

## キャベツ根こぶ病に対する神奈川県版ヘソディムマニュアルの作成

島田涼子・岡本昌広・山崎聡・田中暢・井上弦・上山紀代美・折原紀子

### Development of Kanagawa Prefecture's Version of HeSoDiM Manual for Cabbage Clubroot disease

Ryoko SHIMADA・Masahiro OKAMOTO・Satoshi YAMAZAKI・Mitsuru TANAKA・Yudzuru INOUE・Kiyomi KAMIYAMA・Noriko ORIHARA

#### 摘 要

土壌病害であるキャベツ根こぶ病は、作付け前に対策を講じる必要がある。しかし、ほ場ごとに発病リスクが異なり、どの程度発病するか予測することが困難であることから、防除法の選択が難しい。結果として防除不十分による収量の減少や、過剰な防除による生産コストの上昇が生じている。ほ場の土壌病害の発生しやすさ（発病ポテンシャル）を診断・評価し、評価結果に応じた対策を講じる土壌病害管理法（ヘソディム）は、これらの課題を解決できる病害管理法であり、他県では本病に対するマニュアルも作成されているが、県内の夏まきキャベツの産地に対応したマニュアルは作成されていない。そこで、横浜・藤沢地域で栽培が多い‘しずはま1号’栽培ほ場でのキャベツ根こぶ病を対象としたヘソディムマニュアルを作成するために、2017～21年の5年間をかけて、のべ176のほ場調査区の休眠孢子密度、土壌物理化学性、農薬使用等栽培状況および収穫時の根部発病程度について調査した。これらのデータから、土壌pH、休眠孢子密度、前年同作型の発病程度等と当年の発病程度との関係を明らかにし、ほ場のキャベツ根こぶ病の発病ポテンシャルの評価表および発病ポテンシャルのレベルに合わせた対策技術のリストを作成した。作成した評価表および対策技術リストの有効性を全ての調査区で評価したところ、発病ポテンシャルレベルの診断結果に応じた対策が妥当であった調査区は88%であった。

キーワード：キャベツ根こぶ病、ヘソディム

#### Summary

Cabbage clubroot, a soil-borne disease, needs to be controlled before planting. It is hard to choose control methods because predicting the disease severity of each field is difficult. Inadequate counter measure often causes yield losses due to insufficient control effect, or excess labor and cost owing to unnecessary disease control. To solve these problems, a disease management strategy that diagnosis and assessment of a field's disease occurrence potential (D-potential) before planting then making decision of counter measures according to the D-potential level are promising. Such strategy is conceptually based on periodic health checkups performed in preventive medicine, and has been called as HeSoDiM (Health checkup based Soil-borne Disease Management). In this study we developed HeSoDiM applicable to clubroot of summer sowing cabbage occurring in Kanagawa Prefecture, and created manual for practicing the HeSoDiM. First, we investigated the density of resting spores in the soil, soil physicochemical properties, cabbage growing conditions, and disease severity at 176 survey sites of cabbage fields where cv. 'Shizuhama 1-gou' widely cultivated in the Yokohama and Fujisawa regions was grown. Next, the relations among soil pH, density of resting spores in soil, disease severity in the previous year, and disease severity in the current year were verified. From the results of these surveys, evaluation list for D-potential of fields against clubroot disease and counter measure list corresponding to each D-potential level were developed. When D-potential level of all surveyed sites were evaluated then counter measures were carried out according to the developed lists, disease management

was successful in 88% of the surveyed sites.

**Key words:** Cabbage Clubroot, HeSoDiM

## 緒言

土壌伝染性病害は、防除が難しく、時に経済的に大きな被害を与える。当県には横浜・藤沢地域、三浦半島地域にそれぞれ夏まきキャベツ、早春キャベツの産地が存在するが、これらの地域では土壌病害の一種であるキャベツ根こぶ病が発生している。

キャベツ根こぶ病の対策としては、土壌消毒、根こぶ病に登録のある薬剤の施用、土壌排水性の改善、土壌の酸度矯正等が挙げられる（内記 1987, 田中 1996）。これらは作付け前に行う必要があり、現在、作付け後に発病程度を見ながら実施可能な防除方法は存在しない。さらに本病が発生するリスクはほ場ごとに異なるため、適切な防除法の組み合わせを作付け前に判断するのは困難である。結果として防除不十分による収量の減少や、反対に過剰な防除による生産コストの上昇が生じてしまう場合がある。こうした課題を解決するためには、栽培前に土壌病害の発生しやすさ（発病ポテンシャル）の程度を診断・評価し、その程度に応じた対策を講じる病害管理法であるヘソディム（HeSoDiM: Health checkup based Soil-borne Disease Management）（Tsushima and Yoshida 2012）が有効である。ヘソディムは、これまでに代表的な土壌病害ごとに開発され、2013年には「次世代土壌病害診断（ヘソディム）マニュアル」（農業環境技術研究所 2013）が、2016年には「土壌消毒低減のためのヘソディムマニュアル」（農業環境技術研究所 2016）が作成・公開されている。キャベツ根こぶ病に対するヘソディムもマニュアル化されている（農業環境技術研究所 2013）が、このマニュアルは三重県の産地のデータに基づいて作成されたものである。アブラナ科根こぶ病は土壌の種類、土壌 pH、日長や気温によって発病のしやすさが変化することが知られており（福代 1983, 田村 1974, 内記 1987）、神奈川県内のキャベツ生産ほ場に対して既存のマニュアルをそのまま適用することは難しいと考えられた。そこで神奈川県内のキャベ

ツ生産ほ場において、各ほ場の土壌 pH 等化学性、キャベツ根こぶ病菌の休眠孢子密度等の微生物性と、根こぶ病の発生状況等を調査し、そのデータを基に、神奈川県内の品種・作型・土壌に合ったヘソディムを開発しマニュアル化することとした。ただし、横浜・藤沢地域では夏まきキャベツ（8月定植）栽培が多いのに対し、三浦半島地域は早春キャベツの栽培が多く、品種・作型が異なっていること、また三浦半島地域の作型においては既にキャベツ根こぶ病に対するヘソディムマニュアルである「三浦版根こぶ病対策マニュアル」が存在している（三浦半島農業改良推進協議会 2016）ことから、本研究では、横浜・藤沢地域で栽培の多い夏まきキャベツ「しずはま1号」栽培を対象にマニュアルの作成を目指した。

