

# 転炉スラグの施用による土壌pH調整がニンジン、バレイショ及びダイコンの生育、収量に及ぼす影響

木村美紀・鈴木秀章・金子洋平\*1

キーワード：転炉スラグ，pH，ニンジン，バレイショ，ダイコン

## I 緒言

全国的に、キュウリ、メロン、スイカ等のウリ類においてホモプシス根腐病(病原菌: *Phomopsis sclerotioides*)が発生し、大きな被害をもたらしている。本病の防除対策として、これまでにクロロピクリン剤のマルチ畦内処理(岩館ら, 2011)による化学的防除や太陽熱消毒法(小林ら, 1997; 三上, 2003)及び土壌還元消毒法(三木ら, 2008; 横山・大木, 2013)等の各種耕種的防除の有効性が明らかとなっている。筆者らは、キュウリホモプシス根腐病に対する被害軽減効果が確認されている(岩館, 2014)転炉スラグを用いた深さ10cmまでの土壌pH調整が、スイカホモプシス根腐病に対しても同様に被害を軽減すること(千葉県, 2016)や、転炉スラグに多量に含まれる石灰との拮抗作用により苦土の吸収が阻害されるが、現地慣行に準じた栽培条件下においてはスイカの収量及び品質への影響は認められないことを明らかにした(木村ら, 2018)。

しかし、千葉県のスイカ産地では、スイカ単作ではなく同一圃場においてニンジン、バレイショ、ダイコン等の数種の野菜を輪作していることが一般的である。ホモプシス根腐病に対する被害軽減が目的とはいえ、土壌pH(H<sub>2</sub>O) (以下、pHと表記) 7.5以上での栽培は、これら輪作作物の生育に好適な土壌pHの領域(ニンジン5.5~6.5, バレイショ5.5~6.0, ダイコン5.5~6.5(千葉県, 2005))を逸脱している。

土壌pHが高い場合、バレイショでは、そうか病(病原菌: *Streptomyces scabies*)の発生が増加するため、生育及び収量に影響を与えないpH5.0程度に低下させることが有効とされている(美濃・西脇, 2001)。また、土

壌の高pHは、バレイショそうか病と病原菌が同属であるニンジンストレプトミセスそうか病(病原菌: *S. turgidiscabies*)やダイコンそうか病(病原菌: *Streptomyces* sp.)の発生を助長する可能性がある。

しかしながら、ニンジン、バレイショ及びダイコンで転炉スラグの施用により土壌pHを高めて栽培した事例は見当たらない。そこで、これらの品目において栽培試験を行い、生育、収量及び病害発生への影響を明らかにした。

## II 材料及び方法

### 1. 転炉スラグ施用による土壌 pH 調整がニンジンの生育・収量に及ぼす影響

試験は、千葉県農林総合研究センター(千葉県千葉市緑区大膳野町)の無底コンクリート枠圃場(1枠10m<sup>2</sup>, 縦3.2m, 横3.2m, 腐植質普通黒ボク土)で行った。使用した転炉スラグ(ミネカル, 産業振興(株))は、メーカー保証成分値でアルカリ分35~50%, 可溶性石灰30~45%, 酸化鉄23~37%, 可溶性ケイ酸10~13%, 可溶性苦土3~5%, 可溶性マンガンを3~5%, 可溶性リン酸1~2%及び可溶性ホウ素0.1%を含み、粒度1mm以下が60%程度の粉状であった。

試験区は、転炉スラグの施用により土壌pH7.5を目標とした「転炉スラグ区」、転炉スラグに加え、岩館(2014)がキュウリでの試験で苦土欠乏対策として効果を確認している水酸化マグネシウム(マグゴールド, 宇部マテリアルズ(株), MgO保証成分量60%)を基肥と同時に施用する「転炉スラグ+Mg区」、転炉スラグを施用せずに慣行施肥する「慣行区」を設け、各区3反復とした(第1図)。転炉スラグの施用量は、村上・後藤(2008)の方法を用い、pH7.5とするのに必要な4t/10aとした。2013年12月3日に転炉スラグをコンクリート枠内全面に散布し、深さ10cmまで混和した。なお、転炉スラグ+Mg区には、試験初年の2014年3月28日及び3年目の2016年3月22日に、水酸化マグネシウム100kg/10aを施用した。3か年ともにニンジンの前作にはスイカを栽培した。施肥は、10a当たり成分量で窒素9.8kg, リン酸15.7kg, 加里9.1kgとした。

2018年9月26日受領(Received September 26, 2018)

2019年1月25日登載決定(Accepted January 25, 2019)

\*1 現 印旛農業事務所

\*2 本報告の一部は、園芸学会 2015 年春季大会及び 2017 年秋季大会において発表した。

栽培開始(施肥前), 生育途中及び栽培終了時に深さ0-10cmの土壌をサンプリングし, pH及びECを測定した。ECは, 土壌に乾土:水=1:5になるよう純水を加え, 30分振とう後に測定し, さらに30分静置した後にpHを測定した。

ニンジン「愛紅」(住化農業資材(株))を供試し, シーダーテープ加工したコーティング種子を, 畦間70cm, 株間6cmで2条播きした。2014年8月13日の播種では1か所1粒播きとした。2015年7月29日及び2016年8月1日の播種では1か所2粒播きとし, 出芽後に1か所1株となるように間引きをした。苗立本数を, 2014年は各区1m, 2か所, 2015年及び2016年は各区1m, 2条, 2か所を3反復調査し, 出芽後に枯死した株は苗立本数から除いた。試し掘りをして出荷規格の大きさにおおむね達したことを確認してから, 2014年12月8日及び2015年10月29日に一斉収穫し, 根部の重量を調査した。また, 葉を80℃で96時間以上乾燥させてから粉碎したものを硝酸分解し, ICP発光分光分析装置(バリアン・テクノロジー・ジャパン・リミテッド製, 710-ES)によりリン, カリウム, マグネシウム, カルシウム, ホウ素, 鉄, マンガン, 亜鉛, 銅及びカドミウムの成分含量を定量した。

