

水耕ポット試験によるキャベツ幼植物のカドミウム吸収に及ぼす 培養液中カルシウム濃度の影響

¹渡邊浩一郎・²大鷹由紀

¹生命環境学部自然環境学科
²生命環境学部環境科学科卒業生

Effect of calcium concentration in nutrient medium on the cadmium uptake by cabbage seedlings

Koichiro WATANABE¹ Yuki Ohtaka²

英文抄録 Summary

The effect of different concentrations of calcium (Ca) in nutrient medium on the growth of, and cadmium (Cd) uptake by seedlings of cabbage (*Brassica oleracea* L. cv. Kinkei 201; Sakata Seed Co., Japan) was studied under hydroponic culture. The nutrient solutions containing different combinations of 0, 0.44, and 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ Cd and 3.0, 5.0, and 7.5 mmol l^{-1} Ca were applied for a period of 14 days.

No significant difference in the growth of seedlings was observed with different concentrations of Cd and Ca. The Cd concentration in the shoots grown in 5.0 mmol l^{-1} Ca or 7.5 mmol l^{-1} Ca medium significantly decreased to 41%–63% or 45%–58% of those in 3.0 mmol l^{-1} Ca plus 0.44 or 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ Cd medium, respectively. Higher Ca concentration in the medium resulted in decreased concentration and translocation of Cd in the shoots. The Cd concentration in the roots grown in 7.5 mmol l^{-1} Ca medium was 3.1-times higher than that in 3.0 mmol l^{-1} Ca plus 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ Cd medium; however, no significant difference was observed using different Ca concentrations with 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ Cd.

No significant difference in the Ca concentration and content in the shoots were observed between all Ca treatments. The Ca concentration in the roots in 5.0 mmol l^{-1} Ca was 7-times higher than that in 3.0 mmol l^{-1} Ca plus 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ Cd medium. In 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ Cd medium, the Ca concentration in the roots with 5.0 mmol l^{-1} Ca was 2-times higher than that in 3.0 mmol l^{-1} Ca, but was lower than that in 3.0 mmol l^{-1} Ca. The Ca concentration in the roots was 1.7–2.8-times higher than that in 3.0 mmol l^{-1} Ca medium.

When Ca concentration in the medium was high, the concentrations of Cd and Ca in the shoots decreased, but those in the roots increased.

The decrease of Cd concentration in the shoots due to high Ca concentration in the culture medium was probably due to higher Cd and Ca concentrations in the roots.

キーワード：カドミウム、カルシウム、濃度、水耕栽培、キャベツ、幼植物

Key words : cadmium, calcium, concentration, nutrient medium, cabbage, seedling

1. 緒言

カドミウム (Cd) は植物およびヒト、動物にとって必須ではない有害元素である。国連食糧農業機関・世界保健機関のコーデックス食品規格委員会で、1995年から2006年にかけて、野菜、豆、穀類等の農作物のCd濃度について議論され、最大レベル(基準値)が国際的な基準として定められている^{1,2)}。我が国には、廃坑山、旧製錬所、Cd使用工場等から排出されたCdにより汚染された農耕地も存在しており、農作物中のCd濃度の一層の低減を図る技術開発が進められている³⁾。

農作物による土壌からのCd吸収を低減する方法の一つとして、近年では、炭酸カルシウム (CaCO_3) や苦土石灰などCaを主成分として含むアルカリ資材の施用により、植物のCd吸収が抑制されることが

報告されている⁴⁻¹³⁾。アルカリ資材の施用による植物のCd吸収の抑制は、土壌pHが高くなることで、Cdの土壌溶液への溶解度が低下し、植物への可給性が低くなることによると報告されている^{9, 12, 14)}。しかしCa施用の関与については不明な点が多い。

一方、植物のCd吸収と培養液や土壌へのCa施用の関係については、ダイズ¹⁵⁾、イネ¹⁶⁾についてCd毒性はCa施用を増大させることにより軽減されること、イネでは根においてCaによりCd輸送が抑制されることが報告されている¹⁶⁾。また、Cdストレスを受けているカラシナ¹⁷⁾、オオムギ¹⁸⁾では根のCa濃度の上昇によりCd毒性が軽減されること、ヨーロッパアカマツ¹⁹⁾、ドイツトウヒ²⁰⁾、インゲンマメ²¹⁾でCa処理を行った根のCd吸収が減少すること、Ca処理を行ったタカノツメ²²⁾で茎

