

愛知県内の土壌理化学性の異なる畑土壌における コマツナによる土壌蓄積リンの利用性

安藤 薫¹⁾・中村嘉孝¹⁾・瀧 勝俊¹⁾・大竹敏也¹⁾

摘要: 土壌に過剰蓄積したリンの利用によるリン肥料の減肥を目指し、可給態リン、土性、pHの違いが作物による土壌蓄積リンの利用性に与える影響を明らかにした。可給態リン、土性によらず、リン減肥によってコマツナ収量は減少しなかった。リン収支は、特にリン肥料無施用区でマイナスを示し、作物が土壌蓄積リンを吸収したと考えられる。石灰無施用により、砂質土壌ではpH、収量が低下したが、粘質土壌ではそれらは低下しなかった。pH低下によってリンがアルミニウムや鉄と結合し不可給化したこと、交換性カルシウム量が低下したことが収量低下の要因として考えられる。以上より、リンが土壌診断基準を満たしている場合、土壌pHを適切に管理することで、コマツナは土壌に蓄積したリンのみで十分に生育すると考えられる。

キーワード: 可給態リン、収量、土壌蓄積リン、pH、コマツナ

Availability of Phosphorus Accumulated in Soils with Different Soil Properties by *Brassica rapa* L. var. *perviridis* (Komatsuna) in Aichi Prefecture

ANDO Kaori, NAKAMURA Yoshitaka, TAKI Katsutoshi and OTAKE Toshiya

Abstract: To reduce the use of phosphate fertilizer by utilizing excess phosphorus accumulated in the soil, the effects of differences in phosphorus accumulation, soil properties, and pH on the availability of soil-accumulated phosphorus by crop were clarified. The decrease in phosphorus fertilizer did not affect the yield of komatsuna, regardless of the level of phosphorus accumulation in the soil and soil texture. The phosphorus balance became negative with no phosphorus application, suggesting that the crop absorbed phosphorus from the soil. The yield of komatsuna decreased without lime application in soil with a low cation exchangeable capacity. Therefore, it can be concluded that when phosphorus levels meet the soil diagnostic criteria and with proper management of soil pH, komatsuna can grow sufficiently with the phosphorus accumulated in the soil alone.

Key Words: Available phosphorus, Crop yield, Phosphorus stocked in soils, pH, *Brassica rapa* L. var. *perviridis*

¹⁾ 環境基盤研究部

緒言

愛知県の露地野菜畑では、野菜の吸収量以上のリン(P)が長年にわたり施用され続けた結果、土壤中に可給態Pが土壤診断基準の上限値を上回り、過剰蓄積していることが報告されている^{1,2)}。これまでに、Pの過剰蓄積によって、タマネギの腐敗球³⁾、トマトの黄化症状⁴⁾、スイートピーの白化症状⁵⁾、キュウリの白化症状⁶⁾、アブラナ科作物の根こぶ病⁷⁾などが助長されていることが報告されている。さらに、愛知県渥美半島では、農耕地土壤に過剰に蓄積したPが降雨に伴う土壤の表面流去により河川へ流亡することが報告されており⁸⁾、三河湾へのP負荷量の増大に伴う水質の汚濁が懸念されている。また、Pの可採年数に限りがあることを背景に、採掘国で禁輸出などの政策が実施され、2008年にはP肥料価格の高騰が生じた⁹⁾。以上より、過不足のない適切なP施肥方法の確立は、P過剰による生理障害や病害の抑止、Pによる環境負荷の低減に加え、P肥料を効率よく利用することによる持続的な農業生産性の確保において重要な課題である。

愛知県の露地野菜栽培において、牧田ら²⁾は野菜の養分吸収量から適切なP施肥量を提案し、ニンジン、ホウレンソウ、ブロッコリーなどで3割から5割程度のP肥料を減肥可能であることを明らかにしている。また、和田ら¹⁰⁾は、トルオーグ法で評価した可給態Pが過剰に蓄積した土壤(100 mg P₂O₅ 100g⁻¹以上)であれば、土壤蓄積Pを利用することで、P無施肥栽培が可能であることを報告している。しかしながら、土壤蓄積Pの作物への可給性は、土壤pH、土性、活性アルミニウム(Al)・鉄(Fe)量などの土壤化学性に影響を受け変化することから¹¹⁾、土壤の化学性によってPを減肥できる量は異なる可能性が高い。

