

L型（低PK）肥料の連用による作物収量および露地野菜畑土壌の 可給態リン酸，交換性カリ含量の変化

上山紀代美

Changes in Crop Yields and Available Phosphate and Exchangeable Potassium Content of Open-culture Vegetable Field Soils by Continuous Use of L-type Fertilizers(N:P₂O₅:K₂O=14:8:8)

Kiyomi KAMIYAMA

摘 要

リン酸およびカリ成分を低減したL型肥料（N:P₂O₅:K₂O=14:8:8）を、露地野菜畑で6年間13作にわたり連用し、コマツナ、ハウレンソウ、レタスの収量および土壌への影響を調査し、さらにL型肥料と有機物を併用した場合の施用効果を検討した。

作物収量は、リン酸およびカリが蓄積した養分蓄積土壌では、L型肥料を連用しても高度化成を連用した対照区とほぼ同等に推移したが、リン酸およびカリの蓄積のない標準土壌では、L型肥料連用を続けると低下する傾向にあった。土壌中の可給態リン酸含量は、リン酸蓄積土壌では6年間の栽培期間中に低下したが、土壌診断基準値程度の標準土壌では低下は見られなかった。土壌中の交換性カリ含量は、土壌中のカリ蓄積量にかかわらず減少し、特に2年（5作）で土壌診断基準値の下限付近まで低下し、低下の程度はL型肥料連用の方が大きかった。有機物（牛ふん堆肥）を併用すると、土壌中のカリ含量は速やかに上昇し、特に、高度化成肥料との併用で土壌診断基準値を上回ったが、L型肥料区では土壌診断基準値内であった。

以上のことから、露地野菜畑において、堆肥等の有機物を施用せずにL型肥料を施用する場合は2年程度とし、その後は有機物（牛ふん堆肥）と併用することが望ましいと考えられた。

キーワード：L型肥料，カリ蓄積土壌，リン酸蓄積土壌，土壌診断，露地野菜

Summary

L-type fertilizers with reduced phosphoric acid and potassium components (N: P₂O₅: K₂O=14:8:8) were used for 13 works for 6 years in an open-culture vegetable field, and the yield of Komatsuna, spinach, and lettuce and its impact on soil were investigated. In addition, the effect of L-type fertilizer and organic matter (cow manure compost) was investigated.

Crop yields were almost the same as those in the control zone where L-type fertilizers were used in an accumulated soil by phosphoric acid and potassium, but in standard soils without accumulation of phosphoric acid and potassium, they tended to decrease if L-type fertilizers continued to be used. The amount of available phosphate in the soil decreased during the cultivation period of 6 years in the phosphate accumulation soil, but the decrease was not observed in the standard soil of about the soil diagnostic reference value. The exchangeable potassium content in the soil decreased regardless of the amount of potassium accumulation in the soil, and it decreased to the vicinity of the lower limit of the soil diagnostic reference value in two years (5 works), and the degree of decrease was larger for L-type fertilizer continuous. When organic matter (cow manure compost) was used in combination, the content of potassium in the soil increased rapidly, and in particular, the soil diagnostic reference value was exceeded in combination with high-analysis compound fertilizers, but

with the L-type fertilizers, it was within the soil diagnostic reference value.

These results suggest that L-type fertilizers are applied in an open-field vegetable field without applying compost or other organic matter for about two years, and then used in combination with organic matters.

Key words: L-type fertilizers, nutrient accumulation soil, soil diagnosis, open-culture vegetable field

緒言

化学肥料は農業生産上欠くことのできない資材であるが、その原料、特にリン酸肥料やカリ肥料の原料については天然資源輸入に依存している。2008 年には、中国のリン酸肥料原料への高関税化による実質上の輸出停止措置や原油価格の高騰により、世界的な肥料原料価格の高騰が生じた（農林水産省 2017）。現在では、代替国での資源の確保等により供給の安定が図られつつあるが、以前の状態まで価格が下がることはなく高止まりの傾向にあり、肥料価格の上昇は農家経営に影響を与えている（農林水産省 2017）。

一方、神奈川県では、当所で開発した土壌診断プログラムにより 1970 年代から、土壌診断データを収集し解析を行ってきた。その結果、土壌中の可給態リン酸（トルオーグリン酸）や交換性カリが蓄積傾向にあることが判明し（藤原・岡本 2008）、環境保全の面から適正施肥が望まれている。

近年、適正施肥と施肥コスト削減に向けて、特に原料価格の高騰の著しいリン酸及びカリ成分を低減して、通常の高度化成肥料の 7 割程度の価格に低コスト化した L 型複合肥料が開発され（農林水産省 2017）、その利用が推奨されている。そこで、本試験では、L 型肥料の露地野菜畑での効果実証を行うとともに、L 型肥料連用が作物の生育および土壌へ与える影響を明らかにするため、所内露地圃場において、葉菜類を用いた 6 年間 13 作の連用試験を実施した。

材料及び方法

1. 試験圃場

試験は、神奈川県農業技術センター内の露地圃場（腐植質厚層黒ボク土・非埋没腐植層・造成区）で実施した。過去の試験の影響で土壌養分状態に偏りが生じていたため、試験開始前に牛ふん堆肥と重焼リンを

