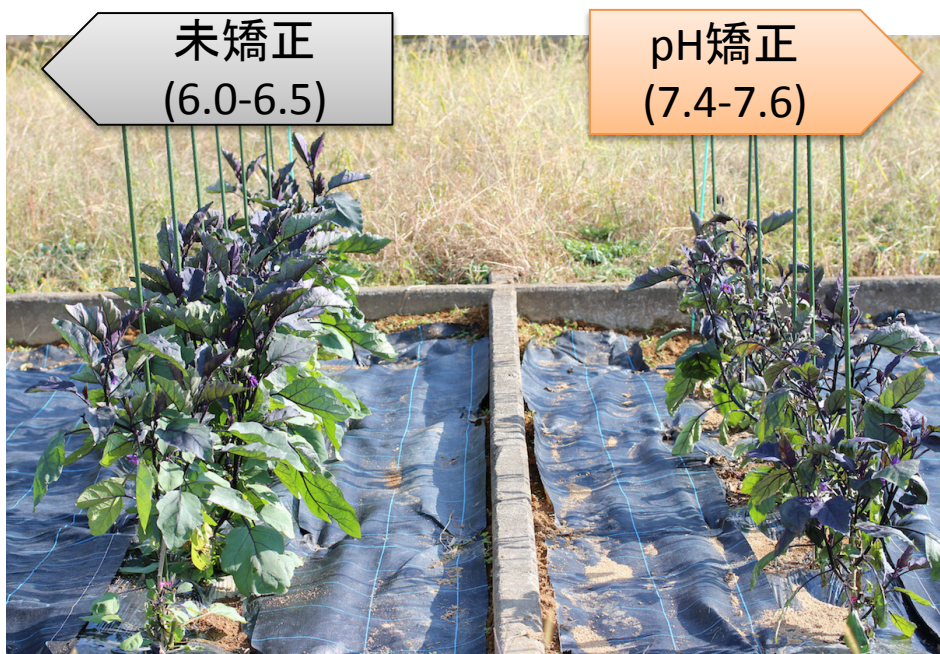


図49 接木栽培（表9の「圃場試験」）での土壌pH矯正の影響（括弧内は栽培期間内の土壌pH実測値の範囲）

土壌伝染性フザリウム病やホモプシス根腐病の被害軽減を目的とした転炉スラグによる土壌pH矯正（目標pH7.5）の方法では、ナス半身萎凋病に対する被害軽減効果は期待できないと考えられます。

土壌pHを矯正した状態でナスの作付けを行った場合に、本病による被害を激化させる恐れがあります。このような圃場でナスを作付けする場合、深耕する（表層10cmのみ矯正している場合）などしてpHを矯正前の状態に戻すことが推奨されます。

他作物における*V. dahliae*の土壌病害に対して同様の影響が生じるかは不明ですが、注意を払う必要があると考えられます。

文中で示した参考文献の情報：

- 1) 酒井ら(2003):日本植物病理学会報(講要)
- 2) Dutta, B.K.(1981):Plant and Soil 63,217-225

4. 転炉スラグを施用した圃場における施肥管理法

1) 土壌pH矯正圃場での施肥管理法

1 土壌pH矯正による窒素発現量の変化

土壌pHを7.5程度に高めると、土壌有機物を分解して無機態窒素を作り出す微生物の活性が高まり、土壌からの窒素発現量が多くなる「アルカリ効果」という現象が起こります。pH矯正による窒素発現量の増加割合は、土壌有機物の量や矯正前のpHにより異なります。

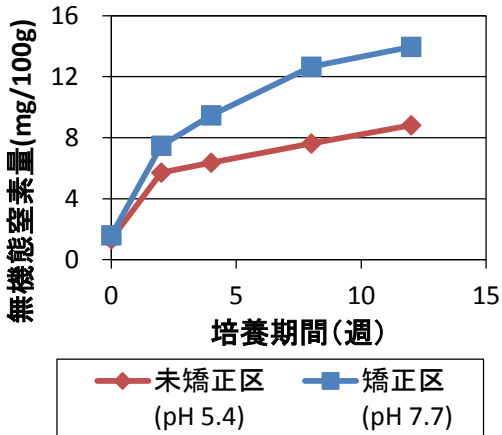


表10 pH矯正による無機態窒素量の増加割合

土壌	培養12週後の 無機態窒素量(mg/100g)		増加割合 (矯正/ 未矯正)
	未矯正	矯正 (pH 7.5)	
褐色 低地土	5.2	10.5	2.0
黒ボク土	8.8	14.0	1.6

図50 pH矯正による土壌からの窒素発現量の変化(黒ボク土 30°C畑培養)

2 地力変化に応じた減肥栽培

転炉スラグを施用してpH矯正を行った場合には、アルカリ効果により施用後2年目までは未矯正区よりも窒素吸収量が増加しましたが、3年目以降は未矯正区と同程度の窒素吸収量になりました。また、転炉スラグに含まれるリン酸やカルシウムが施用されるため、矯正区のリン酸吸収量やカルシウム吸収量は未矯正区を上回りました。

