14　コマツナの生理障害

―加里―

藤田　卓[1]

キーワード　植害試験，コマツナ，カリウム，欠乏症状，下葉の黄化

1. はじめに

肥料中の有害成分による植物の異常症状の有無を判定する手段として，植物に対する害に関する栽培試験（以下，植害試験という）の方法が農林水産省農蚕園芸局長通知[1)]により定められている．普通肥料の公定規格[2)]では，副産肥料や汚泥肥料等で植害試験の結果，植物に害の認められないことが求められている．植害試験では，原則として供試作物にコマツナを用い，その生育状況から肥料中の植物に有害な成分の有無を判定する．しかし，試験中に発生する異常症状には，有害成分の他にも，病害虫，必須成分の欠乏又は過剰，多量施肥等様々な要因がある．発生した症状が，有害成分によるものか，他の要因によるものかを判別することは難しい．また，窒素，りん酸等植物の必須成分の欠乏又は過剰に起因する症状を生理障害というが，コマツナを対象として生理障害の詳細を記した文献は少ない．

そこで，独立行政法人農林水産消費安全技術センター（FAMIC）では，植害試験中に発生する症状を的確に判定することを目的として，意図的にコマツナの生理障害を発生させて，その症状を観察・記録した資料の作成を行っている．加えて，今後 FAMIC で作成を予定している植害試験法の詳細な手順及び解説書の基礎データとして蓄積する．今回はカリウムを対象として欠乏症状及び過剰症状確認試験の 2 試験を実施したので，その結果を報告する．なお，本稿では肥料成分や土壌分析値で使用する K_2O を加里，元素の K をカリウムとする．

2. 材料及び方法

1） 供試土壌，肥料等

(1) 供試土壌

欠乏症状確認試験用には収奪履歴のある黒ボク土を，過剰症状確認試験用には収奪履歴のない黒ボク土を用いた．両試験に用いた土壌の理化学性を表 1 に示した．試験には，目開き 2 mm のふるいを通したものを用いた．

(2) 供試肥料

試験に用いた肥料の成分量を表 2 に示した．各成分の分析は，肥料等試験法[3)]によった．

(3) 供試作物

コマツナ（品種名：夏楽天）

[1] 独立行政法人農林水産消費安全技術センター神戸センター

（4）試験規模

1/10000 a ノイバウエルポットを用い，欠乏症状確認試験は 1 試験区 2 連，過剰症状確認試験は 1 試験区 1 連とした．

表1 供試土壌の理化学性

試験用途	欠乏症状確認	過剰症状確認
土壌の種類	黒ボク土	黒ボク土
土性	L（壌土）	L（壌土）
水分（%）	32.52	29.69
pH（土：H_2O＝1:5）	5.89	5.74
電気伝導率（mS/m）	4.7	23.8
塩基置換容量（meq/100 g 乾土）[4)]	36.4	36.5
交換性塩基（mg/100 g 乾土）[5)]		
CaO	372	399
MgO	22	23
K_2O	6	39
塩基飽和度（%）	39.8	44.2
容積重（g/500 mL 風乾土）	374	375
最大容水量（mL/100 g 乾土）	102	99

表2 供試肥料の成分量

	成 分 量（%（質量分率））		
	W-K_2O	A-N	S-P_2O_5
硫酸加里	52.98		
塩化加里	63.18		
硫酸アンモニア		21.20	
過りん酸石灰			18.66

2） 試験方法

（1）試験区の構成及び施用量

試験区の構成及び施用量を表 3 に示した．欠乏症状確認試験では，硫酸加里を K_2O として 1 ポット当たり 0 mg～100 mg まで施用した計 6 区，各 2 連の試験区を設けた．また，0 mg 区については回復試験区を別に設け，カリウム欠乏によると考えられる症状を発生した場合，硫酸加里を K_2O として 25 mg となる量を適量の水に溶かして潅水時に土壌に施用した（2 日間続けて K_2O として計 50 mg）．過剰症状確認試験では，硫酸加里を K_2O として 1 ポット当たり 100 mg～2800 mg まで施用した 13 区及び塩化加里を K_2O として 1 ポット当たり 100 mg～800 mg まで施用した 8 区の計 21 区，各 1 連の試験区を設けた．両試験とも加里質肥料以外については，硫酸アンモニアを N として 1 ポット当たり 100 mg 及び過りん酸石灰を P_2O_5 として 200 mg となるように施用した．

（2）栽培方法

耕種概要を表 4 に示した．両試験とも，栽培期間は通常の植害試験と同じ 21 日間とした．ノイバウエルポットに，施肥後の供試土壌をポット底から約 5 cm まで充填し，供試作物のコマツナを 20 粒播種した．栽培条件は，人工気象装置（小糸工業製 コイトトロン KG50-HLA 型）内で光量子束密度約 310 µmol m^{-2} s^{-1}，照明時間 12 時間，気温昼間 25 ℃，夜間 18 ℃，湿度 65 %の一定とした．灌水は最大容水量の 60 %を目安に管理し，ローラーポンプ式自動給水装置（古江サイエンス製 RP-MRFS）を併用した．栽培条件を均一にするため，人工気象

装置内でのポットの配置は休日を除き，毎日無作為に換えた．

表3　試験区の構成及び施用量

試験区名			施用量 (mg/pot)	成分量(mg/pot) W-K_2O	A-N	S-P_2O_5
欠乏症状確認		0 mg区	0	0		
	硫酸加里	10 mg区	19	10		
		25 mg区	47	25		
		50 mg区	94	50		
		75 mg区	142	75		
		100 mg区	189	100		
過剰症状確認	硫酸加里	100 mg区	189	100		
		200 mg区	378	200		
		300 mg区	566	300		
		400 mg区	755	400		
		500 mg区	944	500		
		600 mg区	1133	600		
		700 mg区	1321	700		
		800 mg区	1510	800		
		1200 mg区	2265	1200		
		1600 mg区	3020	1600		
		2000 mg区	3775	2000		
		2400 mg区	4530	2400		
		2800 mg区	5285	2800		
	塩化加里	100 mg区	158	100		
		200 mg区	317	200		
		300 mg区	475	300		
		400 mg区	633	400		
		500 mg区	791	500		
		600 mg区	950	600		
		700 mg区	1108	700		
		800 mg区	1266	800		
硫酸アンモニア（共通）			472		100	
過りん酸石灰（共通）			1072			200

※ 0 mg区については，欠乏症状が発生した場合，灌水時に硫酸加里溶液を土壌に施用する回復試験区も別に設けた（K_2Oとして25 mgを2回施用）．

表4　耕種概要

試験名	施肥	播種	収穫
欠乏症状確認試験	平成26年3月31日	4月4日	4月25日
過剰症状確認試験	平成26年6月23日	6月27日	7月18日

3） 調査項目及び収穫物の分析方法

（1） 調査項目

発芽率，葉長，収穫物の葉体重量（生体重，乾物重），異常症状の確認，跡地土壌の pH，EC（過剰症状確認試験のみ），葉体のリン，カリウム，マグネシウム，カルシウム含有率（乾物当たり）及び葉体のカリウムの簡易検出試験（欠乏症状確認試験のみ）

(2) 収穫物の分析方法

① 葉体のカリウム, リン, マグネシウム及びカルシウム含有率(乾物当たり)[3]

収穫後, 生体重を測定したコマツナを定温乾燥機にて65 ℃で1昼夜乾燥した. 重量を測定した後, ミルサーで粉砕し, 分析試料とした. 試料約1 gをひょう量皿にとり, 水分計により採取重量及び水分を測定した. 水分測定後の試料を全てトールビーカー100 mLに移し電気炉で穏やかに炭化した後, 550 ℃で4時間以上灰化した. 放冷後, トールビーカーに塩酸約10 mL及び水約20 mLを加え時計皿で覆い, 5分程度煮沸した. 放冷後, 全量フラスコ 100 mL に移し込み, 水で定容した後ろ過し, 試料溶液とした. 適量の試料溶液を全量フラスコ50 mL～100 mLに分取した後, カリウムについてはフレーム光度法, リンについてはバナドモリブデン酸アンモニウム吸光光度法, マグネシウム及びカルシウムについてはフレーム原子吸光法により測定した(図1).