そこで、本報では、土壤に蓄積したPの可給性の解明を目指し、可給態Pの蓄積量、土性、pH、活性Al・Fe量の違いがコマツナによる土壤に蓄積したPの利用性に与える影響について明らかにすることを目的とした。

材料及び方法

1 耕種概要

試験は、愛知県長久手市内(愛知県農業総合試験場の無加温温室にてポット栽培を実施した。2018年に県内で採

取した可給態P量の異なる3種類の土壤を供試し、それぞれP低土、P中土、P高土とした(表1)。1/5000 aのワグネルポットに、2 mm以上の礫を除いて3 kgとなるよう各土壤を充填した。すなわち、2 mm以上の礫含量が20%であったP低土とP高土は3.8 kg、2 mm以上の礫含量が10%であったP中土は3.3 kg充填した。コマツナ(「極楽天」、タキイ種苗、京都)を、1作目は2018年9月～10月、2作目は2019年3月～4月、3作目は2019年5月～6月、4作目は2019年7月～8月、5作目は2019年9月～10月の計5作にわたり栽培した。土壤は、1作終わるごとに各処理区でそれぞれ混和し、再度ポットに充填した。コマツナは各ポットに10粒播種し、間引きをして1ポット当たり3株で栽培した。灌水は散水チューブでおこなった。

2 試験設定および試料採取

処理区は、愛知県の施肥基準¹²⁾に従って、各土壤でPを施肥基準量(8 kg P₂O₅ 10a⁻¹)の0%(P0)、50%(P50)、100%(P100)施用する区を設け、過リン酸石灰を用い、それぞれ現物量で0、0.44、0.87 g pot⁻¹を施用した。窒素(N)は硫酸で2.0 g pot⁻¹(18 kg N 10a⁻¹)、カリウム(K)は塩化カリウムで0.5 g pot⁻¹(15 kg K₂O 10a⁻¹)、炭酸苦土石灰は現物重で6.0 g pot⁻¹を栽培前に土壤に混和した。また、4作目、5作目には、石灰無施用区として、P肥料、N肥料、K肥料はP100の施肥設計に準じ、苦土石灰のみ施肥しない処理をP中土、P高土に設けた(P100-Ca)。各処理はすべて5反復で実施した。各栽培後に、コマツナを収穫し、60°Cで2日間乾燥後、重量を測定した。作物体は粉碎し、分析に供した。また、各栽培後に、土壤を100 g程度採取、風乾した後に2 mmで篩別し、さらに一部を0.5 mm以下に微粉碎し、Pの分析に供した。

3 分析項目

土壤化学性は土壤環境分析法¹³⁾に従い、pH(H₂O)を土液比1:5(w/v)でガラス電極法により測定し、交換性カルシウム(Ca)、マグネシウム、カリウムをpH7.0の1 mol L⁻¹酢酸アンモニウム溶液で抽出し原子吸光度計(ZA-3300、株式会社日立ハイテクノロジーズ、東京)で測定した。陽イオン交換容量(CEC)はセミマイクロSchollenberger法で抽出後、アンモニア態窒素をホルモール法により測定した。活性Al・Feは、pH3.0の0.2 mol L⁻¹酸性シュウ酸溶液により抽出し原子吸光度計(ZA-3300、株式会社日立ハイテクノロジーズ、東京)で測定した。可給態Pはトルオーグ法で抽出した後、モリブデン青法で定量した。また、形態別Pは関谷法¹⁴⁾に準じて抽出した。