葉部Cd濃度が低下することが報告されている。従って、植物のCd吸収の抑制には、培養液や土壌へのCa施用の影響も関与しているのではないかと考えられる。

しかし、Cdが吸収されやすいといわれるアブラナ科葉菜類については、カラシナ¹⁷⁾の他にCd吸収に及ぼすCaの影響を調べた例はみあたらない。また、アブラナ科葉菜類は、コーデックス委員会でのCdの基準値が他の農作物に比べて低く定められている。従って、農作物として利用されるアブラナ科葉菜類について、茎葉部Cd濃度に及ぼすCaの影響を調べることは、Cd吸収抑制技術の確立に寄与する基礎的知見を得る上でも重要である。

本研究では、アブラナ科葉菜類のうち生産量が多いキャベツを供試し、水耕ポット試験により培養液中Ca濃度がCd吸収に及ぼす影響を調べたので報告する。

なお、水耕ポット試験を行ったのは以下の理由による。土壌にアルカリ資材でCaを施用した場合、Caが施用されるだけでなく土壌pHも高くなる。また、CaCl₂を添加した場合にはCaの土壌への吸着による影響が生じることも考えられる。一方、水耕ポット栽培試験では、Ca添加時のpHの調整が比較的容易で、Caが植物体に直接に及ぼす影響を調べられると考えた。

2. 実験方法

キャベツ(*Brassica oleracea* L. 品種:金系201号;(株)サカタのタネ)を供試し、種子を次亜塩素酸ナトリウム溶液(有効塩素0.5%)で滅菌した後、市販パーミキュライトに播種した(2009年9月3日)。最大容水量の約60%となるように1/5倍に希釈したHoagland-Arnon培養液(pH5.7)を適宜与えながら第一本葉が展開するまで人工光型植物育成装置(小糸工業(株)製パーソナルグロースキャビネット;コイトロンHNMS-11型)で育苗した。育苗条件は、装置内床面の平均光強度約200 μmol m⁻² · s⁻¹、明期14時間、暗期10時間、温度は明期25℃、暗期20℃とし、相対湿度は約70%であった。

育苗した植物体を500mL容ポリプロピレン製容器に移植し(同年9月20日)、1/2倍に希釈したHoagland-Arnon培養液(pH5.7)を用いて、本学上野原キャンパス(山梨県上野原市)構内に設置した自然光型ファイトロン(小糸工業(株)製コイトロンS-180)内で水耕栽培を行った。温度は昼27℃、夜22℃、相対湿度は約70%に設定した。

Cd添加およびCa濃度を変化させた試験には、Ca濃度が3.0 mmol l⁻¹になるように希釈したHoagland-Arnon培養液を用いて、試薬特級硫酸カドミウム水溶液、試薬特級塩化カルシウム水溶液をそれぞれ供し、Cd濃度が0, 0.44, 0.89 μmol l⁻¹の3区(23)を、また各Cd濃度に対してCa濃度が3.0, 5.0, 7.5 mmol l⁻¹とした3区を設けることにより行った。試験に用いた培養液のpHはすべて5.7に調整した。なお、標準濃度のHoagland-Arnon培養液のCa濃度は5.0 mmol l⁻¹であるが、幼植物を供した試験では1/2程度に希釈して使用することが多い。試験は各区4連で、同年9月28日~10月12日の14日間行った。この間、培養液の交換を1日おきに行った。

サンプリング後、茎葉部と根部分け、80℃で48時間通風乾燥後、乾物重を測定した。また、茎葉部および根部をそれぞれ硝酸-過塩素酸法により湿式分解し、CdおよびCa濃度を内標準元素にインジウム(In)またはロジウム(Rh)を用いてICP-MS法で定量分析した。

得られた結果についてt-testにより有意差検定を行った。

3. 結果

(1) 植物体の生育

植物体の生育を1個体当たりの乾物重で図1に表した。

乾物重は、茎葉部では1.3~1.7g個体⁻¹、根部では0.02~0.09g個体⁻¹であり、設定した培養液中Cd濃度およびCa濃度の間では有意な差はみられなかった。

(2) 植物体中Cd濃度と1個体あたりのCd含量

植物体中Cd濃度を図2a(茎葉部)および図2b(根部)に表した。

養液中Cd濃度およびCa濃度の間では有意な差はみられなかった。

茎葉部Cd濃度は、Cd 0.44 μmol l⁻¹区では、Ca 5.0 mmol l⁻¹区およびCa 7.5 mmol l⁻¹区でCa 3.0 mmol l⁻¹区の41~63%に、Cd 0.89 μmol l⁻¹区でもCa 5.0 mmol l⁻¹区およびCa 7.5 mmol l⁻¹区でCa 3.0 mmol l⁻¹区の45~58%に、それぞれ有意に低下することが示された。Cd 0.44 μmol l⁻¹区およびCd 0.89 μmol l⁻¹区のいずれも、Ca 5.0 mmol l⁻¹区とCa 7.5 mmol l⁻¹区の間には有意な差はみられなかった。また、いずれの培養液中Ca濃度でも、茎葉部Cd濃