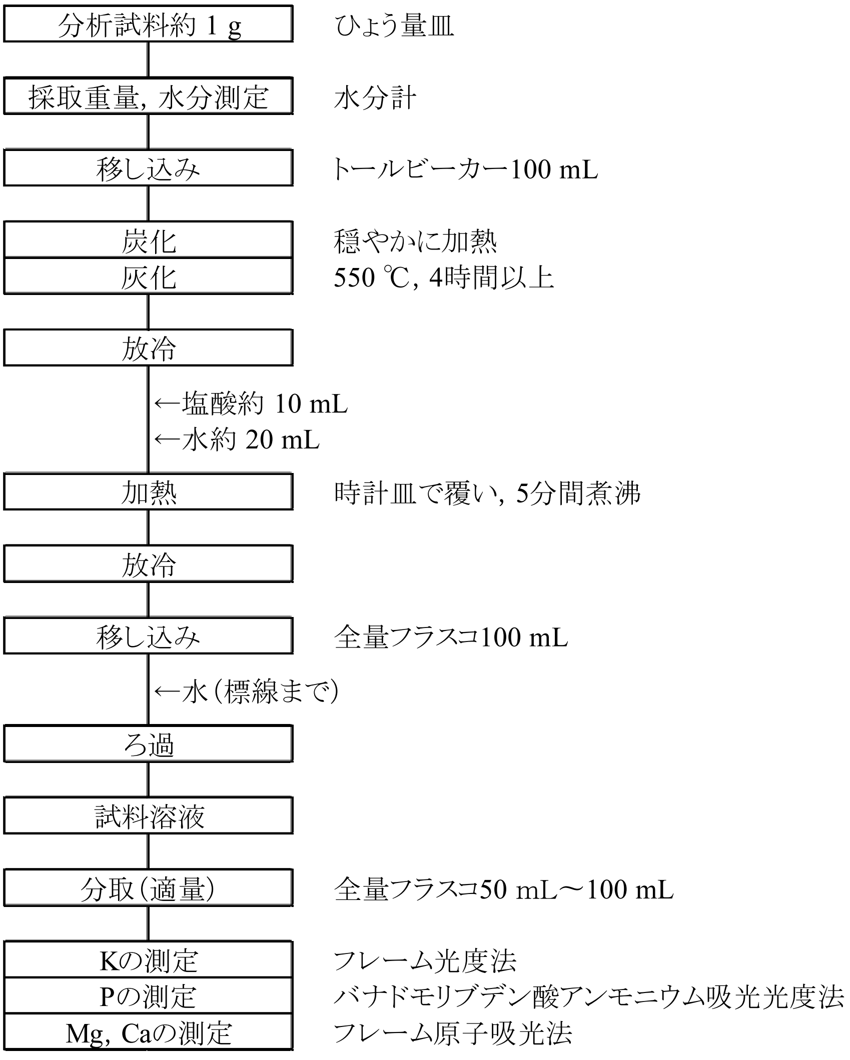


図1　葉体のカリウム, リン, マグネシウム及びカルシウム含有率(乾物当たり)試験法フローシート

②葉体のカリウムの簡易検出試験[6]

収穫物の第1葉の葉柄を下部から上部に向かってハサミで長さ2 mm程度に数個切り取り, 約100 mgを計り取った. これを試験管に入れ, 水3 mL及び5 % テトラフェニルホウ酸ナトリウム溶液0.15 mLを加えてよく攪拌した後, テトラフェニルホウ酸カリウムの微粒子による白濁の度合いを観察した(図2).

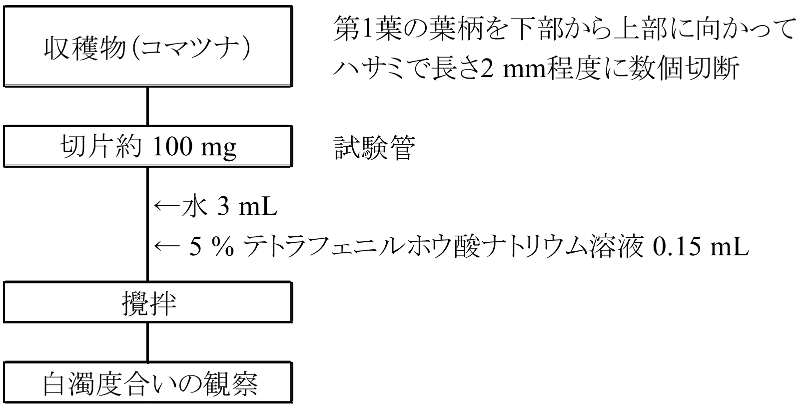


図2　葉体のカリウムの簡易定性試験法フローシート

3. 結果及び考察

1） カリウムの生理作用[7, 8]

古くから「窒素は葉肥，リンは実肥，カリウムは根肥」と言われているが，窒素及びリンが原形質の構成元素であるのに対し，カリウムは作物体内では主にイオン（K^+）の状態で存在している[9]．カリウムは細胞内では，100 mM 程度の高濃度で存在し，酵素の立体構造を安定化して，基質に対する親和力を増大させる．カリウムにより活性化される酵素は 60 種以上あり，例えば葉緑体中ではデンプン合成酵素活性が 50 mM～100 mM の濃度範囲で最大となり，CO_2 固定が飛躍的に増大する．また，高濃度のカリウムは細胞内の pH を酵素反応に適する 7～8 に安定化する．さらには浸透圧（膨圧）の維持にも働き，細胞を拡大する．カリウムは篩管内でも 100 mM 程度の高濃度で存在し，独立栄養器官である成熟葉側での膨圧を増大し，従属栄養器官である根や果実等へのショ糖の転流を促進している．このようにカリウムはデンプン生産及びショ糖の転流に大きく関与しており，「カリウムは根肥」の表現はある程度正しいことが分かる．

この他の重要なカリウムの生理作用として，リボゾームの立体構造を安定化させることによるタンパク質合成の促進，随伴イオンの塩素とともに気孔の孔辺細胞の浸透圧を調節することによる気孔の開閉，病害抵抗性の増大や乾燥・塩害耐性の付与等が挙げられる．

2）生理障害の症状

(1) 欠乏症状

欠乏症状確認試験の結果を表 5 に示した．植物の代表的なカリウム欠乏症状として，下葉の異常が挙げられる．カリウムは窒素，りん酸と同様に作物体内を再転流しやすいので，本症状は下葉から発生する[6]．このため，生育初期に現れることは少ない[10]．症状は①不整形の白斑あるいは褐色の斑点を生じるタイプ，②葉縁が黄化するタイプ，③葉脈間が黄化するタイプの 3 つに区分される[9]．今回の試験では，0 mg と 10mg 区の下葉にて②と③のタイプがみられた．なお，21 日間の植害試験では，収穫時の葉齢は通常 4～5 程度であるので，以後の考察において，第 2 葉までを下葉，第 3 葉以降を新葉と定義した．最初にみられたのは②のタイプで，栽培期間後期にまず下葉の先端部が暗緑色を呈した（写真 1）．以後，葉縁の黄化が進行し，やがて枯死した（写真 2～4）．やや遅れて葉脈間が脱色し，やがて枯死する③のタイプがみられた（写真 5）．主に②のタイプは第 1 葉，③は第 2 葉でみられた（写真 6）．下葉の黄