用いてコマツナを 1 作栽培して調整を行い、表 1 に示す土壌養分を目標とした 3 つの試験土壌を設定した。すなわち、標準土壌の可給態リン酸含量は、神奈川県の露地野菜での土壌診断基準値（以下、基準値とする）の範囲内の 35 mg/100 g とし、養分蓄積土壌 1 ではその 2 培量、養分蓄積土壌 2 では 4 培量を目標とした。しかしながら、栽培 1 年後のリン酸含量は、養分蓄積土壌 1 及び養分蓄積土壌 2 で大きく減少し、実際には養分蓄積土壌 1 では基準値の上限値に近い 50 mg/100g、養分蓄積土壌 2 では基準値以上の 75~100 mg/100g となった。

土壌中の交換性カリ含量は、試験圃場の陽イオン交換容量（以下 CEC とする）を 35 meq/100g としたときのカリ飽和度 4%（基準値 2~4% の上位側）の 60 mg/100 g を標準土壌とし、養分蓄積土壌 1 ではその 1.5 培量、養分蓄積土壌 2 では 2 培量を目標とし、概ね目標通りの設定となった。

また、リン酸肥料無施用土壌（以下、無リン酸区とする）、カリ肥料無施用土壌（以下、無カリ区とする）も設定した。コマツナ 1 作栽培後（試験開始時）の土壌化学性を表 2 に示した。

表 1 供試土壌の可給態リン酸および交換性カリ含量の目標値

	目標含有量(mg/100g)	
	P ₂ O ₅	K ₂ O
標準土壌	35	60
養分蓄積土壌 1	70	90
養分蓄積土壌 2	140	120

表2 試験開始時の土壌の化学性

施用肥料	pH	EC (dS/m)	NO ₃ -N NH ₄ -N P ₂ O ₅			CaO	MgO	K ₂ O	CEC (me/100g)	CaO MgO K ₂ O			塩基飽和度 (%)	
			NO ₃ -N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅					CaO	MgO	K ₂ O		
標準土壌	L型肥料	5.57	0.331	12.91	0.53	35.20	503	73	57	35.8	50.2	10.1	3.4	63.7
	対照肥料	5.32	0.455	17.83	1.63	31.80	464	67	66	35.2	47.0	9.4	4.0	60.5
養分蓄積土壌1	L型肥料	5.60	0.511	15.30	0.76	85.10	614	79	87	38.0	57.7	10.4	4.9	72.9
	対照肥料	5.61	0.426	11.94	0.45	69.10	594	84	78	37.5	56.5	11.1	4.4	72.0
養分蓄積土壌2	L型肥料	5.93	0.749	14.93	0.31	133.10	809	105	128	40.9	70.6	12.8	6.7	90.0
	対照肥料	6.00	0.682	9.83	0.26	152.80	849	106	113	42.5	71.3	12.4	5.7	89.3
無カリ区		6.01	0.117	5.87	0.13	33.00	544	86	56	36.1	53.6	11.7	3.3	68.6
無リン酸区		6.10	0.091	4.05	0.04	34.70	559	80	59	35.8	55.5	10.9	3.6	70.0

表3 施肥量 (kg/10a) と耕種概要

試験年度	作付期間	作物	(品種)	L型肥料区 ^{z)}			対照肥料区 ^{z)}			無カリ区 ^{y)}			無リン酸区 ^{y)}		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2009	10~11月	ホウレンソウ1	(アケティア [®])	17	9.7	9.7	17	10	17	17	10	0	17	0	17
	12~3月	ホウレンソウ2	(ハレート [®])	17	9.7	9.7	17	10	17	17	10	0	17	0	17
2010	6月	コマツナ	(夏楽天)	15	8.5	8.5	15	10	15	15	10	0	15	0	15
	9~10月	ホウレンソウ1	(ハレート [®])	17	9.7	9.7	17	10	17	17	10	0	17	0	17
	11~3月	ホウレンソウ2	(ハレート [®])	17	9.7	9.7	17	10	17	17	10	0	17	0	17
2011	6~7月	コマツナ	(夏楽天)	15	8.5	8.5	15	15	15	15	15	0	15	0	15
	8~11月	レタス	(ラブトル)	12	6.8	6.8	12	22	12	12	22	0	12	0	12
2012	7~8月	コマツナ	(夏楽天)	15	8.5	8.5	15	15	15	15	15	0	15	0	15
	8~11月	レタス	(ラブトル)	12	6.8	6.8	12	22	12	12	22	0	12	0	12
2013	8~11月	レタス	(ラブトル)	12	6.8	6.8	12	22	12	12	22	0	12	0	12
	12~3月	ホウレンソウ	(クロノス)	13	7.4	7.4	13	13	13	13	13	0	13	0	13
2014	6~7月	コマツナ	(きよすみ)	15	8.5	8.5	15	15	15	15	15	0	15	0	15
	9~12月	レタス	(ラブトル)	12	6.8	6.8	12	22	12	12	22	0	12	0	12

z) 対照肥料区では高度化成(14-14-14), NK化成(16-0-16), 重焼リン(0-35-0)を, L型肥料区ではL型肥料(14-8-8)を使用.
y) 無リン酸区及び無カリ区では, 硫安(21-0-0), 重焼リン(0-35-0), 硫加(0-0-50)を使用.