2. 転炉スラグ施用による土壌pH調整がバレイショの生育, 収量及びそうか病の発病程度に及ぼす影響

試験は, 無底コンクリート枠圃場(1枠10m<sup>2</sup>, 縦3.2m, 横3.2m, 腐植質普通黒ボク土)で行った。試験区は, バレイショ作付前の2014年12月2日に土壌pH7.5を目標として転炉スラグ4t/10aを施用した「転炉スラグ区」, 転炉スラグは施用せず, 施肥時に硫黄華を酸度調整資材として100kg/10a施用した「慣行区」を設け, 各区3反復とした(第1図)。施肥は, 基肥として10a当たり成分量で窒

素12kg, リン酸20kg, 加里14kgを施用した。植付け前, 開花期及び栽培終了時に深さ0-10cmの土壌をサンプリングし, 試験1と同様に土壌pH及びECを測定した。

バレイショ「とうや」及び「トヨシロ」を供試し, ストレプトマイシン・チオファネートメチル水和剤で種芋消毒し, 陰干し後にガラス温室内で浴光催芽を行った。1片が30g程度となるように種芋を切断し, 陰干しした後, 畦間90cm, 株間25cm, 1条植え, 植付け深度6~8cmとなるように, 0.02mm厚黒マルチで被覆した畦に2015年3月20日及び2016年2月22日に植付けを行った。そうか病対策として, 2016年のみ植付け前にフルアジナム粉剤を全ての区に全面処理(40kg/10a)した。2015年6月15日及び2016年6月7日に収穫し, 軽く洗浄した後, 塊茎数, 塊茎重, そうか病発病程度, 裂開程度, 中心空洞発生程度を調査した。そうか病発病程度は「薬効・薬害試験研究の手引き【平成28年度改定版】」(一般社団法人日本植物防疫協会, 2016)に準じて, 発病指数(0:病斑無し, 1:少(病斑面積が塊茎表面の3%未満, 又は病斑数が1~3個) 2:中(同3~13%, 同4~10個), 3:多(同13~25%, 同11~20個), 4:甚(同25%以上, 同21個以上)を塊茎毎に調査し, 次式により発病度を算出した。

$$\text{発病度} = \left\{ \sum (\text{発病指数} \times \text{各指数の塊茎数}) / (4 \times \text{調査塊茎数}) \right\} \times 100$$

中心空洞発生程度は, 100g以上の塊茎を切断し, 切断面の変色及び裂開程度により指数(0:症状無し, 1:微, 2:少, 3:中, 4:多, 5:甚)を決定し, 加重平均を算出した。

3. 土壌消毒及び転炉スラグの施用がダイコンの生育, 収量及びそうか病の発病程度に及ぼす影響

試験区は, 2016年8月15日に転炉スラグを4t/10a施用後, クロロピクリンくん蒸剤により土壌消毒を行った「土

第1図 試験品目別の栽培暦

試験品目		試験区	2013	2014		2015		2016			
ニンジン	転炉スラグ		▼	スイカ	ニンジン	スイカ	ニンジン	スイカ	ニンジン		
	転炉スラグ+Mg		▼	▽	スイカ	ニンジン	スイカ	ニンジン	▽	スイカ	ニンジン
	慣行				スイカ	ニンジン	スイカ	ニンジン		スイカ	ニンジン
バレイショ	転炉スラグ		休作		▼	バレイショ	ニンジン	バレイショ	ニンジン		
	慣行		休作		●	バレイショ	ニンジン	●	バレイショ	ニンジン	
ダイコン	土壌消毒	転炉スラグ	休作						▼■	ダイコン	
		慣行	休作						■	ダイコン	
	バレイショ後作	転炉スラグ	休作		▼	バレイショ	ニンジン	バレイショ	ニンジン	ダイコン	
		慣行	休作		●	バレイショ	ニンジン	●	バレイショ	ニンジン	ダイコン

注1) 図中の▼は転炉スラグ施用時期, ▽は水酸化マグネシウム施用時期, ●は硫黄華施用時期, ■は土壌消毒時期を示す。

- 2) バレイショ及びダイコンでの試験はスイカの後作ではなく, 別の枠圃場に転炉スラグを施用して実施した。
- 3) 転炉スラグは2013年12月, 2014年12月, 2016年8月にそれぞれ該当する試験区に処理した。

壤消毒・転炉スラグ区」, 転炉スラグを施用せずに, クロロピクリンくん蒸剤により土壌消毒を行った「土壌消毒・慣行区」, 試験2を実施した後の圃場を用い, 試験2においてバレイショにそうか病が多く発生した後にダイコンを作付した「バレイショ後作・転炉スラグ区」(転炉スラグは2014年12月に4t/10a施用)及び同じく転炉スラグを施用せず, 前作にバレイショを栽培した「バレイショ後作・慣行区」を設け, 各区3反復とした(第1図)。

ダイコン「福誉」(みかど協和(株))を供試し, 基肥として10a当たり成分量で窒素, リン酸, 加里各4kgを施用し, 0.02mm厚緑色マルチを被覆した。9月27日に各穴3粒播きで播種し, 10月19日に1穴1本となるように間引きを行った。