表1 供試土壤の理化学性

供試土	土性	pH (H ₂ O)	EC	TC ¹⁾	TN ²⁾	CEC ³⁾	Ex. ⁴⁾ CaO	Ex. MgO	Ex. K ₂ O	可給態 P ⁵⁾	活性 Al・Fe ⁶⁾
			μS cm ⁻¹	%	cmol _c kg ⁻¹	mg 100g ⁻¹			g kg ⁻¹		
P低土	LiC	6.7	42	1.4	0.16	9	213	27	39	34	2.5
P中土	SL	6.5	38	0.7	0.08	9	111	22	24	102	4.4
P高土	LiC	7.3	151	2.5	0.26	14	807	63	30	215	2.8

1) 全炭素、2) 全窒素、3) 陽イオン交換容量、4) 交換性カルシウム、交換性マグネシウム、交換性カリウム、

5) トルオーグ抽出P(mg P₂O₅ 100g⁻¹)、6) 酸性シュウ酸抽出のAlとFe(1/2した量)を合計した値

すなわち、2.5% (v/v) 酢酸および 1 mol L^{-1} 塩化アンモニウム液で抽出し(酢酸P)、続いて、 1 mol L^{-1} フッ化アンモニウム液で抽出し($\text{NH}_4\text{F-P}$)、飽和塩化ナトリウム液で洗浄後、最後に 0.1 mol L^{-1} 水酸化ナトリウム液で抽出し(NaOH-P)、各抽出液中のPをモリブデン青法により定量した。なお、酢酸Pはトルオグ法で評価した可給態Pとほぼ同じ値となることが報告されている¹⁾。作物体は乾式灰化後、塩酸抽出し、バナドモリブデン黄法によりP濃度および吸収量を定量し、Caの濃度を原子吸光光度計(ZA-3300、株式会社日立ハイテクノロジーズ、東京)で測定した。

P収支は、P施肥量を土壤への投入量、P吸収量を土壤からの損失量として、P投入量からP損失量を差し引いて算出した。また、P収支の結果は、土壤中の可給態P量の変化と比較しやすいよう、土壤100 g当たりの量に換算した。加えて、溶脱量を加えた議論の際は面積当たりに換算し、仮比重を1.0、作土深を15 cmとした。

結果および考察

1 コマツナ収穫量およびP吸収量

コマツナ乾物収穫量を表2に、5作目の収穫直前のコマツナ写真を図1に示す。各土壤の1作目から5作目すべてにおいて、作期によって収穫量にばらつきはあるものの、P施肥量の減肥によるコマツナの収穫量の有意な低下は確認されなかった(表2)。コマツナのP濃度は、P低土の5作目のみ、P0区で有意に低下していたものの、収穫量に負の影響はなかったと考えられる(表3)。P低土の可給態Pは $34 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ } 100\text{g}^{-1}$

表2 コマツナ乾物収量 (g pot^{-1})

	① ¹⁾	②	③	④	⑤
P 低土					
P0	10.5 a	9.0 a	7.9 a	5.1 a	6.0 a
P50	11.2 a	10.0 a	7.7 a	4.7 a	5.6 a
P100	12.3 a	9.0 a	7.9 a	5.6 a	5.6 a
P 中土					
P0	11.8 a	11.9 a	11.8 a	7.1 a	5.6 a
P50	11.9 a	10.8 a	13.0 a	8.0 a	6.5 a
P100	12.4 a	12.9 a	15.4 a	7.1 a	5.9 a
P100-Ca	—	—	—	4.2 b	2.1 b
P 高土					
P0	16.7 a	13.8 b	16.8 a	6.2 a	7.1 a
P50	14.7 a	12.1 b	15.4 a	7.0 a	6.5 a
P100	15.9 a	17.9 a	15.8 a	6.6 a	6.3 a
P100-Ca	—	—	—	6.0 a	6.9 a

1) ①:1作目、②:2作目、③:3作目、④:4作目、⑤:5作目
各土壤・各作期において異なる英小文字は Tukey 法により有意差があることを示す($P < 0.05$)

であり(表1)、土壤診断基準値の下限值である $30 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ } 100\text{g}^{-1}$ 程度であった。このことは、土壤診断基準の下限值以上に可給態Pが蓄積していれば、コマツナはPを施用せず栽培しても収量が低下しない可能性を示唆すると考えられる。

