

## 鹿兒島県におけるキャベツ根こぶ病の発生生態に対応した総合防除技術

湯田達也・相本涼子・樋口康一\*<sup>1</sup>・西 八東・尾松直志・白尾 吏\*<sup>2</sup>・倉本和幸\*<sup>3</sup>・別府誠二・徳永太蔵

### 要 約

鹿兒島県では 2013 年頃からキャベツ、菜の花等で根こぶ病の発生が広がっている。県内産地への拡大を防ぐため、キャベツ根こぶ病の発生実態の解明と、総合的防除対策を確立する研究に取り組んだ。県内の火山放出物未熟土壌が分布する地域では、リン酸吸収係数が小さいため可給態リン酸が過剰になりやすく、本病の発病を助長しやすい土壌環境下にある圃場が多かった。本病の発病を抑制する石灰質資材として、速効的な効果を期待する場合は消石灰、持続的な効果を期待する場合はケイ鉄が有効であった。土壌 pH7.0 程度に矯正した圃場でアブラナ科野菜および輪作作物を栽培しても、生育への影響が少ないことが確認できた。本県におけるキャベツの抵抗性品種の適応性を評価した結果、春系品種「YCR 夢いっぼ」および寒玉系品種「YCR げっこう」を、定植期が 9 月中旬、収穫期が 11 月下旬～12 月上旬の作型における有望品種として選定した。指宿市において、低温期（12～1 月）にキャベツを定植し生育初期の発病を抑えると、収穫時期まで発病を抑制し、生育への影響が少ないことが明らかとなった。上記防除対策を、単独または組み合わせて処理する場合の効果を現地汚染圃場において検討し、作付時期に応じた本病の総合防除技術を確立したと結論づけた。

キーワード：キャベツ，総合防除，抵抗性品種，土壌 pH 矯正，根こぶ病

### 緒 言

アブラナ科野菜根こぶ病は *Plasmodiophora brassicae* Woronin を病原とする土壌伝染性の難防除病害であり、世界各地でアブラナ科作物の生産や経営的に深刻な影響を及ぼしている<sup>1)</sup>。国内においては、1982 年に北海道で最初の発生が確認され、現在では北海道から九州までの広い地域で発病が認められ重要病害の一つとして問題となっている<sup>13)</sup>。鹿兒島県では、2001 年に家庭菜園のハクサイにおいて本病の発生が初めて確認された。その後、2013 年には県内のキャベツ産地や景観用菜の花の栽培圃場で本病の発生が報告された<sup>6)</sup>。鹿兒島県内のキャベツ生産は年々増加傾向にあり、本病の発生拡大は地域経済に対して甚大な影響を及ぼす恐れがある。本病の胞子は、低温にも高温にも湛水条件にも強い休眠胞子として土壌中に長期間生存<sup>13)</sup>するため、連作圃場では年々菌密度が高まり防除が困難になる。主たる防除は化学合成農薬に頼っているのが現状であるが、環境に配慮し、農薬に過度に依存した防除対策からの脱却が求められている。一方、本病の耕種的防除技術として、石

(連絡先) 生産環境部

\*1 南薩地域振興局農林水産部農政普及課

\*2 農政部経営技術課

\*3 大島支庁農林水産部農政普及課

灰質資材による土壌 pH の矯正<sup>11)</sup>・<sup>12)</sup>や抵抗性品種<sup>16)</sup>が知られているが、本県の本病発生圃場の土壌化学性の実態や、キャベツの抵抗性品種の有効性については不明である。また、樋口、湯田<sup>7)</sup>は、本県におけるキャベツ根こぶ病の発病の危険性が低い栽培時期について報告しているが、収穫時の発病や生育への影響については示していない。

そこで、鹿兒島県では本病の総合的防除対策を確立するための課題として「キャベツ根こぶ病の発生実態把握による防除対策高度化」(2014～2018 年度)に取り組み、本病の発生実態の解析とともに、防除対策に関する試験を行った。具体的には、本病の発生圃場の土壌化学性の実態と土壌 pH 矯正による発病抑制対策、キャベツの抵抗性品種の適応性評価、キャベツ栽培時の温度と収穫時の発病との関係を検討した。さらに、解析によって得た防除技術と農薬による防除技術について、単独または複数技術を組み合わせた対策試験を現地汚染圃場において実施し、本病の総合防除対策に関する知見を得たので報告する。

### 試験材料および方法

#### 1 根こぶ病発生圃場の土壌化学性の実態 (試験 1)

2013 年 10 月から 2014 年 8 月に、県内 3 地域 (指宿

市19点、霧島市3点、曾於市7点)の根こぶ病が発生した圃場から表層(0~15cm)土壌を採取した。採取土壌のpH(H<sub>2</sub>O)(本報告では、水浸出のみの方法であるため、以下土壌pHと記す)、陽イオン交換容量(以下CECと記す)、交換性塩基類、可給態リン酸およびリン酸吸収係数を測定した。なお、土壌は、未風乾状態で2mmの篩を通したものを供試した。

土壌pHは未風乾土壌、CEC、交換性塩基類、可給態リン酸およびリン酸吸収係数は、風乾土壌を用いた。土壌pHは、土壌1に対し、蒸留水2.5を加え、十分に振とう後、ガラス電極法により測定した。CECおよび交換性塩基類(Ca, Mg, K)はSchollenberger法で抽出し、CECは蒸留法で、交換性カルシウムおよびマグネシウムは、原子吸光法、交換性カリウムは、炎光法で定量した。各塩基飽和度は、CECに対する交換性塩基類の割合から算出した。可給態リン酸はトルオグ法で抽出し、モリブデン青吸光光度法により分光光度法で定量した。リン酸吸収係数はリン酸アンモニウム法で抽出し、バナドモリブデン酸法により定量した。

## 2 土壌管理による発病抑制対策(試験2)

### (1) 土壌pHと根こぶ病の発病度の関係(セル苗検定)

鹿児島県指宿市開聞町において、根こぶ病が発生したキャベツ跡地土壌(火山放出物未熟土)の休眠孢子密度は、10<sup>4</sup>個g<sup>-1</sup>乾土程度であった。この跡地土壌および当土壌に休眠孢子10<sup>4</sup>個g<sup>-1</sup>乾土以上になるように菌添加した土壌を供試した。検定植物はハクサイ(品種‘無双’(タキイ種苗株式会社)、以下ハクサイ‘無双’)とキャベツ(品種‘金春’(株式会社サカタのタネ)、以下キャベツ‘金春’)を用い、2017年7月6日に50穴セルトレイに土壌を1穴当たり60g充填後、5粒/セルずつ播種した。播種後、発芽までは、鹿児島県農業開発総合センター(南さつま市金峰町、以下、センター)室内で管理し、発芽後は日光の当たるベランダで管理した。発病度調査は2017年8月2日(播種27日後)に行い、「アブラナ科野菜根こぶ病総合防除マニュアル<sup>2)</sup>(東北農研センター)」の根こぶ病発病調査基準(直播の場合)に従い、発病度を下記の式により算出した。

#### 【発病指数別調査基準】

- 0: 根こぶなし
- 1: 側根のみに根こぶあり
- 2: 主根の50%未満に根こぶ、もしくは肥大した根こぶあり
- 3: 主根の50%以上に根こぶ、もしくは肥大した根

こぶあり

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

(2) 土壌の種類別の緩衝曲線法による土壌pH矯正のための中和石灰量の算出

センター圃場の腐植質普通黒ボク土と指宿市開聞町の火山放出物未熟土の土壌を供試した(表1)。それぞれの風乾土20gに石灰質資材(炭酸カルシウム(以下、炭カル)、ケイ鉄(転炉スラグ)、消石灰)を一定量加え、純水50mlを添加し振とう後、常温で24時間静置した。その後、5時間振とうし、エアポンプで空気を送り込んだ後、pHを測定した。得られたpH値から緩衝曲線を作成した。

表1 供試土壌の化学性

土壌群 (採取地)	pH (H <sub>2</sub> O)	EC dSm <sup>-1</sup>	無機態		CEC	K	Ca	Mg	乾土当たり	
			窒素	リン酸					T-C	T-N
			mgkg <sup>-1</sup>			cmo(+) kg <sup>-1</sup>			%	%
腐植質普通黒ボク土 (センター圃場)	5.9	0.04	3.0	68	23.0	0.4	8.0	1.3	4.8	0.3
火山放出物未熟土 (指宿市開聞町)	5.0	0.06	31	444	15.4	1.1	3.1	0.5	2.6	0.3

### (3) pH矯正した土壌が作物の生育に及ぼす影響

ア 腐植質普通黒ボク土における輪作

試験は2016年から2019年にかけて、センター内(腐植質普通黒ボク土)において、1区12.8m<sup>2</sup>、3反復で実施した。土壌pH矯正は7.0を目標とし、試験区は施用する石灰質資材の種類と、1ha当たりの施用量で設定した。栽培品目、資材施用量等は表2のとおりである。

表2 センター内で輪作した栽培品目および施用資材量

試験区名	施用量(Mgha <sup>-1</sup> )			
	キャベツ		青果用 サツマイモ	ハクサイ
	1~2作目	3作目	4作目	5作目
無処理	堆肥20			
炭カル5Mg	堆肥20+炭カル5	消石灰5		消石灰5
炭カル10Mg	堆肥20+炭カル10	消石灰5		消石灰5
ケイ鉄50Mg	堆肥20+ケイ鉄50			
ケイ鉄100Mg	堆肥20+ケイ鉄100			
消石灰10Mg	—	—	消石灰10	

1~3作目のキャベツは、品種‘金春’を用い、栽植密度は、畝幅64cm、株間40cmの39,060株ha<sup>-1</sup>とした。播種は8月下旬に行い、定植は9月中旬、収穫は11月下旬~12月上旬に行った。牛ふん堆肥20Mgha<sup>-1</sup>(1作目のみ)および石灰質資材は、8月下旬に全面散布後耕耘した。基肥は9月中旬に、N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=96:96:96(kgha<sup>-1</sup>)となるよう、BB48を600kgha<sup>-1</sup>施用し、追肥は、10月上旬および下旬に、合計N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=96:0:96(kgha<sup>-1</sup>)

となるよう、NK2号を600kg $ha^{-1}$ 施用した。

4作目の青果用サツマイモは、品種‘べにはるか’を用い、栽植密度は畝幅80cm、株間40cmの31,250株 $ha^{-1}$ とした。定植は5月11日、収穫は9月11日に行った。消石灰は2018年4月23日に、基肥は5月9日にN:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=50:150:150(kg $ha^{-1}$ )となるよう、えいさつまいも配合1,000kg $ha^{-1}$ 施用した。

5作目のハクサイは、品種‘黄楽80’(株式会社トーホク)を用い、栽植密度は畝幅64cm、株間40cmの39,060株 $ha^{-1}$ とした。播種日は10月4日、定植は10月22日、収穫は2019年2月18日に行った。消石灰は2018年9月6日に、基肥は10月22日に、N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=120:120:120(kg $ha^{-1}$ )となるよう、はくさい配合を800kg $ha^{-1}$ 施用し、追肥は12月26日に、N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=32:0:32(kg $ha^{-1}$ )となるよう、NK2号を200kg $ha^{-1}$ 施用した。

調査項目は、土壌pH、CEC、交換性塩基類、収量、作物体中マンガン、ホウ素の微量元素である。土壌の化学分析は跡地土壌を用い、方法は試験1と同様に行った。作物体の微量元素は3作目のキャベツを調査し、硝酸による分解を行い、ICPで測定した。