2. 試験区及び施肥条件

前述の標準土壌, 養分蓄積土壌1, 養分蓄積土壌2に, L型肥料(N:P₂O₅:K₂O=14:8:8)および対照肥料(高度化成 N:P₂O₅:K₂O=14:14:14, NK化成 N:P₂O₅:K₂O=16:0:16及び重焼リン N:P₂O₅:K₂O=0:35:0)を施用し, ホウレンソウ, コマツナ, レタスの栽培を行った.

各作目の施肥量と耕種概要を表3に示す. 試験区は1区4.5m²(1.5m×3.0m), 4反復とし, 1m幅のベッドにホウレンソウは4条植え, コマツナは5条植え, レタスは3条千鳥植えとした.

2009年と2010年のホウレンソウ及びコマツナは, 神奈川県作物別施肥基準(神奈川県2015)に則り, 対照肥料区は高度化成とNK化成を用いて窒素とカリの施肥量がリン酸より高くなるV型の施肥としたが, L型肥料区ではL型肥料のみを用いたため, カリと比較してリン酸減肥割合は小さくなっている. また, 2011年と2012年のコマツナについては, 施肥の省力化を考え, 1種類の肥料のみの施用として対照肥料区も高度

化成肥料のみを用いたので, リン酸とカリの削減割合はどちらも50%減となったが, 対照肥料区のリン酸施肥量は施肥基準より多くなっている. 一方, レタスについては, 対照肥料区は施肥基準に則りリン酸を単肥(重焼リン)で増肥したが, L型肥料区では増肥を行わなかったため, リン酸の減肥割合が大きくなっている. このように試験年により肥料成分の減肥割合は異なっているが, 試験期間全体ではL型肥料区では対照肥料区と比較してリン酸, カリとも4割程度の削減となった.

また, 試験開始から4年間(2009~2012年)は有機物の施用を行わずに試験を実施したが, 環境保全型農業の推進を図っている現在の状況では, 有機物との併用についても考慮する必要がある. そこで, 後半の2年間(2013~2014年)は, 各試験区に有機物として牛ふん堆肥(現物あたりTN0.7%, TP0.7%, TK0.9%, CN比20)を1.8t/10a施用する区を追加し, 有機物(牛ふん堆肥)との併用が作物収量や土壌養分の状態に及ぼす影響について検討した.

3. 調査項目及び方法

各作物は、一定区画(ベッド内50又は100cm)を収穫し、ホウレンソウとコマツナは地上部重を、レタスは結球部と外葉部に分けて重量を測定した。植物体の一部は60°Cで通風乾燥後に粉碎し、リン酸及びカリ濃度の分析に供した。土壌は、各作物栽培後に作土(表層15cm)を径5cm採土管で各区5ヶ所からサンプリングし縮分した風乾砕土(2mm篩通過)について、各種土壌成分の分析に供した。

土壌及び植物体の分析法は、概ね常法(日本土壌協会2001)によった。すなわち、植物体の分析は、硝酸一過塩素酸分解後に10%塩酸溶液とし、リン酸はバナドモリブデン酸法で比色定量、カリは原子吸光法により定量した。土壌成分のうち、可給態リン酸はトルオグ法(pH3.0, 0.02N硫酸)で抽出後、Murphy&Riley法で比色定量した。交換性カリ含量はセミマイクロSchollenberger法(pH7.0, 1M酢酸アンモニウム)で抽出後、原子吸光法で分析した。

結 果

1. L型肥料の連用が作物収量及び植物体中のリン酸、カリ濃度へ及ぼす影響

有機物(牛ふん堆肥)を施用せずに試験した前半4年間(2009年~2012年)の作物収量は、どの土壌でも施用した肥料間に統計的な有意差は認められず、ほぼ同等に推移したが、標準土壌では2年目のホウレンソウ(栽培作物として5作目)から、L型肥料区の方が対照肥料区より減収傾向にあった(表4, 図1)。

有機物(牛ふん堆肥)を併用した後半2年間(2013年~2014年)の作物収量は、標準土壌および養分蓄積土壌1では、有機物を施用したことにより増収傾向が認められ、特にホウレンソウでその傾向が顕著であったが、養分蓄積土壌2では有機物を施用したことによる増収効果はほとんど認められなかった(表4, 図2)。

