

夏季休閑期に栽培したソルガムによる 冬作キャベツ栽培におけるカリウムの減肥と収支

中村嘉孝¹⁾・山田健太郎²⁾・森下俊哉³⁾・長屋浩治⁴⁾・大橋祥範⁵⁾・森 敬子⁶⁾・杵山正樹⁷⁾

摘要: 現地のほ場において、夏季休閑期に緑肥として栽培したソルガム(*Sorghum bicolor*)による冬作キャベツ栽培のカリウム(K)減肥技術のK収支を明らかにした。ソルガムのK吸収量に応じて冬作のKを減肥した「K減肥区」と、現地の慣行施肥をした「慣行区」を設けた。試験を実施した3ほ場においてK減肥区と慣行区のキャベツの収量及びK吸収量は同程度であった。ソルガムすき込みからキャベツ収穫までのK剰余量(=緑肥と肥料からのK投入量-キャベツの結球葉と外葉のK吸収量の合計値)と、同期間の土壌の交換性Kの変化量は正の相関を示した。これらのことから、すき込み時のソルガムの生育量と土壌の交換性K含量を確認したうえでK減肥量を決定すれば、冬作に必要なK供給量を確保でき、土壌におけるKの過剰な蓄積や減少を抑制できることが示された。

キーワード: ソルガム、キャベツ、減肥技術、収支、交換性カリウム

緒言

カリウム(K)は植物の必須元素であり、肥料として施用される。しかし、Kの化学肥料原料は世界的に偏在しており、その経済可採埋蔵量は有限である。日本はKの肥料原料のほとんどを輸入しており、2021年にその輸入価格が高騰したため生産者の経営を圧迫した¹⁾。また、Kの適切な施肥管理は、持続的な農業生産の実現においても重要である。このため、農林水産省は食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立を実現するため、2021年に「みどりの食料システム戦略」を策定し、「2050年までに、輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量の30%低減を目指す。」との目標を掲げている¹⁾。

愛知県の露地野菜栽培では、夏季休閑期に緑肥作物であるソルガム(*Sorghum bicolor*)を栽培する事例が増えている。森下ら²⁾は、順調に生育したソルガムのK吸収量は多く、ソルガムすき込み後の次作にあたるキャベツ栽培でKを減肥できることを報告している。しかし、ソルガム由来のKは、元来土壌由来のKであり、キャベツの収穫に伴ってほ場からKは収奪されるため、持続可能な農業推進の観点から、Kの収支

や土壌のK含量の変化を明らかにして適切なKの減肥方法を検討する必要がある。

そこで、現地のほ場において、緑肥として栽培したソルガムと低K含有肥料を組み合わせたキャベツ栽培におけるK収支を明らかにし、K減肥技術の有効性を検討した。

材料及び方法

1 ほ場と栽培概要

試験は、愛知県田原市内の生産者が管理する3ほ場で、2022年5月から2023年3月にかけて行った(表1)。ほ場の土壌は、細粒質黄色土または礫質未熟低地土であった。ソルガムすき込み直前の土壌の交換性K飽和度について、ほ場①は8.1%で愛知県の土壌診断基準(10<陽イオン交換容量(CEC)cmol_c kg⁻¹<20の場合は7.6~8.8%、20≤CECの場合は7.2~8.4%)³⁾内であったが、ほ場②及びほ場③はそれぞれ、4.3、3.6%で土壌診断基準よりも低かった(表2)。

試験を実施した3ほ場は、ソルガムを2022年5月1日または8日に4.0 g m⁻²播種し、6月30日または7月2日にすきこんだ。その後、キャベツを無マルチで栽培した(表1)。