#### イ 火山放出物未熟土におけるキャベツ栽培

試験区は施用する石灰質資材の種類や1ha当たりの量で設定し、無処理区、炭カル5Mg区、ケイ鉄100Mg区、消石灰5Mg区、消石灰10Mg区とした。試験開始前の土壌pHは6.8であった。

試験は指宿市開開町(火山放出物未熟土)で、1区19.2m<sup>2</sup>、2反復で実施した。品種は‘金春’を用い、栽植密度は、畝幅が60cm、株間が35cmの47,610株 $ha^{-1}$ とした。定植を9月21日、収穫を12月20日(定植89日目)に行った。石灰質資材は、2018年9月7日、基肥は、9月20日にN:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=192:192:192(kg $ha^{-1}$ )となるようにBB48を1,200kg $ha^{-1}$ 、追肥は10月10日にN:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=48:0:48(kg $ha^{-1}$ )となるよう、NK2号を300kg $ha^{-1}$ 施用した。

調査項目は土壌pH、収量で、土壌pHの分析方法は試験1と同様に行った。

#### ウ 火山放出物未熟土におけるサツマイモ栽培

試験区は施用する石灰質資材の種類や量で、無処理区、ケイ鉄50Mg区、ケイ鉄100Mg区、炭カル5Mg区を設置した。試験開始前の土壌pHは、ケイ鉄100Mg区が、6.2でそれ以外の区が6.4であった。

試験は、指宿市山川町に位置する県農業開発総合センターの旧花き部(畑土壌:火山放出物未熟土)で、1区18.0m<sup>2</sup>、2反復で実施した。栽植密度は、畝幅が90cm、株間が35cmの31,750株 $ha^{-1}$ とした。品種は、‘べには

るか’を用いた。定植を5月22日、収穫を11月2日(定植160日目)に行った。石灰質資材は2017年4月24日、基肥は5月22日に、N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=50:150:150(kg $ha^{-1}$ )となるよう、えいさつまいも配合を1,000kg $ha^{-1}$ 施用した。調査項目は土壌pH、収量、作物体中のマンガンである。供試土壌は跡地土壌を用い、方法は試験1と同様に行った。作物体のマンガンは、硝酸による分解を行い、ICPで測定した。

### 3 キャベツの根こぶ病抵抗性品種の適応性評価(試験3)

#### (1) 抵抗性品種の現地汚染圃場における抵抗性評価

2014年12月に、圃場全体で根こぶ病の発生を確認した景観用菜の花の露地圃場(鹿児島県指宿市開開町仙田、淡色黒ボク土(礫土)、約0.14ha)で、2016年9~12月に試験を実施した。キャベツの抵抗性品種は、春系の‘YCR夢いっぽ’、寒玉系の‘YCRげっこう’(いずれも株式会社日本農林社)の2品種を供試した。対照品種として、春系の‘金春’を供試した。施肥量は、基肥N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=192:192:192(kg $ha^{-1}$ )となるようにBB48を1,200kg $ha^{-1}$ 施用した。各品種を2016年8月29日に播種し、9月27日に定植した。畝幅は65cm、株間は35cm(43,900株 $ha^{-1}$ )とした。

休眠孢子密度は、直接法である篠田ら<sup>14)</sup>の方法を一部改変<sup>6)</sup>して測定した。栽培前の休眠孢子密度は、2.09×10<sup>4</sup>個g<sup>-1</sup>乾土であった。

12月26日に根こぶ病の発病を下記基準により指数別に調査し、発病株率、発病度を算出した。

#### 【発病指数別調査基準】

0: 無病徴

1: 微小な根こぶが数個着生、または根系の25%未満に根こぶが着生

2: 根系の25%以上50%未満に根こぶが着生

3: 根系の50%以上に根こぶが着生、または育苗セルの根鉢部分が肥大し融合

4: 著しい生育不良、萎凋、枯死

発病度 =  $\Sigma$ (発病指数×発病指数別株数) ÷ (全調査株数×4) ×100

#### (2) 抵抗性品種の特性評価

試験は、県農業開発総合センター大隅支場(鹿屋市串良町、以下、大隅支場)内の圃場で実施した。キャベツの抵抗性品種は、春系の‘YCR夢いっぽ’、寒玉系の‘YCRげっこう’の2品種を供試した。対照品種として、春系では‘金春’、寒玉系では‘夢舞台’(タキイ種苗株式会社)を供試した。基肥は、N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O

=120:200:120 (kg $ha^{-1}$ ) となるように BB48 を 750kg $ha^{-1}$  および苦土重焼燐を 230kg $ha^{-1}$ , 追肥は N:P $_2$ O $_5$ :K $_2$ O=80:0:80 (kg $ha^{-1}$ ) となるように NK2 号を 500kg $ha^{-1}$ , 堆肥 20Mg $ha^{-1}$ , 苦土石灰 2Mg $ha^{-1}$  を施用した. 畝幅は 65cm, 株間は春系で 30cm (51,200 株  $ha^{-1}$ ), 寒玉系で 35cm (43,900 株  $ha^{-1}$ ) とした.

春系品種については, 2016 年 11~12 月に収穫時期別の結球重, 裂球率を調査した. 寒玉系品種については, 2016 年 12 月に収穫時期別の結球重, 裂球率を, 2018 年 1 月に結球内部障害の発生株率を調査した.

品種ごとの特性評価は, 播種期が 8 月中旬, 定植期が 9 月中旬, 収穫期が 11 月下旬~12 月上旬の作型で, 2015, 2016 年および 2018 年に, 結球肥大性, 内部障害 (内部黒変症など), 赤芯 (アントシアニンの分布程度), 根こぶ病以外のべと病, 菌核病などの発生程度を総合的に評価した.

4 低温期の定植による収穫時の発病抑制とキャベツの生育への影響 (試験 4)

試験 3(1)と同一の現地汚染圃場で, 2016 年 9 月から 2017 年 5 月に実施した. 品種は春系の‘金春’と寒玉系の‘かんろく’を供試した. 両品種とも, 128 穴のセルトレイを用いて, ガラス室内で約 30 日間育苗 (たねまき培土, タキイ種苗株式会社) し, 本葉 5~6 枚の苗を定植した.

表 3 に試験区の定植日, 調査日, 栽培日数を示す. 9 月下旬から 1 月中旬まで, 12~25 日間隔で苗を定植した. 植栽間隔は畝幅 60cm, 株間 35cm で, 各品種を圃場の 1 畝の 32m に 90 株ずつ定植した. 栽培管理は, 地域慣行栽培に準じた.

表 3 キャベツ根こぶ病汚染圃場における栽培試験の定植日, 調査日および栽培日数

試験区	定植日	調査日	栽培日数 (日)
9月下旬定植	2016年 9月 27日	2017年 1月 10日	105
10月中旬定植	10月 13日	1月 19日	98
11月上旬定植	11月 7日	3月 14日	127
11月下旬定植	11月 24日	3月 29日	125
12月上旬定植	12月 6日	4月 19日	134
12月下旬定植	12月 26日	5月 10日	135
1月中旬定植	2017年 1月 19日	5月 30日	131

収穫時に 1 試験区内の連続する 10 株を 1 調査区として, 各品種 3 調査区 (計 30 株) について, 試験 3(1)の調査基準により株毎に発病指数を調査し, 発病度を算出した.

また, 9 月下旬定植区以外は, 収穫時に両品種各 15

株 (連続した 5 株×3 カ所) について, 結球重および試験 3(1)の調査基準 (発病指数 4 を除く) により根の発病指数を調査し, 結球重と根の発病指数の関係を調べた.

圃場内の気温と地温は, 温度データロガー (おんどとり Jr. TR-51i, 株式会社ティアンドデイ) で計測した. 温度センサーは地上高 1.2m と土壌 10cm 深の 2 か所に設置した.

5 多発圃場における各種防除対策の組合せによる効果 (試験 5)

2017 年秋に食用ナバナ (品種: ‘花飾り’ 等) を栽培し根こぶ病の発生が多かった鹿児島県指宿市開聞町仙田地域の露地圃場 (約 0.1ha) で, 2018 年 11 月から 2019 年 3 月に実施した. 試験 3, 試験 4 とは異なる圃場で, 栽培前 (2018 年 8 月) の休眠孢子密度は 3.35×10<sup>4</sup> 個 g<sup>-1</sup> 乾土であった.

図 1 に品種, 農薬および土壌 pH 矯正の組み合わせを示した. 品種は ‘金春’ と ‘YCR げっこう’ を供試した. 両品種とも, 128 穴のセルトレイを用いて, ガラス室内で約 30 日間育苗した本葉 5~6 枚の苗を 2018 年 11 月 2 日に定植した. 植栽間隔は畝幅 60cm, 株間 35cm とした. 栽培管理は, 地域慣行栽培に準じた. 農薬の処理方法は, セルトレイ灌注が定植当日にオラクル顆粒水和剤 500 倍 (1 トレイ当たり 0.5L) をセルトレイに処理 (‘金春’ のみ), 全面土壌混和は, 定植当日にオラクル粉剤 (300kg  $ha^{-1}$ ) を圃場に処理した. 土壌 pH 矯正は, 10 月 22 日に消石灰 (5Mg  $ha^{-1}$ ) を圃場に全面混和した. 以上の処理を単独, あるいは複数技術を組合せて, 無処理を含めた 12 試験区について, 各区連続した 16 株の 3 反復を圃場内に配置した.

発病調査は, 2019 年 3 月 2 日に各区 10 株を試験 3(1)の調査基準により, 発病度 (3 反復の平均値) を算出した.

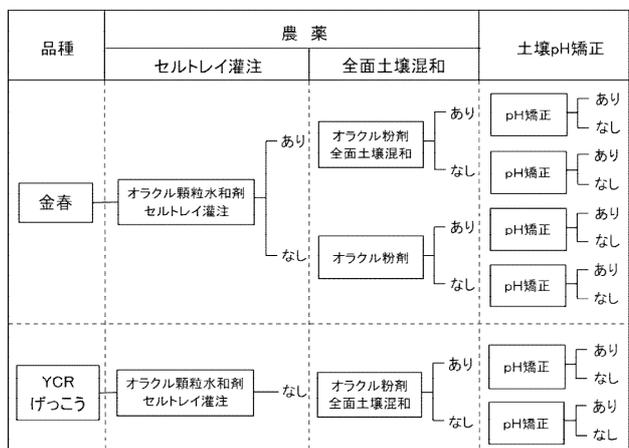


図 1 品種および農薬, 土壌 pH 矯正の組み合わせ

## 結 果

## 1 根こぶ病発生圃場の土壌化学性の実態

県内で根こぶ病の発生が確認された 29 圃場の土壌化学性を表 4、図 2 に示す。鹿児島県土壌管理指針<sup>8)</sup>(2020 年 4 月七訂版)(以下、診断基準値とする)でのキャベツ栽培における土壌 pH の診断基準値は pH5.5~6.5 であり、今回調査したほとんどの圃場が診断基準値内であった。カルシウム飽和度は約 8 割の圃場が診断基準値と比べて少なかった。可給態リン酸含量は、根こぶ病発生が多い指宿市圃場の約 7 割が診断基準値を超えたが、霧島市や志布志市では、ほとんどが診断基準値内であった(図 2)。県内の普通畑土壌は、リン酸吸収係数 1,500 以上の黒ボク土が多くを占めるが、今回調査した圃場では、リン酸吸収係数 1,500 を下回る土壌が多かった。特に、指宿市は、火山放出物未熟土で全ての圃場が 1,500 未満であった(表 4)。指宿市の畑土壌は、霧島市や志布志市と比べて CEC は小さく、リン酸吸収係数が半分程度と低く、可給態リン酸含量が約 4 倍多かった(図 2)。採取地およびリン酸吸収係数から、霧島市の土壌は表層腐植質黒ボク土、志布志市は概ね多腐植質黒ボク土であった(表 4)。