植物体中のリン酸濃度は収量とほぼ同様の傾向であったが、カリ濃度は対照肥料区でL型肥料区より高い傾向にあった(表5, 表6)。

試験期間を通して、無リン酸区における植物体中のリン酸濃度は他の区と差はなかったが、無カリ区における植物体中のカリ濃度は明らかに減少していた。

表4 作物収量(g/株)²⁾

試験年度	栽培作物	堆肥 施用	2009		2010		2011		2012		2013		2014		
			ホウレンソウ1	ホウレンソウ2	コマツナ	ホウレンソウ1	ホウレンソウ2	コマツナ	レタス	コマツナ	レタス	レタス	ホウレンソウ	コマツナ	レタス ³⁾
標準土壌	L型肥料	無	33.6 bc ²⁾	23.7 ab ²⁾	49.5	9.0 a ²⁾	35.4 a ²⁾	24.2 b ²⁾	650 ab ²⁾	20.0	395	338	11.8	42.9	81
		有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	358	18.8	41.2	179
	対照肥料	無	27.8 ab	18.9 a	49.1	8.5 a	40.7 a	29.1 b	724 ab	16.8	540	384	12.0	39.5	69
		有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	453	23.4	47.8	211
養分蓄積土壌1	L型肥料	無	32.0 abc	32.9 bc	45.3	21.5 bc	56.3 ab	24.7 b	682 ab	20.4	562	377	12.6	54.0	225
		有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	420	23.8	53.0	441
	対照肥料	無	37.1 c	33.7 bc	50.2	15.3 abc	54.7 ab	25.9 b	750 ab	19.9	481	403	15.7	51.3	293
		有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	422	26.6	52.2	441
養分蓄積土壌2	L型肥料	無	36.4 c	37.0 c	49.1	18.7 bc	61.2 ab	24.9 b	758 ab	23.1	569	382	17.9	57.5	200
		有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	398	19.8	54.8	305
	対照肥料	無	38.5 c	42.1 c	50.7	15.5 abc	68.9 b	26.5 b	775 b	24.8	531	456	25.8	54.1	373
		有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	413	26.9	52.7	342
無カリ区	無	27.0 ab	22.5 ab	41.3	10.6 ab	41.1 a	15.7 a	599 a	19.3	410	301	8.7	38.4	123	
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	341	24.3	52.6	204	
無リン酸区	無	24.7 a	24.0 ab	43.6	9.8 ab	46.3 ab	24.2 b	606 a	21.2	452	314	12.7	42.6	114	
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	351	27.4	45.0	262	