化が認められた栽培期間後期(17 日目)から 0 mg 区に硫酸加里溶液を土壌施用する回復試験を試みた(以後，黄化回復試験という)．その結果，20 日目頃から徐々に肥効が現れ，試験終了時(21 日目)までには明らかに黄化の進行が止まり，生育状況及び葉色の改善も認められた(写真 7)．下葉の黄化がカリウム欠乏によるか否かの確認方法として，土壌施肥の有効性が実証できた．また，0 mg 及び 10 mg 区については黄化がみられた個体，それ以外の試験区についてはランダムに収穫物を選択して，カリウムの簡易検出試験を実施した．その結果，0 mg 及び 10 mg 区については白濁が認められず，加里の施用量が増加するに従って白濁の度合いが増した(写真 8)．従って，簡易検出試験もカリウム欠乏症状の確認方法として有効であることが分かった．

カリウムが生育初期より欠乏すると葉が外側に巻き，生育不良になる[9]．今回の試験では，0 mg，10 mg 及びごく一部の 25 mg 区で発芽直後(3 日目)に子葉がカップ状に外側に巻く症状がみられた(写真 9)．本症状は，以後進行することなく解消に向かうが，0 mg 区では子葉の先端に症状の跡が残る個体がみられた(写真 10)．

カリウムは光合成の促進への影響が大きいため，欠乏すると作物の伸長は抑えられ，さらに子実や果実の収量も低下する[10]．今回の試験では，発芽直後から加里施用量の減少に伴う葉体の生育不良及び葉体重量の低下が認められた(写真 11，図 3)．しかし，窒素やりん酸等他の必須成分の欠乏，塩類濃度障害，有害成分による害でも生育不良は起こるため，判別するのは難しい．そこで，発芽直後にみられた子葉が外側に巻く症状を初期のカリウム欠乏の指標と考え，栽培期間中期(11 日目) から 0 mg 区に硫酸加里溶液を土壌施用する回復試験を試みた(以後，生育回復試験という)．その結果，17 日目頃から生育状況が改善し始め，試験終了時までに生育状況及び葉色の改善が認められた(写真 12)．従って，カリウム欠乏が疑われる生育不良の確認方法としても，土壌施肥の有効性が実証できた．

カリウムは根へのショ糖の転流に関与しており，根は従属栄養器官のため成熟葉からの炭水化物供給がないと自分自身で成長肥大することができない[7]．今回の試験では，0 mg 区で根の伸長不良がみられた． しかし，10 mg 区は 100 mg 区と比較してやや劣るものの，ほぼポット中に根が張っており，25 mg 区以降でも加里の施用量に従う差異は僅かであった(写真 13)．11 日目から硫酸加里溶液を施用した生育回復試験区では根張りの改善が認められたが，17 日目から施用した黄化回復試験区では 0 mg 区との明確な差異はなかった(写真 14)．根の生育不良は，カリウムだけでなく，窒素，りん酸，ほう素等が欠乏してもみられる[10]ことから，植害試験で根の伸長不良がみられた場合，その原因をカリウム欠乏と判断するのは難しいと考えられた．

カリウムが不足すると新葉は暗緑色となり，伸びが悪く小葉となる[10]．今回の試験では，0 mg 区の半数程度及び 10 mg 区の一部で，新葉に相当する第 3 葉に三角状の形状異常がみられた(写真 15)．

通常の植害試験では，標準区において塩化加里を K_2O として 1 ポット当たり 25 mg 施用するのが最小施用量であり，無機質肥料の場合は K_2O として 1 ポット当たり 100 mg に満たないときには 100 mg の量になるように塩化加里を施用し，有機質肥料及び汚泥肥料の場合は塩化加里を K_2O として 1 ポット当たり 25 mg 基礎施用した上に肥料を施用する．今回の試験では収奪により交換性加里の少ない土壌を用いたが，欠乏症状として異常が認められたのは主に 0 mg 及び 10 mg 区までであった．従って，最低でも K_2O として 1 ポット当たり 25 mg 施用する植害試験ではカリウム欠乏症状が発症することは少ないと考えられた．

一方，既報[11]のりん酸過剰症状確認試験でみられた下葉の脱色及び枯死症状では，発症区の葉体のカリウムに対するリンの比 (P/K) が比較的高いことから，リンに対してカリウムが相対的に不足したことが原因と推察した．今回の試験での葉体のカリウム，リン含有率 (%(乾物当たり)) 及び P/K を図 4 に示した．カリウム含有率が施用量に従って高くなるのに対し，リン含有率は低くなる傾向にあり，異常症状がみられ

た 0 mg 及び 10 mg 区付近で P/K は顕著に高い値となった．従って，下葉の異常がカリウム欠乏のみの単独要因ではなく，リンとの相対的な関係から生じている可能性も考えられた．また，カリウムが適量であってもカルシウムやマグネシウムが土壌中に多量に存在するとカリウムの吸収が抑制され，欠乏が助長されることがある[9]．以上より，K_2O として 1 ポット当たり 25 mg 以上の施用であっても施肥，土壌条件等によっては異常症状の発生する可能性があるため，植害試験に際しては肥料や土壌中のりん酸，カルシウム及びマグネシウム含有量も考慮すべきと考えられた．

表5 試験結果(欠乏症状確認試験)

試験区		ポットNo.	発芽率(%)	葉長(cm)		生体重	乾物重	葉体の無機元素含有率(%(乾物当たり))				異常症状
			4月7日	4月18日	4月25日	(g/pot)	(g/pot)	K	P	Mg	Ca	
硫酸加里	0 mg	1	100	5.6	8.6	16.25	1.42	0.26	0.59	0.25	1.45	有
		2	100	5.5	8.5	15.96	1.40	0.25	0.55	0.24	1.41	
		平均	100	5.6	8.6	16.11	1.41	0.26	0.57	0.25	1.43	
	10 mg	1	100	6.2	9.1	22.15	2.11	0.35	0.43	0.26	1.89	有
		2	100	6.0	8.6	21.92	2.07	0.35	0.42	0.25	1.84	
		平均	100	6.1	8.9	22.04	2.09	0.35	0.43	0.26	1.87	
	25 mg	1	100	6.6	9.6	22.92	2.43	0.63	0.36	0.23	1.72	有
		2	100	6.3	8.6	22.04	2.43	0.61	0.35	0.24	1.84	
		平均	100	6.5	9.1	22.48	2.43	0.62	0.36	0.24	1.78	
	50 mg	1	100	6.1	9.0	23.29	2.78	1.03	0.31	0.20	1.61	無
		2	100	6.5	9.3	24.01	2.80	1.06	0.32	0.20	1.59	
		平均	100	6.3	9.2	23.65	2.79	1.05	0.32	0.20	1.60	
	75 mg	1	100	6.7	9.7	25.08	2.92	1.55	0.32	0.19	1.46	無
		2	100	6.8	10.2	24.81	2.83	1.53	0.34	0.19	1.58	
		平均	100	6.8	10.0	24.95	2.88	1.54	0.33	0.19	1.52	
	100 mg	1	100	6.8	9.6	25.22	3.09	1.82	0.31	0.18	1.41	無
		2	100	6.7	9.7	25.91	3.17	1.84	0.31	0.19	1.42	
		平均	100	6.8	9.7	25.57	3.13	1.83	0.31	0.19	1.42	
生育回復			100	5.8	10.3	20.01	1.94	1.34	0.41	0.21	1.50	有
黄化回復			100	5.3	9.0	18.85	1.61	1.46	0.50	0.20	1.23	有