播種後73日目にダイコンの葉を採取し, ニンジンと同様にICP発光分光分析装置によりリン, カリウム, マグネシウム, カルシウム, ホウ素, 鉄, マンガン, 亜鉛及び銅の成分含量を定量した。播種後84日目の12月20日に収穫

し, 地上部の生育とともに収量, 品質及び病障害の発生状況を調査した。

### III 結 果

#### 1. 転炉スラグ施用による土壌pH調整がニンジンの生育・収量に及ぼす影響

各区の深さ0-10cmの土壌pHは, 転炉スラグ施用前は6.3であり, 施用後34日目の2014年1月6日には, 転炉スラグ区及び転炉スラグ+Mg区ともに7.4に上昇した(木村ら, 2018)。一方, 慣行区では6.8であった。ニンジンの2014年作栽培開始前の7月18日における深さ0-10cmの土壌pHは, 転炉スラグ区が7.2, 転炉スラグ+Mg区が7.1であった。2015年作栽培開始前の2015年7月10日における土壌の深さ0-10cmのpHは, 転炉スラグ区が7.3, 転炉スラグ+Mg区が7.1と, 2作ともにおおむね目標pHで栽培を開始した(第1表)。

第1表 転炉スラグ及び水酸化マグネシウムの施用によるニンジン播種前及び栽培終了時の土壌 pH 及び EC (2015年)

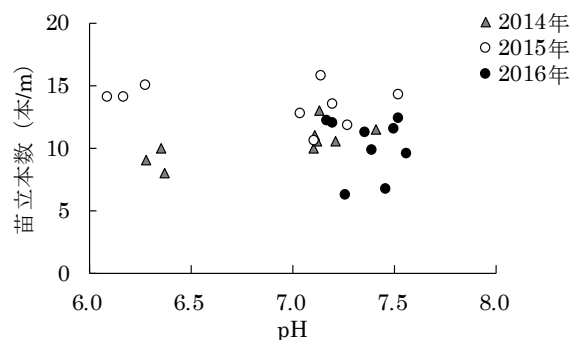
試験区	土壌深度 (cm)	播種前		栽培終了時	
		pH(H <sub>2</sub> O)	EC (mS/m)	pH(H <sub>2</sub> O)	EC (mS/m)
転炉スラグ	0-10	7.3	24.1	7.5	8.0
	10-20	7.5	17.7	7.5	7.8
転炉スラグ+Mg	0-10	7.1	42.1	7.6	7.0
	10-20	7.4	20.3	7.6	8.1
慣行	0-10	6.2	17.2	6.5	6.0
	10-20	6.1	15.4	6.5	5.6

注) 播種前は2015年7月10日, 栽培終了時は同11月4日に測定した。

第2表 転炉スラグ及び水酸化マグネシウムの施用によるスイカ後作ニンジンの苗立本数

試験区	苗立本数 (本/m)		
	2014	2015	2016
転炉スラグ	11.5	14.5 b	10.9 ab
転炉スラグ+Mg	10.7	11.7 a	12.0 b
慣行	9.0	14.3 b	7.6 a

- 注1) 2014年は各区1m, 2カ所調査, 2015年及び2016年は各区1m, 2条, 2カ所を3反復調査した。
- 2) 調査日はそれぞれ2014年9月12日, 2015年8月26日, 2016年11月1日。
- 3) 表中の同一列上の同一アルファベット間には多重比較 (Tukey-Kramer法) により5%水準で試験区間に有意な差がないことを示す。
- 4) 2014年については分散分析において区間に有意な差がなかった。



第2図 転炉スラグ及び水酸化マグネシウムを施用した枠圃場の土壌 pH とニンジンの苗立本数との関係

苗立本数は、2014年においては転炉スラグ区が11.5本/m、転炉スラグ+Mg区が10.7本/m、慣行区が9.0本/mと試験区間に有意な差は認められなかった(第2表)。2015年においては転炉スラグ区が14.5本/m、転炉スラグ+Mg区が11.7本/m、慣行区が14.3本/mと、転炉スラグ+Mg区で苗立本数が有意に減少した。2016年においては慣行区が7.6本/mと、転炉スラグ区の10.9本/m及び転炉スラグ+Mg区の12.0本/mと比較して少なくなる傾向がみられた。3か年の土壌pHと苗立本数との関係(第2図)及びECと苗立本数との関係(図表省略)には一定の傾向はみられなかった。

