

瀬戸内市牛窓露地野菜産地の土壌化学性の実態とこれらに影響を及ぼす要因

鷺尾 建紀・赤井 直彦

Status of Soil Chemical Properties in Vegetables Open-Field of Ushimado Region in Setouchi-City (Okayama) and Factors Affecting Soil Properties

Tatsuki Washio and Naohiko Akai

緒言

岡山県では1979年から2007年にかけて、土壌環境の実態と継時的変化を把握し、適切な土壌管理に役立てるため、国の補助事業として「土壌環境基礎調査」(1979～1998年)及び「土壌機能モニタリング調査」(1999～2008年)を実施した。本調査は県内に405の定点を設け、土壌の実態を網羅的に把握するものであったが、県内農耕地土壌は水稲、畑作物、果樹及び野菜等の作付け品目や産地の違いによって、実態や傾向が異なることが明らかとなった。このため農作物の安定生産には、品目や産地ごとの詳細な調査と、その結果に基づく土壌管理指針を示すことが必要と考えられた。そこで、2008年から2013年にかけては、県内の果樹、野菜及び作物等の主要品目を生産する18産地を対象を絞って、土壌の化学性及び施肥管理実態を調査し、土壌管理上の問題点を把握して適正な土壌管理指針を示す「土壌機能実態モニタリング調査」を実施した。そして、2014年からは、2008年から2013年に調査した産地を中心に、産地の土壌実態や施肥管理実態の状況を再調査し、改善の効果や継続した対策の必要性の有無等を産地や生産者に示している。ここでは2008年、2014年及び2023年に、岡山県南部にある瀬戸内市の牛窓露地野菜産地で実施した土壌化学性の実態と推移、及び化学性に影響を及ぼす要因を施肥実態アンケートや土性調査から明らかにし、その改善策について報告する。

本試験に当たり、現地圃場における調査に御協力いただいた、JA岡山及び備前広域農業普及指導センター

の関係者に厚く御礼申し上げます。また、土壌分析では、環境研究室の諸氏に御協力頂いた。深く感謝を申し上げます。

材料及び方法

1. 調査産地の概要

調査を実施した牛窓露地野菜産地は、岡山県の南東部の瀬戸内海に面し、年間の平均気温14.7℃、降水量1,093mm、日照時間1,842時間で降雪はほとんどなく、農地は海岸沿いの傾斜地では黄色土、干拓地の長浜地域は平坦で褐色低地土が分布している。冬季は温暖で日照時間が長く、野菜栽培に適した地域であることから、県内でも最も古くから露地野菜産地が形成され発展してきた。2008年の調査開始時における当産地は、ハクサイ、キャベツをはじめ、約16品目の野菜を生産・出荷する県下有数の露地野菜産地であった(岡山県農林水産部農産課, 2010)。

2. 土壌採取と土壌化学性調査(2008年)

(1)土壌採取

2008年7月7～24日にかけて、26圃場の土壌を採取した。なお、26圃場のうち、10圃場は長浜地域であった。1圃場につき9か所から作土層を採取し、混合したものを分析に用いた。

(2)土壌化学性調査

採取した土壌の、pH (H₂O)、電気伝導度(EC)、腐植、可給態リン酸(トルオーグ法)、塩基交換容量(CEC)、交換性塩基、可給態窒素及び熱水抽出性ホウ素を常法(日本土壌協会, 2001)により分析した。また、土壌化

結果

学性分析結果は、岡山県土壌施肥管理システム（石橋，2005）によって、土壌成分量の過不足を判定した。なお、土壌成分量は、牛窓露地野菜産地全体及び、干拓地の長浜地域と長浜以外の地域に分けて集計した。

(3)施肥実態アンケート調査

施肥実態を把握するために、調査圃場を管理している生産者に対するアンケート調査を実施した。具体的な土づくり資材（石灰を含む肥料及びリン酸質肥料）、有機物（牛ふん堆肥や鶏ふん等）及び窒素、リン酸、加里を含む複合肥料（高度化成等の化成肥料）について、年間を通じた施用量及び施用時期を聞き取った。なお、施肥状況についても土壌化学性調査と同様に、牛窓露地野菜産地全体及び、干拓地の長浜地域と長浜以外の地域に分けて集計した。

3. 再調査（2014年及び2023年）

2014年7月23日に2008年と同一圃場のうち、調査可能であった23圃場で調査を実施した。なお、調査圃場のうち長浜地域は8圃場であった。また、2023年8月1日及び4日に、2014年と同一の21圃場と新たに2圃場の計23圃場で調査を実施した。なお、調査圃場のうち長浜地域は8圃場であった。分析は常法（日本土壌協会，2001）により実施した。また、2014年及び2023年の施肥実態アンケート調査の内容は、2008年と同様とした。これらに加え、2023年は、作土の土性を調査した。調査方法は、土の手触りや肉眼観察による野外土性判定法を用いた（日本ペドロロジー学会，2006）。

1. 土壌化学性

(1)産地全体の調査結果

2008年、2014年及び2023年に調査した全圃場の土壌化学性の平均値、最大値、中央値、最小値及び標準偏差を表1に示した。pHの平均値は2008年が7.1で、改良目標値上限の7.0を超えた。2014年は7.0及び2023年は6.9で、調査年の違いによる統計的な有意差はなかった。ECの平均値は2008年が0.14dS/m、2014年が0.12 dS/m及び2023年が0.17dS/mで、調査年の違いによる統計的な有意差はなかった。腐植の平均値は2008年及び2014年は3.0%で、改良目標下限値程度であった。2023年は3.9%であったが、調査年の違いによる統計的な有意差はなかった。可給態窒素は平均値で5.5～7.2 mg/100 g で、改良目標の範囲内にあった。可給態リン酸含量の平均値は2008年が379mg/100g、2014年が427 mg/100g及び2023年が411 mg/100gで調査年の違いによる統計的な有意差はなく、全ての年で改良目標上限値の70mg/100gを大きく超えた。CECの平均値は2008年が14.9meq/100g、2014年が14.3meq/100g及び2023年が17.3meq/100gで調査年の違いによる統計的な有意差はなかった。石灰飽和度の平均値は2008年が122%、2014年が124%及び2023年が117%で調査年の違いによる統計的な有意差はなかったが、全ての年で改良目標上限値を大きく超えた。苦土飽和度の平均値は2008年が21%、2014年が18%及び2023年が18%で、調査年の違いによる統計的な有意差はなかったが、2008年は改