表1 ほ場の土壌と栽培概要

ほ場番号	土壌	緑肥(ソルガム)				冬作(キャベツ)			
		品種名	播種日	播種量(g m ⁻²)	すきこみ日	品種	定植日	栽植密度(株 m ⁻²)	収穫日 ¹⁾
①	細粒質黄色土	トウミツ A 号	5月1日	4.0	6月30日	ないと	8月30日	6.4	12月6日
②	細粒質黄色土	青刈りソルゴー	5月8日	4.0	6月30日	ゆずな	9月12日	6.9	12月6日
③	礫質未熟低地土	青刈りソルゴー	5月8日	4.0	7月2日	ゆいな	10月16日	6.9	3月2日

1) ほ場③の収穫年は2023年(定植日は2022年)、他のほ場は2022年

¹⁾普及戦略部 ²⁾東三河農林水産事務所(現園芸研究部) ³⁾東三河農林水産事務所 ⁴⁾普及戦略部(現園芸研究部)
⁵⁾環境基盤研究部(現研究戦略部) ⁶⁾普及戦略部(現農業経営課) ⁷⁾普及戦略部(現食育消費流通課)

なお、本報におけるKの表示単位は、酸化物(K₂O)の表記がない限り、K単体に換算して表示した。

2 処理区と施肥概要

各生産者による慣行の施肥管理を実施した区を「慣行区」とし、K施肥量を減肥した区を「K減肥区」とした(表3)。ほ場③におけるソルガムは、既報²⁾で示された順調に生育したK吸収量(30 g m⁻²)に満たなかったことから、冬作キャベツ栽培の基肥と1回目の追肥のみ低K含有肥料を用いてKを減肥した。肥料は現地で用いられている4銘柄(いずれも愛知県経済農業協同組合連合会)の「BBB元肥」(窒素(N)-りん酸(P₂O₅)-加里(K₂O)の含有率(%)は14-6-12、以下肥料の含有率は同表記)、「BBあつみ追肥」(16-2-15)及びK含有率を減らした「BBL型元肥みどり」(14-4-4)、「BBL型追肥みどり」(16-3-3)を用いた。

3 調査項目と方法

ソルガムはすき込み直前に、草高として地表面から立毛状態の葉の最も高い位置までの長さを15株測定した。あわせて1 m²あたりの地上部を刈り取り、その新鮮重を生育量として測定するとともに、K吸収量の測定に供試した。ほ場③では、他の2ほ場と異なり、ソルガム以外にメヒシバ(*Digitaria ciliaris*)が旺盛な生育を示した。このことから、ソルガムとあわせてメヒシバも同様にして草高、生育量及びK吸収量を測定した。キャベツは収穫時に、各区で連続した5株を2か所で採取し、結球葉と外葉に分けて新鮮重を測定後、養分分析に供試した。

採取した作物は60°Cで乾燥後、乾物重を測定した。作物の養分含有率は、乾燥試料を粉碎してから乾式灰化後、1 mol L⁻¹塩酸に溶解し、リン(P)はバナドモリブデン酸法、Kは原子吸光法で測定した。

表2 ソルガムすき込み直前の土壌の化学性

ほ場 番号	pH	AvP ¹⁾ (g kg ⁻¹)	CEC ²⁾ (cmolc kg ⁻¹)	交換性陽イオン(g kg ⁻¹)		
				K ³⁾	Ca	Mg
①	6.2	1.89	15.6	0.49(8.1)	1.9	0.21
②	6.3	1.11	25.5	0.43(4.3)	3.7	0.49
③	5.6	3.07	19.5	0.28(3.6)	2.4	0.17

1) 可給態リン酸(P₂O₅換算)

2) 陽イオン交換容量

3) 括弧内は交換性カリウム飽和度(%)

土壌は、緑肥のすき込み直前とキャベツ収穫調査時に採取した。採取した土壌の分析は愛知みなみ農業協同組合に依頼し、pH、可給態リン酸含量、CEC、交換性K含量、交換性カルシウム含量及び交換性マグネシウム含量を測定した。

4 カリウム収支と土壌の交換性カリウムの変化量

Kの収支は、ソルガム及びメヒシバのK吸収量と施肥量をあわせて投入量とし、キャベツの結球葉と外葉の合計K吸収量(合計K吸収量)を持出し量として、投入量から持出し量を差し引いて算出した。