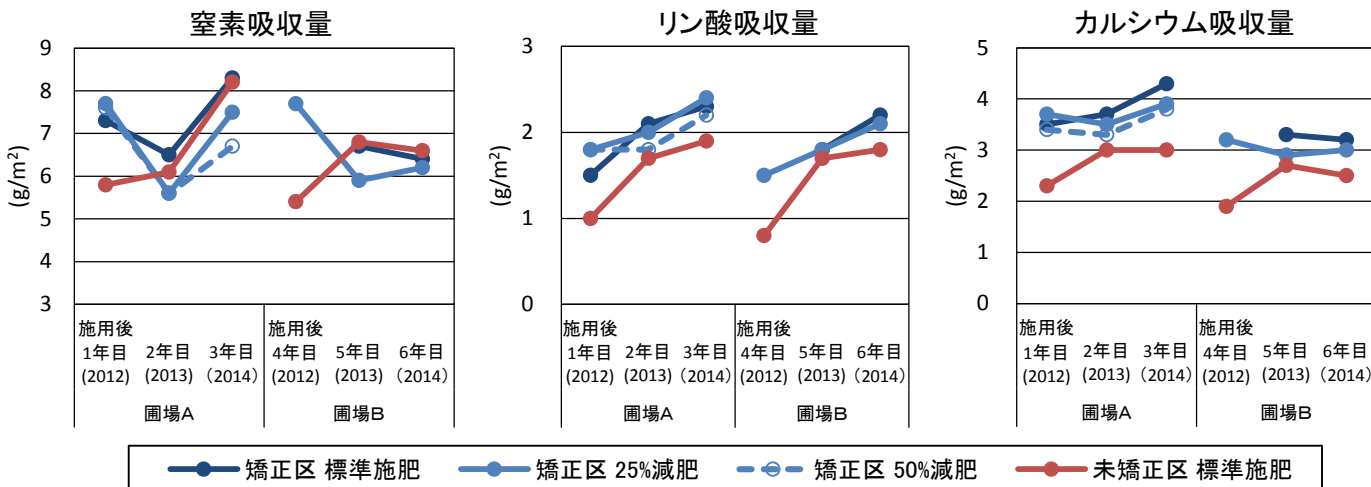


図51 pH矯正と窒素減肥がレタスの養分吸収量に及ぼす影響

(注)圃場Aの矯正区は2012年に転炉スラグを3.6t/10a、圃場Bの矯正区は2009年に転炉スラグを4.5t/10a施用してpHを7.5程度に矯正した。標準施肥量は窒素20kg/10a。

レタス栽培において転炉スラグでpH矯正を行った場合には、矯正後2年間は窒素施肥量を25%~50%減らしても慣行栽培（未矯正区標準施肥）以上の収量でした。3年目以降は、窒素減肥すると収量は不安定となり、慣行栽培を下回る場合があります。

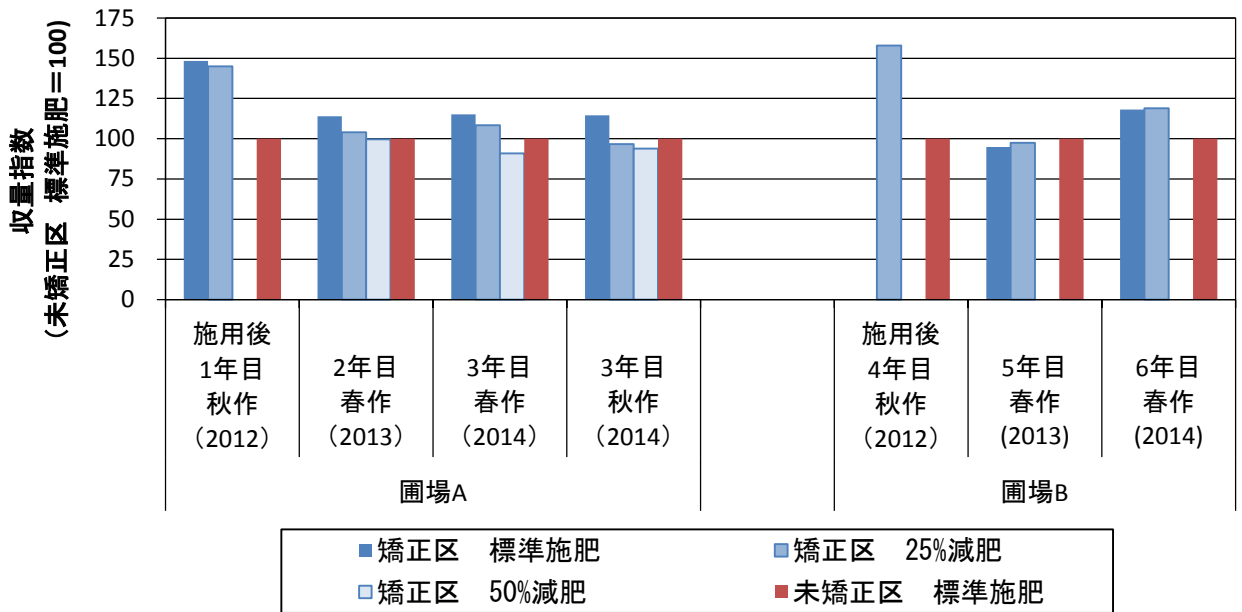


図52 pH矯正と窒素減肥がレタスの収量に及ぼす影響

(注) 収量指数は、未矯正区標準施肥を100とした時の各処理区の収量の割合を示す。圃場Aの矯正区は2012年に転炉スラグを3.6t/10a、圃場Bの矯正区は2009年に転炉スラグを4.5t/10a施用してpHを7.5程度に矯正した。標準施肥量は窒素20kg/10a。