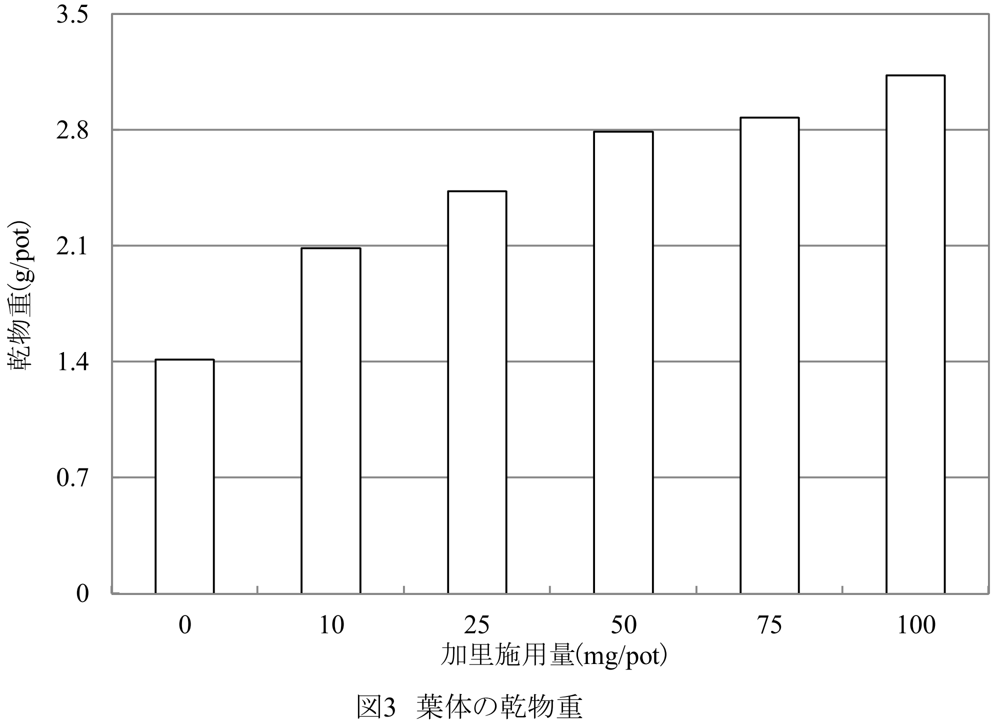


図3 葉体の乾物重

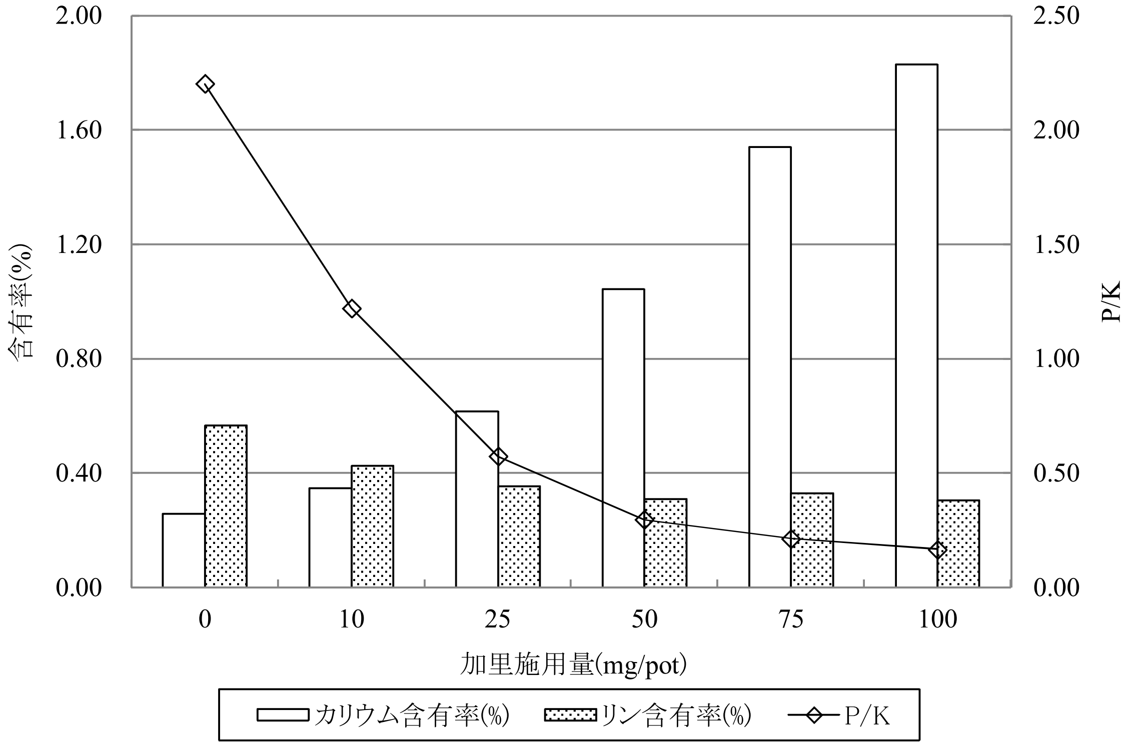


図4　葉体のカリウム, リン含有率(%(乾物当たり))及びP/K

（写真 1） 播種 14 日後の 0 mg 区の様子. 葉縁が黄化するタイプの欠乏症状は, 栽培期間後期に下葉先端部が暗緑色を呈することから始まった.

（写真 2） 播種 17 日後の 0 mg 区の様子. 下葉先端部から葉縁部へと症状が広がってきた.

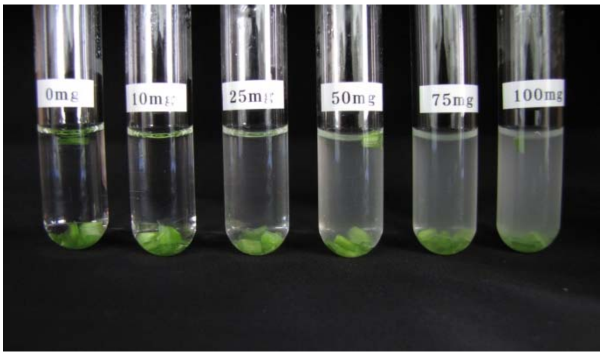
（写真 3） 播種 19 日後の 0 mg 区の様子. 葉縁部が黄色を呈しているのがよく分かる.

（写真 4） 播種 21 日後の 0 mg 区の様子. さらに症状が進行して，枯死した状態. このタイプの症状は主に第 1 葉でみられた.

（写真 5） 播種 20 日後の 0 mg 区の様子. 葉脈間が脱色するタイプは葉縁の黄化より 2 日ほど遅れて発症した. この症状は主に第 2 葉でみられた.

（写真 6） 播種 21 日後の 10 mg 区の様子. 0 mg 区ほど高頻度，重症ではないが，10 mg 区でもカリウム欠乏症状がみられた. 写真では，第 1 葉が葉縁の黄化，第 2 葉が葉脈間の脱色症状を起こしているのがよく分かる.

