

ホウレンソウ類のカドミウム吸収に関わる 品種間差の生育条件による変動と それに基づく吸収程度の相対的序列の推定

伊藤純雄*・菊地 直*・加藤直人*

目 次

I はしがき	1	V 摘要	13
II 材料と方法	1	V 謝辞	13
III 結果	3	VI 引用文献	13
IV 考察	7	VII Summary	15

I はしがき

食品中のカドミウム(Cd)濃度の国際基準値⁴⁾が定められ、今後国内基準値が設定される可能性がある。しかし、野菜のCd吸収に関わる品目間差や品種間差については十分な研究蓄積がない。そこで、Cdリスクが高いとみられる品目について、Cd吸収に関わる品種間差を明らかにすることは、生産現場におけるリスク軽減のための基礎的知見として重要である。

フダンソウを含むホウレンソウ類は、可食部でのCd濃度が高くなりやすいとされている^{5, 8, 12, 13, 14)}、ホウレンソウ類の品種間差を報告した例は限られる^{2, 5, 10, 11)}。さらに、品種数は極めて多数存在するため、Cd吸収の品種間差の程度については知見をさらに蓄積する必要がある。しかし、Cd濃度は、同一品種でも土壌や栽培時期、生育期間など生育条件によって変動することが一般に知られており、品種間

差を論じるためには、生育条件の変化によっても品種間差が安定的であるのか、あるいはどの程度変動するのかを明らかにする必要がある。そこで、土壌や栽培時期を変えて多品種のホウレンソウ類を栽培し、各品種のCd吸収程度を比較分析することにより、異なる生育条件によっても共通する品種間差が存在しているのかどうかを検討した。なお、本試験は汚染土壌を充填した木枠での栽培試験で得られた結果であり、全国各地で生産・販売されているホウレンソウ可食部のカドミウム濃度の実態を示すものではない。

さらに、本試験の結果と既往の報告結果を統合して各品種の相対的Cd吸収程度を推定するための手順を検討し、この手法によってCd吸収に関わる品種間差の指標値を取りまとめた。

II 材料と方法

1)土壌：異なる鉱山から灌溉水を介して汚染された土壌2点(A灰色低地土pH5.6とB灰色低地土pH6.3)と、精錬所から大気を介して汚染した土壌1点(C黒ボク土pH5.4)、合計3種の土壌を供試した。これらの土壌を、遮根シート上に設置した深さ35cmあまり

の木製枠に充填して栽培圃場とした。枠の面積は、A, B土壌については20m²、C土壌については13.5m²である。土壌酸性を中和してホウレンソウの良好な生育を確保する目的で、もみガラ牛ふん堆肥120kg、苦土石灰60kg(A土壌は40kg、いずれも枠当り)を均

一に混和した上記土壌に3つの枠に各々充填した。

品種比較のための栽培試験を開始するにあたり、土壌の均一性を確認するため、各枠内15ヶ所に穴を掘って深さ30cm程度までの土壌を採取して、抽出性Cd, pH, ECを測定した。また、秋播き栽培後および春播き栽培時にも各枠5ヶ所から深さ30cmまでの

土壌を採取して、抽出性Cdなどを測定した。

2) 供試品種：フダンソウを含むホウレンソウの中から、Cd吸収性が異なると想定される秋播きと春播きの品種をそれぞれ24品種供試した(表1)。それらうち9品種は春播きと秋播きの両方に共に供試したので、総供試品種数は39である。

表1 供試ホウレンソウ品種

品種名	事例	平均	偏差	類	販売等	類別・系統	作付
アールフォー	5	0.20	0.40	雑	雪印	(東×西) F1	秋
アクティブ	17	-0.47	0.70	雑	サカタ	サンライト後代×(ノーベル×禹城)系	秋 春
アトラス	6	-0.67	0.47	雑	サカタ	バイキングに近い西洋種×禹城選抜系統	秋
アトランタ	8	-0.25	0.43	雑	サカタ	バルク後代×中近東の系統	秋
アルマイル	4	-0.25	0.83	西	サカタ	サンライト後代×(べと R4 系×メダニア)系	春
禹城	4	-0.75	0.43	東	サカタ	東洋系在来, 中国原産	秋
オーライ	3	-0.33	0.47	雑	タキイ	バイキング系×禹城	秋
おかめ	13	-0.31	0.72	西	タキイ	ミンスターランド系×洋種交雑系	春
おてもやん	9	-0.44	0.50	西	タキイ	(メダニア×バイキング)系×(東洋系剣葉×ミンスターランド)系	春
オリオン	8	0.25	0.43	西	サカタ	(サマージャイアント×バイキング)系×(マズルカ×メダニア)系	春
強力オーライ	3	0.33	0.47	雑	タキイ	(メダニア×ピロフレイ)系×禹城系	秋
黒葉ミンスターランド	4	0.50	0.50	西	タキイ	西洋種	秋 春
コンバット	4	0.00	0.71	雑	トキタ	天竺後代×西洋系	秋
サンパワー	6	0.67	0.75	西	カネコ	F1 (西洋種×西洋種)	春
サンピア	4	0.50	0.50	雑	カネコ	北ヨーロッパの洋種×(禹城×ピロフレイ)系	秋 春
サンライト	10	0.50	0.50	西	サカタ	F1 (西洋種×西洋種)	春
次郎丸	6	-0.67	0.47	雑	サカタ	日本在来×ホランディア	秋
ソロモン	11	-0.27	0.62	雑	サカタ	(東×西) F1	秋
タイタン	17	0.06	0.80	西	サカタ	ミンスターランド系×バイキング系	春
トニック	3	1.00	0.00	西	渡辺	F1 (西洋種×西洋種)	春
トライ	3	0.33	0.47	雑	タキイ	(ピロフレイ×ボルカ)系×禹城系	秋 春
バイキング	0	—	—	西	サカタ	西洋系固定品種	秋 春
バルク	6	-0.17	0.37	西	サカタ	F1 (西洋種×西洋種)	春
パレード	12	0.42	0.49	雑	サカタ	バイキング系×禹城系	秋
パンドラ	7	0.43	0.49	雑	サカタ	バルク後代×(べと R4 品種×禹城系)	秋
ハンブルグ	3	0.67	0.47	西	トーホク	西洋系固定品種	春
ピロフレイ	2	0.00	0.00	西	カネコ	西洋系固定品種	秋 春
プラトン	9	0.11	0.74	雑	サカタ	バルク後代×(べと R4 品種×メダニア系)	秋
プリウス	5	0.60	0.49	西	トキタ	北ヨーロッパの洋種×北ヨーロッパ洋種	春
ブレード	2	-1.00	0.00	雑	武蔵野	F1 (西洋種×東洋種)	秋
豊葉	6	0.00	0.58	雑	タキイ	日本在来×ミンスターランド	秋 春
ミストラル	4	0.50	0.50	雑	サカタ	(アトランタの父系×メダニア)×禹城系	秋 春
ミンスターランド	1	0.00	0.00	西	カネコ	ドイツ原産, 西洋系固定品種	春
メガトン	2	0.00	0.00	西	タキイ	西洋種×西洋種	秋
やまと	4	-1.00	0.00	東	トーホク	日本系	秋
リード	12	-0.33	0.62	雑	サカタ	(ピロフレイ×メダニア)系×禹城系	秋 春
うまい菜	9	-1.00	0.00	—	トーホク	フダンソウ	春
白茎ふだん草	9	-1.00	0.00	—	アタリヤ	フダンソウ	春
ふだん草	9	-1.00	0.00	—	ウタネ	フダンソウ	春