苦土石灰の施用の有無によって、P高土ではコマツナ収穫量に違いはなかったものの、P中土ではP100-Ca区でコマツナ収穫量が低下した(表2、図1)。コマツナのP濃度は、P100区よりもP100-Ca区で4作目、5作目ともに有意に低い傾向を示した(表3)。加えて、コマツナのCa濃度は、P100区よりもP100-Ca区で有意に低かった。よって、コマツナの収穫量が低下した要因として、PおよびCaの吸収量が不足していた可能性が示唆された。

P収支について表4に示す。P吸収量は、作期によって異なるものの、施肥量の増加によるP吸収量の増加はみられず(表4)、P0区においても生育に必要なPは十分に確保されていたと考えられる。牧田ら¹⁾が愛知県の露地野菜畑におけるP収支をまとめた結果においても、施肥量の増加によるP吸収量の増加はみられなかったことが報告されている。P収支は、P施肥量とP吸収量の差より算出し、P収支がマイナスであることは、すなわち、コマツナがマイナス分のPを土壤から吸収していることを示す。各土壤の1作目から5作目において、P減肥によってP収支はマイナスを示し(表4)、特にP0区では投入量が0で明瞭なマイナス値を示しており、P0区のP吸収源は土壤であると考えられる。

2 土壤化学性の変化

(1) 土壤pHおよび交換性Ca



図1 各土壤におけるコマツナの収穫前の様子
(5作目、2019年10月21日)
(1)P低土、(2)P中土、(3)P高土

表3 コマツナのPおよびCa濃度(%)

供試土	試験区	P濃度					Ca濃度				
		① ¹⁾	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
P低土	P0	0.47	0.44	0.55	0.50 a	0.91 b	2.51	2.32	2.62	2.70 a	2.46 a
	P50	0.47	0.41	0.54	0.54 a	1.12 a	2.30	2.45	2.86	2.51 a	2.89 a
	P100	0.48	0.47	0.58	0.51 a	1.07 a	2.18	2.38	2.90	2.54 a	2.68 a
P中土	P0	0.41	0.60	0.66	0.60 a	1.09 a	1.71	1.65	1.81	1.85 a	1.83 a
	P50	0.43	0.56	0.72	0.62 a	1.04 a	1.75	1.58	1.92	1.69 a	1.91 a
	P100	0.42	0.50	0.64	0.51 a	1.09 a	1.69	1.57	1.79	1.83 a	1.99 a
	P100-Ca	—	—	—	0.43 b	0.98 b	—	—	—	0.97 b	1.17 b
P高土	P0	0.46	0.49	0.64	0.81 a	1.20 a	2.18	1.85	2.96	2.59 a	3.02 a
	P50	0.48	0.48	0.67	0.76 a	1.16 a	2.31	1.85	2.86	2.81 a	3.16 a
	P100	0.50	0.46	0.62	0.74 a	1.20 a	2.21	1.62	3.09	2.60 a	2.95 a
	P100-Ca	—	—	—	0.74 a	1.18 a	—	—	—	2.80 a	3.06 a

1) ①:1作目、②:2作目、③:3作目、④:4作目、⑤:5作目

各土壤・各作期において異なる英小文字はTukey法により有意差があることを示す($P<0.05$)表4 ポット試験におけるリン収支 (mg P₂O₅ 100g⁻¹)