なお本研究は、農林研究推進事業委託プロジェクト研究「人工知能未来農業創造プロジェクト（AIを活用した土壌病害診断技術の開発）」により実施した。当該プロジェクトでは、本報告と併せて横浜・藤沢地域の「しずはま1号」以外の品種、三浦半島地域早春キャベツの調査も行っており、それらの調査結果は全国のキャベツ栽培ほ場での根こぶ病の発病ポテンシャルを評価し、その評価結果に応じて推奨する対策法を提示する AI アプリ「HeSo+」の開発のためのデータとして活用されている。

## 材料および方法

### 1. 現地生産者ほ場のデータ収集

#### (1) 土壌データの収集

2017～2021年の5年間にかけて、横浜市、藤沢市、平塚市のキャベツ「しずはま1号」生産者ほ場（のべ176調査区）において、病原菌密度（土壌中のキャベツ根こぶ病菌の休眠孢子密度）、セルトレイ検定での根こぶ病発病有無、土壌 pH を調査した。調査に使用する土壌は、定植日直近の土壌 pH 矯正資材投入、薬剤処理前に、各調査区中の5か所からほぼ等量ずつ採

取し、混和して試料とした。なお、休眠孢子密度の測定、セルトレイ検定には生土を、土壌 pH の測定には風乾試料を供試した。土壌採取後には、土壌 pH 矯正や薬剤処理が任意で行われた。調査したほ場の土壌は全て黒ボク土であった。

休眠孢子密度の測定は、アグロ カネショウ株式会社に依頼してリアルタイム PCR 法により行った。セルトレイ検定は吉本・前田 (2001) の方法に従って行った。検定用ハクサイには「無双」を用い、採取土壌は 4mm 目合いのふるいを通してから供試した。土壌 pH の測定は定法に従って行った。

### (2) 生産者への聞き取り調査

周辺ほ場の発病程度、植栽した品種、定植日、根こぶ病に対して使用した薬剤については生産者より聞き取った。

### (3) 根部発病調査

根部の発病調査はキャベツ収穫期に行った。1 調査区 30 株について、発病株率、発病度を以下の基準で調査した。

【発病株率】 発病株数 / 調査株数 × 100

【発病度】  $(0 \times \text{発病指数 } 0 \text{ の株数} + 1 \times \text{発病指数 } 1 \text{ の株数} + 1.5 \times \text{発病指数 } 1.5 \text{ の株数} + 2 \times \text{発病指数 } 2 \text{ の株数} + 2.5 \times \text{発病指数 } 2.5 \text{ の株数} + 3 \times \text{発病指数 } 3 \text{ の株数}) / (3 \times \text{調査株数}) \times 100$

発病指数 0 : 全くこぶがみられない, 1 : 側根にこぶが着生, 1.5 : 側根にこぶがやや多い, 2 : 主根にこぶが着生, 2.5 : 主根のこぶが肥大, 3 : 根全体が大きく肥大し激しく発病

## 2. 同一ほ場における土壌 pH 矯正と薬剤施用の効果比較

2020, 2021 年に、平塚市内の 2 生産者ほ場 (A ほ場,

B ほ場) において土壌 pH および薬剤処理条件が異なる試験区を以下の方法で同一ほ場内に設定し、「しずはま 1 号」を栽培後にキャベツ根こぶ病の発病株率、発病度と収量について検討した。栽培管理については慣行に従った。なお、これらのほ場で得られたデータについても、前項 1. の現地生産者ほ場のデータに含めた。

### (1) 土壌 pH 矯正

土壌 pH を上昇させることにより、根こぶ病の発病が抑制されることが知られている (平沢ら 1983, 村上ら 2004)。そこで、A ほ場, B ほ場のそれぞれを 2 つのエリアに分けて (A-1・A-2 エリア, B-1・B-2 エリア), 石灰質資材で土壌 pH を上昇させた pH 矯正区を設定し、発病におよぼす影響を評価した。

土壌 pH を矯正する石灰質資材としては、ホウ素やマンガン等の微量要素を多く含み、微量要素欠乏が出にくいとされていること、pH 矯正の効果が長期間持続するとされていることから、本試験では転炉スラグを用いた。pH を矯正する区画より採取した土壌から緩衝能曲線を作成し、作土層を 15cm として各試験区に設定した土壌 pH 矯正の目標値となりうる転炉スラグの量を決定した。A ほ場, B ほ場における 2020 年および 2021 年の土壌 pH 矯正の目標値、投入資材を表 1 に、2020 年の A ほ場, B ほ場, 2021 年の B ほ場における土壌 pH の推移を図 1 に示す。

2020 年の A ほ場 (A-1) では、定植までに目標 pH に到達しなかったが、B ほ場 (B-1) では定植前までに目標 pH に到達した。定植前までに土壌 pH が 7.1 以上となることを目指して 3 月 25 日に転炉スラグを施用した 2021 年の B-1 エリアでは、116 日後の 7 月 19 日時点で目標 pH に到達しなかったため、7 月 25 日に追加で転炉スラグ (1.0 t/10 a) を施用し、定植前の 8 月 20 日には目標の pH7.1 に到達した。

表1 Aほ場, Bほ場の土壌pH矯正の概要

エリア	矯正前 土壌pH	2020年			2021年		
		目標pH	投入日	投入資材・投入量	目標pH	投入日	投入資材・投入量
A-1	6.0	7.1	8/6	転炉スラグ 3.5 t/10 a	矯正なし		
A-2			8/6	水酸化Mg 100 kg/10 a			
B-1	5.0	6.0	8/5	転炉スラグ 3.1 t/10 a	7.1	3/25	転炉スラグ 1.9 t/10 a
B-1			8/5	水酸化Mg 100 kg/10 a		7/25	転炉スラグ 1.0 t/10 a
B-2			矯正なし	6.4	3/25	転炉スラグ 3.1 t/10 a	3/25