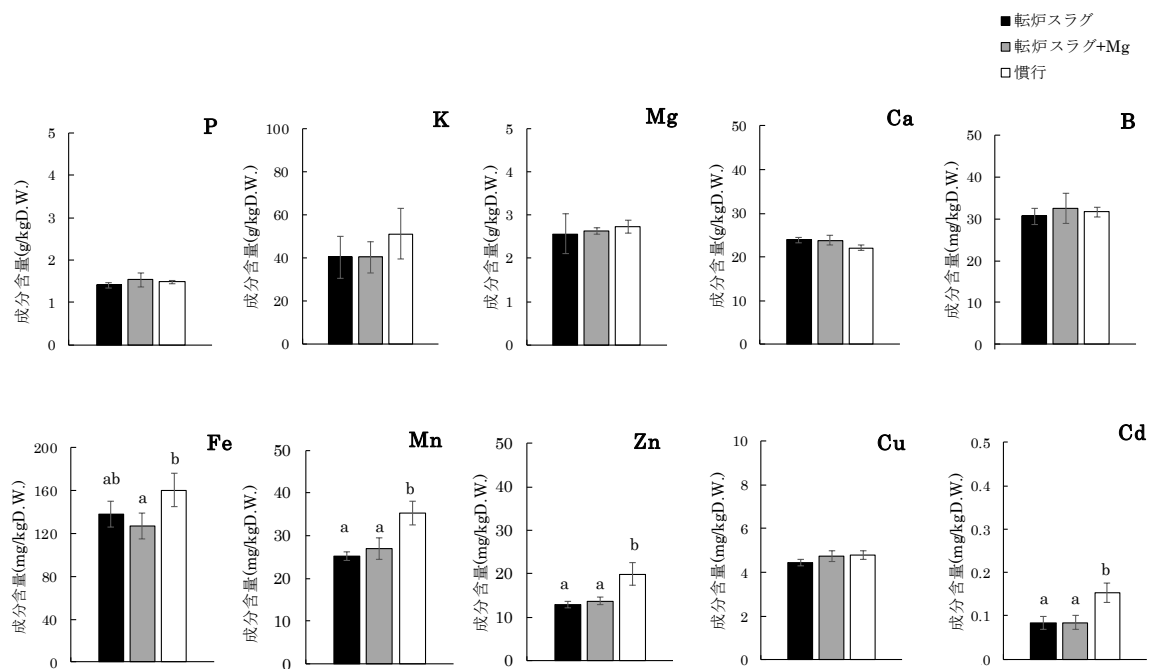
2014年の試験においては、可販重量は、転炉スラグ区が4.0kg/m<sup>2</sup>、転炉スラグ+Mg区が3.4kg/m<sup>2</sup>、慣行区が3.3kg/m<sup>2</sup>と試験区間に有意な差は認められなかった(第3表)。2015年の試験においては、可販本数は、転炉スラグ区では17.4本/m<sup>2</sup>、転炉スラグ+Mg区では14.2本/m<sup>2</sup>、慣行区では17.6本/m<sup>2</sup>と有意な差は認められなかった。可販重量は、転炉スラグ区が1.8kg/m<sup>2</sup>、転炉スラグ+Mg区が1.9kg/m<sup>2</sup>、慣行区が2.0kg/m<sup>2</sup>と試験区間に有意な差は認められなかった。平均根重は、転炉スラグ+Mg区が136gと、転炉スラグ区の106g及び慣行区の112gと比較して有意に大きくなった。

ニンジン茎葉に含まれるマンガンは転炉スラグ区が25mg/kgD.W.、転炉スラグ+Mg区が27mg/kgD.W.、慣行区が35mg/kgD.W.、亜鉛は転炉スラグ区が13mg/kgD.W.、転炉スラグ+Mg区が14mg/kgD.W.、慣行区が20mg/kgD.W.、カドミウムは転炉スラグ区が0.08mg/kgD.W.、転炉スラグ+Mg区が0.08mg/kgD.W.、慣行区が0.15mg/kgD.W.であった(第3図)。このよう

第3表 転炉スラグ及び水酸化マグネシウムの施用によるスイカの後作ニンジンの収量

試験年度	試験区	可販収量		可販率 (%)	平均根重 (g)
		本数 (本/m <sup>2</sup> )	重量 (kg/m <sup>2</sup> )		
2014	転炉スラグ	14.5 b	4.0	92	267 a
	転炉スラグ+Mg	14.0 ab	3.4	89	245 a
	慣行	12.3 a	3.3	88	270 a
2015	転炉スラグ	17.4 a	1.8	82	106 a
	転炉スラグ+Mg	14.2 a	1.9	88	136 b
	慣行	17.6 a	2.0	86	112 a

注) 表中の同一アルファベット間には多重比較(Tukey-Kramer法)により5%水準で同一年度における試験区間に有意な差がないことを示す。可販収量の重量及び可販率には、分散分析において5%水準で試験区間に有意な差がなかった。



第3図 転炉スラグ及び水酸化マグネシウムの施用によるスイカ後作ニンジン茎葉の成分含量(2014年)

- 1) 栽培終了時のニンジン茎葉をサンプリングした。
- 2) 図中のエラーバーは標準偏差(n=3)を示す。
- 3) 各元素の棒グラフ上に示した同一アルファベット間には多重比較(Tukey-Kramer法)により5%水準で試験区間に有意な差がないことを示す。
- 4) P, K, Mg, Ca, B, Cu では分散分析において5%水準で試験区間に有意な差がなかった。

に、マンガン、亜鉛及びカドミウム含量は、転炉スラグを施用した転炉スラグ区及び転炉スラグ+Mg区で慣行区を下回った。鉄は、転炉スラグ区が138mg/kgD.W.、転炉スラグ+Mg区が127mg/kgD.W.、慣行区が161mg/kgD.W.と、転炉スラグを施用した転炉スラグ区及び転炉スラグ区+Mg区で慣行区より低下する傾向があったが、転炉スラグ区と慣行区との間に有意な差はなかった。リン、カリウム、マグネシウム、カルシウム、ホウ素及び銅については、転炉スラグ区及び転炉スラグ+Mg区と慣行区との間に有意な差は認められなかった。

## 2. 転炉スラグ施用による土壌pH調整がバレイシヨの生育、収量及びそうか病の発病程度に及ぼす影響

転炉スラグ処理前の土壌pHは6.8であった。2015年植付け前のpH（転炉スラグ処理104日後）は土壌の深さ0-10cmでは7.8、10-20cmで7.6となり、目標pHに達し、裁

培終了までおおむね7.5を維持した（第4表）。慣行区では、定植前のpHが0-10cmで7.4と高かったが、硫黄華の施用により、開花期には6.1、栽培終了時には6.4となった。転炉スラグ区では、2016年植付け前のpHが0-10cmでは7.6、10-20cmでは7.5となり、転炉スラグ施用後1年以上経過してもおおむね7.5を維持した。2016年栽培終了時のpHは、0-10cmでは7.4、10-20cmでは6.8となった。慣行区では、施肥時に硫黄華を施用したため、植付け前及び収穫時ともにpHは0-10cmで6.7であった。