供試土	試験区	P吸収量					P収支 ²⁾					収支合計
		① ¹⁾	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤	
P低土	P0	3.5	2.9	3.1	1.8	3.9	-3.5	-2.9	-3.1	-1.8	-3.9	-15 ± 0.2 c
	P50	3.7	2.9	2.9	1.7	4.5	-1.0	-0.2	-0.2	1.0	-1.8	-2 ± 0.7 b
	P100	4.2	3.0	3.3	2.0	4.3	1.3	2.4	2.2	3.5	1.1	10 ± 0.2 a
P中土	P0	3.1	3.2	5.0	2.7	3.9	-3.1	-3.2	-5.0	-2.7	-3.9	-18 ± 0.8 c
	P50	3.2	2.9	6.0	3.1	4.3	-0.5	-0.1	-3.3	-0.4	-1.6	-6 ± 1.1 b
	P100	3.3	4.1	6.2	2.3	4.1	2.1	1.4	-0.8	3.1	1.3	7 ± 0.5 a
	P100-Ca	—	—	—	1.3	1.4	—	—	—	4.2	4.1	8 ± 0.7 a
P高土	P0	5.4	4.8	7.7	3.6	6.1	-5.4	-4.8	-7.7	-3.6	-6.1	-28 ± 1.9 c
	P50	5.1	4.1	7.4	3.1	5.5	-2.3	-1.4	-4.7	-0.4	-2.8	-12 ± 0.9 b
	P100	5.7	5.8	7.0	3.5	5.4	-0.3	-0.4	-1.6	1.9	0.0	0 ± 2.0 a
	P100-Ca	—	—	—	3.2	5.9	—	—	—	2.2	-0.4	2 ± 1.1 a

1) ①:1作目、②:2作目、③:3作目、④:4作目、⑤:5作目

2) P収支=P施肥量-P吸収量 P施肥量はP0, P50, P100それぞれで0, 2.7, 5.4 mg P₂O₅ 100g⁻¹各土壤のP収支合計において異なる英小文字はTukey法により有意差があることを示す($P<0.05$)

栽培時の土壤化学性を表5に示す。pHおよび交換性Caは、P100-Ca区において低下し、特にP中土でP高土よりも顕著なpH低下が確認された。P中土は砂質でCECが低く(表1)、保持できた交換性Ca量が少なかった結果、苦土石灰の無施用による収量低下が生じた可能性が考えられる。pHは、作期によって異なるものの、P100-Ca区を除き、いずれの土壤においても処理区間に明瞭な差はなかった。

(2) P蓄積量が低い土壤でのP変化

P低土では、可給態Pは5作後にいずれの処理区においても栽培前に比べ低くなる傾向を示した(表1、表5)。加えて、P収支がマイナスを示したP0区において、可給態Pは作数が増えるとともに低下する傾向を示し、5作後にはP100区よりも有意に低い値を示した(表5)。ここで、関谷法によって可給性の高いP(酢酸P)と可給性の低いP(NH₄F-P、NaOH-P)に分けて

表5 栽培時の土壌化学性の変化

供試土 試験区	pH (H ₂ O)					交換性 Ca					可給態 P				
						mg CaO 100g ⁻¹					mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹				
	① ¹⁾	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
P 低土															
P0	6.4	6.3	6.4	5.8 a	5.9 a	185	195	206	209 b	207 b	34	31	27	25 a	24 b
P50	6.3	6.3	6.2	5.7 a	5.9 a	186	185	226	197 b	195 b	33	30	28	26 a	26 ab
P100	6.3	6.2	6.4	5.8 a	5.9 a	186	196	222	232 a	231 a	35	33	30	28 a	29 a
P 中土															
P0	6.5	5.8	5.9	6.9 a	7.1 a	105	114	105	142 a	130 a	90	75	73	73 a	82 a
P50	6.6	5.8	5.6	6.6 a	7.0 a	108	117	116	150 a	142 a	90	77	75	78 a	84 a
P100	6.6	5.9	5.7	6.9 a	7.0 a	112	111	114	128 a	125 a	91	83	79	82 a	87 a
P100-Ca	—	—	—	6.1 b	5.1 b	—	—	—	70 b	65 b	—	—	—	81 a	73 b
P 高土															
P0	7.4	6.2	6.8	7.0 a	6.9 a	762	804	729	673 a	670 a	195	202	199	198 b	185 c
P50	7.4	6.3	6.7	6.8 a	6.8 a	756	800	722	688 a	672 a	201	210	212	205 ab	196 bc
P100	7.4	6.1	6.6	6.7 a	6.7 a	754	779	757	708 a	701 a	202	209	207	211 ab	204 ab
P100-Ca	—	—	—	6.6 a	6.4 b	—	—	—	687 a	657 b	—	—	—	217 a	218 a

