

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

転炉スラグによる土壌 pH 矯正が野菜の細菌性病害の発生に与える影響

農研機構 東北農業研究センター かどた 門田 いくお 育生・今崎 いまざき 伊織 いおり

はじめに

耕地の酸性化が進むと作物の生育が抑制されるため、消石灰や炭酸カルシウム等の石灰質肥料を施用することにより土壌 pH の矯正が行われている。一方、土壌病害の発病に土壌 pH が関与していることも知られており、石灰質肥料を施用して土壌 pH を矯正すると被害が軽減される病害（キュウリつる割病、トマト萎凋病、アブラナ科野菜根こぶ病等）と、助長される病害（ジャガイモそうか病、パーティシリウム属菌による半身萎凋病等）があるとされる。

我々は 2012～14 年に実施した農林水産省の「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業」において、野菜のフザリウム病を対象として転炉スラグで土壌 pH を矯正する被害軽減技術の開発を進めてきた。一方で、野菜栽培においてはフザリウム病以外にも様々な病害が発生している。中でも、植物病原細菌が引き起こす病害については防除対策が限られており、もし土壌 pH 矯正によって細菌性病害の発生が促進されるのであれば、本技術の普及を検討する際にこれらの発生状況を確認する必要がある。そこで、ここでは細菌学的性質がグラム陰性で好気性であるトマト青枯病菌 (*Ralstonia solanacearum*)、グラム陰性で通性嫌気性であるアブラナ科野菜軟腐病菌 (*Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*)、グラム陽性であるトマトかいよう病菌 (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*) を対象として、転炉スラグによる土壌 pH 矯正がこれらの病原細菌の増殖に与える影響並びに発病に与える影響について検討した。

I 土壌 pH 矯正が各種病原細菌の増殖・生存に与える影響

微生物には培地上で生育する場合の最適 pH 値があ

り、微生物の種類によってその値は異なる。そこで、土壌 pH の違いが植物病原細菌種の増殖や生存様相に与える影響を検討した。

園芸用育苗培土(タキイ種苗社製, 土壌 pH(H₂O)¹⁾6.4) に転炉スラグ, 消石灰あるいは水酸化ナトリウム溶液を用いて段階的に土壌 pH を矯正し (矯正目標値 7.0, 7.5, 8.0), オートクレーブして滅菌した。これらの土壌に植物病原細菌を接種して約 25℃ で静置し, 定期的に細菌を分離して土壌中の密度を測定するとともに, その時点での土壌 pH を測定した。

その結果, 転炉スラグ (ミネックス株式会社製, 商品名: てんろ石灰) を用いた場合, トマト青枯病菌は試験期間内での増殖および生存に顕著な変化は認められなかった。また, その際の土壌 pH は 6.4～7.8 の間で試験開始時の pH が維持されていた (図-1)。さらに, 土壌 pH 矯正に用いた資材を転炉スラグから消石灰あるいは水酸化ナトリウム溶液に変更した場合でもほぼ同様の結果となった (図-2)。アブラナ科野菜軟腐病菌やトマトかいよう病菌もトマト青枯病菌の場合と同様の結果であった (データ省略)。

以上のことから, 土壌 pH を 7.5 前後に矯正する程度では, 本試験に供試した植物病原細菌 3 種では増殖や生存にほとんど影響しないと考えられた。

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。

II 転炉スラグの土壌施用による各種細菌性病害の発生経過

1 トマトかいよう病

園芸用育苗培土(タキイ種苗社製, 土壌 pH6.4) を供試し, 転炉スラグを用いて段階的に土壌 pH を矯正 (矯正目標値 7.0, 7.5, 8.0) した。これらの土壌約 1 kg にトマトかいよう病菌の懸濁液 (約 10⁸ CFU/ml) 300 ml を土壌灌注してよく混和した。これを 15 cm ポットに入れてトマト種子 (品種 '桃太郎') を 1 ポット当たり 5 粒播種した。これらをガラス室で育苗し, 20 日後に発病を調査した。

その結果, 病原細菌を接種していない場合, 土壌 pH

Effect on Bacterial Diseases of Vegetable plants by Soil pH Correction with Fertilizer Made of Converter Furnace Slag. By Ikuo KADOTA and Iori IMAZAKI

(キーワード: トマトかいよう病, トマト青枯病, 軟腐病, 転炉スラグ, 土壌 pH)