「トヨシロ」は慣行区の塊茎数が54.6個/区と転炉スラグ区の45.8個/区より有意に多くなったが、総塊茎重では転炉スラグ区が4.7kg/区、慣行区が5.3kg/区と有意な差はなかった（第5表）。「とうや」は、塊茎数が転炉スラグ区で37.1個/区、慣行区で39.7個/区と区間差はなく、総塊茎重についても転炉スラグ区で3.5kg/区、慣行区で3.7kg/区と有意な差はなかった。塊茎品質では、裂開した塊茎

第4表 転炉スラグの施用によるバレイシヨ栽培期間のpH及びEC

試験年	試験区	土壌深度 (cm)	植付け前		開花期		栽培終了時	
			pH(H <sub>2</sub> O)	EC (mS/m)	pH(H <sub>2</sub> O)	EC (mS/m)	pH(H <sub>2</sub> O)	EC (mS/m)
2015	転炉スラグ	0-10	7.8	9.1	7.2	24.6	7.4	17.3
		10-20	7.6	9.8	-	-	7.3	20.5
	慣行	0-10	7.4	3.3	6.1	17.7	6.4	13.1
		10-20	7.1	2.7	-	-	6.2	17.9
2016	転炉スラグ	0-10	7.6	8.9			7.4	9.2
		10-20	7.5	8.6			6.8	10.7
	慣行	0-10	6.7	5.7			6.7	10.8
		10-20	6.6	5.8			6.8	11.5

注) 空欄は欠測。

第5表 転炉スラグの施用によるバレイシヨの収量及び品質（2016年）

試験区	塊茎数 (個)	総塊茎重量 (kg)	平均塊茎 (g)	品質別個数 (%)			
				A品	裂開	こぶ	
トヨシロ	転炉スラグ	45.8 b	4.7 ab	106	88.9	7.3	2.6
	慣行	54.6 c	5.3 b	97	93.5	2.0	1.8
とうや	転炉スラグ	37.1 a	3.5 a	94	71.6	25.8	0.9
	慣行	39.7 ab	3.7 a	92	81.1	15.6	1.5
品種	*	**	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	
処理	**	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	
交互	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	

注1) 1区15株、3反復調査。

2) 表中の同一アルファベット間には多重比較（Tukey-Kramer法）により5%水準で試験区間に有意な差がないことを示す。

3) 分散分析により、N.S.は有意差がないこと、\*は5%水準の有意差があること、\*\*は1%水準の有意差があることを示す。品質別個数(%)は逆正弦変換後に分散分析を行った。

第6表 転炉スラグの施用によるバレイショそうか病の発病度 (2016年)

試験区	発病指数別塊茎割合 (%)					発病度 <sup>1)</sup>
	0	1	2	3	4	
トヨシロ 転炉スラグ	0	0	2.9	12.1	85.0	95.5
慣行	0	5.3	24.8	36.0	33.8	74.6
とうや 転炉スラグ	0	0	0	2.1	97.9	99.5
慣行	0	3.4	12.9	20.2	63.6	86.0
品種						N.S.
処理						*

注1) 発病度 = {Σ(発病指数×各指数の塊茎数) / (4×調査塊茎数)} ×100

2) Wilcoxon の順位和検定により, N.S.は有意差がないこと, \*は5%水準の有意差があることを示す.

の割合が「トヨシロ」では転炉スラグ区が7.3%, 慣行区が2.0%, 「とうや」では転炉スラグ区が25.8%, 慣行区が15.6%と, 「トヨシロ」より「とうや」で高く, また慣行区より転炉スラグ区で高くなる傾向が見られたが, 反復間のばらつきが大きく有意な差はなかった.

「トヨシロ」では, 転炉スラグ区でそうか病発病指数4の塊茎が85.0%を占め, 発病度は95.5と高かった(第6表). 慣行区では発病指数2~4の塊茎割合が高く, 発病度は74.6であった. 「とうや」では, 転炉スラグ区の発病指数4の塊茎は97.9%, 発病度は99.5, 慣行区は発病指数3が20.2%, 発病指数4が63.6%, 発病度は86.0であった. 転炉スラグ区より慣行区で発病度は有意に低くなった. また, 同一処理での発病度を比較すると, 「トヨシロ」と「とうや」に有意な差はなかった.

「トヨシロ」, 「とうや」とともに軽微な中心空洞が発生し, 「トヨシロ」と比較して「とうや」での発生率がやや高く, 両品種とも転炉スラグ区と比較して慣行区での発生率が高くなる傾向があったが, いずれの試験区間にも有意な差は認められなかった(第7表).

### 3. 転炉スラグ施用による土壌 pH 調整がダイコンの生育, 収量及びそうか病の発病程度に及ぼす影響

土壌消毒区の処理前の土壌pHは6.8であった. 転炉スラグ区は, 栽培前が7.4, 栽培後が7.6と概ね目標pHとなっていた(第8表). 慣行区は栽培前が7.4と高く, 栽培後には6.9となった. バレイショ後作区では, 転炉スラグ区の栽培前のpHは7.3, 栽培後は7.5となった. 慣行区の栽培前pHは7.2, 栽培後は6.5であった. 土壌消毒区, バレイショ後作区ともに転炉スラグ区では栽培期間を通じて, pH7.5程度で維持されていた.

