

ブロッコリー根こぶ病に対する消石灰による防除効果と植物体に与える影響

誌名	土と微生物
ISSN	09122184
著者名	中西,充 森,充隆
発行元	土壤微生物研究会
巻/号	71巻1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 13-17
発行年月	2017年4月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



原著論文

ブロッコリー根こぶ病に対する消石灰による防除効果と植物体に与える影響

中西 充^{1*}・森 充隆¹

¹香川県農業試験場, 〒761-2306 香川県綾歌郡綾川町北 1534-1

Effect of slaked lime on controlling clubroot of broccoli and its influence on the plant growth

Mitsuru Nakanishi^{1*} and Mitsutaka Mori¹

¹The Kagawa Prefecture Agricultural Experiment Station, 1534-1, Kita, Ayagawa-cho Ayauta-gun, Kagawa 761-2306, Japan

Abstract: The application of slaked lime is expected to increase soil pH. In this study, we examined the effect of slaked lime on clubroot of broccoli and its influence on the plant growth. We also investigated the chemical properties of the soil and micronutrient contents in the plant. Application of 400–500 kg/10 a to gray lowland soil, which is the major soil type in the Kagawa Prefecture, resulted in maintaining a stable yield of broccoli, and in suppressing clubroot development without showing micronutrient deficiencies. We found that the slaked lime application by combining Amisulbrom wettable powder treatment in nursery boxes was practically effective on controlling the disease in the severely infested field. However, micronutrient contents in broccoli tended to decrease due to the increase of insoluble forms of micronutrients, suggesting that micronutrient deficiencies may occur after applying slaked lime in fields.

Key words: clubroot, broccoli, slaked lime

1. はじめに

難防除土壌伝染性病害のアブラナ科野菜根こぶ病は、連作障害の一種として、生産性の低下や作付けの自由度の低下をもたらし、特に抵抗性品種の少ないブロッコリーの産地では、大きな障害となっている（農林水産省野菜試, 1984;岩波ら, 1993）。一方、根こぶ病は、pH(H₂O)（以下、pH）7.0～7.2以上で発病が抑制的になるとされている（村上ら, 2004b; Donald and Porter, 2009）。しかし、pHが高くなると、一般的に微量元素欠乏の発生が懸念される（渡辺, 1986）。これまで、転炉スラグの施用により、根こぶ病の発病を抑制しつつ、微量元素欠乏の発生も回避できることが明らかとされた（村上ら, 2004a）。しかし、処理量が2～5 t/10 aと多く、処理に手間がかかること、経費が8～20万円/10 aと高額であることから普及が進んでいない。そこで、灰色低地土の転換畑を対象に、処理量400～500 kg/10 a、経費約1.6～2万円/10 aで、土壌酸性矯正が見込める消石灰の施用によるブロッコリー根こぶ病の発病抑制効果を調査した。また、高pHによる微量元素欠乏の発生が懸念されるので（渡辺, 1986）、ブロッコリーの生育への影響、ならびに、土壌化学性およびブロッコリー植物体中の微量元素含有率について調査した。

なお、本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発」の成果である。

2. 材料および方法

1) 試験ほ場および耕種概要

①試験1

香川県まんのう町吉野下の礫質灰色低地土の根こぶ病発生ほ場で試験を行った（面積1450 m²）。前年のブロッコリー作付け前の土壌化学性は、表1に示した。前年度の根こぶ病発病度は29.3であった。220穴セルトレイに、育苗培土「苗土くん」を充填し、2013年8月20日に「サマードーム」を播種し、雨よけハウス内で31日間育苗した。施肥は、ゆるやか（N-P-K-Mg-B:18-10-12-0.5-0.2）を、基肥として、2013年9月15日に、100 kg/10 a全面施用した。また、追肥として、10月23日に、100 kg/10 a株元施用した。基肥施用後、ロータリーで作土約10 cmと混和した。その後、畝幅140 cmで整地した後、2013年9月20日に定植した（株間30 cm, 条間40 cmの2条植え, 栽植密度4.76株/m²）。2014年1月10日に収穫した。

②試験2

香川県多度津町青木の細粒灰色低地土の根こぶ病発生ほ場で試験を行った（面積700 m²）。前年のブロッコリー作付け前の土壌化学性は、表1に示した。前年度の根こぶ病発病度

2016年5月9日受付 2016年12月2日受理

* Corresponding author.