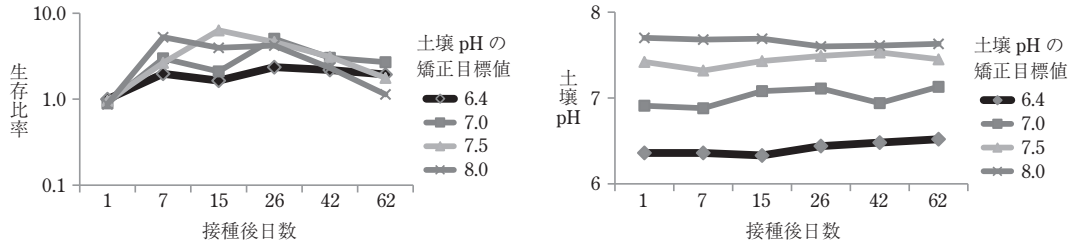


図-1 転炉スラグで土壌 pH を矯正した場合のトマト青枯病菌 (*Ralstonia solanacearum*) の生存比率 (左) と土壌 pH の推移 (右) 生存比率は、病原細菌を土壌に接種した翌日の土壌 pH6.4 区の菌数を 1 としたときの各試験区での生存数の比率で示した。

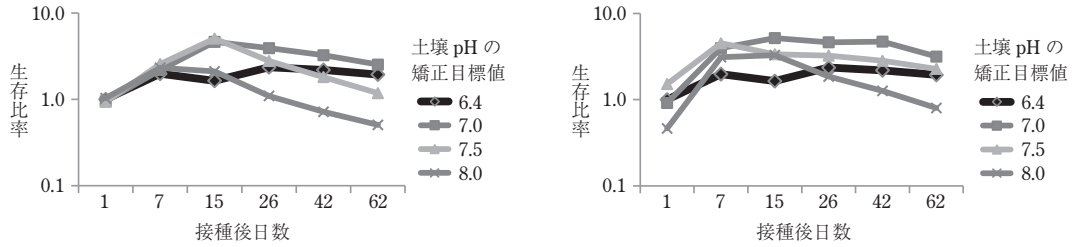


図-2 消石灰 (左) あるいは水酸化ナトリウム (右) で土壌 pH を矯正した場合の病原細菌 (*Ralstonia solanacearum*) の生存比率 生存比率は、病原細菌を土壌に接種した翌日の土壌 pH6.4 区の菌数を 1 としたときの各試験区での生存数の比率で示した。

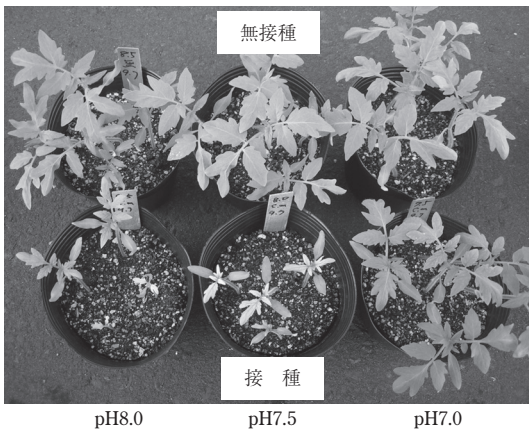


図-3 育苗期感染によるトマトかいよう病の被害発生状況

を 8.0 まで矯正してもトマト苗の生育に変化はなかった (図-3 上)。一方、トマトかいよう病菌を接種すると、土壌 pH が高くなるにつれて生育が顕著に抑制された (図-3 下)。したがって、トマトの育苗時にかいよう病菌が存在する場合、転炉スラグによる土壌 pH 矯正により発病が促進されると考えられる。

次に、2012 年に試験用圃場の一部に転炉スラグを施用して土壌 pH を矯正した。それにより、未矯正区の土壌 pH5.9、矯正区の土壌 pH7.0 の試験区を設けた。ここに健全トマト苗 (品種 '桃太郎', 播種日 4 月 19 日) を 5 月 28 日に定植し、翌日にすべての株元にトマトかいよう病菌の懸濁液 (約 10^8 CFU/ml) 20 ml を土壌灌注して接種した。その後、定期的に発病調査したところ、両

