

《短 報》

ホウレンソウのカドミウム吸収抑制に効果的な石灰質資材の施用方法

杉沼千恵子\*

Effective Application Techniques of Liming Materials  
to Suppress Cadmium Absorption of Spinach

Chieko SUGINUMA

重金属の一種であるカドミウムは、自然界に広く分布しており、飲料水や食物などを通じて人体に取り込まれる。カドミウム濃度が高い食品を長年にわたり摂取すると、腎機能障害を引き起こす可能性がある。

食品中のカドミウム濃度については、国際基準値がコーデックス委員会総会において採択されている(2005年, 2006年)。コーデックス委員会で採択された野菜類の国際基準値は0.2~0.05ppmで、コメ(0.4ppm)よりも低い基準値が設定されており、農林水産省が行った日本国内産農畜水産物の実態調査(1997~2002年)の結果では、ホウレンソウ等で国際基準値を超過する例がみられている。

日本国内では、2011年2月末日に、食品衛生法に基づくコメの基準値が1.0ppm未満から0.4ppm以下(玄米, 精米)に引き下げられた。なお、野菜等、コメ以外の品目については基準値は設けられていないが、今後の農産物のカドミウム濃度低減対策および含有実態調査の実施状況により、必要に応じて基準の設定を検討するとされている。

筆者らは、これまで、本県主要農産物であるホウレンソウのカドミウム吸収抑制技術について研究を行ってきており(杉沼ら, 2005)、石灰質資材施用による土壌pHの上昇がホウレンソウのカドミウム吸収を抑制することを確認している。しかし、石灰質資材施用の効果が十分でないほ場もみられた。

そこで、本研究では、石灰質資材施用効果の得られにくいほ場について、その土壌の特性把握および、

そのようなほ場でのホウレンソウのカドミウム吸収抑制技術の検討を行ってきた。ここでは、カドミウム吸収抑制に効果的な石灰質資材施用技術について検討した結果を報告する。

材料および方法

1 試験場所・土壌条件

埼玉県農林総合研究センター水田農業研究所内の露地畑ほ場において実施した。これまでの研究で、本ほ場は、石灰質資材施用効果が得られにくく、ホウレンソウのカドミウム濃度が高まりやすいほ場であることがわかっている。供試ほ場の土壌の種類は細粒褐色低地土で、作付け前土壌の0.1N塩酸抽出カドミウム濃度は0.11mg/kg乾土、pH(H<sub>2</sub>O)は2012年作では5.72、2013年作では5.75である。

2 試験区の構成

(1) 2012年作

矯正目標の土壌pHを6.5とし、必要な石灰質資材施用量を、溶媒として蒸留水を用いて作成した緩衝曲線(図3)により算出した。資材には、粒状の苦土石灰と粉状の苦土石灰を用い、は種直前に施用した(施用量105g/m<sup>2</sup>=必要な炭酸カルシウムの量: 5.15mg/10g×施用する土壌深度20cm×苦土石灰(アルカリ分55%)への換算係数1.02)。対照区として、石灰資材無施用区を設けた。試験区の規模は3m<sup>2</sup>/区、3連制とした。

\*農産物安全・土壌担当(現 生産環境・安全管理研究担当)

## (2) 2013 年作

目標の土壌 pH を 6.5 とし、必要な石灰質資材施用量を、溶媒として 1mM 硝酸カルシウム溶液を用いて作成した緩衝曲線（図 3）により算出した。資材には、粒状の苦土石灰と粉状の苦土石灰を用いた（施用量 158g/m<sup>2</sup>=必要な炭酸カルシウムの量：77.5mg/10g×施用する土壌深度 20cm×苦土石灰（アルカリ分 55%）への換算係数 1.02）。粉状苦土石灰は、は種直前に、粒状苦土石灰は、は種 1 か月前に施用した。対照区として、石灰資材無施用区を設けた。試験区の規模は 3m<sup>2</sup>/区、3 連制とした