2) コマツナ, ホウレンソウは地上部重(g)。レタスは結球重(g), ただし2014年は全重(結球部重+外葉重)(g)。

2009~2012年は各区4反復, 2013~2014年は各区2反復。

3) 2009~2012年はtukeyの多重検定の結果、異なる7M7aベットの間に有意差あり(p<0.05)。

4) 2014年のレタスは天候不順(多雨)の影響で著しく低収であったため、データ解析からは除外した。

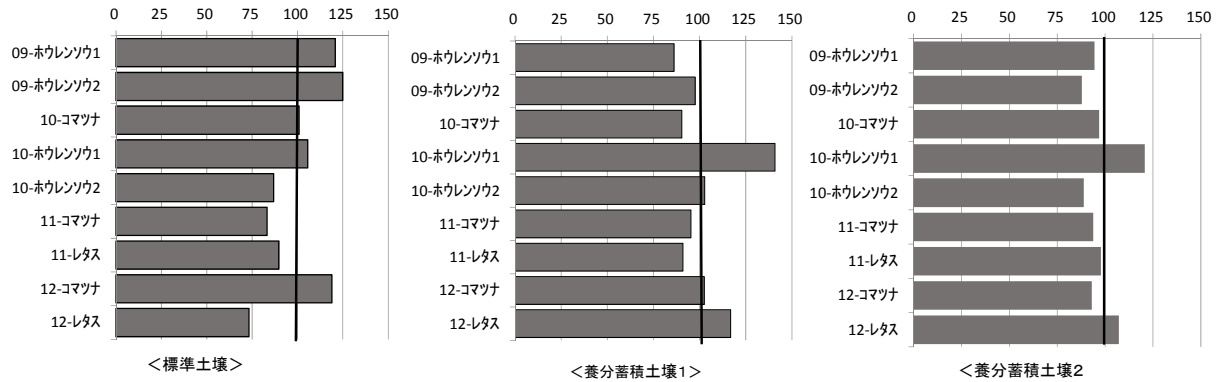


図1 1作目から9作目（有機物なし）期間の作物収量指数（対照肥料区の収量を100とする）

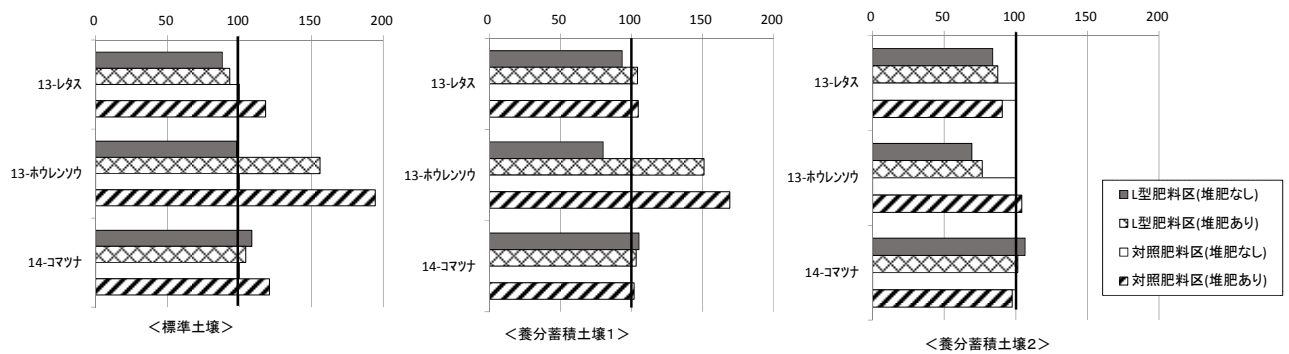


図2 10作目から13作目（有機物施用）期間の作物収量指数（対照肥料区，堆肥施用なしの収量を100とする）

表5 植物体中のリン酸濃度（%）^{z)}

試験年度	栽培作物	堆肥施用	2009		2010		2011		2012		2013		2014						
			ホウレンソウ ¹⁾	ホウレンソウ ²⁾	コマツナ	ホウレンソウ ¹⁾	ホウレンソウ ²⁾	コマツナ	レタス	コマツナ	レタス	レタス	ホウレンソウ	コマツナ	レタス ³⁾				
			1	2	1	2	結球部	外葉	結球部	外葉	結球部	外葉	結球部	外葉					
標準土壌	L型肥料	無	1.71 ab ^{y)}	1.35 a ^{y)}	1.71 ab ^{y)}	1.46	1.14 a ^{y)}	1.15 b ^{y)}	1.09 a ^{y)}	0.68 a ^{y)}	1.30	0.92 a ^{y)}	0.55 a ^{y)}	0.84	0.59	0.86	1.97	0.49	0.78
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.94	0.50	0.88	0.89	0.44	0.73
対照肥料	無	1.57 a	1.36 ab	1.58 a	1.32	1.19 a	1.19 bc	1.23 ab	0.65 a	1.31	1.07 abc	0.66 ab	0.92	0.70	0.70	1.86	0.46	-	
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.03	0.63	1.00	1.99	0.51	0.87	
養分蓄積土壌1	L型肥料	無	1.76 ab	1.53 abc	1.84 bc	1.42	1.27 ab	1.28 cd	1.34 ab	0.72 ab	1.30	1.10 abc	0.67 abc	0.95	0.68	0.84	2.01	0.53	0.86
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.09	0.66	0.96	2.04	0.52	0.85	
対照肥料	無	1.75 ab	1.60 bc	1.97 c	1.42	1.22 ab	1.31 d	1.34 ab	0.72 ab	1.35	1.27 bcd	0.75 abc	1.11	0.77	0.85	2.02	0.49	0.83	
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26	0.74	0.98	1.96	0.60	1.00	
養分蓄積土壌2	L型肥料	無	1.91 b	1.61 c	1.87 bc	1.55	1.51 b	1.28 cd	1.50 b	0.80 bc	1.46	1.38 cd	0.84 bc	1.10	0.81	0.86	2.06	0.54	0.91
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.21	0.87	1.05	2.08	0.59	1.00	
対照肥料	無	1.79 ab	1.58 abc	1.87 bc	1.55	1.36 ab	1.28 cd	1.44 b	0.87 c	1.38	1.47 cd	0.89 c	1.29	0.92	1.01	1.98	0.56	0.94	
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.23	0.86	1.14	2.14	0.55	0.96	
無カリ区	無	1.61 a	1.43 abc	1.66 ab	1.41	1.40 ab	1.05 a	1.21 ab	0.70 ab	1.32	1.19 abc	0.71 abc	1.06	0.66	1.24	2.07	0.63	0.82	
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.09	0.76	1.21	2.11	0.58	0.98	
無リン酸区	無	1.55 a	1.40 abc	1.60 a	1.32	1.26 ab	1.04 a	1.08 a	0.64 a	1.26	0.96 ab	0.57 a	0.81	0.57	0.81	1.88	0.48	0.78	
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.86	0.57	1.07	2.20	0.48	0.76	

z) 濃度は乾物%、-は収穫なし。2009～2012年は各区4反復、2013～2014年は各区2反復。
 y) 2009～2012年はtukeyの多重検定の結果、異なる787^{abc}間に有意差あり(p<0.05)。
 x) 2014年のレタスは天候不順(多雨)の影響で著しく低収であったため、データ解析からは除外した。