E-mail: wk6591@pref.kagawa.lg.jp

は 50.3 であった。220 穴セルトレイに、育苗培土「苗土くん」を充填し、2013 年 7 月 23 日に「サマードーム」を播種し、雨よけハウス内で 38～46 日間育苗した。施肥は、基肥として、葉物専用 280 (N-P-K-Mg-B:12-8-10-2-0.2) を、2013 年 8 月 22 日に、80 kg/10 a 全面施用した。また、追肥として、硫酸アンモニウムを、2013 年 9 月 13 日に、30 kg/10 a、追肥一番 (N-P-K:16-10-12) を、2013 年 9 月 30 日に、40 kg/10 a 株元施用した。基肥施用後、ロータリーで作土約 10 cm と混和した。その後、畝幅 140 cm で整地した後、2013 年 8 月 30 日～9 月 7 日に定植した (株間 30 cm, 条間 40 cm の 2 条植え, 栽植密度 4.76 株/m²)。2013 年 11 月 21 日～12 月 10 日に収穫した。

2) 処理方法

①試験 1

試験区として、消石灰を 2013 年 9 月 14 日に 500 kg/10 a 全面施用した。処理量は、pH 8 を目標に緩衝曲線法 (土壤環境分析法, 1997) に準じて算出した。施用後、ロータリーで作土約 10 cm と混和した。対照区として、フルアジナム 0.5% 粉剤を 2013 年 9 月 20 日に 20 kg/10 a 全面施用した。施用後、ロータリーで作土約 10 cm と混和した (表 2)。また、無処

理区を設けた。各区とも 37.8 m² (180 株) を 3 反復配置した。

②試験 2

試験区として、消石灰を 2013 年 7 月 26 日に 10 a 当たり 400 kg 全面施用した。処理量は、pH 8 を目標に緩衝曲線法に準じて算出した。施用後、ロータリーで作土約 10 cm と混和した。試験区および対照区ともに、定植当日にアミスプロム 50% 水和剤の 200 倍希釈液を、育苗箱 1 枚当たり 500 ml かん注処理した (表 3)。各区とも 37.8 m² (180 株) を 3 反復配置した。

3) 調査およびサンプリング年月日

①試験 1

土壌は、2013 年 9 月 19 日、10 月 4 日、10 月 23 日、11 月 22 日、12 月 10 日、2014 年 1 月 10 日に、植物体は、2014 年 1 月 10 日に採取した。根こぶ病発病度は、2014 年 1 月 10 日に調査した。

②試験 2

土壌は、2013 年 8 月 2 日、9 月 9 日、10 月 2 日、10 月 28 日、11 月 22 日に採取した。根こぶ病発病度は、2013 年 12 月 19 日に調査した。

表 1 試験ほ場の土壌化学性

	pH	全炭素 (%)	全窒素 (%)	CEC (cmol _c /kg)	可給態リン酸 (P ₂ O ₅ , mg/100 g)	交換性カリウム (K ₂ O, mg/100 g)	交換性カルシウム (CaO, mg/100 g)	交換性マグネシウム (MgO, mg/100 g)
試験 1 ほ場	5.4	1.84	0.19	8.65	33	31	201	16
試験 2 ほ場	6.1	1.65	0.21	10.32	60	43	262	49

1) 土壌採取日: 試験 1 ほ場は、2012 年 9 月 20 日、試験 2 ほ場は、2012 年 9 月 13 日。

2) 調査方法は、5) 調査方法のとおり。

表 2 試験 1 の処理方法

区	資材	処理量	処理日
試験区	消石灰	500 kg/10 a ¹⁾	2013 年 9 月 14 日
対照区	フルアジナム 0.5% 粉剤 (フロンサイド粉剤)	20 kg/10 a	2013 年 9 月 20 日 (定植日)
無処理区	-	-	-

1): 処理量は、pH 8 を目標に、緩衝曲線法 (土壤環境分析法 (1997)) に準じて算出した。

表 3 試験 2 の処理方法

区	資材	処理量	処理日
試験区	消石灰	400 kg/10 a ¹⁾	2013 年 7 月 26 日
試験区	アミスプロム 50% 水和剤 (オラクル顆粒水和剤)	200 倍, 500 mL/箱	2013 年 8 月 30 日～9 月 7 日 (定植日)
対照区	アミスプロム 50% 水和剤 (オラクル顆粒水和剤)	200 倍, 500 mL/箱	2013 年 8 月 30 日～9 月 7 日 (定植日)