## 2 土壌管理による発病抑制対策

## (1) 土壌 pH と根こぶ病の発病度の関係(セル苗検定)

キャベツ‘金春’とハクサイ‘無双’は、根こぶ病感受性品種であるが、両検定植物とも土壌 pH によって発病度に違いがあった。休眠孢子添加の有無による根こぶ病菌密度の違いに関係なく、土壌 pH が低いほど発病度が高くなる傾向であった(表 5、表 6)。特にキャベツ‘金春’におけるケイ鉄 100Mg $ha^{-1}$ 区では、土壌 pH7.0 で発病はみられず、抑制効果が認められた(表 5)。しかしながら、炭カル 5Mg $ha^{-1}$ 区では、土壌 pH が 6.8 まで矯正されたにも関わらず、根こぶ病の抑制効果は低かった(表 5)。同様に、ハクサイ‘無双’におけるケイ鉄 50Mg $ha^{-1}$ 区および炭カル 5Mg $ha^{-1}$ 区では pH6.9 程度まで矯正されたが、発病抑制効果は低かった(表 6)。

## (2) 土壌の種類別の緩衝曲線法による土壌 pH 矯正のための石灰量の算出

土壌 pH5.3 の火山放出物未熟土壌が、炭カルでは、150mg/10g 乾土の添加で pH6.8 になり、それ以上の添加でも pH は上昇せずに平衡状態となった。ケイ鉄では、500mg/10g 乾土の添加で pH6.3、1,000mg/10g 乾土の添加で pH6.6、1,500mg/10g 乾土の添加で pH7.3 となった。

表 4 アブラナ科根こぶ病発生圃場の土壌化学性 (乾土当たり)

採取地の市町名	pH	CEC	塩基				塩基バランス		可給態リン酸	リン酸吸収係数	採取日(月/日)
			Ca	Mg	K	飽和度%	Ca/Mg	Mg/K			
指宿市	6.2	17.3	73	54	20	11	2.7	1.8	954	827	10/30
〃	5.3	15.3	55	35	20	16	1.7	1.3	360	826	〃
〃	5.5	14.2	36	30	7	7	4.6	0.9	1,191	578	〃
〃	5.2	18.5	37	21	16	13	1.3	1.3	1,145	761	〃
〃	6.1	14.7	100	86	14	5	6.2	2.5	2,843	636	〃
〃	5.7	12.0	30	26	4	6	6.9	0.7	293	992	3/3
〃	5.8	11.3	27	22	5	3	4.5	1.9	113	1,285	〃
〃	6.0	15.0	42	34	9	4	3.9	2.3	945	694	〃
〃	6.1	17.4	54	48	7	6	6.9	1.2	3,015	641	〃
〃	6.3	18.1	66	55	11	4	5.0	2.8	3,372	534	〃
〃	5.5	10.6	29	23	6	3	4.0	1.8	107	1,236	〃
〃	6.4	19.1	85	69	16	10	4.4	1.6	2,378	744	3/27
〃	6.3	18.6	78	64	14	10	4.4	1.5	3,286	684	〃
〃	5.9	16.8	45	37	7	15	5.2	0.5	484	1,198	8/27
〃	5.6	9.0	43	37	6	6	6.2	1.0	594	731	〃
〃	5.7	14.5	42	37	6	8	6.6	0.7	506	1,228	〃
〃	5.7	9.0	39	33	6	6	5.8	1.0	422	670	〃
〃	5.4	16.1	43	36	6	6	5.6	1.0	808	1,207	〃
〃	5.3	10.5	36	32	4	5	7.3	0.8	698	794	〃
指宿市Av. (n=19)	5.8	14.6	58	41	10	8	4.9	1.4	1,238	856	
霧島市	6.1	22.2	45	40	4	5	9.6	0.8	559	1,411	3/3
〃	5.4	23.3	23	20	3	4	5.9	0.9	118	2,003	〃
〃	5.5	23.1	23	19	4	2	4.6	1.8	147	2,091	〃
霧島市Av. (n=3)	5.7	22.9	34	26	4	4	6.7	1.2	275	1,835	
志布志市	5.9	16.5	52	43	10	4	4.4	2.7	67	2,203	8/6
〃	6.4	16.7	59	47	12	10	3.9	1.3	247	1,405	〃
〃	5.8	15.9	42	34	8	9	4.2	0.9	223	1,369	〃
〃	5.9	14.0	46	37	9	11	4.2	0.8	544	1,001	〃
〃	5.7	25.7	47	39	9	6	4.4	1.6	462	1,918	〃
〃	6.2	22.1	61	49	13	12	3.9	1.0	654	1,384	〃
〃	6.3	20.1	45	37	8	2	4.6	3.2	98	2,135	〃
志布志市Av. (n=7)	6.0	18.7	58	41	10	8	4.2	1.6	328	1,631	
土壌診断基準値	5.5		60	50	8	2	4	2	50	—	
	~6.5		~85	~65	~15	~5	~8	~5	~500		

注1)土壌診断基準値:鹿児島県農政部「鹿児島県土壌管理指針」2020年4月

2)土壌採取は2013年10月30日から2014年8月6日までに実施

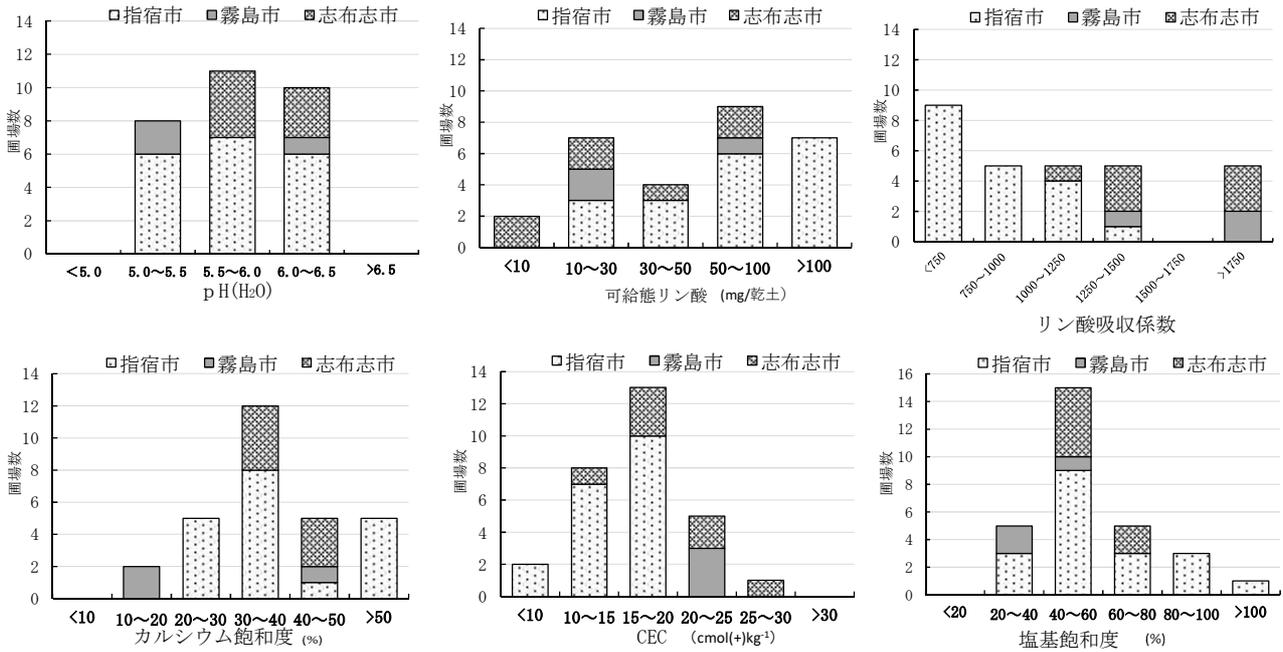


図2 調査圃場の土壌化学性の圃場数ヒストグラム

表5 セル苗検定での根こぶ病発病度  
(検定植物：キャベツ‘金春’)

根こぶ病菌の添加	処理	供試土壌のpH(H <sub>2</sub> O)	発病度
原土 (菌密度10 <sup>4</sup> 個/g乾土)	無処理	5.9	67
	ケイ鉄50Mgha <sup>-1</sup>	6.9	7
	ケイ鉄100Mgha <sup>-1</sup>	7.0	0
	炭カル5Mgha <sup>-1</sup>	6.8	47
原土+菌添加 (菌密度>10 <sup>4</sup> 個/g乾土)	無処理	5.9	60
	ケイ鉄50Mgha <sup>-1</sup>	6.9	13
	ケイ鉄100Mgha <sup>-1</sup>	7.0	0
	炭カル5Mgha <sup>-1</sup>	6.8	67

注1)「原土」は発病ほ場の土壌をそのまま供試  
注2)「原土+菌添加」は根こぶ病休眠胞子を添加した土壌

表6 セル苗検定での根こぶ病発病度  
(検定植物：ハクサイ‘無双’)

根こぶ病菌の添加	処理	供試土壌のpH(H <sub>2</sub> O)	発病度
原土 (菌密度10 <sup>4</sup> 個/g乾土)	無処理	5.9	87
	ケイ鉄50Mgha <sup>-1</sup>	6.9	53
	ケイ鉄100Mgha <sup>-1</sup>	7.0	0
	炭カル5Mgha <sup>-1</sup>	6.8	53
原土+菌添加 (菌密度>10 <sup>4</sup> 個/g乾土)	無処理	5.9	67
	ケイ鉄50Mgha <sup>-1</sup>	6.9	40
	ケイ鉄100Mgha <sup>-1</sup>	7.0	20
	炭カル5Mgha <sup>-1</sup>	6.8	87

注1)「原土」は発病ほ場の土壌をそのまま供試  
注2)「原土+菌添加」は根こぶ病休眠胞子を添加した土壌

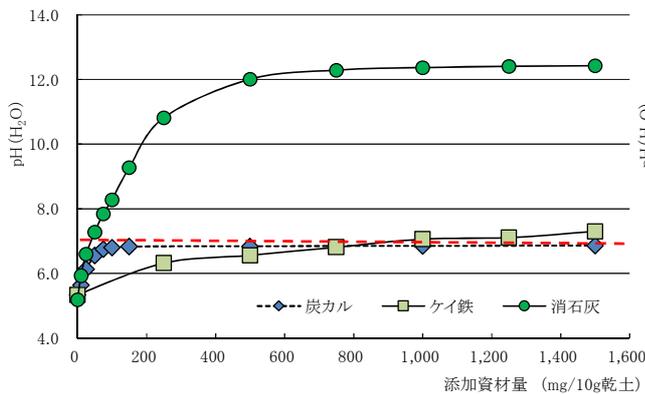


図3 火山放出物未熟土の緩衝曲線

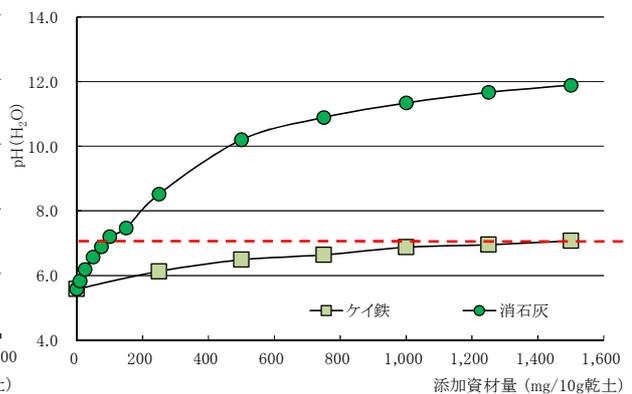


図4 腐植質普通黒ボク土の緩衝曲線

このように、pH5.0の土壌を7.0へ矯正するには炭カルとケイ鉄では、多量に必要であると試算された。さらに、消石灰は50mg/10g乾土の添加でpH7.3となり、土壌pH矯正の効率は、供試した石灰質資材の中では一番高かった(図3)。

