

砂質露地畑においてマグネシウムを含む炭酸カルシウム肥料の 無施用により生じた土壌の酸性化と作物の生育障害

中村嘉孝¹⁾・大橋祥範²⁾・安藤 薫²⁾・大竹敏也²⁾

摘要:砂質露地畑におけるMgを含む炭酸カルシウム肥料(FCaMg)の施用が土壌及び作物に及ぼす影響を明らかにするため、FCaMgを用いたほ場試験を行った。FCaMgを施用しなかった区の収量は第3作目から皆無となった。この生育障害が発生した土壌にそれぞれ水酸化カルシウム($\text{Ca}(\text{OH})_2$)、硫酸カルシウム、水酸化マグネシウム($\text{Mg}(\text{OH})_2$)、硫酸マグネシウムの異なる陰イオンと結合したCaまたはMgを同mol施用、またはこれらを無施用(対照区)としてコマツナを栽培した。Ca(OH)₂またはMg(OH)₂を施用したコマツナの乾物重はともに0.65 g 鉢⁻¹で、対照区の0.17 g 鉢⁻¹よりも重かった。Ca(OH)₂またはMg(OH)₂を施用した培養後の土壌pHは上昇し、交換性Al含量は低下した。これらのことから、FCaMgの無施用により作物の収量が皆無となった要因は、土壌のCaまたはMgの欠乏ではなく、土壌pHの低下であることが示された。

キーワード: 砂質露地畑、炭酸カルシウム肥料、土壌 pH、アルミニウム

Soil Acidification and Crop Growth Disorders Caused by the Absence of Calcium Carbonate Fertilizer Containing Magnesium in Sandy Upland Fields

NAKAMURA Yoshitaka, OHASHI Yoshinori, ANDO Kaori and OTAKE Toshiya

Abstract: To clarify the effects of calcium carbonate fertilizer (FCaMg) containing magnesium on crops and soils in sandy open fields, we conducted cultivation trials with and without FCaMg application. None of the test plots where FCaMg was applied in the third crop yielded product. The same amount (mol) of calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), calcium sulfate, magnesium hydroxide ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), and magnesium sulfate were applied to the soil where the growth failure occurred. We then cultivated Komatsuna. The dry matter weights of Komatsuna plants treated with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ or $\text{Mg}(\text{OH})_2$ were greater than those without these treatments. After incubation with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ or $\text{Mg}(\text{OH})_2$, the soil pH increased and the exchangeable FCaMg content decreased. These results suggest that the reason for the absence of crop yield when FCaMg application was omitted was not the deficiency of Ca or Mg in the soil, but the decrease in soil pH.

Key Words: Sandy upland field, Calcium carbonate fertilizer, Soil pH, Aluminum

緒言

日本は降水量が蒸発散量よりも多く、下層へ浸透する水の動きに伴って、土壌中の塩基であるカルシウム(Ca)やマグネシウム(Mg)が溶脱し、土壌は酸性化しやすい。このため、農耕地土壌はCaやMgを含むアルカリ資材を施用し、作物生産に適した土壌pHとなるように改良が加えられている。特に、砂質露地畑は保水力が小さいため窒素(N)の溶脱量が他の土壌より多く¹⁾、浸透水中の硝酸イオンの対イオンとしてCaやMgが溶脱して、土壌の酸性化が進みやすい²⁾。土壌が酸性化しやすく、CaやMgが溶脱しやすい砂質畑土壌において、CaやMgを含むアルカリ資材を無施用とした場合、CaやMgの欠乏が生ずるのか、土壌の酸性化に伴う作物への影響が生ずるのかは明らかではない。

そこで、砂質露地畑における適切な土壌pHの管理技術を確認するために、アルカリ資材として利用されるMgを含む炭酸カルシウム肥料(FCaMg)施用の有無が土壌及び作物に及ぼす影響を明らかにすることを目的として本試験を行った。

材料及び方法

1 マグネシウムを含む炭酸カルシウム肥料を用いたほ場試験(試験1)

