

ミニ特集：転炉スラグによる土壌病害の被害軽減技術の開発と実用化

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 岩 間 俊 太

はじめに

長野県、茨城県、群馬県等のレタス主産地で重要病害とされている土壌病害のレタス根腐病（病原菌：*Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*）は、東北地域では青森県の一部の圃場で2009年ころから確認されている（岩間ら、2012）。病原菌の生育適温や発病適温が高いことから、特に夏季高温年となった2010～12年の秋どり栽培で被害が甚大であった。青森県では6～10月出荷の夏秋レタスが年間のレタス作付面積のほとんどを占めている（2014年産作付面積の例では106/113 ha：農林水産省「平成26年産野菜生産出荷統計」資料より）ため、本病の被害を受けやすい。

本病に対しては、数種土壌消毒剤が農薬登録されているが、発生圃場が高冷地に限らず平坦地でも見られ、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、隣接圃場で様々な作物が栽培されている状況では、これらの薬剤の使用が困難な場合もある。さらに、クロルピクリンくん蒸剤を使用すると、硝化細菌の減少に伴うアンモニア態窒素過剰による生育異常球が多くなるという試験事例（藤永、2000）もあり、土壌消毒剤の使用以外の対策が望まれていた。

そこで、本病に対する耕種的な被害軽減対策として、石灰資材を用いた土壌 pH 矯正を検討した。青森県では既に、後藤・村上（2006）がアブラナ科野菜根こぶ病対策技術の中で土壌 pH 矯正資材として活用している転炉スラグに着目し、2008～10年にメロンつる割病（病原菌：*F. oxysporum* f. sp. *melonis*）（岩間ら、2010）で、2010～11年にキュウリつる割病（病原菌：*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*）で被害軽減効果に関する試験を実施し、得られた成果を被害軽減技術として普及に移してきた実績がある。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等の

微量要素を豊富に含んでいるため、土壌 pH(H₂O)¹⁾ 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（後藤・村上、2006）。青森県におけるメロンやキュウリでの転炉スラグ導入農家圃場においても、これまでに微量要素欠乏症状の発生は確認されていない。そのため、レタス根腐病に対しても、転炉スラグ（ミネックス株式会社製、商品名：てんろ石灰）を用いた土壌 pH 矯正で、レタスの生育に支障を来すことなく、被害を軽減できると考えられた。

一方、本病菌にはレタス品種に対する病原性の異なる三つのレースの存在が知られており（FUJINAGA et al., 2003）、青森県で発生が確認されているレース1に対しては耐病性品種の利用が被害軽減に有効であることが明らかとなっている。そこで耐病品種の検討を行うとともに、育苗方法の改善による被害軽減効果についても検討した。

ここでは、これらの耕種的方法によるレタス根腐病の被害軽減効果、および三つの耕種的方法を併用した被害軽減技術の現地実証試験結果について紹介する。

なお、一連の試験を2011～15年に行ったが、このうち2012～14年は農林水産省の「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業（新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業）」により行った。

¹⁾ pH 実測値は、pH(H₂O)：土1に対して水5の割合の懸濁液 pH、以下同様。

I 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（土壌タイプ：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、2011年に春作と秋作で予備試験を行った（以後、2015年まで同一圃場内で春作と秋作の試験を実施）。pH7.5、30 cm 深矯正を目標に、緩衝能曲線（後藤・村上、2006）を作成したうえで転炉スラグを3.7 t/10 a 施用した pH 矯正区と pH6.0 程度の pH 未矯正区を設置し、農家慣行栽培品種として春作では‘エムラップ231’、秋作では‘サウザー’のセルト

Development and Demonstration on Suppression Technique of Root Rot of Lettuce. By Toshitaka IWAMA

(キーワード：転炉スラグ、土壌 pH 矯正、品種耐病性、育苗方法、レタス根腐病)

レイ (128 穴, 容積 25 ml/穴) 育苗株を定植した。それぞれの収穫時期に下記基準 (以下, 発病度の調査の際に使用) により発病調査を行った。

なお, この矯正目標 pH と矯正深は, レタス根腐病以外の数種土壤伝染性フザリウム病で被害が軽減されることをポット試験で確認済みであること, レタスは根の大半が 25 cm までの深さに分布しているとされ, 青森県では土壤改良深度として 20 ~ 30 cm を推奨していることを根拠にしている。

地上部の発病指数;

