



農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業

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

研究成果発表会

日時 平成26年12月16日(火) 11:00-16:30

場所 盛岡市民文化ホール 小ホール

主催：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



# 目 次

|                          |   |
|--------------------------|---|
| プロジェクトの目的と取り組み内容         |   |
| 農研機構東北農業研究センター上席研究員 門田育生 | 1 |

## 基調講演

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| 転炉スラグ資材を用いた土壌病害の被害軽減技術開発の背景と歴史 |   |
| 東京農業大学教授 後藤逸男                  | 5 |

## 研究成果の報告

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 1) ホウレンソウ萎凋病の被害軽減技術の開発と実証             |    |
| 岩手県農林水産部主任 岩舘康哉                       | 10 |
| 2) 品種の耐病性と育苗方法を併用したレタス根腐病の被害軽減技術      |    |
| (地独) 青森県産業技術センター農林総合研究所 研究管理員 岩間俊太    | 14 |
| 3) 耐病性品種を併用したイチゴ萎黄病の被害軽減技術            |    |
| 宮城県農業・園芸総合研究所 副主任研究員 大場淳司             | 22 |
| 4) 転炉スラグ資材の粒状・粉状の違いがイチゴ萎黄病の被害に与える影響   |    |
| 福島県農業総合センター 研究員 畑 有季                  | 25 |
| 5) 太陽熱消毒と併用したセルリー萎黄病の被害軽減技術と微量元素の挙動   |    |
| 東京農業大学 助教 大島宏行                        | 27 |
| 6) 転炉スラグ資材施用後の地力変化と施肥管理法および水田復元後の水稻栽培 |    |
| (地独) 青森県産業技術センター農林総合研究所 研究員 谷川法聖      | 33 |
| 7) 転炉スラグ資材の施用が土壌微生物相に及ぼす影響            |    |
| 農研機構北海道農研 主任研究員 森本 晶                  | 39 |

## 総合討論

# プロジェクトの目的と取り組み内容

門田育生

農研機構東北農業研究センター

## 1. 研究の背景

土壌病害の発生は野菜や畑作物を栽培する上で極めて深刻な問題であり、産地形成された地域がこれによって壊滅的な状況に追いやられ、大規模産地が消滅した事例は数知れない。中でも、フザリウム病菌による土壌病害はその広範な宿主範囲から多大な被害をもたらしている病害の一つであり、産地存続を脅かす病害である。その主な対策としては抵抗性品種の利用と土壌消毒が挙げられるが、これらは万全な対策と成り得ていない。すなわち、抵抗性品種は全ての作物で十分に育成されている状況になく、またこれを侵す新たな病原菌系統の出現で抵抗性は崩壊する。一方、土壌消毒は一時的に大きな防除効果を上げるものの、消毒により微生物相が破壊され静菌性を失った土壌に病原菌が容易に再侵入し、被害の再燃を招く事例が後を立たない。このため、いったん土壌病害の問題が発生した産地では、新たな抵抗性品種の育成・導入や、土壌消毒の繰り返しの追われる状況となり、中長期的にはこれらの負担による栽培意欲の低下や産地崩壊を招く要因となっている。したがって、このような既存技術の問題を克服しうる技術の開発が求められる。

従来から我が国では消石灰や炭酸カルシウムなどを主成分とする石灰肥料で土壌の酸性改良が実施されてきたが、フザリウム病菌による病害について、土壌pHが高くなるにつれて発生が少なくなる傾向があることが1950年代から報告されるようになった。この現象は、土壌pH改良という極めて基礎的な対策が本病には有効であることを示しており、耕種的防除法としても位置付けられている。ただし、土壌pHを上げ過ぎると作物の生育に微量元素欠乏症を引き起こすため、作物の健全な生育を維持しながら被害を軽減させることは難しかった。ところが、微量元素を豊富に含む転炉スラグを原料とした石灰で土壌pHを矯正すると、pH7.5程度でも微量元素欠乏による生理障害を生じず、しかも、その矯正効果が複数年にわたって維持されることが明らかにされてきた。実際、こうした転炉スラグの特性を利用して適切に土壌pH矯正することで、作物に生理障害を引き起こすことなく、アブラナ科野菜根こぶ病やキュウリホモプシス根腐病等の土壌病害の被害が軽減されることが報告されている。そこで、フザリウム病菌による土壌病害についても、土壌pH矯正を実施する条件を詳細に検討すれば、被害の軽減につながる可能性が高いと考えられる。

## 2. 研究体制と研究内容

転炉スラグによる土壌pH矯正は、土壌消毒や抵抗性品種とは異なる機作であり、既存の防除手法と組み合わせることも可能である点において、土壌病害対策における非常に有望な耕種的防除法と言える。ただし、広範な宿主範囲をもつフザリウム病菌による土壌病害に本手法を適用する場合

は、土壌pH矯正が作物栽培に与える影響を十分に評価した上で、対象病害に応じた適切な施用方法を確立することが必要である。

そこで、本プロジェクトでは転炉スラグ資材を用いてフザリウム病菌による土壌病害を最も効果的に防除できる土壌pHを明らかにした上で、作物の栽培特性や病害の発生生態に応じた施用方法を開発する。また、土壌消毒や、耐病性品種との組み合わせにより、より効果・持続性の高い総合的な防除体系への応用を試みる。一方、転炉スラグ資材による土壌pH矯正を安心して実施できるようにするため、他の土壌伝染性病害の発病リスクや土壌微生物相への影響の変動を明らかにするとともに、有機物分解の促進や肥料成分の挙動変化の解明、微量要素や有害元素吸収に与える影響評価を行い、慣行の栽培と同等の収穫量を確保する施肥管理手法を確立する。

以上の目標を達成するために、東京農業大学、(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、並びに農研機構東北農業研究センターおよび北海道農業研究センターが下記の課題を分担して試験を実施した(図1)。

#### 中課題1. 転炉スラグの効果的活用による土壌病害の被害軽減技術の開発

転炉スラグ資材を用いた土壌pH矯正程度と、フザリウム病菌による土壌病害の被害発生との関係を明らかにした上で、作物の栽培特性や病害の発生生態に応じた施用方法を開発する。また、土壌消毒や、耐病性品種等との組み合わせにより、より効果・持続性の高い総合的な防除体系への応用を試みる。

- ① 転炉スラグの効率的な施用によるハウレンソウ萎凋病の被害軽減技術の開発と実証(岩手県農業研究センター)
- ② 土壌pH矯正に品種耐病性・キチン質資材等の利用を併用したレタス根腐病の被害軽減技術の開発と実証 ((地独)青森県産業技術センター農林総合研究所)
- ③ 土壌pH矯正と品種耐病性を併用したイチゴ萎黄病の被害軽減技術の開発と実証 (宮城県農業・園芸総合研究所)
- ④ 転炉スラグ資材の違いを考慮したイチゴ萎黄病の被害軽減技術の開発と実証(福島県農業総合センター)
- ⑤ 転炉スラグの施用と太陽熱消毒によるセルリー萎黄病の被害軽減技術の開発と実証(東京農業大学)

#### 中課題2. 土壌pH矯正が栽培環境に与える影響の評価と施肥管理手法の開発

転炉スラグ資材による土壌pH矯正を安心して実施できるようにするため、他の土壌伝染性病害の被害発生に与える影響や土壌微生物相への影響を明らかにするとともに、有機物分解の促進や肥料成分の挙動変化の解明、並びに微量要素や有害元素吸収に与える影響評価を行い、慣行の栽培と同等の収穫量を確保する施肥管理手法を確立する。

- ① 非フザリウム性土壌病原菌の増殖および病原性発現に与える影響の解明(農研機構東北農業研究センター)

- ② 土壌微生物相への影響の評価（農研機構北海道農業研究センター）
- ③ 水田復元後の水稻の生育・収量・品質に及ぼす影響評価（(地独)青森県産業技術センター農林総合研究所）
- ④ 土壌中窒素成分の挙動変化に応じた施肥管理手法の開発（(地独)青森県産業技術センター農林総合研究所）
- ⑤ 植物体の微量要素吸収に与える影響の評価と施肥管理手法の開発（東京農業大学）

### 中課題3. 研究成果の利用マニュアルの作成（農研機構東北農業研究センター）

研究実施期間に得られた成果について、それをどのように栽培現場に導入・利用するかについてとりまとめる。また、各参画機関が行った実証試験結果は、事例集としてとりまとめる。

## 3. 研究成果の活用に際して

本プロジェクトで開発した技術の骨格は、あくまでも石灰による土壌pH矯正という耕種的防除法の延長線上にあるものである。ここで、転炉スラグ資材を用いるのは酸性に傾いた土壌pHを矯正して作物の栽培環境を恒常的に安定化させることが主目的である。それによって副次的にフザリウム病菌による土壌病害の被害の減少を期待するものであり、その効果を最大限に発揮させるための土壌pHの矯正目標値とともに、他の技術との組み合わせ方法などを明らかにしてきたところである。そのため、ここで開発した土壌pH矯正手法だけを導入するのでは十分な被害軽減効果が得られない場合もあると考えられる。そこで、まずは目標とする矯正pHを設定して転炉スラグ資材の施用量を決定するとともに、農家圃場ごとの作付け予定作物種や品種抵抗性の強弱、発病程度、他の防除技術との併用などを踏まえて実情に合わせた防除体系を構築する必要がある。

なお、本研究成果を利用するには発生病害がフザリウム病菌による病害かどうかの正確な診断が必要である。例えば、フザリウム病とは明らかに病徴が異なるが、ジャガイモそうか病は土壌pHが高くなると発病が促進されることが知られており、本技術を活用する上で全ての土壌病害に一律に効果を発揮するわけではないことを示している。また、転炉スラグ資材はフザリウム病菌に対して殺菌作用はないことから、被害が軽減した場合でも病原菌密度が減少しているわけではない。したがって、農業機械や資材を圃場外に持ち出す時や別の圃場に入る時には付着した土壌を水で洗い流すこと、発病した個体は早めに取り除いて圃場外で処分し菌密度の上昇を抑えるなど、これまでの防除対策を継続する必要があることを忘れてはならない。

## フザリウム性土壌病害

広範な宿主を犯す作物栽培上の重要な土壌病害  
従来法の抵抗性品種・土壌消毒では不十分

### 抵抗性品種

- ・万能でない(不十分な抵抗性・品質の問題)
- ・抵抗性が崩壊するケースが後をたたない



### 土壌消毒

- ・コスト・作業負担が高
- ・効果が持続しない



低コストで持続性の高い新たな防除手段が産地存続に必要

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

## キーテクノロジー「転炉スラグ資材」

1. pH矯正効果が長期間持続する
2. 高pHでも生理障害が起きない
3. 低コスト(製鉄過程で発生する未利用資源; 年間約1千万t)



ホウレンソウ萎凋病の発病軽減事例

### 中課題1

作物毎の発生生態  
に応じた最適な  
処理法の開発

サンプル共有  
と  
相互検証

### 中課題2

転炉スラグ施用に  
関する共通的な  
問題の解決

### 中課題3 技術のマニュアル化

### 波及効果

フザリウム性土壌病害の被害を低コストで持続的に低減する  
耕種的防除手段の開発により野菜産地の活性化を促進

図1. プロジェクト研究の概要

# 転炉スラグ資材を用いた土壤病害の被害軽減技術開発の背景と歴史

後藤 逸男

東京農業大学 応用生物科学部 教授

## 1. 常識を覆した転炉スラグ

日本のような多雨気候下では、土壤中の交換性カルシウムやマグネシウムが雨水中の水素イオンと陽イオン交換反応を起こして水溶性に変化する。未耕地であれば、それらの対イオンとなる陰イオン濃度が低いいため溶脱速度は遅い。しかし、畑では肥料として施される塩素イオンや硫酸イオン、それに硝酸化成作用により生成した硝酸イオンが対イオンとなるためカルシウムやマグネシウムなどの塩基が容易に溶脱する。その結果、塩基飽和度が低下して土壤が酸性化する。野菜や畑作物は一般に中性土壤を好むため、土壤の酸性改良が土づくりの一環となる。塩基の溶脱により酸性化した土壤を改良するには、塩基を補給すればよい。そこで、従来から土壤酸性改良資材として、炭酸カルシウム(炭カル)や苦土石灰(苦土カル)が施されてきた。しかし、それらの資材を施して土壤 pH(H<sub>2</sub>O) を 6.5 程度以上に高めると作物にホウ素やマンガンなどの微量元素欠乏をきたしやすい。その一例が写真 1 である。そのため、わが国では土壤の酸性を改良する際には、目標 pH(H<sub>2</sub>O) を 6.0 ~6.5 とすることが常識とされてきた。また、その範囲の土壤を一般には中性土壤と称する<sup>1)</sup>。

しかし、転炉スラグを土壤酸性改良資材として用いると、写真 2 のように土壤酸性改良の常識が覆されてしまうことを演者らが 1970 年代に見いだした。



写真1 土壌pHとコマツナの生育



写真2 高pHで生育する転炉スラグ区のコマツナ

## 2. 転炉スラグとは

転炉スラグとは、製鉄所の製鋼工程で鋼の副産物として生産される鉱さい(スラグ)で、全国の製鉄所からの生産量は年間約1,300トンにおよぶ。その主な用途は、道路路盤材、土木用資材などで、肥料原料としての利用量は1%に満たない<sup>2)</sup>。

転炉スラグの主成分はケイ酸カルシウムで少量のフリーライム(CaO)の他、鉄・マンガン・マグネシウム・リン酸・ホウ素などを含む。スラグという用語のイメージから、有害成分を含んでいるの



ではと懸念を示す人も少なくないが、転炉の中は約 1,600℃にも達する高温であるので、カドミウムやヒ素、水銀などの有害元素あるいはPCBやダイオキシンなどの有機性有害成分が含まれていたとしても全てが揮散あるいは分解してしまう。また、製鉄所で作られる鉄鋼の原料は鉄鉱石と石灰岩、それにコークスであるので、上記のような有害成分が含まれることはない。

製鉄所では、写真3のように熔解した転炉スラグをヤードに空気中で拡げて放冷(徐冷という)する。冷えた徐冷転炉スラグを細かく粉砕した資材が肥料となる。粉砕の程度により、肥料取締法上の登録が異なり、粒径3.35mm以下の粗い転炉スラグは特殊肥料、1.7mmの網ふるいを全通し、0.6mmの網ふるいを85%以上通過する粒径に粉砕した細かな転炉スラグは普通肥料の副産石灰肥料に分類される。なお、肥料取締法では副産石灰肥料中に含有を許される有害成分(ニッケル・クロム・チタン)の最大量が定められている<sup>3)</sup>。市販されている転炉スラグの3元素含有量は含有を許される最大量を大きく下回っている。また、本プロジェクトで明らかになったように、転炉スラグ中に含有されるニッケル・クロム・チタンが作物に吸収されることはない。



写真3 製鉄所内の転炉スラグ徐冷ヤード

### 3. 転炉スラグの農業利用

製鉄所では、転炉で鋼を作る前段階の高炉で銑鉄をつくる工程で高炉スラグが生産される。この高炉スラグと転炉スラグで代表される製鋼スラグを総称して鉄鋼スラグという。高炉スラグは古くから「ケイカル」として水田へのケイ酸補給肥料として農業利用され、1968年頃には年間110万トン以上におよんだが、現在では20万トン程度に留まっている。

一方、転炉スラグは1952年に制定された耕土培養法(1984年に廃止)で遊離酸化鉄含有量の少ない老朽化水田に対する鉄補給資材(含鉄物)として指定を受け、主に西日本を中心とする花崗岩風化土壌(まさ土)地帯の水田で利用されてきた。一方、畑の土壌酸性改良資材としては、1976年に日本鉄鋼連盟の中にスラグ資源化委員会土壌改良専門委員会が設けられた<sup>4)</sup>。演者らはその一環として転炉スラグの農業利用に関する研究を開始し、写真2のような土壌酸性改良資材としての特性を見出した。



写真4 転炉スラグの施用効果

転炉スラグを施用し、土壌pH(H<sub>2</sub>O)7以上でコマツナを栽培しても、なぜ微量元素欠乏をきたさないのか。写真4のように、苦土石灰だけではコマツナに顕著な障害が出る土壌に苦土石灰と微量元素肥料(FTE)を併用すると、転炉スラグ区と同等の生育になった。すなわち、転炉スラグに含まれる微量元素が吸収されて、高pH条件下でも微量元素欠乏をきたしにくいことが明らかになった<sup>5)</sup>。

#### 4. 転炉スラグの特性を活かす

全国各地の野菜産地では、様々な土壌病害が多発している。演者らが、転炉スラグの研究を始めて、しばらくしてからカリフラワーとブロッコリーに根こぶ病が蔓延して、産地崩壊の危機に瀕しているのを、何とかしてほしいと東京都三鷹市の農協を通じて農家から協力要請があった。演者らは根っからの土壌肥料屋で、土壌病害のことなど守備範囲ではなかったが、アブラナ科野菜根こぶ病は酸性土壌で発生しやすく、pH を高めれば抑制可能という程度の知識は持ち合わせていた。そこで、現地の根こぶ病激発畑でいきなりぶっつけ本番の勝負に打って出た。畑の半分に転炉スラグを5t/10a 施用して pH(H<sub>2</sub>O) を7 以上にまで高め、農家にカリフラワーを栽培してもらった。その結果、