1): 処理量は、pH 8 を目標に、緩衝曲線法 (土壤環境分析法 (1997)) に準じて算出した。

4) 調査項目

①試験1

植物体は、試験区と対照区を対象に、花蕾重量、花蕾および茎葉部中の窒素、リン酸、カリウム、カルシウム、マグネシウム、鉄、マンガン、亜鉛、ホウ素を調査した。根こぶ病発病度は、全区で調査した。土壌は、試験区と対照区を対象に、2014年1月10日に採取した土壌のみ、pH、交換性塩基(カリウム、カルシウム、マグネシウム)、DTPA抽出鉄、マンガン、亜鉛、銅を調査した。2013年9月19日から12月10日に採取した土壌は、試験区を対象に、pHのみ調査した。

②試験2

植物体は、両区の根こぶ病発病度を調査した。土壌は、試験区のpHを調査した。

5) 調査方法

根こぶ病発病度は、森ら(2014)の方法で、連続する20株を1反復につき1カ所調査した。調査方法は、発病程度0:根こぶの着生なし、1:根系の25%未満に根こぶあり、2:根系の25%以上50%未満に根こぶあり、3:根系の50%以上に根こぶがあり、かつ、直径0.5mm以上の根数が8本以上あり、4:根系の50%以上に根こぶあり、かつ、直径0.5mm以上の根数が8本未満、5:セル苗根鉢部分全体が根こぶとなり、かつ、根がない別に調査し、発病程度×発病程度別株数の合計値/5×調査株数×100で発病度を算出した。花蕾重量は、発病度調査と同じ株を調査した。

化学分析に供試した植物体は、発病度を調査した株から3個体を抽出し、個体ごとに分析に供試した。分析方法は、水野ら(1980)の方法および土壌、水質及び植物体分析法(日本土壌協会, 2001)に準じて分析した。

土壌は、表層を除いた後、畝上部から深さ約10cmまでを、対角線採土法(土壌環境分析法編集委員会, 1997)に準じて、区ごとに15カ所から1カ所当たり約200g採取し混合した後、風乾し2mmの篩に通したものを分析に供試した。pH、全炭素、全窒素、可給態リン酸、交換性塩基は土壌環境分析法(1997)、CECは土壌物理環境測定法(1995)、DTPA抽出鉄、マンガン、亜鉛、銅はSparks *et al.* (1996)に準じて分析した。

3. 結果および考察

試験1において、根こぶ病発病度は、試験区41.7、対照区22.0、無処理区73.0であり、Kruskal-Wallis検定の結果、 $P < 0.05$ で有意差はなかったが、発病度からもとめた防除価は試験区43、対照区70であり、難防除土壌伝染性病害の根こぶ病の防除方法として、消石灰による土壌酸性矯正は有効であると考えられた(図1)。また、試験区のpHは、酸性改良目標のpH8を下回るときもあったが、7.4~8.1の範囲であった(図2)。一般的に、アブラナ科野菜根こぶ病は、pH7.2以上で発病が抑制的になるとされている(Donald and Porter, 2009)。また、灰色低地土は発病しやすい土壌の一つであり、発病を抑制するためには、少なくともpH7.0以上

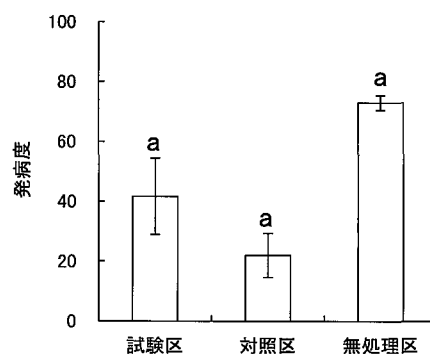


図1 消石灰処理によるブロッコリー根こぶ病の防除効果(試験1) エラーバーは標準誤差を示し、同一英字文字間は Kruskal-Wallis 検定法 ($P < 0.05$) で有意差がないことを示す。

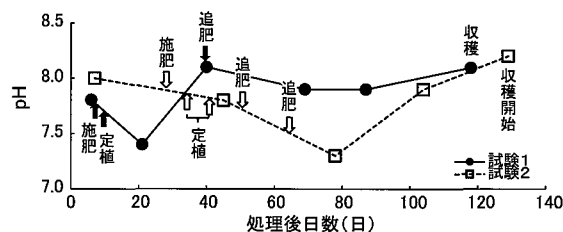


図2 消石灰処理による土壌pHの推移

に高める必要がある(村上ら, 2004b)。さらに、石灰質資材の施用による土壌の酸性改良により発病度を低減可能であるとの報告がある(Murakami *et al.*, 2002)。一方、消石灰単用では、薬剤防除より防除効果が劣る(小出ら, 1984; 田村・竹谷, 1977)。しかし、この場合、pH7以上を収穫時まで維持することができずに、発病を抑制できていないと考えられる。今回は、pHが生育期間を通じてpH7以上であったことにより(図2)、根こぶ病の発病が、無処理と比較すると発病が軽減される傾向があった。