## 3 耕種概要

### (1) 2012 年作

品種は‘サンピア’および‘アステアセブン’を供試した。は種は 10 月 17 日、収穫は 12 月 26 日（‘サンピア’）および、2013 年 1 月 7 日（‘アステアセブン’）に行った。栽植密度は、ベット幅 1m で、6 条、株間 15cm のマルチ栽培とした。施肥設計は、高度化成肥料を N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=20:20:16g/m<sup>2</sup> となるよう基肥で施用した。

### (2) 2013 年作

品種は‘サンピア’および‘アステアセブン’を供試した。は種は 10 月 9 日、収穫は 12 月 9 日（‘サンピア’）および、26 日（‘アステアセブン’）に行った。栽植密度は、ベット幅 1m で、6 条、株間 15cm のマルチ栽培とした。施肥設計は高度化成肥料を N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O =20:20:16g/m<sup>2</sup> となるよう基肥で施用した。

## 4 分析方法

### (1) 土壌 pH

ホウレンソウ栽培期間中、約 10 日毎に作土（深さ 5~10cm）を 5 か所/区サンプリングし、pH(H<sub>2</sub>O)を測定し、推移を調査した。

### (2) 植物体

草丈 25cm を基準に 4 株/箇所、20 箇所/区をサンプリングし、根部および黄化した外葉を除去後、株重、草丈、葉枚数、最大葉縦横長、葉色を調査した。そのうち 10 箇所分の植物体を通風乾燥機で風乾した。乾物重を秤量後、粉碎し、分析に供した。

可食部カドミウム濃度は各粉碎試料 0.5g に硝酸（電子工業用）を 10ml 添加し、マイクロウェーブ分解装置で分解、50ml に定容後、その液のカドミウムをフレイムレス原子吸光分光光度計で定量した。フレイムレス原子吸光分光光度計の設定条件は、ランプ波長は 228.8nm、温度設定は 85℃、5.0s、ガス（アルゴン）流量 3.0L/min、95℃、40.0s、ガス流量 3.0L/min、120℃、10.0s、ガス流量 3.0L/min、250℃、5.0s、ガス流量 3.0L/min、250℃、1.0s、ガス流量 3.0L/min、250℃、2.0s、ガス流量 0.0L/min、1,800℃、0.8s、ガス流量 0.0L/min、1,800℃、2.0s、ガス流量 0.0L/min、1,800℃、2.0s、ガス流量 3.0L/min である。

## 結果および考察

2012 年作のホウレンソウの収穫時生育は表 1 のとおりであった。同一品種内において、各試験区間で有意差はなかった。2012 年は生育期間の気温が特に低い年（11 月の日平均気温:平年比-0.5℃、12 月の日平均気温:平年比-1.0℃）となったため、生育が停滞し、収穫の基準とした草丈 25cm に満たない時期でのサンプリングとなった。特に、低温伸長性の低い‘アステアセブン’は 2013 年 1 月 7 日まで在圃させたが、草丈 21cm 前後でのサンプリングとなった。2012 年作のホウレンソウの可食部カドミウム濃度は、‘サンピア’では、粒状苦土石灰区で 0.094 mg/kgFW、粉状苦土石灰区で 0.046mg/kgFW、石灰無施用区で 0.113mg/kgFW であった。‘アステアセブン’では、粒状苦土石灰区で 0.116mg/kgFW、粉状苦土石灰区で 0.051mg/kgFW、石灰無施用区で、

表 1 各石灰質資材施用区におけるホウレンソウの収穫時生育(2012 年作)