事例, 平均, 偏差は, 過去の品種比較試験に現われた事例数と, 各々の試験データから, 低濃度を-1, 中間を0, 高濃度を+1として求めた平均と偏差である。類は, 東: 東洋種, 西: 西洋種, 雑: 雑種。類別・系統は野菜品種名鑑, 蔬菜の新品種, 野菜園芸大百科他による。作付は, 本試験における作付け時期を示す。

3)栽培等：枠の面積を基準として硝安系被覆肥料(14-12-14)と複合肥料(8-8-8)をNとして11および4 g/m²施用し、幅90cmの平畦を設けて、各品種当り1区画を45×75(C土壌は45×45)cm、2反復で栽培を行った。秋播き栽培については、7.5×5 cm間隔で2007年9月27日に点蒔し、一部(16品種)については、10月24日から11月2日にかけて、生育途中の株を部分的に採取(若採り)した後に、11月6、7日に全品種を収穫した。春播き栽培についても翌年3月26日に同様に施肥し、同じ区画に15×5 cm間隔で点播して、5月7～13日に生育の進んだものから順次収穫した。なお、ハウレンソウ栽培中の作土に土壤溶液を採取するためのフィルター(Rhizosphere Research Products製)を各枠の5ヶ所に設置して、適宜、吸引法によって試料を採取して分析に供した。

4)試料の調整・分析：収穫したハウレンソウ10株

以上を株元で切断して、食用にならない部分を除去して洗浄し、75℃で通風乾燥後に粉碎した。この粉末試料0.1gに対して0.1M硝酸を20mL加えて室温で1時間振とうしてCdを抽出³⁾し(硝酸抽出法)、ろ液を適宜希釈し、0.1M硝酸酸性条件でインジウムを内部標準としてICP質量分析法(パーキンエルマー社ELAN6000)でCdを定量した。

なお、個体毎試料については、同一処理区内のハウレンソウ10個体を個別の試料として、上記と同様の前処理を行った。秋播き栽培ハウレンソウについては、主根部を同様に洗浄・前処理して分析試料とした。

土壌から常法⁷⁾に従ってCdを抽出した試料や、吸引法で採取した土壤溶液についても、同様に適宜希釈して、0.1M硝酸酸性条件でICP質量分析法により定量した。

Ⅲ 結 果

1) 硝酸抽出法

硝酸抽出法が適当であるかどうかを明らかにするため、米とハウレンソウ試料について、硝酸・過酸化水素水分解法による測定値と硝酸抽出法による結果を比較した。表2に示したように、両法によるCd測定値はよく一致し、硝酸抽出法によるハウレンソウ類Cd濃度分析値は、強酸などによって分解する常法による分析値と同等の値を示すと考えられる。

2) 供試土壌

3種類の枠に充填した土壌は、0.1M塩酸抽出Cd濃度が0.3から0.9mg/kg程度、1M酢安抽出Cdが0.07から0.3mg/kg程度であった(表3)。

枠内土壌のCd濃度の標準偏差は変動係数で10%以下、おおむね5%程度であった。また、土壌pHの標

準偏差については0.05程度、ECの標準偏差は0.03程度であり、枠内土壌は十分に均一であったと考えられる。

栽培中の土壌および土壤溶液中Cd等の推移を表4、5、6に示した。土壌の0.1M塩酸抽出性Cd濃度は、秋播き栽培終了後には充填直後に比べて上昇したが、その後は安定した。土壤溶液のCd濃度は、採取時期及び採取地点毎の変動が大きいが、濃度の順位がA≥B>Cで、土壌Cd濃度とは異なった。土壤溶液のpHは高い値を維持し、ECは大きく変動した(表3、5、6)。

3) 秋播きハウレンソウ

秋播きハウレンソウ可食部のCd濃度は、土壌によって異なり、A土壌が最も高く、B、C土壌では順

表2 硝酸抽出法と硝酸・過酸化水素分解法によるCd分析値の比較

試 料	硝酸・過酸化水素分解 Cd		硝酸抽出 Cd	
精 米	0.44	±0.02	0.43	±0.03
玄米 A	0.02	±0.00	0.02	±0.00
玄米 B	0.31	±0.01	0.30	±0.01
玄米 C	1.91	±0.07	1.89	±0.03
ハウレンソウ A	5.14	±0.41	5.16	±0.12
ハウレンソウ B	5.20	±0.82	5.18	±0.03

表中の値は、平均値±標準偏差(mg/kg DW)を示す。

表3 充填供試土壌の秋播き栽培前における抽出性Cd濃度とpH, ECばらつき

土壌	0.1M 塩酸 Cd	1M pH7 酢安 Cd	pH	EC (mS/cm)
A	0.58±0.04	0.27±0.03	6.5±0.06	0.42±0.03
B	0.89±0.03	0.29±0.01	7.0±0.05	0.42±0.03
C	0.28±0.01	0.07±0.01	6.9±0.05	0.39±0.03

表中の値は、平均値±標準偏差を示す。

Cd濃度はmg/kg DW

土壌試料採取は2007年8月

表4 秋播き栽培における土壌溶液のCd濃度とpH, EC

土壌	Cd (μ g/L)	pH	EC (mS/cm)
A	1.9±0.5	6.8±0.3	2.7 ±0.7
B	1.6±0.6	7.3±0.1	1.47±0.53
C	0.7±0.2	7.4±0.2	1.63±0.65

表中の値は、平均値±標準偏差を示す。

土壌溶液は2007年の10月9日, 10月19日採取の平均。

表5 秋播き収穫後, 春播き栽培前作土のCdと土壌溶液組成

土壌	土壌の抽出性 Cd (mg/kg)			土壌溶液		
	1M 塩酸	0.1M 塩酸	0.01M 塩酸	Cd (μ g/L)	pH	EC (mS/cm)
A	1.33	0.99	0.02	0.32±0.09	7.2±0.1	0.33±0.15
B	2.35	1.55	0.05	0.30±0.09	7.4±0.1	0.14±0.02
C	0.56	0.50	0.01	0.20±0.02	7.3±0.1	0.38±0.04

土壌, 土壌溶液共に2008年の02/07採取。

土壌試料は各々5ヶ所で採取して縮合した試料の値。

土壌溶液は5箇所採取して個別に測定した値の平均値±標準偏差を示す。

表6 春播き栽培時の作土中Cdと土壌溶液組成

土 壌	土壌の抽出性 Cd (mg/kg)			土壌溶液		
	1M 塩酸	0.1M 塩酸	0.01M 塩酸	Cd (μ g/L)	pH	EC (mS/cm)
A	1.35	1.00	0.03	0.65±0.25	7.1±0.1	0.52±0.14
B	2.29	1.44	0.06	0.58±0.19	7.2±0.1	0.40±0.16
C	0.62	0.52	0.01	0.28±0.03	7.4±0.1	0.35±0.09