次に、植物体中の成分含有率は、消石灰施用により、花蕾のカルシウム含有率は試験区が対照区より大きくなったが、その他の要素は、ホウ素以外で試験区が対照区より低くなる傾向があり、特に微量元素でその傾向が顕著であった(図3~6)。土壌中の交換性塩基含量の内、カルシウム含量が、対照区131.7mg/100gであったの対して、試験区503.8mg/100gと大きくなっており(表4)、消石灰施用により土壌中のカルシウム含量が大きくなり、植物体中のカルシウム含有率が高くなったと考えられる。また、土壌中の微量元素含量は、試験区が対照区より小さかった(表4)。これは、消石灰処理によりpHが高くなった結果、微量元素が不溶化したことによつて(渡辺, 1986)、微量元素含量が小さくなったと考えられる。その結果、植物体中の微量元素含有率が低下したと考えられた。ただし、ホウ素については、ホウ素を含む肥料を施用したため、含有率が同程度であったと考えられた。しかし、花蕾重量は、試験区と対照区で同等であり、分散分析の結果、 $P < 0.05$ で区間に有意差は認められなかった(図7)。また、微量元素欠乏によると思われる肉眼的な症状の発生も見られなかった。

次に、試験2において、根こぶ病発病度は、試験区33.0、

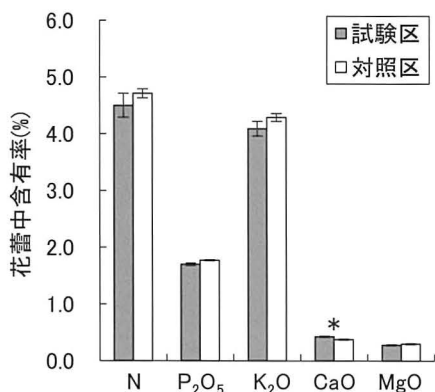


図3 試験1における消石灰処理による花蕾中多量要素含有率
エラーバーは標準誤差を示す。
統計解析は、t検定を行い、*は有意差があることを示す (P<0.05)。

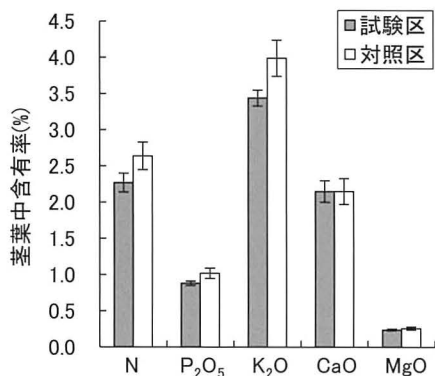


図4 試験1における消石灰処理による茎葉中多量要素含有率
エラーバーは標準誤差を示す。
統計解析は、t検定を行い (P<0.05)、有意差はなし。

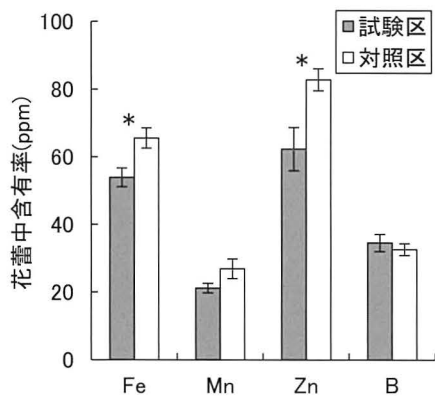


図5 試験1における消石灰処理による花蕾中微量元素含有率
エラーバーは標準誤差を示す。
統計解析は、t検定を行い、*は有意差があることを示す (P<0.05)。

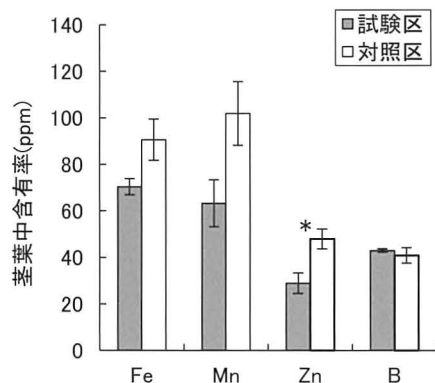


図6 試験1における消石灰処理による茎葉中微量元素含有率
エラーバーは標準誤差を示す。
統計解析は、t検定を行い、*は有意差があることを示す (P<0.05)。

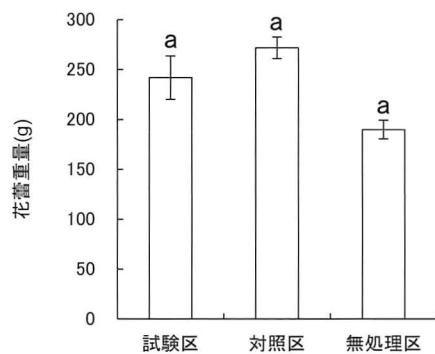


図7 試験1における消石灰処理による花蕾収量
エラーバーは標準誤差を示す。
同一英文字間は Tukey の方法による多重比較 (P<0.05) で有意差がないことを示す。

表4 試験1ほ場における消石灰処理による土壌化学性

	pH	交換性カリウム (K ₂ O, mg/100 g)	交換性カルシウム (CaO, mg/100 g)	交換性マグネシウム (MgO, mg/100 g)	DTPA 抽出 (mg/kg)			