品種名	試験区名	草丈(cm)	株重(g/株)	葉枚数	最大葉縦長(cm)	最大葉横長(cm)	葉色
サンピア	粒状石灰	22.6 ± 0.46	19.6 ± 0.90	9.6 ± 0.37	11.5 ± 0.28	8.3 ± 0.22	60.9 ± 0.65
	粉状石灰	23.5 ± 0.57	18.5 ± 0.85	8.5 ± 0.22	12.0 ± 0.26	8.6 ± 0.26	58.4 ± 0.57
	無石灰	23.0 ± 0.57	18.8 ± 1.33	9.2 ± 0.51	11.4 ± 0.14	8.2 ± 0.10	60.3 ± 1.23
アステアセブン	粒状石灰	20.9 ± 0.76	18.5 ± 0.28	12.2 ± 0.35	10.1 ± 0.38	7.1 ± 0.26	67.8 ± 1.39
	粉状石灰	22.0 ± 0.41	18.7 ± 0.86	11.4 ± 0.23	10.5 ± 0.37	7.3 ± 0.28	65.8 ± 0.61
	無石灰	21.8 ± 0.44	19.1 ± 1.46	11.6 ± 0.38	10.4 ± 0.04	7.4 ± 0.16	67.3 ± 0.83

葉色は SPAD-502 により測定

±：標準偏差

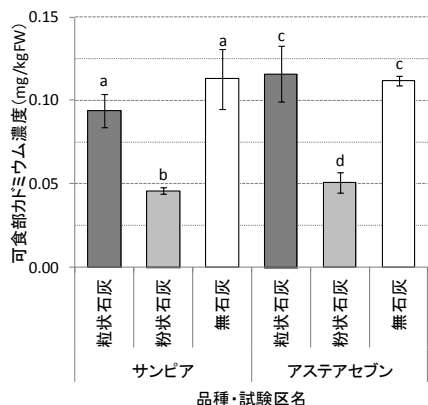


図1 各石灰質資材施用区におけるホウレンソウの可食部カドミウム濃度(2012年作)

※ 同一品種内において、異なる文字間で5%有意差あり (Tukey法)

※ エラーバーは標準偏差

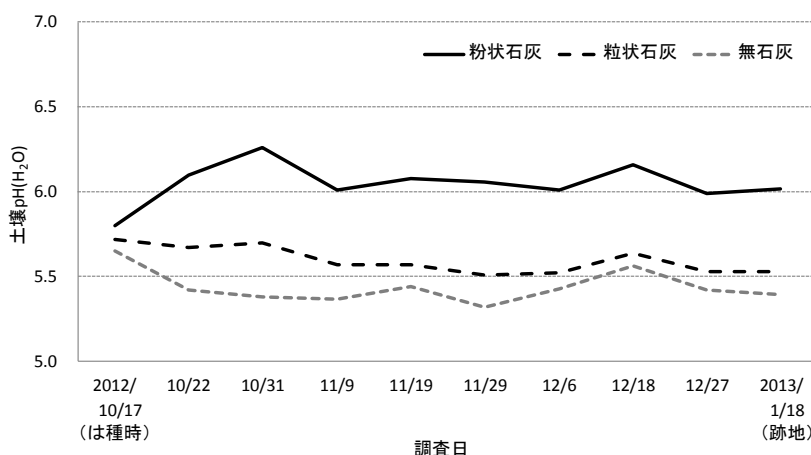


図2 各石灰質資材施用区におけるホウレンソウ生育期間中の土壌pH(H<sub>2</sub>O)の推移(2012年作)

0.112mg/kgFWであった(図1)。両品種とも粉状苦土石灰施用区では無施用区の1/2以下の濃度となり資材施用による有意なカドミウム吸収抑制効果が認められたが、粒状苦土石灰施用区では効果がみられなかった。

生育期間中の土壌pH(H<sub>2</sub>O)の推移を調査したところ(図2)、粉状苦土石灰区では施用後、速やかに上昇し始めたが、施用1か月後には下降し始めた。石灰質資材の施用量は緩衝曲線(溶媒は蒸留水)により、矯正目標のpHを6.5として算出したが、最高でも6.26までしか上昇せず、以降、6.1前後で推移した。施用量の不足が想定された。

粒状苦土石灰区では、施用後、土壌pH(H<sub>2</sub>O)は5.5~5.7で推移し、ほとんど上昇せず、石灰無施用区より0.08~0.32高かった。肥料施用によるpH低下をやや抑制できたものの、作付け前の土壌pH(H<sub>2</sub>O)より上昇させる効果はみられなかった。