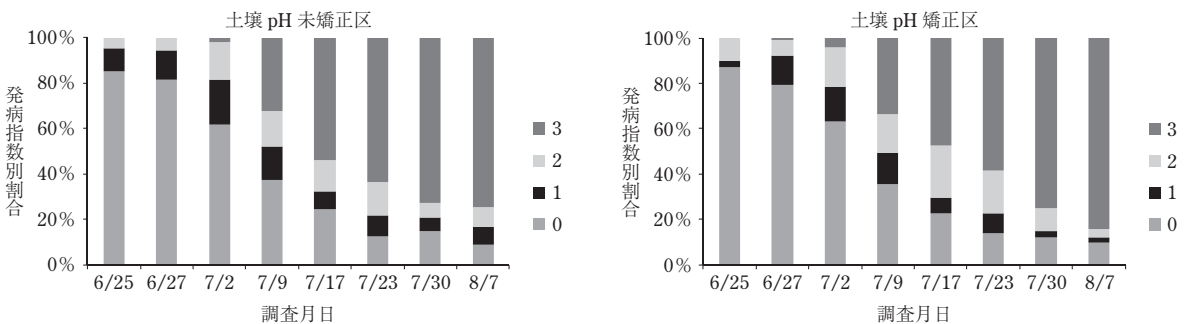


図-4 土壌 pH 矯正の有無によるトマトかいよう病の発病の推移 発病指数 0: 無発病, 1: 1~2 枚の複葉の萎れ, 2: 3 枚以上の複葉の萎れ, 3: 株全体の萎凋として調査した。



図-5 試験圃場におけるトマトかいよう病の発病状況
 2012年8月(写真左)は病原細菌を土壌灌注接種したため圃場全体が発病した。一方、2013年8月(写真右)は同一場所で通常の栽培を行ったが、外観上発病はなかった。

区とも同様の発病経過を示し、土壌 pH 矯正による影響は認められなかった(図-4)。

翌年の2013年は、前年と同じ圃場で病原細菌を接種することなく同様の試験を行った。なお、矯正区には転炉スラグを追加して土壌 pH7.5とした。ここに健全トマト苗(品種‘桃太郎’、播種日4月17日)を5月28日に定植して発病経過を観察したが、外観上かいよう病の症状は全く発生しなかった(図-5右)。ただし、9月5日に主茎の地上部5~10cm部位を切断して維管束部位の褐変の有無を調査したところ、未矯正区18.3%、矯正区17.0%が褐変していた。本褐変がすべてかいよう病の症状とは限らないが、褐変症状の出現に関して土壌 pH 矯正の影響は認められなかった。

以上のことから、トマトかいよう病は播種~育苗期で

は土壌 pH 矯正により発病が助長される場合があると考えられる。一方、前年にかいよう病が発生した圃場に健全苗を定植した場合は、栽培全期間を通じて発病が全く認められなかった。これは、発病圃場の土壌中に生息するかいよう病菌は、宿主が存在しない状態では十分な密度を維持できず、翌年に定植したトマト苗への伝染源としては機能していないと考えられる。ただし、トマトかいよう病菌の土壌中での越冬については、伝染源として重要とする報告(STRIDER, 1967)と逆に伝染源とはならないとする報告(GROGAN and JAMES, 1953; BASU, 1970; 門田ら, 2014)があり、その議論は別の機会で行いたい。

2 トマト青枯病

2013年に場内圃場において土壌 pH 矯正区(矯正目標 pH7.5)および未矯正区(pH6.0)を設け、トマト苗(品

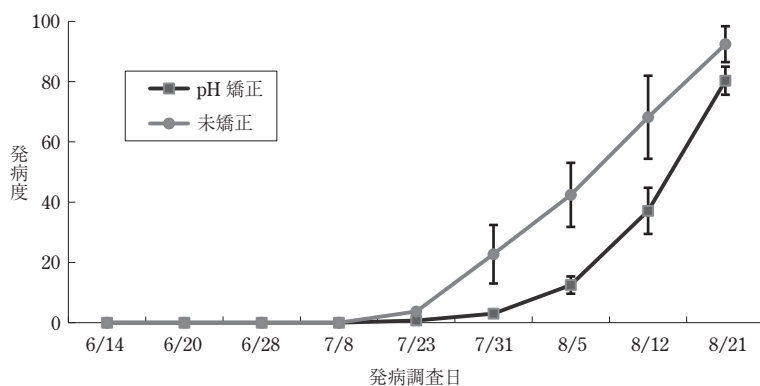


図-6 土壌 pH 矯正の有無によるトマト青枯病の発病の推移(2013年)
 発病度 = $\sum (\text{指数別発病株数} \times \text{指数}) \times 100 / (\text{調査株数} \times 4)$
 指数0: 無発病, 1: 茎頂のしおれが観察される, 2: 葉にしおれが観察される, 3: 株全体が青枯れ状となる, 4: 枯死しているとして算出した。