					Fe	Mn	Zn	Cu
試験区	8.1	37.0	503.8	23.1	93.1	4.5	2.4	1.8
対照区	5.5	35.6	131.7	19.6	189.6	25.8	5.0	2.0

対照区 72.7 であり、Mann-Whitney の U 検定の結果、P<0.05 で有意差を認めた (図 8)。また、試験 1 と同様に試験区の pH は、酸性改良目標の pH 8 を下回るときもあったが、7.3 ~ 8.2 の範囲であり (図 2)、発病を抑制するために必要な pH 7.2 以上を確保できていた。これまで、土壌改良資材と農薬の併用により、特に、汚染程度の高いほ場において、根こぶ病に対して高い防除効果が示されてきた (小出ら, 1984; 田村ら, 1977)。試験 2 のほ場は、前年度の発病度が 50.3 と激発ほ場であったため、農薬の処理単用より、消石灰処理による土壌の酸性改良と農薬の併用が、高い防除効果を示したと考えられた。

なお、生産者の聞き取りでは、平年並みの収量を確保できていた。

以上より、1 ほ場当たり 1 作のみであるが、香川県の主要な土壌である灰色低地土において、消石灰の 400 ~ 500 kg/10 a

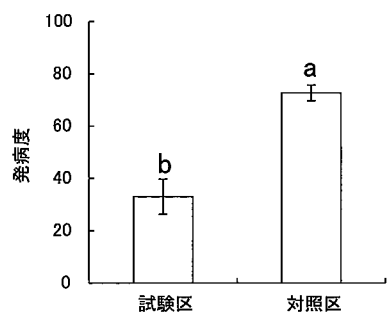


図8 消石灰処理によるブロッコリー根こぶ病の防除効果(試験2) エラーバーは標準誤差を示し、同一英字文字間には Mann-Whitney の U 検定法 ($P < 0.05$) で有意差がないことを示す。

処理は、栽培期間を通して土壌 pH 7.0 以上に高め、本病の防除に利用できると考えられた。特に、アミスルブロム水和剤の育苗箱へのかん注処理と組み合わせることで、多発生ほ場においても実用的な防除効果が期待できる。

他の石灰質資材としては、炭酸カルシウム、苦土石灰、生石灰が、一般的である。炭酸カルシウムの場合、発病を抑制する効果があったものの (Campbell *et al.*, 1985), 1 t/10 a 以上の施用でも pH 7 程度であり、灰色低地土への適応を考えると、生育後半まで pH 7 以上を維持することが難しいと考えられる。苦土石灰の場合、1 t/10 a 施用しても pH 6.6 であり、防除効果も低かった (未発表)。生石灰の場合、10 a 当たり 300 kg の施用で、pH 8.4 まで高めることができ、防除効果も認められている (塚本, 2008)。しかし、生石灰は水と反応し、発熱・膨張する性質を持っているので、管理面での欠点がある。さらに、転炉スラグについては、微量元素欠乏発生の懸念はないものの、処理量が 2 ~ 5 t/10 a と多く、処理に手間がかかり、経費が 8 ~ 20 万円/10 a と高額である。