表6 植物体中のカリ濃度（%）^{z)}

試験年度	栽培作物	堆肥施用	2009		2010		2011		2012		2013		2014						
			ホウレンソウ ¹⁾	ホウレンソウ ²⁾	コマツナ	ホウレンソウ ¹⁾	ホウレンソウ ²⁾	コマツナ	レタス	コマツナ	レタス	レタス	ホウレンソウ	コマツナ	レタス ³⁾				
			1	2	1	2	結球部	外葉	結球部	外葉	結球部	外葉	結球部	外葉					
標準土壌	L型肥料	無	13.79 ab ^{y)}	9.90 ab ^{y)}	17.36 ab ^{y)}	13.04	9.70	7.52 b ^{y)}	6.02 b ^{y)}	9.81 b ^{y)}	8.73 b ^{y)}	4.54 b ^{y)}	6.71 b ^{y)}	4.03	6.88	2.90	8.19	3.84	2.84
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.23	10.82	3.65	10.90	7.19	4.74
対照肥料	無	13.61 ab	10.79 ab	18.71 b	13.73	12.21	8.90 cd	7.85 d	11.24 bc	10.81 c	6.86 de	11.24 cde	5.37	10.26	4.01	10.04	5.36	-	
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.33	12.70	6.55	11.49	7.64	5.44	
養分蓄積土壌1	L型肥料	無	13.33 ab	10.51 ab	17.48 ab	14.04	11.41	8.22 bcd	6.22 bc	10.74 bc	8.90 b	5.45 bc	8.70 bc	5.23	8.58	3.09	8.55	5.53	4.45
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.81	10.40	5.20	10.60	7.59	5.43	
対照肥料	無	13.49 ab	10.85 ab	19.01 b	13.62	11.01	9.22 d	7.38 cd	11.46 bc	10.80 c	7.22 e	11.56 e	6.30	10.75	4.27	10.62	7.16	4.93	
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.66	12.76	6.49	11.40	9.34	6.16	
養分蓄積土壌2	L型肥料	無	14.98 b	12.12 b	17.87 ab	14.71	11.77	7.69 b	6.11 bc	9.95 b	9.33 bc	5.81 bcd	9.00 bcd	5.05	8.65	3.83	8.14	6.05	4.53
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.51	10.36	3.97	10.13	6.82	4.92	
対照肥料	無	14.20 ab	12.04 b	19.26 b	14.68	12.61	8.84 cd	6.86 bcd	11.95 c	11.10 c	7.21 e	11.47 de	7.45	11.61	6.51	10.35	7.48	5.63	
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.12	11.31	6.87	10.63	8.40	5.83	
無カリ区	無	12.38 a	8.54 a	14.57 a	13.58	8.85	4.69 a	3.81 a	5.02 a	5.69 a	3.13 a	3.09 a	2.74	2.98	1.84	3.62	2.89	3.53	
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.88	7.15	4.14	7.90	5.90	4.88	
無リン酸区	無	12.34 a	10.86 ab	17.44 ab	11.28	10.62	7.77 bc	6.70 bcd	11.28 bc	9.91 bc	6.82 cde	11.15 cde	6.73	10.64	4.37	9.48	6.56	4.80	
	有	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.59	12.10	6.85	10.58	8.28	5.59	

z) 濃度は乾物%、-は収穫なし。2009～2012年は各区4反復、2013～2014年は各区2反復。
 y) 2009～2012年はtukeyの多重検定の結果、異なる787^{abc}間に有意差あり(p<0.05)。
 x) 2014年のレタスは天候不順(多雨)の影響で著しく低収であったため、データ解析からは除外した。

2. L 型肥料の連用が土壌中の可給態リン酸含量に及ぼす影響

有機物を施用せずに試験した前半 4 年間（2009 年～2012 年）における土壌中の可給態リン酸含量は、養分蓄積土壌 1 及び養分蓄積土壌 2 で、試験開始 1 年で大きく低下したが、その後は養分蓄積土壌 2 では L 型肥料区の方が対照肥料区より減少傾向にあったが、3 年経過しても土壌診断基準値の上限（50 mg/100g）を下回ることはなかった（図 3）。また、養分蓄積土壌 1 及び標準土壌では、肥料間で大きな差はなく、連用による増減もほとんどなく、養分蓄積土壌 1 では基準値上限近くに、標準土壌では概ね基準値の範囲内であった（図 3）。

有機物と併用した後半 2 年間（2013 年～2014 年）では、対照肥料区の方が L 型肥料区よりリン酸含量は高く推移した（図 5）。

無リン酸区における可給態リン酸含量の変化はほとんどなく、全般的に低く推移していたが、リン酸無施でも診断基準値を下回ることはなかった。

3. L 型肥料の連用が土壌中の交換性カリ含量に及ぼす影響

土壌中のカリ含量は、有機物を施用せず化成肥料のみで栽培した場合、試験開始時のカリ蓄積量にかかわらず、L 型肥料を用いた場合は約 2 年、対照肥料（通常の高度化成肥料）を用いた場合は約 3 年で、基準値の下限（この圃場の場合、CEC35～40 me/100g、カリ飽和度の下限値 2%として約 35 mg/100g）に近づいた（図 4）。

その後、有機物（牛ふん堆肥）を施用すると、土壌中のカリ含量は肥料の種類を問わず、また無カリ区であっても速やかに上昇し、対照肥料区では診断基準値の上限に近づくか上限値を超えたが、L 型肥料区では上限値を上回ることにはなかった（図 6）。

無カリ区における土壌中のカリ含量は、栽培後速やかに減少し、カリ無施用では 2 作目から土壌診断基準値を下回ったが、有機物を施用することで有機物施用後 3 年目には診断基準値の下限を上回った（図 4 及び図 6）。