土壌pH5.6の腐植質普通黒ボク土壌が、ケイ鉄では、1,000mg/10g乾土の添加でpH6.9であったが、消石灰では、200mg/10g乾土の添加でpH7.2となり、ケイ鉄と比べて土壌pH矯正が容易であった(図4)。

(3) pH 矯正した土壌が作物の生育に及ぼす影響

ア 腐植質普通黒ボク土における輪作

(イ) 土壌 pH の推移

試験開始前の土壌 pH5.9 に対して土壌 pH7.0 を目標に石灰質資材を施用した 1 作目では、全ての区で目標に達しなかった。ケイ鉄 100Mg 区では、2 作目開始前にケイ鉄を追加施用すると、土壌 pH は上昇し、2 作目終了時には pH7.0 に達した。その後、4 作目で一時期低くなったが、5 作目まで pH7.0 前後を維持したことから、持続的な pH 矯正効果が確認された。ケイ鉄 50Mg 区では、2 作目栽培終了時まで pH7.0 近くまで上昇したが、それ以降は、5 作目まで pH6.5 前後で推移した。黒ボク土壌では pH5.9 を pH7.0 に上げるためにはケイ鉄 50Mg $ha^{-1}$ では難しく、100Mg $ha^{-1}$ が必要であった。炭カル 10Mg 区では、2 作目終了時までケイ鉄 50Mg 区と同様に土壌 pH は推移したが、3 作目開始前には土壌 pH が低くなった。3 作目開始前の消石灰 10Mg $ha^{-1}$  追加施用により土壌 pH は上昇したが、4 作目で再び低下した。5 作目開始前に消石灰を 10Mg $ha^{-1}$  追加施用したところ、5 作目では pH7.0 を超えた。炭カル 5Mg 区では、4 作目まで目標 pH 7.0 に達しなかったが、5 作目栽培前に消石

灰を施用すると目標の pH7.0 を超えた。

一方、4 作目から設置した消石灰 10Mg 区では、施用 1 か月後には目標 pH7.0 に達し、その効果は 5 作目も持続した (図 5)。

(イ) キャベツ収量および植物体中のマンガン、ホウ素含量

1~3 作目のキャベツ、4 作目の青果用サツマイモの収量は、いずれの石灰質資材で処理しても無処理と有意な差が認められなかった。5 作目のハクサイでは、炭カル 5Mg 区の収量は、無処理区および炭カル 10Mg 区と比べて有意に多かった (Turkey の HSD 検定,  $p < 0.05$ , 表 7)。

3 作目のキャベツについて微量元素含量を調査したところ、外葉のマンガン含量は、炭カル 10Mg 区、ケイ鉄 50Mg 区、ケイ鉄 100Mg 区では、無処理区と比べて有意に少なかった (Turkey の HSD 検定,  $p < 0.05$ , 図 6)。また、マンガン含量は、石灰質資材を施用した全ての区で、無処理区と比べて少なかった (Turkey の HSD 検定,  $p < 0.05$ , 図 6)。ホウ素含量は、外葉および結球ともに石灰質資材を施用した区と無処理区に差は見られなかった (Turkey の HSD 検定, 図 6)。

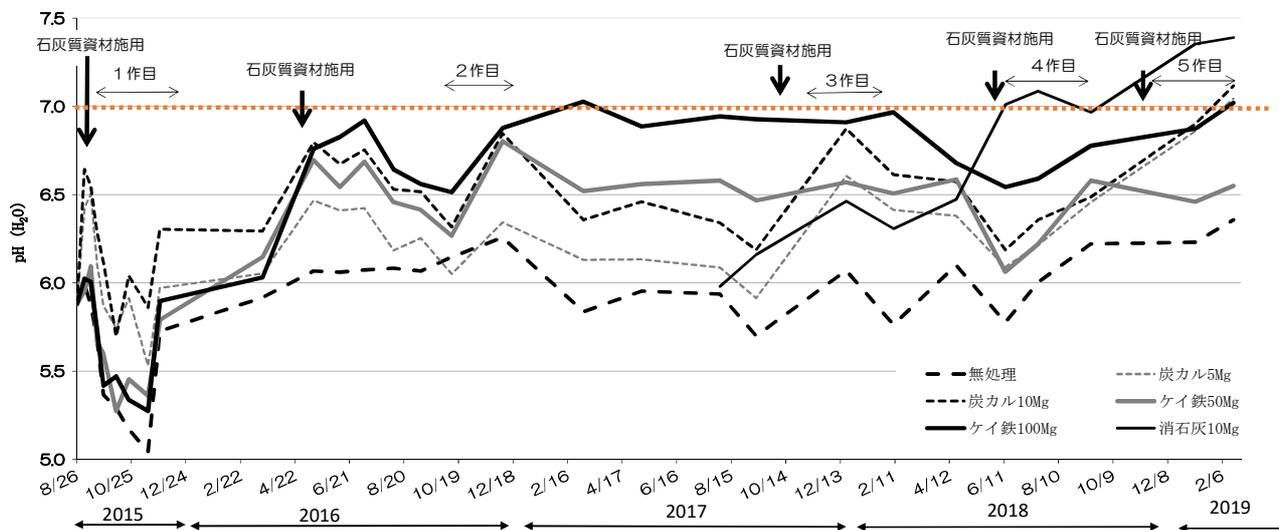


図 5 栽培期間中の腐植質普通黒ボク土壌 pH (H<sub>2</sub>O) の推移

表 7 腐植質普通黒ボク土壌での 1~5 作目の収量

	(Mg $ha^{-1}$ )				
	1作目	2作目	3作目	4作目	5作目
	キャベツ		青果用サツマイモ		
無処理	65.4 (100)	55.0 (100)	47.9 a (100)	21.9 (100)	64.3 a (100)
炭カル5Mg	63.1 (96)	60.8 (111)	53.5 ab (112)	20.5 (94)	77.3 b (120)
炭カル10Mg	59.7 (91)	54.7 (99)	49.8 ac (104)	18.0 (82)	63.2 a (98)
ケイ鉄50Mg	62.8 (96)	60.2 (109)	54.7 bc (114)	19.5 (89)	69.0 ab (107)
ケイ鉄100Mg	71.1 (109)	65.5 (119)	56.9 b (119)	20.3 (93)	67.5 ab (105)
消石灰10Mg				22.9 (105)	68.8 ab (107)

注1) 異符号間に5%水準で有意差あり (TurkeyのHSD検定)

注2) ( ) は無処理を100としたときの値

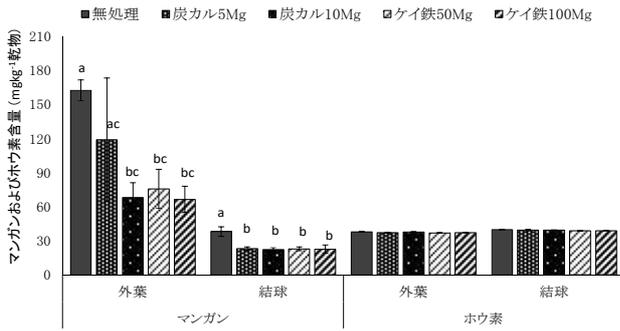


図6 キャベツのマンガンおよびホウ素含量  
注) 異符号間に5%水準で有意な差あり(TukeyのHSD検定)

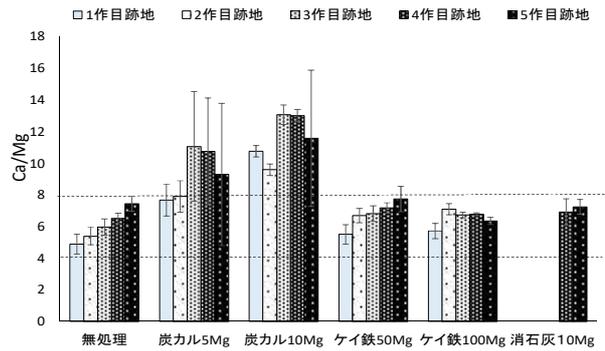


図8 1~5作目跡地土壌の塩基バランス(Ca/Mg)

(ウ) 跡地土壌の化学性

1~5作目の跡地土壌のカルシウム飽和度の推移について、無処理区では、診断基準値(50~65%)と比べて低く、2作目を除いた炭カル10Mg区、1作目を除いたケイ鉄100Mg区および消石灰10Mg区では、診断基準値を超えた。炭カル5Mg区では、3作目と5作目、ケイ鉄50Mg区では、1作目と3作目を除くと診断基準値内であった(図7)。

1~5作目の跡地土壌の塩基バランス(Ca/Mg)の推移について、無処理区、ケイ鉄50Mg区および100Mg区、消石灰10Mg区では診断基準値内であった(図8)。一方、炭カル5Mg区では3~5作目が、炭カル10Mg区では全ての作目で診断基準値に比べて高かった(図8)。

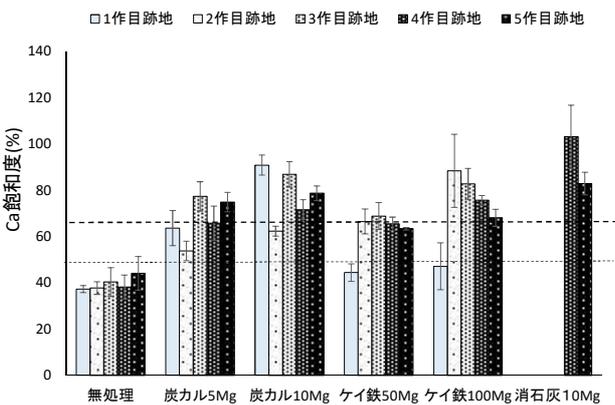


図7 1~5作目跡地土壌のカルシウム飽和度

イ 火山放出物未熟土におけるキャベツ栽培

(ア) 土壌 pH の推移

石灰質資材施用前の土壌 pH6.8 が、9月21日の定植時には、いずれの石灰質資材施用区も、7.4~7.9 まで上昇し、定植から収穫までの栽培期間中の pH が 7.0 を超えて推移した(図9)。