土壌の交換性Kの変化量について、礫を除いた乾燥密度を細粒質黄色土のほ場①とほ場②は1.0 g cm⁻³、礫質未熟低地土のほ場③は0.35 g cm⁻³とし、作土深は耕うんした深さの0.18 mとし、交換性K含量を面積に換算した値をキャベツ収穫時の値から緑肥すき込み直前の値で差し引いて求めた。

結果及び考察

1 ソルガムの生育量及びカリウム吸収量

ほ場①及びほ場②のソルガムの草高はそれぞれ2.1 m、2.0 mで、生育量はそれぞれ5.7 kg m⁻²、5.5 kg m⁻²で、K吸収量はともに30 g m⁻²以上であった(表4)。森下ら²⁾は、順調に生育したソルガムの生育量は5 kg m⁻²以上で、そのK吸収量は30 g m⁻²以上となり、その目安として草高で概ね1.5 m以上であることを報告している。ほ場③のソルガムの草高は1.5 mで、既報²⁾における順調に生育したソルガムの目安となる草高を満たしたが、その生育量は2.9 kg m⁻²、K吸収量は14.5 g m⁻²であった。ほ場③のメヒシバの草高は1.4 mでソルガムと同程度であったが、その生育量は0.8 kg m⁻²、K吸収量は5.2 g m⁻²でソルガムより少なかった。ほ場③におけるソルガムの生育量及びK吸収量は、メヒシバと競合したことで抑制されたと考えられる。

表4 緑肥の生育及びカリウム吸収量

ほ場 番号	作物	草高 (m)	生育量 (kg m ⁻²)	K 吸収量 (g m ⁻²)
①	ソルガム	2.1	5.7	31.1
②	ソルガム	2.0	5.5	30.8
③	ソルガム	1.5	2.9	14.5
	メヒシバ	1.4	0.8	5.2

表3 ほ場の施肥概要

ほ場 番号	区名	合計施肥量 (g m ⁻²)			カリウムの施肥概要							
		N	P	K	基肥		追肥 1 回目		追肥 2 回目		追肥 3 回目	
					肥料名 ¹⁾ (g m ⁻²)	量	肥料名(g m ⁻²)	量	肥料名(g m ⁻²)	量	肥料名(g m ⁻²)	量
①	K 減肥区	32.8	3.4	6.5	L 型元肥	2.7	L 型元肥	1.3	L 型追肥	1.5	L 型追肥	1.0
	慣行区	32.8	4.0	24.4	BBB 元肥	8.0	BBB 元肥	4.0	追肥	7.5	追肥	5.0
②	K 減肥区	36.0	3.7	7.0	L 型元肥	2.0	L 型元肥	2.0	L 型追肥	1.5	L 型追肥	1.5
	慣行区	36.0	4.2	26.9	BBB 元肥	6.0	BBB 元肥	6.0	追肥	7.5	追肥	7.5
③	K 減肥区	36.0	3.1	18.9	L 型元肥	2.0	L 型元肥	2.0	追肥	7.5	追肥	7.5
	慣行区	36.0	4.2	26.9	BBB 元肥	6.0	BBB 元肥	6.0	追肥	7.5	追肥	7.5

1) L 型元肥は「BBL 型元肥みどり」、L 型追肥は「BBL 型追肥みどり」、BBB 元肥は「BBB 元肥」、追肥は「BB あつみ追肥」を示す

2 キャベツの収量及び養分吸収量

試験を実施した3ほ場におけるキャベツの収量は6.7~9.4 kg m²で、施肥基準³⁾の目標収量(11~12月どりで5.5 kg m²、1~3月どりで6.0 kg m²)以上であった(表5)。ほ場②におけるK減肥区と慣行区のK施肥量の差は、19.9 g m²で試験を実施した3ほ場で最も大きかった(表3)。ほ場②におけるK減肥区のキャベツの収量は慣行区よりも少なかったが、その差は0.6 kg m²とわずかであった(表5)。