0: 発病を認めない, 1: 一部の外葉が萎凋, 2: 大部分の外葉が萎凋, 3: 萎凋が甚だしいまたは枯死。

地下部の発病指数;

0: 発病を認めない, 1: 維管束の一部が褐変, 2: 褐変がクラウン部の周りに及ぶ, 3: クラウン部の褐変が甚だしいまたは空洞化, または枯死。

$$\text{発病度} = \Sigma (\text{発病指数別株数} \times \text{指数}) \times 100 \div (\text{調査株数} \times 3)$$

その結果, 比較的冷涼であった春作では少発生, 夏季高温年であった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-1)。なお, 秋作試験のような甚発生条件下では, 圃場の土壤 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 (のちに 'サウザー' は「耐病性なし」と判明) や育苗方法 (セ

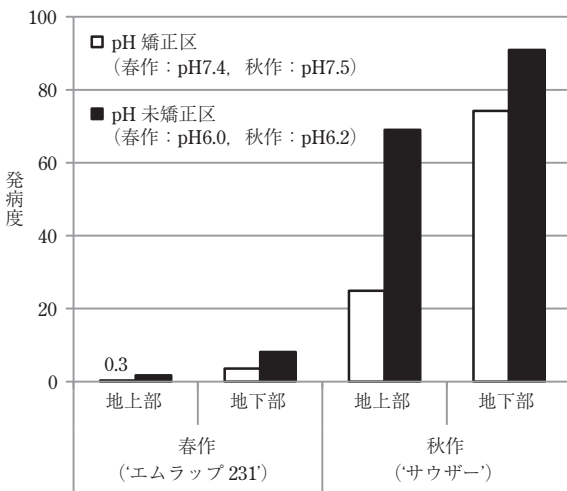


図-1 転炉スラグを用いた土壤 pH 矯正によるレタス根腐病の被害軽減効果 (2011 年)
 秋作: 8 月 10 日定植, 1 区 114 ~ 124 株調査 (2 反復平均).
 春作: 5 月 20 日定植, 1 区 109 ~ 123 株調査 (2 反復平均).

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) について再検討する必要があると考えられた。

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壤 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 (岩間ら, 2014)。本病菌レース 1 単孢子分離菌株の土壤フスマ培養汚染土を以下で述べる播種接種試験では重量比で 1/20 程度, 移植接種試験では接種時期が冷涼となってきたことを考慮して重量比で 1/10 程度を園芸培土と混合して人工汚染土を作成した。人工汚染土の pH 矯正後にセルトレイに充てん・播種 (品種 'サウザー', 'ラプトル') し育苗した接種試験 (2011 ~ 12 年播種接種試験) と, ポリポットに充てん後にセルトレイおよびペーパーポット育苗株 (品種 'サウザー') を移植し栽培した接種試験 (2012 年移植接種試験) を行い,

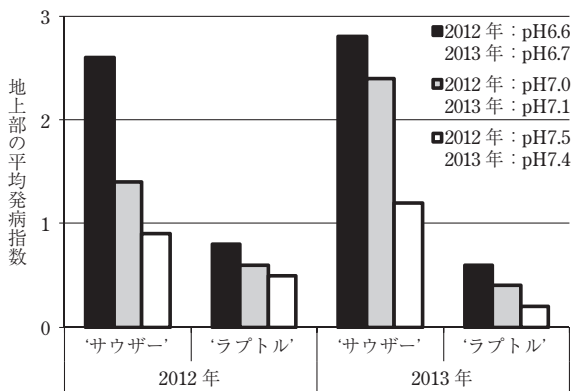


図-2 転炉スラグを用いた土壤 pH 矯正とレタス根腐病の発病との関係 (播種接種試験)
 2012 年: 1 区 31 ~ 34 株調査 (反復なし),
 2013 年: 1 区 30 ~ 35 株調査 (2 反復平均).