3 土壌pH矯正による地力の消耗

pH矯正を行うと、土壌有機物の分解が促進されるため、土壌からの窒素発現量が2年程度は増加します。一方で土壌有機物の消耗は早まるため、地力を維持するためには堆肥や緑肥などの有機物の施用が必要です。

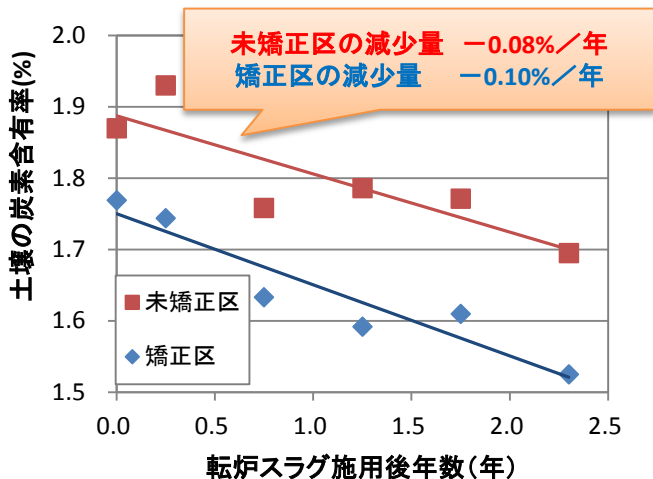


図53 pH矯正による土壌有機物の減少

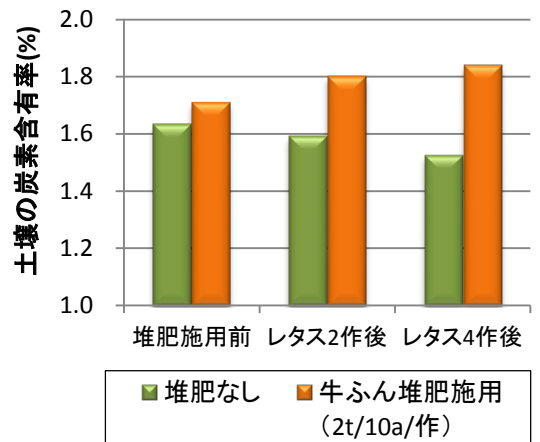


図54 堆肥施用による土壌有機物の補給効果 (矯正区)

2) 微量元素の土壌中での挙動と作物への移行

転炉スラグを施用してどの程度までpHを高めても、植物生育に支障をきたさないかを調査した結果、6種類の植物においてpHを7.5まで改良しても収量低下はみられませんでした。転炉スラグをフザリウム病発病抑制対策として施用する際の酸性改良目標pHは7.5に設定することが望ましいと考えられます。

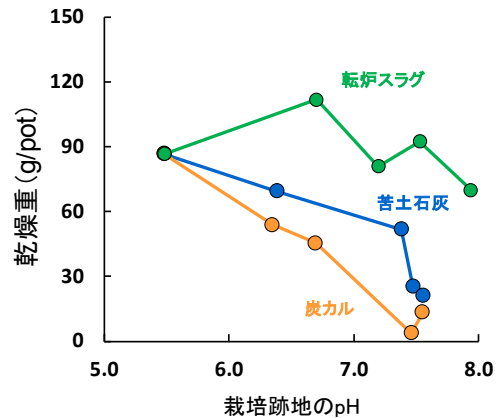
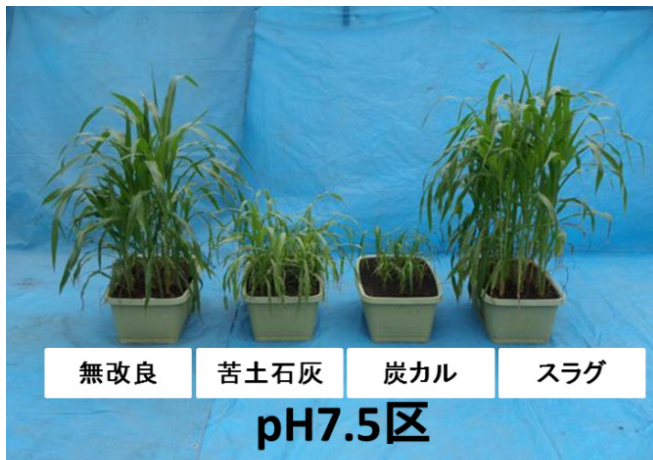


図55 酸性改良資材の違いがソルゴーの生育に及ぼす影響
左：pH7.5区の生育状況、右：ポットあたりの乾燥重。供試土壌は未耕地黒ボク土。

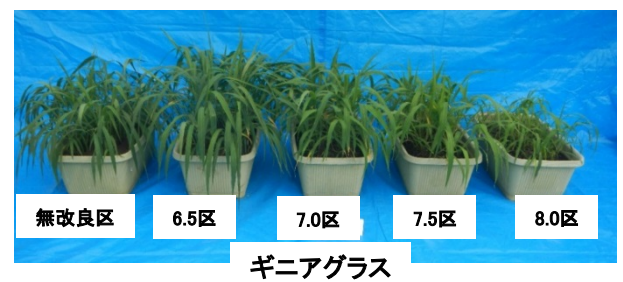
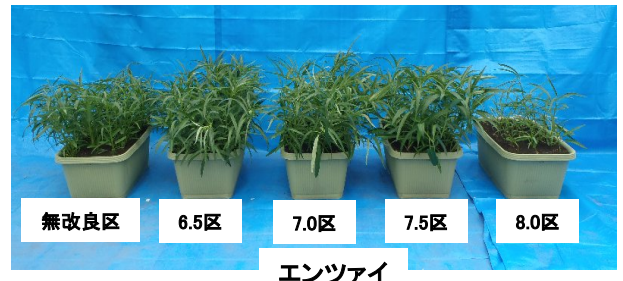