（写真 7） 播種 21 日後の 0 mg 区（左側）と黄化回復試験区（右側）の様子. 硫酸加里溶液の土壌施肥を開始して 3 日目頃から徐々に肥効が現れ, 試験終了時までには明らかに黄化の進行が止まり, 生育状況及び葉色の改善も認められた.



（写真 8） カリウムの簡易検出試験の様子. 下葉の異常症状がみられた 0 mg 及び 10 mg 区ではテトラフェニルホウ酸カリウムの白濁が認められず, 加里の施用量が増加するに従って白濁の度合いが増した.

（写真 9） 播種 3 日後の 0 mg 区の様子. 発芽直後に子葉がカップ状に外側に巻く症状は 0 mg, 10 mg 及びごく一部の 25 mg 区がみられたが, 以後進行することはなく解消に向かった.

（写真 10） 播種 10 日後の 0 mg 区の様子. 10 mg 及び 25 mg 区では発症後 2 日ほどで子葉は正常な形状に戻ったが, 0 mg 区では子葉の先端に症状跡が残る個体がみられた. 写真右側の正常な子葉の形状と比較すると, その差異がよく分かる.

（写真 11） 播種 21 日後の様子．加里の施用量が減少するに従って，葉体の生育不良が認められた．窒素やりん酸等他の必須成分の欠乏，塩類濃度障害，有害成分による害でも生育不良は起こるので，カリウム欠乏を原因とするか否かの判別は難しい．そこで発芽直後に子葉が外側に巻く写真 9 の症状を初期カリウム欠乏の指標として，栽培期間中期(11 日目）から硫酸加里溶液を土壌に施用する生育回復試験を試みた．

（写真 12） 播種 21 日後の 0 mg 区(左側)と生育回復試験区(右側)の様子．硫酸加里溶液の土壌施肥を開始して 6 日目頃から肥効が現れ，試験終了時までに生育状況及び葉色の改善が認められた．

（写真 13） 0 mg 区(左側)，10 mg 区(中央)，100 mg 区(右側)の根張りの様子．0 mg 区では明らかに根の伸長不良がみられたが，10 mg 区は 100 mg 区と比較してやや劣るものの，ほぼポット中に根が張っており，異常とまでは言えなかった．25 mg 区以降でも加里の施用量に従う根張り状態の差異は僅かであった．

（写真 14） 0 mg 区(左側)，黄化回復試験区(中央)，生育回復試験区(右側)の根張りの様子．生育回復試験区では根張りの改善が認められたが，施肥からの期間が短い黄化回復試験区では 0 mg 区との明確な差異はなかった．根の生育不良は，カリウムだけでなく，窒素等他の必須成分が欠乏してもみられることから，カリウム欠乏が原因か否かの判別は困難と考えられた．

（写真 15） 播種 20 日後の 10 mg 区の様子．0 mg 区の半数程度及び 10 mg 区の一部で，新葉に相当する第 3 葉に三角状の形状異常がみられた．

(2) 過剰症状

過剰症状確認試験の結果を表 6，葉体のカリウム含有率（%(乾物当たり)）を図 5 に示した．葉体のカリウム含有率は 3.34 %～10.28 %（加里含有率換算:4.02 %～12.39 %）の範囲にあり，加里施用量の増加に従って高くなる傾向があった．作物はカリウムの吸収を調節する能力が弱く，土壌中にあればあるほど余計に吸収し，過剰症状は出にくい[10)]．多くの野菜で葉体の加里含有率（%(乾物当たり)）が 2 %もあれば生育や収量への影響はないと考えられるが，多量施肥によって 10 %を超える事例もある[12)]．従って，今回の試験のカリウム含有率はカリウムによる過剰症状を発症する程の高値ではないと考えられた．

カリウムは土壌中では有機態としてほとんど存在しない[13)]．土壌中でのカリウムはその状態から①土壌溶液中カリウム，②交換性カリウム，③難交換性カリウム及び④鉱物中カリウムに分類される．このうち③難交換性カリウムは土壌溶液中あるいは交換性の部分が少なくなれば徐々に溶出してくるが，作物にとって可給性として評価できるのは①土壌溶液中＋②交換性である[14)]．また，土壌と同様に肥料中のカリウムも有機態ではほとんど存在せず，肥料成分の水溶性加里は土壌溶液中カリウム，く溶性加里は交換性カリウムにほぼ対応すると考えられる．今回の試験では，加里施用量の増加に伴って塩類濃度障害と考えられる発芽率の低下や葉体の生育遅延・不良がみられた（図 6，写真 16）．その他にも塩類に対する抵抗力が弱い発芽時から生育初期にかけて，子葉が枯れたり，種皮に包まれる等の塩類濃度障害がみられた（写真 17, 18）．カリウムが有機体として存在していない土壌中でカリウムが過剰に存在している状態とは，今回のように塩類濃度も高い状態であると言え，従ってカリウムの過剰症状が出る程に作物がカリウムを吸収するより先に塩類濃度障害が起こると考えられた．なお，塩類濃度障害は塩化加里の方が顕著であり，より低施用量で発症したが，これは塩化物イオンの方が溶解度が高く，一時的に土壌溶液濃度を高めたためと考えられた[12)]．

カルシウムやマグネシウムは土壌への吸着親和性が大きいため，カリウム濃度の上昇によって土壌溶液中濃度が低下してしまう．従って，土壌中にカリウムが過剰に存在すると，作物はカルシウムやマグネシウム欠乏症状を起こすことがある[14)]．カルシウムは作物体内でできるシュウ酸やペクチンと結合するので，古葉に沈積して新葉への移動が少ない[10)]．よって，カルシウム欠乏症状は通常新葉から発生するが，コマツナでは心葉の生育が阻害され，奇形化し，やがて枯死する[9)]．今回の試験ではそのような新葉部の症状は全くみられなかった．一方，マグネシウムはりんご酸とともに，作物体内の生長の盛んな新芽や子実へ自由に移動する．よって，マグネシウム欠乏症状は通常古葉から発生し，生育初期にはみられない[10)]．コマツナでは下葉の葉脈間が淡緑～黄化する[9)]．今回の試験では，栽培期間後期に塩化加里 500 mg 及び 600 mg 区の一部に下葉の葉脈間脱色を伴って萎凋する時期があったが，ほどなく葉脈

も含めて枯死した（写真 19, 20）. 葉体のマグネシウム含有率（%(乾物当たり)）を図 7 に示した. 硫酸加里 100 mg～1200 mg 区及び塩化加里 100 mg 区では外見上の異常が認められなかったが, これらの試験区と比較して塩化加里 500 mg 及び 600 mg 区のマグネシウム含有率は高い傾向にあった. また, 欠乏症状確認試験での葉体のマグネシウム含有率は 0.18 %～0.26 %の範囲にあったが, 塩化加里 500 mg 及び 600 mg 区のそれは 0.25 %及び 0.26 %であり, 遜色はなかった. 従って, 塩化加里 500 mg 及び 600 mg 区でみられた下葉の葉脈間脱色はマグネシウム欠乏症状ではないと考えられた.

硫酸加里 1600 mg 区以降及び塩化加里 200 mg 区以降の施用量区では, 前述の下葉の脱色を伴う萎凋の他, ほぼ同じ時期に下葉の一部剥離や子葉の萎凋等もみられた（写真 21, 22）. 予備試験として, 欠乏症状確認試験用の収穫済み黒ボク土に塩化加里を K_2O として 1 ポット当たり 100 mg 施用してコマツナを栽培したところ, 今回の試験と類似した症状がみられた（写真 23, 24）. 一方, 硫酸加里を等量施用した試験区ではこの様な症状がみられなかったため, 予備試験でみられた症状は塩化物イオンが原因と考えられた. また, コマツナを供試作物として硫酸アンモニアまたは塩化アンモニアを過剰に施用した窒素の生理障害確認試験では, ある時期に一斉に枯れかかり急激に黄色く変化しており, この原因について追試験の必要性を述べている[15]. これらのことより, 今回の試験でみられた下葉や子葉の異常症状の原因として塩化物イオンまたは硫酸イオンの過剰吸収の可能性が高いと考えられた.