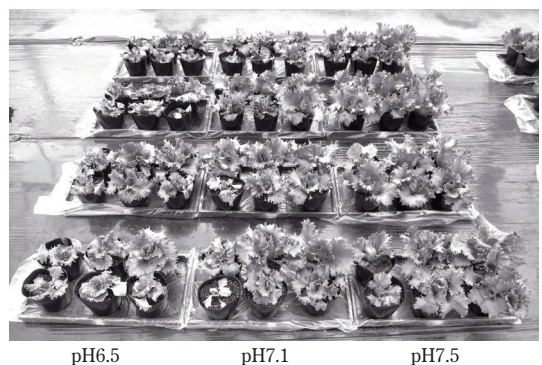


図-3 転炉スラグを用いた土壤 pH 矯正とレタス根腐病の発病との関係 (2012 年移植接種試験)

生育ステージが異なる条件下で土壌 pH と平均発病指数の関係を比較した。なお、発病指数の調査基準として、播種接種試験では下記基準(FUJINAGA et al., 2003)を用い、移植接種試験では前述の現地試験における地上部・地下部の発病指数の調査基準を用いた。

地上部の発病指数

0：発病を認めない，1：やや萎凋，2：株全体が萎凋，3：枯死または腐敗。

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、被害が軽減された(図-2,3, ただし、図-3 の具体的データについては岩間ら (2014) を参照)。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見られなかった。ただし、供試した園芸培土では、pH を 7.7 ~ 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、本病の被害軽減効果を得るための矯正目標 pH は 7.5 が適していると考えられた。

II 転炉スラグを用いた土壌 pH 矯正と耐病性品種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、本病菌レース 1 単胞子分離菌株を用いた接種試験を 2011 年に 3 回(試験①~③)、12 年に 2 回(試験④~⑤)行った(岩間ら, 2013)。接種方法は、試験③のみ土壌フスマ培養汚染土接種で、他の試験では底面灌注接種とした。前者では培養汚染土を園芸培土に重量比で 1/20 程度混和し、128 穴セルトレイに充てん後に播種した。後者では PS 液体振とう培養胞子液 (2×10^7 bud cell/ml) 0.2 l を地下水で 2.0 l に希釈し、ビニール袋をかぶせてプール状にした水稻育苗箱中に注ぎ、播種・催芽 1 週間後の発芽を揃えた 128 穴セルトレイを設置した。播種粒数は 1 穴に 1 粒で、1 品種につき試験①~⑤の順に 16, 24, 24, 32, 32 粒(2~4 列に相当)とした。接種 3~4 週間後を目安に、前述の FUJINAGA et al. (2003) の方法を用いて地上部の発病調査を行い、平均発病指数を算出した。

その結果、年ごとに全試験で平均発病指数 1.0 以下の品種を「耐病性あり」、このほかに同 1.5 以下の品種を「耐病性ややあり」、それ以外の品種を「耐病性なし」と仮選定した。最終的には 2 か年の結果を総合し、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」、45 品種を「耐病性なし」として耐病性の程度別に選定した。

2 土壌 pH 矯正と耐病性品種の併用による被害軽減効果

2012 年と 13 年の春作試験と秋作試験において、pH 矯正区と pH 未矯正区を設置し、いずれも 220 穴ペーパー

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 (◎)	(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 (リーフレタス赤色系) バラエティ
あり~ややあり (◎~○)	(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 (○)	(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 (×)	(結球レタス) あさひな, アストラル, ヴイレタス, エクシード, NL598, FR ちくま, エムラップ 231, オーガスタ, オリビア, かさま 9251, カスケード, からさわ, カルマ-MR, 菊川 103 号, キャスパー, 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
	(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
	(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

一ポットで育苗した耐病性の程度の異なる品種を栽培して地上部と地下部の発病度を収穫期に比較した(岩間ら、

2014)。

その結果、土壌 pH 矯正と耐病性品種を併用することで、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-4, 5, 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)。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得られない場合もあった(図-4)。そのため、品種選定にあたっては、作型や品種特性(晩抽性、耐暑性等)を十分考慮する必要がある。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 年間 4 作いずれにも見られなかった。

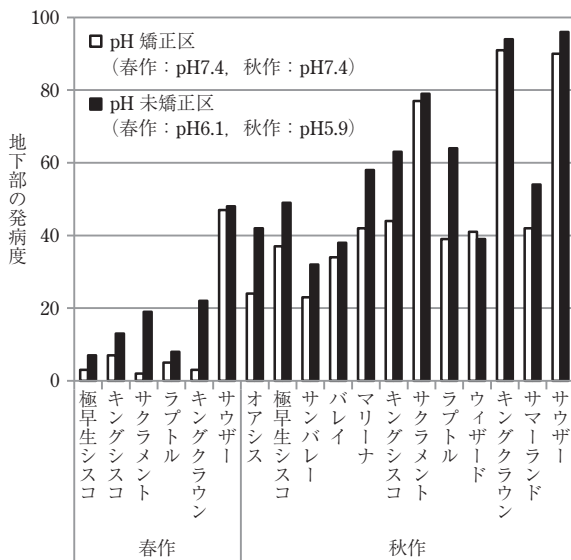


図-4 転炉スラグを用いた土壌 pH 矯正と品種の耐病性の併用によるレタス根腐病の被害軽減効果 (2012 年) 春作: 5 月 17 日定植, 1 区 18 ~ 20 株調査 (反復なし)。秋作: 8 月 27 日定植, 1 区 30 株調査 (反復なし)。