(1) 試験ほ場と栽培概要

試験は、既報²⁾に隣接する愛知県長久手市(愛知県農業総合試験場)のほ場で2018年4月から2019年12月まで行った。本土壌は典型山地黄色土で、地表下1.0 mまでの土性は砂土～砂壤土である²⁾。作物栽培は1年に2作行い、計4作行った。第1作及び第3作は未成熟トウモロコシ「恵味ゴールド」(清水種苗株式会社、長野)を4月に定植し7月に収穫した。第2作及び第4作はキャベツ「YRしぶき2号」(有限会社石井育種場、静岡)を8月に定植し、12月に収穫した。全作とも無マルチで栽培した。栽植密度は、第1作及び第3作は株間0.3 m、畝幅1.4 mの2条千鳥植え(4.8 株 m⁻²)、第2作及び第4作は株間0.26 m、畝幅1.4 mの2条千鳥植え(5.6 株 m⁻²)とした。作物残さはほ場にすきこんだ。

(2) 試験区及び耕種概要

Mgを含む炭酸カルシウム肥料(粒状炭酸苦土石灰、清水工業株式会社、岐阜、アルカリ分は53%、MgOは15%、以下FCaMg)を無施用とした区を-FCaMg区とした。対照として、FCaMgを1作当たり現物で200g m⁻²(Caで46 g-Ca m⁻²、Mgで18 g-Mg m⁻²)施用した区を+FCaMg区とした。

表1にFCaMgを施用する前に採取した各試験区の土壌の化学性を示す。反復は設けなかった。両区とも、N、リン(P)、

カリウム(K)の施肥は、それぞれ硫安、過リン酸石灰、硫酸加里を用いて同様に行った(表2)。

(3) 調査項目及び方法

作物体は、収穫時に部位ごとに分けて採取した。収量は、未成熟トウモロコシは子実、キャベツは結球葉の新鮮重を測定した。採取した作物体の新鮮物を60°Cで2日乾燥して乾物重を測定した。作物体の養分含有率は、乾燥試料を用い、Nは乾式燃焼法で、他の養分は乾式灰化後、1 mol L⁻¹塩酸に溶解し、Pはバナドモリブデン酸法、Ca、Mg及びKは原子吸光法で測定した。

土壌は、試験開始前と各作栽培後に採取した。採取した土壌は風乾してから目開き2 mmで篩別し、風乾細土として分析に供試した。pH(H₂O)は、土:水=1:5で電気伝導率・pHメータ(WM-50EG、東亜ディーケーケー株式会社、東京)で測定した。交換性Ca含量、交換性Mg含量及び交換性K含量は、セミマイクロSchollenberger法で抽出後、原子吸光法で測定した。交換性アルミニウム(Al)含量は、三枝ら³⁾に準じて風乾細土10 gに1 mol L⁻¹塩化カリウム液50 mLを加えて一夜放置後、ろ過後の残さを1 mol L⁻¹塩化カリウム液で洗浄し、ろ液と洗浄液をあわせた抽出液100 mL中のAl濃度を原子吸光法で測定した。pH(KCl)は、風乾細土20 gに1 mol L⁻¹塩化カリウム液50 mLを加え、1時間振とう後、電気伝導率・pHメータで測定した。交換酸度(y₁)は、pH(KCl)を測定後の液をろ過し、そのろ液10 mLを採取して煮沸後、フェノールフタレインを指示薬として微紅色となるまで0.1 mol L⁻¹水酸化ナトリウム液で滴定し、この滴定に要した水酸化ナトリウム溶液のmL数を12.5倍して算出した(風乾土100 gを供試した場合に換算)。

作土の交換性Ca及び交換性Mgの変化量は、試験開始時から第4作の栽培後の作土の交換性Ca含量及び交換性Mg含量の増減を耕起深20 cm、乾燥密度1.1 g cm⁻³として面積換算して算出した。推定溶脱量は、施用量から作物による収奪量と作土の変化量を差し引いて算出した。

2 異なる陰イオンと結合したCaまたはMgを施用したポット試験(試験2)

(1) ポット試験の概要

-FCaMg区の作土を2020年4月7日に採取し、風乾して目開き2 mmで篩別後、ポット試験に供試した(表3)。篩別後の土壌を表面積100 cm²のノウバウエルポット(富士理化学工業株式会社、大阪)に乾土として500 g入れ、試験区ごとにCaまたはMgを混和、あるいはCaとMgを無施用とし、最大容水量の50%となるように水を添加後、室内で1週間静置した。静置後の土壌を取り出し、硫酸アンモニウムをNとして100 mg-N 鉢⁻¹、リン酸水素2カリウムをPとして50 mg-P 鉢⁻¹及びKとして125 mg-K 鉢⁻¹となるように混和し、最大容水量の50%となる