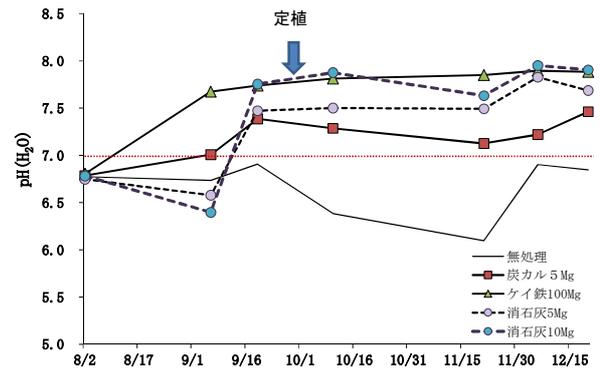


図9 火山放出物未熟土壌 pH (H<sub>2</sub>O) の推移

(イ) キャベツ収量

石灰質資材を施用した区のキャベツ収量は、無処理区と比べて有意な差はなく同等であった(分散分析,  $p=0.32$ , 図10)。

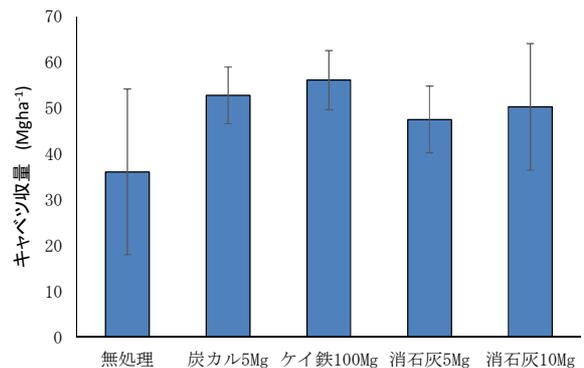


図10 キャベツの収量

ウ 火山放出物未熟土における青果用サツマイモ栽培

(7) 土壌 pH の推移

石灰質資材施用前の土壌 pH は 6.4 であったが、定植時には、無処理区を除いた全ての試験区で 7.0 以上であった。炭カル 5Mg 区で、萌芽期に pH7.0 を下回ったことを除くと、石灰質資材を施用した区は、定植から収穫時までの栽培期間中、pH7.0 を超えて推移した(図 11)。

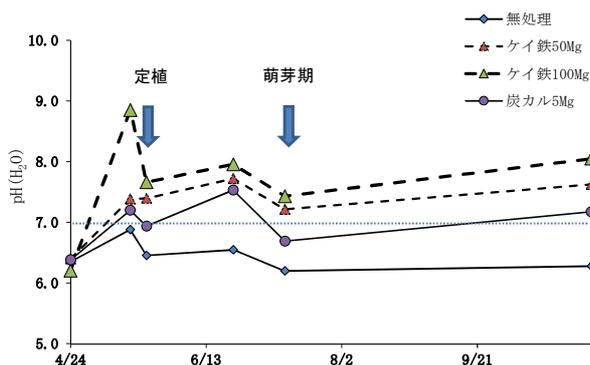


図 11 火山放出物未熟土壌 pH (H<sub>2</sub>O) の推移 (青果用サツマイモ)

(イ) 青果用サツマイモの収量および植物体中のマンガン含量

石灰質資材を施用した区の収量は、無処理区と有意な差がなく同等であった(分散分析,  $p=0.22$ , 図 12)。

石灰質資材を施用した区の茎葉およびいものマンガ含量は、無処理区と比べて、処理による有意な差がなく、同等であった(分散分析,  $p=0.66$ , 図 13)。

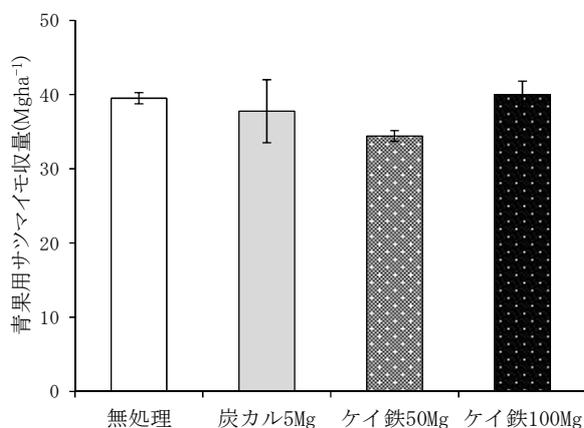


図 12 青果用サツマイモの収量

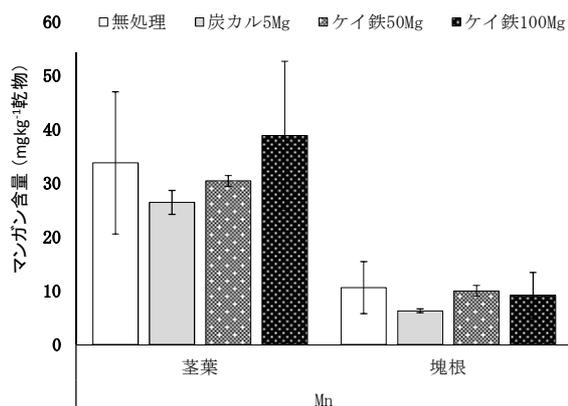


図 13 青果用サツマイモのマンガン含量

3 キャベツの根こぶ病抵抗性品種の適応性評価

(1) 抵抗性品種の現地汚染圃場における抵抗性評価

2016 年の現地根こぶ病汚染圃場における栽培試験の結果、‘YCR 夢いっぱい’、‘YCR げっこう’の根こぶ病の発病度は 5 未満で、対照品種の‘金春’と比較して著しく低かった(表 8)。

表 8 根こぶ病の汚染圃場におけるキャベツ品種別の発病度

品種名	発病株率 (%)	発病度
YCR夢いっぱい	0.0	0.0
YCRげっこう	5.0	3.8
金春 (対照)	100.0	64.6

(2) 抵抗性品種の特性評価

春系品種では、2015~2016 年の大隅支場内圃場での特性評価試験の結果、‘YCR 夢いっぱい’の 1 個当たりの結球重は、11 月下旬収穫で 1,100g 程度、12 月上旬収穫で 1,300g 程度、12 月中旬収穫で 1,600g 程度で、裂球が全くなかった(表 9)。また、‘YCR 夢いっぱい’の内部黒変症、赤芯の発生程度は、‘金春’と同等であった(表 12)。

寒玉系品種では、2015~2018 年の大隅支場内での特性評価試験の結果、‘YCR げっこう’は結球肥大性が良く、12 月上旬収穫で 1 個当たり結球重 1,800g 程度、12 月中旬収穫で 1 個当たり結球重 2,000g 程度であり、裂球が全くなかった(表 10)。また、年内収穫の作型における‘YCR げっこう’の内部黒変症の発生程度は、‘夢舞台’に比べて少なかった(表 12)。1 月収穫の作型における‘YCR げっこう’の赤芯の発生株率は、‘夢舞台’に比べ高くなった(表 11)。

表9 キャベツの春系品種における時期別の結球重、裂球率

品種名	収量 (Mgha <sup>-1</sup> )			1個当たり結球重 (g)			裂球率 (%)		
	11月29日	12月5日	12月15日	11月29日	12月5日	12月15日	11月29日	12月5日	12月15日
YCR夢いっぱい	54.9	65.3	80.0	1,072	1,276	1,562	0	0	0
金春 (対照)	67.6	79.3	66.6	1,321	1,632	1,733	0	5	25

注1) 播種日: 2016年8月16日, 定植日: 9月14日

注2) 収量: 結球重×植付株数 (ただし裂球株は差し引く)

表10 キャベツの寒玉系品種における時期別の結球重、裂球率

品種名	収量 (Mgha <sup>-1</sup> )		1個当たり結球重 (g)		裂球率 (%)	
	12月5日	12月15日	12月5日	12月15日	12月5日	12月15日
YCRげっこう	81.0	90.3	1,845	2,056 a	0	0
夢舞台 (対照)	61.9	66.7	1,411	1,519 b	0	0
分散分析			n.s.	**		

注1) 播種日: 2016年8月16日, 定植日: 9月14日

注2) 収量: 結球重×植付株数

注3) \*\*は1%水準で有意, n.s.は非有意 符号: 異英小文字間で5%水準で有意 (TukeyのHSD検定)

表11 キャベツの寒玉系品種における時期別の結球内部障害の発生株率

品種名	内部黒変症状発生株率 (%)		赤芯発生株率 (%)	
	1月18日	1月29日	1月18日	1月29日
YCRげっこう	0	60	100	100
夢舞台 (対照)	0	20	0	0

注1) 播種日: 2017年8月24日, 定植日: 9月20日

表12 年内どり (11月下旬~12月上旬収穫) キャベツの品種ごとの特性評価表

品種名	総合評価	結球肥大性				内部障害 (内部黒変症など)				赤芯 (アントシアニン)				病害				
		評価	2015	2016	2018	評価	2015	2016	2018	評価	2015	2016	2018	評価	2015	2016	2018	
春系品種	YCR夢いっぱい	◎	◎	○	◎	—	○	○	○	—	○	○	○	—	○	○	○	—
	金春 (対照)	○	○	○	○	—	○	○	○	—	○	○	○	—	○	○	○	—
寒玉系品種	YCRげっこう	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	△	○	△	◎	○	◎	○
	夢舞台 (対照)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

注1) 病害: 根こぶ病以外のべと病, 菌核病などの発生程度を評価

注2) 評価記号の意味: 対照品種と比較して ◎ 優れる, 少ない, 強い &gt; ○ 同程度 &gt; △ 劣る, 多い, 弱い

#### 4 低温期の定植による収穫時の発病抑制とキャベツの生育への影響

##### (1) キャベツ栽培時の温度が本病の発病に及ぼす影響

汚染圃場での栽培試験における各試験区の品種別の発病度と、定植からの期間別平均気温および地温を表13に示す。9月下旬から11月上旬の定植では収穫時(1月~3月中旬)の発病度が60~80台と高く、11月下旬定植では、収穫時(3月下旬)の発病度が‘金春’で24.2, ‘かんろく’で27.5であった。12月上旬定植から1月中旬定植では、収穫時(4月~5月)の発病度が0.0~5.8と、定植時期の進行とともに低下した。

各試験区の期間別平均気温および地温と、収穫時の調査における調査区毎の発病度を図14に示す。定植から収穫までの全期間の平均温度と、収穫時の発病度との間に相関は認められなかった。一方、定植から6週間および定植から14日間の平均温度と、収穫時の発病度について回帰分析を行なった結果、図中に示した回帰曲線が得られた。得られた3次曲線の決定係数は、定植から6週間では気温が0.92, 地温が0.91で、定植から14日間では気温が0.94, 地温が0.94で、気温と地温の決定係数は同等であった(図14)。このことから、本病のキャベツ収穫時の発病には、生育初期の温度の影響が大きいことが示された。

##### (2) 本病の発病によるキャベツの生育への影響

各試験区の品種別のキャベツの1個当たり結球重と、根の発病指数別の株数を表14に示す。1個当たり結球重は、10月中旬定植の‘金春’, ‘かんろく’で600g程度と低く、発病指数3の株が90%前後を占めた。11月上旬定植および11月下旬定植の‘金春’, 11月上旬定植から12月上旬定植の‘かんろく’の1個当たり結球重は1,000g未満で、11月上旬定植では発病指数3の株の割合が60~70%であった。12月上旬定植から1月中旬定植の‘金春’では、1個当たり結球重は1,700~1,200gで、発病指数2以上の株は認められなかった。

1個当たり結球重が500g以下の株を生育不良株とみなして、全試験区の発病指数別の株数に対する1個当たり結球重500g以下の株数の割合を算出した。発病指数0~2では6.3~11.5%であったのに対し、発病指数3では36.7%(18株/49株)と高かった。

本病の収穫時の根の症状を図15に示す。発病指数3では根鉢付近に褐変腐敗した大型の根こぶが多く認められ、発病の激しい株は正常な根が少なかった。一方、発病指数1では、本病の症状が側根の一部に留まっていた。