試験を実施した3ほ場におけるキャベツの合計K吸収量は27~40 g m²で、愛知県の現地のほ場を調査した報告⁴⁾における合計K吸収量(11~12月どりで21.2~37.1 g m²、1~3月どりで22.8~39.2 g m²)と同程度であった。K減肥区と慣行区でK施肥量が大きく異なったほ場②におけるキャベツの合計K吸収量の差は1.3 g m²とわずかであった(表5)。

これらのことから、試験を実施した3ほ場では、K施肥量の違いによらず、キャベツの目標収量や既報⁴⁾と同程度のK吸収量を得るために十分量のKが供給されたと考えられる。また、ほ場によって収量に差がみられたことは、品種の肥大特性や調査時期、栽植密度の違いが考えられる。

本試験では、現地で利用されている肥料を用いており含有するリン酸量が異なったことから、K減肥区と慣行区のP施肥量は最大で1.1 g m²の差があった(表3)。しかし、各ほ場のキャベツの合計P吸収量はK減肥区と慣行区で最大で0.2 g m²とわずかであった(データ略)。試験を実施した3ほ場における合計P吸収量は3.1~7.1 g m²で(データ略)、既報(11~12月どりで3.0~4.1 g m²、1~3月どりで3.3~5.5 g m²)⁴⁾と同程度であった。土壌の可給態リン酸含量は減肥指針(1.0 g-P₂O₅ kg⁻¹)³⁾以上と多く、キャベツの生育に十分量があったことから、P施肥量の差は各処理区のキャベツの生育に影響しなかったと考えられる。

3 カリウムの収支と土壌の交換性カリウムの変化量

K施肥量の多い慣行区においても、キャベツの合計K吸収量はK施肥量よりも多かった(表3、表5)。K施肥量だけではキャベツのK吸収量を満たせないため、ソルガムまたは土壌からキャベツへのK供給が示唆された。一方で、キャベツ収穫時における土壌の交換性K含量はいずれの処理区もソルガムすき込み直前よりも増加した(表2、表6)。

そこで、ソルガムすき込み直前からキャベツ収穫時までのK収支を算出した。メヒシバのK溶出特性は不明であるが、ソルガムを含む6種類の緑肥中のKはすき込み1か月後には9割以上が溶出したことが報告されている⁵⁾。このため、ほ場③ではソルガム以外にメヒシバも含めて各処理区のKの収支

表5 キャベツの収量及びカリウム吸収量

ほ場番号	区名	収量 (kg m ²)	K 吸収量(g m ²)		
			結球葉	外葉	合計
①	K 減肥区	9.3	19.6	20.3	39.9
	慣行区	9.4	19.5	17.2	36.7
②	K 減肥区	6.7	15.4	11.9	27.3
	慣行区	7.3	15.4	13.2	28.6
③	K 減肥区	9.3	23.9	12.7	36.6
	慣行区	9.4	24.6	13.6	38.2

を求めた。Kの余剰量と土壌の交換性K含量の変化量の関係を見ると有意な正の相関関係が認められた(図1)。余剰量が11 g m²以下の処理区において土壌の交換性K含量の変化量が余剰量よりも多かった要因は明らかではないが、余剰量が多いほど土壌の交換性K含量が多く残存する傾向であった。余剰量が11 g m²より多かったほ場①とほ場②の慣行区では、余剰量の増加に応じた土壌の交換性K含量の増加が見られなかった。このことは土壌の保肥力よりも多くのKを投入しても作土層からのKの溶脱量増大を招いてしまうことが懸念される。このため、土壌診断基準値³⁾以上の交換性K含量の土壌においてソルガムを導入した場合、慣行的なK施肥量よりもK施肥量を削減すべきと考えられる。

メヒシバも含めたK収支は他のほ場と同一直線とみなせることから、メヒシバもソルガムと同様にKの供給源とみなせると考えられる。しかし、メヒシバの発芽は不揃いであること⁶⁾、本試験においてソルガムと互いに生育が競合したメヒシバのK吸収量はソルガムよりも少なかったことから、K減肥に向けた緑肥としてはソルガムが適している。