図-7 試験圃場におけるトマト青枯病の発病状況 (2013年8月)
写真左は土壌pH未矯正, 写真右は2012年に土壌pH矯正した。

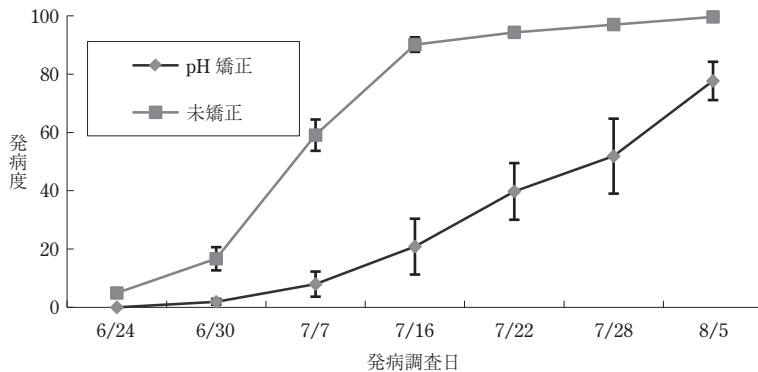


図-8 土壌pH矯正の有無によるトマト青枯病の発病の推移 (2014年)
1) 発病度 = Σ (指数別発病株数 × 指数) × 100 / (調査株数 × 4)
指数0: 無発病, 1: 茎頂のしおれが観察される, 2: 葉にしおれが観察される, 3: 株全体が青枯れ状となる, 4: 枯死しているとして算出した。



図-9 試験圃場におけるトマト青枯病の発病状況 (2014年7月)
写真左は土壌pH未矯正, 写真右は2013年に土壌pH矯正した。

種‘桃太郎’, 4月17日播種)を6月4日に定植した。その翌日にトマト青枯病菌の懸濁液(約 10^8 CFU/ml)を株元に約10 mlずつ灌注して接種した。なお, 接種は1株おきに行い, この接種株を伝染源として発生する無接種株での発病の経過を観察した。その結果, 接種48日後に未矯正区で発病する株が認められ, その後発病が進展した。一方, 矯正区は未矯正区と比較して発病が遅延した(図-6, 7)。

次に, 2014年は2013年に実施した圃場の同一場所にトマト苗(品種‘桃太郎’, 4月21日播種)を6月4日に定植した。その結果, 2013年の発生経過と同様に, 土壌pH矯正区の発病進展は未矯正区と比較して顕著に遅延した(図-8, 9)。

以上のことから, 転炉スラグによる土壌pH矯正は, トマト青枯病の被害を軽減すると考えられる(門田・今崎, 2015)。これについては, 消石灰などの石灰質肥料

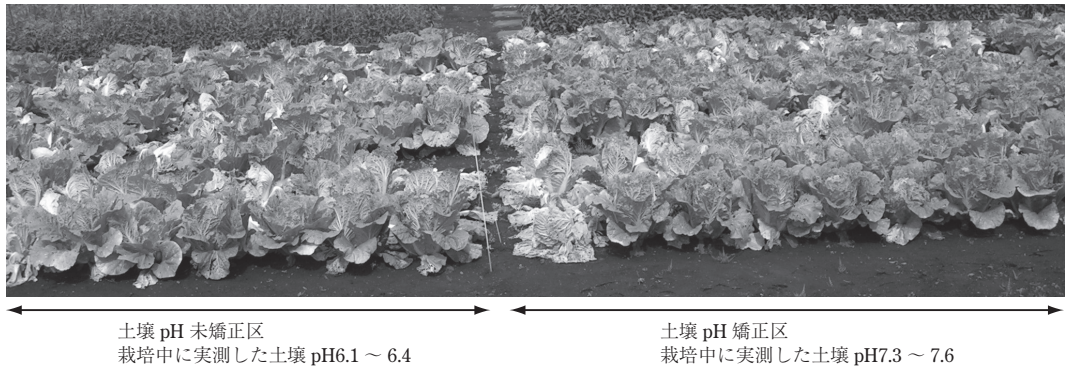


図-10 試験圃場におけるハクサイ軟腐病の発病状況 (2014年)