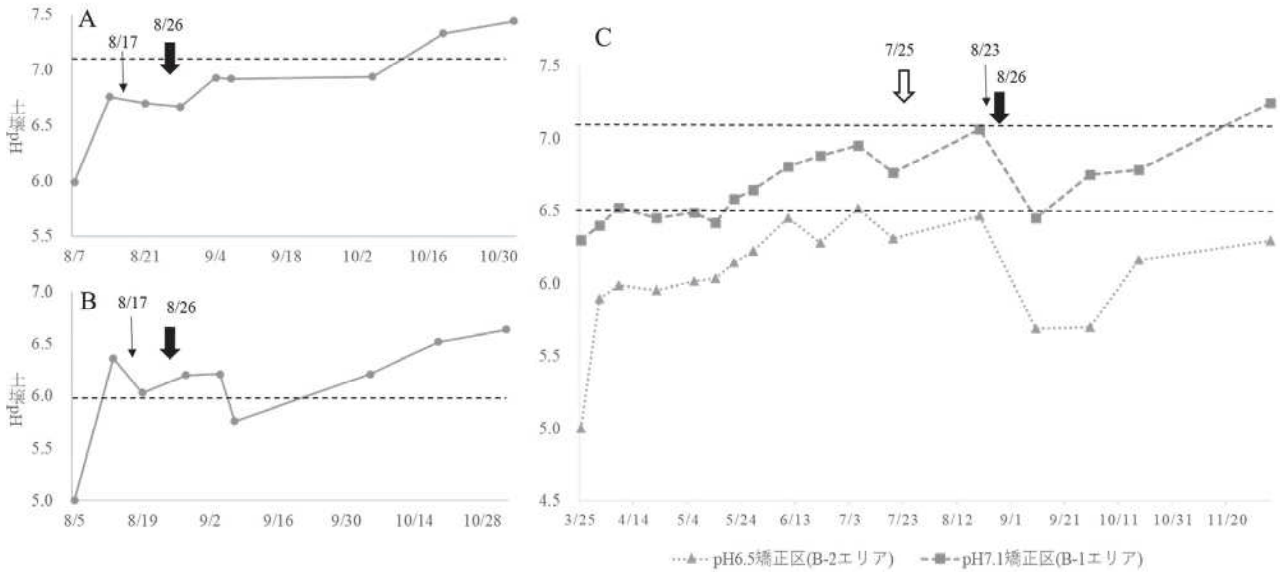


図1 Aほ場, Bほ場における転炉スラグ施用後の土壌 pH の推移

A : 2020 年 A ほ場 (A-1 エリア) B : 2020 年 B ほ場 (B-1 エリア) C : 2021 年 B ほ場 各グラフの起点は転炉スラグ施用日, 黒太矢印は定植日, 黒細矢印は施肥日, 白矢印は追加で転炉スラグを施用した日を示す. 点線は土壌 pH 矯正の目標値を示す.

(2) 薬剤処理条件

A ほ場, B ほ場における 2020 年および 2021 年の, 各調査区の薬剤処理条件を表 2, 表 3 に示した. 2020 年は, 薬剤処理区として, セルトレイ灌注処理剤のアミスルブロム水和剤またはシアゾファミド水和剤処理区を設定した (1 区 10 株×10 反復, 播種: 7 月 27 日, 定植: 8 月 26 日). 2021 年は, 薬剤処理区としてはほ場への土壌処理剤とセルトレイ灌注処理剤のいずれかの処理または併用処理を行う区を設定した (1 区 30 株×1 反復, 播種: 7 月 27 日, 定植: A ほ場 8 月 30 日, B ほ場 8 月 26 日). 土壌処理剤はアミスルブロム粉剤ま

たはフルアジナム粉剤とし, セルトレイ灌注処理剤としてはアミスルブロム水和剤を使用した. 土壌処理剤は両ほ場とも 8 月 23 日に施用し, 施用後は直ちに耕うんした.

表2 Aほ場, Bほ場の2020年の薬剤処理条件

調査区	エリア	使用薬剤	
		全面土壌混和処理	セルトレイ灌注処理 <sup>2</sup>
1			なし
2	A-1	なし	アミスルブロム水和剤
3			シアゾファミド水和剤
4			なし
5	A-2	なし	アミスルブロム水和剤
6			シアゾファミド水和剤
7			なし
8	B-1	なし	アミスルブロム水和剤
9			シアゾファミド水和剤
10			なし
11	B-2	なし	アミスルブロム水和剤
12			シアゾファミド水和剤

<sup>2</sup>アミスルブロム水和剤は200倍希釈液をセルトレイ 1 枚あたり 500 mL 定植直前に灌注. シアゾファミド水和剤は500倍希釈液をセルトレイ 1 枚あたり 2 L 定植直前に灌注.

表3 Aほ場, Bほ場の2021年の薬剤処理条件

調査区	エリア	使用薬剤	
		全面土壌混和処理 <sup>2</sup>	セルトレイ灌注処理 <sup>3</sup>
1			なし
2		なし	アミスルブロム水和剤
3			なし
4	A-1	フルアジナム粉剤	アミスルブロム水和剤
5			なし
6		アミスルブロム粉剤	アミスルブロム水和剤
7			なし
8		なし	アミスルブロム水和剤
9			なし
10	A-2	フルアジナム粉剤	アミスルブロム水和剤
11			なし
12		アミスルブロム粉剤	アミスルブロム水和剤
13			なし
14	B-1	なし	アミスルブロム水和剤
15		フルアジナム粉剤	アミスルブロム水和剤
16		アミスルブロム粉剤	アミスルブロム水和剤
17			アミスルブロム水和剤 <sup>4</sup>
18	B-2		アミスルブロム水和剤
19		フルアジナム粉剤	アミスルブロム水和剤
20		アミスルブロム粉剤	アミスルブロム水和剤

<sup>2</sup>フルアジナム粉剤は40 kg/10 a施用. アミスルブロム粉剤は30 kg/10 a施用.

<sup>3</sup>アミスルブロム水和剤は200倍希釈液をセルトレイ 1 枚あたり 500 mL 定植直前に灌注.

<sup>4</sup>この区のみ転炉スラグに加えて消石灰を施用して土壌pHを7.0に矯正した.

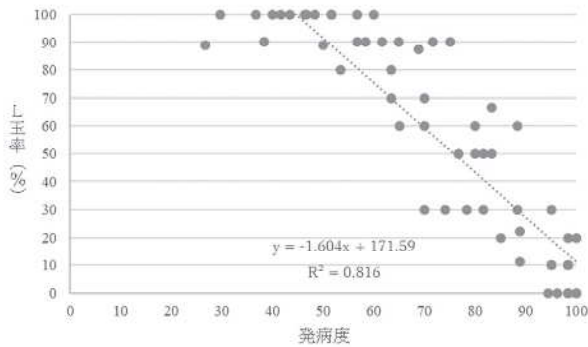


図2 Aほ場, Bほ場の調査区における発病度とL玉率の関係  
根こぶ病以外の原因で収穫できなかったものを除いた全株のうち、試験終了時までL玉(1.25kg)で収穫できたものの割合をL玉率と定義した。図中の1点は、2020年平塚市内2ほ場で、定植時の土壌pHが6.0程度であった6調査区の、1反復(10株)ごとの発病度・L玉率を示す。