以上より, 今回の試験では, カリウムの過剰症状はもとより, 加里の過剰施用に起因するマグネシウム等他の必須成分の欠乏症状もなかったと考えられた. 通常の植害試験において, 加里質肥料の場合では施用量は最大でも K_2O として 1 ポット当たり 400 mg であるが, 複合肥料では窒素やりん酸より加里の成分量が多いと, 多量に加里を施用する可能性がある. しかし, 供試土壌に多量の可給性カリウムが存在する場合も含めて, 注意すべきは高塩類濃度等他の要因による障害であり, カリウム過剰症状やマグネシウム欠乏症状に留意する必要はほとんどないと考えられた.

表6 試験結果（過剰症状確認試験）

試験区名		発芽率(%)			葉長(cm)		生体重	乾物重	葉体の無機元素含有率(%(乾物当たり))				異常症状	跡地土壌(土:H_2O=1:5)	
		6月30日	7月2日	7月4日	7月11日	7月18日	(g/pot)	(g/pot)	K	P	Mg	Ca		pH	EC(mS/m)
硫酸加里	100 mg	100	100	100	8.5	12.1	41.45	3.80	3.34	0.34	0.21	1.49	無	5.20	35.2
	200 mg	100	100	100	8.8	12.1	41.60	3.89	4.71	0.35	0.21	1.40	無	5.16	38.5
	300 mg	100	100	100	9.1	12.7	42.71	3.86	5.73	0.34	0.20	1.41	無	5.15	46.8
	400 mg	100	100	100	8.8	12.2	42.32	3.81	6.38	0.35	0.19	1.30	無	5.16	52.4
	500 mg	100	100	100	9.1	12.7	43.51	3.86	6.56	0.36	0.20	1.27	無	5.14	60.5
	600 mg	100	100	100	9.1	12.5	42.87	3.72	6.78	0.35	0.20	1.29	無	5.15	67.9
	700 mg	100	100	100	9.1	12.4	40.52	3.80	5.98	0.38	0.19	1.23	無	5.17	76.2
	800 mg	100	100	100	8.6	12.5	42.06	3.74	6.87	0.37	0.18	1.20	無	5.16	86.6
	1200 mg	100	100	100	8.4	11.9	39.89	3.59	6.93	0.37	0.17	1.18	無	5.18	129.3
	1600 mg	100	100	100	8.0	12.2	38.13	3.26	7.41	0.40	0.16	1.07	有	5.22	162.4
	2000 mg	90	100	100	6.7	12.3	35.18	2.80	8.54	0.43	0.16	0.99	有	5.25	200
	2400 mg	20	75	75	6.4	12.4	28.13	2.04	9.81	0.49	0.15	0.79	有	5.28	227
	2800 mg	5	20	60	5.1	12.0	18.92	1.27	10.28	0.50	0.16	0.82	有	5.40	279
塩化加里	100 mg	100	100	100	9.4	12.1	45.33	3.79	3.40	0.32	0.26	1.73	無	5.21	30.8
	200 mg	95	100	100	8.7	12.4	47.55	3.84	4.71	0.33	0.23	1.72	有	5.20	34.3
	300 mg	100	100	100	9.1	13.3	50.30	3.79	5.94	0.34	0.24	1.72	有	5.20	39.4
	400 mg	95	95	95	8.3	13.0	48.50	3.57	6.73	0.32	0.24	1.77	有	5.21	48.0
	500 mg	55	85	90	8.3	13.9	42.86	2.87	7.76	0.35	0.25	1.95	有	5.21	62.1
	600 mg	35	60	65	7.6	14.4	40.30	2.52	8.82	0.38	0.26	1.98	有	5.25	71.3
	700 mg	15	55	65	6.3	14.8	38.35	2.12	9.51	0.38	0.27	2.03	有	5.26	89.0
	800 mg	5	15	35	6.2	12.3	25.62	1.36	8.68	0.41	0.27	2.95	有	5.32	119.2

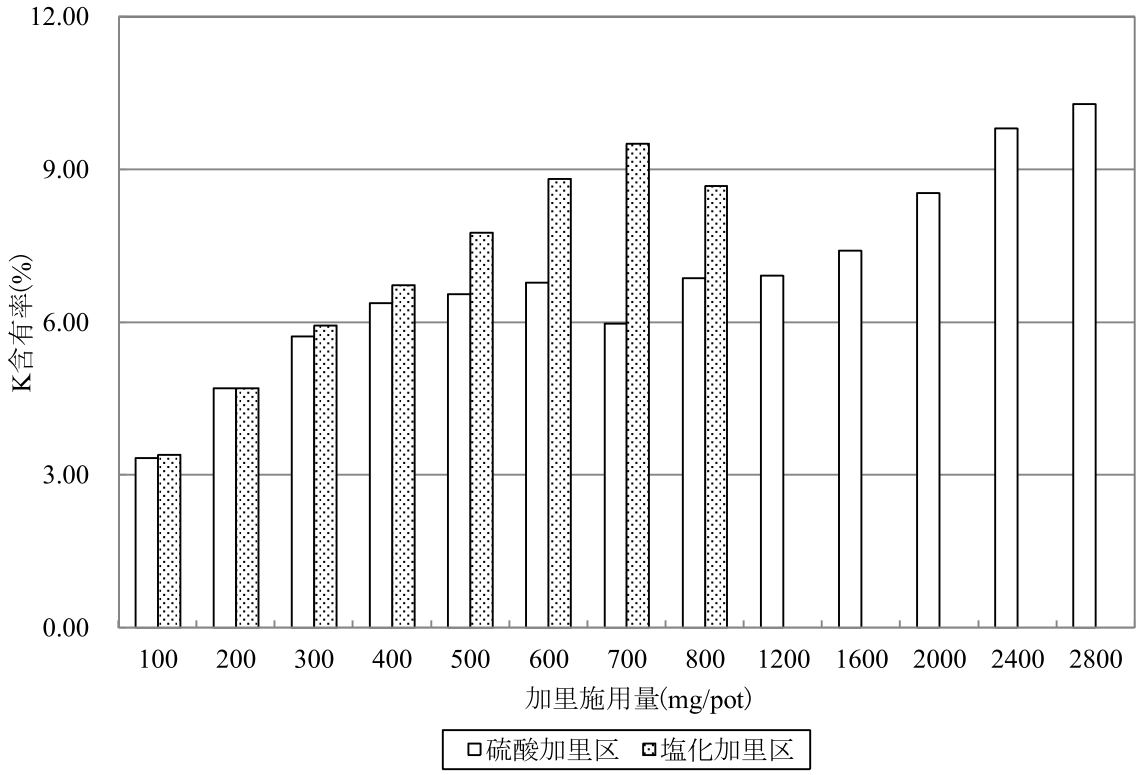


図5　葉体のカリウム含有率(%(乾物当たり))