#### 5 汚染圃場における各種防除対策の組合せによる効果

汚染圃場における各試験区の発病度を図16に示す。感受性品種‘金春’を用い、いずれの防除対策も行わなかった無処理では、収穫時の発病度が48.3であった。定植後14日間の平均気温は16.6°Cであった。無処理に対し、‘金春’での定植前処理で単独の防除対策では、オラクル顆粒水和剤のセルトレイ灌注(以下、農薬のセルトレイ灌注), 消石灰の全面土壌混和(以下、土壌pH矯正), オラクル粉剤の全面土壌混和(以下、農薬の全面土壌混和)の順に発病度が低く、収穫時の発病度はそれぞれ30.8, 17.5, 9.2であった。農薬の全面土壌混和は、他の処理と組み合わせることで発病抑制効果がさらに高まり、特に農薬のセルトレイ灌注との組み合わせではほとんど発病が認められなかった。

抵抗性品種‘YCR げっこう’では、農薬の全面土壌混和や土壌pH矯正の有無に関わらず、ほとんど発病が認められなかった。

### 考 察

#### 1 根こぶ病発生圃場の土壌化学性の実態

土壌環境と根こぶ病との関係は、土壌を高pHの環境にすると発病抑制効果があること<sup>11)・12)</sup>, リン酸過剰条件では発病が助長されること<sup>10)</sup>, 発病は土壌水分との相関が高いこと<sup>13)</sup>等が知られている。そこで、総合防除体系の一つとして、土壌環境制御による病害発生抑制技術の確立に資するため、発生ほ場の土壌化学性を調査した。pH7.0を超える土壌に矯正することで、根こぶ病の発生抑制効果があることが報告されている<sup>11)</sup>が、今回の調査圃場ではpH7.0を超える圃場はなかった。指宿地域の畑土壌は、礫土の火山放出物未熟土壌が多くCECも腐植質黒ボク土壌に比べて一般的に小さいため、pH矯正による根こぶ病の発生抑制の検討にあたっては、資材毎の中和石灰量を算出しながら、高pHのキャベツ栽培へ影響を考慮する必要がある。なお、発生地域では、カルシウム飽和度が基準値未満の圃場が多いことから、石灰質資材施用によるpH矯正は根こぶ病対策として可能性が高いと考えられる。

県内の普通畑土壌は、リン酸吸収係数1,500以上の黒ボク土壌が広く分布しているが、キャベツ根こぶ病の発生がみられた指宿地域では、リン酸吸収係数1,500未満の土壌が多かった。診断基準値では可給態リン酸50~500mgkg<sup>-1</sup>乾土に対して、今回の調査では診断基準値上限値を超える圃場が多かった。これは、リン酸の過剰施用だけでなく、施用したリン酸の土壌への吸着力が弱

表13 キャベツ根こぶ病の汚染圃場における品種別の発病度と定植からの期間別平均温度

試験区	発病度		期間別平均温度 (°C)					
			定植から収穫(全期間)		定植から6週間(6週間)		定植から14日間(14日間)	
	金春	かんろく	気温	地温	気温	地温	気温	地温
9月下旬定植	60.8	74.2	16.8	16.4	22.2	22.0	26.2	26.5
10月中旬定植	79.2	82.5	14.5	14.0	19.0	18.5	22.0	21.5
11月上旬定植	60.8	74.2	11.0	10.5	14.3	13.7	17.8	17.0
11月下旬定植	24.2	27.5	10.1	9.6	11.8	11.3	12.9	12.7
12月上旬定植	4.2	5.0	10.8	10.4	10.5	10.0	11.0	10.6
12月下旬定植	0.0	0.8	11.7	11.5	8.8	8.3	10.7	10.0
1月中旬定植	0.8	5.8	13.4	13.3	8.5	8.0	7.8	7.5

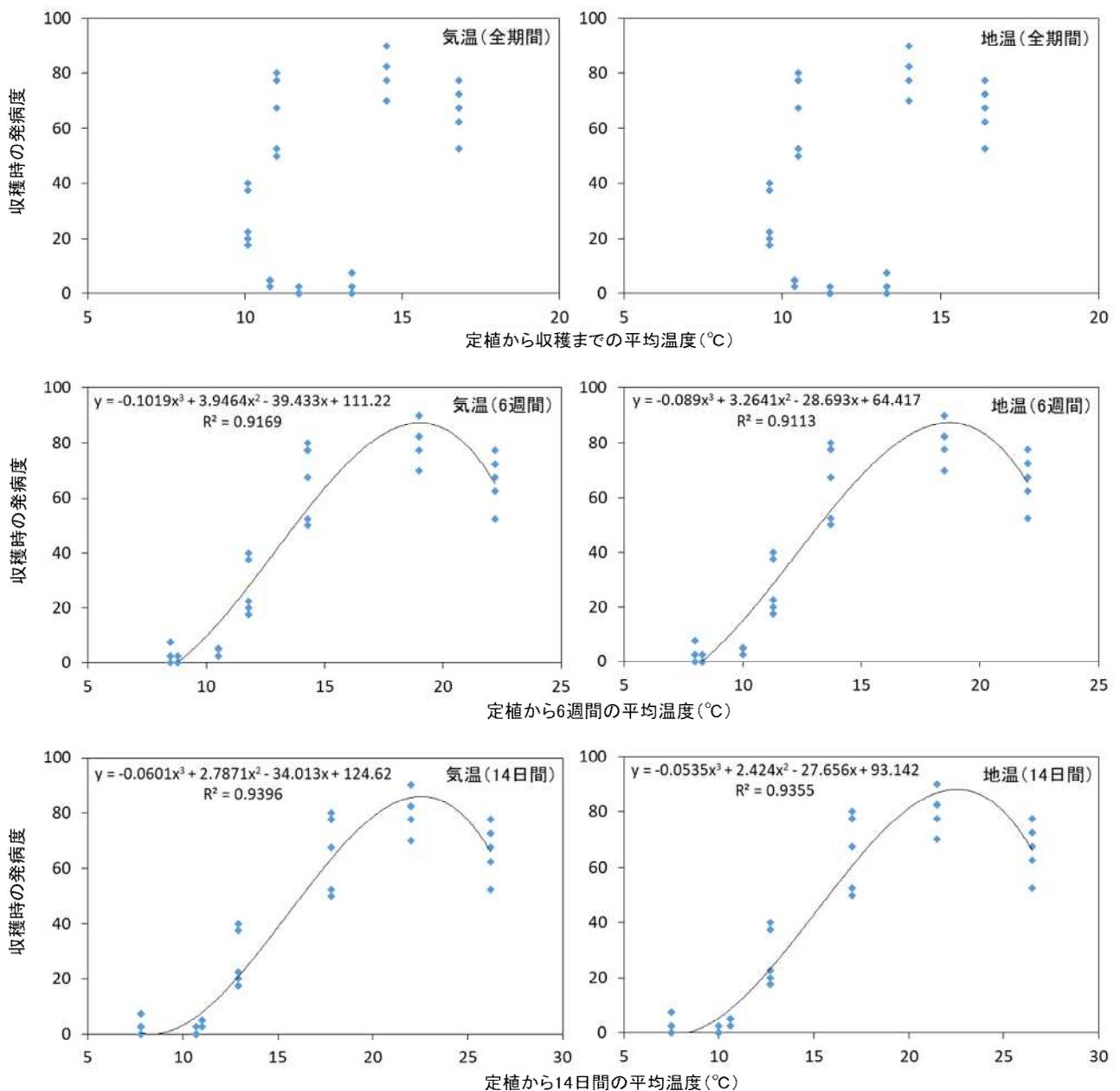


図14 キャベツ根こぶ病の汚染圃場での栽培試験における期間別平均温度と収穫時の発病度の関係 (n=42)

注1) 調査標本数 (n) : 試験区数7×調査区数3×品種数2=42

表 14 根こぶ病の汚染ほ場における収穫時のキャベツの生育および根の発病指数

試験区	品種	1個当たり 結球重(g)	根の発病指数別株数(個)					発病指数3 の割合(%)
			0	1	2	3	計	
10月中旬定植	金春	605	0	1	1	13(6)	15(6)	86.7
	かんろく	548	0	0	1(1)	14(4)	15(5)	93.3
11月上旬定植	金春	995	0	3	3	9(2)	15(2)	60.0
	かんろく	765	0	1	4	10(5)	15(5)	66.7
11月下旬定植	金春	944	8(1)	5	1	1	15(1)	6.7
	かんろく	691	4(2)	9(2)	0	2(1)	15(5)	13.3
12月上旬定植	金春	1,692	13	2	0	0	15	0.0
	かんろく	951	15	0	0	0	15	0.0
12月下旬定植	金春	1,185	15	0	0	0	15	0.0
	かんろく	1,075	14(1)	1(1)	0	0	15(2)	0.0
1月中旬定植	金春	1,151	15(1)	0	0	0	15(1)	0.0
	かんろく	1,099	11(1)	4	0	0	15(1)	0.0
根の発病指数別株数計(個)			95	26	10	49	180	
結球重500g以下の株数計(個)			6	3	1	18	28	
結球重500g以下の割合(%)			6.3	11.5	10.0	36.7	15.6	

注1) ( )内は結球重が500g以下の株数



図 15 キャベツ根こぶ病の収穫時の根の症状

注1) 写真左(発病指数 1): 根こぶの症状が側根の一部に留まる

注2) 写真右(発病指数 3): 根鉢付近に大型の根こぶ(褐変・腐敗している場合が多い)が認められ、正常な根が少ない

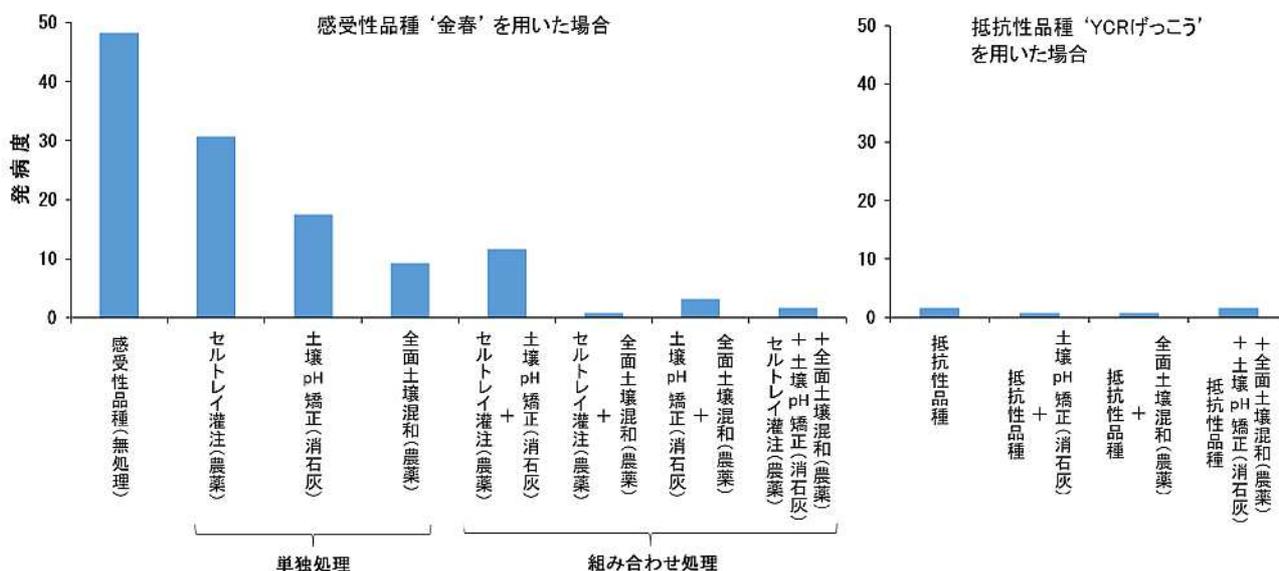


図 16 根こぶ病の汚染圃場での各種処理によるキャベツの発病抑制効果

く、可給化される量が多いことも要因と考えられ、当地域は、根こぶ病の発病を助長しやすい圃場が多いと推察される。

## 2 土壌管理による発病抑制対策

### (1) 土壌 pH と根こぶ病の発病度の関係（セル苗検定）

土壌を高 pH の環境にすると、根こぶ病の発病抑制する効果の本県土壌において確認するため、現地発生圃場の火山放出物未熟土壌を供試し、根こぶ病の発病状況をセル苗検定で検証した。ハクサイ‘無双’とキャベツ‘金春’は根こぶ病感受性品種であるが、両検定植物とも土壌 pH によって発病度に違いがみられた。pH5.9 の土壌に、ケイ鉄 100Mg $ha^{-1}$  施用した土壌では、pH が 7.0 となり、本病の発病はみられず、高い抑制効果が認められた。