土壌試料は2008年の04/15に各々5ヶ所で採取して縮合した試料の値。

土壌溶液は2008年の04/10, 04/18, 05/16にそれぞれ5箇所採取して個別に測定した値の平均値±標準偏差を示す。

に低濃度になった。これは、土壌の塩酸抽出Cd濃度よりも栽培期間中の土壌溶液中Cd濃度の高低に類似した。Cd濃度はおおむね0.1~0.3mg/kg FW程度で、Codex基準の0.2mg/kg前後に散らばった。Cd濃度には品種による違いがみられ、濃度が低い品種のCd濃度は、濃度が高い品種の60%程度であった(表7)。

若採りハウレンソウのCd濃度(表8)は、表7の同じ品種のCd濃度と比べて、平均で約10%高いが、品

種や土壌によっては若採りの方が低い場合もあった。

なお、同一品種であっても、遺伝的にCd吸収特性が同じであるという保証は、必ずしもない。そこで、同じ条件で栽培したハウレンソウのCd濃度を株毎に測定した(表9)。固定品種かF1品種かによる違いは明らかでないが、個体ごとのCd濃度の変動係数は8から18%程度であった。

表7 秋播きハウレンソウ可食部のCd濃度および乾物率(収穫期)

品種名	Cd (mg/kg FW)				平均 乾物率(%)
	A 土壌	B 土壌	C 土壌	平均	
ビロフレイ	0.28	0.20	0.09	0.17	6.4
ブレード	0.27	0.18	0.10	0.17	5.9
メガトン	0.26	0.20	0.11	0.18	5.5
アトラス	0.30	0.19	0.10	0.18	5.7
トライ	0.28	0.19	0.11	0.18	6.0
強力オーライ	0.28	0.19	0.11	0.18	5.9
アールフォー	0.25	0.20	0.12	0.18	6.0
リード	0.29	0.20	0.11	0.18	6.2
ソロモン	0.31	0.20	0.11	0.19	6.2
次郎丸	0.27	0.22	0.12	0.19	6.7
コンバット	0.27	0.21	0.12	0.19	6.4
禹城	0.30	0.23	0.11	0.20	5.4
アトランタ	0.30	0.21	0.12	0.20	5.9
アクティブ	0.36	0.20	0.12	0.20	6.6
やまと	0.33	0.20	0.12	0.20	6.8
サンピア	0.30	0.25	0.12	0.21	6.4
豊葉	0.32	0.21	0.13	0.21	6.3
オーライ	0.31	0.27	0.13	0.22	6.1
黒葉ミンスターランド	0.37	0.27	0.15	0.24	7.1
パレード	0.38	0.30	0.15	0.26	6.2
プラトン	0.43	0.29	0.14	0.26	6.3
ミストラル	0.41	0.27	0.16	0.26	6.3
パンドラ	0.41	0.30	0.17	0.28	7.1
バイキング	0.55	0.28	0.14	0.28	7.2
平均	0.33	0.23	0.12	0.21	6.3

表8 秋播きハウレンソウ可食部のCd濃度および乾物率(若採り)

品種名	Cd (mg/kg FW)				平均 対収穫期比率	平均 乾物率(%)
	A 土壌	B 土壌	C 土壌	平均		
次郎丸	0.35	0.17	0.09	0.18	0.92	5.0
トライ	0.31	0.22	0.11	0.19	1.07	6.0
ソロモン	0.33	0.22	0.11	0.20	1.06	6.5
やまと	0.33	0.20	0.12	0.20	0.99	6.5
豊葉	0.33	0.22	0.11	0.20	0.97	6.6
強力オーライ	0.31	0.24	0.12	0.21	1.14	6.2
アトラス	0.32	0.25	0.12	0.21	1.17	6.3
メガトン	0.36	0.25	0.12	0.22	1.24	7.2
リード	0.34	0.28	0.12	0.23	1.23	7.5
禹城	0.32	0.32	0.13	0.24	1.20	7.3
アトランタ	0.40	0.31	0.12	0.25	1.26	7.9
オーライ	0.40	0.30	0.13	0.25	1.13	8.1
パンドラ	0.39	0.29	0.15	0.25	0.92	6.4
ミストラル	0.44	0.35	0.14	0.28	1.07	7.7
パレード	0.43	0.38	0.14	0.28	1.10	7.7
プラトン	0.45	0.38	0.15	0.30	1.14	7.0
平均	0.36	0.27	0.12	0.23		6.9
対収穫期比率	1.12	1.19	0.99	1.10	1.10	

表9 秋播きホウレンソウにおける可食部Cd濃度の株間変動

株毎の Cd 濃度の変動	固定品種			F1 品種		
	次郎丸	禹城	ビロフレイ	パンドラ	サンピア	コンバット
	13%	9%	17%	8%	8%	18%

C 土壌の同じ区画内で 10 株を採取して個別に Cd 濃度を測定して得た変動係数

4) 春播きホウレンソウ

春播き栽培したホウレンソウ類24品種の3種の土壌におけるCd濃度平均値は、A土壌平均0.25、B土壌平均0.19、C土壌平均0.07で、秋播きホウレンソウと同じ順となり、全平均0.17(いずれもmg/kg FW)は、異なる供試品種の比較ではあるが、秋播き24品種の全平均0.23ppmよりもわずかに低くなった。濃度が最も低いフダンソウのCd濃度は、濃度が高いホウレン

ソウ品種の30%程度であった。ホウレンソウ品種の中でもっとも低い品種のCd濃度は、濃度が高いホウレンソウ品種の50%程度であった。(表10)。

5) 地下部のCd濃度

ホウレンソウ地下部のCd濃度(表11)は、平均で5割程度可食部より高かった。

表10 春播きホウレンソウ可食部のCd濃度および乾物率

品 種 名	Cd (mg/kg FW)				平均 乾物率(%)
	A 土壌	B 土壌	C 土壌	平均	
うまい菜	0.10	0.07	0.02	0.07	5.9
白茎ふだん草	0.13	0.10	0.03	0.09	6.0
ふだん草	0.16	0.09	0.03	0.10	6.1
リード	0.17	0.11	0.06	0.11	7.7
トライ	0.14	0.15	0.06	0.12	6.6
豊葉	0.17	0.14	0.06	0.12	7.0
ビロフレイ	0.19	0.18	0.08	0.15	8.3
サンピア	0.23	0.17	0.06	0.15	8.0
パルク	0.19	0.20	0.08	0.15	8.2
黒葉ミンスター	0.23	0.19	0.08	0.17	8.7
ミストラル	0.23	0.18	0.10	0.17	7.0
サンライト	0.26	0.17	0.09	0.17	7.2
トニック	0.24	0.19	0.09	0.18	8.2
おかめ	0.27	0.19	0.06	0.18	8.3
アルタイル	0.29	0.22	0.06	0.19	7.6
プリウス	0.26	0.22	0.10	0.19	7.1
おてもやん	0.34	0.22	0.06	0.20	7.7
オリオン	0.32	0.22	0.07	0.21	7.5
バイキング	0.35	0.17	0.09	0.21	8.6
アクティブ	0.30	0.26	0.08	0.21	7.9
ミンスターランド	0.35	0.22	0.09	0.22	7.3
ハンブルグ	0.35	0.25	0.11	0.24	8.2
サンパワー	0.35	0.26	0.11	0.24	7.3
タイタン	0.30	0.31	0.12	0.24	9.5
平均	0.25	0.19	0.07	0.17	7.6