従来の緩衝曲線法(溶媒は蒸留水)では、実際のは場条件が反映されず、必要とする石灰施用量が過少に評価されている可能性があることが、赤羽ら(2013, 2014)により報告されている。本試験でも、

その可能性が考えられた。そこで、2013年作では、実際のは場条件をより反映しているとされている、溶媒に1mM硝酸カルシウム溶液を用いた緩衝曲線による石灰施用量の算出した(図3)。その結果、必要な石灰施用量は158g/m<sup>2</sup>となり、溶媒に蒸留水を用いた場合の105g/m<sup>2</sup>の約1.5倍となった。

また、筆者が行った春まきホウレンソウでの石灰資材施用試験において、粒状石灰質資材は土壌pH上昇効果が現れるまでに約1か月を要していたことから(データ未公表)、粒状苦土石灰は、は種1か月前に施用することとした。

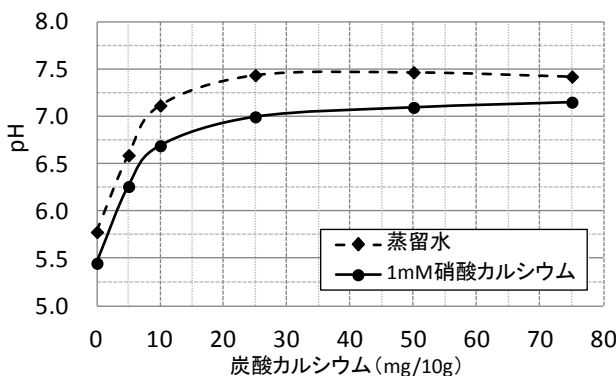


図3 供試は場の土壌を用い、溶媒を変えて作成した緩衝曲線

表2 各石灰質資材施用区におけるホウレンソウの収穫時生育(2013年作)

品種名	試験区	草丈(cm)	株重(g/株)	葉枚数	最大葉縦長(cm)	最大葉横長(cm)	葉色
サンピア	粒状石灰	24.3 ± 0.25	21.2 ± 1.06	11.5 ± 0.43	12.3 ± 0.13	9.0 ± 0.19	59.0 ± 0.67
	粉状石灰	24.6 ± 0.65	22.2 ± 1.39	10.8 ± 0.19	12.2 ± 0.19	9.2 ± 0.36	60.2 ± 1.50
	無石灰	24.3 ± 0.44	24.0 ± 2.54	11.7 ± 0.10	12.5 ± 0.14	9.4 ± 0.15	62.3 ± 2.10
アステアセブン	粒状石灰	24.6 ± 0.47	29.2 ± 2.69	13.0 ± 0.11	11.8 ± 0.54	8.5 ± 0.41	67.3 ± 1.05
	粉状石灰	23.8 ± 0.09	26.1 ± 1.04	12.8 ± 0.32	11.9 ± 0.17	8.4 ± 0.17	67.8 ± 0.15
	無石灰	24.2 ± 0.53	28.2 ± 0.36	13.6 ± 0.54	11.7 ± 0.14	8.7 ± 0.11	69.6 ± 1.06

葉色はSPAD-502により測定

±: 標準偏差

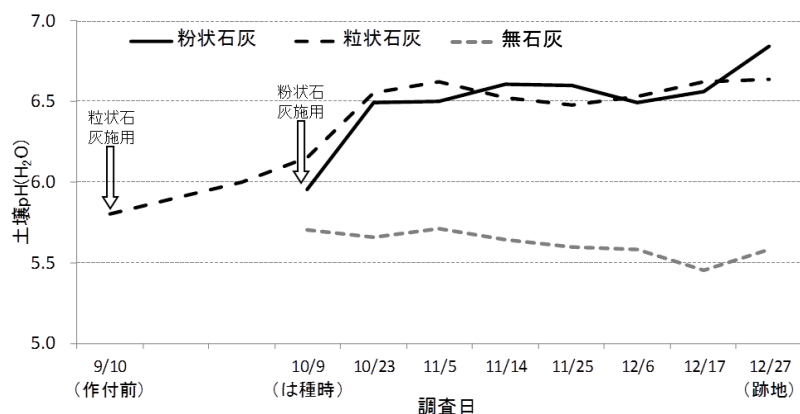


図4 各石灰質資材施用区におけるホウレンソウ生育期間中の土壤 pH(H<sub>2</sub>O)の推移(2013 年作)