しかしながら、土壌 pH の矯正が 6.8 程度では、根こぶ病の発病抑制効果が低く、土壌 pH 矯正による根こぶ病抑制には、土壌 pH が 7.0 を超えるように矯正することが重要であると考えられる。

### (2) 土壌の種類別の緩衝曲線法による土壌 pH 矯正のための石灰量の算出

県内の根こぶ病発生地域の土壌は、腐植質普通黒ボク土、腐植質厚層黒ボク土、火山放出物未熟土等で、分類も異なるため、黒ボク土壌と礫土壌と、種類毎の対策が必要となる。pH 矯正の石灰質資材として他県等でも実績のあるケイ鉄を材料とする転炉スラグ、炭カル、消石灰を用いて、種類毎の中和石灰量を算出した。

土壌 pH5.3 の礫土壌では、炭カルを 150mg/10g 乾土（1ha 当たり 15Mg 相当量）を施用すると pH6.8 になり、それ以上添加しても pH が上昇せず、ケイ鉄では、1,500mg/10g 乾土（1ha 当たり 150Mg 相当量）を施用すると pH7.3 となり、pH7.0 への矯正には多量の資材が必要であると試算された。消石灰では、50mg/10g 乾土（1ha 当たり 5Mg 相当量）を施用すると pH7.3 となり、酸度矯正の効果は、供試した資材の中では最も高かった。黒ボク土壌でも、同様の傾向であったが、施用資材量は礫土壌より多かった。これは、黒ボク土壌は、腐植含量が多く、土壌の緩衝能が大きいため、pH を上げにくいことに起因する。

### (3) pH 矯正した土壌が作物の収量に及ぼす影響

園芸作物の栽培に適する pH は 5.5~6.5 が多く、診断基準値においてもキャベツ（葉茎菜類）は pH5.5~6.5、青果用サツマイモは pH5.5~6.0 である。根こぶ病抑制のために pH を 7.0 以上に酸度矯正した圃場での栽培は、生育や収量への影響が懸念される。そこで、黒ボク土壌

および礫土壌で pH7.0 を目標に石灰質資材を施用した圃場で栽培した。

土壌 pH5.9 の黒ボク土壌（センター内）の圃場において、炭カル（5, 10Mg $ha^{-1}$ ）やケイ鉄（50, 100Mg $ha^{-1}$ ）を施用して土壌 pH7.0 を目標に矯正し、キャベツ・青果用サツマイモ・ハクサイを栽培したが、目標 pH に達したのは、ケイ鉄 100Mg 区と消石灰 10Mg 区のみで、それらの区の収量は無処理区と同等であった。

また、火山放出物未熟土壌の圃場で炭カル、ケイ鉄、消石灰を施用して酸度矯正を行い、キャベツ、青果用サツマイモを栽培した圃場の土壌 pH は、栽培期間中、目標を上回る pH で推移したが、収量は無処理区と同等であった。

また、高 pH の土壌環境下では、微量元素の欠乏症等による生理障害が懸念されたが、キャベツおよび青果用サツマイモ、ハクサイにおいて、観察での生理障害は確認されなかった。このように、土壌 pH7.0 を目標に矯正した圃場において、アブラナ科野菜および青果用サツマイモを栽培しても、生育、収量に悪影響を及ぼさない結果が得られた。しかし、炭カル 10Mg 区およびケイ鉄 50, 100Mg 区のキャベツの茎葉および結球のマンガン含量は無処理区と比べて少なかった。

これらのことから、根こぶ病発生抑制の対策として、炭カルや消石灰を施用して、土壌 pH7.0 以上に矯正した場合は、微量元素の溶解度の低下を考慮して、マンガンやホウ素入り肥料の施用が必要と考えられた。

生産者が石灰質資材を施用する場合は、経済面、作業面、矯正効果等を考慮した選択を推奨する。例えば、期間借地で、その後の作付け作物への影響を考慮して、速効性で持続的な効果が比較的短い消石灰、自作地でキャベツなどのアブラナ科野菜を連作するなら、土壌 pH 矯正効果が約 10 年と長期間（清新産業株式会社製品パンフレット）で、微量元素等も含まれるケイ鉄が適すると考えられる。

## 3 キャベツの抵抗性品種の適応性評価

アブラナ科野菜根こぶ病の防除手段として根こぶ病抵抗性品種（CR 品種；Clubroot Resistant）の利用は有効な対策の一つであるが、国内の一部の地域では抵抗性遺伝子が有効でない菌個体群が存在し<sup>16)</sup>、そのような地域では CR 品種の利用ができない。樋口ら<sup>6)</sup>は、県内の主な産地の根こぶ病菌個体群を Hatakeyama et al.<sup>5)</sup> の判別法により病原型グループ 3 および 4 と判別した（表 15）。グループ 3 および 4 に属する菌系に対しては、CRb 遺伝子の導入により抵抗性が付与できることが示

されており<sup>9)</sup>、県内におけるCR品種による防除の可能性が示唆された。

現在市販されているキャベツの根こぶ病抵抗性品種は少なく、本県へ導入した事例はなかったことから、大隅支場内圃場と指宿市の汚染圃場で適応性評価試験を行い、キャベツのCR品種の‘YCR 夢いっぽ’、‘YCR げっこう’を有望品種として選定した。現地の根こぶ病汚染圃場におけるこれらの品種の収穫時の発病度は、対照の‘金春’に比べ著しく低く、同一地域の他汚染圃場における栽培試験でも、‘YCR げっこう’では発病がほとんど認められなかった。以上のことから、本県にお

いて、現地へのCR品種の導入による被害回避は可能であることが判明した。今後、上記のCR品種で対応できない病原型が県内で出現する可能性に備え、前作で発病が著しい圃場でCR品種を用いる際には、農薬処理を組み合わせるなど対策が必要と考えられる。

上記2品種の生育面では、播種期が8月中旬、定植期が9月中旬、収穫期が11月下旬～12月上旬の作型で、結球肥大性が良く、内部障害等が少ないと評価した。ただし、内部障害等の発生は、気象条件等の影響で年次によりその発生程度が異なるので、収穫期が近づいたら試しどりをを行い、収穫適期を判断する必要がある。

表 15 鹿児島県内の根こぶ病菌圃場分離個体群 9 株に対する F1 ハクサイ判別品種の抵抗性反応と病原型グループ (樋口ら<sup>6)</sup>)

圃場分離 個体群No.	圃場 (群) No. <sup>注1)</sup>	判別品種に対する抵抗性反応 <sup>注2)</sup>			病原型グループ <sup>注3)</sup>
		スーパーCR ひろ黄	隆徳 (秋理想)	無双	
KCR07	A	0.4 (-)	0.0 (-)	3.0 (+)	4
KCR09	A	0.1 (-)	0.0 (-)	2.9 (+)	4
KCR14	A	0.8 (-)	0.2 (-)	2.9 (+)	4
KCR04	C	0.1 (-)	0.0 (-)	2.8 (+)	4
KCR10	D	0.2 (-)	0.1 (-)	3.0 (+)	4
KCR05	J	2.9 (+)	0.0 (-)	3.0 (+)	3
KCR12	K	0.3 (-)	0.1 (-)	2.9 (+)	4
KCR11	M	2.4 (+)	0.4 (-)	3.0 (+)	3
KCR13	O	0.5 (-)	0.0 (-)	2.6 (+)	4

注 1) 各圃場 (群) の市町村名および字名は以下のとおり

A : 指宿市開聞町仙田, 京田, C : 指宿市開聞町池田中浜, D : 指宿市開聞町川尻早馬, J : 霧島市溝辺町麓,  
K : 出水市高尾野町, M : 志布志市志布志町田浦, O : さつま町求名

注 2) 値は発病指数の平均値を示し、値が 1 未満の場合は抵抗性として (-), 2 以上の場合には罹病性として (+) の記号を添えた

注 3) Hatakeyama et al.<sup>5)</sup>

#### 4 低温期の定植による収穫時の発病抑制とキャベツの生育への影響

本病によるキャベツの発病に対する温度の影響について、樋口・湯田<sup>7)</sup>による室内ポット試験および圃場試験いずれにおいても、低温により発病が抑制された。また、2 シーズン実施した圃場試験 (試験 4 と同一圃場) では、温度の低下に従って発病度が低下し、栽培期間中 (定植から概ね 6 週間) の平均気温が約 11℃以下で発病度が 0 になる関係を報告している (図 17)。しかし、栽培期間が 6 週間までであり、収穫時の発病と温度との関係や収量への影響は明らかになっていない。

現地汚染圃場において9月から1月まで定植時期を変えてキャベツを栽培し、期間別平均温度と、収穫時の発病度との関係を検討したところ、生育期間全体の平均温

度と発病度との間に相関はなく、生育初期の温度が収穫時の発病に大きく影響することが示唆された。本病原菌の生活環として、まず宿主植物の根毛細胞内に第一次遊走子が侵入 (第一次感染) して感染が成立し、その後第二次遊走子が根部の皮層細胞に侵入 (第二次感染) して根こぶ病特有の症状を示すと報告されている<sup>13)</sup>。樋口・湯田<sup>7)</sup>は、冬季の12月と1月に定植した場合に発病がみられなくなった理由について、低温による根毛感染率の低さ<sup>15)</sup>を指摘している。一方、中間的な温度である11月下旬定植の作型では、定植6週間後にわずかに発病がみられており<sup>7)</sup>、生育初期に根毛感染が成立していることが推測され、収穫時期にかけて発病が進んだと考えられる。このように定植から6週間の平均気温または地温が12℃前後の時期に定植する場合には、生育