図56 転炉スラグによる酸性改良が植物の生育に及ぼす影響

転炉スラグには、肥料取締法（副産石灰肥料・鉍さいケイ酸質肥料）で有害成分と定められているニッケル、クロム、チタンが少量含まれています。しかし、転炉スラグを多量に施用しても植物体のそれら成分の含有量は増加しませんでした。また、pHを8.0まで高めても植物体のホウ素、マンガン含有量は下限値を下回りませんでした。

転炉スラグの施用により植物の生育を低下させることなく土壌からのカドミウム吸収を抑制することができます。

表11 資材化学性（公定規格分析法による）

供試資材	CaO	MgO	Ti	Mn	Ni	B	Cr (3価)
	%				mg/kg		
炭カル	46.8	0.43	0.00	0.07	4.20	14.3	3.45
苦土石灰	38.7	10.6	0.00	0.07	6.69	13.7	3.58
転炉スラグ	42.5	4.02	1.30	2.64	4.81	80.8	1180

副産石灰肥料の有害成分最大許容量 Ti : 1.5%、Ni:4,000 mg/kg、Cr:40,000mg/kg

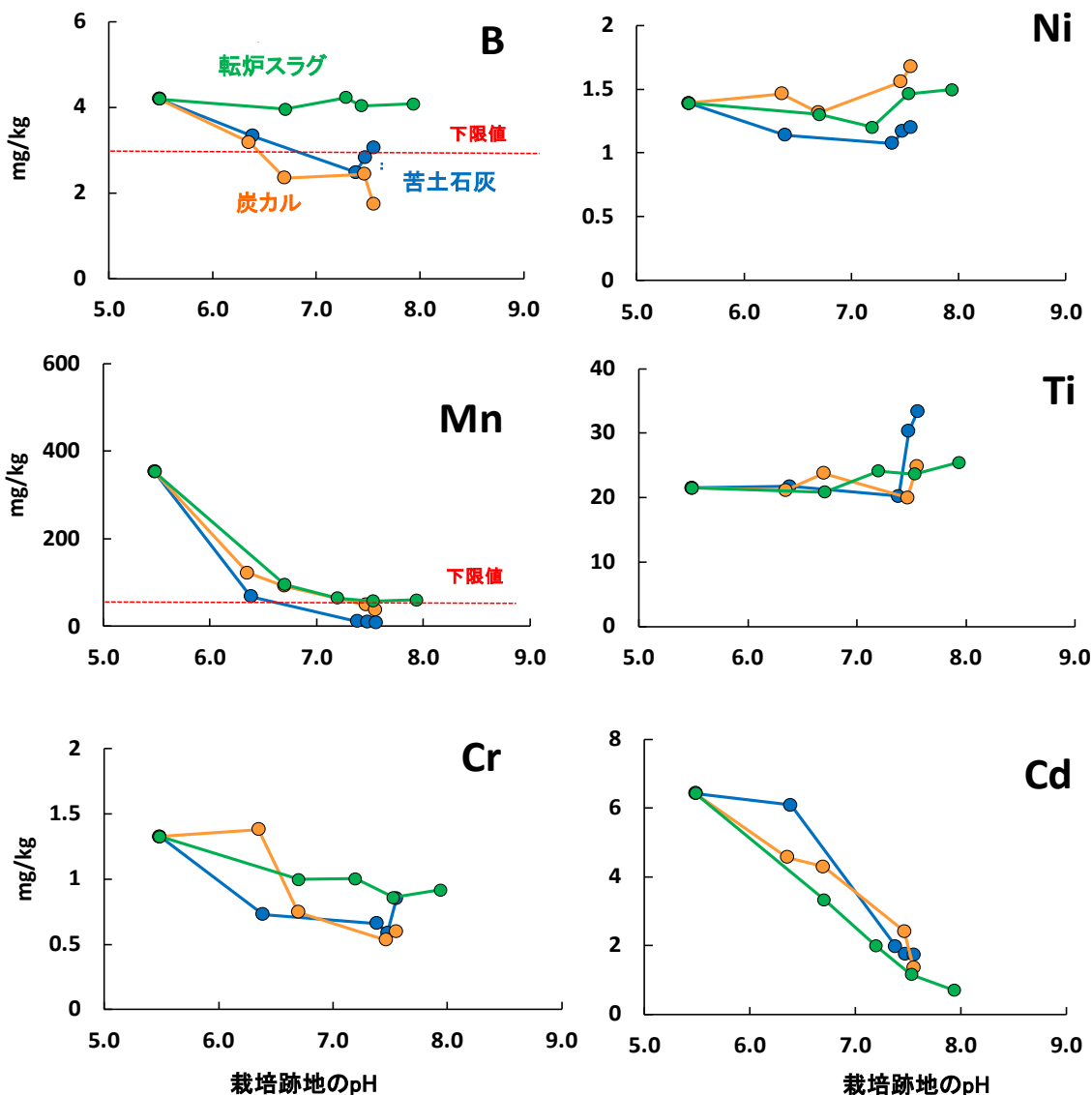


図57 酸性改良資材の違いがソルゴーの微量元素含有量に及ぼす影響

5. 転炉スラグ施用が栽培環境に 与える影響

1) 復田後の水稲の生育・収量・品質に及ぼす影響

1 pH矯正を行った圃場を復田した場合の水稲への影響

転炉スラグを施用して土壌pHを7.5程度に高めた圃場を復田し、水稲を栽培しても生育に影響はありません。収量は地域平均収量(600kg/10a)以上を確保することができ、玄米タンパク含有率や食味は未矯正の場合と同等です。