表11 秋播きハウレンソウ地下部のCd濃度

品種名	Cd (mg/kg FW)				平均 乾物率(%)
	A 土壌	B 土壌	C 土壌	平均	
ソロモン	0.42	0.30	0.10	0.24	8.6
強力オーライ	0.33	0.27	0.17	0.25	8.0
リード	0.34	0.31	0.15	0.25	8.1
次郎丸	0.34	0.32	0.15	0.26	9.2
トライ	0.32	0.30	0.18	0.26	7.9
メガトン	0.28	0.36	0.18	0.26	8.2
アトラス	0.38	0.28	0.17	0.27	8.5
やまと	0.35	0.33	0.18	0.28	9.6
禹城	0.36	0.32	0.19	0.28	8.0
豊葉	0.38	0.32	0.20	0.29	8.5
アトランタ	0.40	0.36	0.18	0.29	8.4
サンピア	0.40	0.36	0.18	0.30	8.2
ブレード	0.34	0.34	0.25	0.31	9.0
コンバット	0.41	0.33	0.23	0.31	8.4
アールフォー	0.37	0.34	0.24	0.31	8.9
オーライ	0.33	0.47	0.24	0.34	8.9
アクティブ	0.47	0.38	0.22	0.34	9.5
ビロフレイ	0.45	0.36	0.25	0.34	10.3
黒葉 ミンスターランド	0.48	0.43	0.25	0.37	9.5
プラトン	0.47	0.47	0.26	0.38	9.1
パレード	0.54	0.48	0.24	0.40	9.0
パンドラ	0.50	0.47	0.27	0.40	9.9
バイキング	0.60	0.44	0.25	0.40	10.9
ミストラル	0.53	0.48	0.26	0.40	9.6
平均	0.41	0.37	0.21	0.31	8.9

IV 考 察

1) ハウレンソウCd濃度の品種間差の生育条件による変動

(1) 栽培土壌、栽培時期との関係

Cd吸収に関わる特性が遺伝的に異なる品種は、土壌や栽培時期が異なる条件でも、Cd濃度に一定の差異を示すと予測される。逆に、杉沼ら⁹⁾が報告しているように、例えば、ある品種のCd濃度が特定の条件で低く、別の条件ではCd濃度が高まるのであれば、そこにどのようなメカニズムが働いているかには大いに興味があるものの、その品種を採用しただけでCd濃度が低下するとは限らないので、ハウレンソウ類のCd濃度を低くする技術要素としての品種の価値は限定的なものになる。

本試験では、栽培土壌が異なるものの、気象条件などが同じ場合に様々なハウレンソウ品種のCd濃度相互の相関係数は、全体として0.63~0.87、平均0.76程度で、秋播き収穫期試料、秋播き若採り試料、春

播き収穫期試料いずれもほぼ同じ範囲の値となった(図1, 表12)。

また、品種数が9と限られるが、秋春両方の時期に栽培したハウレンソウの品種別Cd濃度の間の相関係数(表13)は、ゼロ付近から0.9以上の範囲にばらつき、B土壌では春秋で品種間の傾向がかなり異なっ

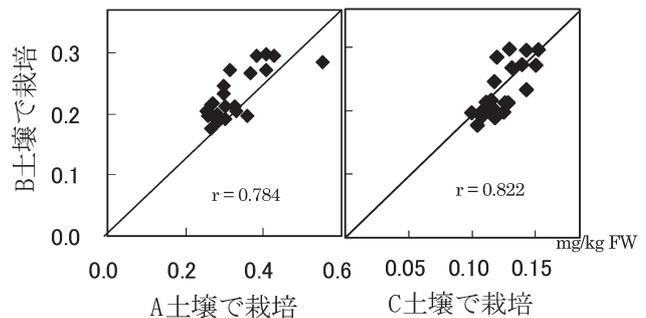


図1 異なる土壌で栽培したハウレンソウ24品種の可食部Cd濃度の相関(秋播き)

表12 異なる土壌で栽培したハウレンソウ可食部のCd濃度の相関係数

土壌	秋 収穫期 (n=24)		秋 若採り (n=16)		春 収穫期 (n=24)	
	A 土壌	B 土壌	A 土壌	B 土壌	A 土壌	B 土壌
B 土壌	0.784		0.782		0.805	
C 土壌	0.630	0.822	0.692	0.867	0.670	0.777

表13 栽培時期の異なるハウレンソウの可食部Cd濃度相関係数

	秋播き			春播き			秋播き 平均
	A 土壌	B 土壌	C 土壌	A 土壌	B 土壌	C 土壌	
秋播き B 土壌	0.616						
秋播き C 土壌	0.617	0.480					
春播き A 土壌	0.830	0.250	0.722				
春播き B 土壌	0.563	0.112	0.683	0.768			
春播き C 土壌	0.019	-0.053	0.443	0.376	0.691		
秋播き平均	0.943	0.827	0.712	0.717	0.494	0.058	
春播き平均	0.740	0.199	0.752	0.961	0.908	0.584	0.646

n=9

た。3土壌を平均すると、秋播きと春播きの間の相関係数は0.65程度となった。

今回得られたCd濃度値を、それぞれの品種について過去の比較試験で示された相対Cd濃度平均値(表1)と対比すると、秋播き栽培では0.434、春播き栽培では0.349(フダンソウを除くと0.127)という相関係数が得られた。このように、品種が共通するだけで、全く異なる土壌、気象、栽培管理下で得られたCd濃度の相関は低くなった。但し、この値は、Cd濃度を高中低3段階に区分したデータを使って求めているので、上記の相関係数と同等に比較することはできない。

これらの結果を通覧すると、土壌だけが異なる場合にはやや高い相関関係が見られるが、一連の実験内であっても、栽培時期と土壌が異なると相関係数がやや低下し、既往データとの比較ではさらに低い。それでも正の相関係数が観測された。これらのことから、個別の試験で得られるCd濃度順位は必ずしも一定しないものの、全体として、ハウレンソウ類の様々な品種のCd濃度には、生育環境が大きく異なる場合にも共通する傾向が見られると言えよう。ただし、相関係数の値から見て、この遺伝的な要因の寄与は極めて大きいとは言いがたい。杉沼ら^{10, 11)}も試験ごとにCd濃度の低い品種の順番が異なり、品種間差は断定しにくいとしている。

杉沼ら^{10, 11)}は、西洋種に比べて東洋種のCd濃度が低いと述べている。今回供試できた東洋種は秋作の2品種(兎城、やまと)だけであるが、平均Cd濃度は0.20で、西洋種(バイキング、ピロフレイ、メガトン、黒葉ミンスターランド)の平均値0.22、雑種系の平均0.21mg/kgと大差ない。また、春作では、雑種系平均が0.15で、西洋系の平均0.20よりも低い値を示した。しかし、西洋か東洋かという区分以外にも各品種の遺伝的背景は様々である。西洋種の中でもピロフレイやパルクなどCd濃度が比較的低い品種がある一方で、ハンブルグは特に秋播きで高い濃度値を示しており、東洋と西洋の区分けよりも品種ごとの違いを考えるのが適当であるように思われる。