写真5 根こぶ病に対する転炉スラグの効果

写真5のように明瞭な発病抑制効果が認められて、この技術が瞬く間に三鷹市内に広がり、最初の試験から約5年後には市内の畑から根こぶ病が一掃された<sup>6,7)</sup>。ただし、根こぶ病撲滅には転炉スラグによる常識外れの土壌酸性改良だけではなく、土壌物理性改善のためのサブソイラーによる耕盤破砕、土壌診断に基づく施肥削減、それに三鷹市の転炉スラグ購入費に対する補助制度などの総合対策が功を奏した。

#### 5. 常識の壁に阻まれた転炉スラグ活用技術

三鷹市で根こぶ病を撲滅できたもう一つの理由は、試験研究機関や普及所などを經由せず、根こぶ病で苦しむ農家と直接対応したことであった。演者らの方法に同業の研究者や技術者からは直接・間接に「非常識」との批判を多く受け、根強い土壌酸性改良技術の「常識の壁」の厚さを思い知らされた。

しかし、その後も三鷹市と同じ手法で、各地のアブラナ科野菜産地での産地復活を果たした<sup>8)</sup>。さらには、転炉スラグの非常識技術を茨城県と千葉県のコモプシス根腐病が蔓延したスイカ産地、フザリウム病が多発した静岡県の大サヤやセルリー産地に適用して、良好な成果が得られた。

その後次第に転炉スラグの多量施用技術が認められるようになり、大分県ではキャベツ根こぶ病対策資材として補助制度が設けられた。その他にも、各地の研究・指導機関やJAによる現地栽培試験が行われ、実用化が進んでいる。とりわけ、岩手県では岩館ら<sup>9,10)</sup>がキュウリコモプシス根腐病に対応するための技術を確立し、岩手県内および東北各県で実用化が始まっている。

#### 6. マルチ効果が期待できる転炉スラグ

土壌病害の場面だけではなく、貴重なリン酸資源としても転炉スラグが注目されている。転炉スラグ中に含まれるリン酸はわずか1~2%であるが、生産量が莫大なため転炉スラグを含めた製鋼スラグ全体では、年間に輸入されるリン鉱石中のリン酸量に匹敵する<sup>11,12)</sup>。土壌病害の被害軽減を想定した対策として数t/10aの転炉スラグを施用すれば、数十kg/10aのリン酸が肥料として補給できるので、その分既存リン酸肥料を削減できる。微量要素肥料の併用はもちろん不要である。また、



既存の苦土石灰などに比べて土壌酸性改良持続効果にすぐれるので、施用間隔を伸ばることができる。初期投資は必要であるが、中長期的には経済性でも採算がとれる。

前記のように転炉スラグの農業利用は、水田での老朽化対策資材としての利用に端を発するが、施用量は 100 kg/10a 程度であったため、転炉スラグの施用により土壌 pH が著しく高まることはなかった。しかし、水稻収穫後の水田にアブラナ科野菜を作付ける地域で、根こぶ病の被害軽減対策として転炉スラグを多量施用した場合には pH(H<sub>2</sub>O) が 7 程度以上まで高まる。水稻は pH(H<sub>2</sub>O) 5.5 程度の酸性土壌を好むため、高 pH 条件では水稻生育への影響が懸念された。そこで、各地で水田の pH(H<sub>2</sub>O) を 7.5 まで高めて水稻を栽培したが、写真 6 のようにむしろ生育が促進された。そのメカニズムは、転炉スラグ中のケイ酸やリン酸、鉄・マンガンなどが水稻に吸収利用されることの他に、土壌 pH 上昇に伴うアルカリ効果によるアンモニア態窒素の供給があると考えている。

その他、転炉スラグを水田に施用すると、メタンガスの発生を抑制することが知られている<sup>13)</sup>。転炉スラグはマルチ効果が期待できる資材である。



写真6 転炉スラグ施用水田における水稻の生育(左)

## 7. 転炉スラグ利用上の注意点

転炉スラグは決して、よいことずくめの資材ではない。苦土石灰に比べて多量施用が必要で致命的な欠点はカルシウムに比べてマグネシウム含有量が少ないことである。また、土壌中でマグネシウムはカルシウムより溶脱しやすいので、土壌診断分析により交換性マグネシウムが少ない場合には 100 kg/10a 程度の水酸化マグネシウムを補給したほうがよい。



写真7 形状の違う転炉スラグ市販品

ドキャスターで散布すると飛散しやすいので、写真 8 のようにライムソワーでの散布を勧めたい。また、大量の転炉スラグを施用する場合には、20kg 袋より 200kg のフレコンで購入した方が割安となる。

アブラナ科野菜根こぶ病の他、ホモプシス根腐病やフザリウム病に対する転炉スラグの施用メカニズムについては未だ不明な点も多いが、決して転炉スラグが農薬として作用しているのではなく、土壌酸性改良効果が間接的に発病を抑制していることは明らかである。これらのような発病を抑制する土壌病害とは反対に、転炉ス

市販の転炉スラグには細粒品(副産石灰肥料登録品)と粗粒品(特殊肥料登録品)の他に、造粒品がある(写真 7)。土壌の酸性改良目的には、必ず前二者のいずれかを選び、絶対に造粒品を使ってはいけない。造粒品は土壌中で崩壊しにくく、酸性改良効果が著しく劣る。また、値段も高い。ただし、細粒あるいは粗粒の転炉スラグをブロー



写真8 ライムソワーによる転炉スラグの散布

ラグ施用土壌ではジャガイモそうか病の発病が確実に促進される。その他にも細菌性の土壌病害では同じような可能性もあるかもしれない。転炉スラグを多量に施用すると、その性質上土壌 pH を下げることが難しくなるので、それらの点を充分考慮して利用することが必要である。

転炉スラグを多量施用すると、土壌 pH が急激に上昇するためアルカリ効果が現れ、地力窒素の無機化が起こる。その影響で、キャベツやスイカ、メロンの玉割れ、水稻では倒伏するおそれがあるので、転炉スラグ施用後最初の作付け時には窒素施肥量を削減することが望ましい。施用後二作目以降では標準量の窒素施用でよい。

資源に乏しいわが国にとって、転炉スラグは貴重な国産農業資源であるにもかかわらず、農業利用率はわずか 1%にも満たない現状にある。転炉スラグは土壌構成成分や植物生育に必須な成分が濃縮されたような資材であり、これを元来低肥沃度であるわが国の土壌改良に使わない手はない。

## 文 献

- 1) 渡辺和彦・後藤逸男・小川吉雄・六本木和夫：土壌の基礎知識、土と施肥の新知識、8～36、農文協、東京(2012)
- 2) 鉄鋼スラグ協会：転炉スラグ利用統計表、鉄鋼スラグ統計年報(平成 25 年度実績)、  
<http://www.slg.jp/pdf/fs-143-04.pdf> (2014)
- 3) (独) 農林水産消費安全技術センター：石灰質肥料、肥料取締法に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件、<http://www.famic.go.jp/ffis/fert/kokuji/60k0284.htm>
- 4) (財) 日本土壌協会・(社) 日本鉄鋼連盟：昭和 56 年度鉄鋼スラグの農業的利用に関する研究報告書(1982)
- 5) 後藤逸男・村上圭一：ひと味ちがう酸性改良、根こぶ病 おもしろ生態とかしこい防ぎ方 -土壌病害から見直す土づくり-、77～84、農文協、東京(2006)
- 6) 村上圭一・篠田英史・丸田里江・後藤逸男：転炉スラグによるブロッコリー根こぶ病の防除対策、土肥誌、75、1、53～58(2004)
- 7) 村上 圭一・後藤 逸男：「転炉スラグ」で土壌環境を制御する、化学と生物、48、9、608～613(2010)
- 8) 村上 圭一・後藤 逸男：スグキナ根こぶ病に対する転炉スラグの防除効果、同上、75、2、233～235(2004)
- 9) 岩館康哉：転炉スラグを用いた土壌 pH 改良による露地キュウリの被害軽減、ウリ科野菜ホモプシス根腐病被害回避マニュアル、24～27、農研機構(東北農研セ)(2013)
- 10) 岩館康哉：岩手県におけるキュウリホモプシス根腐病の発生生態と防除に関する研究、岩手農研セ研報 13、69～160(2014)
- 11) 後藤逸男：バイオマス資源と製鋼スラグ中のリン酸、文化土壌学からみたリン、65～100、博友社(株)、東京(2010)
- 12) 経済産業省製造産業局：製鋼スラグの全量高炉循環システム構築に係る調査検討委員会報告書  
[http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/data/research/h21fy/21fy2203-1\\_cjc/21fy2203-1cjc\\_jfe.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/data/research/h21fy/21fy2203-1_cjc/21fy2203-1cjc_jfe.pdf) (2010)
- 13) 犬伏和之：含鉄資材の施用による水田からのメタン放出抑制、鉄鋼環境基金 1998 年度報告書(1998)



# ホウレンソウ萎凋病の被害軽減技術の 開発と実証

岩館 康哉  
岩手県農林水産部

## 1. はじめに

ホウレンソウ萎凋病は、夏どりホウレンソウの安定生産阻害要因として全国各地で問題となっている。本病の防除には土壌消毒が有効であるが、作業労力やコスト等の問題から、全ての被害圃場で受け入れられている状況とはなっていない。一方で、土壌伝染性のフザリウム病害は土壌 pH が高まるにつれて発病が減少することが知られている。そこで、市販の土壌酸性改良資材である転炉スラグ（ミネックス株式会社、商品名：てんろ石灰）の土壌施用によって、本病の被害軽減が可能か検討した。その結果、キュウリホモプシス根腐病対策として確立した技術（岩館、2014）と同様に、転炉スラグを用いた土壌 pH 改良によってホウレンソウ萎凋病を抑制できることを明らかにしたのでその内容を紹介する。

## 2. 開発した技術の特性

### 1) 技術の特性と適用場面

ホウレンソウ萎凋病発生圃場に転炉スラグを処理し、土壌 pH を改良することで本病の被害を軽減できる（表 1、図 2、図 3）。土壌 pH が 8 を越えると生理障害が発生しやすくなるので、目標土壌 pH は 7.5、土壌改良深は 10cm とする（表 1、図 1）。本技術による生育・収量に対する負の影響は認められない（図 4）。

転炉スラグの処理量は、必ず土壌緩衝能曲線（村上・後藤、2008）を作成した上で決定する。また、処理 2～3 週間後に土壌 pH を測定し、深度 0～10cm の表層土壌が目標土壌 pH となっていることを確認する。

表 1 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（隔離床試験）

| 転炉スラグ処理量<br>(kg/10a) | 土壌 pH<br>(深度 0-10cm) | 土壌 pH<br>(深度 0-20cm) | 地上部<br>発病度 <sup>1)</sup> | 根部<br>発病度 <sup>1)</sup> | 調製重<br>(g) <sup>2)</sup> | 草丈<br>(cm) <sup>2)</sup> | 葉色<br>(SPAD 値) <sup>2)</sup> | 根部乾物重<br>(g) <sup>3)</sup> |
|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 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

メモ) 土壌 pH が高い（転炉スラグ処理量が多いほど）ほど、ホウレンソウ萎凋病の発生を抑制できるが、土壌 pH が 8 を越えると根の生育が悪くなるなどの生理障害が発生しやすくなるので改良目標 pH (7.5) に注意する。



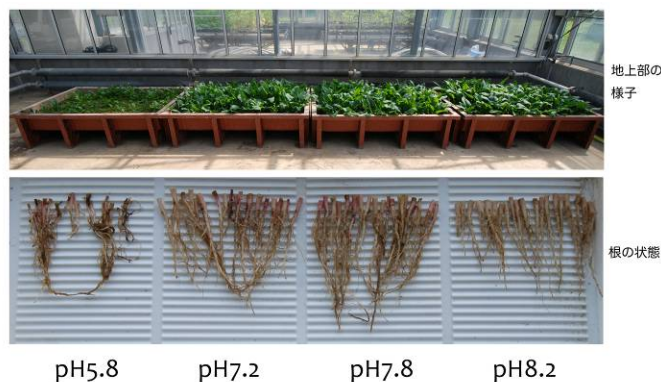


図1 調査時における生育状況（隔離床試験）

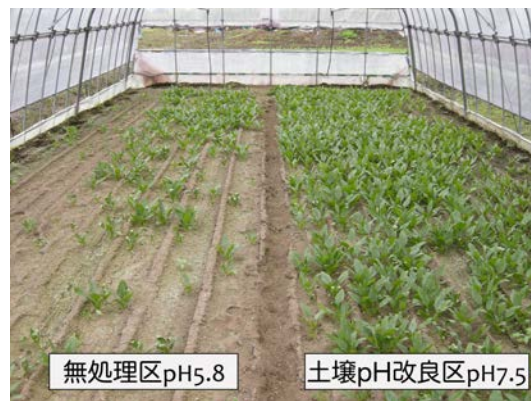


図2 現地試験における発病状況  
（八幡平市、2013年8月1日）

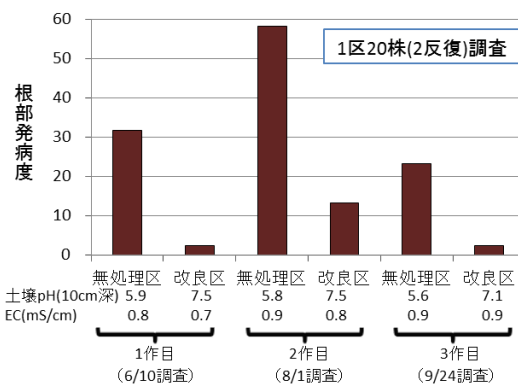
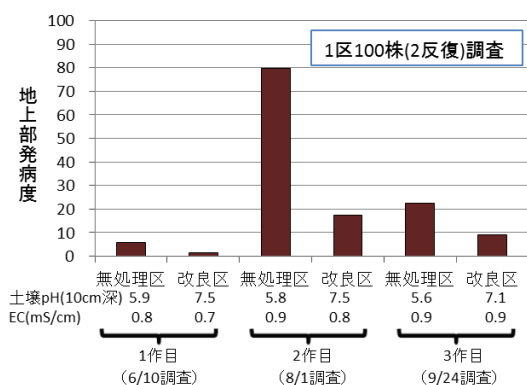


図3 現地試験における発病調査結果（左：地上部発病度、右：根部発病度）

メモ）土壌 pH 改良区では処理後 3 作目まで地上部および根部の発病を抑制した。

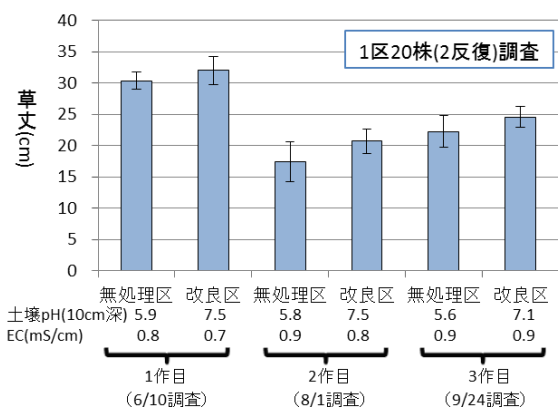


図4 現地試験における生育調査結果（調製重）

メモ）土壌 pH 改良区では、処理後 3 作目まで生育や収量に対する負の影響は認められなかった。

#### 試験概要（図2～4）

2013 年に八幡平市現地圃場において試験を実施した。転炉スラグは 2t/10a を処理し、土壌 pH を 7.5 に調製した。転炉スラグ無処理区の土壌 pH 5.9 であった。各区 2 反復とし、ハウレンソウ 3 作（1、2 作目サンホープセブン、3 作目ミラージュ）について調査した。地上部および根部の発病は、下記の指数別に調査し、発病度を算出した。

- ・地上部発病指数 0：発病を認めない 1：下葉の 1-2 枚にしおれがある 2：葉の 3 枚以上にしおれがある 3：全身萎凋または枯死
- ・根部発病指数 0：導管褐変無し 1：一部導管が褐変 2：導管の約半分が褐変 3：導管のほとんどが褐変
- ・発病度 =  $\Sigma (\text{程度別株数} \times \text{指数}) \times 100 / (\text{調査株数} \times 3)$

## 2) 目標土壌 pH の決定と混和方法

転炉スラグは、土壌 pH をあげても微量要素欠乏がでにくい土壌 pH 改良資材である。被害軽減効果を発揮するためには目標土壌 pH として 7.5 が推奨される。土壌改良深は 10cm で効果が得られる。土壌改良深を 15cm や 20cm としても問題ないが、15cm 改良では処理量が 1.5 倍、20cm 改良では 2 倍になるので費用および散布労力の負担も大きくなる。なお、投入量を決定する際は、圃場ごとに土壌緩衝能曲線（村上・後藤、2008）を作成する。



図5 転炉スラグの散布作業

転炉スラグは、小面積の雨よけハウレンソウ圃場の場合には、手散布（図5）で対応できる。散布後は一般的なロータリにより耕起するが、処理深 10cm とした場合は、できるだけ浅耕とする。処理 2～3 週間後に土壌 pH を測定し、深度 0～10cm の表層土壌が目標土壌 pH となっていることを確認する。目標土壌 pH に到達していない場合は、転炉スラグを追加処理する。

本技術により転炉スラグのみを施用した圃場では、石灰分との拮抗作用により、マグネシウム欠乏症が発生しやすい。そこで、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。苦土肥料の処理量の目安は、水酸化マグネシウム（水マグ）で概ね 100kg/10a である（後藤・村上、2006）。