表1 瀬戸内市牛窓露地野菜圃場の土壌化学性

項目	調査年	pH	EC	腐植	無機態窒素	可給態窒素	可給態リン酸	CEC	交換性石灰	交換性苦土	交換性加里	塩基飽和度 ²	石灰飽和度	苦土飽和度	加里飽和度	石灰/苦土比	苦土/加里比	熱水抽出性ホウ素	
		(H ₂ O)	(dS/m)	(%)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(meq/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mg/kg)
平均値	2008年 ¹	7.1	0.14	3.0	4.4	6.6	379	14.9	502	62	70	153	122	21	10 ^b	6.5	2.8	1.0 ^a	
	2014年 ¹	7.0	0.12	3.0	1.9	5.5	427	14.3	472	50	45	149	124	18	6 ^a	7.5	3.6	1.1 ^{ab}	
	2023年 ¹	6.9	0.17	3.9	2.7	7.2	411	17.3	561	60	61	142	117	18	7 ^a	7.1	3.4	1.5 ^b	
最大値	2008年	8.0	0.39	7.6	35.5	23.0	814	26.6	942	160	182	285	254	40	18	13.5	13.4	2.4	
	2014年	8.1	0.27	7.0	7.1	9.1	925	23.4	826	101	157	339	321	30	16	23.6	12.5	2.2	
	2023年	8.2	0.65	20.0	12.0	18.9	766	46.6	1805	123	164	345	321	29	16	16.0	10.7	4.1	
中央値	2008年	7.2	0.12	2.3	1.9	5.4	323	14.5	451	57	62	140	111	19	10	5.5	1.9	0.8	
	2014年	7.1	0.09	2.6	0.9	5.5	374	14.3	415	45	40	140	110	17	6	6.2	3.1	1.0	
	2023年	7.1	0.11	2.7	1.2	6.5	375	14.7	494	60	38	135	108	18	5	6.2	2.7	1.3	
最小値	2008年	6.3	0.06	1.0	0.4	2.6	130	8.3	206	26	12	101	71	9	3	2.9	1.0	0.3	
	2014年	5.9	0.05	1.5	0.1	3.3	146	5.8	230	23	9	91	71	11	2	3.6	1.3	0.4	
	2023年	5.5	0.04	1.5	0.1	2.9	190	8.4	270	19	13	94	71	9	2	3.6	1.0	0.3	
標準偏差	2008年	0.5	0.07	1.6	7.8	4.0	178	4.9	216	30	39	43	41	7	3	3.1	2.6	0.5	
	2014年	0.6	0.06	1.4	2.0	1.4	192	4.7	183	20	33	55	55	5	3	4.2	2.4	0.5	
	2023年	0.6	0.15	3.9	3.0	3.6	171	7.8	337	22	44	50	50	5	4	3.6	2.3	0.8	
改良目標下限 ³		6.0	0	3.0	—	5	20	—	—	—	—	50~60	36~43	11~14	3~4	2.0	2.0	0.8	
改良目標上限 ³		7.0	0.8	—	—	15	70	—	—	—	—	90~100	64~71	21~23	5~6	8.0	6.0	2.0	
分散分析 ⁴		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	*

²石灰飽和度、苦土飽和度、加里飽和度の合計

¹2008年は26圃場、2014年は23圃場及び2023年は23圃場の値

³改良目標値は岡山県土壌施肥管理システム（石橋，2005）のキャベツの値

⁴分散分析の**及び*は、各調査年の平均値間にそれぞれ1%及び5%で有意差があることを示す。nsは5%水準で有意差なし

⁵異なる英文字間はTukeyの多重比較（有意水準5%）で有意差あり

改良目標上限程度であった。加里飽和度の平均値は2008年が10%、2014年が6%及び2023年が7%で、2008年と比較して2014年及び2023年は有意に低かった。また、2008年は改良目標上限値を大きく超えた。交換性塩基の飽和度を合計した塩基飽和度の平均値は2008年が153%、2014年が149%及び2023年が142%で調査年の違いによる統計的な有意差はなかったが、全ての年で改良目標上限を大きく超えた。石灰/苦土比及び苦土/加里比は、調査年全てにおいて適正範囲以内で、調査年の違いによる統計的な有意差はなかった。熱水抽出性ホウ素の平均値は2008年が1.0mg/kg、2014年が1.1 mg/kg及び2023年が1.5mg/kgで2008年と比較して2023年は有意に多かった。ただし、全ての年で改良目標範囲内であった。

(2)地域別の調査結果

平坦な干拓地の長浜地域と、主に海岸沿いの傾斜地に立地する長浜地域以外の土壌化学性の平均値を表2に示した。3か年の平均値で、長浜と長浜以外を比べると、pHは長浜では6.9、長浜以外では7.1で、長浜

の方が有意に低かった。可給態リン酸含量は長浜が313mg/100g、長浜以外では456mg/100gで、長浜の方が有意に少なかった。CECは長浜が17.1meq/100g、長浜以外では14.6meq/100gで、長浜の方が高い傾向を示した。石灰飽和度は長浜では95%、長浜以外では136%で、長浜の方が有意に低かった。また、塩基飽和度についても長浜の方が有意に低かった。石灰/苦土比は長浜では5.9、長浜以外では7.6で長浜の方が有意に低かった。苦土/加里比は長浜では2.5、長浜以外では3.6で長浜の方が低い傾向を示した。それ以外の項目については、両地域間で有意な差はなかった。

(3)土壌成分量の過不足調査結果

岡山県土壌施肥管理システム（石橋，2005）により、圃場ごとの土壌成分量の過不足程度を判定し、分析項目別の適正圃場、改良目標下限未満圃場、及び改良目標上限超過圃場の割合を図1に示した。pHが改良目標上限を超過した圃場の割合は、2008年が58%、2014年が61%及び2023年が57%で、いずれの年も過半数の圃場が改良目標上限を超過した。腐植含量が改良目標下

表2 瀬戸内市牛窓露地野菜圃場の地域別土壌化学性

調査年	調査地域	圃場数	pH	EC	腐植	無機態窒素	可給態窒素	可給態リン酸	CEC	交換性石灰	交換性苦土	交換性加里	塩基飽和度	石灰飽和度	苦土飽和度	加里飽和度	石灰/苦土比	苦土/加里比	熱水抽出性ホウ素
			(H ₂ O)	(dS/m)	(%)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(meq/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(%)	(%)	(%)	(%)			(mg/kg)
2008年	長浜	10	6.8	0.13	2.6	3.8	6.1	304	16.3	445	62	73	125	97	18	9	5.9	2.4	1.0
	長浜以外	16	7.3	0.14	3.2	4.8	6.9	426	14.0	538	62	67	170	137	23	10	6.8	3.0	0.9
2014年	長浜	8	6.8	0.12	2.6	2.0	5.2	332	16.6	409	56	52	111	88	17	7	5.6	2.6	1.3
	長浜以外	15	7.1	0.12	3.3	1.8	5.6	478	13.0	505	46	40	169	144	19	6	8.5	4.1	1.0
2023年	長浜	8	6.9	0.13	3.4	4.3	6.9	306	18.5	515	64	77	125	99	18	8	6.1	2.6	1.7
	長浜以外	15	7.0	0.19	4.2	1.8	7.4	467	16.7	585	57	53	151	126	18	7	7.6	3.8	1.4
平均	長浜	26	6.9	0.13	2.8	3.4	6.1	313	17.1	455	61	68	121	95	18	8	5.9	2.5	1.3
	長浜以外	46	7.1	0.15	3.6	2.8	6.6	456	14.6	543	55	54	163	136	20	7	7.6	3.6	1.1