4 カリウムの減肥にむけたソルガムの生育指標について

ほ場③のソルガムは、順調に生育した場合の指標とされる草高(1.5 m以上)²⁾は満たしたが、そのK吸収量は14.5 g m²で、既報²⁾においてK減肥できるとされた指標(30 g m²以上)

表6 キャベツ収穫時の土壌の交換性カリウム含量

ほ場番号	区名	交換性 K 含量(g kg ⁻¹)
①	K 減肥区	0.51
	慣行区	0.56
②	K 減肥区	0.52
	慣行区	0.53
③	K 減肥区	0.42
	慣行区	0.45

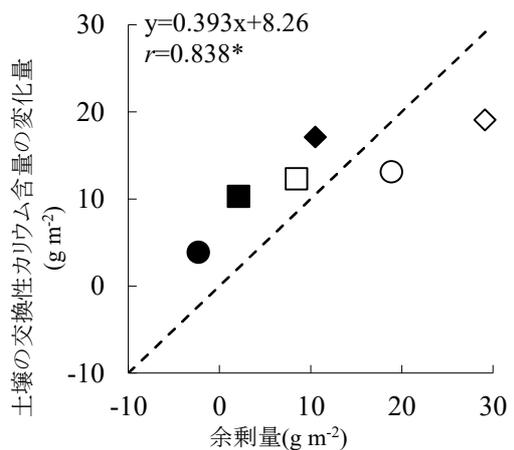


図1 カリウムの収支と土壌の交換性カリウム含量の変化量の関係

●はほ場①のK減肥区、○はほ場①の慣行区
 ◆はほ場②のK減肥区、◇はほ場②の慣行区
 ■はほ場③のK減肥区、□はほ場③の慣行区
 図中の点線は1:1を示す
 余剰量=緑肥と施肥のK投入量-キャベツのK吸収量
 *5%水準で有意性あり

が得られなかった。現地におけるソルガムの草高とK吸収量の調査²⁾においても、ソルガムの草高が1.5 m前後で、そのK吸収量が20 g m⁻²前後の事例があった。ただし、これら草高が1.5 m以上を確保できたソルガムのK吸収量は慣行のK施肥量の半量以上と多かったことから、キャベツの生育前半であればK供給源としての利用が期待できる。キャベツのK吸収は生育中期以後に増加し、結球期に入ると急増すること⁷⁾から、ほ場③では生育初期にあたる基肥と1回目の追肥を低K含有肥料によりKを減肥し、2回目以降の追肥は慣行肥料でK施肥を行ったところ、目標収量と既報⁴⁾と同程度のK吸収量が得られた。ほ場③の土壤は礫質未熟低地土で交換性K含量は土壤診断基準³⁾よりも少なかったが、緑肥と施肥からのK投入量はキャベツのK吸収量よりも多く、K供給は十分であったと考えられる。従って、ソルガムの生育量に応じてK減肥量を調整することが有効であると考えられる。

露地野菜のK吸収量は、乾物生産量に比例して多くなることが報告されている⁴⁾。本試験において、ほ場ごとのキャベツの収量には差がみられたことから、生育が旺盛な品種を栽培する場合には乾物生産量が増加してキャベツのK吸収量も多くなり、ソルガムと施肥からのK投入量だけではK供給量が不足することが懸念される。さらに、各処理区のキャベツ収穫時において土壤の交換性K含量は増加したものの、ほ場①のK減肥区のように余剰量が負の値を示す場合は土壤のKが減少するおそれがある。このため、現場で大幅なK減肥に取り組むためには、ソルガムのK吸収量を確実に確保できる草高を設定する必要がある。