## 3) 留意事項

- (1) 今回実施した現地試験では、萎凋病が特に問題となる 6 月～9 月の作型を考慮し、5 月上旬に転炉スラグを処理し、その後ハウレンソウ 3 作について萎凋病の発病および生育状況を調査した。
- (2) 土壌中の MgO 含量が 40mg/100g 以下の圃場では、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。目安：水マグ（県内流通品ではニューエコマグ等）で概ね 100kg/10a（後藤・村上、2006）。
- (3) 本技術の処理費用は、転炉スラグ処理量が 2,000kg/10a の場合で概ね 6 万円である。
- (4) 本技術の土壌改良深は 10cm であるので、深層土壌との混和による土壌 pH 低下を避けるため、圃場耕起の際はできるだけ浅耕とする。
- (5) 塩類集積圃場（高 EC など）において効果が得られない事例が認められたことから、塩類未集積圃場での適用とする（図 6、図 7）。そのため、本技術の導入を検討する場合は、土壌分析を実施した上で判断することとし、塩類集積の程度が高い圃場では、冬期間のハウス被覆除去など、過剰蓄積した塩類の排除に努める。
- (6) 転炉スラグ以外の土壌酸性改良資材のみで土壌 pH を改良した場合に、同様の被害軽減効果が得られるかは不明である。



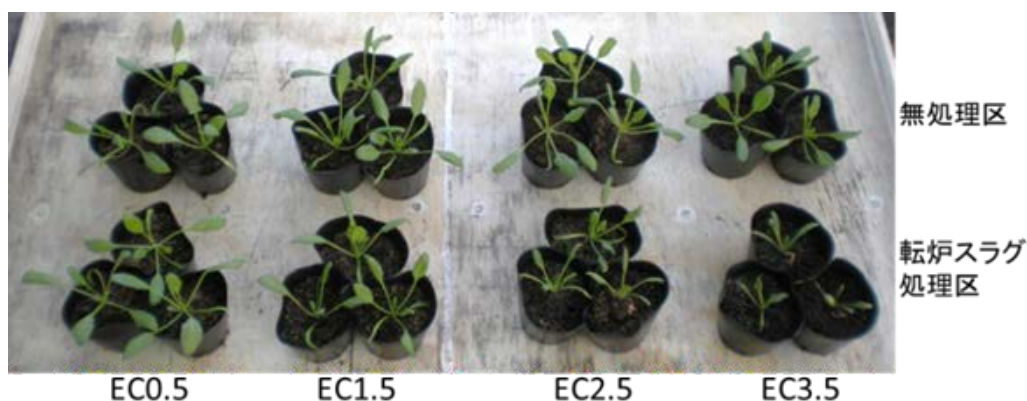


図6 EC別土壌における生育状況（ポット試験）

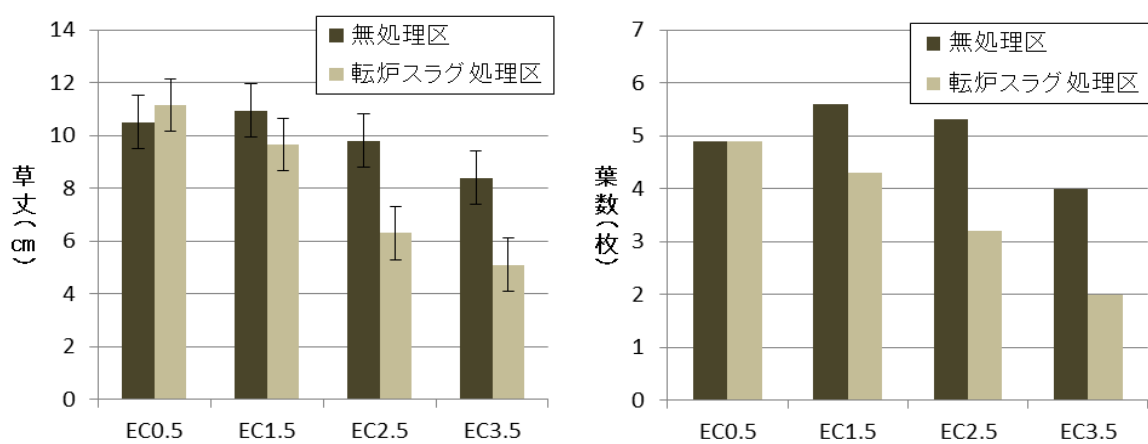


図7 EC別土壌における播種27日後における生育調査結果（ポット試験、左：草丈、右：葉数）

**メモ** 土壌 EC が高い場合、転炉スラグ処理（目標土壌 pH 7.5）によって、ハウレンソウ生育への負の影響が発生する可能性がある。本技術の導入に際しては、土壌分析を必須とし、塩類集積の程度が高い圃場では、除塩等の対策が必要。

### 3. おわりに

本稿では、転炉スラグを用いた土壌 pH 改良によってハウレンソウ萎凋病の被害軽減が可能であることを明らかにした。一方で、本技術は塩類集積圃場での適用が難しいなどの問題点も明らかとなった。なお、本技術がどのような作用機作により病害の被害軽減に結びついているかは、目標土壌 pH や土壌改良深、効果の持続年数を検討する上でも、解明が求められる事項である。

転炉スラグを用いた土壌 pH 改良技術は、各種土壌伝染性フザリウム病のほか、キュウリホモブシス根腐病やアブラナ科根こぶ病などの実用的な被害軽減対策として活用できることが明らかとなりつつある。本技術は、土壌消毒剤に頼らない、新たな土壌病害対策技術となり得ることから、今後も活用可能な土壌病害の種類および作物の組み合わせについて、継続して検討していきたい。

### 4. 引用文献

岩舘（2014）岩手農研セ研報 13: 69-160.

後藤・村上（2006）根こぶ病おもしろ生態とかしこい防ぎ方. 農文協, 東京, pp. 89-96.

村上・後藤（2008）関西病虫研報 50: 97-98.

# 転炉スラグを用いた土壌pH矯正に品種の耐病性と 育苗方法を併用したレタス根腐病の被害軽減技術

岩間俊太

(地独) 青森県産業技術センター 農林総合研究所

## 1. はじめに

長野県、茨城県、群馬県などのレタス主産地で重要病害とされているレタス根腐病（図1）が、東北地域では青森県の一部の圃場で2009年頃から確認されるようになった。病原菌（*Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*）の生育適温（22.5～32.5℃）や発病適温（27.5～32.5℃）が高い（藤永・和田、1997）ことから、特に、夏季高温年となった2010～2012年の秋どり栽培で被害が甚大であった。青森県では夏秋レタス（6～10月出荷、106ha）が年間のレタス作付面積（113ha）の94%を占めており（農林水産省「平成25年産野菜生産出荷統計」資料より）、本病が発生すれば被害を受けやすく、既にレタス以外の品目に切り替えた圃場もみられる。青森県の夏秋レタス作付面積は、東北地域では岩手県（410ha）に次ぐ第2位、全国（計9,110ha）でも第7位であり（前述の資料より）、本病の被害を軽減できる技術の一端が明らかになれば、県内外のレタス産地への波及効果は高いと考えられる。



図1. レタス根腐病による被害状況（左上）と病徴

本病が土壌伝染性の病害であることから数種土壌消毒剤が農薬登録されているが、クロルピクリンくん蒸剤の使用により、硝化細菌の減少に伴うアンモニア態窒素過剰で生育異常球が多くなるという長野県での試験事例が報告されている（藤永、2000）。さらに、発生圃場が高冷地に限らず平坦地でもみられ、現地試験を行った圃場のように民家や一般道路に近かったり、隣接圃場で栽培されている様々な作物への薬害が懸念される場合には、これらの薬剤の使用は困難であり、土壌消毒剤の使用以外の対策が望まれている。

そこで、これに代わる耕種的な被害軽減対策として、従来よりフザリウム性の土壌病害に有効とされる石灰資材を用いた土壌 pH 矯正の利用が考えられ、後藤・村上（2006）によるアブラナ科野菜根こぶ病対策技術の中で活用されている転炉スラグに着目した。転炉スラグは製鉄所の製鋼過程で生じる副産物であり、土壌 pH 矯正効果の持続性に優れるとともに、作物の生育に必要なホウ素やマンガンなどの微量元素を豊富に含んでいるため、土壌 pH を 7.5 程度に矯正しても作物に欠乏症状が生じにくい資材とされる。青森県では、副産石灰肥料として肥料登録されている転炉スラグ（商品名「てんろ石灰」）が流通しており、これを活用できる。さらに、青森県で発生が確認されている本病菌レース 1（本病菌にはレタス品種に対する病原性の異なる 3 つのレースの存在が知られている）に対して耐病性を有する品種の活用も有効な対策と考えられた。この他にも、試験を行う中で、育苗方法によっても被害を軽減できる可能性が考えられた。これらの耕種的な方法によってレタス根腐病の被害軽減が可能かを検討するとともに、併用することによる被害軽減効果を検討した。

## 2. 研究内容

### 2) 転炉スラグを用いた土壌 pH 矯正がレタス根腐病の発病に及ぼす影響

#### (1) 現地試験における被害軽減効果の確認（予備試験）

レタス根腐病菌レース 1 による被害が確認された現地農家圃場（灰色低地土）において、被害状況の把握・観察と転炉スラグを用いた土壌 pH 矯正による被害軽減効果の確認を兼ねて、予備試験として 2011 年に春作試験（5 月 20 日定植）と秋作試験（8 月 10 日定植）を行った（以後、2014 年まで同一圃場内で春作試験と秋作試験を実施）。pH 矯正区（pH7.5、30cm 深矯正を目標に、2011 年に転炉スラグを 3.7t/10a 施用）と pH 未矯正区（pH6.0 程度）を設置し、春作では品種「エムラップ 231」、秋作では品種「サウザー」（いずれも農家慣行栽培品種）の 128 穴セルトレイ育苗（農家慣行育苗方法）株を定植した。なお、pH 矯正区での矯正目標 pH および矯正深は、以下の 3 つの理由による暫定値とした。①現地試験農家では既にアブラナ科野菜根こぶ病対策として同じ基準で転炉スラグが活用されていて土壌 pH 矯正に理解を得ている。②レタス根腐病以外の数種フザリウム性土壌病害については pH7.5 程度で被害が軽減されることをポット試験で確認済み。③レタスの根の大半が 23～25cm の深さに分布しているとされており青森県では深めの耕起を推奨している。

その結果、春作では少発生、秋作では甚発生となったが、pH 未矯正区に比べて pH 矯正区での地上部と地下部の発病度は低下する傾向にあった（図 2）。なお、秋作試験のような甚発生条件下では、圃場の土壌 pH 矯正単独技術では地下部の発病度が依然として高いままであり、品種（「サウザー」は耐病性がない）や育苗方法（セルトレイ育苗では定植時に株を取り出す際に根傷みしやすく、傷口からの感染が助長される恐れがある）を考慮する必要があると考えられた。





pH 矯正区 ← | → pH 未矯正区

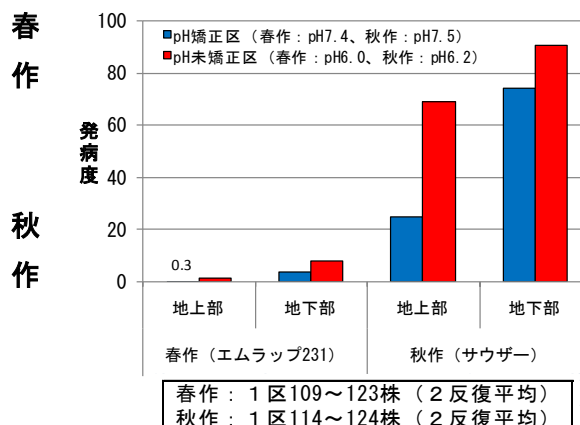


図2. 転炉スラグを用いた土壌 pH 矯正によるレタス根腐病の被害軽減効果

## (2) 接種試験による被害軽減効果の確認

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、レタス根腐病の被害軽減が可能かを接種試験により検討した。本病菌レース 1 菌株の土壌フスマ培養菌を園芸培土と混合して人工汚染土を作成し、人工汚染土の pH 矯正後にセルトレイに播種（品種「サウザー」、「ラプトル」）し育苗した試験とセルトレイおよびペーパーポット育苗株（品種「サウザー」）をポリポットに移植し栽培した試験を行い、生育ステージが異なる条件下で土壌 pH と発病程度との関係を比較した。

その結果、いずれも pH6.6 程度の未矯正の場合と比較し、pH7.5 程度に矯正することで平均発病指数が低下した（図3、4）（岩間ら、2014）。なお、転炉スラグを用いて土壌 pH を 7.5 程度まで高めても、育苗中やポット移植後のレタスの生育に悪影響はみられなかった。ただし、供試した園芸培土では、pH を 7.7 程度～8.0 程度まで上げ過ぎた場合に、育苗時期によっては無機態窒素量の減少が一因と思われる生育抑制が生じる場合があったので（図5）、本病の被害軽減効果を狙った矯正目標 pH は 7.5 が適していると考えられた。



| 区 | 地上部の平均発病指数 |       |       | 地下部の平均発病指数 |       |       |
|---|------------|-------|-------|------------|-------|-------|
|   | pH6.5      | pH7.1 | pH7.5 | pH6.5      | pH7.1 | pH7.5 |
| ① | 2.8        | 2.7   | 1.3   | 2.8        | 2.0   | 0.8   |
| ② | 2.8        | 1.5   | 1.0   | 2.8        | 1.5   | 1.2   |
| ③ | 2.5        | 2.5   | 0.8   | 2.7        | 2.0   | 0.7   |
| ④ | 3          | 2.3   | 2.2   | 3          | 2.3   | 1.3   |

図3. 転炉スラグによる土壌 pH 矯正とレタス根腐病の発病程度（2012 年移植接種試験）

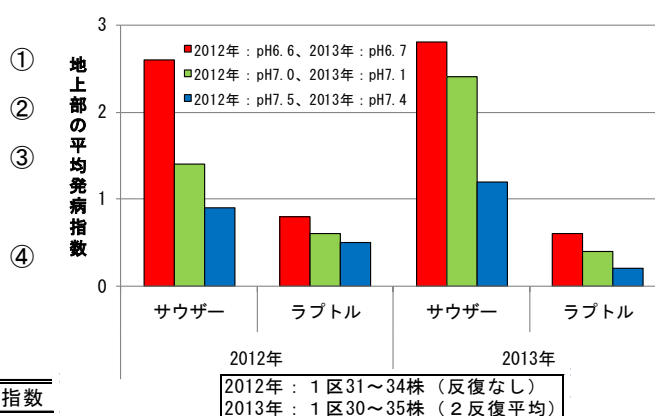


図4. 転炉スラグによる土壌 pH 矯正とレタス根腐病の発病程度（播種接種試験）

注 ①ペーパーポット育苗 (pH7.4)、②セルトレイ育苗 (pH7.4)  
③ペーパーポット育苗 (pH6.5)、④セルトレイ育苗 (pH6.5)

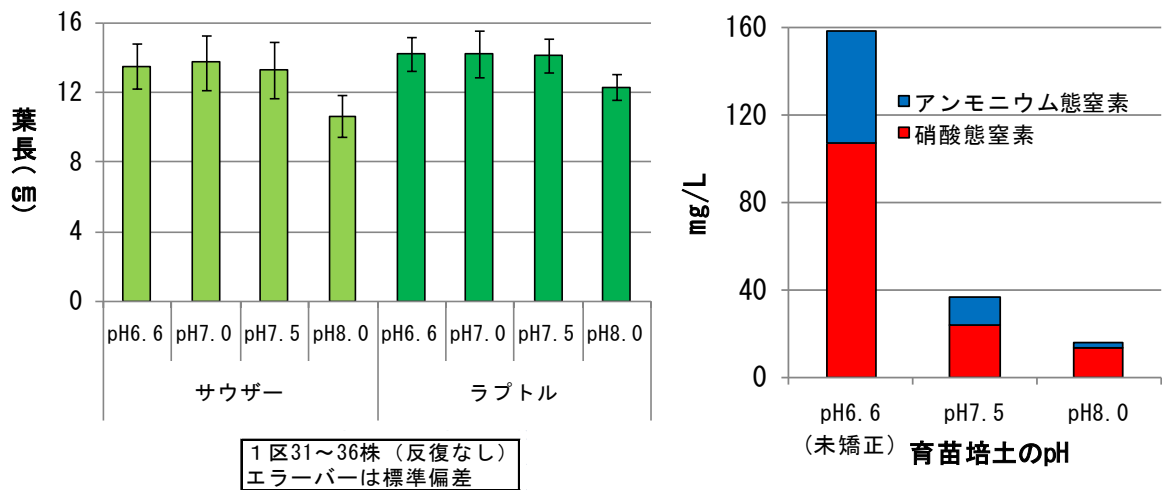


図5. 転炉スラグによる土壌 pH 矯正が育苗中のレタスの生育と園芸培土の無機態窒素量に及ぼす影響（育苗試験の一例）

注) 2012 年 10 月 5 日播種、11 月 9 日調査・採土。育苗培土の窒素添加量（袋に表示）は 320mg/L

### 3) 転炉スラグを用いた土壌 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

#### (1) レタス根腐病菌レース 1 に対して耐病性を有する品種の選定

これまで、青森県内で入手・栽培可能なレタス根腐病菌レース 1 耐病性品種についての知見がなかった。そこで、市販レタス品種（結球レタス 68 品種、リーフレタス 20 品種）を対象に 2011 年と 2012 年に 128 穴セルトレイを使った播種接種試験によって地上部の平均発病指数を比較し、耐病性を有する品種の選定を行った。

その結果、表 1 に示した 6 品種を「耐病性あり」、3 品種を「耐病性あり」～「耐病性ややあり」、14 品種を「耐病性ややあり」として程度別に選定した（岩間ら、2013）。