表1 ほ場試験における試験開始前の土壌の化学性(試験1)

試験区	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	TC (g kg ⁻¹)	TN (g kg ⁻¹)	Av-P (mg-P kg ⁻¹)	CEC (cmole kg ⁻¹)	Ex-Ca (mg kg ⁻¹)	Ex-Mg (mg kg ⁻¹)	Ex-K (mg kg ⁻¹)	Alo (g kg ⁻¹)	Feo (g kg ⁻¹)
-FCaMg 区	4.9	3.8	8.1	1.04	428	6.2	415	38	102	0.4	0.9
+FCaMg 区	5.6	4.1	8.8	0.90	414	5.4	476	53	78	0.4	1.0

2018年3月26日採取。Av-P: 可給態リン酸(Truog法)、Alo: 酸性シュウ酸塩溶液可溶のアルミニウム、Feo: 酸性シュウ酸塩溶液可溶の鉄

ように水を添加後、再度ノウバウエルポットに充填した。その後、コマツナ「極楽天」(タキイ種苗株式会社、京都)を1鉢当たり20粒播種した。各鉢を植物組織培養器(サンヨーグロースキャビネットMLR-350H、三洋電機株式会社、大阪)に入れ、4週間培養した。培養中の明期は25°Cで18時間、暗期は20°Cで6時間とし、交互に繰り返した。

(2) 試験区

水酸化カルシウム($\text{Ca}(\text{OH})_2$)をCaとして2.9 mol 鉢⁻¹(115 mg-Ca 鉢⁻¹)施用した区をCa(OH)₂区とした。硫酸カルシウム2水和物($\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$)をCaとして2.9 mol 鉢⁻¹(115 mg-Ca 鉢⁻¹)施用した区をCaSO₄区とした。水酸化マグネシウム($\text{Mg}(\text{OH})_2$)をMgとして2.9 mol 鉢⁻¹(70 mg-Mg 鉢⁻¹)施用した区をMg(OH)₂区とした。硫酸マグネシウム7水和物($\text{MgSO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$)をMgとして2.9 mol 鉢⁻¹(70 mg-Mg 鉢⁻¹)施用した区をMgSO₄区とした。CaとMgを施用しなかった区を対照区とした。

(3) 調査項目及び方法

培養後4週間の1鉢当たりのコマツナの生育株率(=生育株数/20(=播種数))、乾物重を測定した。培養後の土壌は、風乾してから目開き2 mmで篩別し、風乾細土として分析に供試した。土壌の化学性の分析は試験1と同様に行った。

結果及び考察

1 マグネシウムを含む炭酸カルシウム肥料を用いたほ場試験(試験1)

-FCaMg区はFCaMgを無施用としたが、第1作の収量は2.0 kg m⁻²、第2作の収量は4.8 kg m⁻²で+FCaMg区と同程度であった(表4)。しかし、-FCaMg区における第3作及び第4作は出荷規格を満たす収穫部は得られず、収量は皆無となった。-FCaMg区の第3作または第4作の栽培終了時における茎葉や外葉の乾物重はそれぞれ98 g m⁻²、190 g m⁻²で、+FCaMg区の551 g m⁻²、265 g m⁻²に対して軽かった(表5)。

表2 ほ場試験の栽培概要(試験1)

作	栽培品目	施肥量(g m ⁻²)		
		N	P	K
1	未成熟トウモロコシ	25	4	21
2	キャベツ	33	5	25
3	未成熟トウモロコシ	28	4	21
4	キャベツ	35	5	25

表4 ほ場試験における収量(試験1)

試験区	収量(kg m ⁻²)			
	第1作	第2作	第3作	第4作
-FCaMg区	2.0	4.8	- ¹⁾	-
+FCaMg区	1.9	5.0	1.6	6.0

1) 第3作及び第4作の-FCaMg区は出荷規格を満たす収穫部(子実または結球葉)が得られなかった
第1作、第3作:未成熟トウモロコシ(子実)
第2作、第4作:キャベツ(結球葉)