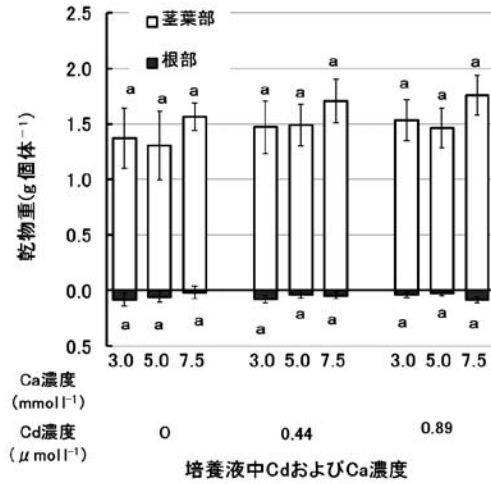


図1 キャベツ幼植物の生育に及ぼす培養液中CdおよびCa濃度の影響(n=4, 部位毎に異なる文字間でp<0.05で有意差有り)

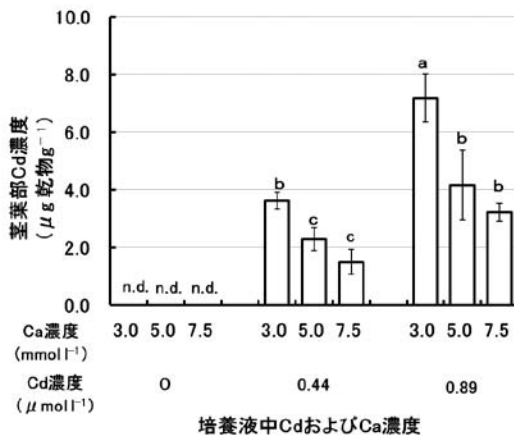


図2a キャベツ茎葉部Cd濃度に及ぼす培養液中CdおよびCa濃度の影響(n=4, 異なる文字間でp<0.05で有意差あり)

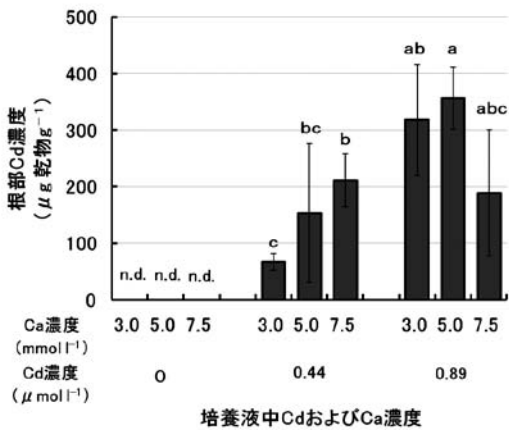


図2b キャベツ根部Cd濃度に及ぼす培養液中CdおよびCa濃度の影響(n=4, 異なる文字間でp<0.05で有意差あり)

度はCd 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区でCd 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区の1.8 ~ 2.1倍有意に高かった。

根部Cd濃度は、Cd 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区では、Ca 7.5 mmol l^{-1} 区でCa 3.0 mmol l^{-1} 区の3.1倍有意に高くなったが、Ca 3.0 mmol l^{-1} 区とCa 5.0 mmol l^{-1} 区の間、Ca 5.0 mmol l^{-1} 区とCa 7.5 mmol l^{-1} 区の間にはいずれも有意な差は認められなかった。また、Cd 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区では、培養液中Ca濃度の違いによる有意な差は認められなかった。一方、Ca 3.0 mmol l^{-1} 区ではCd 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区の方がCd 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区の4.7倍、Ca 5.0 mmol l^{-1} 区では2.3倍、それぞれ有意に高くなった。しかし、Ca 7.5 mmol l^{-1} 区では、Cd 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区とCd 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区の間には有意な差はみられなかった。