(2)生育量、乾物率、収穫時期との関係

可食部重量とA, B, C各土壌で栽培したハウレンソウ類のCd濃度の相関係数は、秋播き栽培で-0.378, -0.361, -0.283, 春播き栽培で-0.037, 0.332, 0.021程度であった。また、可食部重量とCd濃度との関係を株毎に測定したデータを調べた結果でも、有意な相関関係は認められなかった。これらのことから、今回の実験では、生育量とCd濃度の間には格別の関係は認められないと言えよう。

乾物率とA, B, C各土壌で栽培したハウレンソウ類のCd濃度の間には、秋播き栽培では0.208, 0.259,

0.523, 春播き栽培では0.764, 0.737, 0.616の正の相関が認められた。乾物割合が高いとハウレンソウのCd濃度が高まる傾向があると言えよう。一方、杉沼ら^{10, 11)}は、乾物あたりCd濃度は5月播きの方が10月播きより高かったが、新鮮物当りで表すとほぼ同じであることを認めており、この場合は乾物率が高い方がCd濃度が低い傾向があることになる。

若採りハウレンソウのCd濃度(表8)は、表7の同じ品種の収穫期におけるCd濃度値と比べて、平均約10%高いが、品種や土壤によっては若採りの方が低い場合もある。杉沼ら^{10, 11)}は、大方の品種では収穫期のハウレンソウの方が生育途中よりもCd濃度が高いと報告しているが、収穫時期(在圃場日数)がCd濃度に与える影響は全般にさほど大きくはないと思われる。

以上のように、は種時期、生育量、乾物率などの要因とハウレンソウのCd濃度との間には、必ずしも明確な傾向が認められないが、佐野⁶⁾が報告しているように、同様の土壤条件で繰り返し栽培したハウレンソウのCd濃度に大きな年次変動が認められる事実があり、気象条件などが関係する変動も大きいと想像される。

(3) 地下部のCd濃度との関係

ハウレンソウ類の可食部Cd濃度と地下部Cd濃度との相関係数は、A, B, C各土壤について0.85, 0.89, 0.53, 3種土壤の平均値では0.87となり、強い正の相関関係があった(図2)。地下部のCd濃度は平均して可食部のCd濃度の1.5倍であるが、地下部の乾

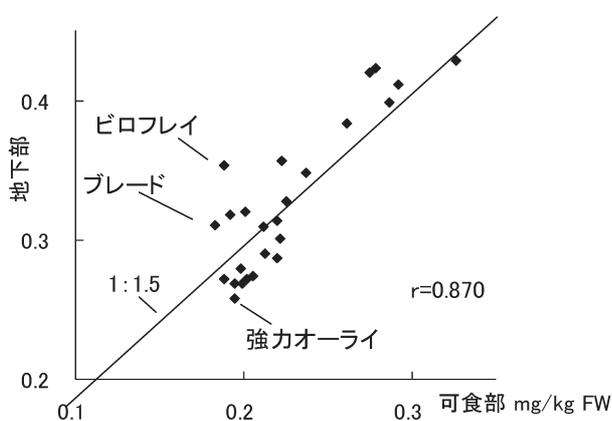


図2 秋播きハウレンソウ品種の可食部と地下部のCd濃度の関係

物割合もまた可食部の1.5倍程度(データ略)であるため、乾物当りのCd濃度で比較すると、可食部と地下部のCd濃度は大差がないことになる。杉沼ら^{10, 11)}によると根のCd濃度は可食部Cd濃度の2倍程度であった。

ただし、図2には幾つか1:1.5の回帰線からやや離れたプロットが存在する。上側に離れたピロフレイやブレードは、地下部Cdに比較して可食部のCd濃度が低い傾向があり、下側の強力オーライは可食部のCd濃度が相対的に高い傾向があることになる。

2) 既存データを加えた品種間差の取りまとめ

前項までに新たな実験に基づく品種間差データを提示した。これらを既存のデータと比較すると、総体的には類似しているものの、部分的な違いも見られる。そこで、今回新たに得られたデータに、より多く存在する既往のデータを加えて、品種間差をまとめて示すことが望ましいと考えられる。

以下では、既往のハウレンソウCd濃度データを取りまとめるに際して、考慮すべき問題点を整理・検討する。

(1) Cd濃度観測値と本来の品種間差の関係

我々が観測するハウレンソウ個体毎のCd濃度は、一般に品種本来の遺伝的特性に基づくCd吸収能と、土壤のCd供給能を中心とする生育環境を掛け合わせた結果によって生じると考えられる。つまり、ある実験で得られたCd濃度データは“実験条件に関わる係数×Cd吸収能に関わる係数(十分分析誤差)”で構成されることができると考えることができる。このうち“実験条件に関わる係数”は土壤のCd濃度他の様々な生育環境要因の寄せ集めで、実験によって異なり、現状では化学分析などによって値を決定することはできない^{14, 15)}。

品種本来の遺伝的特性の中には、特定の気象や土壤、施肥管理の下で発現される機能もある。ハウレンソウのCd吸収に関しても、ある条件ではA品種のCd濃度がB品種よりも低く、別の生育環境では、A品種よりもB品種の方がCd濃度が低いという現象が起こる可能性がある。例えば、土壤pHに対する反応が品種によって異なる⁹⁾のは、その一例と考えられる。ほぼ同じ条件で栽培されたハウレンソウのCd濃度が年次によって3倍程度と大きく変動する⁶⁾ことも、こ

のような要素の反映と見ることができよう。

このような状況を式で表すと、“実験条件に関わる係数×(Cd吸収能に関わる基礎的係数+条件によって発現する係数)(+分析誤差)”となり、このような場合、Cd吸収に関わる品種間差を固定的に考えるのは適当でないことになる。

現実には、すでに述べてきたように、ハウレンソウ類のCd濃度には土壌の違いや栽培時期を越え、品種に応じて現れる一定の傾向が存在していた。このことは、上記の式に示されたCd吸収能に関わる基礎的係数部分は、条件によって発現する係数の部分に比べて、相当大きな重みを持つことを示唆すると考えられる。従って、上記の考えに基づいてCd吸収に関わる品種間差データを取りまとめた指標を示すことには意味があり、また、市場で流通・消費されるハウレンソウのCd濃度を低下させるなど、実用面でも有用であろう。

(2)関係する係数等

上記のように、ハウレンソウのCd濃度を“吸収能に関わる係数とCd供給条件に関わる係数の掛算”と考えるならば、Cd供給条件に関わる係数を何らかの手法で決定すれば、既存のCd濃度データをその値で割ることによって標準化できることになる。さらに、この修正した濃度値を比較すれば、ハウレンソウCd吸収の相対的品種間差を表すことができると考えられる。