-FCaMg区における第3作以降の作物の生育は抑制され、収量が皆無となる生育障害が発生した。N、P及びKを同様に施用した+FCaMg区では収量が得られたことから、-FCaMg区において発生した生育障害は、FCaMgを無施用としたためと考えられる。

作物の収量が皆無となった第3作の栽培終了時の-FCaMg区における茎葉のMg含有率は0.4 mg-Mg g⁻¹で、同時期の+FCaMg区よりも低かった(表6)。トウモロコシにおけるMg欠乏は、上～中位葉の葉が黄白化や、葉脈間に縞状のネクロシスが発生するとされる⁴⁾。-FCaMg区の第3作で生じた作物の地上部における障害の外観は、中位葉の先端部から葉脈間が縞状に黄白化しており(図1)、Mg欠乏の症状に類似していた。-FCaMg区における第3作の栽培後の土壌の交換性Ca含量と交換性Mg含量のmol比は10.8、交換性K含量と交換性Mg含量のmol比は0.2で(表7)、交換性Ca含量や交換性K含量に対して交換性Mg含量は少なかった。愛知県の土壌診断基準⁵⁾における交換性Ca含量と交換性Mg含量のmol比及び交換性Mg含量と交換性K含量のmol比の適正值は、それぞれ3～6、1～2とされている。このため、-FCaMg区における第3作の未成熟トウモロコシに生じた障害の要因として、土壌中のMgの絶対量が少ないことに加えて、作物の吸収が拮抗するCaやKよりも相対的に少なかったことでMgの吸収が抑制されたことによるMg欠乏が示唆された。

-FCaMg区における第4作の外葉のCa含有率及びMg含有率はそれぞれ6.6 mg-Ca g⁻¹、0.8 mg-Mg g⁻¹で+FCaMg区よりも低かった。-FCaMg区の第4作で生じた地上部の障害の外観は、外葉全体の葉脈間が黄化していた(図1)。キャベツにおけるCa欠乏及びMg欠乏は、ともに葉脈間が黄化する⁴⁾。養分含有率及び障害株の外観から、-FCaMg区における第4作のキャベツに生じた生育障害の要因として、CaまたはMgの欠乏が示唆された。

一方で、土壌中の交換性Al含量が急激に増加すると、作物根の伸長は阻害される⁶⁾。-FCaMg区における第2作の栽培後の土壌の交換性Al含量は24 mg kg⁻¹であったのに対し、第3作の栽培終了後の土壌の交換性Al含量は54 mg kg⁻¹で2倍程度増加していた(表7)。

表3 ポット試験に供試した土壌の化学性(試験2)

pH	TC (H ₂ O)	TN (KCl)	Av-P (g kg ⁻¹)	CEC (mg-P kg ⁻¹)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	交換性			
						Ca	Mg	K	Al
4.9	3.6	7.4	0.94	332	5.7	264	18	94	47

2020年4月7日採取

表5 ほ場試験における栽培終了時の各部位の乾物重(試験1)

試験区	第1作		第2作		第3作		第4作	
	子実	茎葉	結球葉	外葉	子実	茎葉	結球葉	外葉
	(g m ⁻²)							
-FCaMg区	447	490	399	248	-	98	-	190
+FCaMg区	436	494	436	260	401	551	475	265
+FCaMg区を100とした-FCaMg区の相対値								
	103	99	91	95	-	18	-	72

第1作、第3作:未成熟トウモロコシ。第2作、第4作:キャベツ

表6 ほ場試験における栽培終了時の作物の養分含有率(試験1)

養分	試験区	第1作		第2作		第3作		第4作	
		子実	茎葉	結球葉	外葉	子実	茎葉	結球葉	外葉
Ca含有率 (mg g ⁻¹)	-FCaMg区	0.5	4.2	7.0	26.3	-	2.4	-	6.6
	+FCaMg区	0.4	4.9	6.8	46.7	0.2	2.3	4.7	27.7
Mg含有率 (mg g ⁻¹)	-FCaMg区	1.0	0.8	1.3	1.8	-	0.4	-	0.8
	+FCaMg区	1.1	1.3	1.6	3.4	0.8	0.9	1.5	3.9
K含有率 (mg g ⁻¹)	-FCaMg区	17.4	48.0	38.3	48.8	-	36.6	-	31.5
	+FCaMg区	15.8	41.8	36.1	42.0	13.2	24.5	29.7	39.2
+FCaMg区を100とした-FCaMg区の相対値									
Ca含有率		106	72	103	56	-	102	-	24
Mg含有率		94	62	84	53	-	47	-	21
K含有率		110	107	106	116	-	150	-	80