次に、植物体1個体当たりのCd含量を図3a(茎葉部)および図3b(根部)に表した。

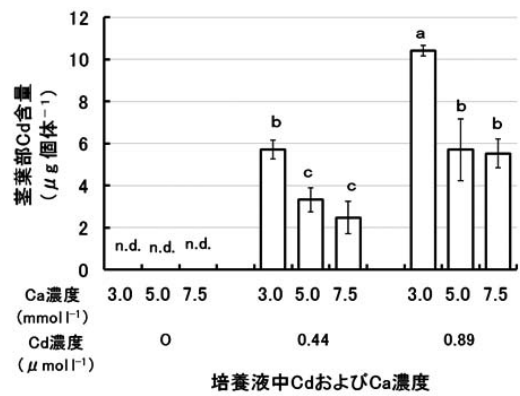


図3a キャベツ茎葉部Cd含量に及ぼす培養液中CdおよびCa濃度の影響(n=4, 異なる文字間でp<0.05で有意差あり)

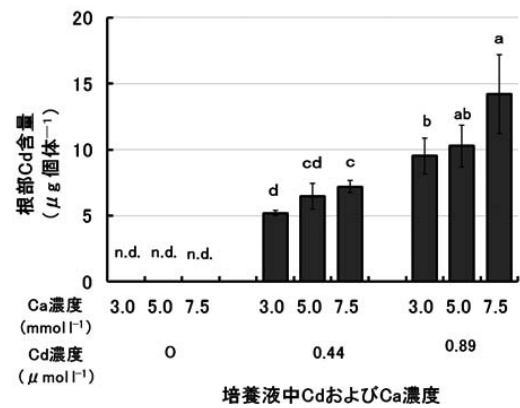


図3b キャベツ根部Cd含量に及ぼす培養液中CdおよびCa濃度の影響(n=4, 異なる文字間でp<0.05で有意差あり)

茎葉部 Cd 含量は、Cd 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区では、Ca 5.0 mmol l^{-1} 区および Ca 7.5 mmol l^{-1} 区で Ca 3.0 mmol l^{-1} 区の 43 ~ 58% に、Cd 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区でも Ca 5.0 mmol l^{-1} 区および 7.5 mmol l^{-1} 区で Ca 3.0 mmol l^{-1} 区の 53 ~ 54% に、それぞれ有意に低下することが示された。Cd 濃度 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区および 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区のいずれも、Ca 5.0 mmol l^{-1} 区と Ca 7.5 mmol l^{-1} 区の間には有意な差はみられなかった。また、いずれの培養液中 Ca 濃度においても、Cd 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区の方が Cd 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区より 1.7 ~ 2.2 倍有意に高くなった。

根部 Cd 含量は、Cd 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区および Cd 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区のいずれも、Ca 7.5 mmol l^{-1} 区で Ca 3.0 mmol l^{-1} 区の 1.4 倍有意に高くなったが、Ca 3.0 mmol l^{-1} 区と Ca 5.0 mmol l^{-1} 区の間、Ca 5.0 mmol l^{-1} 区と Ca 7.5 mmol l^{-1} 区の間にはいずれも有意な差は認められなかった。また、いずれの培養液中 Ca 濃度でも、Cd 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区で Cd 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区の 1.6 ~ 1.9 倍有意に高くなった。

さらに、茎葉部と根部の 1 個体当たりの Cd 含量 (図 3a,b) から、Cd の茎葉部と根部の分配率を算出したところ、茎葉部の Cd 含量は、培養液中 Cd 濃度に関わらず培養液中 Ca 濃度が高くなるに従って 52% から 34 ~ 36%、26 ~ 28% へと低下した。

(3) 植物体中 Ca 濃度と 1 個体あたりの Ca 含量

植物体中 Ca 濃度を図 4 a (茎葉部) および図 4 b (根部) に表した。

茎葉部 Ca 濃度は、Cd 0 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区の Ca 3.0 mmol l^{-1} 区で Ca 5.0 mmol l^{-1} 区よりも有意に低かったが、Cd 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区、Cd 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区のいずれも培養液中 Ca 濃度による有意な差はみられなかった。また、いずれの培養液中 Ca 濃度においても、培養液中 Cd 濃度の違いによる有意な差は認められなかった。

根部 Ca 濃度は、Cd 0 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区では、Ca 3.0 mmol l^{-1} 区に比べて Ca 5.0 mmol l^{-1} 区では 3.8 倍、Ca 7.5 mmol l^{-1} 区では 12.6 倍、それぞれ有意に高くなった。また、Cd 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区では、Ca 5.0 mmol l^{-1} 区で Ca 3.0 mmol l^{-1} 区の 7.3 倍有意に高くなったが、Ca 5.0 mmol l^{-1} 区と 7.5 mmol l^{-1} 区の間には有意な差はみられなかった。また、Cd 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区では、Ca 5.0 mmol l^{-1} 区で Ca 3.0 mmol l^{-1} 区の 2.0 倍有意に高くなったが、Ca 7.5 mmol l^{-1} 区では Ca 3.0 mmol l^{-1} 区と同程度に低下していた。一方、Ca 3.0 mmol l^{-1} 区では Cd 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区