表 1. レタス根腐病菌レース 1 に対するレタス品種の耐病性

| 耐病性              | 品 種 名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| あ り<br>(◎)       | (結球レタス) オアシス、極早生シスコ、サンバレー、バレイ、マリーナ<br>(リーフレタス赤色系) パラエティ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| あり～ややあり<br>(◎～○) | (結球レタス) キングシスコ、サクラメント、ラプトル                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| ややあり<br>(○)      | (結球レタス) 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<br>(×)       | (結球レタス) あさひな、アストラル、ヴィレタス、エクシード、NL 598、FR ちくま、エムラップ 231、オーガスタ、オリンピア、かさま 9251、カスケード、からさわ、カルマー MR、菊川 103 号、キャスパ、グレートレークス 366 号、グロリア-10、ゴジラ、コロラド、サウザー、さくらまる、サルバトーレ、シーカー、シスコ、スーパー 102、スパーク、スピーディ、にほんまる、パークレー、パパレタス、ひかわまる、ファルコン、冬シスコ、フレッシュワールド、マイヤー、ママレタス、マリア、みずさわ、ユニット、ユーレイクス、ララポート、レイヤード、レガシー、レタスしずか、ロジック、早生サリナス<br>(リーフレタス赤色系) サニーレタス、サマーサージ、ニュースター、マーシーレッド、マザーレッド、みやがわレッド、ユニーク 2 号、レッドエンゼル、レッドファルダ<br>(リーフレタス緑色系) クランチ、グリーンウェーブ、グリーンジャケット、グリーンリーフ 2 号、ダンシング、チャームグリーン、トロピグリーン、ハンサムグリーン、晩抽ムッター、マザーグリーン |

注) 種苗メーカーカタログ・HPによると、レース 1 に対して「オアシス」（タキイ種苗）は「耐病性」、「サンバレー」（カネコ種苗）は「耐病性あり」、「スターレイ」（タキイ種苗）は「比較的強い」と表示されている。



## (2) 土壌 pH 矯正と品種の耐病性の併用による被害軽減効果

2012 年と 2013 年に春作試験と秋作試験を行った。pH 矯正区 (pH7.5、30cm 深矯正を目標に、2011 年または 2012 年に 1 回のみ転炉スラグを 3.7t/10a 施用) と pH 未矯正区 (pH6.0 程度) を設置して耐病性の程度の異なる品種を栽培し (いずれも 220 穴ペーパーポット育苗株を定植)、地上部と地下部の発病度を収穫期に比較した。

その結果、土壌 pH 矯正と品種の耐病性を併用することで、それぞれの単用の場合よりも地上部と地下部の発病度が低下する傾向にあり、被害軽減効果が向上した (図 6、地上部の発病度のデータは地下部と同様の傾向を示しており省略) (岩間ら、2014)。ただし、2012 年春作試験のように比較的冷涼な作型 (春まき栽培) では、接種試験結果と同様の品種間における耐病性の違いが確認されたものの、同年秋作試験 (作型: 夏まき栽培) のようにほとんどの品種で抽台、分球、未結球などの結球障害が多発するような極端な高温気象条件下では、品種によっては期待された耐病性が確認できない場合もあった。そのため、品種選定にあたっては、作型や品種特性 (晩抽性、耐暑性など) を十分考慮する必要があると考えられた。なお、圃場試験において、土壌 pH 矯正によるレタスの生育や収穫物への悪影響は 2 年 4 作ともにみられなかった。

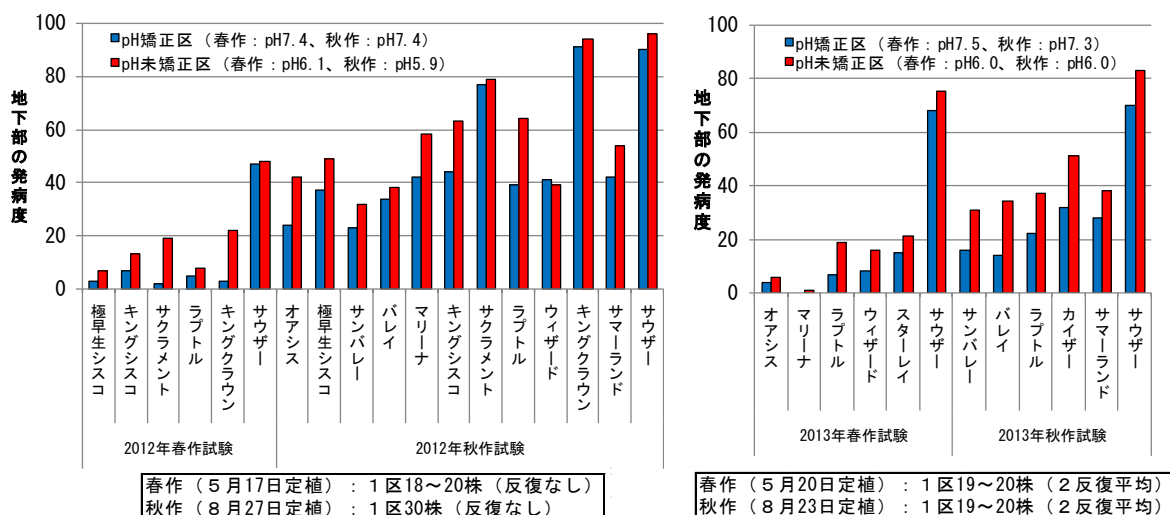


図 6. 転炉スラグによる土壌 pH 矯正と品種の耐病性の併用によるレタス根腐病の被害軽減効果

また、収穫物の可販球率の調査 (全収穫物について調製重を測定し、300g 以上 (S 規格以上) あって調製切断面が褐変していなければ販売可能とみなした) も行ったが、2012 年春作試験では、多発生の「サウザー」では pH 矯正区・pH 未矯正区ともに可販球率 50%、それ以外の品種でみると pH 矯正区の方が pH 未矯正区と同等~28%優った 72~100%であった。同年秋作試験では、甚発生の「サウザー」では pH 矯正区・pH 未矯正区ともにほぼ収穫皆無となったが、結球障害が少なかった「ラプトル」でみると、pH 未矯正区で 20%であったのに対し、pH 矯正区で 72%となり大幅に向上した。2013 年春作試験では、多発生の「サウザー」では pH 矯正区・pH 未矯正区で可販球率 53%・50%の同等、それ以外の品種では全体的に発病度が低い傾向にあり、結球肥大への影響は小さかったが、pH 矯正区の方が pH 未矯正区と同等~8%優った 90~100%であった。同年秋作試験では、甚発生の「サウザー」では pH 矯正区の方が pH 未矯正区よりも 10%優った 50%、それ以外の品種では pH 矯正区の方が pH 未矯正区と同等~12%優った 70~90%であった。

#### 4) 転炉スラグを用いた土壌 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

2011 年の現地予備試験の際に、農家慣行育苗方法のセルトレイ育苗（128 穴、容積約 25mL/穴）では定植時に株を取り出す際に根傷みしやすく、傷口からの感染が助長される恐れがあると考えられたことから、定植時に根傷みの少ないペーパーポット育苗（220 穴、容積約 26mL/穴）を行うことで被害軽減が可能かを検討した。さらに、育苗の際に、育苗土の pH 矯正の有無（矯正目標 pH7.5 と未矯正）を組み合わせた。2012～2014 年に春作試験と秋作試験を行い、pH 矯正区（pH7.5、30cm 深矯正を目標に、2011 年または 2012 年に 1 回のみ転炉スラグを 3.7t/10a 施用）と pH 未矯正区（pH6.0 程度）で栽培し、地上部と地下部の発病度を収穫期に比較した。

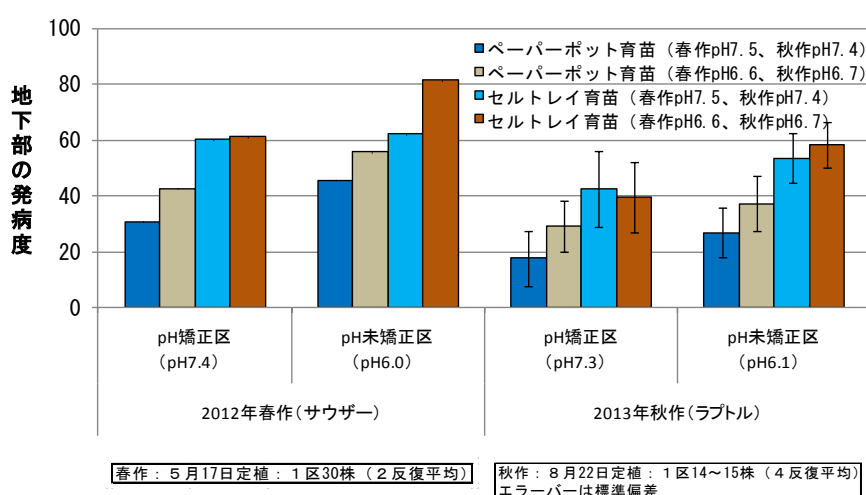


図7. 転炉スラグを用いた土壌 pH 矯正と育苗方法の併用によるレタス根腐病の被害軽減効果①

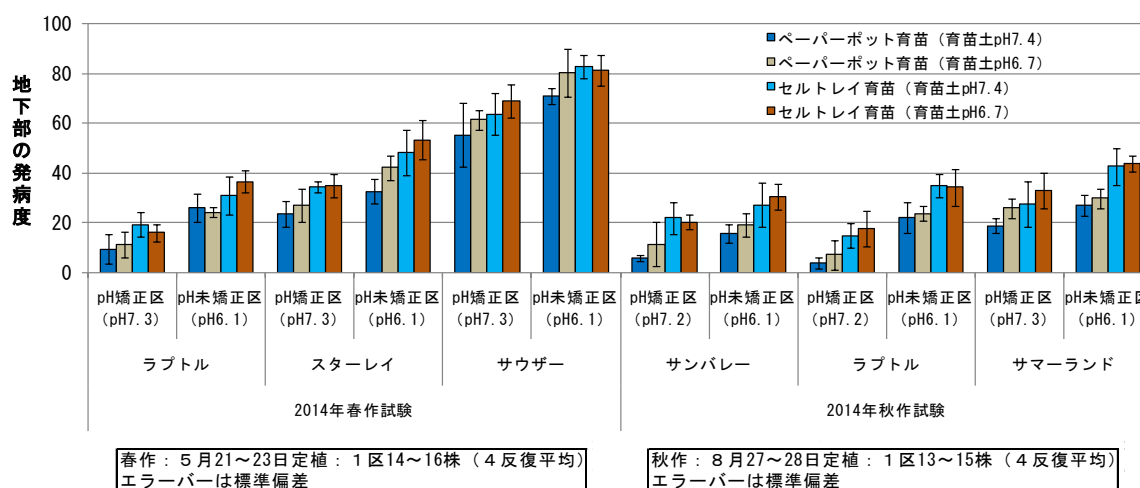


図8. 転炉スラグを用いた土壌 pH 矯正と育苗方法の併用によるレタス根腐病の被害軽減効果②

その結果、2012 年秋作試験（8 月 28 日定植、品種「サウザー」、農家慣行栽培方法で地下部の発病度 100）での甚発生条件下では育苗方法の違いによる発病度の差は判然としなかったが、圃場の pH 矯正（pH7.3、未矯正で pH5.8）による地上部・地下部の発病度の低下傾向はみられた（デー

タ省略)。同じく甚発生条件下となった2013年春作試験(5月21日定植、品種「サウザー」、農家慣行栽培方法で地下部の発病度96.7)では、ペーパーポット育苗の方がセルトレイ育苗よりも地上部・地下部の発病度が低下する傾向がみられ、圃場のpH矯正(pH7.5、未矯正でpH6.0)との併用でも低下傾向がみられたが、育苗土のpH矯正(pH7.6、未矯正でpH6.8)による低下傾向は判然としなかった(データ省略)。

一方、これらの試験よりも発生が少ない多発生条件下となった2012年春作試験(品種「サウザー」、農家慣行栽培方法で地下部の発病度約80)および中発生条件下となった2013年秋作試験(品種「ラプトル」、農家慣行栽培方法で地下部の発病度約60)では(図7、地上部の発病度のデータは地下部と同様の傾向にあり省略)、ペーパーポット育苗の方がセルトレイ育苗よりも地下部の発病度が低下する傾向がみられ、圃場のpH矯正との併用でも低下傾向がみられた。また、育苗土のpH矯正の併用による低下傾向についても概ねみられた。さらに2014年には(図8、地上部の発病度のデータは地下部と同様の傾向にあり省略)、春作試験と秋作試験とで3品種ずつ供試し、春作では中(品種「ラプトル」)～多(品種「サウザー」)発生条件下、秋作では少(品種「サンバレー」)～中(品種「サマーランド」)発生条件下となった。これらの試験でも、ペーパーポット育苗の方がセルトレイ育苗よりも地下部の発病度が低下する傾向がみられ、圃場のpH矯正との併用でも低下傾向がみられた。また、育苗土のpH矯正の併用による低下傾向についても概ねみられた。

以上の結果から、ペーパーポット育苗を行うことによっても根腐病の被害軽減が可能であり、圃場のpH矯正との併用で被害軽減効果が向上することが明らかとなった。その際に、品種の耐病性を活用することで、被害軽減効果は効果的に向上した。ただし、育苗土のpH矯正(pH7.5程度に矯正)を併用することでも被害が軽減される傾向にあるが、レタスではpHを7.7程度～8.0程度まで上げ過ぎた場合に、育苗土の種類・育苗時期によって育苗中の生育が悪くなることがあるので、試験的にはpH矯正・維持は可能であるが、一般栽培では育苗土のpH矯正は行わない方がよい。

### 3. レタス根腐病の被害軽減技術の現地実証

2014年に現地実証試験のための春作試験と秋作試験を行った。被害軽減技術実証区として、①転炉スラグを用いた圃場のpH矯正(pH7.5、30cm深矯正を目標に、2012年に1回のみ転炉スラグを3.7t/10a施用)、②耐病性を有する品種の活用(品種「ラプトル」)、③ペーパーポット育苗(育苗土pH未矯正、ただし参考としてpH矯正育苗土も用いた)の3つの耕種的方法を併用した区を設けた。一方、対照の農家慣行栽培区では、圃場のpH未矯正(pH6.1程度)、品種「サウザー」(耐病性なし)、セルトレイ育苗(実際に使用)およびペーパーポット育苗(一部使用)とした。さらに、栽培比較区として、農家慣行栽培区のうち品種だけを「ラプトル」に替えた区を設けた。春作試験では7月4日に、秋作試験では10月10日に、地上部と地下部の発病度を調査するとともに収穫・調製後の可販球率を調査した。

その結果、春作試験では、農家慣行栽培区(図9の赤点線内)に比べて被害軽減技術実証区(図9の青点線内)の地上部・地下部の発病度は1/7、1/8程度に低下し、可販球率は4.3倍となった。栽培比較区に比べても地上部・地下部の発病度は低下し、可販球率は5～7%増加した。秋作試験では、農家慣行栽培区(図9の赤点線内)に比べて被害軽減技術実証区(図9の青点線内)



(枠外奥側：栽培比較区)

被害軽減技術実証区 ← | → 農家慣行栽培区

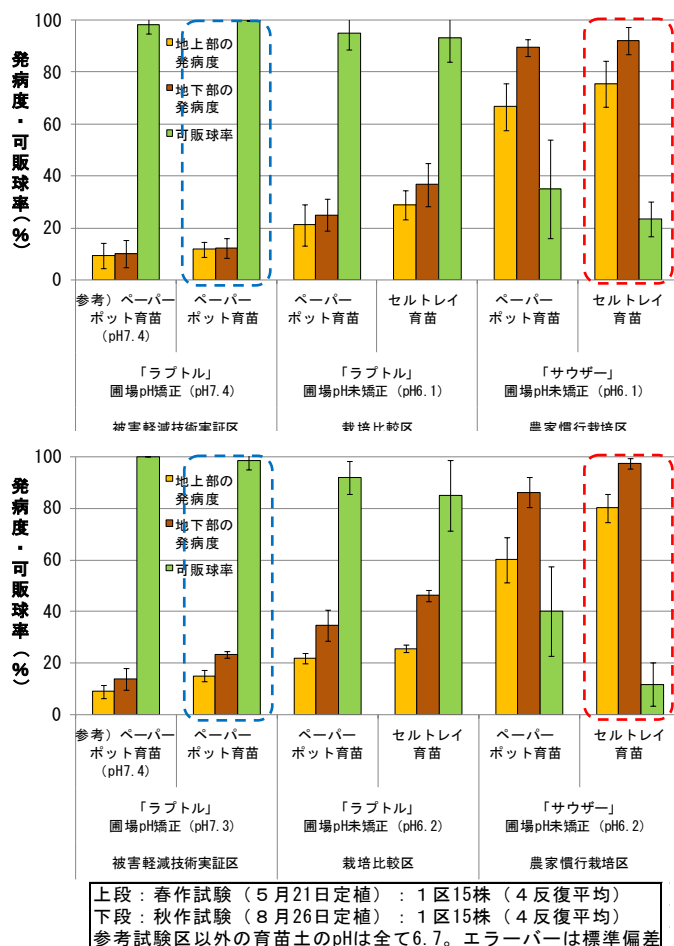


図9. レタス根腐病の被害軽減技術の現地実証結果

の地上部・地下部の発病度は1／5、1／4程度に低下し、可販球率は8.4倍となった。栽培比較区に比べても地上部・地下部の発病度は低下し、可販球率は6～13%増加した。以上のとおり、3つの耕種的方法を併用することにより、効果的に被害軽減効果が向上した。

#### 4. 成果の活用と留意点

本技術では、土壌pH7.5、30cm深矯正を圃場の矯正目標とし、土壌緩衝能曲線（後藤・村上、2006）の作成に基づいて転炉スラグ3.7t/10aを1回施用した。3年・6作、4年・8作終了時でも高pHが維持されていたが、肥料の影響による土壌の酸性化を軽減するために、硫酸根や塩素根を含まない肥料を用いることが推奨される。pH矯正深については、被害軽減効果との関係や資材費・投入労力にも影響するので、今後の検討課題の一つである。なお、土壌pH矯正を行っても、フザリウム属菌は死滅・減少しないので、汚染土の移動による発生圃場の拡大には十分な注意が必要である。

#### 5. 参考文献

- 1) 藤永・和田（1997）関東東山病虫研報 44：29-31.
- 2) 藤永（2000）土壌伝染病談話会レポート 20：152-160.
- 3) 後藤・村上（2006）おもしろ生態とかしこい防ぎ方 根こぶ病，農山漁村文化協会，東京，pp. 77-96.
- 4) 岩間・倉内・門田（2013）北日本病虫研報 64：240（講要）.
- 5) 岩間・倉内・門田（2014）北日本病虫研報 65：（印刷中）.