野菜と水稲の輪作体系においても、pH矯正による土壌病害被害軽減技術に取り組むことができます。

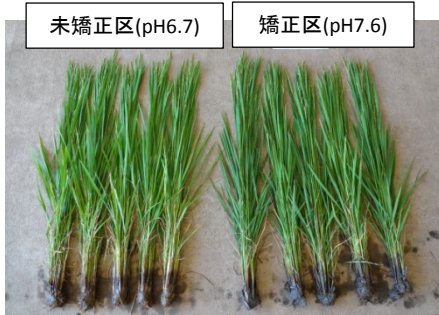


図58 転炉スラグ施用復田圃場の水稲生育 (復田5年目 2014/8/11)

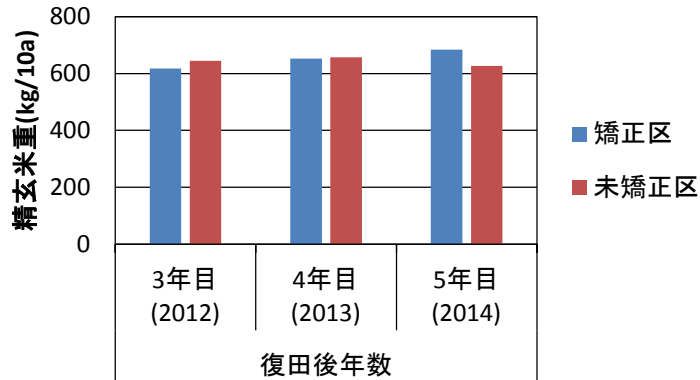


図59 復田圃場における収量の推移

(注) 矯正区: 2008年に転炉スラグでpH矯正を行い、2009年まで野菜類を栽培、2010年から復田し水稲を栽培。2011年には転炉スラグを追加施用した。品種は「つがるロマン」。

表12 復田圃場の玄米タンパク含有率(%)

	復田後年数		
	3年目 (2012)	4年目 (2013)	5年目 (2014)
矯正区	7.7	7.7	7.0
未矯正区	8.0	7.9	7.1

2 pH矯正を行った直後に水稲を栽培した場合の水稲への影響

転炉スラグによるpH矯正を行った直後に水稲を栽培した場合には、アルカリ効果により土壌からの窒素発現量が多くなるため、施用後1年目は無窒素栽培でも生育は旺盛で、地域平均収量(600kg/10a)並みの収量を得られますが、玄米タンパク含有率が高くなります。

施用後2年目以降は土壌窒素発現量は徐々に落ち着き、3年目にはpH矯正を行わない圃場と同程度になります。これに合わせて、基肥量を2年目は概ね半量程度、3年目は慣行量に増やしていきます。

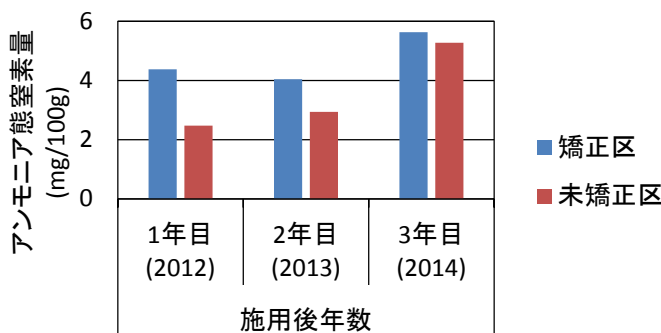


図60 作土中のアンモニア態窒素量(6月中旬)
(注) 矯正区: 2012年に転炉スラグでpH矯正を行った。

表13 転炉スラグ施用後1年目の水稲生育

区名	幼穂形成期		穂数 (本/m ²)
	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	
矯正区	54.6	617	469
未矯正区	58.9	515	346