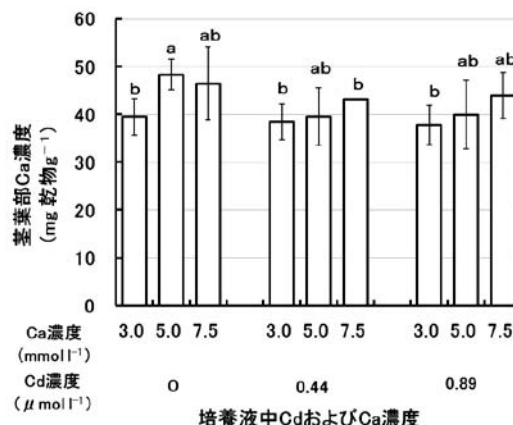


図4a キャベツ茎葉部Ca濃度に及ぼす培養液中CdおよびCa濃度の影響(n=4,異なる文字間でp<0.05で有意差あり)

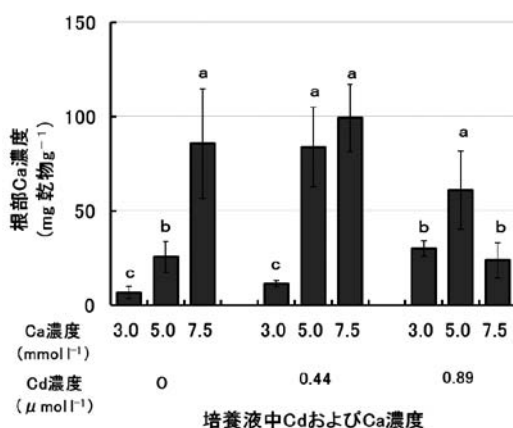


図4b キャベツ根部Ca濃度に及ぼす培養液中CdおよびCa濃度の影響(n=4,異なる文字間でp<0.05で有意差あり)

で Cd 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区よりも 2.6 倍、Ca 5.0 mmol l^{-1} 区では Cd 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区で Cd 0 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区よりも 3.3 倍、それぞれ有意に高くなったが、Ca 7.5 mmol l^{-1} 区では Cd 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区で Cd 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区の 24% に有意に低下した。

次に、植物体 1 個体当たりの Ca 含量を図 5a (茎葉部) および図 5b (根部) に表した。

茎葉部 Ca 含量には、Cd 0 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区、Cd 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区では、培養液中 Ca 濃度の違いによる有意な差はみられなかったが、Cd 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区では Ca 7.5 mmol l^{-1} 区で Ca 3.0 mmol l^{-1} 区および Ca 5.0 mmol l^{-1} 区よりも 1.4 倍有意に高かった。また、いずれの培養液中 Ca 濃度でも、培養液中 Cd 濃度による有意な違いはみられなかった。

根部 Ca 含量は、Ca 5.0 mmol l^{-1} 区で 3.0 mmol l^{-1} 区よりも、Cd 0 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区で 2.4 倍、Cd 0.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区で 2.8 倍、Cd 0.89 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区で 1.7 倍、そ

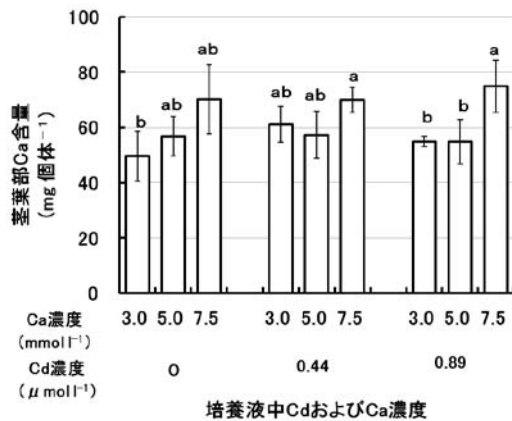


図5a キャベツ茎葉部Ca含量に及ぼす培養液中CdおよびCa濃度の影響(n=4,異なる文字間でp<0.05で有意差あり)