(3) 根こぶ病発生状況と収量の調査

各調査区の発病度・発病株率、収量の調査は収穫期に行った。各調査区の発病度・発病株率は上述の基準で調査し、収量調査については、JA横浜のL玉出荷規格である1.25kgに達したキャベツから順次収穫し、根こぶ病以外の原因で収穫できなかった株を除いた全株のうち、試験終了時までL玉規格を満たして収穫できたキャベツの割合をL玉率と定義し、この値によって収量への影響を評価した。

結果

1. ほ場の発病度とキャベツ収量との関係

キャベツの収量に影響を及ぼすほ場の根こぶ病の発生程度を明らかにするために、平塚市内のAおよびBほ場に設置した調査区のうち、定植前の土壌pHが6.0程度であったA-2, B-1エリア6調査区(表2の調査区4~9)の反復ごとの発病度とL玉率の関係を調べた。その結果、L玉率は発病度の上昇に伴って低下する傾向が認められ、両者の関連性を示す回帰直線に基づきL玉率に影響を及ぼす発病度を推定したところ、発病度が44.6を超えるとL玉率が低下し始めると推定された(図2)。

2. 発病度と前年同作型の発病度および発病株率との関係

現地生産者ほ場のべ176調査区のうち、2年以上連

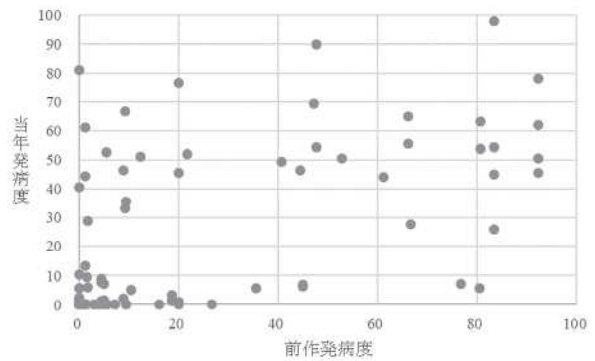


図3 ほ場調査区の前作発病度と当年発病度の関係

表4 ほ場調査区における前作発病度、当年発病度別の調査区数

前作発病度	当年発病度	調査区数	割合(%)
20未満	44.6未満	70	92
	44.6以上	6	8
20以上	44.6未満	11	35
	44.6以上	20	65

続で調査を行ったのべ107調査区のデータより、発病度と、同調査区の前年同作型の発病度(前作発病度)の関係を図3および表4に示す。前作発病度が20未満の調査区のうち、92%の調査区の当年発病度は、収量に影響がないと考えられる44.6未満に抑えられていた。前作発病度が20以上では当年の発病が抑えにくくなる傾向がみられ、65%の調査区で当年発病度が44.6以上となった。

次に、現地生産者ほ場の全調査区の発病度と発病株率の関係を調べた。その結果、両者は強い正の相関(決定係数=0.97)を示し、発病度20はおおよそ発病株率40%に相当していた(図4)。

3. 休眠孢子密度と発病度の関係

2017~2019年の3年間は、ほ場全体または無作為に選んだほ場の一区画を調査区として休眠孢子密度を測

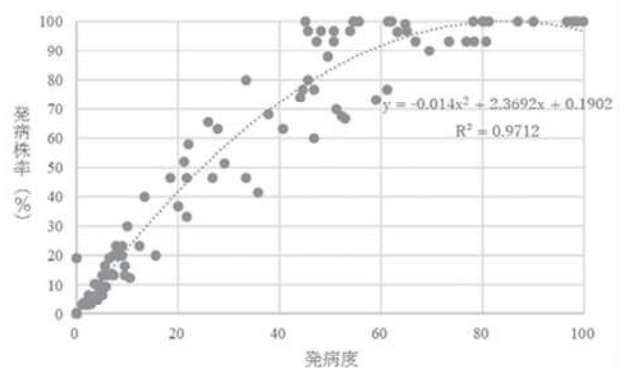


図4 ほ場調査区における発病度と発病株率の関係

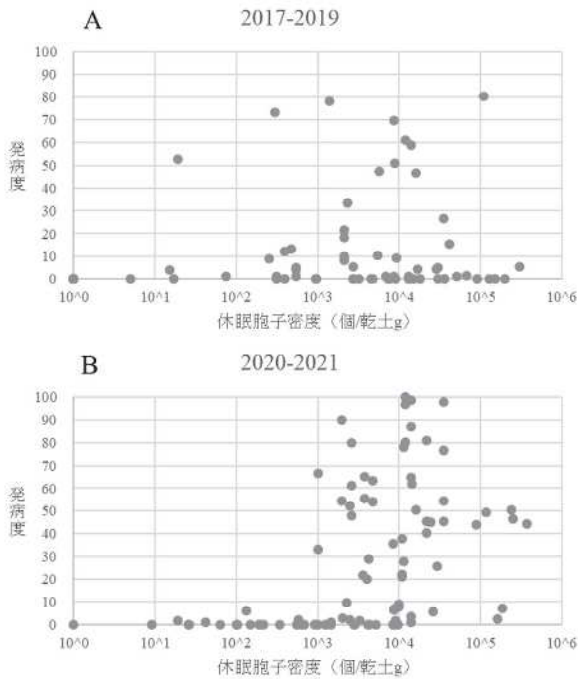


図5 ほ場調査区の土壌の採取方法別の休眠胞子密度と発病度の関係

A: ほ場全体またはほ場の一区画に調査区を設定し、土壌を採取 (2017~2019年) B: ほ場全体またはほ場の一区画の中で根こぶ病が出やすいと考えられる部分に調査区を設定し、土壌を採取 (2020~2021年)

定していたが、休眠胞子密度と発病度の間に関係がみられなかった (図5A)。そこで、2020年と2021年はほ場全体または無作為に選んだほ場の一区画の中で、根こぶ病が出やすいと考えられる部分 (根こぶ病の発病がよくみられる部分、水がたまる部分など) を調査区として、休眠胞子密度を測定し、発病を調査した (図6) と、休眠胞子密度と発病度に関係がみられた。すなわち、調査区の休眠胞子密度が1,000個/乾土g未満の場合は発病度20を超えることはなく、休眠胞子密度が1,000個/乾土g以上となると発病20を超える調査区がみられはじめ、10,000個/乾土g以上では全調査区で発病が認められた (図5B)。