III 転炉スラグを用いた土壌 pH 矯正とペーパーポット育苗の併用によるレタス根腐病の被害軽減効果

前述したように、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と考えられる。そのため、定植時に根傷みの少ないペーパーポット(220 穴、容積約 26 ml/穴)育苗による被害軽減効果をセルトレイ育苗と比較・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)を組合せた。2012 ~ 14 年に春作と秋作で試験を行い、pH 矯正区と pH 未矯正区で各育苗株を栽培し、地下部の発病度を収穫期に比較した。

その結果、甚発生となった 2012 年秋作や 2013 年春作(いずれも品種‘サウザー’)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。一方、多発生の 2012 年春作(品種‘サウザー’)および中発生の 2013 年秋作(品種‘ラプトル’)では、ペーパーポット育苗株のほうがセルトレイ育苗株よりも発病度の低下傾向が見られたが、育苗土の pH 矯正の併用による低下傾向は小さかった(データ省略)。

育苗方法の違いによる被害軽減効果の比較では、発生程度や品種を考慮する必要があると考えられたことから、2014 年(図-6)には春作と秋作で 3 品種ずつ供試し、春作では中 ~ 多発生、秋作では少 ~ 中発生となった。これらの試験により、ペーパーポット育苗を行うことによってもレタス根腐病の被害軽減に有効であることを再確認できたが、その効果は単独では低いので、圃場の pH 矯正と耐病性品種を組合せる必要がある。一方、育苗土の pH 矯正の併用による発病度の低下傾向はやはり小さ

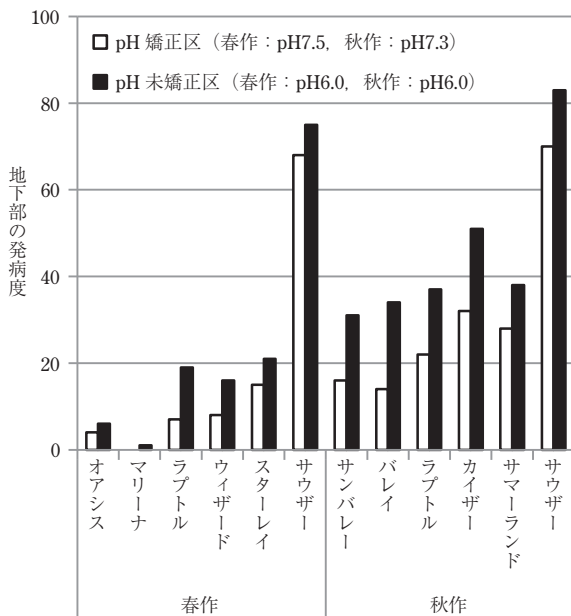


図-5 転炉スラグを用いた土壌 pH 矯正と品種の耐病性の併用によるレタス根腐病の被害軽減効果 (2013 年) 春作: 5 月 20 日定植, 1 区 19 ~ 20 株調査 (2 反復平均)。秋作: 8 月 23 日定植, 1 区 19 ~ 20 株調査 (2 反復平均)。