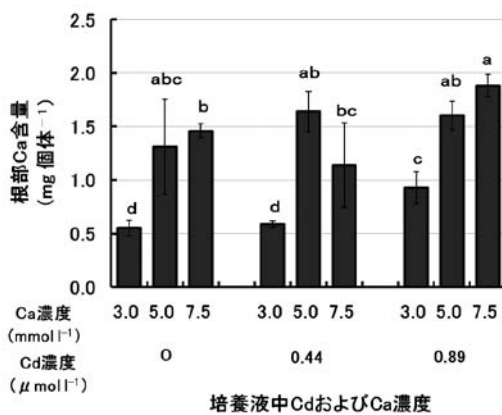


図5b キャベツ根部Ca含量に及ぼす培養液中CdおよびCa濃度の影響(n=4,異なる文字間でp<0.05で有意差あり)

それぞれ有意に高くなった。一方、Ca 5.0 mmol l⁻¹ 区では培養液中 Cd 濃度による有意な差はみられなかったが、Ca 3.0 mmol l⁻¹ 区および Ca 7.5 mmol l⁻¹ 区では、Cd 0.89 μmol l⁻¹ 区で Cd 0.44 μmol l⁻¹ 区よりも、それぞれ 1.6 倍、1.7 倍有意に高くなった。また、茎葉部と根部の 1 個体当たりの Ca 含量 (図 4a,b) から、Ca の茎葉部と根部の分配率を算出したところ、茎葉部の Ca 含量は 97 ~ 99%であった。

(4) Cd および Ca の濃縮係数

図 2a,b、図 4a,b に表した各部位の Cd, Ca 濃度を培養液中の Cd, Ca 濃度で割ることにより、濃縮係数を求めた。その結果を表 1 に表した。

茎葉部の Cd の濃縮係数は、両 Cd 添加区とも、培養液中 Ca 濃度が 3.0 mmol l⁻¹ から 5.0 mmol l⁻¹ になると 58 ~ 64% に、7.5 mmol l⁻¹ になると 42 ~ 45% に低下した。Ca の濃縮係数も、各培養液中 Cd

表 1 キャベツ幼植物体茎葉部および根部におけるCdおよびCaの濃縮係数

Cd (μmol l ⁻¹)	Ca (mmol l ⁻¹)	茎葉部		根部	
		Cd	Ca	Cd	Ca
0	3.0	n.d.	329	n.d.	57
	5.0	n.d.	242	n.d.	129
	7.5	n.d.	155	n.d.	286
0.44	3.0	72	321	1340	95
	5.0	46	198	3060	420
	7.5	30	144	4220	331
0.89	3.0	144	315	6360	252
	5.0	83	200	7120	305
	7.5	65	146	3780	80

濃度で、培養液中 Ca 濃度が 3.0 mmol l⁻¹ から 5.0 mmol l⁻¹ になると 62 ~ 74% に、7.5 mmol l⁻¹ になると 45 ~ 47% に低下した。

一方、根部の Cd の濃縮係数は、Cd 0.44 μmol l⁻¹ 区では培養液中 Ca 濃度が 3.0 mmol l⁻¹ から 5.0 mmol l⁻¹ になると 2.3 倍、7.5 mmol l⁻¹ になると 3.2 倍になったのに対し、Cd 0.89 μmol l⁻¹ 区では培養液中 Ca 濃度が 3.0 mmol l⁻¹ から 5.0 mmol l⁻¹ になると 1.1 倍、7.5 mmol l⁻¹ になると 60% に低下した。

Ca の濃縮係数は、Cd 0 μmol l⁻¹ 区では培養液中 Ca 濃度が 3.0 mmol l⁻¹ から 5.0 mmol l⁻¹ になると 2.3 倍、7.5 mmol l⁻¹ になると 5.0 倍高くなった。Cd 0.44 μmol l⁻¹ 区では培養液中 Ca 濃度が高くなるに従いそれぞれ 4.4 倍、5.0 倍高くなったが、Cd 0.89 μmol l⁻¹ 区では培養液中 Ca 濃度が 5.0 mmol l⁻¹ 区では 1.2 倍高くなったが、7.5 mmol l⁻¹ になると 32% に低下した。