# イチゴ萎黄病に対する被害軽減手法

大場 淳司

宮城県農業・園芸総合研究所 園芸環境部

## 1. 研究目的

野菜の栽培において、土壌病害の発生は極めて深刻な問題であり、中でも、フザリウム属菌による土壌病害は、宿主範囲が広く、これまでも多くの野菜に甚大な被害をもたらしてきた。

一方、宮城県では、競争力と魅力ある園芸特産産地の形成、安全・安心で信頼性の高い園芸特産物の供給体制の整備を目指し、野菜などの園芸品目の生産振興を進めている。その中でも、イチゴは最も産出額が高く、本県園芸特産の中心品目となっている。県内におけるイチゴの生産地は、県南部の沿岸地域を中心とし広域にわたるが、いずれの生産地でも、萎黄病（図1）や炭疽病等の土壌病害の発生が大きな問題となっている。対策としては、化学薬剤による土壌消毒のほか、一部で土壌還元消毒等が実施されてきたが、十分な効果が得られていない事例も多く見られ、常発化している生産ほ場も散見される。

そのような中、本県では、地域特性に合うオリジナルイチゴ品種の要望が県内農家などから寄せられ、2005年に、イチゴ品種「もういっこ」が誕生した。本品種は、果実が大きいことと、甘味と酸味のバランスが良く、すっきりとした甘さが特徴である。また、土壌病害である萎黄病に対する耐病性が比較的強いことも加わり、県内の作付け面積が年々拡大し、2014年産では、栽培面積が35.9haで、イチゴの栽培面積の42%を占めるまでに至っている。そこで、本課題では、イチゴ萎黄病を対象に、転炉スラグによる土壌pH矯正とイチゴ品種「もういっこ」の併用による発病抑制対策について検討し、複合的な萎黄病抑制体系の確立を試みた。また、併せて、土壌pH矯正がイチゴ果実の収量及び品質に及ぼすかを影響を調査した。

なお、本研究は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「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」を活用して2012年度から3年間実施しているものである。

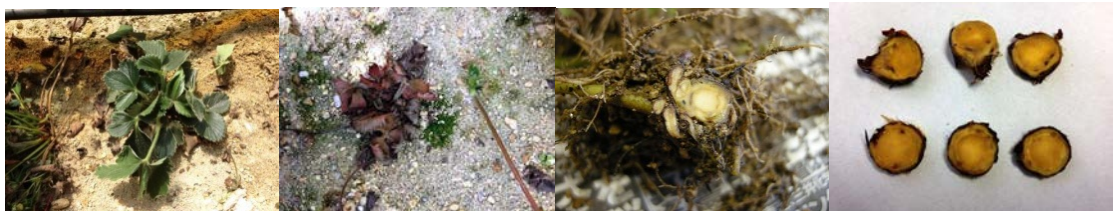


図1. イチゴ萎黄病による被害

## 2. 研究方法と結果

### 1) 転炉スラグを用いた土壌pH矯正によるイチゴ萎黄病の被害軽減効果の検討

試験は、2012年～2013年（2014年は現在試験中）に、研究所内のパイプハウス（ドレンベッド）で実施した。供試品種は「とちおとめ」及び「もういっこ」とし、土壌は褐色森林土及び砂



壤土を用いた。なお、2012 年作の定植前に、土壌 pH の矯正及び汚染土壌の作成を行った。すなわち、各土壌について緩衝能曲線を作成し、転炉スラグ（商品名：てんろ石灰）により、作土 10 cm の深さまで土壌 pH を 7.5 程度に矯正するとともに、イチゴ萎黄病菌胞子を  $10^3$  個/土壌 g の割合になるように土壌に接種した。その後、経時的にイチゴ萎黄病の発病調査を実施した。

その結果、両品種ともに、土壌 pH を 7.5 程度に矯正することによるイチゴ萎黄病抑制効果が認められ、品種間では、地上部、根冠部ともに、「もういっこ」での発病度が低かった（図 2、3）。土壌別では、砂壤土よりも褐色森林土での発病抑制効果が高かった（図 4）。また、砂壤土で矯正 pH の持続性が低い傾向が認められた（図 5）。

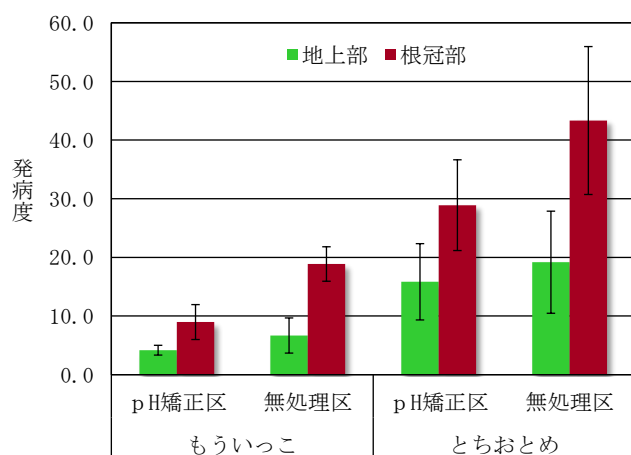


図 2 萎黄病の発病とイチゴ品種及び土壌 pH 矯正の関係（褐色森林土区：2012）



図 3 イチゴ萎黄病発病の品種間差

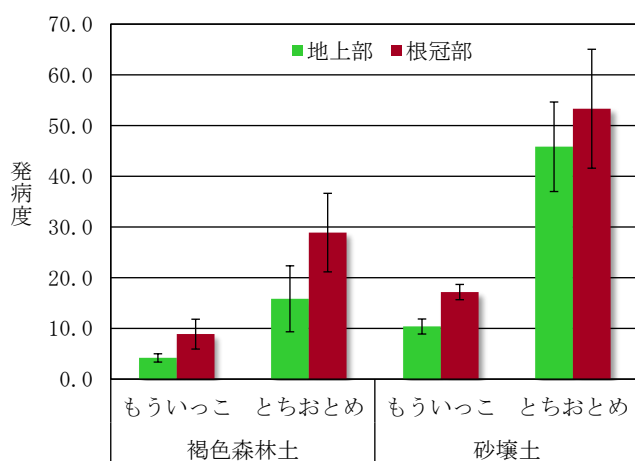


図 4 萎黄病の発病と土壌の種類及びイチゴ品種の関係（pH7.5矯正区：2012）

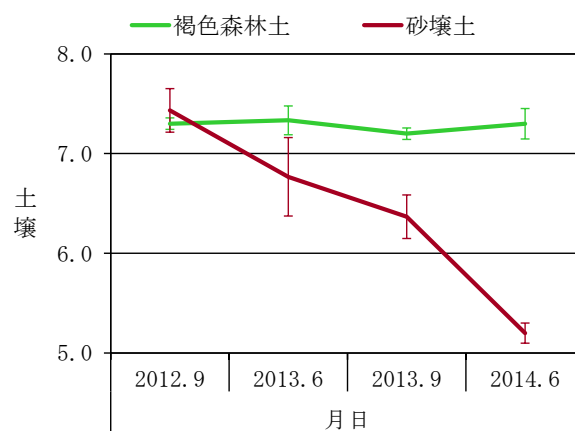


図 5 土壌の種類と土壌 pH の推移（転炉スラグの投入は 2012.9 のみ）

以上のことから、転炉スラグで土壌 pH を 7.5 程度に矯正した褐色森林土に、イチゴ品種「もういっこ」を栽培することで、高い萎黄病抑制効果が得られることが明らかとなった。

## 2) 転炉スラグを用いた土壌 pH 矯正によるイチゴ品質への影響の検討

試験年次及び転炉スラグの施用は 1) と同様とし、土壌は褐色森林土を用いた。調査項目は、可販果収量及び可販果品質（糖度、酸度及び硬度）とした。

その結果、a 当たりの可販果収量については、転炉スラグで土壌 pH を 7.5 に矯正した区と無処理区との間に差は認められなかった（図 6）。同様に、糖度、酸度及び硬度の果実品質についても、無処理区との差は認められなかった（図 7、8、9）。

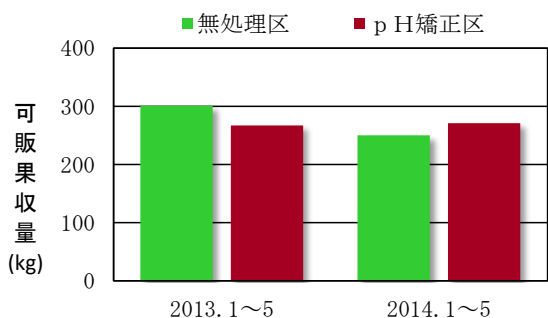


図 6 a 当たり可販収量

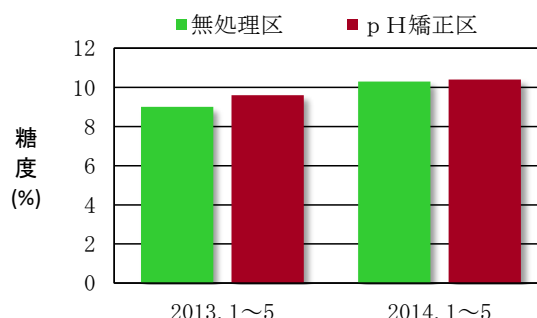


図 7 スラグ施用と果実糖度の関係

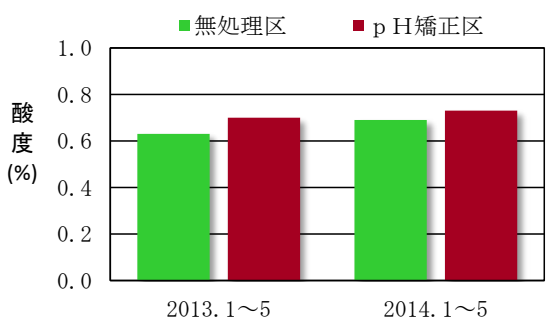


図 8 スラグ施用と果実酸度の関係

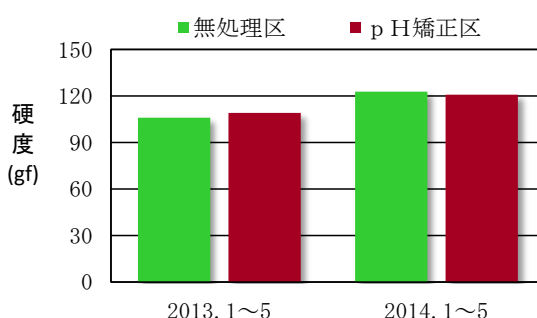


図 9 スラグ施用と果実硬度の関係

### 3. 考察

転炉スラグで土壌 pH を 7.5 程度に矯正した褐色森林土に、イチゴ品種「もういっこ」を栽培することで、可販果収量や果実品質に影響を及ぼさずに、高い萎黄病抑制効果が得られることが明らかとなった。ただし、転炉スラグによる病害抑制効果は、殺菌作用ではないと考えられているため、このことに留意する必要がある。すなわち、転炉スラグで土壌 pH を矯正することでイチゴ萎黄病の発病を抑制しても、土壌中の病原菌は生存していると考えられることから、農業機械や資材の洗浄等、病原菌を拡散させない取り組みはこれまで通りに実施する必要がある。

また、化学薬剤を用いない土壌病害防除対策として、土壌還元消毒法もあげられる。この手法は、北海道立道南農業試験場で開発された土壌消毒法であり、ハウス栽培ネギの根腐萎凋病に対する高い防除効果が報告されている（新村、1999、2000）。また、本県でも試験事例があり（近藤、2013）、環境保全型農業を実施している栽培現場でも導入の要望が高い。今後は、イチゴ萎黄病の発生程度に合わせ、本技術にこの土壌還元消毒法を組み合わせる等、より効果・持続性の高い複合的かつ総合的な防除体系の確立がより重要になると考えられる。

### 4. 参考文献

- 1) 近藤ら（2013）北日本病中研報 64：68-71.
- 2) 新村・坂本・阿部（1999）日植病報 65（3）：352-353.
- 3) 新村（2000）農業技術体系第 5-1 巻（追録 第 11 号）：畑 212 の 6-9.



# 転炉スラグ資材の粒状・粉状の違いが イチゴ萎黄病の被害に与える影響

畑 有季・宍戸邦明  
福島県農業総合センター 生産環境部

## 1. はじめに

近年、福島県では難防除病害であるイチゴ萎黄病が恒常的に発生し、防除に苦慮している。本病が発生したほ場では、クロルピクリンくん蒸剤による土壌消毒が行われているが、毎年の処理が必要となり、コストや労力など生産者の負担の他、環境負荷も大きい。このため、クロルピクリンくん蒸剤等の土壌消毒剤に代わる防除手法の開発が望まれている。

鈴木ら（2012）は、粉状の転炉スラグ資材を用いた土壌 pH 矯正がイチゴ萎黄病の被害軽減に有効であることを報告しているが、転炉スラグ資材には、複数の製品が流通し、粒状、粉状などの違いがみられる。

そこで、形状の異なる転炉スラグ資材（粒状・粉状）を用いて、イチゴ萎黄病に対する被害軽減や生育、収量等への影響について明らかにしたので紹介する。



図1 各転炉スラグ資材の形状

右：粒状転炉スラグ  
(商品名：ミネカル)

左：粉状転炉スラグ  
(商品名：てんろ石灰)

## 2. 研究内容

各転炉スラグ資材を用いた土壌 pH の矯正目標を 7.5、8.0 として本病に対する被害軽減効果をプランター試験で検証した。その結果、地上部発病においては、最終調査時に各処理区と汚染無処理区との間に統計的な有意差はなかったが、粒状資材よりも粉状資材で低く、pH7.5 よりも pH8.0 で低い傾向が認められ、粉状 8.0 区は全期間を通して処理区内で最も低く推移した（図2）。また、汚染無処理区、

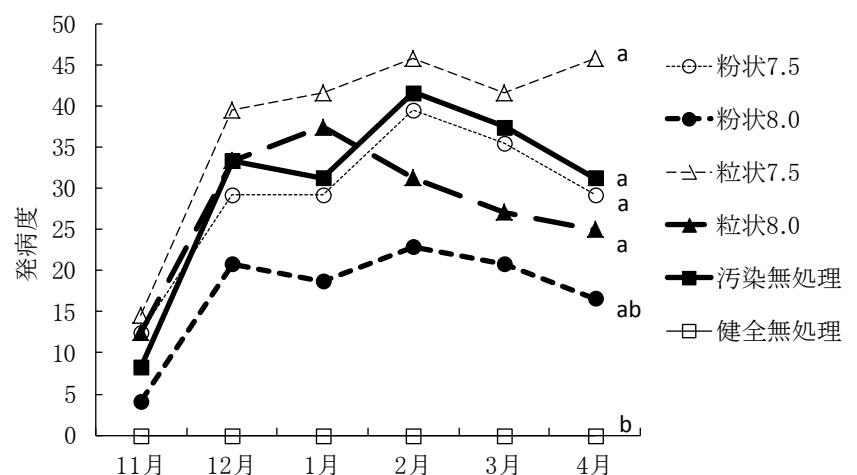


図2 各転炉スラグ資材と土壌 pH 矯正の違いによる地上部発病の推移

粉状 7.5 区、粒状 7.5 区では枯死株の発生がみられたが、粉状 8.0 区、粒状 8.0 区では枯死株の発生

は見られなかった（表1）。

表1 各転炉スラグ資材による土壌 pH 矯正が地上部発病に与える影響（プランター試験）

| 区名    | 発病指数(株数) |    |   | 地上部発病株割合(%) | 地上部発病度  |
|-------|----------|----|---|-------------|---------|
|       | 0        | 1  | 2 |             |         |
| 粉状7.5 | 12       | 10 | 2 | 50.0        | 29.2 a  |
| 粉状8.0 | 16       | 8  | 0 | 33.3        | 16.7 ab |
| 粒状7.5 | 7        | 12 | 5 | 70.8        | 45.8 a  |
| 粒状8.0 | 12       | 12 | 0 | 50.0        | 25.0 a  |
| 汚染無処理 | 12       | 9  | 3 | 50.0        | 31.3 a  |
| 健全無処理 | 24       | 0  | 0 | 0           | 0 b     |

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 =  $\Sigma$  (程度別発病株数 × 指数) × 100 / (調査株数 × 2)