(注) 窒素施肥量は0kg/10a。品種は「つがるロマン」

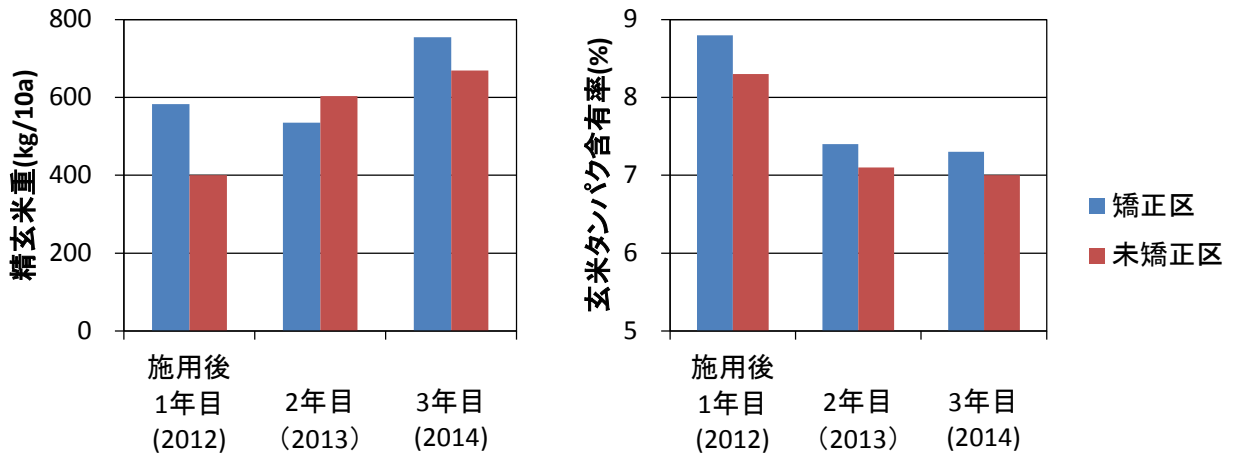


図61 転炉スラグ施用水田の収量と玄米タンパク含有率

(注) 窒素施肥量：施用後1年目は0kg/10a、2年目は4+2kg/10a、3年目は6+0kg/10a。品種は「つがるロマン」。

3 いもち病や紋枯病に対する影響

転炉スラグを施用した圃場を復田して水稻を栽培した場合でも、いもち病や紋枯病の発生に大きな差はみられませんでした。防除対策は通常の復田の場合と同じにしましょう。

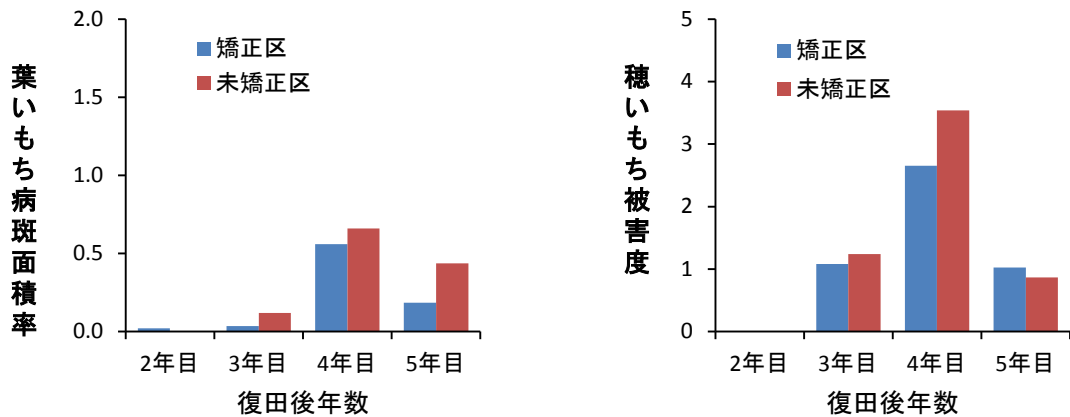


図62 復田圃場におけるいもち病の発生状況

(注) 品種は「ゆめあかり」

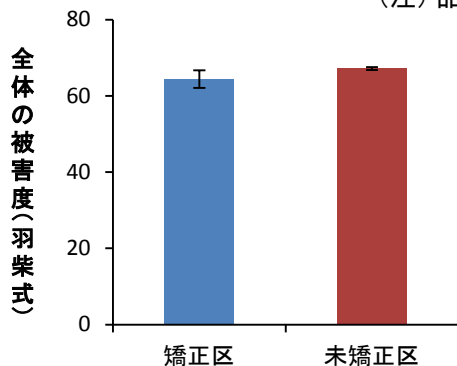


図63 紋枯病の発生状況（復田5年目）

(注) 成熟期に調査。図中のバーは標準偏差を示す。

2) 土壤微生物相への影響

1 実験室環境における転炉スラグの微生物影響評価

実験室環境下で模擬的に①無処理（pH未矯正）、②転炉スラグ処理、③ダゾメット（土壤消毒剤）処理土壤を作成し、各処理が土壤中の細菌、糸状菌の密度と群集構造に及ぼす影響を調べました。その結果、ダゾメット処理土壤では細菌、糸状菌の密度が低下し群集構造にも大きな変動がみられたのに対し、転炉スラグ処理ではそうした作用は観察されませんでした。