乾物重当たり



左:未成熟トウモロコシ (2019年5月27日の様子)

右:キャベツ (2019年9月27日の様子)

図1 -FCaMg区で発生した作物の生育障害の外観(試験1)

-FCaMg区における第3作及び第4作の栽培途中の作物根の長さは定植時のままで、伸長はほとんど見られなかった(図1)。これらのことから、試験1のほ場試験において生じた作物の生育障害の要因として、FCaMgを無施用としたことによる①CaやMgの欠乏、②土壌の酸性化によるAl害が要因と考えられる。

2 異なる陰イオンと結合したCaまたはMgを施用したポット試験(試験2)

試験1で生じた作物の生育障害の要因を明らかにするため、異なる陰イオンと結合したCaまたはMg資材を施用したポット試験を行った。

培養後4週間のコマツナの1鉢当たりの生育株率はCa(OH)₂区、Mg(OH)₂区及び対照区で0.9以上であったが、CaSO₄区及びMgSO₄区はそれぞれ0.78、0.65であった(表8、図2)。培養後4週間の1鉢当たりのコマツナの乾物重はCa(OH)₂区及びMg(OH)₂区で対照区に比べて有意に重かったが、CaSO₄区またはMgSO₄区の1鉢当たりのコマツナの乾物重は対照区と有意な差は見られなかった。Ca(OH)₂区及びMg(OH)₂区の培養後4週間の1鉢当たりのコマツナの乾物

表7 ほ場試験における栽培後の土壌の化学性(試験1)

化学性	試験区	第1作	第2作	第3作	第4作
pH (H ₂ O)	-FCaMg区	4.5	4.4	4.3	4.6
	+FCaMg区	4.8	6.3	5.6	5.4
pH (KCl)	-FCaMg区	3.8	3.8	3.4	3.5
	+FCaMg区	4.3	4.8	4.9	4.6
Ex-Al (mg kg ⁻¹)	-FCaMg区	24	24	54	60
	+FCaMg区	11	2	2	5
y ₁	-FCaMg区	3.0	4.4	5.1	4.8
	+FCaMg区	1.6	0.9	0.9	0.9
Ex-Ca (mg kg ⁻¹)	-FCaMg区	373	418	249	211
	+FCaMg区	740	541	651	561
Ex-Mg (mg kg ⁻¹)	-FCaMg区	26	31	14	8
	+FCaMg区	106	87	90	83
Ex-K (mg kg ⁻¹)	-FCaMg区	93	89	94	63
	+FCaMg区	86	84	62	53
Ca/Mg (mol比)	-FCaMg区	8.8	8.1	10.8	16.0
	+FCaMg区	4.2	3.8	4.4	4.1
Mg/K (mol比)	-FCaMg区	0.4	0.6	0.2	0.2
	+FCaMg区	2.0	1.7	2.3	2.5

y₁: 交換酸度

重は対照区に比べて重かったことから、コマツナの生育障害はCa(OH)₂またはMg(OH)₂の施用により改善した。

一方、Ca(OH)₂区及びMg(OH)₂区と同molのCaまたはMgを施用したCaSO₄区またはMgSO₄区のコマツナの1鉢当たりの乾物重は対照区と有意な差は見られず、コマツナの生育障害の改善効果は見られなかった。Ca(OH)₂区の培養後の土壌の交換性Ca含量は、Caを施用したことから対照区よりも有意に多かったが、Mgは無施用としたため同区の交換性Mg含量は対照区と有意な差は見られなかった(表9)。これは、コマツナの生育障害の改善効果が見られなかったCaSO₄区も同様であった。逆に、Mg(OH)₂区の培養後の土壌の交換性Mg含量は、Mgを施用したことから対照区よりも有意に多かったが、Caを無施用としたため交換性Ca含量は対照区と有意な差は見られなかった。これはMgSO₄区も同