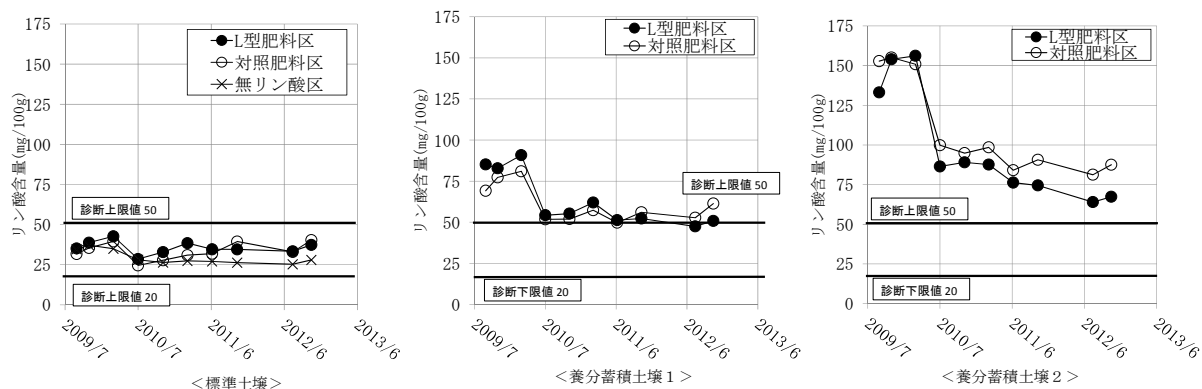


図 3 土壌中のリン酸含量の推移（1 作目から 9 作目（有機物なし）期間）

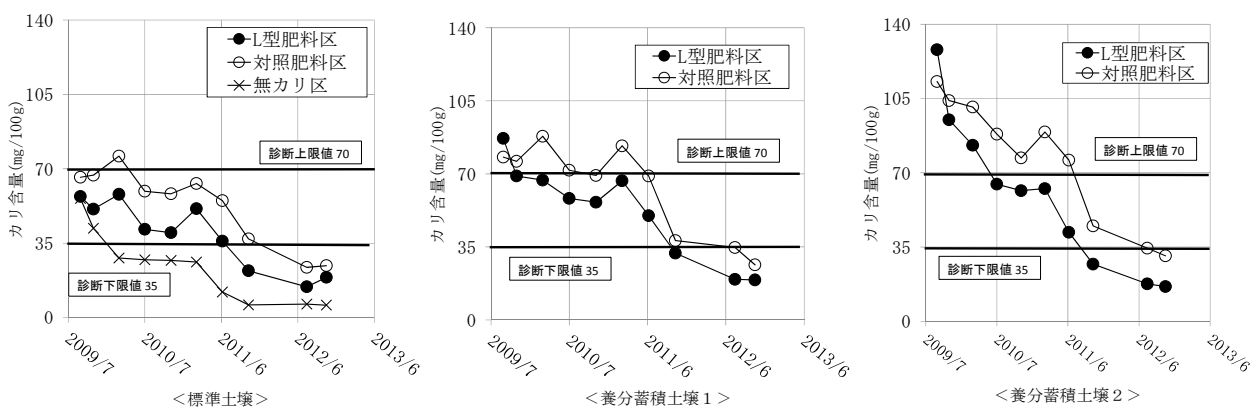


図 4 土壌中のカリ含量の推移（1 作目から 9 作目（有機物なし）期間）

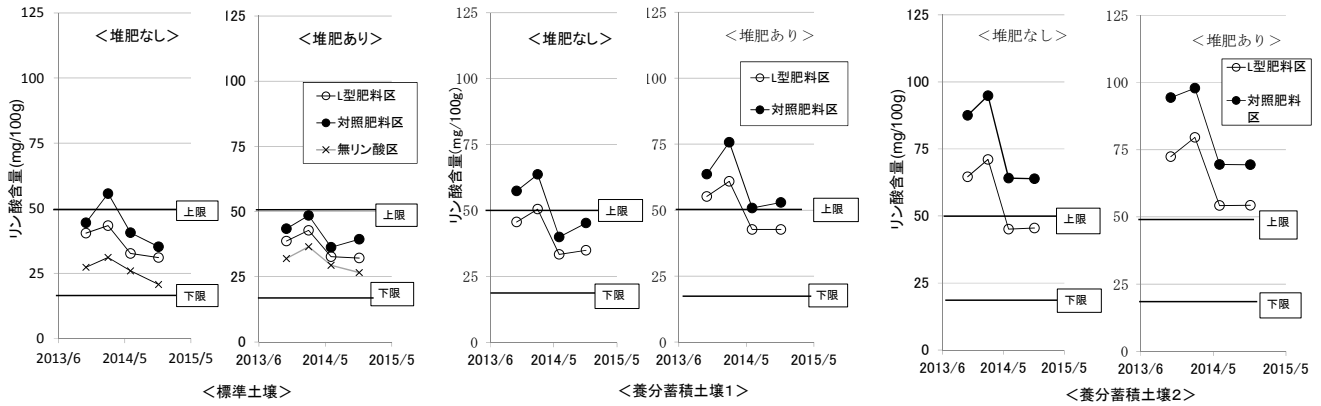


図5 10作目から13作目（有機物施用）期間の土壌中のリン酸含量の推移

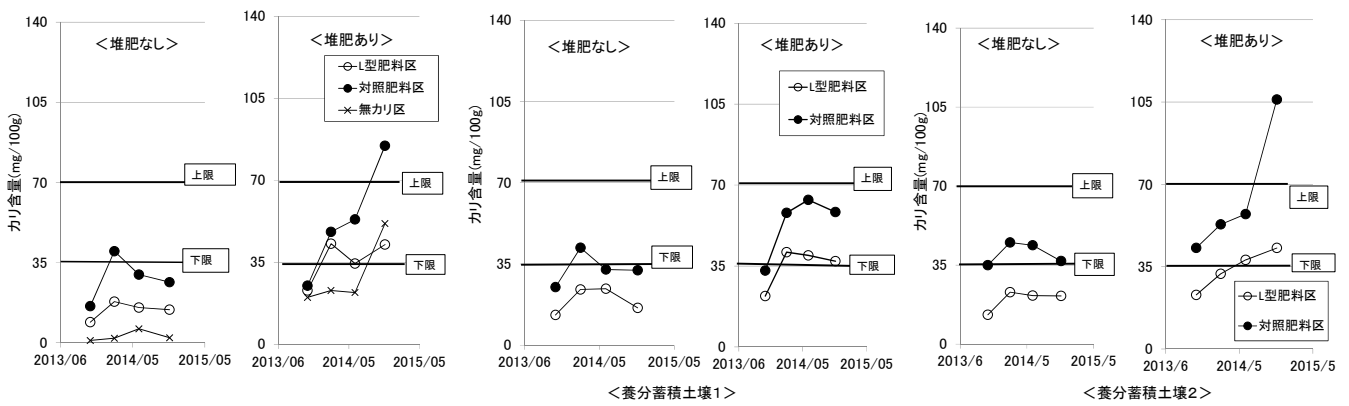


図6 10作目から13作目（有機物施用）期間の土壌中のカリ含量の推移

考 察

前半4年間（有機物無施用）の試験の結果、L型肥料を用いて葉菜類の栽培を継続すると、土壌中の交換性カリ含量は、試験開始時のカリ蓄積量にかかわらず、約2年（5作）で基準値の下限に近づいた。一方、土壌中のトルオーグリン酸含量は、試験開始時のリン酸蓄積量が基準値を上回る養分蓄積土壌2ではL型肥料の連用により低下するが、基準値程度の養分蓄積土壌1および標準土壌では低下はみられなかった。このような土壌中のカリ含量及びリン酸含量の減少の違いは、カリは交換性ではあるが、土壌中で水によって比較的動きやすく、また、ぜいたく吸収のように植物体にも吸収されやすいため（農業技術大系 1998）、その変化は速いと考えられる。一方リン酸は、カリと比較して植物体の吸収量が少なく、施肥後の土壌への吸着が強いいため、土壌中における動きが遅く（農業技術大系 1998）、こうした違いが、2つの成分の濃度変化の違いに表れたと考えられる。

このような土壌中のリン酸及びカリ含量の変化が起こっていたときの作物収量は、統計的には有意差はないものの、標準土壌で養分蓄積土壌より減収する傾向が認められた。前述したとおり、この時の土壌中の成分含量の変化は、リン酸よりもカリの方が大きく、このことから、作物収量へ与える土壌中の成分の影響としては、カリの方が大きい。

後半の2年間は、各試験区に有機物として牛ふん堆肥を1.8 t/10a施用する区を追加し、牛ふん堆肥との併用が作物収量や土壌養分の状態に及ぼす影響について検討した。その結果、牛ふん堆肥を施用すると、土壌中のリン酸及びカリ含量は上昇し、特にカリでは上昇が速やかで、対照肥料（高度化成）と併用すると2年程度で診断基準値を上回るレベルまで上昇したが、L型肥料区では上回らなかった。このことは、有機物（牛ふん堆肥）のリン酸及びカリは比較的速やかに肥効を示し、特にカリについては化成肥料のカリ成分の代替