1) ①:1作目、②:2作目、③:3作目、④:4作目、⑤:5作目

各土壌・各作期において異なる英小文字は Tukey 法により有意差があることを示す($P < 0.05$)

抽出・測定した結果を示す(表6)。栽培前と比較すると、5作後には、いずれの処理区でも酢酸Pが減少傾向を示し、NH₄F-Pが増加傾向を示していた。よって、酢酸Pの減少は作物の利用だけではなく、一部が不可給化しNH₄F-Pとなった可能性がある。これまでに、栽培を繰り返すことで、Pがより結合力の強い形態に変化し可給性が低下することが明らかにされており¹⁵⁾、本ポット試験でも同様の現象が生じたと考えられる。

(3) P蓄積量が中程度の土壌でのP変化

P中土でもP低土と同様に、可給態Pは5作後にいずれの処理区においても栽培前に比べ低くなった(表1、表5)。P中土の可給態Pは、いずれの処理区においても1作目から2作目にかけて低下傾向を示したものの、5作目には増加する傾向を示した。作期による可給態Pの変化は、pHの変化と似た挙動を示し、pHは1作目および2作目において低下傾向を示し、4作目には増加する傾向を示した(表5)。pHの低下によって、Pを強く吸着する活性Al・Feが増加することが報告されている^{16, 17)}。特にP中土は、他の土と比べPを強く吸着する活性Al・Fe量が高かったことから(表1)、pHの低下に伴い活性Al・Feが増加し、Pはこれらに吸着し可給性の低い化学形態になった可能性が考えられる。

そこで、形態別P量を比較すると、栽培前と比べ、5作後には酢酸Pが減少し、NH₄F-Pが増加した(表6)。

高土の可給態Pは、5作後にP0区、P50区、P100区において栽培前より低い傾向を示し、P100-Caは栽培前と同程度だった(表1、表5)。P0、NH₄F-PはAl・Feと結合したPを

評価していることが報告されており¹¹⁾、可給態Pが活性Al・Feと結合し、可給性の低いPへと変化したことが形態別Pの結果より支持された。

(4) P蓄積量が高い土壌でのP変化

P区において、可給態Pは、1作後に栽培前より低くなる傾向を示し、5作後にはP100区よりも有意に低い値を示した(表5)。

形態別Pを栽培前と比較すると、5作後に栽培前より、P0区、P50区において酢酸Pが減少傾向を示したが、可給性の低いPであるNH₄F-Pは栽培前と比べいずれの処理区においても同程度を示し、NaOH-Pは増加する傾向を示した(表6)。酢酸Pを作物が利用した一方、栽培を繰り返すことで可給性の低いNaOH-Pが増加した可能性が考えられる。

(5) 苦土石灰無施用による土壌蓄積Pの変化

苦土石灰を施用しなかった場合、特に砂質でCECが低く活性Al・Fe量が高いP中土では、pHが低下したことで可給態P量が低下し(表5)、可給性の低いNH₄F-Pが増加した(表6)。これは、pH低下により増加した活性Al・FeがPと結合したことによると考えられる。可給態P量は土壌診断基準の下限値(30 mg P₂O₅ 100g⁻¹)よりも高かったものの(表5)、コマツナのP濃度はP100-Ca区でP100区より低下しており(表3)、Pの吸収が抑制された可能性が示唆された。

一方で、粘質で全炭素量(TC)およびCECが高いP高土では、苦土石灰の有無によって、P中土ほど顕著にpHは低下せず、Pの形態変化も確認されなかった。特にP高土では堆肥施用による土づくりがされておりTCやCECが高く、保持さ