#### 4. セルトレイ検定結果と発病度との関係

2020年と2021年における現地生産者ほ場のセルトレイ検定と発病度の関係を表5に示す。前述の前年発病度と当年発病度の関係より、収量に影響が出るリスクが低い状態で毎年栽培を続けるためには、発病度が20を超えないようほ場を管理することが必要と考えられるが、セルトレイ検定で発病なしの場合、ほ場で

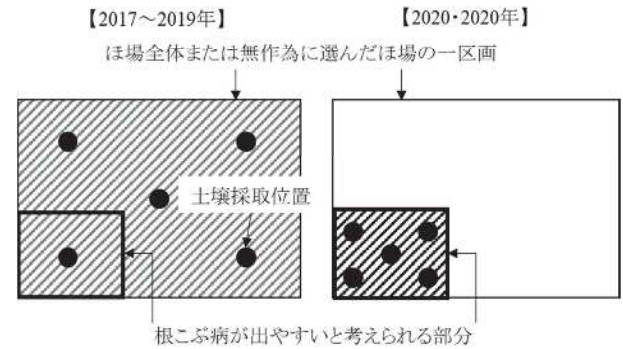


図6 各年度の調査区の設定方法  
斜線部が各年度で調査区として設定した部分。2020・2021年は、ほ場全体または無作為に選んだほ場の1区画の中の、根こぶ病が出やすいと考えられる部分を調査区として設定した。

表5 セルトレイ検定による発病有無別における根こぶ病発病度別の調査区数および割合

セルトレイ検定結果	調査区の発病度	調査区数	割合(%)
発病なし	0	25	60
	20未満	8	19
	20以上	9	21
発病あり	0	6	12
	20未満	12	23
	20以上	34	65

の発病も見られなかった調査区は60%であり、79%のほ場で発病度20を下回った。一方セルトレイ検定で発病ありの場合、ほ場での発病がみられなかった区は12%であり、発病度20以上となった調査区は65%であった。

#### 5. 土壌 pH と発病度の関係

現地生産者ほ場の土壌 pH と発病度の関係を図7、8に示す。土壌 pH が6.9以上の場合、発病度を20以下に抑えられていた (図7)、また土壌 pH が6.6~7.0の範囲であった場合は85%のほ場で、7.1以上の場合は

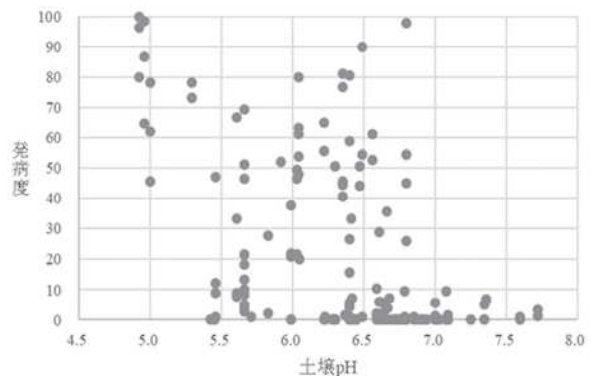


図7 ほ場調査区の土壌 pH と発病度の関係

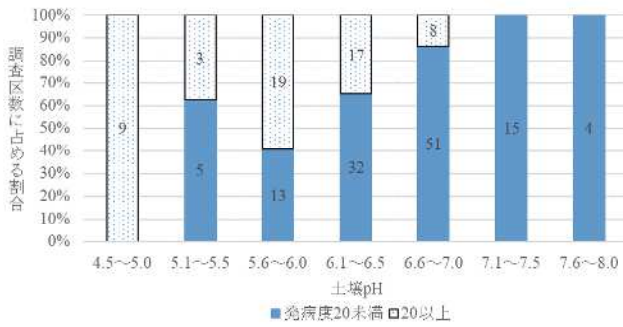


図8 土壌 pH 別のほ場調査区における発病度割合  
棒中の数字は調査区数を示す。

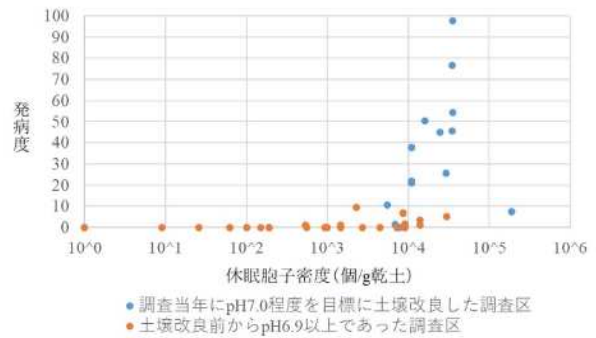


図9 調査当年に土壌 pH7.0 程度を目標に土壌改良した調査区と、土壌改良前から土壌 pH が 6.9 以上となっていた調査区の休眠胞子密度と発病度

全てのほ場で発病度は 20 以下となった (図 8)。

### 6. 同一ほ場における土壌 pH 矯正と薬剤施用の効果比較

平塚市内の A ほ場で 2021 年に行った試験結果を表 6 に示す。2020 年 8 月に A-1 エリアで土壌 pH 矯正を行い、翌 2021 年に土壌 pH6.9 以上を維持した試験区では薬剤使用の有無や使用薬剤の種類によらず発病度は 6.9 以下に抑えられ、高い発病抑制効果が確認された。

次に平塚市内の B ほ場で 2021 年に行った試験結果

を表 7 に示す。B-1 エリアでは定植前に土壌 pH が 6.9 以上となっていたにもかかわらず、A ほ場と比較すると発病度は高く、農薬を使用しなかった区では L 玉率が 20% となった。現地生産者ほ場のデータのうち、調査当年に土壌 pH7.0 程度を目標に土壌改良した調査区と、土壌改良前から土壌 pH が 6.9 以上となっていた調査区の休眠胞子密度と発病度を図 9 に示す。調査当年の土壌改良前から土壌 pH が 6.9 以上であった調査区は発病度 20 未満に抑えられていたが、調査当年に土壌 pH7.0 程度以上を目標に土壌改良した区では、発

表6 Aほ場における土壌pH、農薬処理条件を変えた各試験区での発病度、L玉率、収穫遅れの有無

エリア	土壌pH	全面土壌混和処理	セルトレイ灌注処理	休眠胞子密度 (個/g乾土)	発病度	L玉率(%)	収穫遅れの有無 <sup>2</sup>
A-1	7.7	なし	無 有	13,910	1.1 3.4	100	有 有
	7.6	フルアジナム粉剤	無 有	1,449	1.1 0.0	100	無 無
	7.4	アミスルブロム粉剤	無 有	8,597	6.9 6.4	100	無 —
	6.5	なし	無 有	1,991	90.0 54.4	53 100	有 有
A-2	6.2	フルアジナム粉剤	無 有	3,741	65.0 55.6	90 100	有 有
	6.0	アミスルブロム粉剤	無 有	4,754	63.2 53.9	90 93	無 有