様であった。コマツナの生育障害の改善効果が見られたCa(OH)₂区の培養後の交換性Mg含量とMg(OH)₂区の交換性Ca含量は、CaまたはMgを無施用とした対照区とそれぞれ有意な差が見られなかったにも関わらず、対照区と比較してコマツナの生育改善が見られたことから、コマツナの生育を改善した要因はCaまたはMgの投入ではなかったと考えられる。Ca(OH)₂区及びMg(OH)₂区の培養後の土壌のpH(H₂O)は対照区と有意な差はみられなかったが、両区の土壌のpH(KCl)は対照区よりも有意に高かった。一方、CaSO₄区及びMgSO₄区の土壌のpH(KCl)は対照区と有意な差は見られず、低かった(表9)。Ca(OH)₂区及びMg(OH)₂区で施用したCaまたはMgの副成分である陰イオンは水酸化物イオン(OH⁻)でpHを上昇させるのに対し、CaSO₄区及びMgSO₄区ではCaまたはMgの対イオンが硫酸イオン(SO₄²⁻)でpHの上昇に寄与しない。このCaまたはMgの施用に伴い投入された陰イオンの違いを反映して、Ca(OH)₂区及びMg(OH)₂区の培養後のpH(KCl)は上昇したと考えられる。コマツナの生育障害の改善効果が見られたCa(OH)₂区とMg(OH)₂区における培養後4週間のコマツナの乾物重は同程度であったことは、CaやMgの施用効果ではなく、同mol量のOH⁻を施用したことで土壌pHが同程度上昇したためと考えられる。また、Ca(OH)₂区及びMg(OH)₂区の培養後の土壌の交換性Al含量はCaSO₄区、MgSO₄区及び対照区よりも有意に少なかった。Ca(OH)₂区及びMg(OH)₂区では、土壌pHの上昇により栽培後の交換性Al含量は低下し、作物に対するAl害が軽減されたと考えられる。

これらのことから、Ca(OH)₂区及びMg(OH)₂区でコマツナの生育が対照区よりも改善された要因は、CaやMgの施用により土壌中のCaまたはMgが増加したためではなく、肥料の副成分(陰イオン)であるOH⁻により土壌pHが上昇し、交換性Al含量が低下したためと考えられる。

3 マグネシウムを含む炭酸カルシウム肥料の無施用によって生じた作物に対する障害の発生要因と砂質露地畑における土壌管理

試験2のポット試験結果から、試験1のほ場試験で-FCaMg区において発生した未成熟トウモロコシ及びキャベツの生育障害は、FCaMgを無施用としたことで土壌pHが低下したことによって生じたと考えられる。そして、その要因は土壌pHの低下に伴うAl害であったと考えられる。非アロフェン質黒ボク土におけるトウモロコシの根の伸長の阻害により障害が発生する土壌の条件として、pH(H₂O)<4.2及びy₁>6(または交換性Al含量>175 mg kg⁻¹、原著のy₁と交換性Al含量の回帰式(y=0.22x+0.63、y: y₁、x: 交換性Al含量(cmol_c kg⁻¹))からy₁=6における交換性Al含量の1.95 cmol_c kg⁻¹により換算)が報告されている⁹⁾。しかし、試験1において作物の生育障害を初めて確認した-FCaMg区における第3作の栽培後の土壌のpH(H₂O)は4.3、y₁は5.1、交換性Al含量は54 mg kg⁻¹で、非アロフェン質黒ボク土における作物の生育障害の発現条件を満たしていなかった。このことから、砂質の黄色土において作物の生育障害が生じる土壌条件は非アロフェン質黒ボク土と異なることが示唆された。

表8 ポット試験における培養後の生育株率及び乾物重(試験2)

試験区	生育株率	乾物重(g 鉢 ⁻¹)
Ca(OH) ₂ 区	0.97	0.65 a
CaSO ₄ 区	0.78	0.21 b
Mg(OH) ₂ 区	0.90	0.65 a
MgSO ₄ 区	0.65	0.16 b
対照区	0.92	0.17 b

生育株率=生育株数/20(=播種数)