表-1 土壌 pH 矯正の有無がハクサイ軟腐病の発病に与える影響

土壌 pH	2013 年		2014 年	
	調査株数	発病度 ¹⁾	調査株数	発病度
未矯正区 (pH6.1 ~ 6.4)	331	19.9	335	46.6
矯正区 (pH7.3 ~ 7.6)	331	23.0	336	27.6

¹⁾ 発病度 = Σ (指数別発病株数 × 指数) × 100 / (調査株数 × 4)
 指数 0: 無発病, 1: わずかに腐敗, 2: 1/3 以下に腐敗が進行,
 3: 1/3 以上 ~ 3/2 以下が腐敗, 4: 全体が腐敗として算出した。

の施用で被害が軽減されることが既に報告されている (山崎, 2004) ので, 転炉スラグでも同様の効果が発揮されたものと推測している。

3 ハクサイ軟腐病

ハクサイやキャベツにおいて軟腐病が自然発生することを確認した圃場で, 土壌 pH 未矯正区 (pH6.1) と転炉スラグを施用した矯正区 (改良目標 pH7.5) を 2013 年に設けた。そこにハクサイ苗 (品種‘無双’, 5月13日播種) を 6月4日に定植して慣行に従って栽培した。いずれの区でもハクサイの生育は正常であったが, 軟腐病が発生したため 7月16日に発病調査を行った。また, 2014年も同様にハクサイ苗 (品種‘無双’, 5月14日播種) を 6月2日に定植し, 軟腐病の発病調査を 7月16日に行った。このときもハクサイの生育は正常であり, 栽培期間全体を通じて生育に区間差はなかった (図-10)。

軟腐病の発生は, 2013 年は両区とも発病度が 20 前後となり, 明らかな違いはなかった。一方, 2014 年では未矯正区で発病度 46.6 に対して, 矯正区で発病度 27.6 と低かった (表-1, 図-10)。

以上のことから, 転炉スラグによる土壌 pH 矯正がハ

クサイ軟腐病の発生にどの程度影響しているかは結論できないが, 2か年の結果を見る限り顕著な発病促進はしないと考えられる。

おわりに

現在, 土壌 pH 矯正により土壌病害の発病が抑制される機構は明らかにされていない。したがって, 圃場で試験する以外にその影響を確かめる方法はない。そこで, 3種の細菌性病害を対象に試験を行ったが, トマトかいよう病では育苗期の土壌 pH 矯正により発病が促進された。したがって, トマトかいよう病が発生している地域では育苗期の使用は避けるべきである。ただし, 健全に生育した苗を移植する場合は, 被害発生に十分な病原細菌密度で越冬している場合が少なくと考えられ, 土壌 pH 矯正による発病促進は観察されなかったことから, 栽培上の問題にはならないと考えられる。また, トマト青枯病は土壌 pH 矯正により明らかに被害が軽減されることから, 今後実用化に向けた試験の実施が必要である。

なお, 土壌 pH 矯正は病原細菌の増殖や生存にあまり影響しておらず, その際の土壌 pH 矯正資材として転炉スラグを用いた場合だけでなく, 消石灰や水酸化ナトリウムを用いた場合でも同じ結果であった。したがって, トマトかいよう病の育苗期における発病促進や, トマト青枯病の被害軽減効果がどのような機構で引き起こされているかについては今後の研究課題である。

引用文献

- 1) BASU, P. K. (1970): *Phytopathology* 60: 825 ~ 827.
- 2) GROGAN, R. G. and B. K. JAMES (1953): *ibid.* 43: 473 (Abstr.).
- 3) 門田育生ら (2014): *日植病報* 80: 67 ~ 68 (講要).
- 4) _____・今崎伊織 (2015): 同上 81: 59 ~ 60 (講要).
- 5) STRIDER, D. L. (1967): *Phytopathology* 57: 1067 ~ 1071.
- 6) 山崎弘道 (2004): *野菜茶研報* 3: 1 ~ 56.