<sup>1</sup>収穫初日に最も多くの個数を収穫できた区を—とし、収穫初日の収穫個数が—の区の半分以下の場合、収穫遅れ有とした。

表7 Bほ場における土壌pH、農薬処理条件を変えた各試験区での発病度、L玉率、収穫遅れの有無

エリア	定植直前(8/20)の土壌pH	全面土壌混和処理	セルトレイ灌注処理	休眠胞子密度 (個/g乾土)	発病度	L玉率(%)	収穫遅れの有無 <sup>2</sup>
B-1	7.1	なし	無 有	35,298	97.8 54.4	20 97	有 有
	7.0	フルアジナム粉剤	有	34,463	45.0	97	—
	7.2	アミスルブロム粉剤	有	29,137	25.9	100	無
B-2	7.0 <sup>1</sup>	なし	有	15,987	50.6	97	有
	6.5	なし	有	11,321	78.2	60	有
	6.5	フルアジナム粉剤	有	14,526	62.1	93	有
	6.4	アミスルブロム粉剤	無	21,984	45.6	100	有

<sup>1</sup>収穫初日に最も多くの個数を収穫できた区を—とし、収穫初日の収穫個数が—の区の半分以下の場合、収穫遅れ有とした。

<sup>2</sup>この区のみ、転炉スラグに加えて消石灰を施用して土壌pHを矯正した。

病度が 20 以上となる場合があった。

### 考察及び当県ヘソディムマニュアルの作成

これまでに、キャベツ根こぶ病のヘソディムマニュアルは三重県、鹿児島県、熊本県で作成されている（鈴木ら 2015, 鹿児島県農業開発総合センター 2019, 熊本県農業研究センター生産環境研究所 2023）。これらの先行事例を参考に、本研究での調査結果より、図 10 のとおりほ場の発病ポテンシャル（キャベツ根こぶ病の発病しやすさ）評価表を作成した。この評価表を用いて診断項目のリスクレベルごとにリスク点数をつけ、その合計点数によりほ場の発病ポテンシャルのレベルを 4 段階で評価した。

診断項目は、前作（前年同作型）発病程度、セルトレイ検定、矯正前土壌 pH、周辺ほ場の発病の 4 項目とした。

これまでの根こぶ病ヘソディムマニュアルでは、休眠孢子密度を診断項目として採用している事例もある。しかし、診断項目として採用した場合、診断するほ場ごとに測定費用が 1 検体あたり 3,500～5,000 円程度必要となり、現時点では県内のヘソディムの普及の支障となると考えられたため、休眠孢子密度については診断項目から除外した。ただし、根こぶ病が出やすいと考えられる部分を調査区とした場合に休眠孢子密度と発病度に関連が認められたため、次年度の診断のための発病程度調査場所とセルトレイ検定に用いる土壌を採取する場所は、ほ場中で根こぶ病が出やすいと考えられる部分とした。

各診断項目のリスクレベルは以下のように設定した。

#### 【診断項目と診断基準ごとの点数】

診断項目	診断基準と点数					
	レベル1		レベル2		レベル3	
1 前作発病程度	発病なし	0	発病株率40%未満	2	発病株率40%以上	4
2 セルトレイ検定	発病なし	0	発病あり	4		
3 矯正前土壌pH	pH7.1以上	-5	pH6.6～7.0	0	pH6.5以下	1
4 周辺ほ場の発病	発病なし	0	自家他ほ場か隣のほ場で発病あり	2		

#### 【総合評価基準】

各診断項目の合計点数	0点以下	発病ポテンシャルレベル1
	1～3点	レベル2
	4～10点	レベル3
	11点	レベル4（しずはま1号作付け中止） →キャベツを栽培するなら根こぶ病耐病性・抵抗性品種作付け

図 10 ほ場の発病ポテンシャル評価表

#### 診断項目 1：前作発病程度

前作発病程度については、前年の発病度が 20 未満である場合、92%のほ場で当年発病度は収量に影響が出ると考えられる 44.6 未満に抑えられていた（表 4）。発病度は診断基準として生産現場で用いるには調査法が煩雑であることから、発病度を発病株率の調査で代替することとした。発病度 20 はおよそ発病株率 40% に相当する（図 4）ことから、レベル 1 を発病なし、レベル 2 を発病株率 40% 未満、レベル 3 を発病株率 40% 以上と設定し、病害発生に及ぼす影響の程度を勘案し、それぞれのリスク点数を 0, 2, 4 点とした。

#### 診断項目 2：セルトレイ検定

セルトレイ検定発病なしの場合であっても発病度が高くなるほ場はみられたものの、ほ場の発病はセルトレイ検定によって一定程度予測できると考えられた。また、前作の発病程度が農薬を使用した栽培や耐病性品種を用いた栽培での評価となる場合を含むのに対して、セルトレイ検定は農薬を使用していない状態での発病リスクを評価できる。セルトレイ検定で発病がない場合をレベル 1、ある場合をレベル 2 と設定し、病害発生に及ぼす影響の程度を勘案してそれぞれのリスク点数を 0, 4 点として、評価表に組み込んだ。

#### 診断項目 3：土壌 pH

土壌 pH については、今回の調査においても土壌 pH が高いほど発病度が低くなる傾向が見られた。土壌 pH 矯正前の pH が 4.5～5.0, 5.1～5.5, 5.6～6.0, 6.1～6.5 の範囲では、それぞれ、100%, 38%, 59%, 35% の調査区で発病度 20 以上となっていたが、土壌 pH6.6～7.0 では 8 割以上の調査区で、7.1 以上ではすべての調査区で、発病度 20 未満に抑えられていた（図 8）。これらの結果から、評価表ではレベル 1 を pH7.1 以上、レベル 2 を pH6.6～7.0、レベル 3 を pH6.5 以下と設定し、病害発生に及ぼす影響の程度を勘案し、それぞれのリスク点数を -5, 0, 1 点とした。