¹t検定* **及び*は、それぞれ1%、5%水準で有意差があることを示す。nsは5%水準で有意差なし

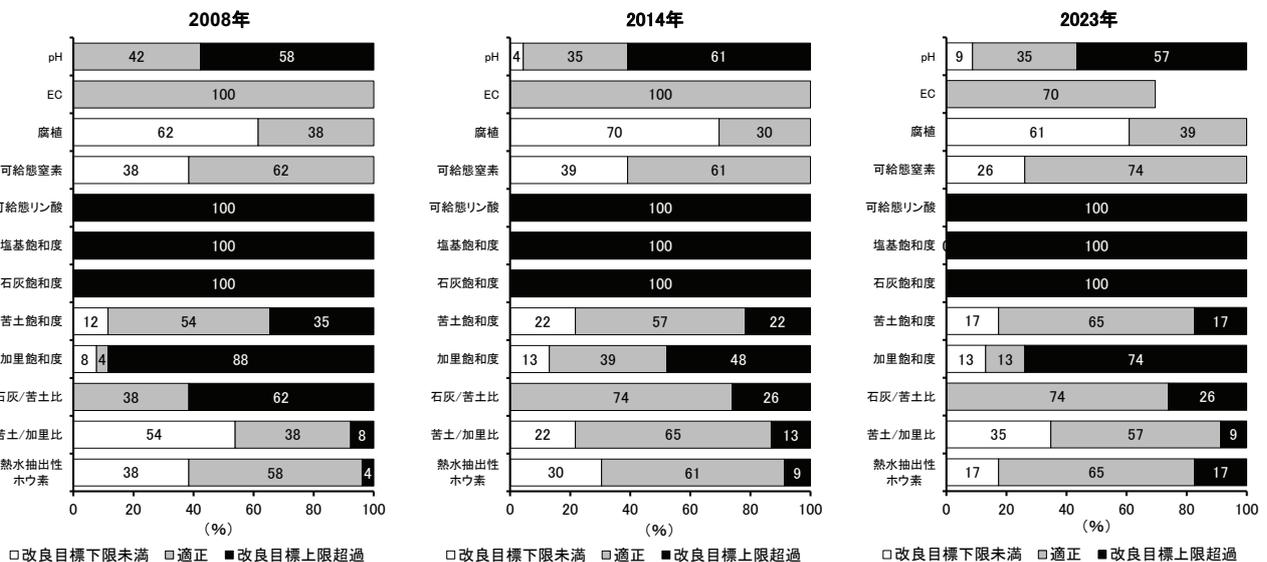


図1 調査項目別の改良目標下限未満圃場、適正圃場及び改良目標上限以上圃場の割合²
²端数処理のため%の合計は正確に100にならない

限未満の圃場の割合は、2008年が62%、2014年が70%及び2023年が61%で、いずれの年も過半数の圃場が改良目標下限未満であった。可給態リン酸含量及び石灰飽和度は、いずれの年も全ての圃場が改良目標上限を超過した。加里飽和度の改良目標上限超過圃場の割合は、2008年が88%、2014年が48%及び2023年が74%で、2008年及び2023年は過半数の圃場が改良目標上限を超過した。石灰/苦土比が適正な圃場の割合は、2008年が38%、2014年及び2023年が74%で、2008年と比較して、2014年及び2023年の方が適正な圃場が増加した。苦土/加里比が適正な圃場は、2008年は38%、2014年は65%及び2023年は57%で、2008年と比較して、2014年及び2023年の方が適正な圃場が増加した。熱水抽出性ホウ素含量が適正な圃場の割合は、2008年が58%、2014年が61%及び2023年が65%で、年次間の差はみられなかったが、改良目標上限を超過した圃場の割合は、2008年が4%、2014年が9%及び2023年が17%で徐々に増加する傾向がみられた。なお、長浜と長浜以外の地域別の適正圃場、改良目標下限未満圃場、及び改良目標上限超過圃場の割合について、地域間で差がみられたのはpH及び石灰/苦土比で、長浜以外の地域の方が改

良目標上限を超過した圃場の割合が高かった（データ省略）。

2. 施肥実態アンケート調査

(1) 土づくり資材の施用状況

石灰を含む肥料の施用状況を図2に、その施用量を表3に示した。石灰を含む肥料を施用している圃場の割合は、2008年は100%、2014年は96%及び2023年は91%であった。そのうち2008年は苦土石灰を施用している圃場が全体の50%で最も多かった。2014年は苦土石灰やミネGスーパーを施用している圃場がそれぞれ全体の39%で最も多く、2023年は、石灰を含む肥料を複数施用している圃場が43%で最も多かった。調査圃場全体の1a当たりの平均石灰施用量は、2008年は6.2kg、2014年は5.4kg及び2023年は7.0kgで、調査年による有意な差はなかった。また、3か年の地域別施用量の平均値は、長浜では6.0kg、長浜以外では6.3kgで地域による有意な差はなかった。なお、地域別で施用した肥料の種類に明瞭な差はなかった（データ省略）。

リン酸質肥料の施用状況を図3に、その施用量を表4に示した。リン酸質肥料を施用している圃場の割合は、2008年は43%、2014年は8%及び2023年は4%であった。

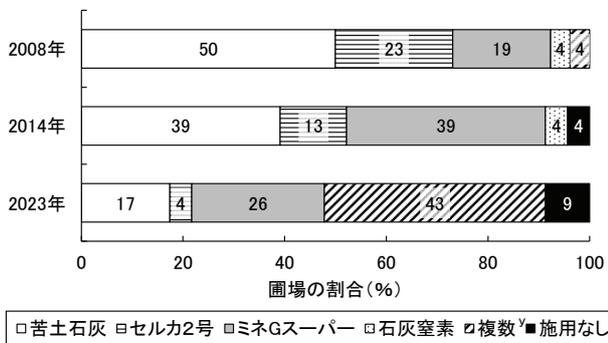


図2 石灰を含む肥料の施用割合²

²端数処理のため%の合計は正確に100にならない

³苦土石灰、セルカ2号、ミネGスーパー及び石灰窒素のいずれかを複数施用

表3 石灰を含む肥料による平均石灰施用量²

調査年	調査地域	圃場数	施用量 (kg/a)
2008年	長浜	10	6.3
	長浜以外	16	6.2
2014年	長浜	8	5.9
	長浜以外	15	5.2
2023年	長浜	8	5.7
	長浜以外	15	7.6
2008年	—	26	6.2
2014年	—	23	5.4
2023年	—	23	7.0
—	長浜	26	6.0
—	長浜以外	46	6.3
分散分析		調査年	ns ³
		調査地域	ns
		交互作用	ns