2013 年作のホウレンソウの収穫時生育は表 2 のとおりであった。同一品種内において、各試験区間で有意差はなかった。

生育期間中の土壤 pH(H<sub>2</sub>O)の推移は(図 4)、粉状苦土石灰区では施用後、速やかに上昇し始め、施用 2 週間で矯正目標 pH の 6.5 に達し、その後も生育期間中、6.5 以上で推移した。粒状苦土石灰区では、施用後、緩やかに土壤 pH(H<sub>2</sub>O)が上昇し、施用 1 か月後のは種時には 6.15 まで上昇し、その 2 週間後には矯正目標 pH の 6.5 に達した。その後も生育期間中、6.5 以上で推移した。

2013 年作のホウレンソウの可食部カドミウム濃度は、‘サンピア’では、粒状苦土石灰区で 0.120mg/kgFW、粉状苦土石灰区で 0.110mg/kgFW、石灰無施用区で 0.230mg/kgFW であった。‘アステアセブン’では、粒状苦土石灰区で 0.100mg/kgFW、粉状苦土石灰区で 0.100mg/kgFW、石灰無施用区で 0.220mg/kgFW であった(図 5)。両品種とも粉状苦土石灰施用区、粒状苦土石灰施用区で無施用区の約 1/2 の濃度となり、資材施用による有意なカドミウム吸収抑制効果が認められた。

以上の結果から、石灰質資材施用による土壤 pH 上昇効果の得られにくいほ場においては、溶媒に蒸留水を用いた緩衝曲線法では、必要な石灰質資材施用量が過少に算出されていた可能性がある。そのため、溶媒を 1mM 硝酸カルシウム溶液に変更して、必要量を算出し、施用することで、十分なカドミウム吸収抑制効果が得られる可能性が示唆された。ま

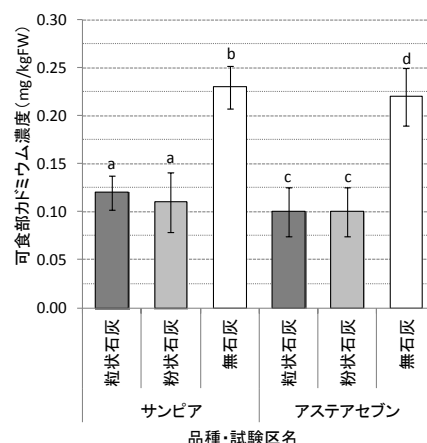


図5 各石灰質資材施用区におけるホウレンソウの可食部カドミウム濃度(2013 年作)

※ 同一品種内において、異なる文字間で 5%有意差あり (Tukey 法)

※ エラーバーは標準偏差

た、粒状の資材を用いる場合は、施用効果が現れるまで、時間を要することから、は種の 1 か月程度前に施用する必要がある。

今後、本研究で並行して行っている、供試ほ場の土壤特性の把握について、更に詳細な解析を進め、土壤の条件からホウレンソウのカドミウム濃度の高まりやすさのリスクを予測できるようになれば、本報告の石灰質資材施用技術と組み合わせる、より実用的なカドミウム低減対策を構築できるものと考えられる。

## 引用文献

- 赤羽幾子ら(2013)：圃場条件を考慮した緩衝曲線法の検証—石灰施用後の作土の pH および水溶性 Cd の推移—。土肥誌講演要旨集 59, 136.
- 赤羽幾子ら(2014)：圃場の塩濃度を考慮した中和石灰施用量算出法の検証。土肥誌講演要旨集 60, 137.
- 杉沼千恵子・中村浩二・靄島雅之(2005)：ホウレンソウにおけるカドミウム吸収抑制技術の検討。埼玉農総研研報 4, 21-24.