播種後84日目の最大葉長は, 土壌消毒・転炉スラグ区が36.2cm, 土壌消毒・慣行区が37.0cm, バレイショ後作・転炉スラグ区が32.2cm, バレイショ後作・慣行区が32.2cmとそれぞれの処理内では転炉スラグ区と慣行区

第7表 転炉スラグの施用によるバレイショの中心空洞発生程度 (2016年)

試験区	発生率 (%)	発生程度 <sup>1)</sup>	塊茎重 <sup>2)</sup> (g)
トヨシロ 転炉スラグ	2.2	0.1	155
慣行	5.6	0.2	158
とうや 転炉スラグ	9.0	0.2	137
慣行	12.2	0.2	149
品種	N.S.		
処理	N.S.		
交互	N.S.		

注1) 切断面の変色及び裂開程度により指数(0:症状無し, 1:微, 2:少, 3:中, 4:多, 5:甚)別に調査し, 加重平均を算出.

2) 調査した塊茎の平均重量.

3) 逆正弦変換後に分散分析を行った. N.S.は分散分析により有意な差がないことを示す.

との間に差はなく, 土壌消毒区がバレイショ後作区と比べて有意に大きくなった. 同様に生葉数, 葉重においても土壌消毒区がバレイショ後作区より大きくなる傾向が認められた(第8表). 土壌消毒区及びバレイショ後作区のいずれにおいても転炉スラグ区と慣行区との間に, ダイコンの生育差は認められなかった.

ダイコン葉におけるリン, カリウム, マグネシウム, ホウ素, マンガン, 亜鉛及び銅の含量は, 土壌消毒区でバレイショ後作区を有意に上回り, 転炉スラグ区と慣行区との間には差がなかった(第9表). 高pHでの吸収抑制が懸念されたホウ素含量は, 土壌消毒・転炉スラグ区が24.5mg/kgD.W., 土壌消毒・慣行区が25.4 mg/kgD.W., バレイショ後作・転炉スラグ区が20.3 mg/kgD.W., バレイショ後作・慣行区が19.6 mg/kgD.W.となり, それぞれの処理内で転炉スラグ区と慣行区との間に有意な差はなかった.

いずれの区においても, ダイコンそうか病の発生は認められなかった(データ省略).

第8表 土壌消毒後及びバレイショ後作での転炉スラグの施用によるダイコンの生育（播種後84日目）

試験区	土壌pH		最大葉長 (cm)	生葉数 (枚)	葉重 (g)	SPAD	根長 (cm)	根重 (g)	
	栽培前	栽培後							
土壌消毒	転炉スラグ	7.4	7.6	36.2 b	17.9 b	130 ab	28	31.0	751
	慣行	7.4	6.9	37.0 b	18.0 b	132 b	30	31.5	739
バレイショ後作	転炉スラグ	7.3	7.5	32.2 a	14.5 a	99 a	27	29.7	651
	慣行	7.2	6.5	32.2 a	15.7 ab	105 ab	29	30.7	633

注1) 2016年12月20日調査。根重は各区20本、3反復調査、それ以外は各区10本、3反復調査  
 2) 表中の同一アルファベット間には多重比較 (Tukey-Kramer 法) により、5%水準で試験区間に有意な差がないことを示す。  
 3) SPAD, 根長, 根重には分散分析において5%水準で試験区間に有意な差がなかった。

第9表 土壌消毒後及びバレイショ後作での転炉スラグの施用によるダイコン葉の成分含量（2016年）

試験区	成分含量									
	P	K	Mg	Ca	B	Fe	Mn	Zn	Cu	
	(g/kg D.W.)					(mg/kg D.W.)				
土壌消毒	転炉スラグ	4.3 c	25.2 bc	3.8	47.5 b	24.5 ab	290	53.2 ab	22.3 bc	6.7 b
	慣行	4.1 bc	28.2 c	3.4	46.1 ab	25.4 b	255	54.1 b	25.4 c	6.9 b
バレイショ後作	転炉スラグ	2.7 a	11.7 a	4.1	46.1 ab	20.3 a	255	37.9 a	16.6 a	5.2 a
	慣行	2.9 ab	14.4 ab	4.3	42.7 a	19.6 a	280	41.5 ab	18.5 ab	5.6 a

注1) 表中の同一アルファベット間には多重比較 (Tukey-Kramer 法) により5%水準で試験区間に有意な差がないことを示す。  
 2) Mg, Feには分散分析において5%水準で試験区間に有意な差がなかった。

#### IV 考 察

##### 1. 転炉スラグ施用による土壌 pH 調整がニンジンの生育・収量に及ぼす影響

苗立本数は、試験年度によっては、試験区間に有意差が認められたものの、その傾向は一定ではなかった(第2表)。ニンジンの発芽率は、圃場条件では約50~60%程度と言われており(川城, 2003)、本試験での3か年の出芽初期の出芽率は46~87%(データ省略)であることから、土壌水分や温度等の出芽条件はおおむね良好であったと考えられた。3か年ともに、出芽後に苗立枯病等による萎凋枯死株が発生し、苗立本数が低下した。試験区と苗立本数(第2表)及び土壌pHと苗立本数(第2図)との間に一定の関係はなく、転炉スラグの施用によるニンジンの苗立ちへの影響はないと考えられた。

2014年、2015年ともに栽培期間を通じてニンジンの生育好適pHを超える条件下での栽培であったが、転炉スラグの施用による収量の低下は見られなかった(第3表)。先に報告した転炉スラグ施用により土壌pHを7.5に調整した条件下で栽培したスイカ(木村ら, 2018)や土壌pHを8.0まで高めたチンゲンサイ、ソルゴー(大島・後藤, 2014)の報告においても収量に影響がないとしている。