²肥料に含まれる可溶性カルシウム含有量を石灰(CaO)に換算して算出

³分散分析のnsは5%水準で有意差なし

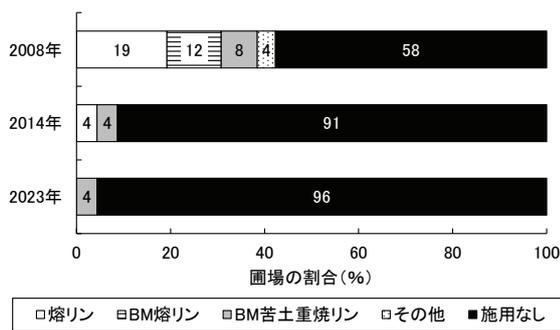


図3 リン酸質肥料の施用割合²

²端数処理のため%の合計は正確に100にならない

表3 石灰を含む肥料による平均石灰施用量²

調査年	調査地域	圃場数	施用量 (kg/a)
2008年	長浜	10	0.46
	長浜以外	16	0.42
2014年	長浜	8	0
	長浜以外	15	0.10
2023年	長浜	8	0
	長浜以外	15	0.04
2008年	—	26	0.44b ^y
2014年	—	23	0.07a
2023年	—	23	0.03a
—	長浜	26	0.15
—	長浜以外	46	0.19
		調査年	** ^x
分散分析		調査地域	ns
		交互作用	ns

²肥料に含まれるク溶性リン含有量をリン酸(P₂O₅)に換算して算出

^y異なる英文字間はTukeyの多重比較(有意水準5%)で有意差あり

^x分散分析の**は1%水準で有意差があることを示す。nsは5%水準で有意差なし

そのうち2008年は溶リンを施用している圃場が全体の19%で最も多かった。2014年は溶リン及びBM苦土重焼リン、及び2023年はBM苦土重焼リンを施用していた。調査圃場全体の1a当たりの平均リン酸施用量は、2008年は0.44kg、2014年は0.07kg及び2023年は0.03kgで、2008年と比較して2014年及び2023年の施用量は有意に少なかった。また、3か年の地域別施用量は、長浜では0.15kgで、長浜以外では0.19kgで地域による有意な差はなかった。なお、地域別で施用した肥料の種類に明瞭な差はなかった(データ省略)。

(2)有機物の施用状況

有機物の施用状況を図4に示した。有機物を施用している圃場の割合は、2008年は43%、2014年は39%及び2023年は47%であった。有機物の種類は2008年及び2014年は鶏ふんが最も多かったが、2023年はマッシュ堆肥が最も多かった。また、地域別の有機物施用の有無割合は図5に示したとおり、3回の調査全てで、長浜では80%以上の圃場で有機物を施用していなかった

が、長浜以外では、過半数が施用していた。有機物の平均施用量を表5に示した。鶏ふんの調査圃場全体の1a当たりの平均施用量は、2008年は127kg、2014年は53kg及び2023年は38kgであった。牛ふん堆肥の平均施用量は、2008年は278kgで2023年は264kgであった。マッシュ堆肥の平均施用量は、2008年は100kg、2014年は350kg及び2023年は264kgであった。

(3)窒素、リン酸、加里を含む複合肥料の施用状況

春作における窒素、リン酸、加里を含む複合肥料の成分別施用量を表6に示した。調査圃場全体における1a当たりの平均窒素施用量は、2008年及び2014年は1.3kgで、2023年は1.8kgで2023年は2008年及び2014年と比較して有意に多かった。平均リン酸施用量は、2008年は0.8kg、2014年は1.0kg及び2023年は1.3kgで2023年は2008年と比較して有意に多かった。平均加里施用量は、2008年は0.9kg、2014年は1.1kg及び2023年は1.4kgで2023年は2008年と比較して有意に多かった。また春作における、長浜及び長浜以外の地域別の窒素、リン

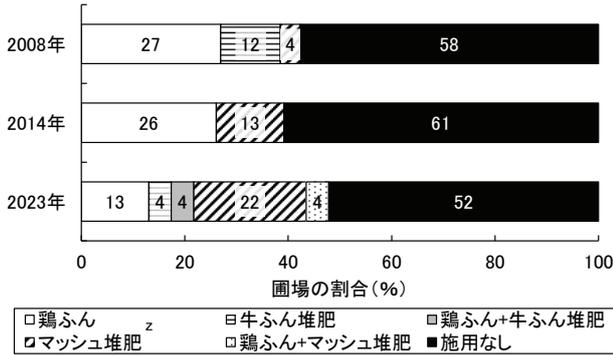


図4 有機物の施用割合^z

^zマッシュ堆肥：マッシュルーム生産工場から排出された菌床を発酵させた堆肥

^y端数処理のため%の合計は正確に100にならない

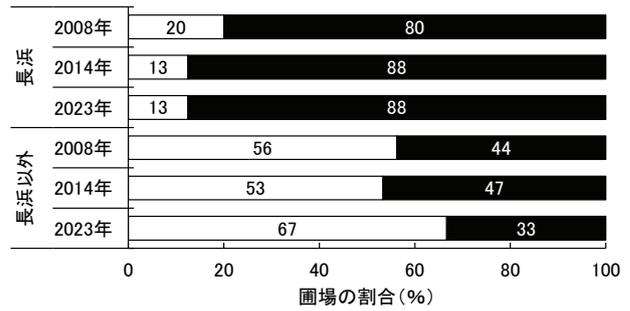


図5 地域別の有機物施用の有無割合^z

^z端数処理のため%の合計は正確に100にならない

表5 有機物の施用圃場数及び平均施用量

調査年	鶏ふん		牛ふん堆肥		マッシュ堆肥	
	圃場数 ^z	施用量 ^y (kg/a)	圃場数 ^z	施用量 ^y (kg/a)	圃場数 ^z	施用量 ^y (kg/a)
2008年	7(1)	127 ± 35	3(1)	278 ± 40	1(0)	100
2014年	6(1)	53 ± 14	0	—	3(0)	350 ± 161
2023年	5(0)	38 ± 9	2(0)	264 ± 236	5(1)	264 ± 98