小型ポリビンを用いた土壤培養実験。転炉スラグ区には約1.5t/10a相当量（目標pH7.5）を混和し、25°Cで30日間培養した。

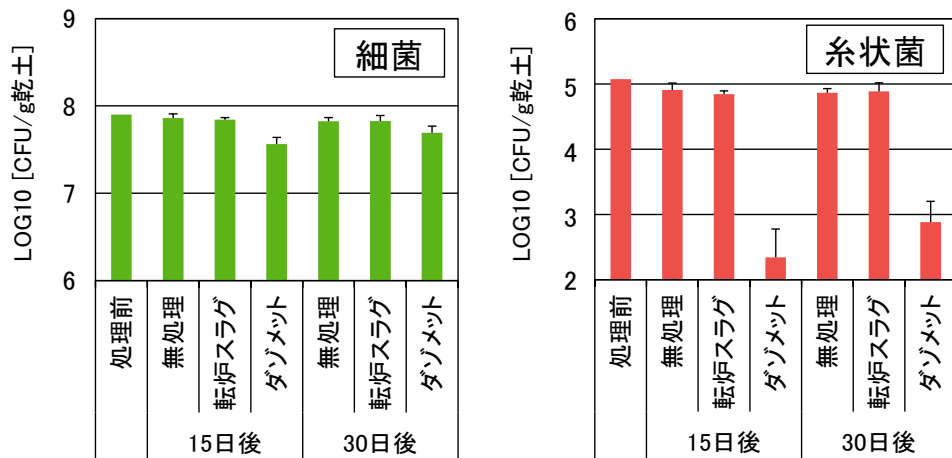
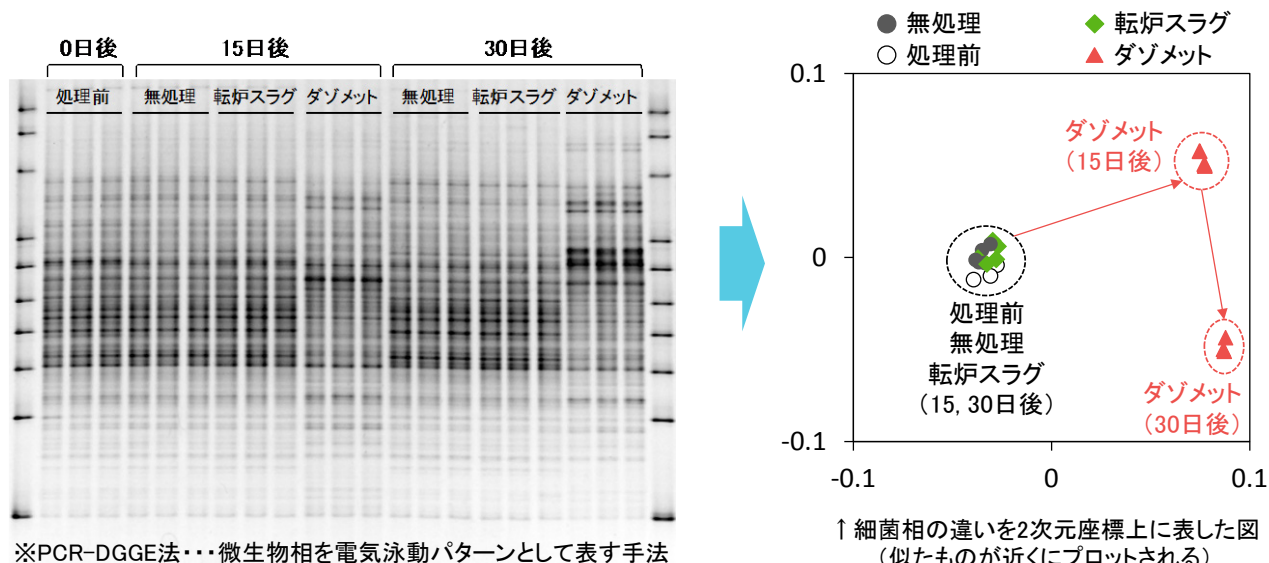


図64 各処理土壤中の細菌、糸状菌密度の変化（左：細菌 右：糸状菌）

転炉スラグには土壤消毒剤のように細菌、糸状菌の密度を低下させる作用はありません。



※PCR-DGGE法・・・微生物相を電気泳動パターンとして表す手法

↑細菌相の違いを2次元座標上に表した図（似たものが近くにプロットされる）

図65 転炉スラグが土壤微生物群集に及ぼす影響（ダゾメットとの比較，細菌相の解析例）
左：PCR-DGGEパターン 右：バンドパターンに基づく主座標分析

転炉スラグを施用しても土壤消毒でみられるような急激な微生物相の変化はみられません。

2 農家圃場における転炉スラグの微生物影響評価

一例として、イチゴ農家で実施された転炉スラグ施用試験において土壤中の微生物群集を調べた結果を示します。前述の土壤培養実験での評価結果と同様に、転炉スラグ処理区と無処理区（pH未矯正）の細菌・糸状菌相に違いはみられず、転炉スラグは土壤消毒剤のような攪乱作用を持たないことが圃場でも確認されました。



粉状転炉スラグおよび粒状転炉スラグ資材を用いてpH7.5に改良したイチゴ農家のハウス土壤を対象とした調査。

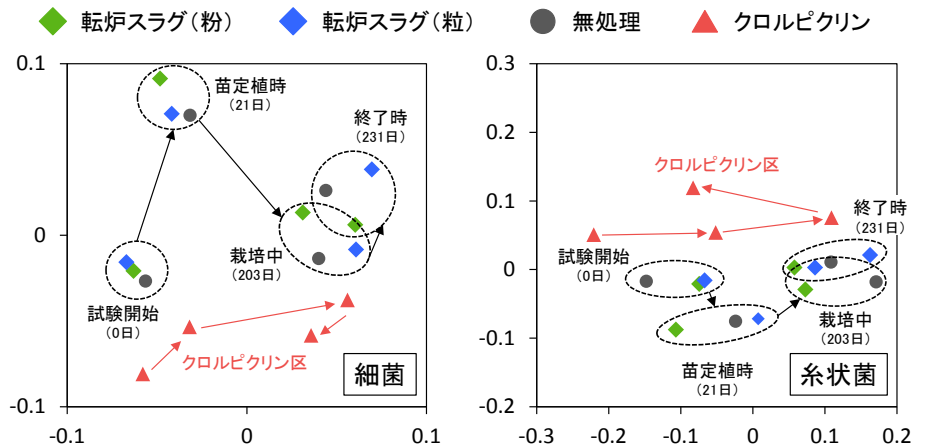


図66 PCR-DGGEパターンに基づく土壤微生物群集の主座標分析（左：細菌 右：糸状菌，栽培期間中の各微生物相の変化を表す）

細菌、糸状菌相の経時的な変化がみられますが、転炉スラグの材型（粉状、粒状）に関わらず土壤pH矯正区と未矯正区のプロットはまとまった動きを示しており、群集構造に明確な違いはみられません。一方、クロルピクリン（土壤消毒剤）区のプロットはこれらと明らかに異なる動きを示し、微生物相が大きく変化していることが分かります。