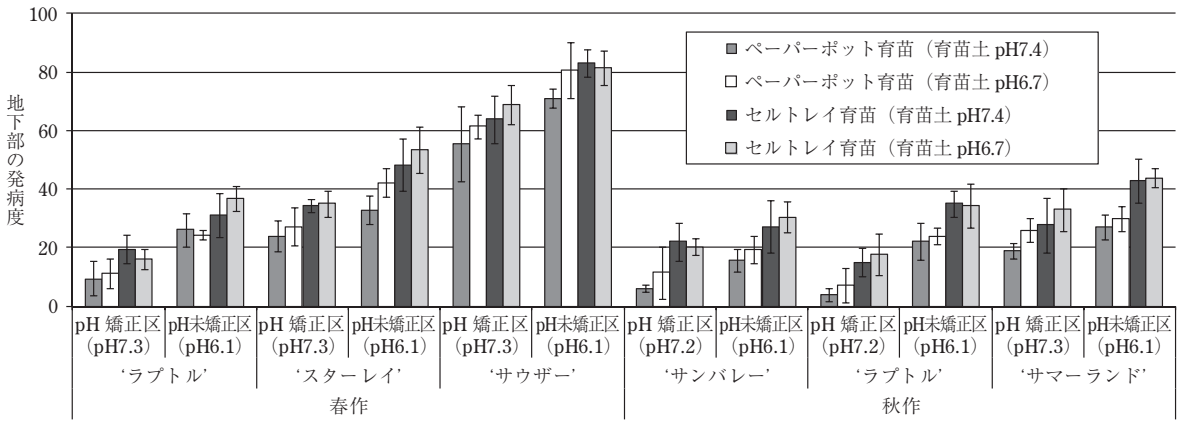


図-6 転畑スラグを用いた土壌pH矯正と育苗方法の併用によるレタス根腐病の被害軽減効果(2014年)
 春作: 5月21~23日定植, 1区14~16株調査(4反復平均).
 秋作: 8月27~28日定植, 1区13~15株調査(4反復平均).
 棒グラフに付したバーは標準偏差.

く、pH未矯正圃場では小さな根鉢部分のpH矯正だけでは効果不十分で、pH矯正圃場では圃場全体のpH矯正による効果が優れているものと考えられる。なお、3年間6作いずれも土壌pH矯正によるレタスの生育や収穫物への悪影響は見られなかった。

IV 三つの耕種的方法を併用したレタス根腐病の被害軽減技術の現地実証試験

前述した三つの耕種的方法を組合せてレタス根腐病の被害を軽減することを目的に、現地実証試験(2014年と15年に春作試験と秋作試験)を行った(岩間ら, 2015)。実証区では①転畑スラグによる土壌pH矯正、②耐病性品種‘ラプトル’の利用、③ペーパーポット育苗を併用した。慣行区ではpH未矯正、感受性品種‘サウザー’を用い、セルトレイ育苗とした。いずれの試験においても収穫時に地下部の発病度と可販球率(調製重が300g(S規格)以上あって調製切断面が本病で褐変していない球の割合)について調査した。

その結果(図-7, 8), 2014年は、春作では慣行区発病度92に対して実証区は12で、可販球率は実証区で慣行区の4倍の100%となった。秋作では慣行区発病度97に対して実証区は23、可販球率は実証区で慣行区の8倍の98%となった。両試験ともに耕種的方法①、②、③の併用による被害軽減効果は高かった。特に栽培期間が高温で被害を受けやすい秋作では、実証区の被害軽減効果が顕著であった。2015年は、春作では慣行区発病度90に対して実証区は8で、可販球率は実証区で慣行区の4倍の96%となった。秋作試験期間、2011~15年のうちで最も冷涼であったため、春作よりも発病度が

やや低くなったが、慣行区発病度82に対して実証区は7、可販球率は実証区で慣行区の4倍の100%となった。2014年と同様に、両試験ともに耕種的方法①、②、③

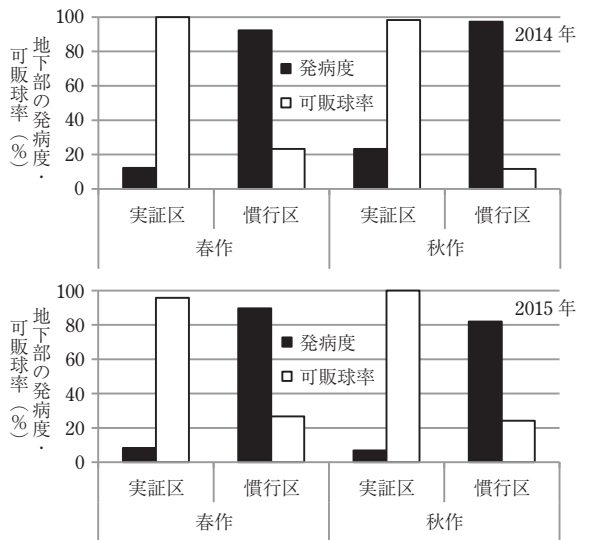


図-7 三つの耕種的方法の併用によるレタス根腐病の被害軽減効果(現地実証試験)

2014年春作: 5月21日定植, 7月4日調査, 実証区pH7.4, 慣行区pH6.1
 秋作: 8月26日定植, 10月10日調査, 実証区pH7.3, 慣行区pH6.2
 春作・秋作ともに1区15株調査(4反復平均).
 2015年春作: 5月27日定植, 7月9日調査, 実証区pH7.2, 慣行区pH6.1
 秋作: 8月28日定植, 10月13日調査, 実証区pH7.3, 慣行区pH6.0
 春作・秋作ともに1区30株調査(4反復平均).