^z()内数字は長浜地域の圃場内数

^y平均値±標準誤差

表6 春作における地域別の窒素、リン酸、及び加里を含む複合肥料の成分別施用量

調査年	調査地域	圃場数 ^z	平均施用量(kg/a)		
			窒素	リン酸	加里
2008年	長浜	10	1.2	0.8	0.8
	長浜以外	10	1.3	0.8	1.0
2014年	長浜	7	1.1	0.8	0.8
	長浜以外	12	1.4	1.1	1.2
2023年	長浜	5	2.2	1.3	1.6
	長浜以外	11	1.6	1.3	1.3
2008年	—	20	1.3a ^y	0.8a	0.9a
2014年	—	19	1.3a	1.0ab	1.1ab
2023年	—	16	1.8b	1.3b	1.4b
—	長浜	22	1.5	1.0	1.1
—	長浜以外	33	1.4	1.0	1.2
分散分析		調査年	** ^x	*	**
		調査地域	ns	ns	ns
		交互作用	*	ns	ns

^z作付けがあった圃場数

^y異なる英文字間はTukeyの多重比較(有意水準5%)で有意差あり

^x分散分析の**及び*は、それぞれ1%及び5%水準で有意差があることを示す。nsは5%水準で有意差なし

表7 秋作における地域別窒素、リン酸、及び加里を含む複合肥料の成分別施用量

調査年	調査地域	圃場数 ^z	平均施用量(kg/a)		
			窒素	リン酸	加里
2014年	長浜	8	3.3	2.2	2.3
	長浜以外	14	2.7	2.2	2.4
2023年	長浜	8	2.5	2.1	2.2
	長浜以外	15	2.6	1.9	2.1
2014年	—	22	2.9	2.2	2.4
2023年	—	23	2.6	1.9	2.1
—	長浜	16	2.9	2.1	2.2
—	長浜以外	29	2.6	2.1	2.2
分散分析		調査年	* ^y	ns	ns
		調査地域	ns	ns	ns
		交互作用	ns	ns	ns

^z作付けがあった圃場数

^y分散分析の*は5%水準で有意であることを示す。nsは5%水準で有意差なし

酸及び加里施用量に有意な差はなかった。秋作における窒素、リン酸、加里を含む複合肥料の成分別施用量を表7に示した。秋作の調査圃場全体における1a当たり

の平均窒素施用量は、2014年は2.9kg及び2023年は2.6kgで2023年は2014年と比較して有意に少なかった。平均リン酸施用量は、2014年は2.2kg及び2023年は1.9kgで有

表8 春作における品目別の窒素，リン酸，及び加里を含む複合肥料の成分別施用量

調査年	品目	作付け割合 ² (%)	平均施用量(kg/a)		
			窒素	リン酸	加里
2008年	トウガン	70	1.4	0.9	1.0
	スイカ	15	1.3	0.8	1.1
	ソウメンナンキン	0	—	—	—
	ハクサイ	0	—	—	—
	その他 ³	15	0.9	0.3	0.4
2014年	トウガン	53	1.5	1.0	1.2
	スイカ	11	1.0	1.0	1.0
	ソウメンナンキン	21	1.0	0.8	0.8
	ハクサイ	0	—	—	—
	その他	16	1.2	0.9	1.1
2023年	トウガン	38	1.7	1.3	1.3
	スイカ	19	1.3	1.2	1.2
	ソウメンナンキン	6	1.2	1.2	1.2
	ハクサイ	31	2.0	1.3	1.7
	その他	6	3.2	1.4	1.4

²作付け圃場数÷調査圃場数×100(%)とし、端数処理のため%の合計は正確に100にならない
³キャベツ、カボチャ、メロン及びズッキーニ

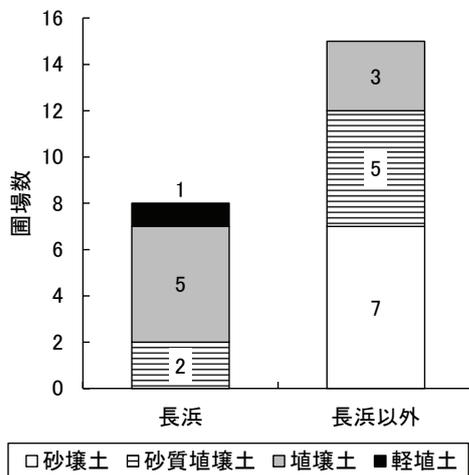


図6 瀬戸内市牛窓露地野菜圃場の地域別の土性 (n=23)

表9 秋作における品目別の窒素，リン酸，及び加里を含む複合肥料の成分別施用量

調査年	品目	作付け割合 ² (%)	平均施用量(kg/a)		
			窒素	リン酸	加里
2014年	キャベツ	32	3.1	2.4	2.5
	ハクサイ	64	2.8	2.1	2.3
	ブロッコリー	5	2.5	2.5	2.5
2023年	キャベツ	52	2.6	1.9	2.1
	ハクサイ	43	2.5	2.0	2.1
	ブロッコリー	4	2.6	1.9	2.1
分散分析 ³	調査年	ns ^x	ns	ns	
	品目	ns	ns	ns	
	交互作用	ns	ns	ns	

²作付け圃場数÷調査圃場数×100(%)とし、端数処理のため%の合計は正確に100にならない
³ブロッコリー施用量は、両年とも圃場数が1であったため、解析から除外した
^x分散分析のnsは5%水準で有意差なし

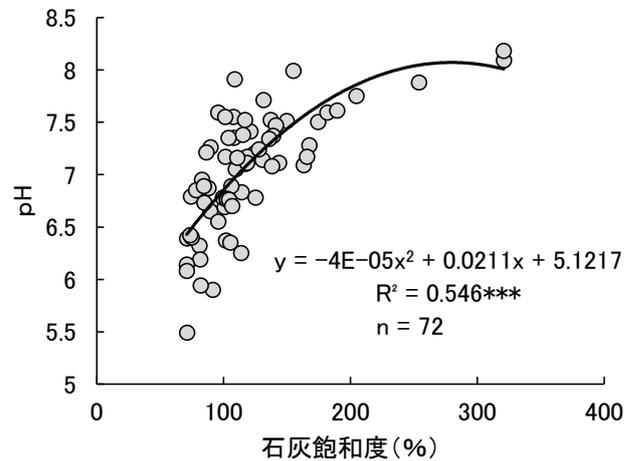


図7 石灰飽和度とpHとの関係 (3か年データ)
^{***}は0.1%水準で相関関係が有意であることを示す

意な差はなかった。平均加里施用量は、2014年は2.4kg及び2023年は2.1kgで有意な差はなかった。また秋作における、長浜及び長浜以外の地域別の窒素，リン酸及び加里施用量に有意な差はなかった。