効果を十分に果たすことができ、化成肥料由来のカリ成分の減肥が可能であること（神奈川県農林水産関係試験研究成果 2010）と一致する。従って、リン酸やカリの補給が見込まれる家畜ふん堆肥と併用する場合には、対照肥料のような三要素が同率の肥料を用いるとカリの蓄積が懸念されるが、リン酸及びカリ成分を低減したL型肥料と有機物の併用は、有機物由来の成分をうまく利用でき、かつ肥料コスト低減が可能な有効な方法である。このことは、肥料価格高騰を受けて各都道府県で策定された対策技術指針にも、有効な技術として採用されている（愛知県 2008）。

以上のことから、L型肥料のみで葉菜類の栽培を3年継続すると、土壌中の交換性カリ含量は減収が懸念される程度にまで減少し、同時にトルオーグリン酸含量も緩やかに減少する。この時の土壌中の成分の減少はリン酸よりカリの方が速やかで、一律に減肥を考えるとできない。従って、L型肥料の有効な活用方法としては、土壌診断によってリン酸やカリが蓄積していると判断される場合には、2年（5作）程度までとし、その後は、土壌中の養分状態を土壌診断等でチェックしつつ、NK肥料の施用や、カリの補給が見込まれる家畜ふん堆肥とL型肥料を併用することが、土壌中の成分蓄積防止の観点からも、施肥コスト削減の観点からも、望ましいと考えられた。

農業技術大系 土壌施肥編 4. 土壌診断・生育診断.
p141-142. 交換性カリウム
農林水産省. 2017. 肥料をめぐる事情（平成29年
10月）

引用文献

- 愛知県. 2008. 平成20年度肥料価格高騰対策技術指針
- 藤原俊六郎・岡本保. 2008. 土壌診断結果からみた県内農耕地30年間の土壌化学性の推移. 神奈川県農技セ研報. 150: 1-10
- 神奈川県環境農政局農政部担い手支援課. 2015. 神奈川県作物別施肥基準
- 神奈川県農林水産関係試験研究成果. 2010. 牛糞堆肥のカリ成分は化学肥料の代替できます
- 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
- 農業技術大系 土壌施肥編 4. 土壌診断・生育診断.
p123-126. 可給態リン酸