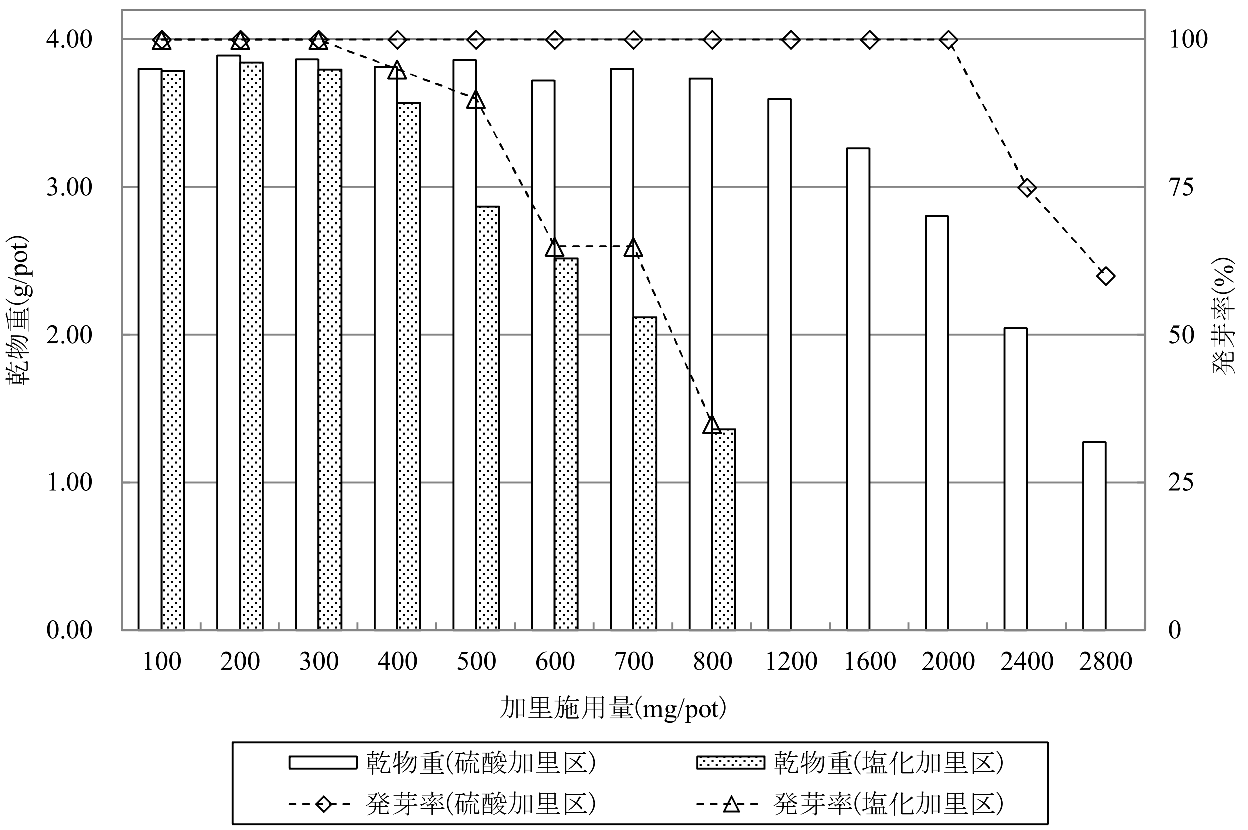


図6　葉体の乾物重及び発芽率(播種7日後)

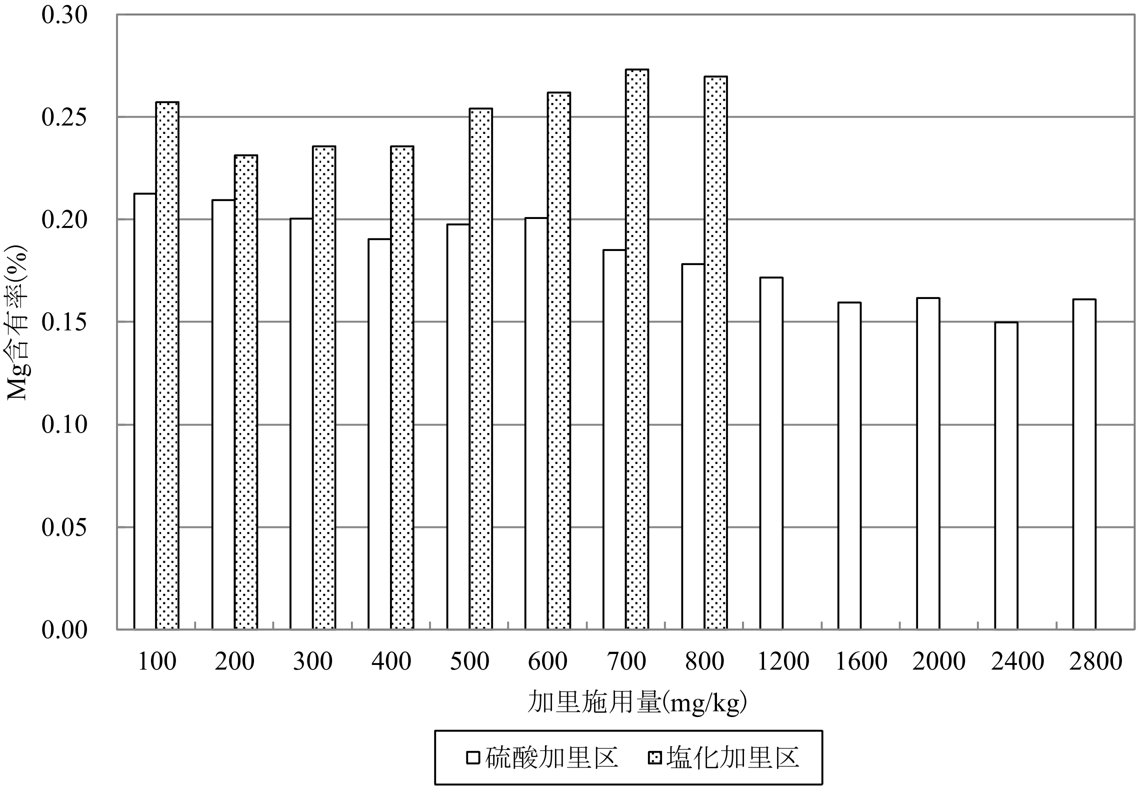


図7 葉体のマグネシウム含有率(%(乾物当たり))

（写真 16） 播種 14 日後の様子．上段:塩化加里 100 mg～800 mg 区，中段:硫酸加里 100 mg～800 mg 区，下段:硫酸加里 1200 mg～2800 mg 区．加里の施用量が増えるに従って生育状況が悪化しているが，塩化加里区の方が顕著だった．発芽率も同様の傾向がみられ，多量施肥による塩類濃度障害と考えられた．

（写真 17） 播種 7 日後の硫酸加里 2800 mg 区の様子．塩類濃度障害による子葉の枯れは，写真のように 2 葉間で症状の度合いに差異がある場合が多かった．塩類濃度障害は発芽時から生育初期にかけて発症しやすい．この時期は，まだ塩類に対する抵抗力が弱いためと考えられる．

（写真 18）　播種 7 日後の塩化加里 700 mg 区の様子．種皮に包まれて子葉が展開せず，胚軸を伸ばしている状態．この他に，種皮が外れても胚軸が土壌に埋没したままで子葉展開しなかったり，子葉が外側に反るなどの塩類濃度障害がみられた．

（写真 19）　播種 18 日後の塩化加里 500 mg 区の様子．下葉の葉脈間が脱色して，萎凋した状態．この他，全体的に淡緑色を帯びていたり，葉脈も含めて萎凋する下葉もみられた．