乾物重について異なる英文字間に Tukey の多重比較検定により1%水準で処理区間に有意差があることを示す



対照区 Ca(OH)₂区 CaSO₄区 Mg(OH)₂区 MgSO₄区

写真の同列は同じ試験区(各3連)

図2 培養後の各試験区のコマツナの様子(試験2)

表9 ポット試験の培養後の土壌の化学性(試験2)

試験区	pH		y ₁	交換性		
	(H ₂ O)	(KCl)		Al	Ca	Mg
(mg kg ⁻¹)						
Ca(OH) ₂ 区	5.1 a	4.0 a	1.9 c	15 b	397 a	12 b
CaSO ₄ 区	4.6 b	3.8 b	3.5 a	25 a	467 a	13 b
Mg(OH) ₂ 区	5.2 a	4.1 a	2.1 c	14 b	225 b	130 a
MgSO ₄ 区	4.9 ab	3.8 b	2.9 b	22 a	243 b	138 a
対照区	4.9 ab	3.8 b	4.0 a	25 a	186 b	12 b

y₁: 交換酸度

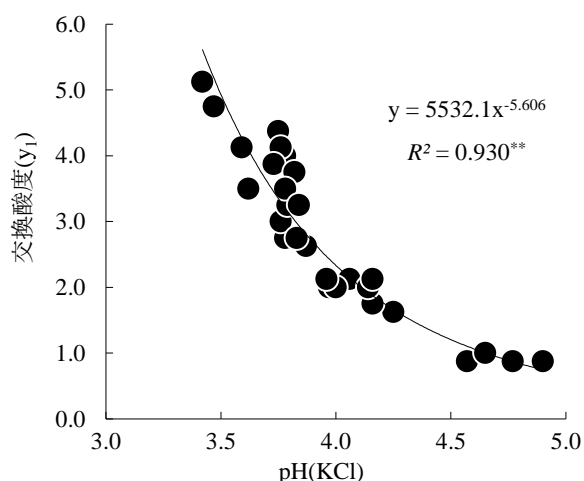
異なる英文字間に Tukey の多重比較検定により5%水準で処理区間に有意差があることを示す

表10 ほ場試験における試験期間のカルシウム及びマグネシウム収支(試験1)

項目	試験区	施肥量	作物 収奪量	作土の 変化量 ¹⁾	推定 溶脱量 ²⁾
Ca	-FCaMg区	0	3	-45	42
	+FCaMg区	242	5	19	218
Mg	-FCaMg区	0	1	-7	6
	+FCaMg区	72	2	7	64

1) 耕起深20 cm、乾燥密度1.1 g cm⁻³として作土の交換性Ca及び交換性Mgの変化量(試験開始時から第4作の栽培後の土壌の各含有率の変化)を面積換算

2) 推定溶脱量=施肥量-作物収奪量-作土の変化量



**1%水準で有意性あり

図3 試験土壌における pH(KCl)と交換酸度 y_1 の関係

中村ら²⁾は、砂質畑土壌におけるMg動態について、作物収穫に伴う収奪量よりも溶脱量が多かったことを報告している。試験1における+FCaMg区の第1作から第4作までのCa投入量は 242 g m^{-2} 、Mg投入量は 72 g m^{-2} であったのに対し、作土の交換性Caの変化量は 19 g-Ca m^{-2} (試験開始前の 476 mg kg^{-1} から第4作後の 561 mg kg^{-1} の変化量 85 mg kg^{-1} を面積換算)の増加で、交換性Mgの変化量は 7 g-Mg m^{-2} (試験開始前の 53 mg kg^{-1} から第3作後の 83 mg kg^{-1} の変化量 30 mg kg^{-1} を面積換算)の増加であった(表10)。ほ場試験において、土壌pHの低下が見られなかった+FCaMg区の作土の交換性Ca及び交換性Mgの変化量は施肥量よりも少なく、また作物の収奪量も少なかったことから、施用したCa及びMg量の相当量が溶脱していたことが示唆された。このため、-FCaMg区において土壌の酸性化による作物の生育障害が見られたことは、FCaMgを無施用としたことに加えて、試験土壌が塩基の溶脱が著しい砂質露地畑であったためと考えられる。さらに、砂質露地畑において、NやKを生理的酸性肥料である硫酸及び硫酸加里、Pを酸性肥料の過リン酸石灰としたことも土壌の酸性化を助長したと考えられる。