初期の感染、発病を抑える効果が期待できる農薬のセルトレイ灌注処理が効果的であった（湯田ら、未発表）。

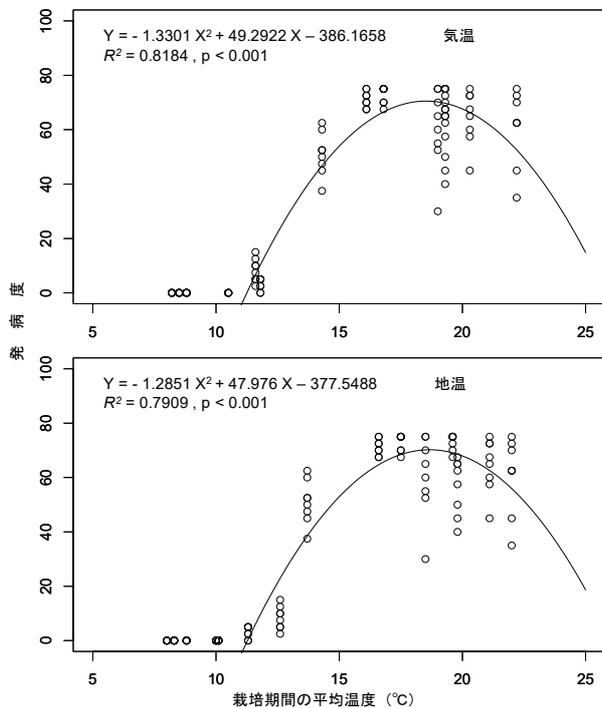


図 17 汚染ほ場での栽培試験におけるキャベツ根こぶ病の栽培期間中の平均温度と発病度の関係（n=120）（樋口・湯田<sup>7)</sup>）

注 1) 上段：定植から概ね 6 週間の平均気温

下段：定植から概ね 6 週間の平均地温

注 2) 発病度：定植から概ね 6 週間後に調査

注 3) 回帰曲線は発病度が 0.0 の試験区を除外して計算（n=80）

本病の発病による生育への影響は、収穫時の発病指数 3（根鉢付近に大型の根こぶが認められる）の場合に、1 個当たり結球重が 500g 以下の生育不良株の割合が多くなり、発病指数 0~2 ではそれぞれ 10%前後と生育不良株は少なかった。このことから、本病の汚染圃場においてキャベツの収量を確保するためには、根の発病指数を少なくとも 2 以下に抑える必要がある。

10 月中旬から 11 月上旬定植の作型では、根の発病指数 3 の株が多く、1 個当たり結球重の平均値が 1,000g 未満であったのに対し、12 月から 1 月の定植、すなわち定植後 6 週間の平均温度が 11°C 以下となる作型では、収穫時における根の発病指数はいずれも 1 以下で、結球重の平均は概ね 1,000g 以上となり、本病の汚染圃場でも、低温期の定植によりキャベツの収量を確保することが可能と考えられる。これらのことから、12~1 月の低

温期におけるキャベツの定植は、本病の耕種的防除法の一つとして有効である。

本研究では、4~5 月が収穫時期の作型で、気温の上昇による根こぶ病の発病や生育への影響は認められなかった。しかし、6 月以降に収穫する作型や、春先の気温が高いと予想される場合には、低温期に定植して初期の発病を抑制しても、生育後半での本病の感染・発病が懸念されることから、生育後半の防除対策については、さらに検討する必要がある。

## 5 汚染圃場における各種防除対策の組合せによる効果

本病害に対する総合防除については、様々な報告がされている<sup>4)・13)・17)</sup>。本病をはじめとして土壌病害の対策は、定植前に講じる必要があるため、予防的に農薬を処理する防除対策が主に行われているが、耕種的防除を取り入れることにより、場合によってはコストを抑えた経営も可能となる。本研究では、現地汚染圃場において、抵抗性品種‘YCR げっこう’の作付け、消石灰による土壌 pH 矯正の耕種的防除、それらと農薬による防除を単独または組み合わせた場合の防除効果を比較した。その結果、感受性品種を用いる場合には、複数の処理を組み合わせることで、防除効果が高まることが示された。また、抵抗性品種の作付けは、感受性品種に対する農薬の全面土壌混和とセルトレイ灌注との組み合わせと同等の高い防除効果が認められ、低コストな防除対策として有効と考えられる。ただし、本研究で選定した抵抗性品種は適応する作型が限られており、すべての作型をカバーすることはできず、キャベツの抵抗性品種のさらなる開発が待たれる。

## 6 キャベツ根こぶ病の作付時期に応じた総合防除技術

本県では、盛夏期を除き時期をずらしながらキャベツが栽培され、苗の定植は晩夏から春まで順次行われている。図 18 に、本研究で得られた成果から考えられるキャベツの作付時期に応じた総合防除技術の概念図を示した。

低温期（指宿市では 12~1 月）に定植する作型を選択できる場合には、収穫時の発病程度は低く、農薬等の処理を行わずに既存の感受性品種の作付けが可能である。気温が高く発病の危険性が高い時期には、作型は限られるものの、抵抗性品種を作付けすることにより低コストで被害を回避できる。また、気温が高い時期に感受性品種を用いる場合には、農薬処理や土壌 pH 矯正による防除を行う必要があるが、単独または組み合わせ処理にお

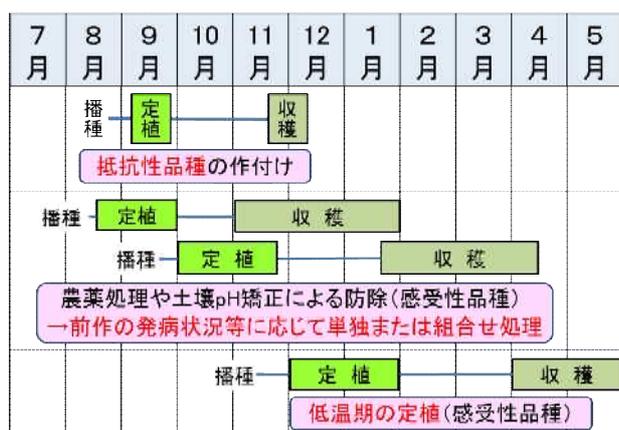


図 18 鹿児島県におけるキャベツの作付時期に応じた根こぶ病の総合防除技術の概念図

ける防除効果の違いが明らかになったことから、前作の発病状況等<sup>3)</sup>に応じて防除対策を選択することが可能である。すなわち、前作で圃場全面で発病が認められ大きな被害が予想される圃場では、高い防除効果が期待できる農薬の全面土壌混和とセルトレイ灌注の組み合わせ処理が必要であるが、前作の発病が圃場の一部に留まるなど被害程度が低いと予想される場合には、単独の防除で済むことから防除費用を抑えることが可能である。

当センターでは、事業の成果をもとに本病の総合防除マニュアルを作成した。当マニュアルの活用が本県のキャベツの安定生産につながることを期待している。

## 謝 辞

本研究は、鹿児島県農業開発総合センター本所および大隅支場において実施したもので、栽培管理等を担当した技術補佐員の方々に深く感謝申し上げます。また、現地試験の実施に際してご協力いただいた鹿児島県の生産者と関係機関の皆様にも深く感謝申し上げます。

## 引用文献

- 1) Dixon, G.R. 2009. The occurrence and economic impact of *Plasmodiophora brassicae* and clubroot disease. *J. Plant Growth Regul.* 28:194-202
- 2) 独立行政法人 農業技術研究機構 東北農業研究センター 2002. アブラナ科野菜根こぶ病総合防除マニュアル 34-35
- 3) 独立行政法人 農業環境技術研究所 2013. 健康診断に基づく土壌病害管理 ヘソディム (キャベツ根こぶ病診断・対策支援マニュアル) . 115-122

- 4) Donald, C. and I. Porter 2009. Integrated control of clubroot. *J. Plant Growth Regul.* 28:289-303
- 5) Hatakeyama, K., M. Fujimura, M. Ishida, and T. Suzuki 2004. New classification method for *Plasmodiophora brassicae* field isolates in Japan based on resistance of F<sub>1</sub> cultivars of Chinese cabbage (*rassica rapa* L.) to Clubroot. *Breed. Sci.* 54:197-201
- 6) 樋口康一・尾松直志・東 幸男・白尾 吏・長友 誠・田中義弘・松元 哲・井上栄明 2016. 鹿児島県のキャベツおよび景観用菜の花に発生した根こぶ病, 九病虫研会報 62:56-63
- 7) 樋口康一・湯田達也 2020. 鹿児島県のキャベツ産地における根こぶ病の発病と栽培温度の関係, 九病虫研会報 66:18-25
- 8) 鹿児島県農政部 2020. 鹿児島県土壌管理指針 18
- 9) Kato, T., K. Hatakeyama, N. Fukiko, and S. Matsumoto 2012. Identification of a clubroot locus conferring resistance to a *Plasmodiophora brassicae* classified into pathotype group3 in Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.). *Breed. Sci.* 62:282-287
- 10) 村上圭一・中村文子・後藤逸男 2004. 土壌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 75:453-457
- 11) 村上圭一・畔柳有希子 2007. アブラナ科野菜根こぶ病菌に及ぼす pH の影響, 土肥誌 78:77-79
- 12) 村上圭一・畔柳有希子 2008. 土壌 pH およびカルシウムがアブラナ科野菜根こぶ病菌の初期感染に及ぼす影響, 土肥誌 79:77-79
- 13) 内記 隆 1987. アブラナ科野菜根こぶ病の生活環からみた防除視点, 土と微生物 29:25-39
- 14) 篠田英史・村上圭一・後藤逸男 2003. アブラナ科野菜根こぶ病菌休眠胞子菌密度測定法の改良, 土肥誌 74:287-291
- 15) Sharma, K., B. D. Gossen, and M. R. McDonald 2011. Effect of temperature on primary infection by *Plasmodiophora brassicae* and initiation of clubroot symptoms. *Plant Pathol.* 60: 830-838
- 16) Tanaka, S., S. Ito 2013. Pathogenic and genetic diversity in *Plasmodiophora brassicae* (clubroot) from Japan. *J. Gen. Prant Pathol.* 79:297-306
- 17) 對馬誠也 2005. 病害防除における IPM の展望と課題ーアブラナ科野菜根こぶ病防除を事例としてー, 関東病虫研報 52:1-8

## Integrated Control Corresponding to the Occurrence Ecology of Cabbage Clubroot in Kagoshima Prefecture

Tatsuya Yuda, Ryoko Aimoto, Koichi Higuchi, Yatsuka Nishi, Naoshi Omatsu, Tsukasa Shirao,  
Kazuyuki Kuramoto, Seiji Beppu and Taizou Tokunaga

### Summary

In Kagoshima Prefecture, the occurrence of clubroot has spread in cabbage, rape blossoms, etc. since around 2013. In order to prevent the spread of cabbage clubroot to the production areas in the prefecture, we worked on research to clarify the actual occurrence of cabbage clubroot and to establish integrated control. In areas where immature volcanic release soil is distributed in the prefecture, the phosphate absorption coefficient is small, so available phosphoric acid tends to be excessive, and many fields were in a soil environment that easily promotes the onset of this disease. As a calcareous material for suppressing the onset of this disease, slaked lime was effective when a fast-acting effect was expected, and silica iron was effective when a long-acting effect was expected. It was confirmed that even if Brassicaceae vegetables and crop rotations were cultivated in a field where the soil pH was corrected to about 7.0, the effect on growth was small. As a result of evaluating the adaptability of cabbage resistant cultivar in this prefecture, the spring cultivar 'YCR Yume-ippo' and the winter cultivar 'YCR Gekko' were selected as promising cultivar with a planting period of middle September and a harvesting period of late November to early December. In Ibusuki City, it was clarified that when cabbage was planted in the low temperature period (December to January) to suppress the occurrence of disease in the early stage of growth, the occurrence of disease was suppressed until the harvest time and the effect on growth was small. We concluded that the effects of treating the above control measures alone or in combination were examined in a locally contaminated field, and an integrated control technique for this disease was established according to the planting time.

Keywords : cabbage, clubroot resistant cultivar, integrated control, *Plasmodiophora brassicae*, soil pH correction