3 転炉スラグが土壤微生物相に与える影響をまとめると・・・

- 上記2例の他に各県で実施された10例以上の試験について土壤微生物に対する影響評価を行いました。これまでに転炉スラグによる土壤pH矯正によって土壤中の細菌、糸状菌相の大きな攪乱や密度低下が認められた事例はありません。
- 転炉スラグは土壤消毒剤のように土壤中の微生物に対して殺菌的な作用を及ぼすことはありません。
- 長期間高pHが維持されることで徐々に微生物相が変化していく可能性はありますが、栽培上の問題になるような事象はこれまで観察されていません。

6. 本成果の取り扱い上の注意点

- 転炉スラグには殺菌効果はなく、農薬ではありません。ここでの発病抑制効果は、土壤酸性改良の副次的効果として発病が抑えられて被害が軽減するものです。したがって、転炉スラグの施用量は当該圃場の土壤を採取して使用する転炉スラグで緩衝能曲線を作成し、改良目標とする土壤pHに必要な量を決定して下さい。
- 本研究での土壤pHは、純水を使用する方法（pH(H₂O)）で測定しています。
- 市販されている転炉スラグには、粉状品（副産石灰肥料あるいは特殊肥料登録）と、粉碎品を造粒した造粒品（副産石灰肥料あるいは鉱さいケイ酸肥料登録）があります。本研究では、全て粉状品（副産石灰登録）の転炉スラグを使用しました。造粒品は土壤pHが上昇しにくいので、本技術への利用には適しません。
- 土壤pH矯正により主要3要素の施肥条件が変わる場合がありますので、元肥等の施肥量には注意が必要です。また、土壤中のリン酸が多くなると土壤病害の発生が促進される知見もありますので、定期的に土壤診断を行って下さい。
- 転炉スラグを施用して土壤pH矯正を行った圃場では、交換性マグネシウム（苦土）が欠乏しやすいので、10 a 当たり 100kg程度の水酸化マグネシウムを施用します。ただし、転炉スラグ施用量が1 t 未満の場合にはその10分の1の量とします。なお、水酸化マグネシウムは、2～3年に1回、10 a 当たり40～60kg程度を施用します。
- 肥料として硫酸根や塩素根を含まないものを用いると、肥料の影響による土壤の酸性化を軽減することができます（例：燐硝安加里肥料、被覆燐硝安加里肥料、被覆尿素肥料）。
- 転炉スラグはアルカリ性が強く、また飛散しやすいため、施用する際には保護眼鏡、マスク、薄手のゴム手袋、長袖等を着用し、周囲への飛散には特に注意し、取り扱い作業はできるだけ風のない時に行います。
- 転炉スラグは湿ると固まりやすいので、散布後直ちにロータリーで均一に混和します。
- ジャガイモそうか病は土壤pHが高くなると被害が大きくなることが知られていますので、本成果を活用する場合は注意が必要です。これ以外にもアルカリ性土壤で発生しやすくなる病害があるので、作物の選定には後作だけでなく将来的な作付けにも注意する必要があります。

* プロジェクト参画者一覧

1. 研究担当者

後藤逸男・大島宏行
(東京農業大学 応用生物科学部 生物応用化学科 生産環境化学研究室)

岩間俊太・倉内賢一・谷川法聖・清藤文仁・米村由美子
((地独)青森県産業技術センター農林総合研究所)

岩館康哉・大友令史・富永朋之・菅 広和・小山田早希
(岩手県農業研究センター)

関根崇行・大場淳司・辻英明・近藤誠・玉手英行・村主栄一
(宮城県農業・園芸総合研究所)

穴戸邦明・畑有季・山田真孝・遠藤敦史・常盤秀夫・荒川昭弘
(福島県農業総合センター)

門田育生・永坂 厚・今崎伊織
(農研機構東北農業研究センター)

森本 晶
(農研機構北海道農業研究センター)

2. 普及支援担当者

野呂幸男
(青森県農林水産部農林水産政策課農業改良普及グループ)

蝦名勇次・中村彰宏
(青森県中南地域県民局地域農林水産部農業普及振興室)

鈴木良則・有馬 宏・吉田 泰
(岩手県中央農業改良普及センター軽米普及サブセンター)

佐々木次郎
(宮城県農林水産部農業振興課)

中村孝志・遠藤敦史
(福島県農業総合センター企画経営部)

転炉スラグによる土壌pH矯正を核とした 土壌伝染性フザリウム病の被害軽減技術 — 研究成果集 —

発行年月 : 2015年2月

編集・発行 : 農研機構東北農業研究センター

〒020-0198 岩手県盛岡市下厨川字赤平4