ホウ素、鉄、マンガン及び亜鉛は、高 pH 条件下での溶解度の低下や存在形態の変化による吸収の抑制が懸念される。これらの元素のうち、鉄、マンガン及び亜鉛は、転炉スラグの施用によりニンジン茎葉における含量が低下していたが、ホウ素は慣行区と同程度であった(第3図)。また、スイカで確認された転炉スラグに多量に含まれる石灰との拮抗作用による苦土の吸収抑制(木村ら, 2018)は、ニンジンでは生じなかった。以上より、ニンジンにおいては転炉スラグの施用が収量に悪影響を及ぼす可能性は低いと考えられた。

##### 2. 転炉スラグ施用による土壌 pH 調整がバレイショの生育、収量及びそうか病の発病程度に及ぼす影響

慣行区における栽培期間中の土壌pHは6.1~6.7あり、バレイショの好適pHである5.5~6.0(千葉県, 2005)を上回っていた。一方、吉田(1975)は、土壌pHが4.8~7.1の範囲内では収量に影響がなく、病害の発生を抑えることを加味した適正pHは6.0~6.5としており、本試験の慣行区の土壌pHは収量に影響を及ぼさないと考えられた。

本試験では、栽培中の土壌pHは転炉スラグ区及び慣行区のいずれにおいてもpH5.0を上回っており(第4表)、バレイショそうか病が発生しやすい土壌pH条件であったが、pHがより高い転炉スラグ区ではそうか病の発病が助長された(第6表)。

そうか病への抵抗性は品種によって異なり、「トヨシロ」及び「とうや」は抵抗性が弱い品種に分類されている(社団法人北海道馬鈴しょ生産安定基金協会, 2004)。両品種ともに転炉スラグ施用によりそうか病発病度が非常に高くなり、出荷が困難な状態となったことから(第6表)、転炉スラグを施用した圃場はこれら品種の栽培には適さないと考えられた。

中心空洞は、塊茎が急激に肥大することで中心部が裂開する症状であり、栽植密度が少ない、温度が高い、土壌が湿潤である、土壌 pH が高い等の条件で、また 190g 以上の大粒塊茎で発生することが多い(吉田, 1989)。また、中心空洞の発生は年次変動が大きく、塊茎肥大期の高温多雨等の気象条件や品種により発生程度が大きく変わる(西中ら, 2010)。本試験では、試験区間で平均塊茎重に有意差はなく(第5表)、中心空洞発生程度にも有意差はなかった(第7表)。このように、転炉スラグの施用により土壌 pH は高まっていたが、これが中心空洞の発生を助長することはなかったと考えられる。

### 3. 転炉スラグ施用による土壌 pH 調整がダイコンの生育、収量及びそうか病の発病程度に及ぼす影響

ダイコン栽培において土壌 pH が高い場合に懸念されるホウ素欠乏は、土壌中のホウ素含量が高くても、高 pH 条件下ではホウ素が土壌に固定されて吸収できないため発生するとされている(渡辺, 1984)。しかし、本試験では土壌 pH が 7.5 程度であった転炉スラグ施用区におけるダイコン葉中のホウ素含量は、慣行区と同程度であった(第9表)。大島・後藤(2014)及び後藤(2016)も、転炉スラグの施用により土壌 pH を 8.0 まで高めてもソルゴーやエダマメのホウ素吸収量に影響はないとしている。また、本試験でのニンジン(第3図)及び前報のスイカ(木村, 2018)でも同様の結果であった。以上から、転炉スラグの施用により土壌 pH が 7.5 程度となっても、作物のホウ素吸収にはほとんど影響を及ぼさないと考えられた。転炉スラグの施用によりダイコンの生育好適 pH を超える条件下での栽培であったが、ホウ素を含め養分吸収への影響がなかったため、生育及び収量が低下しなかったと推察される(第8表)。

川城(1989)は、土壌 pH 4.5~7.0 の範囲ではダイコンの生育には影響はないが、土壌 pH が高いほどダイコンそうか病によるこぶ症状の発生率が高くなり、発生程度も重くなるとしている。ダイコンそうか病の発生防止対策として土壌 pH 5.0~5.5 程度に管理することが望ましいとされている(川城, 1996)。また、バレイショそうか病とダイコンそうか病は病原菌が同一種であり(萩原, 1988)、バレイショそうか病がダイコンそうか病の伝染源となる事例が多いことが明らかになっている(川城,

1996)。しかし、本試験では、そうか病が多発したバレイショ後作の枠圃場でダイコンを栽培しても、ダイコンそうか病の発生は認められなかった。

ダイコンそうか病は、土壌 pH 以外にも地温や土壌の水分条件等によって発生量に変化することが知られており(川城, 1989)、地温 20°C 前後、土壌が乾燥気味の場合に発病しやすいとされている(萩原, 1988)。本試験は、9月下旬播種の作型での実施であり、播種時の平均気温は 23.9°C (9月第6半旬、アメダスデータ地点:佐倉)、栽培終了時では 5.1°C (12月第4半旬)と栽培期間はおおむね平均気温が 20°C を下回った。また、栽培期間の降水量は 282.5mm (9月第6半旬~12月第4半旬)であり、適度な降雨により土壌水分が湿潤であったため、発病しにくい条件であったと考えられる。

以上のように、転炉スラグの施用により、ホモブシス根腐病に発病抑制効果があるとされる土壌 pH 7.5 が長期間維持された条件で、スイカの後作品目のニンジン、バレイショ及びダイコンを栽培した結果、すべての品目で収量への影響は認められなかった。一方、土壌の高 pH の影響を受け、バレイショではそうか病の発生が助長されることが確認された。これらのことから、スイカの病害対策として転炉スラグの施用を行う場合には、輪作品目として土壌の pH が高い条件下で病害の発生が助長されない作物を選定する必要があると考えられる。