以下に、“Cd供給条件に関わる係数”を表す相対値を「実験条件係数」、 “品種のCd吸収能に関わる係数”を表す相対値を「Cd指数」と呼ぶことにして、次項以降でこれらの値の妥当な推定手順を検討する。なお、「Cd指数」は共通する平均的な条件で発現する品種間差を示す相対値であるが、本項の冒頭で述べたように、観測されたハウレンソウCd濃度には、特定の気象や土壌、施肥管理条件下で発現する遺伝的機能によって変動する部分が含まれている可能性がある。以下ではこの変動する遺伝的機能に相当する部分を「Cd指数」と分けて「ゆらぎ」と呼ぶことにする。

なお、在来品種などでは、同じ名前であっても遺伝的な均一性が必ずしも保証されない可能性があり、区別の基準としての品種名の有用性に限界があることも想定され、これについては別に考える必要が残る。

(3)利用できる既往データ

ハウレンソウのCd濃度品種間差データを記載した既往データとして、引用文献^{6, 11)}と、「主要作物のカドミウム吸収・蓄積を抑制するための総合管理技術の開発、有害化学物質、平成15, 16, 17年度試験研究成績書(細部課題)」および、「野菜等の品目別カドミウム濃度の解明と吸収抑制技術の開発、平成19年度高度化事業試験研究成績書、平成20年度現地検討会資料」がある。取りまとめに使用するデータは、本実験を含めて43の栽培実験条件で、延べ115品種を含み、総データ数は684に及んだ。

なお、海外では、品種の異なるハウレンソウのCd濃度を比較した報告がほとんど見当たらない上、わずかに示された品種名も、一部の固定品種を除くと、日本国内で流通する品種と名前が異なり、利用できるデータは見つからなかった。

(4)可能な取りまとめ手順の検討

取りまとめに当っては、これらのデータを全て取り込むことを基本とするが、既往報告の実験条件や供試品種の数や構成は極めて多様であり、単純に集計することは全く不可能である。異なる実験のデータを相互に比較・評価できるようにするための補足実験を行うことは望ましいが、実用上不可能である。実験条件として最も重要な土壌のCd供給能についてさえ、土壌抽出Cd濃度と作物体のCd濃度の間に相関が見られない^{1, 15)}ことはよく知られているので、異なる条件で栽培された作物体Cd濃度の違いを解釈することは、今のところ事実上不可能である。

報告されたデータの精度も個々に異なるはずである。しかし、標準誤差などが示されていない事例も多く、このため、一般的な統計手法を適用して取りまとめることにも困難がある。

このような状況で、どのようにしたら妥当な「実験条件係数」を決定し、「Cd指数」や「ゆらぎ」を求めることができるだろうか。

A) 共通する品種に限定した比較

栽培条件が異なっても、共通する品種に限定すれば、各実験で得られたハウレンソウのCd濃度の平均値をその実験における「実験条件係数」とすることによって、容易にCd濃度データを標準化することができる。すなわち、ハウレンソウ個別品種のCd濃

度を「実験条件係数(=その実験における全品種のCd濃度平均値)」で割って標準化し、修正濃度を得る。しかる後に、異なる実験を横断する形で個別品種の修正濃度の平均を求めれば、それが「Cd指数」である。同じく、異なる実験を横断する形で求めた個別品種の修正濃度の誤差変動が「ゆらぎ」を表す指数となる。この比較は実験事例が多数に上る場合であっても同様である。なお、以下も同様であるが、計算の都合上「ゆらぎ」の中には分析などに伴う実験上の誤差も含まれることになる。

B) 共通しない品種を含む2事例の比較

既往実験のCd濃度データは、供試品種構成が様々に異なるのが、現実である。しかし、品種構成が共通しない場合でも、実験データが2事例(例えばAとBの一对)であれば、簡単な手順で標準化することが可能である。すなわち、共通する品種のCd濃度だけを取り出して「実験条件係数A」=共通品種の実験AにおけるCd濃度平均値」と定め、A、B各々の実験で得られたハウレンソウ個別品種のCd濃度をA、B各々の「実験条件係数」で割れば、Cd濃度は標準化されて修正濃度を得られる。標準化された修正濃度値を個別品種ごとに平均した値が「Cd指数」に相当する。A、Bいずれか片方にしか表れない品種については、修正濃度の値がそのままその品種の「Cd指数」になり、「ゆらぎ」の情報は得られない。

なお、A、B各実験で供試した全品種のCd濃度の平均値を「実験条件係数」とすることは、品種のCd吸収特性の違いに起因する歪みが「実験条件係数」に取り込まれる可能性を生じさせるので不相当である。

C) 共通しない品種を含む実験が多数ある場合

前項のような作業が可能なのは、比較する実験例が少数の場合に限られるが、今回対象とする栽培実験事例数は43にのぼる。比較する組み合わせの全体数は、事例数の階乗で増加するので、このような場合に前項の手順を適用することは不可能である。

(5) 適用した取りまとめの手順

供試品種の組み合わせや共通程度が様々に異なる実験事例が多数存在する場合にも適用可能な「実験条件係数」探索法と、それを用いて「Cd係数」および「ゆらぎ」を計算する手順は以下の通りである。

すなわち、多数のCd濃度品種比較実験データについて、①各実験に仮の「実験条件係数」としてその実験で使った全品種のCd濃度平均値を与え、ハウレンソウのCd濃度データをこの仮の係数で割った値(=仮の修正濃度)を得る。②全データに①の処理を施したあとで、各個別品種について仮の修正濃度の偏差平方和を求める。③全品種の偏差平方和を合計する。④仮の「実験条件係数」を(エクセルソルバーなどを使って)系統的に変化させながら①から③を繰り返して偏差平方和集計値を比較し、⑤偏差平方和集計値が最小になった段階で、矛盾が最も少ない「実験条件係数」が得られたと判断して、繰り返し計算を終了する。⑥各品種の修正濃度平均を「Cd指数」とし、修正濃度の標準偏差を「ゆらぎ」(+誤差)とする。

なお、単純に上記の手順に従うと「実験条件係数」を大きく設定するほど偏差平方和集計値が小さくなるという不都合が生じるので、これを避けるため、実数ではなくlog変換したCd濃度を使って上記の計算を行い、「Cd指数」および「ゆらぎ」の計算が終了した後に実数に戻した。また、始めに与える仮の「実験条件係数」の値が最終的な計算結果に影響しないことを確認している。

実験に使われた土壌のCd汚染程度や汚染源の種類に基づいて実験事例を分けたり、一部データを除外したりすることは行わず、使用可能なデータを全て使用した。

(6) 取りまとめ結果

a) 表14に取りまとめた結果を示した。観測値が複数ある品種の中で、「Cd指数」が高い(=Cd濃度が高まりやすい)10品種はモナリザ、アスパイアー、サンパワー、パシオン、ハンブルグ、サンピアテン、イーハトープ、サマーステージ、タイタン、東海、である。また「Cd指数」が低い10品種は、フダンソウ4点とシュマイザー、ブレード、次郎丸、コンバット、アトラス、やまと、であり、西洋系固定品種ビロフレイは低い方から11番目になった。下位品種の「Cd指数」平均値は、上位10品種の「Cd指数」の0.52倍となった。

b) 松本ら²⁾が、Cd濃度が高いとした品種の中で、タイタン、たける、パレード、パンドラ、ハンブルクは今回の取りまとめでも「Cd指数」が高いが、日本、アクティブ、アールフォーは中程度の「Cd指数」