転炉スラグでの土壌 pH 矯正では、特に高 pH 帯で目標 pH に到達するまでに時間がかかり、緩衝の曲線



表8 ほ場の発病ポテンシャルレベル別の対策技術

技術項目	発病ポテンシャルレベル			
	1	2	3	4（‘しずはま1号’作付け中止）
土壌pH矯正（pH7.1以上）	◎（○） <sup>2</sup>	◎	◎	◎
アミスルブロム水和剤セルトレイ灌注 またはフルアジナム粉剤全面土壌混和		◎	◎	◎
農薬の圃場全面処理			◎	◎
抵抗性品種の導入			○	◎
圃場衛生	◎	◎	◎	◎
明渠・暗渠・耕盤破碎	◎	◎	◎	◎
おとり植物	○	○	○	○
輪作	○	○	○	○

<sup>2</sup>◎行う対策，○可能なら行う対策を，（ ）内は多品目栽培の場合を示す。

から算出した量を施用しても目標土壌 pH に到達しないことがあったため，転炉スラグ施用後は継続的に土壌 pH を測定し，目標に到達したか確認する必要がある。また，土壌 pH を矯正した当年は，定植前の土壌 pH が 6.9 以上に到達していても根こぶ病の発生が抑えられない傾向にあった（表 7，図 9）。同程度の休眠孢子密度の調査区を比較した場合，土壌改良前から土壌 pH6.9 以上となっていた調査区よりも，調査当年に土壌改良した調査区の方が発病度は高くなることが多く，土壌改良した当年は土壌 pH が pH6.9 以上に到達していない，または到達していても安定せず，発病度が高くなると考えられた。

#### 診断項目 4：周辺ほ場の発病

自家他ほ場・隣接ほ場のいずれにも発病がみられない場合，全ての調査区で発病は見られなかった（データ省略）。そのため，レベル 1 を発病がみられない，レベル 2 を自家他ほ場か隣接ほ場で発病あり，と設定し，それぞれのリスク点数を 0，2 点とした。

以上の各診断項目のリスク点数の合計点によってほ場の発病ポテンシャルレベルを，以下の 4 段階で区分することとした。すなわち，レベル 1 は農薬を使用せずに基本的なほ場衛生で病害管理が可能なレベル，レベル 2 は農薬を使用する必要はあるが，セルトレイへの灌注処理もしくはフルアジナム粉剤の全面土壌混和処理のみで病害管理が可能なレベル，レベル 3 はセルトレイ灌注処理と併せて土壌全面処理剤の使用が必要なレベル，レベル 4 はしずはま 1 号の作付けを中止すべきレベルとした。

次に，発病ポテンシャルに合わせた対策技術を表 8 に示す。どのレベルにおいても，土壌 pH 矯正（pH7.1 以上），ほ場衛生，明渠・暗渠・耕盤破碎（ほ場の排水性の改善）は必ず行うこととし，おとり植物の作付け，輪作については可能なら行うこととした。ただし，当県に多くみられる多品目栽培のほ場では，キャベツ以外の作付け品目により土壌 pH を 7.1 以上に上げられない場合が考えられるため，レベル 1 の土壌 pH 矯正については「可能なら行う対策」とした。レベル 2 の対策としては，上記対策に加えてアミスルブロム水和剤のセルトレイ灌注またはフルアジナム粉剤のほ場全面処理（地床育苗の場合）を挙げた。レベル 3 の対策としては，アミスルブロム水和剤のセルトレイ灌注と併せてキャベツ根こぶ病に登録のある薬剤の全面土壌混和処理を挙げたが，セルトレイ灌注の行えない地床育苗のほ場もあるため，抵抗性品種・耐病性品種の導入も「可能なら行う対策」として挙げた。レベル 4 は‘しずはま 1 号’を栽培するにはリスクが高すぎるため，‘しずはま 1 号’の作付けは中止し，キャベツを作付けるのであれば抵抗性品種もしくは耐病性品種を作付けることとした。

以上の評価表に基づくほ場の発病ポテンシャルのレベル分けと，発病ポテンシャルレベルごとの対策技術が妥当であるかを検証するため，収集した現地生産者ほ場のデータを用いて各調査区の発病ポテンシャルを診断・評価し，その評価結果と実際に行われた対策技術のレベルごとの発病状況を表 9 に示す。対策技術のレベルは，表 8 の技術項目の農薬の使用方法に基づいて分類した（レベル 1：農薬使用無し，レベル 2：ア

表9 作成した評価表による各ほ場調査区の発病ポテンシャル診断結果と実施した対策技術のレベルごとの発病状況

診断 発病 ポテンシャル	調査 区数	実施した対策		発病度別調査区数			
		レベル <sup>1)</sup>	調査 区数	0	0~5 未満	5~20 未満	20 以上
レベル1	21	1	8	7		1	
		2	7	7			
		3	6	6			
レベル2	57	1	7	2 <sup>2)</sup>	2	2	1
		2	23	14	5	2	2
		3	27	20	6		1
レベル3	72	1	6	1		2	3
		2	13	1		3	9
		3	53	17	10	12	14
レベル4 (‘しずはま1号’ 作付け中止)	26		26				26

<sup>1)</sup>網掛けは、発病ポテンシャルの評価に応じた対策が不適当と考えられる調査区を示す。

<sup>2)</sup>対策レベルについては、発病ポテンシャルレベルに応じた対策のすべてを行ったかどうかは問わず、表6技術項目の農業の使用方法により分類した（レベル1：農業使用無し、レベル2：アミスルブROM水和剤セルトレイ灌注もしくはフルアジナム粉剤の全面土壌混和、レベル3：フルアジナム粉剤以外の農業の全面土壌混和）

ミスルブROM水和剤セルトレイ灌注もしくはフルアジナム粉剤の全面土壌混和、レベル3：フルアジナム粉剤以外の農業の全面土壌混和）。ほ場の発病度が、翌年収量に影響が出る可能性が高いと考えられる20以上となった場合を防除失敗とみなし、発病ポテンシャルレベルに見合った対策、またはレベルよりも過剰な対策が行われた場合に防除失敗となった調査区と、対策が過少であっても発病がみられなかった調査区を「発病ポテンシャルの評価または評価に応じた対策が不適当であった」とした。この不適当であった調査区は176区中21区であり、残りの176区中155区(88%)の調査区の評価と対策は妥当であったと判断された。

以上の検証結果を踏まえ、上述の評価表と発病ポテンシャルレベルごとの対策技術の解説に加えて、セルトレイ検定の方法や土壌採取方法等の実際の手法の解説を盛り込み、キャベツ根こぶ病に対する神奈川県版ヘソディムマニュアルを作成した。

この5年間の調査結果によると、定植日直近の土壌pH矯正資材投入前に土壌pHが6.9以上であれば、土壌中の休眠孢子密度(0~30,000個/乾土gの範囲)、農業使用の有無、使用農業の種類に関わらず発病度は20以下に抑えられており、最も効果的な対策は土壌pHの矯正であったと考えられる。