春作における品目別の複合肥料の成分別施用量を表8に、秋作における品目別の複合肥料の成分別施用量を表9に示した。春作でのトウガンの作付け割合は、2008年が70%、2014年が53%及び2023年が38%で、徐々に減少する傾向がみられた。一方で、2023年はハクサイの作付けが31%で2008年や2014年と比較して増加した。また、2023年のハクサイの1a当たりの施肥量は窒素が2.0kg、リン酸が1.3kg及び加里が1.7kgで、2008年、2014年及び2023年のトウガンの施用量よりも窒素で0.5kg、リン酸で0.2kg及び加里で0.6kg程度多かった。

秋作では、2014年はハクサイの作付け割合が64%でキャベツと比較して多かったが、2023年はキャベツの作付け割合が52%でハクサイと比較して多かった。調査年及び品目の違いによる有意な差はなかった。

3. 土性調査結果 (2023年)

牛窓露地野菜産地の各圃場の土性を図6に示した。調査圃場の土性は、埴壤土が8圃場で最も多く、次いで砂質埴壤土及び砂壤土がそれぞれ7圃場で多かった。また、地域別では、長浜地域では埴壤土が最も多く、長浜以外の地域では砂壤土が最も多かった。

考 察

1. 牛窓露地野菜産地全体の土壌実態とその改善策

土壌化学性調査の結果、2008年、2014年及び2023年

ともに、pHの平均値が改良目標上限の7.0付近で、いずれの年も過半数の圃場が改良目標上限以上であった(表1, 図1)。また、調査圃場全てで、石灰飽和度が改良目標上限を超えていた。そこで、石灰飽和度とpHとの関係を調査した結果、石灰飽和度が高くなるに従い、pHが高くなる傾向がみられた(図7)。したがって、高pHは、石灰飽和度が高いことが原因と考えられた。普通畑で石灰飽和度が高い傾向は、他府県の農耕地土壌調査でも指摘されており、土壌実態を考慮しない石灰資材の多投が原因としている(長沢ら, 2006; 佐野ら, 2011)。牛窓露地野菜産地の施肥に関するアンケート調査の結果においても、2008年では100%の圃場、2014年では96%及び2023年では91%の圃場で石灰を含む肥料の投入がみられた(図2)。さらに、有機物施用状況の調査においては、鶏ふんを施用する圃場が多く、その施用量は、平均で2008年は127kg/a、2014年は53kg/aと多かった(表5)。鶏ふんは他の家畜ふん堆肥と比較して石灰含量が多く、岡山県で流通している鶏ふんの石灰含量は、平均で $15.8 \pm 4.7\%$ である(岡山県農林水産部, 2014)。したがって、石灰を多く含む鶏ふんの多投入も、石灰飽和度を高めている原因の一つとして考えられた。以上、本産地の土壌はpHが高い傾向がみられ、その原因は石灰を含む資材の恒常的な施用と、石灰を多く含む鶏ふんの多投入が原因と考えられた。石灰を含む資材を投入し続ける目的の一つに、ハクサイで発生する石灰欠乏(あんこ症)の予防が考えられる。また、アブラナ科野菜の難防除病害である根こぶ病の対策として、pHを高めに維持せざるを得ないという現状がある。ただし、村上ら(2003)の報告によると、土壌pHを7.0以上とすることで根こぶ病の発病を抑制しているが、牛窓地域の圃場では、pH7.5以上の過度に高い圃場も多くみられる。他の文献によると、過度の高pHでは微量元素等の吸収が阻害される(高橋ら, 1980)ことがある。また、石灰欠乏については、乾燥対策や多量の窒素施用を控える等で被害が軽減される報告(久山・赤井, 2003)もある。したがって、今後は石灰補給に頼った欠乏症対策を見直すことが必要である。また、根こぶ病対策としてpHを高めに維持するには、微量元素欠乏を発生させないために、石灰と微量元素とが含まれる鉍さいケイ酸質肥料を用いることが有効とされる報告(村上・後藤, 2006)があることから、pHを高めるには本資材の利用が有効と考えられた。

加里飽和度は、2008年の平均値が2014年及び2023年と比較して高く、88%の圃場が改良目標上限を超過し

ていた。また、2008年の苦土/加里比は、適正な圃場の割合が2014年及び2023年と比較して少なかった(表1, 図1)。加里の施用量について、複合肥料は春作では2023年の方が2008年と比較して有意に多かったものの、有機物由来については、鶏ふんの1a当たりの施用量が平均で2008年は127kg、2014年は53kg及び2023年は38kgと調査年の経過とともに減少した(表5, 表6)。鶏ふんは他の家畜ふん堆肥と比較して加里含量が多く、岡山県で流通している鶏ふんの加里含量は、平均で $3.5 \pm 0.7\%$ である(岡山県農林水産部, 2014)。鶏ふんに含まれる加里含量を3.5%とした場合、2008年の加里施用量は1a当たり4.4kg、2014年は1.9kg及び2023年は1.3kgで、2008年については、春作や秋作に施用する複合肥料の加里施用量を大きく超える量であった。したがって、加里を多く含む鶏ふんの多投入が、2008年の加里飽和度を高めて、苦土/加里比が低くなった原因の一つとして考えられた。

可給態リン酸含量は、2008年の全ての圃場において、改良目標上限以上であった(図1)。全国の野菜畑における可給態リン酸の過剰地点数は増加傾向にあり(小原・中井, 2004)、その原因については、リン酸質肥料や家畜ふん堆肥の多投入が原因とされている(大島・後藤, 2008)。本調査では、施用有機物に含まれるリン酸含量の聞き取りは行わなかったが、岡山県下で流通している堆肥の平均リン酸成分含量は、牛ふん堆肥が $1.1 \pm 0.6\%$ 、鶏ふんは $4.9 \pm 1.5\%$ であることが報告されている(岡山県農林水産部, 2014)。2008年の牛ふん堆肥の平均施用量が1a当たり278kgで、鶏ふんの平均施用量が1a当たり127kgであったことを考慮すると、リン酸が牛ふん堆肥からは推定で1a当たり3.1kg及び鶏ふんからは推定で1a当たり6.2kg施用されており、春作や秋作に施用する複合肥料のリン酸施用量と牛ふん堆肥では同等で、鶏ふんでは2倍程度の量であった(表4, 表5)。以上、本産地の土壌は可給態リン酸が過剰蓄積していることが明らかとなり、その原因は、リン酸質肥料や複合肥料の恒常的な施用に加えて、家畜ふん堆肥の多量連用であると考えられた。一方、2008年と比較して2014年及び2023年は、リン酸質肥料やリン酸を多く含む鶏ふん施用量は減少傾向であった(表4, 表5)。これは、2008年の結果に基づく施肥改善指導と、2008年から始まった肥料価格の高騰によって、リン酸質肥料の利用が減ったためと考えられた。しかし、2008年、2014年及び2023年の可給態リン酸含量には、大きな変化はみられなかった(表1)。これは、リン酸質肥料の施用量は減っているものの、現在も作付け品目の収穫