ほ場①及びほ場②では、ソルガムの草高は2.0 m以上、K吸収量は30 g m⁻²以上で、現地生産者のキャベツ栽培における慣行施肥体系からK施肥量を17.9 g m⁻²または19.9 g m⁻²の減肥をしたが、目標収量及び既報⁴⁾と同程度のK吸収量が得られた。特に、ほ場②の土壤の交換性K含量は土壤診断基準³⁾よりも少なかったが、ソルガムと施肥からのK投入量がキャベツのK吸収量よりも多く、キャベツへのK供給が十分であったと考えられる。これらのことから、現場で20 g m⁻²程度のK減肥に取り組むには、ソルガムのK吸収量で30 g m⁻²以上を確実に得られる草高2.0 m以上を指標にすべきと考えられる。また、ソルガムの草高が2.0 m未満であった場合、そのK吸収量に応じて生育初期のKを減肥できると考えられることから、その指標化は今後の課題である。

5 カリウムの減肥技術における土壤診断の必要性

本試験では収穫調査時に土壤を採取したことから、キャベツの結球葉と外葉の合計K吸収量を持出し量とした。しかし、現地の栽培体系では、キャベツ収穫後の外葉は土壤にすき込まれ、外葉のK吸収量分はほ場に還元されることから、結球葉のK吸収量がほ場外への本来の持出し量にあたる。ソルガム由来のKは元来土壤由来でKの持込みにならず、この結球葉のK吸収量のみがほ場からのKの収奪量となる。試験を実施した3ほ場におけるK減肥区のK施肥量は、こ

の結球葉のK吸収量よりも少ないため、ソルガムによるKの減肥技術は、作物による土壤からのK収奪量と肥料によるK施肥量の収支バランスを管理する技術であるといえる。

ほ場②とほ場③における土壤の交換性K含量は土壤診断基準³⁾以下であったが、各ほ場におけるK施肥量の差によるキャベツの収量とK吸収量に差がみられなかった。しかし、ソルガムによるK減肥は作物による土壤からのK収奪であり、土壤のK肥沃度の維持と他の塩基とのバランスを保つためにも土壤診断を併用し、土壤診断基準値³⁾を確保することが望ましい。このことから、交換性K含量が土壤診断基準³⁾以上のほ場に本技術を適用すべきと考えられる。

土壤診断は基肥施用前に採取された土壤で実施することが望ましいものの、土壤診断は分析に相当の時間が必要である。また、本減肥技術の導入に当たってはソルガムの生育量を確認する必要がある。本試験でソルガムすき込み時からキャベツ収穫までの土壤の交換性Kの変化量とキャベツ栽培も含めたK収支が正の相関関係を示したことから、現場でKの減肥を実施するためにはソルガムすき込み時に土壤を採取して土壤の交換性K含量を測定するとともに、ソルガムの生育量からKのほ場還元量を推定することで、キャベツ定植までの時間的制約を回避でき、基肥を含めてKを減肥するための施肥設計が可能になると考えられる。

謝辞: 本試験の実施にあたり、現地の生産者並びに愛知みなみ農業協同組合に協力頂いた。ここに感謝の意を表します。

引用文献

1. 農林水産省農産局技術普及課. 肥料をめぐる情勢(令和5年5月) https://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/s_hiryu/attach/pdf/HiryuMegujiR5-5b.pdf. (2024.7.9参照)
2. 森下俊哉, 大橋祥範, 山本拓, 土井美佑季, 中村哉志. ソルガム後作キャベツにおけるカリ減肥技術の確立. 愛知農総試研報. 52, 177-180(2020)
3. 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>. (2023.12.25参照)
4. 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, 養分吸収量及び土壤の化学性. 愛知農総試研報. 45, 11-19(2013)
5. 後藤忍, 江口洋. 圃場条件における緑肥および有機質肥料からの塩基類の溶出. 土肥誌. 68(6), 640-644(1997)
6. 萩森福督. メヒシバの個生態. 雑草研究. 4, 28-33(1965)
7. 秋谷良三. 蔬菜園芸ハンドブック. 養賢堂. 東京. p.630(1968)