4. 考察

本研究のキャベツの茎葉部 Cd 濃度は 1.5 ~ 7.1 μg 乾物 g⁻¹ であったが、設定した培養液中 Cd 濃度および Ca 濃度では、植物体の生育に障害はみられなかった。我が国において、Cd の平均濃度が最も高い葉菜としてキャベツの Cd 濃度が 0.16mg FW kg⁻¹ と報告されている²⁴⁾。この数値を水分含有率 90 ~ 95% と仮定して乾物あたりに換算すると 1.6 ~ 3.2 μg 乾物 g⁻¹ と算出された。本研究のキャベツの Cd 濃度は、上述の報告²⁴⁾ のキャベツの Cd 濃度とほぼ同程度かやや高い同程度であった。農作物を対象とした場合には、Cd による生育障害がみられない Cd 濃度でも、Ca 施用濃度を高くすることにより植物体の Cd 濃度が低下することが明らかにされれば、Cd 吸収を抑制する方法として Ca 施用が有用であると考えられる。

本研究では、Cdによる生育阻害が生じていないが、培養液中Ca濃度を高くすると茎葉部のCd濃度、1個体あたりのCd含量および茎葉部へのCdの分布率が低下することが示された。同様の現象として、植物体の生育については述べられていないもののCdを含む土壌へCaCl₂を添加したタカノツメで茎葉部Cd濃度が低下することが報告されている²²⁾。

茎葉部におけるCdの濃縮係数は、培養液中Ca濃度が高くなるに伴い低下し、その低下の比はCaの濃縮係数の低下の比とほぼ同じであった。また、茎葉部のCaの濃縮係数には、培養液中Ca濃度が同じであれば培養液中Cd濃度の違いによる相違はみられなかった。従って、培養液中Ca濃度を高くすることにより生じた茎葉部Cd濃度の低下は、茎葉部におけるCaの濃縮の低下による影響を受けていないと考えられる。また、茎葉部へのCaの吸収移行は、培養液中Cd濃度の影響をほとんど受けていなかったものと考えられる。

一方、根部については、Cd濃度は培養液中Ca濃度が高くなるに従い高くなる傾向がみられた。

Caを施用したタカノツメ²²⁾でも根のCd吸収が増加することが報告されている。また、Cd 0.89 μ mol l⁻¹ 区のCa 7.5 mmol l⁻¹ 区を除いた区では、培養液中Cd濃度およびCa濃度の変化によるCdおよびCaの濃縮係数の変化は一定ではないものの、培養液中Cd濃度およびCa濃度が高くなるに従い濃縮係数も高くなった。これらのことから、培養液中Ca濃度を高くすることによって生じた茎葉部Cd濃度の低下は、根部でのCdおよびCaの濃縮が高くなることが影響しているものと考えられる。

なお、Cd 0.89 μ mol l⁻¹ 区のCa 7.5 mmol l⁻¹ 区では、茎葉部Cd濃度はCa 3.0 mmol l⁻¹ 区、5.0 mmol l⁻¹ 区よりも低下しているにも関わらず、根部のCd、Caの濃縮係数もCa 3.0 mmol l⁻¹ 区、5.0 mmol l⁻¹ 区より低下している。この区は、培養液中CdおよびCa濃度が設定した区間で最も高いので、両元素において濃縮の抑制が生じたのではないかと思われるが、詳細は検討する必要がある。

一方、国連食糧農業機関・世界保健機関のコーデックス食品規格委員会が定めたアブラナ科葉菜類のCd濃度の基準値は0.05mg/FW kgといわれている¹⁾。この数値は水分含有率90～95%と仮定して乾物あたりに換算すると0.5～1.0 μ g 乾物g⁻¹と推定される。本研究におけるCd添加区のキャベツ幼植物体の茎葉部Cd濃度は1.5～7.1 μ g 乾物g⁻¹であり、基準値よりも1.5～1.4倍高い。今後、本研究

よりもCd濃度が低いレベルでCa施用によりCd濃度が基準値よりも低下する現象がみられるのか否か、また圃場で収穫されるキャベツにおいてもCa施用によりCd濃度の低下がみられるのか否かについて明らかにする必要がある。