物により圃場外に持ち出されるリンを上回る量のリン酸が複合肥料や堆肥から供給され続けているためと考えられた。また、可給態リン酸について、岡山県内の有機栽培農地で行われた調査で、堆肥の使用量を減らしたり、肥料の使い方を適切に調整したりした後、4?7年経過しても減少しなかった報告や（芝ら、2012）、農耕地から農耕地外へのリンの溶脱量はきわめて少ないという報告（小山田ら、1986；小川ら、1988）もあることから、牛窓露地野菜産地でも同様に、土壌中の可給態リン酸が減少しなかったと考えられた。このため、2008年の調査結果を受け、夏播きキャベツでリン酸減肥試験を実施し、リン酸減肥指針を策定した（鷺尾・荒木、2013）。その後、本産地の一部の生産者では、リン酸減肥栽培を実施しており、今後もリン酸減肥栽培は広がっていくと考えられる。

腐植含量は改良目標下限未満の圃場が2008年、2014年及び2023年ともに過半数を超えていた（図1）。なお、2023年において腐植含量が20.0%と高い圃場がみられたが、新たに調査圃場に加えたものではなく、2014年の調査以降の有機物の大量施用が原因と思われた。腐植増加につながる有機物の施用状況については、2008年、2014年及び2023年ともに過半数の圃場で施用されていなかった（図4）。腐植含量の増加には有機物を含む堆肥の施用が必要であるが、生産者は堆肥を散布したくても、散布機械がない場合や、労力不足で堆肥散布まで手が回らない場合等がある。したがって、対策として今後は堆肥散布組織の連携による、円滑な堆肥散布体制の整備等の検討や、堆肥と化成肥料が同時に散布でき、腐植の減少を遅らせつつ、化学性を改善できる混合堆肥複合肥料や指定混合肥料の利用が必要と考えられた。一方で、前述したとおり、堆肥の過剰施用は石灰、加里及びリン酸が過剰蓄積する要因になるため、堆肥を施用する場合には、肥料成分含量の少ない堆肥を選んで施用するか、堆肥に含まれる肥料成分を考慮して、化学肥料施用量を減らすことが必要と考えられた。

熱水抽出性ホウ素は、2008年と比較して2023年は有意に多かった（表1）。2008年の調査結果では、38%の圃場が改良目標下限未満であったため、対策としてホウ素入り複合肥料の利用が進んだことが一つの要因と考えられた（データ省略）。しかし、調査圃場の中には熱水抽出性ホウ素含量及び可給態窒素含量が共に改良目標値を下回る圃場も見られた。このような圃場で分量の堆肥等の施用が難しい場合には、交換性石灰含量の蓄積にも注意する必要があるが、混合堆肥複合肥

料の施用によりそれぞれの増加が期待できると考えられた（森次ら、2023）。

2. 地域別の土壌実態

平坦な干拓地の長浜地域と、それ以外の主に海岸沿いの傾斜地に立地する長浜以外の地域とで土壌化学性を比較した。長浜地域はそれ以外の地域と比較して、石灰飽和度が低く、可給態リン酸含量が有意に少なかった。また、CECが高い傾向であった（表2）。石灰を含む肥料やリン酸質肥料の施用量は両地域間に明瞭な差はなかった一方で、有機物の施用については長浜地域では80%以上の圃場で有機物を施用していなかったが、長浜以外では、過半数が施用していた（表3、表4、図5）。したがって、両地域における石灰飽和度及び可給態リン酸含量の違いは、肥料由来よりも、有機物由来の石灰及びリン酸施用による影響が大きいと考えられた。有機物施用量が両地域で違う一つの要因として、土性の違いが影響していると考えられた。2023年の調査では、長浜地域は埴壤土が最も多く、長浜地域以外は砂壤土が最も多かった（図6）。一般的に、土壌中の粘土は養分を吸着保持し、有機物の分解を遅らせる効果がある（原田、1967）。したがって、粘土含量が多い埴壤土と比較して砂壤土は保肥力が低く、有機物分解スピードが速い。このため、長浜以外の地域では、経験的に地力保持のため、長浜地域よりも有機物を多く施用していると考えられた。また、長浜以外の地域では傾斜地に立地する圃場が多く、かつ土性が粗粒なため干ばつの被害を受けやすいこと、さらに豪雨時の表面流去水により土壌浸食を受けやすい傾向があり、団粒構造の発達による保水性と耐水性の向上を図るため、有機物施用の必要性が大きいと考えられた。したがって、有機物の施用頻度の多い長浜以外の地域では、有機物由来の肥料成分を考慮した施肥を実施し、石灰及びリン酸の過剰投入を防ぐことが必要と考えられた。また、このことは施肥の低減になり、コスト削減の観点からも有効な手段と考えられた。

3. 複合肥料施用量的変化

窒素、リン酸及び加里を含む複合肥料の施用量について、春作では2023年は2008年及び2014年と比較して多かった（表6）。これは、作付け品目の変化が影響していると考えられた。2008年及び2014年の春作はトウガンの作付けが過半数以上であったが、2023年はトウガンの作付けが38%に減少し、トウガンより施肥量の多いハクサイの作付けが31%に増加したことによると考えられた（表8）。

4. 牛窓露地野菜産地全体に向けた適正な土壌管理指

針

調査結果に基づいた、牛窓露地野菜産地全体の土壌及び施肥実態の傾向に応じた適正な土壌管理指針を表10に示した。土壌化学性や施肥実態アンケート調査結果から、産地全体の傾向として、①石灰が過剰でpHが高い、②加里が多い、③可給態リン酸が多い、④腐植が少ないことを問題点として、原因と対策を取りまとめた。本指針は、普及指導センター及びJAに報告するとともに、研修会にて、生産者へ直接報告した。なお、対策に向けた取り組みのうち、鶏ふんについては、2014年及び2023年の調査時には施用量が減少していることが明らかとなり、加里飽和度の平均値の低下につながった。また、リン酸質肥料については、2011～2012年にかけて普及指導センター、JA及び農業研究所が連携して夏播きキャベツのリン酸減肥指針策定のための減肥実証試験を実施し（鷺尾・荒木、2013）、リン酸減肥栽培の取り組みにつながっている。