図3 イチゴ萎黄病の地上部病徴

次に、イチゴ萎黄病が発生している現地圃場で各資材を土壌矯正目標 pH7.5 として施用した結果、地上部発病は、粉状区で発病株割合が低く、発病度は無処理区よりも低かった。粒状は発病株割合が 50%と高く、発病度では無処理区との差がなかった（表2）。また、参考のクロルピクリン区では、転炉スラグ資材処理区よりも発病が少なく、被害も少なかった。

以上より、イチゴ萎黄病においては、粉状の転炉スラグ資材を用い、土壌矯正目標 pH を 7.5 から 8.0 とすることで被害が軽減されるが、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（前述：宮城県）と併用する必要がある。

表2 各転炉スラグ資材による土壌 pH 矯正が地上部発病に与える影響（現地試験）

| 区名          | 発病指数(株数) |   |    | 地上部発病株割合(%) | 地上部発病度  |
|-------------|----------|---|----|-------------|---------|
|             | 0        | 1 | 2  |             |         |
| 粒状          | 15       | 5 | 10 | 50.0        | 41.7 ab |
| 粉状          | 22       | 7 | 1  | 26.7        | 15.0 ac |
| 無処理         | 12       | 4 | 14 | 60.0        | 53.3 b  |
| (参考)クロルピクリン | 28       | 0 | 2  | 6.7         | 6.7 c   |

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 =  $\Sigma$  (程度別発病株数 × 指数) × 100 / (調査株数 × 2)

なお、転炉スラグ資材施用による生育、収量への影響はなく、果実品質では、施用により果皮硬度が高くなる傾向がみられたが、糖度、酸度、果肉硬度に影響はなかった。

### 3. おわりに

今回の研究により、イチゴ萎黄病の被害軽減のために有効な転炉スラグ資材や土壌矯正目標 pH は明らかとなった。しかし、本病の多発圃場で実施した現地試験においては、既存の土壌消毒剤よりも被害軽減効果は低く、転炉スラグ資材を用いた土壌 pH 矯正のみでの実用性は低かった。

本県のイチゴの主要品種は萎黄病に感受性が高いとされる「とちおとめ」であり、耐病性品種と転炉スラグ資材の土壌 pH 矯正を組み合わせた防除対策の導入は困難である。イチゴは、夏季に土壌消毒期間の確保が可能であるため、今後は、太陽熱消毒や土壌還元消毒による土壌消毒との併用など、より効果を高めるための技術開発が必要である。

### 4. 参考文献

- 1) 鈴木ら（2012）：北日本病害虫研究会報 63：100-103



# 太陽熱消毒と併用したセルリー萎黄病の被害軽減技術と微量元素の挙動

大島宏行・後藤逸男  
東京農業大学 応用生物科学部

## 1. 研究の背景・目的

静岡県浜松市は冬採りセルリーの主要産地である。2000 年前後からセルリー萎黄病が発生し、収穫皆無となるハウスが続出するなどの甚大な被害が発生し、セルリー産地の存続にかかわる深刻な事態となった。2004 年に地元からの要請に応じて現地調査を実施した結果、セルリー栽培ハウスでは可給態リン酸や硝酸態窒素などの土壤養分過剰とハウスの無被覆期間における塩基の溶脱による土壤酸性化が顕著であった。演者らはこれまでに、アブラナ科野菜根こぶ病、ウリ科ホモプシス根腐病やフザリウム病の発病が土壤酸性化やリン酸過剰により助長される<sup>1)2)3)</sup>ことを明らかにしてきた。



写真1 萎黄病の発生により収穫皆無でとなったセルリーハウス

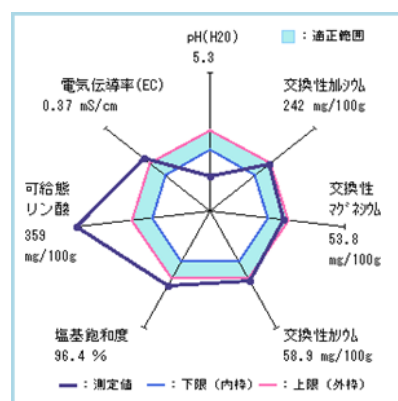


図1 セルリー萎黄病発病ハウスの土壌化学性

そこで、2005 年にセルリー萎黄病が激発した浜松市内の農家のハウスで防除対策として、①転炉スラグを用いた土壤酸性改良（pH(H<sub>2</sub>O)を 6.5 程度まで高める）、②施肥改善による土壤養分の適正化、③太陽熱消毒による病原菌密度の低減、を行った。その結果防除効果が確認された<sup>4)</sup>ので、2 年目以降は、転炉スラグを施用せず太陽熱消毒と施肥改善を繰り返した。その後、防除効果は持続したが、2010 年には土壌 pH(H<sub>2</sub>O)が 5.7 にまで低下したので、2011 年にハウス面積の 1/2 に転炉スラグ追加施用区を設け、土壌 pH(H<sub>2</sub>O)の違いがセルリー萎黄病の発病に及ぼす影響を検討した。なお、隣接する連棟ハウスを対照区(転炉スラグ無施用)とした。

次に、演者らはこれまでに転炉スラグを施用して pH(H<sub>2</sub>O)を 7.5 程度まで高めても、植物にホウ素、マンガン、鉄などの微量元素欠乏をきたしにくいことを明らかにしてきた<sup>5)</sup>。しかし、pH(H<sub>2</sub>O)を 7.5 以上に高めた土壌から植物への微量元素の移行については不明である。また、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)による有害成分としてニッケル、クロム、チタン含有最大量が設けられているが<sup>9)</sup>、これら成分の土壌から植物への移行は明らかにされておらず、普及を妨げる一要因となっている。そこで、ポット試験により野菜の生育に支障をきたさない転炉スラグの最大施用量および、pH(H<sub>2</sub>O)の違いによるホウ素、マンガン、クロム、チタン、ニッケルの移行に及ぼす影響についても明らかにした。

## 2. 研究内容

### 1) 転炉スラグの施用と太陽熱消毒によるセルリー萎黄病の被害軽減技術の開発と実証

静岡県浜松市のセルリーハウスでは9月にセルリー苗を定植し12月下旬に収穫、その後再び施肥、定植を行い4月に収穫する年2作体型となっている。2011年4月のセルリー収穫後、上記の試験ハウスに転炉スラグ 1.5t/10a を施用して pH(H<sub>2</sub>O)を 6.5 に改良した後、ハウス全面でスイートコーンを栽培し7月上旬に茎葉部を鋤き込んだ。

その際、ハウスの半面に転炉スラグを 2 t/10a 施用して pH(H<sub>2</sub>O) 7.5 区を設けた。7月25日から9月4日まで、ハウス全体を密閉し、太陽熱消毒を実施した。太陽熱消毒期間中における作土の積算地温は 1,520℃、最高地温は 49℃に達し、*Fusarium* 属菌密度は、太陽熱消毒開始3週間後にはすべての区において検出限界以下となったが、定植後の9月中旬には 10<sup>2</sup> cfu/g にまで増加した。

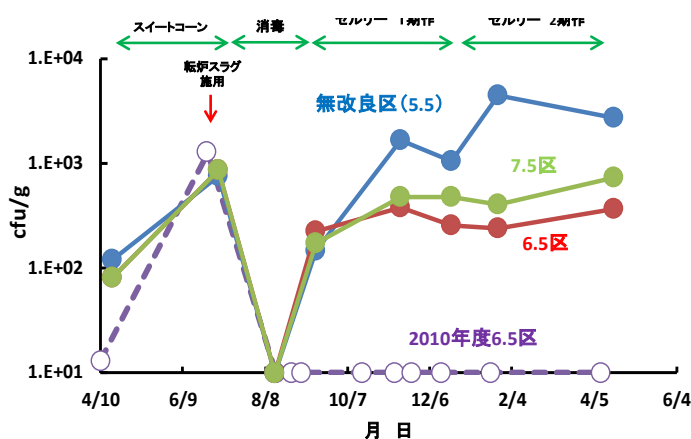
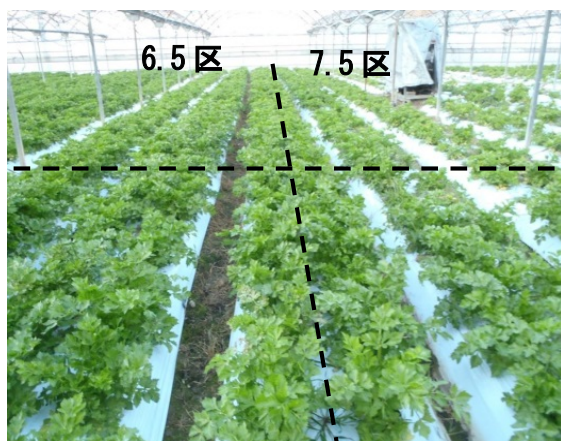


図2 作土における*Fusarium*属菌密度の経時変化

発病調査の結果、pH7.5 区で最もセルリー萎黄病の発病が抑制された。収量は7.5区：6.0 t/10a、6.5区：3.8 t/10a、無改良区：1.3 t/10aであった。転炉スラグを施用して土壌 pH(H<sub>2</sub>O)を 7.5 にまで高めても、セルリーの生育および品質の低下をもたらすことなく、セルリー萎黄病の発病を軽減させることができた。一方、太陽熱消毒により *Fusarium* 属菌密度を激減することができたが、セルリーの連作により、菌密度が上昇した<sup>7)</sup>。



7.5 区

6.5 区



慣行区 (pH 5.5)

写真2 2011年11月におけるセルリーの生育状況

2013 年の太陽熱消毒終了後、作土には 10 mg/100g 程度の無機態窒素が残存していた。そこで、6.5 区、7.5 区の窒素施用量を前年より 10 kg/10a 削減して栽培試験を行った結果、両区の収量は慣行区と同等であった。また、6.5 区、7.5 区では慣行区と比べて萎黄病の発病が抑制された。太陽熱消毒終了後に無機化する窒素量を考慮して窒素施用量を削減しても、セルリーの収量を低下させることなく、土壌の硝酸態窒素残留量を低下させることが可能であった。



写真3 収穫したセルリーの生育比較

次に、転炉スラグ施用ハウスの作土における pH(H<sub>2</sub>O)の経時変化を図3に示す。7.5 区では転炉スラグ施用1ヶ月後には7.5 まで上昇し、その後7.5 から7.4 を推移した。資材施用2.5年後の pH(H<sub>2</sub>O)は7.5 と転炉スラグの酸性改良持続効果が確認された。

転炉スラグを施用して土壌 pH(H<sub>2</sub>O)を7.5 にまで高めても、セルリーの生育および品質の低下をもたらすことなく、セルリー萎黄病の発病を軽減させることができた。一方、太陽熱消毒により *Fusarium* 属菌密度を激減することができたが、セルリーの連作により、菌密度が上昇した。すなわち、セルリーの連作を継続させるためには、土壌の高 pH 化維持や施肥改善、太陽熱消毒を組み合わせた総合防除を続けることが不可欠である。

表1 試験ハウスの施肥量

| 試験区       | N      | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|-----------|--------|-------------------------------|------------------|
|           | Kg/10a |                               |                  |
| 慣行区       | 42     | 0                             | 47               |
| 6.5区、7.5区 | 35     | 0                             | 36               |
| 2003年施肥量  | 240    | 140                           | 100              |

表2 2013 年1 期昨セルリーの収量、発病度

| 試験区      | 調整収量<br>t/10a | 発病率<br>% | 発病度  |
|----------|---------------|----------|------|
| 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  |

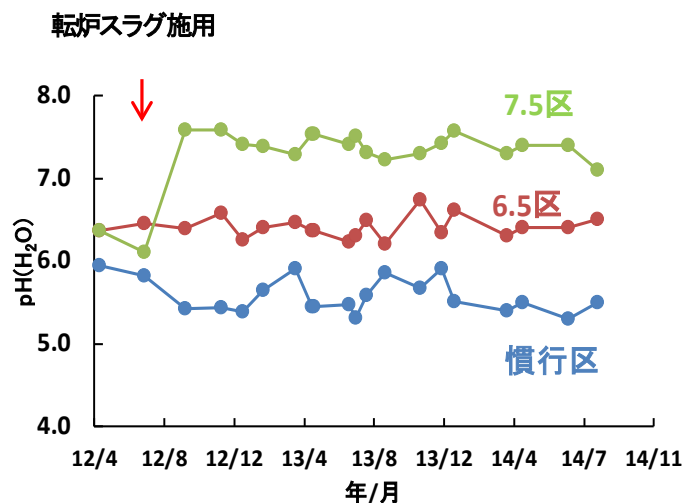


図3 作土におけるpH(H<sub>2</sub>O)経時変化



## 2) 転炉スラグの多量施用が植物の微量元素吸収に及ぼす影響

酸性が強く、微量元素含有率が低い未耕地黒ボク土に炭カル、苦土石灰、転炉スラグをそれぞれ施用して pH(H<sub>2</sub>O) を 6.5 から 8.0 に改良した。さらに、土壌酸性改良資材の種類と土壌 pH の違いが土壌中でのカドミウムの挙動に及ぼす影響を調べる目的で、全試験区の土壌に硫酸カドミウムを Cd として 1 mg/kg 添加した。1/500 a コンテナでチンゲンサイ、ソルゴー、ハウレンソウを連続で栽培した。

表 3 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   |
|-------|------|------|------|------|-------|------|------|
|       | %    |      |      |      | 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: 40,000 mg/kg

その結果、苦土石灰区、炭カル区では酸性改良により収量が低下したのに対し、転炉スラグ区では pH(H<sub>2</sub>O) を 8.0 まで改良しても無改良区と同等の収量であった。植物中のマンガン含有量は、資材の種類にかかわらず pH(H<sub>2</sub>O) の上昇により減少した。一方、苦土石灰区、炭カル区におけるハウ素含有量は、pH(H<sub>2</sub>O) 7.0 以上の区では、チンゲンサイやソルゴーの欠乏と判断される値を下回ったが、転炉スラグ区では無改良区と同等の値を維持した。苦土石灰区、炭カル区における生育低下の要因はハウ素欠乏と考えられた。転炉スラグ区におけるチンゲンサイとソルゴーのニッケル、チタン、クロム含有量は無改良区と比べて、同等かそれ以下で、他の酸性改良資材区と差も認められなかった。また、ソルゴーのカドミウム含有量は転炉スラグ pH(H<sub>2</sub>O) 8.0 区で最低値を示し、無改良区の 1/5 程度にまで軽減された<sup>9)</sup>。

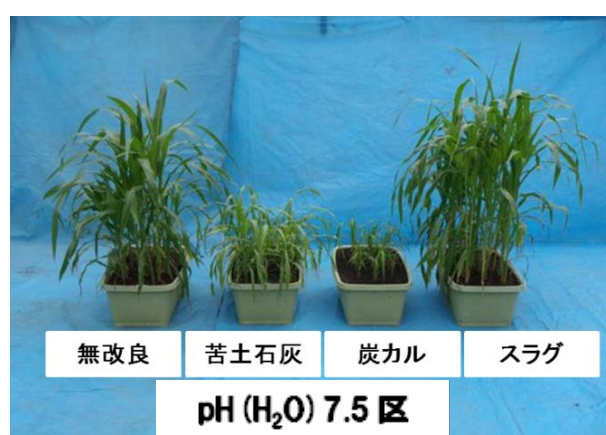


写真3 pH(H<sub>2</sub>O) 7.5 区におけるソルゴーの生育状況

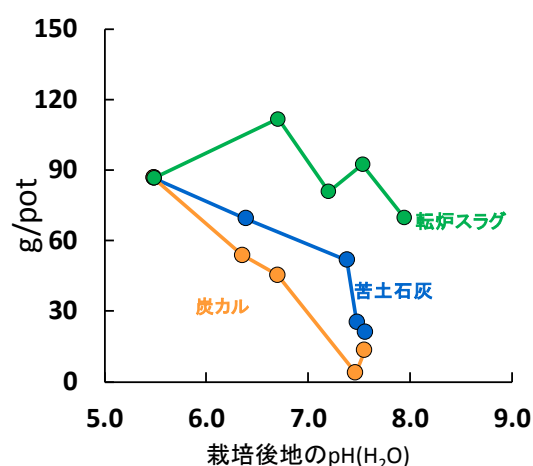


図4 酸性改良資材の違いがソルゴーの生育に及ぼす影響

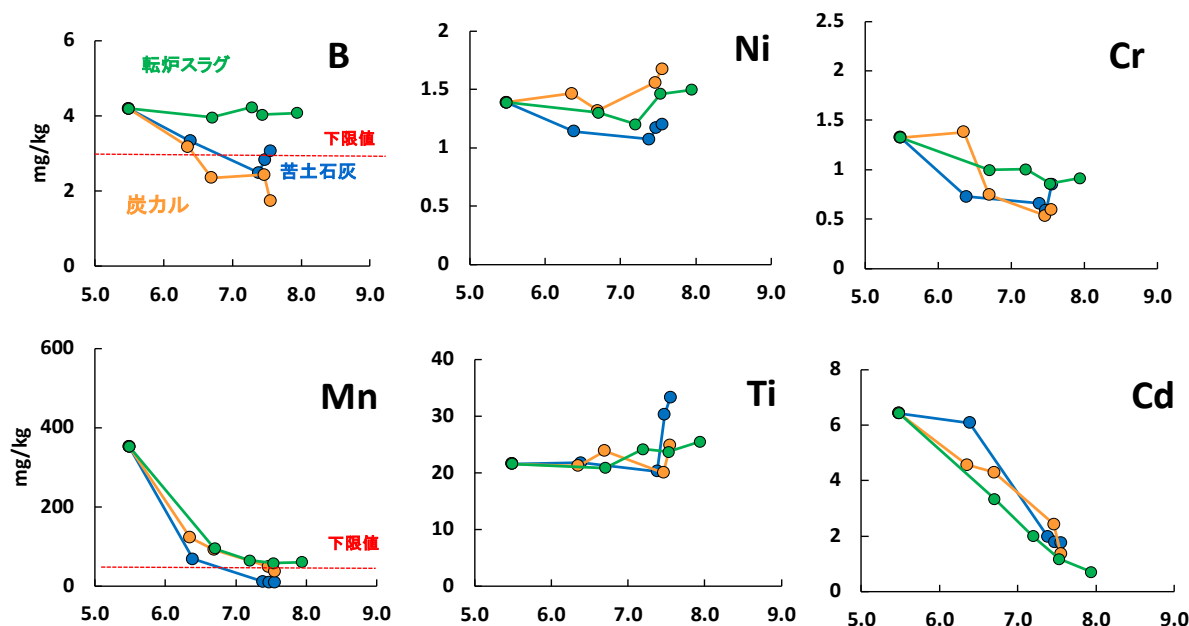


図5 酸性改良資材の違いがソルゴーの微量元素含有量に及ぼす影響

ソルゴー栽培後地土壌の可給態ホウ素を測定した結果、無改良区、苦土石灰区、炭カル区では 0.5 mg/kg 以下であった。そこで無改良区、苦土石灰区、炭カル区には可給態ホウ素が 2 mg/kg となるようにホウ砂を施用してホウレンソウを栽培した。その結果、炭カル区および苦土石灰区では酸性改良により生育が低下したが、苦土石灰区では前年のホウ素無施用の栽培と比べて、生育の改善がみられた。転炉スラグ区の収量は、pH(H<sub>2</sub>O)を 7.5 まで改良しても無改良区と同等であった。