表14 Cd吸収品種間差取りまとめ値

品 種 名	Cd 指数±ゆらぎ	N	品 種 名	Cd 指数±ゆらぎ	N
うまい菜	0.32 ± 0.04	3	さっちゃん	0.99 ± 0.45	2
ふだん草 ²	0.38 ± 0.12	11	マジスタ	1.00 ± 0.00	5
白茎ふだん草	0.44 ± 0.06	3	新日本	1.01 ± 0.00	1
シュマイザー	0.58 ± 0.02	2	ブリウス	1.01 ± 0.18	9
ふだん草 ¹	0.66 ± 0.13	5	トニック	1.02 ± 0.16	5
東照	0.67 ± 0.00	1	ピレネー	1.03 ± 0.00	1
ヴィジョン	0.70 ± 0.00	1	たける	1.03 ± 0.25	7
ブレード	0.71 ± 0.03	3	ミンスターランド	1.03 ± 0.14	5
スーパーアリーナ	0.73 ± 0.00	1	オリオン	1.03 ± 0.33	11
プラトン	0.76 ± 0.00	1	エスパー	1.03 ± 0.00	5
次郎丸	0.77 ± 0.12	12	サプライズ	1.05 ± 0.00	1
コンバット	0.78 ± 0.05	3	おかめ	1.05 ± 0.26	27
アトラス	0.78 ± 0.15	13	バンドラ	1.05 ± 0.18	15
やまと	0.78 ± 0.10	13	パレード	1.06 ± 0.15	27
トライ	0.79 ± 0.21	10	ミストラル	1.06 ± 0.15	13
ミリオン	0.79 ± 0.00	1	トリトン	1.06 ± 0.00	1
アンナ	0.79 ± 0.00	1	プラトン	1.08 ± 0.18	16
万葉	0.80 ± 0.00	1	サラダあかり	1.08 ± 0.00	5
ビロフレイ	0.80 ± 0.14	11	サマーキープ	1.08 ± 0.00	5
豊葉	0.81 ± 0.18	17	バイキング	1.10 ± 0.26	6
メガトン	0.81 ± 0.07	6	セブンブリッジ	1.11 ± 0.23	4
リード	0.81 ± 0.13	28	クロノス	1.11 ± 0.00	1
まほろば	0.82 ± 0.00	1	東海	1.11 ± 0.35	5
オラクル	0.83 ± 0.10	7	ニューブリッジ	1.12 ± 0.00	1
アクティブ	0.83 ± 0.18	34	タイタン	1.13 ± 0.27	23
アトランタ	0.84 ± 0.15	16	レオナ	1.13 ± 0.00	1
サンライト	0.85 ± 0.14	20	プライド	1.13 ± 0.00	1
強力オーライ	0.85 ± 0.14	17	シーバス	1.13 ± 0.00	1
おてもやん	0.86 ± 0.20	16	サマーステージ	1.14 ± 0.09	2
改良	0.86 ± 0.06	2	ジョーカー	1.14 ± 0.00	1
兎城	0.88 ± 0.10	11	朝霧	1.14 ± 0.00	1
ソロモン	0.88 ± 0.15	27	ハンター	1.15 ± 0.00	1
ティンプル	0.88 ± 0.26	2	ベンチャーR5	1.16 ± 0.00	1
スピードワン	0.88 ± 0.00	1	イーハトーブ	1.18 ± 0.12	7
パルク	0.88 ± 0.16	13	冬霧7	1.18 ± 0.00	1
サンピア	0.88 ± 0.17	10	サマービクトリー	1.18 ± 0.00	1
マゼラン	0.88 ± 0.06	3	サンピアテン	1.19 ± 0.38	2
アクティオン	0.89 ± 0.31	7	サロニカ	1.19 ± 0.00	1
晩抽パルク	0.89 ± 0.00	1	ハンブルグ	1.19 ± 0.45	10
アルマイル	0.90 ± 0.11	8	パシオン	1.19 ± 0.11	2
ラルゴ	0.90 ± 0.09	4	ミラージュ	1.20 ± 0.00	1
ミンスターひみこ	0.91 ± 0.10	2	サンパワー	1.20 ± 0.22	7
アールフォー	0.91 ± 0.26	9	アスパイアー	1.22 ± 0.26	5
バンクーバー	0.91 ± 0.13	4	シーマ	1.24 ± 0.00	1
ノーベル	0.92 ± 0.08	5	オハイオ	1.26 ± 0.00	1
夏風	0.92 ± 0.03	2	鮮太郎	1.26 ± 0.00	1
春風	0.92 ± 0.04	2	ご立葉	1.29 ± 0.00	1
新夏風	0.92 ± 0.05	2	リビエラ	1.30 ± 0.00	1
サマンサ	0.92 ± 0.06	2	モナリザ	1.34 ± 0.18	2
日本	0.92 ± 0.20	8	冬恵7	1.34 ± 0.00	1
サマーガッツ	0.92 ± 0.07	2	シナージー7	1.40 ± 0.00	1
ふだん草 ³	0.92 ± 0.08	2	ドーバー	1.41 ± 0.00	1
マルス	0.93 ± 0.00	1	ミッドサマー	1.54 ± 0.00	1
マジック	0.96 ± 0.24	6	晩抽サンホープ	1.55 ± 0.00	1
サイクロン	0.97 ± 0.00	1	雪美菜	1.55 ± 0.00	1
黒葉ミンスター	0.98 ± 0.15	10	ニューアンナ R4	1.62 ± 0.00	1
キャニオン	0.98 ± 0.24	9	SC7-405	1.64 ± 0.00	1
オーライ	0.99 ± 0.17	8			

注) 「Cd指数」は、品種のCd吸収能の大小を表す相対係数値。「ゆらぎ」は品種のCd吸収に関わる能力の中で、気象や土壌、施肥管理条件等によって発現が変動する部分を反映する係数である。「ゆらぎ」には、解析の都合上実験分析誤差が含まれる。ふだん草^{1,2,3}は、いずれもフダンソウであるが、種子の由来が異なる。

となった。また、Cd濃度が低いとされた、フダンソウ、豊葉、やまと、アトランタ、次郎丸、プラトン、オラクル、パルク、アトラスはこの取りまとめにおいても「Cd指数」が低い。佐野ら⁶⁾は、Cd濃度が高い品種としてジョーカー、パレード、イーハトーブを、低い品種として、おてもやん、ソロモン、リードをあげているが、表14の値と矛盾しない結果である。

c) 「Cd指数」と比較して、「ゆらぎ」が大きくてCd濃度が条件によって変動するとみられる品種(ハンブル

グ、アクティオン、オリオンなど)がある。このような判定の背景には実験誤差が介在している可能性もあるが、これらの品種では、栽培条件とCd吸収の関係をさらに検討する必要がある。

d) データ源が一点だけで「ゆらぎ」が示されない品種がかなりの数に上る。各品種のより精度の高いCd指数を算出するために、さらにデータを収集する必要がある。また、各品種の遺伝的な来歴を踏まえてデータを解析することも、今後は必要であろう。