摘 要

岡山県南部の瀬戸内市牛窓露地野菜産地の土壌化学性及び施肥の実態を、2008年は26圃場、2014年は23圃場、2023年は23圃場で調査した。

- (1)2008年、2014年及び2023年ともに、pHが改良目標値上限を超える圃場が多かった。これは、石灰を含む資材や、石灰成分を多く含む鶏ふんの多量連用が原因と考えられた。
- (2)2008年に調査した加里飽和度の平均値は、2014年及び2023年と比較して有意に高かった。これは、2008年は2014年及び2023年と比較して加里成分を多く含む鶏ふん施用量が多かったことが原因と考えられた。
- (3)2008年に調査した可給態リン酸は、全ての圃場で改良目標値上限を超えた。これは、リン酸質肥料やリン酸を多く含む家畜ふん堆肥の多量連用が原因と考えら

れた。

- (4)土壌中の腐植含量は、2008年、2014年及び2023年ともに、過半数以上が改良目標下限未満であった。過半数以上の圃場では、地力向上につながる有機物を施用していなかった。特に、長浜地域で有機物を施用していない圃場が多かった。
- (5)長浜以外の地域は長浜地域と比較して、石灰飽和度が高く、可給態リン酸含量が有意に多かった。また、CECが低い傾向であった。これらの差は、長浜以外の地域に保肥力及び保水力の低い砂質土壌が多く分布しているため、生産者が経験的に地力維持を目的として、長浜地域よりも多量の有機物を施用していることが原因と考えられた。
- (6)窒素、リン酸及び加里を含む複合肥料の施用量について、春作では、2008年及び2014年と比較して2023年の窒素、リン酸及び加里施用量が多かった。これらの差は作付け品目が変化していることが原因と考えられた。
- (7)調査結果に基づいた、牛窓露地野菜産地全体の土壌及び施肥実態の傾向に応じた適正な土壌管理指針を普及指導センター、JA及び生産者に示したことで、産地の一部で改善効果がみられた。

引用文献

- 原田登五郎（1967）粘土ハンドブック。技報堂、東京、pp.857-868。
- 石橋英二（2005）土壌施肥管理システムの開発。岡山県農試研報、23:33-41。
- 久山弘巳・赤井直彦（2003）土壌水分がハクサイ心腐れ症の発生に及ぼす影響。岡山県農試研報、21:27-31。
- 森次真一・鷺尾建紀・水木剛・鳥家あさ美・上田直國・大家理哉・白石誠（2023）キャベツ及びハクサ

表10 牛窓露地野菜産地に示した適正土壌管理指針

課 題	原 因	対 策
石灰が過剰で pHが高い	・石灰を含む資材の恒常的な施用 ・鶏ふんの多投	→ ・pHが7.5以上の圃場には石灰資材の施用を控える → ・pHが7.5未満の圃場には微量要素の含まれる石灰資材の利用 → ・施用量の見直しと含まれる肥料成分を考慮した施肥
加里が過剰	・鶏ふんの多投	→ ・施用量の見直しと含まれる肥料成分を考慮した施肥
可給態リン酸が過剰	・リン酸質肥料や複合肥料の恒常的な施用 ・牛ふん堆肥や鶏ふんの多投	→ ・リン酸質肥料の施用を控える → ・施用量の見直しと含まれる肥料成分を考慮した施肥
腐植が少ない	・腐植の増強につながる牛ふん堆肥や マッシュ堆肥の利用が少ない	→ ・堆肥散布体制の組織化 → ・堆肥を含む混合堆肥複合肥料や指定混合肥料の利用

- イの年内どり作型における全量基肥施用に適する混合堆肥複合肥料の開発と施用効果, 岡山県農業研報, 14:15-34
- 村上圭一・篠田英史・丸田里江・後藤逸男 (2003) アブラナ科根こぶ病発生地域における土壌理化学性および休眠孢子密度と発病の関係. 土肥誌, 74:781-786.
- 村上圭一・後藤逸男 (2008) 転炉スラッグの多量施用によるアブラナ科野菜根こぶ病の防除. 農業及び園芸, 81:445-452.
- 長沢和弘・熊谷勝巳・中川文彦・佐藤之信・今野陽一・森岡幹夫・上野正夫・山口金栄 (2006) 山形県における農耕地土壌の実態と変化. 山形農事研報, 38:41-57.
- 日本土壌協会 (2001) 土壌機能モニタリング調査のための土壌, 水質及び植物体分析法. 東京, pp.52-80.
- 日本ペドロロジー学会 (2006) 土壌調査ハンドブック (第4版). 博友社, 東京, pp.74-75.
- 小原洋・中井信 (2004) 農耕地土壌の可給態リン酸の全国的変動農耕地土壌の特性変動 (II). 土肥誌, 75:59-67.
- 小川吉雄・小川奎・千葉恒夫・黒沢直・石川実 (1998) 乾燥豚ふんの多量施用が農業環境に及ぼす影響. 農業及び園芸, 63:615-620.
- 岡山県農林水産部農産課 (2010) 岡山県瀬戸内市牛窓地区 (はくさい) ~瀬戸内の冬場温暖な気候を生かして産地を形成~
<http://vegetable.alic.go.jp/yasaijoho/santi/1011/santi1.html> (2024.5検索)
- 岡山県農林水産部 (2014) 家畜ふん堆肥適正施用の手引き. 65p.
http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/388931_2254764_misc.pdf (2024.5検索)
- 大島宏行・後藤逸男 (2008) 茨城県内の小玉スイカ栽培ハウス土壌におけるリン酸蓄積の実態. 土肥誌, 79:263-271.
- 小山田勉・酒井一・津田公男 (1986) やさい栽培畑からの肥料成分の流出. 茨城農試研報, 26:159-175.
- 佐野修司・内山知二・辰巳眞 (2011) 大阪府における土地利用別の農地土壌の実態. 大阪環農水研報, 4:27-31.
- 芝宏子・荒木有朋・赤井直彦・土倉義夫・石橋英二 (2012) 施設有機栽培圃場における養分集積の実態と有機質資材施用量の削減が土壌化学性に及ぼす影響. 土肥誌, 83:695-699.
- 高橋英一・吉野実・前田正男 (1980) 作物の要素欠乏・過剰症. 農文協, 東京, 149p.
- 鷺尾建紀・荒木有朋 (2013) 非黒ボク土壌における夏播きキャベツ栽培でのリン酸減肥基準. 2013年度近畿中国四国農業研究成果情報,
http://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/research_results/h25/pdf/03_kankyo_dojou/33-0303.pdf (2024. 5検索)