## V 謝 辞

本研究の実施にあたり、印旛農業事務所の担当者の方々には多大なご助言とご協力をいただいた。ここに記して深く感謝の意を表する。

## VI 摘 要

転炉スラグの施用により深さ 10cm までの土壌 pH を約 7.5 に調整し、ニンジン、バレイショ及びダイコンの生育に好適な土壌 pH を超える条件下での生育、収量及び病害の発生を調査した。

ニンジンでは、生育、収量及び品質に影響は認められなかった。バレイショでは、収量への影響は認められなかったが、そうか病の発病度が高くなった。ダイコンでは、生育及び収量への影響は認められず、そうか病は発生しなかった。

このように、作物によっては病害の発生が助長される可能性があるため、スイカホモブシス根腐病対策として転炉スラグを施用し土壌 pH を高める場合には、輪作品目の選定に注意する必要がある。



## Ⅶ 引用文献

- 千葉県 (2005) 土壌. 水質及び作物分析診断. p. 3. 千葉県農林水産技術会議, 千葉.
- 千葉県 (2016) 転炉スラグ施用によるスイカホモプシス根腐病の発病軽減効果の検証. [http://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/shikenkenkyu/documents/h28\\_48.pdf](http://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/shikenkenkyu/documents/h28_48.pdf) 最終アクセス2017年9月27日.
- 後藤逸男 (2016) 転炉スラグの農業利用技術の開発と普及. 植物防疫 70: 209-214.
- 一般社団法人日本植物防疫協会(2016)薬効・薬害試験研究の手引き【平成28年度改訂版】. p.16 <http://www.jpfa.or.jp/test/data/tebiki1.pdf> 最終アクセス 2019年1月25日.
- 岩館康哉 (2014) 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.
- 岩館康哉・勝部和則・長谷 修・生井恒雄 (2011) キュウリホモプシス根腐病に対するクロロピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理と抵抗性台木クロダネカボチャの併用による防除効果. 日植病報 77: 278-286.
- 川城英夫 (1989) 千葉県におけるダイコンこぶ症状の発生と防止対策. 関東病虫研報 36: 63-64.
- 川城英夫 (2003) 農業技術大系野菜編9. ニンジンpp. 124の4-124の24. 農山漁村文化協会, 東京.
- 川城英夫 (1996) 農業技術大系野菜編9. ダイコンpp. 101-124. 農山漁村文化協会, 東京.
- 木村美紀・鈴木秀章・八槇 敦・横山とも子・金子洋平 (2018) 転炉スラグの施用による土壌pH調整がスイカの生育, 収量及びMgO吸収に及ぼす影響. 千葉農林総研研報 10: 89-96.
- 小林正伸・植草秀敏・折原紀子・宇田川 晃 (1997) メロンホモプシス根腐病の太陽熱消毒と薬剤の併用による防除. 関東病虫研報. 44: 79-81.
- 萩原 廣 (1988) 作物病害辞典 (岸 國平 編). 943pp. 全国農村教育協会, 東京.
- 三上哲壮 (2003) 簡易太陽熱処理および太陽熱処理とダズメット粉粒剤の併用処理によるメロンホモプシス根腐病防除の1事例. 近中四農研報 2: 17-20.
- 三木静恵・漆原寿彦・酒井 宏 (2008) キュウリホモプシス根腐病に対する土壌還元消毒法の防除効果. 関東病虫研報 55: 19-20.
- 美濃健一・西脇由恵 (2001) 土壌酸度調整と灌水によるジャガイモそうか病 (*Streptomyces scabies*) の抑制. 北海道立農試集報 80: 73-76.
- 村上圭一・後藤逸男 (2008) アブラナ科野菜根こぶ病防除のための転炉スラグ施用量簡易決定法. 関西病虫研報 50: 97-98.
- 西中未央・田宮誠司・森 元幸 (2010) 2010年におけるバレイショ塊茎の中心空洞発生の品種間差. 育種・作物学会北海道談話会会報 51: 53-54.
- 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吸収におよぼす影響. 土肥要旨集 60: 136.
- 社団法人北海道馬鈴しょ生産安定基金協会 (2004) ばれいしょのそうか病—診断・多発要因・防除法—. <https://www.hro.or.jp/list/agricultural/nouseibu/souka/> 最終アクセス2018年12月4日.
- 横山とも子・大木 浩 (2003) 千葉県における低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒の取り組み. 植物防疫 67: 205-209.
- 吉田 稔 (1975) 農業技術大系作物編5. pp. 109-206の3. 農山漁村文化協会, 東京.
- 吉田 稔 (1989) バレイショの生理生態学的研究: 第21報 規格別計画生産法. 北海道大学農学部農場研究報告 26: 1-15.
- 渡辺和彦 (1984) 野菜の要素欠乏と過剰症. 122pp. タキイ種苗, 京都.

# Effects of Soil pH Adjustment with Converter Slag on Growth and Yield of Carrot, Radish, and Potato

Miki KIMURA\*, Hideaki SUZUKI and Youhei KANEKO

Key words: converter slag, pH, carrot, radish, potato

## Summary

We investigated the effects of the adjustment of soil pH at 0–10 cm depth to 7.5 with converter slag on the growth and yield of carrot, radish, and potato. Under a custom cultivation method, it did not influence growth or yield. On the other hand, high soil pH can promote diseases caused by *Streptomyces* spp., notably potato scab and radish scab. The application of converter slag increased potato scab but not radish scab. Thus, the application of converter slag may promote some diseases in high pH soil, so it will be necessary to choose rotation crops carefully at the time of application.

\*Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center; 180-1 Okanezawa, Midori, Chiba 266-0014, Japan