（写真 20）　播種 20 日後の塩化加里 500 mg 区の様子．ほどなく葉脈も含めて枯死した．

（写真 21）　播種 21 日後の塩化加里 200 mg 区の様子．下葉の一部剥離は，硫酸加里 1600 mg 区以降及び塩化加里 200 mg 区以降の施用量区で栽培期間後期から急に目立ち始めた．

（写真 22） 播種 19 日後の硫酸加里 2400 mg 区の様子．下葉の異常とほぼ同時期の栽培期間後期に急に子葉も萎凋し，間もなく枯死した．塩類濃度障害による子葉の枯れとは発症時期や様相が異なっていた．

（写真 23） 欠乏症状確認試験用の収奪済み黒ボク土を用いた予備試験での播種 15 日後の塩化加里 100 mg 区の様子．子葉の萎凋及び枯死は，写真 22 のそれと同じく，急に発症した．硫酸加里を等量施用した場合異常はなかったことから，塩化物イオンが原因と考えられた．K_2O として 1 ポット当たり 100 mg という標準的な施用量で発症したのは，収奪によって塩類間のバランスが崩れたためと推量された．

（写真 24）上記と同じ予備試験にて，塩化加里を K_2O として 1 ポット当たり 100 mg 施用に加えて硫酸苦土を MgO として 170 mg 施用した試験区の播種 15 日後の様子．過剰症状確認試験と同様の下葉の脱色を伴う萎凋がみられた．硫酸苦土を施用しているので，マグネシウム欠乏症状ではないと考えられた．

4. まとめ

植害試験で発生した症状を正確に判定するための基礎資料作成を目的として，コマツナを用い，カリウムの欠乏症状及び過剰症状確認試験を実施した．欠乏症状確認試験では，供試土壌として収奪履歴のある黒ボク土（交換性加里 6 mg/100 g 乾土）を用い，硫酸加里を K_2O として 1 ポット当たり 0 mg～100 mg まで段階的に施用して，21 日間栽培した．その結果，低施用量区において(1) 下葉の葉縁部黄化及び葉脈間脱色，(2) 子葉が外側に巻く症状，(3) 葉体の生育不良，(4) 根の伸長不良，(5) 第 3 葉が三角状になる症状の 5 症状を確認した．下葉の黄化または葉体の生育不良の症状がみられた後の 0 mg 区に硫酸加里溶液を土壌施用したところ，黄化の進行停止や生育状況の改善が認められた．また，0 mg 及び 10 mg 区で下葉の黄化がみられた収穫物についてテトラフェニルホウ酸ナトリウム溶液によるカリウムの簡易検出試験を行ったところ，テトラフェニルホウ酸カリウ

ムによる白濁がみられなかった.よって, カリウム欠乏が疑われる下葉の黄化や生育不良の確認方法として, 硫酸加里溶液の土壌施肥及びカリウムの簡易検出試験の有効性が実証できた.

過剰症状確認試験では, 収奪履歴のない黒ボク土(交換性加里 39 mg/100 g 乾土)を用い, 硫酸加里を K_2O として 1 ポット当たり 100 mg～2800 mg まで, または塩化加里を K_2O として 1 ポット当たり 100 mg～800 mg まで段階的に施用して, 21 日間栽培した. その結果, 施用量の増加に伴って塩類濃度障害と考えられる発芽率の低下や葉体の生育遅延・不良等がみられた. また, 栽培期間後期には, 塩化物イオンまたは硫酸イオンの過剰吸収によると考えられる下葉の萎凋や一部剥離等がみられた. しかし, カリウムの過剰症状, または加里の過剰施用に起因するマグネシウム等他の必須成分の欠乏症状は発症しなかったと考えられた.

文 献

1） 農林水産省農蚕園芸局長通知:肥料取締法の一部改正に伴う今後の肥料取締りについて, 別添 1, 植物に対する害に関する栽培試験, 昭和 59 年 4 月 18 日, 59 農蚕第 1943 号 (1984)
2） 農林水産省告示:肥料取締法に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件, 昭和 61 年 2 月 22 日, 農林水産省告示第 284 号, 最終改正平成 28 年 1 月 8 日, 農林水産省告示第 41 号 (2016)
3） 独立行政法人農林水産消費安全技術センター（FAMIC）:肥料等試験法（2015）
<http://www.famic.go.jp/ffis/fert/obj/shikenho_2015.pdf>
4） 越野正義:第二改訂 詳解肥料分析法, p.311~315, 養賢堂, 東京 (1988)
5） 鎌田春海:土壌標準分析・測定法, p.155~160, 博友社, 東京 (1986)
6） 渡辺和彦:わかりやすい園芸作物の栄養診断の手引き, p.56~65, 誠文堂新光社, 東京 (2010)
7） 渡辺和彦:環境・資源・健康を考えた土と施肥の新知識, p.187~190, 全国肥料商連合会, 東京 (2012)
8） 渡辺和彦:土壌診断生育診断大事典, p.879~887, 農山漁村文化協会, 東京 (2009)
9） 清水武:原色 要素障害診断事典, p.148, p.189~190, 農山漁村文化協会, 東京 (1990)
10） 高橋英一, 吉野実, 前田正男:新版 原色 作物の要素欠乏・過剰症, p.98~132, p.220~244, 農山漁村文化協会, 東京 (1980)
11） 藤田卓:コマツナの生理障害－りん酸－, 肥料研究報告, **6**, 117~129 (2013)
12） 堀裕:最新園芸技術 5 野菜の栄養生理と施肥技術, p.168~172, 誠文堂新光社, 東京 (1968)
13） 山根一郎:改訂版 土壌学の基礎と応用, p.117~121, 農山漁村文化協会, 東京 (1982)
14） 亀和田國彦:土壌診断生育診断大事典, p.179~180, 農山漁村文化協会, 東京 (2009)
15） 阿部文浩, 恵智正宏:コマツナの生理障害－窒素－, 肥料研究報告, **5**, 147~155 (2012)

Physiological disorder of Komatsuna
- Potassium -

Taku FUJITA[1]

[1] Food and Agricultural Materials Inspection Center, Kobe Regional Center

This study was intended to accurately judge the symptoms that occur in the vegetation test on the harm against plants. The physiological disorder confirmation test, in which it was occurred the potassium deficiency or excessive symptoms about Komatsuna (*Brassica rapa var. perviridis*) intentionally, was undertaken. The application amount of potassium fertilizer or the amount of exchangeable potassium in soil was managed as a means. As the potassium deficiency symptoms, it was observed (1) the border part of lower leaves turned yellow and the decoloration between veins of lower leaves, (2) the cotyledons wound on the outside, (3) the poor growth of leaves, (4) the extension failure of root, (5) the third leaf became triangular. The methods were investigated to confirm whether the yellowing of lower leaves and the poor growth of leaves were due to potassium deficiency. As a result, the application of potassium sulfate solution to the soil and the simple potassium detection test by sodium tetraphenylborate solution were effective. In the potassium excessive symptoms confirmation examination, it was observed the decrease of germination rate, the slow and poor growth of leaves, etc. These were regarded as the high salts obstacle with increasing application amount. On the other hand, in the later stage of cultivation, it was observed the wilting and the partial peeling of lower leaves, etc. These were guessed to be due to the excessive absorption of chloride or sulfate ion. However, it was considered the potassium excessive symptoms did not occur. In addition, it was not observed the deficiency symptoms of the other essential ingredients such as magnesium caused by the excessive application of potassium.

Key words vegetation test on the harm against plants, komatsuna, potassium, deficiency symptoms, yellowing of lower leaves

(Research Report of Fertilizer, **8**, 182~200, 2015)