図-8 三つの耕種的方法の併用によるレタス根腐病の被害軽減効果 (2014年春作現地実証試験)

の併用による高い被害軽減効果が認められた。

おわりに

本技術では、土壤 pH7.5、30 cm 深矯正を目標とし、緩衝能曲線の作成結果に基づいて転炉スラグを 2011 年春作前または 12 年秋作前に 3.7 t/10 a 施用した。2015 年春作終了時でも pH7.0 以上を維持していたが、矯正目標よりも低めとなってきたために秋作開始前に再び緩衝能曲線を作成して 0.8 t/10 a を追加施用した。この間に高 pH が維持されていたのは、pH 矯正深が深いために耕起による未矯正層との混和が少なかったことと、肥料の影響による土壤の酸性化を軽減する目的で（被覆）燐硝安加里肥料や被覆尿素肥料（いずれも硫酸根や塩素根を含まない）を使用したため、これらのことが有効であったと考えられる。pH 矯正深については、浅いほど資材費・投入労力を削減できるが、被害軽減効果に影響することも考えられるので、作目別の最適矯正深は今後の検討課題の一つである。転炉スラグの施用量は一律ではなく、矯正する前の pH や、土壤の種類、矯正する深さによって大きく異なるので、施用量とコスト面（1 t で約 3 万円）や施用方法（ライムソワーによるか人力か）等から本技術を導入するかどうかの判断を行う必要があ

る。青森県内での試験例では、土壤 pH7.5、30 cm 深矯正を目標とした場合、砂土では少量（10 a 当たり 1 t 程度）で済んだが、黒ボク土では多量（同 10 t 程度以上）に必要とし、灰色低地土や褐色森林土、グライ土ではこれらの中間以下（同 3～4 t 程度）であった。

また、本技術では、三つの耕種的方法を組合せてレタス根腐病の被害を効果的に軽減することができた。本病菌レース 1 に対して感受性品種を用いた場合には、土壤 pH 矯正単独では十分な被害軽減効果が得られない場合が多かった。レタスの安定生産のためには、耐病性を有する品種の中から産地で求められる品種特性や作型を考慮して選定することが不可欠である。土壤 pH 矯正と品種の耐病性を併用するだけでも被害軽減効果は高く、セルトレイ育苗に代えてのペーパーポット育苗による被害軽減効果の向上は、生産者の育苗管理（青森県ではセルトレイが主体）や定植作業（野菜移植機によるか手植えか）の実情にあわせて選択するとよい。

なお、転炉スラグを用いた土壤 pH 矯正によるレタス根腐病の被害軽減のメカニズムについては未検討である。2011～15 年の各試験時に選択培地を用いた希釈平板法によりフザリウム属菌を検出・計数しているが、pH7.5 程度に矯正してもフザリウム属菌は死滅・減少せず、試験期間を通して pH6.0 程度の未矯正の場合とほぼ同等の菌密度の推移を示している（データ省略）。そのため、本技術を導入しても、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。本技術をより一層活用・指導しやすくするうえで、転炉スラグ施用による被害軽減のメカニズムの解明とともに、転炉スラグ施用と併用して菌密度を下げることのできる新たな方法の検討についても今後の課題といえる。

引用文献

- 1) 藤永真史 (2000): 土壤伝染病談話会レポート 20: 152～160.
- 2) FUJINAGA, M. et al. (2003): J. Gen. Plant Pathol. 69: 23～28.
- 3) 後藤逸男・村上圭一 (2006): おもしろ生態とかしい防ぎ方 根こぶ病—土壤病害から見直す土づくり, 農山漁村文化協会, 東京, p.77～96.
- 4) 岩間俊太ら (2010): 北日本病虫研報 61: 268 (講要).
- 5) ———ら (2012): 同上 63: 248 (講要).
- 6) ———ら (2013): 同上 64: 240 (講要).
- 7) ———ら (2014): 同上 65: 85～92.
- 8) ———ら (2015): 日植病報 81: 258 (講要).