表 6 コマツナ 5 作栽培後の土壌に蓄積した形態別リン量

供試土	試験区	酢酸 P	NH ₄ F-P	NaOH-P
		mgP ₂ O ₅ 100g ⁻¹		
P 低土	栽培前 ¹⁾	33	70	69
	P0	19 ± 1 a	79 ± 1 a	62 ± 0 a
	P50	20 ± 1 a	85 ± 2 a	64 ± 1 a
	P100	22 ± 1 a	87 ± 2 a	63 ± 0 a
P 中土	栽培前	106	141	38
	P0	74 ± 4 a	183 ± 2 b	35 ± 0 a
	P50	79 ± 4 a	185 ± 2 b	33 ± 1 a
	P100	82 ± 3 a	190 ± 1 b	34 ± 0 a
P 高土	P100-Ca	79 ± 1 a	209 ± 2 a	35 ± 1 a
	栽培前	265	89	81
	P0	229 ± 5 b	85 ± 1 a	89 ± 0 a
	P50	247 ± 7 ab	83 ± 1 a	89 ± 1 a
	P100	267 ± 11 a	87 ± 1 a	89 ± 2 a
	P100-Ca	260 ± 5 a	87 ± 2 a	90 ± 1 a

1) 栽培前とは、採取時の土壌を指す

各土壌において異なる英小文字は Tukey 法により有意差があることを示す($P < 0.05$)

れた交換性Caが多くなった結果、2作程度の苦土石灰無施用であれば収量に影響を及ぼすようなpH低下およびPの形態変化は生じなかったと考えられる。

(6) 可給態PからみたPの施肥管理法

これまでに、施肥基準通りPを施用した場合でも施肥Pより可給態Pを多く利用していることが報告されており¹⁸⁾、土壌の可給態P量が土壌診断基準を下回らないよう適切に管理することが重要である。特に本報において、可給態P量はCEC、pH、活性Al・Fe量といった土壌化学性の影響を受け、可給性の低いPの形態へと変化した可能性が認められた。よって、砂質土壌でCECの低い場合や、活性Al・Fe量が高い場合には、土壌診断を定期的実施し、pHや可給態P量を確認し土壌診断基準内に収まるよう管理することが重要となる。

3 露地でのコマツナ栽培におけるP減肥の可能性

本報の結果から、可給態Pが過剰に蓄積した露地畑土壌におけるコマツナの無P栽培の可能性について考える。露地野菜畑でのP吸収量は、本報の結果の中央値である1作あたり5.7 kg P₂O₅ 10a⁻¹とした。この値は露地野菜畑のP吸収量として報告されている値より高く¹⁰⁾、収量性は確保できると仮定した。露地栽培では、Pは溶脱や表面流去によって損失するため、本報の結果よりも土壌から収奪されるPは大きいと想定される。糟谷ら⁸⁾は、露地野菜畑が流域面積の54%を占め、粘質土壌が多く広がる赤黄色土地帯において、P流出量(溶脱+表面流去)は年間4.5 kg P₂O₅ 10a⁻¹であることを報告している。この場合、P流出量と吸収量を土壌からのP損失量

として加味しても、可給態Pが200 mg P₂O₅ 100g⁻¹以上の土壌であり、コマツナを年に4作する場合、8年程度であればPを施肥しなくても土壌から供給されるPのみで十分に生育可能であると算出された。一方、河川沿いなどに広がる沖積土は主に砂質土壌であり、施肥したPの50%から120%程度にあたる量が溶脱することが報告されている^{19,20)}。コマツナP吸収量に、中村ら¹⁹⁾のP溶脱量(21 kg P₂O₅ 10a⁻¹year⁻¹)を加え土壌からの損失量とすると、可給態Pが200 mg P₂O₅ 100g⁻¹以上の土壌であり、コマツナを年に4作する場合、Pを施肥しなくてもコマツナを5年程度栽培可能であると算出された。しかし、流亡によって損失するP量はばらつきがあり、その年の降雨量や土壌P蓄積量などによって変動すると考えられる。よって、Pが流亡しやすく土壌に保持されにくい砂質土壌においては、土壌診断を定期的実施し、可給態P量の変化を確認するなど、粘質土壌よりも細やかな管理をすることが重要である。

引用文献

1. 牧田尚之, 久野智香子, 武井真理, 池田彰弘, 吉川那々子. 愛知県の野菜主要産地における施肥量、生産量、養分吸収量および土壌の化学性. 愛知農総試研報. 45, 11-19 (2013)
2. 牧田尚之, 久野智香子, 武井真理, 池田彰弘, 吉川那々子. 愛知県の主要産地における野菜類の養分収支. 日本土壤肥料学雑誌. 85, 236-240(2014)