次に、転炉スラグを施用して pH(H<sub>2</sub>O)を 6.5 から 8.0 に改良した土壌を用いて 6 種類の植物を連続で栽培した結果を表 3 に示す。エンツアイ、ソルゴー、ホウレンソウ、ギニアグラスでは pH(H<sub>2</sub>O)を 7.5 以上に高めると無改良区と比べて収量が低下することが確認された。



写真4 pH(H<sub>2</sub>O) 7.5 区におけるホウレンソウの生育比較  
上:ホウ素無施用(2012 年)、下:ホウ素施用(2013 年)

表4 収量が低下しない pH(H<sub>2</sub>O)

| pH(H <sub>2</sub> O) | 供試植物                              |
|----------------------|-----------------------------------|
| 8.0                  | チンゲンサイ<br>エダマメ                    |
| 7.5                  | エンツアイ<br>ソルゴー<br>ホウレンソウ<br>ギニアグラス |



転炉スラグを土壤に多量施用して pH(H<sub>2</sub>O)を 7.5 程度にまで高めても、野菜や緑肥作物の生育に支障はない。また、転炉スラグ中に含まれるニッケル、チタン、クロムが植物に移行しない。したがって、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(H<sub>2</sub>O)は 7.5 に設定することが望ましい。

また、転炉スラグを土壤酸性改良資材として施用し、pH(H<sub>2</sub>O)を 7.5 程度まで高めると植物の生育に支障をきたすことなくカドミウム含有量を低下させることができることから、カドミウム吸収抑制資材としても有効である。

### 3. 文 献

1. 村上圭一・中村文子・後藤逸男 2004. 土壤のリン酸過剰とアブラナ科野菜根こぶ病発病の因果関係. 土肥誌, 75, 781-786.
2. 大島宏行・前田良之・後藤逸男 2014. ホモプシス根腐病の発病に及ぼす土壤の種類, 施肥リン酸, 土壤 pH の影響. 土肥誌, 印刷中
3. 北口博之, 横田健治, 後藤逸男 2004. レタス根腐病防除への土壤肥料学的アプローチ(その 2). 土肥要旨集, 50, 52
4. 後藤逸男・村上圭一 2006. ひと味ちがう酸性改良、根こぶ病 おもしろ生態とかしこい防ぎ方 - 土壤病害から見直す土づくり -, 77~84、農文協、東京
5. 大島宏行・北島絵里香・後藤逸男 2006. セルリー萎黄病の総合防除対策(その 2)-太陽熱消毒・同一畝二作連続定植による萎黄病の防除-. 土肥要旨集, 52, 39
6. (独)農林水産消費安全技術センター：石灰質肥料、肥料取締法に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件、<http://www.famic.go.jp/ffis/fert/kokuji/60k0284.htm>
7. 大島宏行・高倉克弥・後藤逸男 2013. セルリー萎黄病の総合防除対策(その 4)-転炉スラグを用いた土壤酸性改良によるセルリー萎黄病の防除-. 土肥要旨集, 59, 49
8. 大島宏行・後藤逸男 2014. 転炉スラグの多量施用が作物への微量元素収集に及ぼす影響. 土肥要旨集, 60, 136

# 転炉スラグ資材施用後の地力変化と施肥管理法

## および水田復元後の水稻栽培

谷川法聖、倉内賢一

(地独) 青森県産業技術センター 農林総合研究所

### 1. はじめに

フザリウム性土壤病害被害の軽減対策として、転炉スラグ資材を使った土壌pH矯正が効果的であることが明らかにされつつある。石灰資材を施用して土壌pHを高くすると、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、地力窒素の発現量が一時的に増加する「アルカリ効果」という現象が起こる。一方で、地力窒素の無機化促進が長く続く場合には、土壌有機物が消耗し、地力窒素は徐々に減少していくことが懸念される。そこで、レタス栽培においてpHを7.5に矯正した場合に窒素減肥栽培が可能かどうか、高pH条件を続けた場合に土壌有機物や地力がどう変化するかを検討した。

また、本プロジェクトで開発した技術を利用してpH矯正した圃場を何らかの理由で水田に復田する場合を想定し、復田した場合の水稲生育や病害発生などに及ぼす影響を検討した。ここでは、それらの結果について紹介する。

### 2. pH矯正によって起こる地力窒素の増加

pH矯正によって土壌からの地力窒素発現量がどのように変化するか明らかにするために、2種類の土壌（褐色低地土、黒ボク土）に段階的に転炉スラグを混ぜてpHを変化させて、30℃の一定温度で畑培養し、無機態窒素量を経時的に調査した。

褐色低地土、黒ボク土ともに、pHが高まるほど無機態窒素量が増え、pH矯正によって地力窒素発現量が増加する「アルカリ効果」が確認された。pH7.5付近に矯正した処理区で見ると、褐色低地土の地力窒素は未矯正の2倍に、黒ボク土は1.6倍に増加し、地力窒素の増加割合は

土壌によって異なっていた。土壌有機物量や矯正前のpHによって地力窒素の増加割合は異なると考えられ

表1 pH矯正による無機態窒素量の増加割合

|       | 培養12週後の無機態窒素量<br>(mg/100g) |   |           | 増加率<br>(矯正／未矯正) |
|-------|----------------------------|---|-----------|-----------------|
|       | 未矯正                        |   | 矯正(pH7.5) |                 |
| 褐色低地土 | 5.2                        | → | 10.5      | 2.0             |
| 黒ボク土  | 8.8                        | → | 14.0      | 1.6             |

る。

### 3. 地力変化に応じた施肥管理法（レタス栽培の事例）

2012～2014 年に転炉スラグ施用後年数の異なる 2 圃場において、転炉スラグによる pH 矯正によって地力窒素が増加することを考慮して窒素施肥量を少なくしても慣行栽培並みの収量を確保できるか検討した。

表 2 レタス減肥試験の試験区の構成

|     | 試験区名 | 処理                      | 施肥量                     |
|-----|------|-------------------------|-------------------------|
| 圃場A | 転炉区  | 2012年に転炉スラグを 3.6t/10a施用 | 標準施肥<br>25%減肥<br>50% 減肥 |
|     | 対照区  |                         | 標準施肥                    |
| 圃場B | 転炉区  | 2009年に転炉スラグを 4.5t/10a施用 | 標準施肥<br>25%減肥           |
|     | 対照区  |                         | 標準施肥                    |

転炉区の収量を慣行栽培体系である対照区の標準施肥と比較すると、いずれの年次でも転炉区の標準施肥、25%減肥は対照区の標準施肥と同等かそれよりも高い収量が得られた。転炉区の 50%減肥区は、施用後 2 年目では対照区の標準施肥と同等であったが、3 年目の収量は対照区の標準施肥をやや下回った。

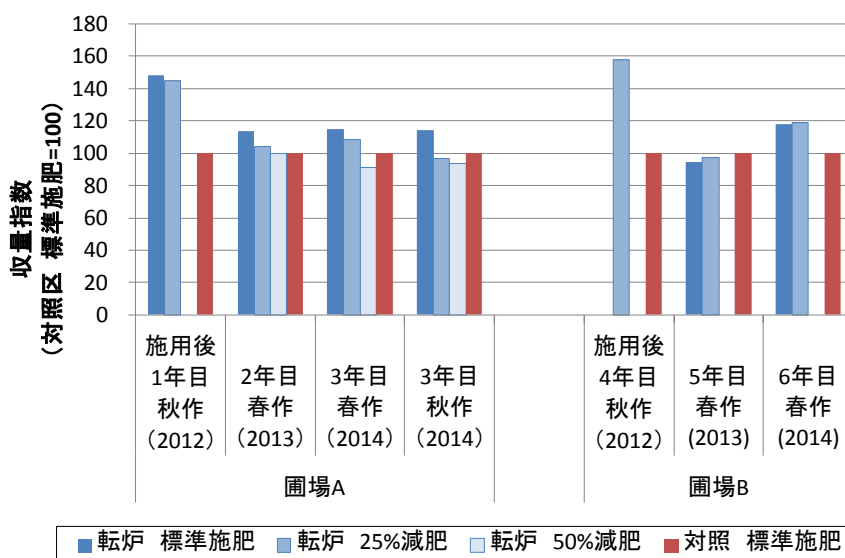


図 1 レタス減肥試験の収量の推移

(注)収量指数は、各年次の対照区標準施肥の収量を 100 とした時の、各試験区の収量を示す。

養分吸収量を見ると、施用後 1 年目あるいは 2 年目は転炉スラグ施用によって地力窒素発現量が増加したことで窒素吸収量が増えたものの、3 年目以降は対照区と同等であった。アルカリ効果による地力窒素の増加の影響は、転炉スラグ施用から 2 年程度の比較的短期的なものと考えられた。その他の成分では、転炉区のりん酸吸収量と石灰吸収量は対照区よりも増加しており、地力窒素以外に転炉スラグに含まれるこれらの成分も

レタスの生育に対してプラスの効果をもたらしていたと考えられた。

pH矯正によって地力窒素発現量は増えるが、一方で土壌の炭素含有率は減少する傾向が見られ、土壌有機物の消耗は転炉スラグ施用により早まると考えられた。持続的な土づくりのためには、堆肥や緑肥などの有機物の施用が必要である。

#### 4. pH矯正圃場を復田した場合の水稲栽培

pH矯正圃場を何らかの理由で復田した場合に高pH条件において水稲栽培が可能か検討するために、畑地期間に転炉スラグを施用した後に復田した転炉区と同様の作付け体系で慣行栽培を行う対照区を設け、水稲生育や病害発生状況などを比較した（試験1）。また、転炉スラグ施用直後の水稲作への影響を検討するため、水稲連作圃場においてpHを7.5程度に高めた転炉区と対照区の水稲生育や病害発生状況などを比較した（試験2）。圃場来歴および試験区の構成は表3及び表4の通りである。

表3 試験1の圃場来歴

| 区名  | 年数<br>(年次)   | (2008)              | (2009)              | 復田<br>1年目<br>(2010) | 復田<br>2年目<br>(2011) | 復田<br>3年目<br>(2012) | 復田<br>4年目<br>(2013) | 復田<br>5年目<br>(2014) |
|-----|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|     | 作付品目         | メロン・スイカ             | メロン                 | 水稲                  | 水稲                  | 水稲                  | 水稲                  | 水稲                  |
| 転炉区 | 土壌改良         | 転炉スラグ<br>(3.6t/10a) | なし                  | なし                  | 転炉スラグ<br>(1.2t/10a) | なし                  | なし                  | なし                  |
|     | 目標pH<br>実測pH | 7.5<br>7.1~7.3      | —<br>7.4~7.5        | —<br>7.2~7.6        | 7.5<br>7.6~8.0      | —<br>7.1~7.5        | —<br>7.1~7.5        | —<br>7.0~7.3        |
|     | 施肥           | 慣行                  | 慣行                  | なし                  | 窒素<br>2.5+0.7kg/10a | 窒素<br>6+2kg/10a     | 窒素<br>6+2kg/10a     | 窒素<br>6+2kg/10a     |
| 対照区 | 土壌改良         | 苦土石灰<br>(380kg/10a) | 苦土石灰<br>(100kg/10a) | なし                  |                     | なし                  | なし                  | なし                  |
|     | 目標pH<br>実測pH | 6.5<br>6.2~6.4      | 6.5<br>5.9~6.4      | —<br>6.0~6.5        | —<br>6.3~6.7        | —<br>5.7~6.6        | —<br>5.9~6.4        | —<br>5.8~6.0        |
|     | 施肥           | 慣行                  | 慣行                  | なし                  | 窒素<br>2.5+0.7kg/10a | 窒素<br>6+2kg/10a     | 窒素<br>6+2kg/10a     | 窒素<br>6+2kg/10a     |

表4 試験2の圃場来歴

| 区名  | 年数<br>(年次)   | (2011)          | 施用<br>1年目<br>(2012) | 施用<br>2年目<br>(2013) | 施用<br>3年目<br>(2014) |
|-----|--------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|     | 作付品目         | 水稲              | 水稲                  | 水稲                  | 水稲                  |
| 転炉区 | 土壌改良         | なし              | てんろ石灰<br>(3.6t/10a) | なし                  | なし                  |
|     | 目標pH<br>実測pH | —<br>—          | pH7.5<br>7.4~8.7    | —<br>7.4~7.7        | —<br>7.4~7.6        |
|     | 施肥           | 窒素<br>4+2kg/10a | 無窒素                 | 窒素<br>4+2kg/10a     | 窒素<br>6+2kg/10a     |
| 対照区 | 土壌改良         | なし              | なし                  | なし                  | なし                  |
|     | 目標pH<br>実測pH | —<br>—          | pH5.5~6.1           | pH5.6~7.2           | pH5.4~7.1           |
|     | 施肥           | 窒素<br>4+2kg/10a | 無窒素                 | 窒素<br>4+2kg/10a     | 窒素<br>6+2kg/10a     |

##### 1) 土壌pHの推移とアルカリ効果の発現状況



試験期間（2012～2014 年）の試験 1 の転炉区の pH は平均 7.3 で、対照区は 6.5 であった。同様に、試験 2 の転炉区の pH は平均 7.7 で、対照区は 6.2 であった。試験 1、2 ともに対照区において、湛水期間中は土壌還元に伴い pH が高まる傾向が見られ、pH 7 付近まで高くなることがあった。転炉区は、試験期間を通して概ね pH 7.5 の高 pH を維持していた。

移植約 1 か月後の 6 月中旬の作土中のアンモニウム態窒素量をみると、試験 1 では転炉区と対照区で大きな違いはなかったが、試験 2 では転炉スラグ施用後 1 年目と 2 年目にアルカリ効果による窒素発現量の増加が見られた。このことから、転炉スラグによる酸性矯正から 2 年程度はアルカリ効果の影響があるが、3 年目以降は酸性矯正を行わない圃場と地力窒素発現量は同程度になると考えられた。

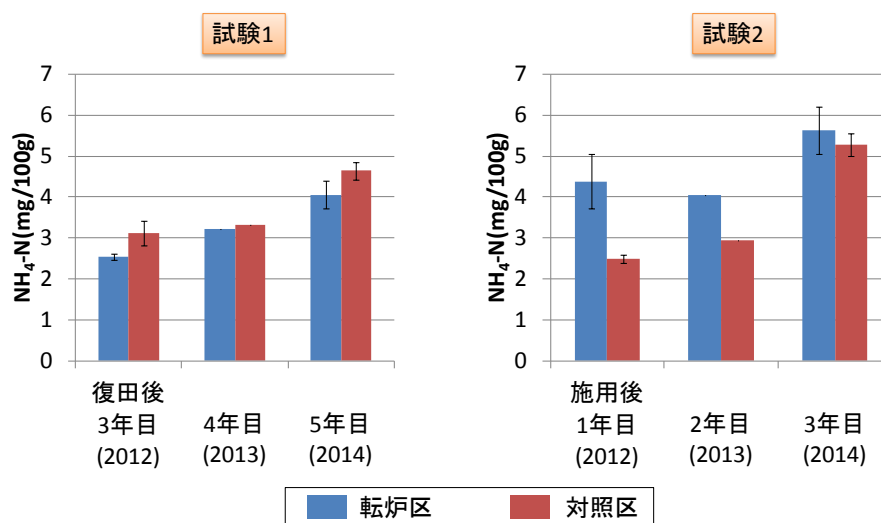


図 2 作土のアンモニウム態窒素量（6 月中旬）

## 2) 収量・品質・食味への影響

水稻の好適 pH は 5.5～6.0 とされているが、試験 1、試験 2 の転炉区の pH は 7.5 程度に高まっていたものの、高 pH で発生しやすい微量要素欠乏の生理障害は見られず、生育に問題はなかった。