5. 引用および参考文献

1. 浅見輝男：食品・飲料水・土壌中有害金属の基準値（最大レベル）、改訂増補データで示す－日本土壌の有害金属汚染、アグネ技術センター、東京、2010、pp.13-18.
2. 浅見輝男：食品中カドミウム濃度の国際安全基準作成の状況、改訂増補データで示す－日本土壌の有害金属汚染、アグネ技術センター、東京、2010、pp.160-176.
3. 農林水産省農林水産技術会議事務局：農用地土壌から農作物へのカドミウム吸収抑制技術等の開発に関する研究、東京、2005.
4. 稲坂恵美子：水酸化マグネシウムの施用がダイズのカドミウム吸収に及ぼす影響. 土肥要旨集, 52, pp.154, 2006.
5. 宮田邦夫, 稲坂恵美子, 金川健祐：水酸化マグネシウムの施用方法がダイズ子実カドミウム濃度に及ぼす影響. 土肥要旨集, 53, pp.167, 2007.
6. 雄川洋子, 稲原 誠：アルカリ資材によるダイズのカドミウム吸収抑制－資材の性状と湛水処理の影響－. 土肥要旨集, 53, pp.166, 2007.
7. 箭田（撫木）佐衣子, 荒尾知人, 川崎 晃：土壌へのアルカリ資材の施用によるカドミウム（Cd）吸収抑制効果. 土肥要旨集, 53, pp.166, 2007.
8. 三浦憲蔵, 吉住佳与, 青木和彦, 岡田泰明, 屋代幹雄：部分施用による作物のカドミウム吸収抑制効果. 土肥要旨集, 53, pp.166, 2007.
9. 高橋秀子, Kashem Md. Abul, 菅原玲子, 亀井茂, 河合成直：各種アルカリ資材を施用したコマツナ栽培におけるカドミウム吸収と土壌中カドミウムの動態. 土肥要旨集, 53, pp.165, 2007.
10. 長谷川榮一, 島 秀之：湛水管理と石灰施用併用により水稲玄米Cd濃度を天然賦存程度に低減できる. 土肥要旨集, 54, pp.166, 2008.
11. 桑名健夫, 三好昭宏, 河野 哲, 本名充雄, 薄井雄太, 糠川昂仁, 相川良雄：アルカリ資材の多量施用が水稲の生育、収量およびカドミウム吸収に及ぼす影響. 土肥要旨集, 54, pp.166,

- 2008.
12. 高橋秀子, 菅原玲子, 河合成直: カドミウム汚染土壌におけるコマツナのカドミウム吸収と土壌pHの関係 —化成肥料施用によるpH変化—. *土肥要旨集*, 54, pp.168, 2008.
 13. 渡邊浩一郎, 花岡 治, 木村和彦: アブラナ科葉菜類 (ハクサイ、チンゲンサイ、キャベツ) の生育、カドミウムおよび必須微量元素吸収に及ぼすカキ殻施用の効果— Cd 添加土壌を用いた土耕ポット試験—. *帝京科学大学紀要*, 7, 17-24, 2011.
 14. 雄川洋子, 稲原 誠: アルカリ資材を用いた土壌pH矯正によるダイズのカドミウム吸収抑制. *土肥誌*, 80, 589-595, 2009.
 15. 山本満寿夫: ダイズ幼植物の重金属吸収と挙動 (第1報) :Cdの吸収. *JOURNAL OF THE FACULTY OF TEXTILE SCIENCE AND TECHNOLOGY, SHINSHU UNIVERSITY. E.AGRICULTURE AND SERICULTURE*, 11, 1-11, 1989.
 16. Y. Y. Kim, Y. Y. Yang and Y. Lee : Pb and Cd uptake of in rice roots. *Physiol. Plant.*, 116, 368-372, 2002.
 17. X. J. Jiang, Y. M. Luo and Q. G. Zhao : Effect of cadmium on nutrient uptake and translocation by Indian Mustard. *Environ. Geochem. Hlth.*, 26, 319-324, 2004.
 18. A. Brune and K. J. Diets : A comparative analysis of element composition of roots and leaves of barley seedlings grown in the presence of toxic cadmium, molybdenum, nickel, and zinc concentrations. *J. Plant Nutr.*, 18, 853-868, 1995.
 19. C. G. Kim, J. N. B. Bell and S. A. Power : Effect of soil cadmium on *Pinus sylvestris* L. seedling. *Plant Soil*, 257, 443-449, 2003.
 20. D. L. Godbord : Cadmium uptake in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings. *Tree Physiol.*, 9, 349-357, 2008.
 21. R. T. Hadiman and B. Jacoby : Absorption transporters in Cd in bush beans (*Phaseolus vulgaris*) . *Physiol. Plant.*, 61, 670-674, 1984.
 22. N. Hayakawa, R. Tomioka and C. Takanaka : Effects of calcium on cadmium uptake and transport in the tree species *Gamblea innovans*. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 57, 691-695, 2011.
 23. 横田達也, 渡邊浩一郎, 渡邊 泉: ヒマワリ・ソルガムのCd添加水耕栽培下における導管液量とCd集積について. *日本環境学会第36回研究発表会予稿集*, pp.217-218, 2010.
 24. 織田 (渡辺) 久男, 荒尾知人: 作物におけるカドミウムの吸収・移行と生理作用. *土肥誌*, 77, 439-449, 2006.