しかし、神奈川県内のキャベツ生産ほ場において、

土壌pHを7.1以上に上げる対策を広く普及するには、検討すべき課題がある。1つ目は、土壌pHを7.1以上に上げる際の石灰質資材の投入量の決定方法および施肥の処方箋作成方法である。現在生産者が土壌pH7.1以上への矯正を希望する場合、石灰質資材の投入量については当センターではほ場ごとに土壌の緩衝能曲線を作成し決定しているため、多大な労力を要し、多くのほ場に対応できない。また、神奈川県では、作目ごとに土壌診断基準値を設定しており(神奈川県2023)、これに基づき土壌分析値から次作の施肥の処方箋を作成する土壌診断プログラム(佐藤ら2010)を使用しているが、現在高pHのほ場に対応していない。そのため高pHほ場での処方箋作成および資材の投入量が決定できるよう、県内のキャベツ生産ほ場に多い数種類の黒ボク土壌のpH緩衝能曲線を作成するとともに、高pHほ場に対応した土壌診断プログラムの改良を行うことが必要である。2つ目は、土壌を高pHにした場合の微量元素欠乏の有無や土壌pHの上限値について検討が不十分な点である。転炉スラグの施用は、微量元素欠乏を防ぎつつ土壌を高pHにできる利点があるとされ、過去の知見では転炉スラグを用いてpH7.2に調整した黒ボク土壌でコマツナを栽培しても、微量元素欠乏は起きなかったとされている(後藤・村上2006)。しかし、転炉スラグを用いてpH7.1に調整した当センターの黒ボク土壌のほ場では、キャベツ・コマツナの収量には影響は無かったが、コマツナ植物体中のMn含有量が低下傾向にあった(田中ら2022)。このため、微量元素欠乏のリスクについてはさらなる調査が必要である。また、横浜・藤沢地域でキャベツの裏作に栽培されている主な品目についても、微量元素欠乏の有無を検討する必要がある。これらの課題を解決することで、pH7.1以上の土壌pH矯正に各生産者が取り組みやすくなると考えられる。

さらに、今回調査したほ場の多くでは、毎年プラソイラーを用いた耕盤破碎を行って排水性を改善するなど、根こぶ病に対する基本的な対策が取られていたが、極端に排水性が悪い等状況が異なる場合は、作成したヘソディムマニュアルが適用できない可能性があるとともに、今後根こぶ病に対する新しい防除技術が出てくる可能性もある。これらの課題に対応するためには、

現地でマニュアルを活用する際に、診断結果と実際に行われた防除対策を記録するとともに発病の程度を調査し、それらを踏まえて今回作成したマニュアルの診断項目の内容や防除技術を対象ほ場ごとに必要に応じて臨機に改変し、その改変マニュアルの検証およびバージョンアップを継続的に行うことで対象ほ場に最適なマニュアルに仕上げていくことが重要である。

## 引用文献

- 福代知子. 1983. アブラナ科野菜根こぶ病の発生と土壌反応との関係. 近畿中国農業研究. 65 : 48-52
- 後藤逸男・村上圭一. 2006. おもしろ生態とかしこい防ぎ方 根こぶ病—土壌病害から見直す土づくり. p.77-84. 農文協. 東京.
- 平沢文人・武田和男・鎌田嘉孝. 1983. 高冷地におけるハクサイ根こぶ病の総合防除に関する実証的研究 (4). 長野県野菜花き試験場報告. 3 : 107-114
- 鹿児島県農業開発総合センター. 2019. キャベツ根こぶ病の発病レベルに応じた総合防除対策マニュアル [https://www.pref.kagoshima.jp/ag11/pop-tech/nenndo/documents/81833\\_20200611095436-1.pdf](https://www.pref.kagoshima.jp/ag11/pop-tech/nenndo/documents/81833_20200611095436-1.pdf)
- 神奈川県. 2023. 神奈川県作物別施肥基準(令和4年度版) [http://www.pref.kanagawa.jp/documents/30821/sehikijun\\_r4\\_all.pdf](http://www.pref.kanagawa.jp/documents/30821/sehikijun_r4_all.pdf)
- 熊本県農業研究センター生産環境研究所. 2023. 発病リスク診断に基づく「キャベツ根こぶ病」防除マニュアル (冬春キャベツ). <https://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/attachment/224192.pdf>
- 三浦半島農業改良推進協議会. 2016. 三浦版根こぶ病対策マニュアル (平成28年改訂版).
- 村上圭一・篠田英史・中村文子・後藤逸男. 2004. アブラナ科野菜根こぶ病の発病に及ぼす土壌の種類とpHの影響. 日本土壌肥科学雑誌. 75(3) : 339-345.
- 内記隆. 1987. アブラナ科野菜根こぶ病菌の生活環からみた防除視点. 土と微生物. 29 : 25-39.
- 農業環境技術研究所. 2013. 次世代土壌病害診断 (ヘソディム) マニュアル. <https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/hesodim/?20160218>
- 農業環境技術研究所. 2016. 土壌消毒剤低減のためのヘソディムマニュアル. <https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/hesodim2/#mokuji1>
- 佐藤忠恭・室井義広・岡本保. 2010. CSV形式でデータを蓄積する土壌診断プログラム及び肥料コストを比較できる施肥設計プログラムの開発. 神奈川県農業技術センター研究報告. 153 : 1-9.
- 鈴木啓史・辻朋子・黒田克利. 2015. キャベツ根こぶ病の発病ポテンシャルの評価とそれに応じた殺菌剤による防除. 植物防疫. 69 (10) : 634-639.
- 田村實. 1974. ハクサイ根こぶ病に関する研究 第1報 発病と日長の関係. 石川県農業試験場研究報告. 8 : 31-36.
- 田中暢・上山紀代美・岡本昌広・島田涼子. 2022. キャベツ根こぶ病防除に対応した土壌診断基準値の設定と検証. 神奈川県農業技術センター令和3年度試験研究成績書 (生産環境). 17 : 1-4.
- 田中秀平. 1996. アブラナ科植物根こぶ病研究の最近の進歩. 植物防疫. 50 (7) : 281-284.
- Tsushima and Yoshida. 2012. FFTC-UTA International Seminar (Program and Papers). p.204.
- 吉本均・前田和也. 2001. セルトレイ底面給液によるハクサイ根こぶ病菌の菌密度及び病原性の簡易生物検定法. 和歌山農林水技セ研報. 2 : 143-148