試験 1 の転炉区の収量は、対照区と同等か年次によっては上回る年もあり、転炉スラグによる pH 矯正を行った畑圃場を復田しても慣行栽培並みの水稻収量が得られた。転炉スラグ施用直後に水稻を作付けした試験 2 の施用後 1 年目では、アルカリ効果による地力窒素の発現量増加の影響で、無窒素栽培としたにも関わらず初期から生育は旺盛で、収量は地域の平均収量（600kg/10a）に近い収量が得られた。施用後 2 年目は基肥の窒素施肥量を概ね半量、施用後 3 年目は慣行施肥量としたところ、収量は施用後 2 年目に対照区比 90% で少なく、施用後 3 年目是对照区比 110% と多くなった。試験 2 では施用後 2 年目と 3 年目で収量の傾向が逆転し、転炉スラグ施用による一定の傾向はなかった。試験期間を通してみると、転炉区と対照区で収量水準に大きな違いはなく、高 pH 条件

においても水稻栽培に大きな支障はないと考えられた。等級検査や食味官能検査については、転炉区と対照区で違いはみられなかった（データ省略）。

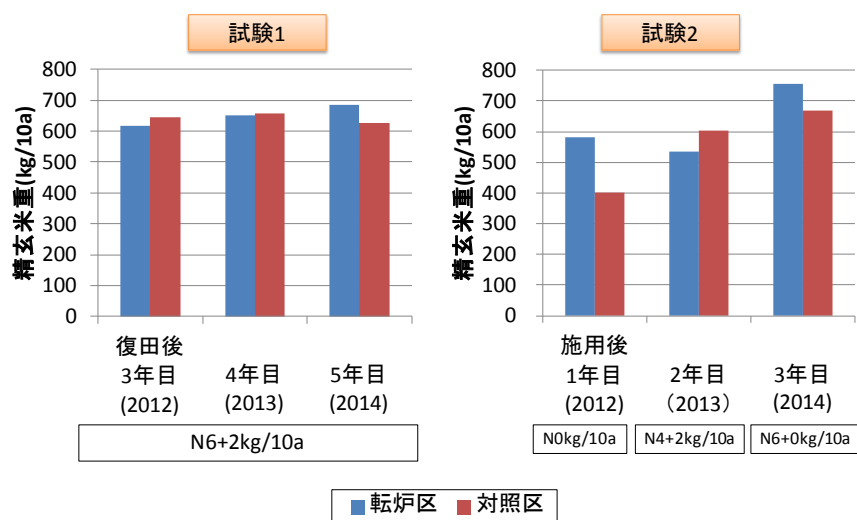


図3 試験1および試験2の収量

### 3) 水稻病害への影響

試験1においてイネいもち病およびイネ紋枯病の発生状況を調査した。品種はいもち病に比較的弱い品種である「ゆめあかり」を供試した。対照区に比べ転炉区でいもち病がやや少ない傾向が見られたが、発病株率が対照区と同等に多い年もあることから、通常の防除対策が必要と考えられた。また、紋枯病は発生に違いが見られなかった。よって、紋枯病に対しても通常の防除対策が必要と考えられた。

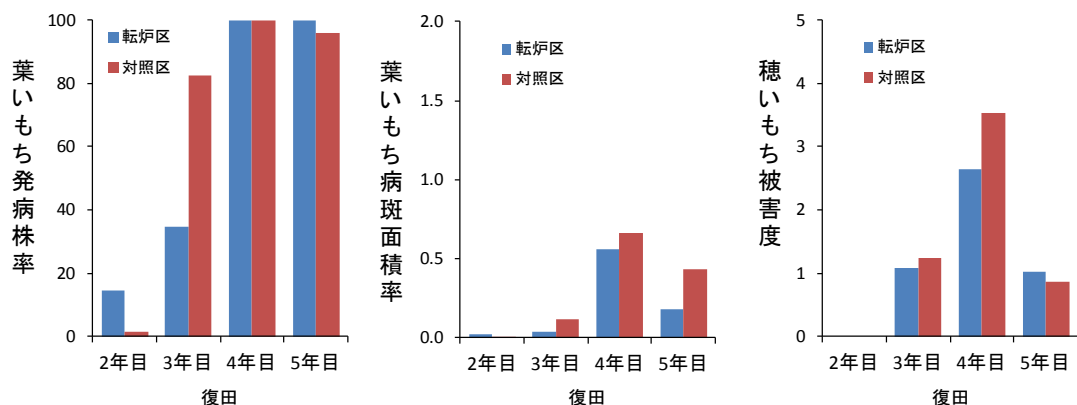
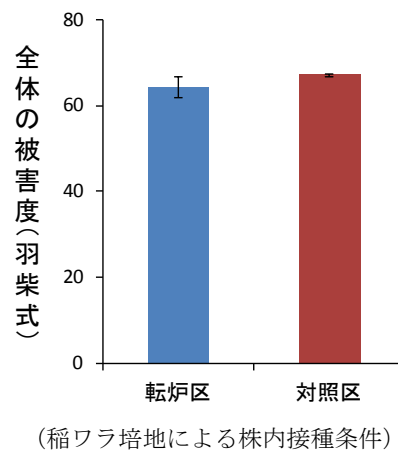


図4 いもち病への影響  
(り病苗移植による接種条件)



## 5. おわりに

土壌病害被害軽減対策として土壌pHを7.5に矯正することは、これまでの土壌改良目標値よりも高く、pH矯正によって土壌、特に地力窒素に対しての影響が懸念される。今回の試験では、施用後2年程度は地力窒素発現量が増加し、減肥栽培が可能となること、土壌有機物は消耗しやすくなるために有機物の施用が望ましいことが明らかとなった。また、pH矯正した圃場を復田した場合には、高pHであっても水稻の生育への影響は小さく、慣行栽培並みの収量が得られることが明らかとなり、野菜と水田を組み合わせた輪作体系でも、転炉スラグを用いた土壌pH矯正によるフザリウム性土壌病害被害軽減対策に取り組むことが可能と考えられた。本稿が、土壌病害対策として転炉スラグを施用した場合の肥培管理、土づくりを考える参考になれば幸いである。

# 転炉スラグ資材の施用が土壤微生物相に及ぼす影響

森本 晶

北海道農業研究センター 生産環境研究領域

## 1. 研究目的

転炉スラグは、土壤の酸性改良や微量元素の補給効果に優れた肥料として広く用いられている。こうした一般的な用途の場合、転炉スラグ資材の施用量は10aあたり100～200kg程度である。一方、本事業で目指すフザリウム性土壤病害の耕種的防除においては、土壤pHを7.5まで高める必要があるため、その施用量はしばしば10aあたり数トンにもなる。このような多量の転炉スラグ資材の施用が土壤の栽培環境に与える影響についてはこれまでほとんど知見がない。今後この耕種的防除技術を安心して利用していくためには、発病軽減効果以外の意図しない副作用が栽培環境に及ぼすリスクの有無を明らかにしておく必要がある。そこで本課題では、栽培環境を構成する重要な要素の一つである土壤の生物性に関して、転炉スラグ資材の施用が土壤微生物群集（細菌・糸状菌）に及ぼす影響を評価することを目的とした。

## 2. 研究内容

### (1) 室内模擬実験における微生物影響評価

まず、各種条件をコントロールしやすい実験室環境下で転炉スラグ資材が土壤微生物に及ぼす影響を調べた。農家ハウスから採取した土壤を500mL容量のポリビンに500g充填し、転炉スラグ資材（てんろ石灰）をpH7.5になるようによく混和した（この実験での添加量は10aあたり約1.5tに相当）。対照として無処理区および土壤消毒処理区（ダゾメット）を設け、各処理3反復のポリビンを25℃で静置培養した。各ポリビンから培養開始時、15日後、30日後に土壤の一部を採取し、希釈平板法による菌密度の測定とPCR-DGGE法による細菌・糸状菌群集構造の解析<sup>1)</sup>を行った。

各土壤の細菌、糸状菌密度を図1に示す。転炉スラグ区の細菌・糸状菌密度に無処理区との差はみられず期間を通じてほぼ一定であった。一方、ダゾメット区ではいずれのコロニー数も減少し、特に糸状菌密度の大幅な低下が観察された。

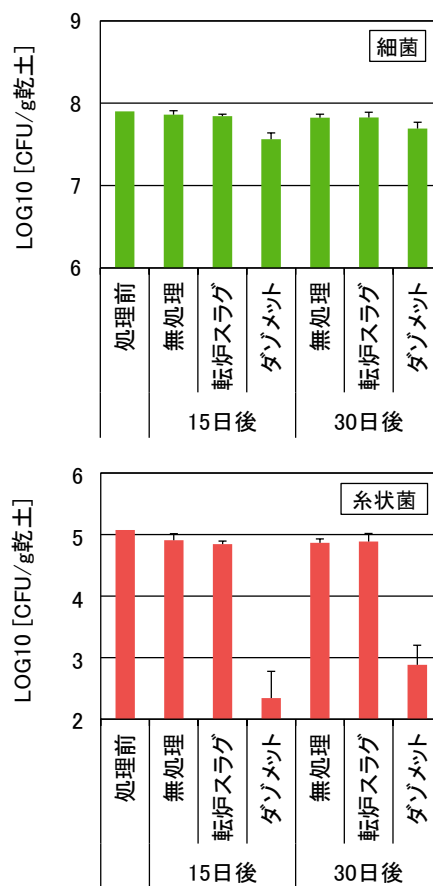


図1 土壤中の細菌・糸状菌密度の変化

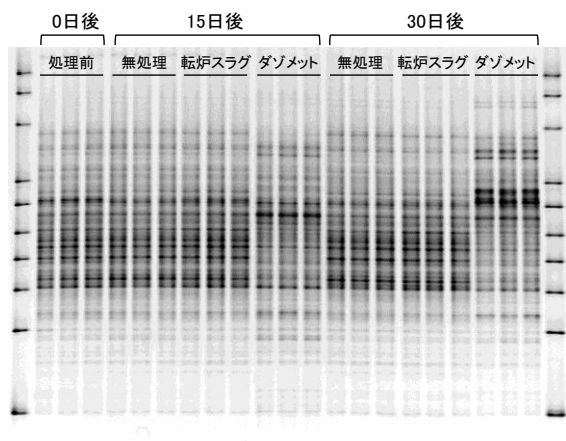


図2 各処理土壌の細菌群集のPCR-DGGE パターン  
土壌DNAから増幅した細菌16S rDNAのPCR産物を変性剤濃度勾配ゲルで電気泳動像したもの。微生物群集構造の違いをバンドパターンの差として検出する手法。

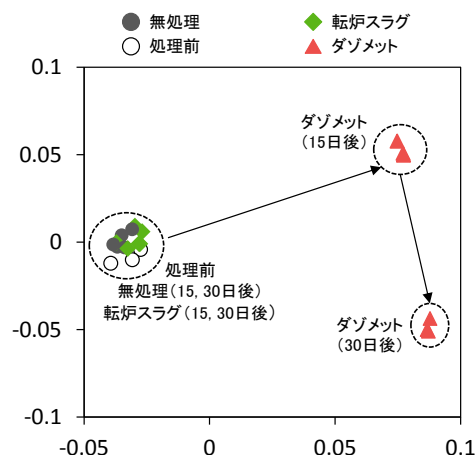


図3 PCR-DGGE パターンに基づく主座標分析  
図2のバンドパターンを数値化し、各群集の関係を平面上に表したもの。群集構造が似たものは互いに近く、異なるものは遠くにプロットされる。

各土壌の細菌群集を PCR-DGGE 法で解析した結果を図2、3に示す。無処理区および転炉スラグ区のバンドパターンに変化はみられず安定しているのに対し、ダゾメット区では細菌相が大きく攪乱され群集構造が経時的に変化していることが分かる。また、糸状菌群集についても同様の解析を行ったところ、無処理区と転炉スラグ区の群集構造に違いはみられずダゾメット区では大きなパターン変化が観察された（データ略）。

以上の結果から、転炉スラグには土壌消毒剤のように土壌中の細菌、糸状菌密度を低下させる作用はなく、それらの群集構造にもほとんど影響を及ぼさないことが示された。

## (2) 現地実証圃場における微生物影響評価

上述の結果はあくまで模擬実験環境で短期的な微生物影響を評価したものであり、実際の圃場で起こり得る事象を裏付ける根拠としては十分とはいえない。そこで、本事業において各地で実施されている転炉スラグの現地実証試験圃場から土壌サンプルを収集し、経時的に土壌細菌・糸状菌群集のモニタリングを行った。その一例として、福島県のイチゴ農家における結果を以下に示す。この現地圃場では、転炉スラグの剤型の違いによる影響も考慮して、粉状資材（てんろ石灰）区と粒状資材（ミネカル区）の各処理区、そして対照として無処理区とクロルピクリン区が設けられた。これら4処理区から転炉スラグ施用時（0日時）、イチゴ苗定植時（21日後）、イチゴ栽培中（203日後）、試験終了時（231日後）に土壌を採取し、細菌、糸状菌群集の解析を行った。

図4は各土壌の細菌、糸状菌群集の PCR-DGGE パターンについて主座標分析を行った結果である。この試験では、無処理区、両転炉スラグ区においても経時的に細菌、糸状菌群集構造の遷移が観察されたが、その挙動は無処理区と両転炉スラグ区ではほぼ一致していた。この経時的な群集構造の遷移はイチゴの生育等にもともなう土壌環境の変化を反映したものと推察され、無処理区と両転炉スラグ区の遷移が共通していることから、剤型に関わらず転炉スラグが土壌微生物相に及ぼす影響はほとんどないと考えられた。一方、クロルピクリン区では栽培期間を通じて細菌・糸状菌群集構造の挙動が他の区とは明らかに異なっており、上述の室内模擬実験の結果と同様に消毒によって土壌微生物相が大きな影響を受けていることが分かる。



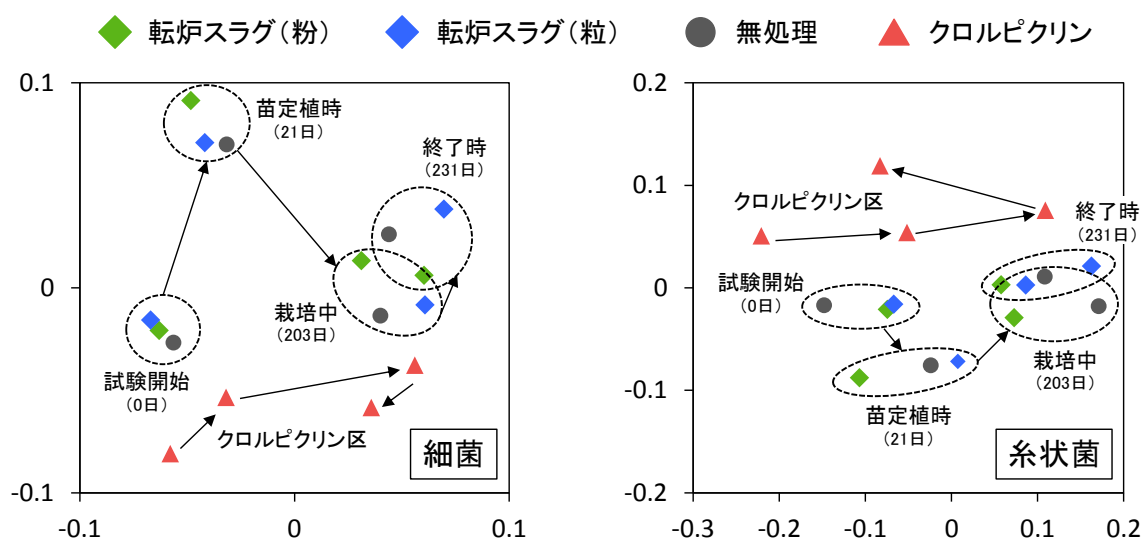


図4 転炉スラグ現地実証試験圃場における土壌微生物相の解析例  
PCR-DGGE パターンに基づく主座標分析 (左: 細菌, 右: 糸状菌)

### 3. 成果の活用と留意点

これまでに上述の結果の他に各県で実施された10例以上の実証試験について土壌微生物に対する影響評価を行ってきたが、転炉スラグ資材の施用によって短期間で土壌中の細菌、糸状菌の密度が低下したり群集構造が大きく攪乱されたりした事例は観察されていない。したがって、転炉スラグ資材を用いた耕種的防除技術が土壌の生物性に作用して何らかの害を及ぼすリスクは非常に小さいと考えられる。本課題では土壌細菌、糸状菌全般に対する影響を広く調べてきたが、既に述べられているように転炉スラグ資材は *Fusarium* に対しても殺菌的な作用を示さないことが分かっており、その性格は土壌消毒剤とは全く異なる。こうした特性をよく理解したうえで、罹病残渣の適切な処理などの基本的な圃場管理と併せて発病しにくい土作りに転炉スラグ資材を利用するのが本技術の有効な使い方であろう。

転炉スラグ資材の施用によっても土壌微生物相はほとんど影響を受けないと上述したが、例外として施用後数年を経過した一部の圃場で対照区とやや異なるバンドパターンが観察された。これは転炉スラグによる直接的な影響というよりも、長期に渡って土壌 pH が高く維持されたことによって群集構造が高 pH 環境に適した構成に徐々に変化したためと考えられる。今のところこうした変化がみられた圃場においても栽培上問題になるような事象は観察されていないが、長期的な微生物相の変化がもたらす影響については引き続き注目していく必要がある。

### 引用文献

1. 森本晶・星野(高田)裕子(2008)、PCR-DGGE 法による土壌生物群集解析法(1)一般細菌・糸状菌相の解析、土と微生物 62(1): 63-68

本誌から転載・複製する場合は、  
当センターの許可を受けて下さい。