V 摘 要

3種類の汚染土壌を充填した枠圃場で、延べ39品種のハウレンソウ類を秋と春に栽培して、各品種の可食部におけるCd濃度の差が、生育条件により変動するかを検討した。

1) 最も濃度が低いフダンソウは、濃度が高いハウレンソウ品種に対して平均で30%程度のCd濃度を示した。ハウレンソウ品種間の比較では、最も低い品種のCd濃度平均値は、濃度が高いハウレンソウ品種の平均値の50%程度であった。しかし、品種ごとのCd濃度順位は、栽培条件による変動もあり、個別の試験で得られるCd濃度順位は必ずしも一定しない。

2) 既往の実験データを含む、延べ115品種、総計684点のハウレンソウ類のCd濃度品種間差データを「Cd指標」および「ゆらぎ」としてとりまとめた。Cd濃度が高まりやすい品種はモナリザ、アスパイアー、サンパワー、パシオン、ハンブルグ、サンピアテン、イーハトーブ、サマーステージ、タイタン、東海、など、Cd濃度が高まりにくい品種は、シュマイ

ザー、ブレード、次郎丸、コンバット、アトラス、やまと、とフダンソウで、下位品種の「Cd指数」平均値は、上位10品種の0.52倍であったが、これらの結果は今後のデータの蓄積や解析手法の改良によって変化する可能性がある。

3) 「Cd指数」と比較して「ゆらぎ」が大きい品種は、栽培条件によってCd吸収が変化する可能性がある。また、データ源が一点だけの品種が多数あることや品種の入れ替わりが早いことから、今後もデータを蓄積、改訂する必要がある。

謝辞：既存データを含む品種間差に関する取りまとめの手法説明に関連して、農業環境技術研究所の山村光司氏から多くの有益な示唆を頂いた。本研究は「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業(野菜等の品目別カドミウム濃度の解明と吸収抑制技術の開発)」の一部として行われた。

VI 引用文献

- 1) He, Q.B. and B.R. Singh (1993) Plant availability of cadmium in soils 1. Extractable cadmium in newly and long-term cultivated soils. *Acta Agric. Scand.*, 43, 134-141.
- 2) 松本真悟・阿江教治・三島幹広・山根久典・増永二之・若月利之 (2003) ハウレンソウのCd吸収反応の品種間差. 土肥要旨集, 49, 78.
- 3) 中島秀治・市川泰之 (2008) 野菜中カドミウム濃度のプロセス分析—1 mol/L²塩酸抽出法—. 農業および園芸, 83, 667-674.
- 4) 農林水産省消費・安全局農産安全管理課土壌汚染防止班 (2008) 食品中のカドミウムに関する情報, 入手先<<http://www.maff.go.jp/cd/index.html>> (参照2008.12.20)
- 5) 農林水産省 (2008) 国内産農畜産物等の実態調査結果, 野菜. 入手先<<http://www.maff.go.jp/cd/PDF/C12.pdf>> (参照2008.12.20)

- 6) 佐野健人・松本栄一・中村憲治 (2005) ホウレンソウのカドミウム吸収能に関する品種間差異のほ場における検証(2). 農用地土壌のカドミウムによる農作物汚染リスク予測技術の開発に関する研究成果集(H17.12), 84-87.
- 7) 渋谷政夫・小山雄生・渡辺久男(2002)重金属測定法(POD版), 博友社, 18-21.
- 8) 清水武・市倉恒七・前田正男・村上栄 (1972) Cdの形態による作物の吸収について. 大阪農林技術センター研究報告, 9号, 1-5.
- 9) 杉沼千恵子・齋島雅之・中村幸二・佐藤賢一 (2008) ホウレンソウ品種によっては高土壌pHでもCd濃度が低下しない. 研究成果情報, 平成16年度, 関東東海北陸農業・関東東海・土壌肥料, 入手先<http://narc.naro.affrc.go.jp/chousei/shiryou/kankou/seika/kanto16/12/16_12_09.html>(参照2008.12.20)
- 10) 杉沼千恵子・中村幸二・齋島雅之 (2005) ホウレンソウにおけるCd吸収抑制栽培技術の検討. 埼玉県農林総合研究センター研究報告, 4号, 21-24.
- 11) 杉沼千恵子・佐藤賢一・高島雅之・中村幸二 (2005) ホウレンソウのカドミウム吸収に関する品種間差異のほ場における検証(1). 農用地土壌のカドミウムによる農作物汚染リスク予測技術の開発に関する研究成果集(H17.12), 77-84.
- 12) Varo, P., O.Lahelma, et al. (1980) Mineral element composition of Finnish foods. VII Potato, vegetables, fruits, berries, nuts and mushrooms. Acta Agr. Scand., Suppl., 22, 89-113.
- 13) Wiersma, D., B.J.vanGoor, N.G.van der Veen (1986) Cadmium, lead, mercury, and arsenic concentrations in crops and corresponding soils in the Netherlands. J. Agric. Food Chem., 34, 1067-1074.
- 14) Wolnik, K.A., F.L.Fricke, S.G.Capar, M.W.Meyer, R.D.Satzger, E.Bonnin, C.M.Gaston (1985) Elements in major raw agricultural crops in the United States. 3. Cadmium, lead, and eleven other elements in carrots, field corn, onions rice, spinach, and tomatoes. J. Agric. Food Chem., 33, 807-811.
- 15) Zurera-Cosano, G., R.Moreno-Rojas, J.Salmeron-Egea and R.Pozo Lora (1989) Heavy metal uptake from greenhouse border soils for edible vegetables. J. Sci. Food Agric., 49(3), 307-314.

Studies on the Varietal Difference of Cadmium Uptake in Spinach (*Spinacia oleracea*) and Swiss chard (*Beta vulgaris var. cicla*)

Sumio Itoh *, Sunao Kikuchi * and Naoto Kato *

Summary

Three cadmium (Cd)-contaminated soils were filled into wood frames with about 35cm depth and 39 varieties of spinach and/or Swiss chard were grown in 2007 autumn and 2008 spring, 24 varieties for each cropping. Cd contents in edible part were analyzed by ICP-MS. Three varieties of Swiss chard showed the lowest Cd concentration. Among spinach varieties, the Cd concentration of the lowest varieties was around 50% comparing with that of the highest varieties, although the varietal order of Cd concentration changed appreciably when the growing environment was changed.

Including retrospective analytical data up to 684 in total, the varietal difference of Cd uptake in spinach and Swiss chard were summarized as “Cd index” \pm “fluctuation”. Varieties “Mona Lisa”, “Aspire”, “Sun power”, “Passion”, “Hamburg”, “Sunpia ten”, “Ihatov”, “Summer stage”, “Titan”, “Toukai” showed higher Cd content. Spinach varieties “Schmeiser”, “Blade”, “Jirou- maru”, “Combat”, “Atlas”, “Yamato” and three varieties of Swiss chard showed the lower Cd content corresponding to 0.52 times lower value comparing with the higher ten varieties.

Those varieties showing higher “fluctuation” like “Hamburg”, “Actyon”, “Orion”, etc. may change their Cd uptake ability when the growing environment is changed.