3. 相馬暁, 岩淵晴郎. リン酸肥沃度およびリン酸施肥がタマネギの生育・収量に及ぼす影響. 北海道立農試集報, 47, 47-56 (1982)
4. 小宮山鉄兵, 藤澤英司, 新妻成一, 加藤雅彦, 森国博全. 隔離床栽培における土壤可給態リン酸含量がトマトの養分吸収に与える影響. 日本土壤肥料学雑誌, 80, 516-521(2009)
5. 岡本保, 山田裕. 施設スイートピーに発生したリン酸過剰による葉身白化症状. 日本土壤肥料学雑誌, 80, 630-633 (2009)
6. 中野明正, 東出忠桐, 後藤一郎, 金子壮, 安場健一郎, 大森弘美. キュウリ量管理養液栽培において発生した白化症状の原因. 野菜茶業研究所研究報告, 13, 1-8 (2014)
7. 村上圭一, 中村文子, 後藤逸男. 土壤のリン酸過剰とアブラナ科野菜根こぶ病発病の因果関係. 日本土壤肥料学雑誌, 75, 453-457 (2004)
8. 糟谷真宏, 坂西研二, 板橋直, 荻野和明, 廣戸誠一郎. 畜産を伴う赤黄色土野菜畑地帯の河川における窒素, リンの流出. 日本土壤肥料学雑誌, 81, 481-488(2010)
9. 農林水産省.肥料をめぐる事情.
<https://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/shiryo/attach/pdf/index-3.pdf> (2021.4.27参照)
10. 和田巽, 棚橋寿彦. 葉菜類(コマツナ・ホウレンソウ)におけるリン酸減肥指標の設定. 日本土壤肥料学雑誌, 88, 129-133 (2017)
11. Ando, K., Yamaguchi, N., Nakamura, Y., Kasuya, M. and Taki, K. Speciation of phosphorus accumulated in fertilized cropland of Aichi prefecture in Japan with different soil properties by sequential chemical extraction and P K-edge XANES. *Soil Science and Plant Nutrition*. 67, 150-161 (2021).
12. 愛知県. 2021. 農作物の施肥基準.
<https://www.pref.aichi.jp/soshiki/nogyo-keiei/sehikijun.html> (2021.4.27参照)
13. 土壤環境分析法編集委員会. 土壤環境分析法. 博友社, 東京(1997)
14. 関谷宏三. 無機態リン酸の分別定量法. 土壤養分分析法(土壤養分測定法委員会編). 養賢堂, 東京. p235-238 (1970)
15. 加藤秀正. 酸性土壤におけるリン酸の動態. 低pH土壤と植物(日本土壤肥料学会編). 博友社, 東京. P123-150 (1994)
16. 加藤秀正, 本島俊明, 岡 紀邦. 土壤溶液論的にみた畑土壤のリン酸の上限. 日本土壤肥料学雑誌, 56, 285-291 (1985)
17. 中村嘉孝, 安藤 薫, 恒川 歩, 糟谷真宏. 家畜ふん堆肥を連用した砂質黄色土露地畑における形態別リンの動態からみたリンの溶脱要因. 日本土壤肥料学雑誌, 90, 212-216 (2019)
18. 北村秀教, 今泉諒俊, 佐野勝昭. リン酸富化土壤における施肥りん酸の肥効(2)施肥りん酸の作物吸収と土壤中の形態変化. 愛知農総試研報15, 292-216 (1983)
19. 中村嘉孝, 恒川 歩, 糟谷真宏. 家畜ふん堆肥を連用した砂質畑土壤における収支、溶脱量及び土壤蓄積量からみた窒素、リン、カリウムの動態. 愛知農総試研報, 48, 17-28 (2016)
20. Sugihara S., Funakawa S., Nishigaki T., Kilasara M., Kosaki T. Dynamics of fractionated P and P budget in soil under different land management in two Tanzanian croplands with contrasting soil textures. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 162, 101-107(2012).