本障害への対策として、試験2の結果からまずは土壌pHを上昇させるアルカリ資材の施用が有効である。ただし、FCaMgを無施用としたことにより、土壌中の交換性Ca含量及び交換性Mg含量は愛知県の土壌診断基準⁵⁾における下限値よりも少なく、試験1における未成熟トウモロコシ及びキャベツのCa及びMg含有率も低下していた。このため、土壌pHを高めるためだけにCaのみを含むアルカリ資材を施用した場合、土壌pHの上昇と土壌中のCaは増加してもMgは少ないままであり、増加したCaと吸収に対する拮抗作用も生じてMgの欠乏が発生することが懸念される。また、Mgだけを含む資材も同様に、Ca欠乏が発生することが懸念されるため、CaとMgを含むアルカリ資材を併用することが推奨される。

本試験土壌におけるpH(KCl)と y_1 は既報⁷⁾と同様に有意な負の相関が見られた(図3)。しかし、黒ボク土ではpH(KCl)が

4.1未満の場合、ほとんどの土壌の y_1 は5以上である⁷⁾が、本試験土壌ではpH(KCl)は4.1未満の土壌で y_1 が5以上であったのは1点であった。このことは、砂質の黄色土は黒ボク土よりも土壌中の酸性物質が少なくてもpHは下がりやすく、土壌pHの低下により交換性Alが顕在化しやすいと考えられる。また、土壌pHが低くても土壌のpHを低下させる酸性物質の量が少ないことは、他の土壌に比べて土壌pHを高めるために必要なアルカリ資材の量は少ないと考えられる。これらのことは、砂質土壌において土壌pHを高めるために必要なアルカリ資材量は他の土壌よりも少ないこと⁸⁾と一致する。

施肥管理の指針となる施肥基準⁵⁾においては作物の生育に大きく影響するN、P、Kの施肥量が中心に設定されている。しかし、塩基の溶脱が著しく、土壌が酸性化しやすい砂質露地畑においては、土壌pHに関する土壌管理も重要である。栽培開始前に土壌分析を行って、栽培する作目に適した土壌pHへの改善を行うことが必要である。塩基の溶脱量が多い砂質露地畑の施肥管理において、経済的かつ持続的な生産活動のためにアルカリ資材の施用も含めた施肥管理技術を確立することが望まれる。そのためには、Ca及びMgも含めた土壌中の塩基バランスに加えて、土壌pHを低下させないために肥料の生理的な反応や副成分の特性にも留意すべきであることが示された。

引用文献

1. 松丸恒夫. 黒ボク土と砂質土における肥料窒素溶脱のライシメーター法による解析. 日本土壌肥科学雑誌. 68, 423-429(1997)
2. 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壌における土壌pHの低下要因. 日本土壌肥科学雑誌. 89, 227-231(2018)
3. 三枝正彦, 庄子貞雄, 伊藤豊彰, 本名俊正. 黒ボク土における交換酸度 y_1 の再評価. 日本土壌肥科学雑誌. 63, 216-218(1992)
4. 渡辺和彦. 原色野菜の要素欠乏・過剰症. 農山漁村文化協会. 東京. p.1-124(2002)
5. 愛知県農業水産局農政部農業経営課. 農作物の施肥基準. 愛知県. (2021)
[https://www.pref.aichi.jp/soshiki/nogyo-keiei/sehikijun.html\(2021.5.7参照\)](https://www.pref.aichi.jp/soshiki/nogyo-keiei/sehikijun.html(2021.5.7参照))
6. Saigusa, M., Shoji, S. and Takahashi, T. Plant root growth in acid andosols from northeastern Japan: 2. Exchange acidity Y_1 as a realistic measure of aluminum toxicity potential. Soil Science. 130, 242-250(1980)
7. 久保寺秀夫, 森清文, 草場敬, 島武男. pH(KCl)に基づく交換酸度 y_1 の推定. 日本土壌肥科学雑誌. 85, 48-51(2014)
8. 加藤哲郎. 土壌診断の方法と活用. 農山漁村文化協会. 東京. p.87-92(1996)