消石灰施用による根こぶ病防除を他のほ場へ適応する場合には、ほ場によって処理前の pH が異なること、また、同じ処理量でも処理後の pH が異なる場合があることから、あらかじめ pH を測定するとともに、緩衝曲線法により、処理量を算出する必要がある。さらに、消石灰の高 pH を維持する能力は不明であるので、毎年、pH を確認する必要がある。一方、pH が上昇することにより、土壌中の可給態の微量元素の量が低下する (渡辺, 1986)。しかし、ほ場ごとの微量元素含有量が不明であること、また、微量元素欠乏の発生を判断する基準は設定できていないので、使用する際には、微量元素資材を施用することを個別に判断する場合があると思われる。また、水稻作付けを行う予定のほ場や湛水処理する予定のほ場は、水稻の品質低下や pH 低下の可能性があるので (未発表)、使用しないことが望ましい。

要 旨

pH を高める効果が見込める消石灰施用によるブロッコリー根こぶ病の発病抑制効果とブロッコリーの生育への影響ならびに、土壌化学性およびブロッコリー植物体中の微量元素含有率について調査した。その結果、香川県の主要な土壌である灰色低地土において、処理量 400 ~ 500 kg/10 a で、一

定の収量を確保しながら、根こぶ病の発病を抑制する傾向が得られ、アミスルブロム水和剤の育苗箱かん注処理と組み合わせることで、多発生ほ場において実用的な防除効果が認められた。一方、土壌中の微量元素が不溶化し、ブロッコリー中の含有率が低下する傾向が認められたので、栽培ほ場への適応を考慮した場合に、微量元素欠乏が発生する可能性があると思われた。

引用文献

- Campbell RN, Greathead AS, Myers DF, de Boer GJ (1985) Factors related to control of clubroot of crucifers in the Salinas Valley of California. *Phytopathology*, **75**, 665-670
- 土壤環境分析法編集委員会 (1997) 土壤環境分析法, pp. 195-269, 博友社, 東京
- Donald C, Porter I (2009) Integrated control of clubroot. *J. Plant Growth Regul.*, **28**, 289-303
- 岩波 壽・井上昭司・野口正樹 (1993) 近畿中国地域におけるアブラナ科野菜根こぶ病の発生実態と防除対策の現状, 中国農研資料, **21**, 133-159
- 小出仁士・加藤喜重郎・宮川壽之・廣田耕作・伊藤克己・菅原真治・木下忠孝 (1984) ハクサイ根こぶ病に対する薬剤, 土壌改良資材等の単用及び組合せによる防除効果, 愛知農総研報, **16**, 202-210
- 水野直治・南 松雄 (1980) 硫酸一過酸化水素による農作物中 N, K, Mg, Ca, Fe, Mn 定量のための迅速前処理法, 土肥誌, **51**, 418-420
- 森 充隆・山浦浩二・中西 充 (2014) ブロッコリー根こぶ病に対する定植前の土壌混和殺菌剤の効果的処理方法とそれに適応した処理同時攪拌機の開発, 香川農試研報, **64**, 39-44
- Murakami H, Tsushima S, Kuroyanagi Y, Shishido Y (2002) Reduction of resting spore density of *Plasmodiophora brassicae* and clubroot disease severity by liming. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **48**, 685-691
- 村上圭一・篠田英史・丸田里江・後藤逸男 (2004a) 転炉スラグによるブロッコリー根こぶ病の防除対策, 土肥誌, **75**, 53-58
- 村上圭一・篠田英史・中村文子・後藤逸男 (2004b) 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, 土肥誌, **75**, 339-345
- 中野政詩・宮崎 毅・塩沢 昌・西村 拓 (1995) 土壌物理環境測定法, pp. 148-151, 東京大学出版会, 東京
- 日本土壌協会 (2001) 土壌, 水質及び植物体分析法, pp. 250-269, 財団法人日本土壌協会, 東京
- 農林水産省野菜試験場 (1984) 最近における野菜・花きの連作障害の実態, 野菜試研究資料, **18**, 195
- Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner ME (1996) Methods of soil analysis, Part 3-chemical methods. pp. 656-657, Soil Science Society of America, Inc., Madison, USA
- 田村 實・竹谷宏二 (1977) 石川県におけるハクサイ根こぶ病の生態と防除に関する研究, 石川県農試研報, **9**, 1-26
- 塚本昇市 (2008) おとり作物と土壌 pH 矯正によるブロッコリーの根こぶ病防除技術, 石川県農試研報, **28**, 1-6
- 渡辺和彦 (1986) 原色 生理障害の診断法, pp. 163-183, 社団法人農山漁村文化協会, 東京