

肥料および牛ふん堆肥の施用量削減がスイカ地上部におけるリン酸およびカリ収支に及ぼす影響

Effects of Reducing the Application Rates of Fertilizer and Barnyard Manure on the Supply-Absorption Balance of Phosphoric Acid and Potassium Oxide in Watermelon Aerial Part

富永 純司・城 秀信*

Junji TOMINAGA, Hidenobu JYOU

要 約

スイカ栽培において、牛ふん堆肥中の養分を活用し、化学肥料によるリン酸およびカリの施用量を削減するため、リン酸質肥料、カリ質肥料および牛ふん堆肥の施用量を削減することによるスイカ地上部におけるリン酸収支およびカリ収支への影響について検討した。スイカ地上部におけるリン酸およびカリの吸収量は、肥料および牛ふん堆肥からの養分供給量の減少に伴って減少した。しかし、肥料および牛ふん堆肥からの供給量からスイカ地上部の吸収量を差し引いたリン酸収支およびカリ収支は、供給量の減少量が吸収量の減少量と比べて多かったため、ともに減少した。また、収支と栽培前後の有効態リンおよび交換性カリウム含有量の推移には関連性が見られたことから、スイカ地上部における収支を算出することによって、土壌養分の蓄積にも配慮したリン酸およびカリの減肥栽培が可能であると考えられた。

キーワード：スイカ、リン酸、カリ、減肥栽培、堆肥施用量削減、養分収支

I 緒言

肥料の施用は、作物を安定生産するために必要不可欠であるが、日本では肥料原料のほとんどを輸入に頼っている。特に、リン酸質肥料およびカリ質肥料の原料であるリン鉱石、カリ鉱石については、100%輸入しているため、国際情勢が肥料価格に大きく影響する。実際に、2008年には中国やインドでの食糧増産や、米国、ブラジルでのバイオ燃料の増産により肥料需要が高まったことから、肥料価格が高騰し、農家経営に大きな打撃を与えた。また、リン鉱石およびカリ鉱石は有限な資源であり、いずれは枯渇するため、リン酸質およびカリ質肥料を必要最少量で効果的に施用する技術、また、国内にも存在するリン酸およびカリを含む資材等を有効活用する技術の開発が必要である。

熊本県は畜産業が盛んな県であり、家畜排せつ物から製造されるきゅう肥（以下、家畜ふん堆肥）は、土づくり資材として活用されている。家畜ふん堆肥にはリン酸およびカリが豊富に含まれており、畜種によって異なるものの、リン酸は0.5~6.6%程度、カリは0.7~4.4%程度含むことが報告されている²⁾。そのため、家畜ふん堆肥に含まれるリン酸およびカリを肥料成分に換算することで、化学肥料によるリン酸およびカリの施用量を削減することが可能であると考えられる。この観点から、家畜ふん堆肥中の養

分を肥料成分としてどの程度見込めるかを示す肥効率を求める試験が行われてきた³⁾⁴⁾⁵⁾。リン酸およびカリの肥効率について、牛尾らは、牛ふん堆肥（以下、牛堆肥）中の全リン酸および全カリに対するく溶性成分の割合として、リン酸は80~90%、カリは90~100%の肥効率であると報告している⁴⁾⁵⁾。さらに、トマト、メロン、キャベツおよび小麦においては、この肥効率を基にリン酸およびカリを減肥した施肥設計を行っても、十分な収量が確保できると報告している⁵⁾。しかし、家畜ふん堆肥からの養分供給量を考慮した減肥試験の事例は少なく、県内において家畜ふん堆肥を利用した栽培が盛んに行われているスイカでの報告事例はない。そこで、スイカを供試作物として、牛堆肥中のリン酸およびカリを利用し、化学肥料によるリン酸およびカリの施用量を削減した栽培法を確立するための試験を行った。

本試験では、牛堆肥からの養分供給量を考慮し、化学肥料からのリン酸およびカリの供給量を削減するとともに、牛堆肥の施用量も削減することによって養分供給量を減らすことが、スイカ地上部におけるリン酸およびカリの吸収量に与える影響について検討した。また、養分供給量の削減に伴うスイカ地上部でのリン酸・カリ収支の変化とスイカの収量および糖度、栽培前後の土壌中の有効態リンお

*現 熊本県農業大学校野菜学科

よび交換性カリウム含有量の推移との関連性について検討した。

II 材料及び方法

1. 供試ほ場および土壌の種類

試験は熊本県農業研究センター内の施設畑を用いて行った。ほ場の土壌は厚層多腐植質黒ボク土で、作土の土性は壤土(L)である。試験開始時における土壌中の有効態リン含有量は 100.9~176.0 mg/kg, 交換性カリウム含有量は 0.49~0.88cmol(+)/kg であった(県全体の土壌診断基準値は、有効態リン: 43.7~218.3mg/kg, 交換性カリウム: 0.64~2.12cmol(+)/kg)

2. 供試作物、品種および耕種概要

供試作物としてスイカ(穂木: 祭ばやし 777(フーコク交配), 台木: かちどき 2号(かんぴょう, フーコク交配))を用い、2013年および2014年の2ヶ年にわたって、本県における基本的な方法で栽培した。2013年は、2月7日に定植し、2月25日に子づるを3本残して、その他の子づるおよび子葉は除去した(3本仕立て)。また子づるから発生するわき芽については、交配した節の上位3節までは除去し、それより上位節のわき芽については、除去しなかった。交配は、3月17日から24日にかけて行い、3月25日に摘果し、1株当たり1玉とした。収穫は5月1日に行った。なお、地温および生育温度を確保するため、1月29日から4月15日までトンネルを用いて保温した。2014年は、2月18日に定植し、3月7日に3本仕立てを行った。その後、3月24日から31日にかけて交配を行い、4月2日に摘果を行った。収穫は5月9日に行った。また、2月5日から4月16日までトンネル保温を行った。その他の栽培中の管理作業については、2013年と同様に行った。なお試験区の面積は、2013年は12.5 m²/区、2014年は10.0 m²/区とし、栽植密度は、本県の基準に従って、畝間2.5m, 株間50cmの80株/aで、2ヶ年とも実施した。また、地上部の作物残渣(茎葉等)は、果実を収穫後、全て施設外へ持ち出した。

3. 試験区の設定

試験区は、第1表のとおり4試験区を設置した。標準施肥区は、本県の果菜類栽培において一般的に用いられるCDU化成S555号を用いて、本県におけるスイカの施肥基準に従い、窒素(N), リン酸(P₂O₅)およびカリ(K₂O)の施肥量をそれぞれ1.6kg/aとした。一方、他の3つの試験区における施肥については、2012年に行ったスイカの栽培試験結果を基に試作した配合肥料を用いた。リン酸の施肥量は、スイカのリン酸吸収量と同等量である0.32 kg/a(標準施肥から80%削減)とし、カリの施肥量は、牛堆肥からの養分供給のみでスイカの吸収量をまかなえると判断し、無施用と

した。窒素の施肥量は、標準施肥区と同量の1.6 kg/aとした。また、家畜ふん堆肥は牛堆肥を用い、施用量は、標準施肥区および減肥区が本県における基準量である200 kg/a、減堆肥区ではその半量である100 kg/aに削減、2014年のみ設けた無堆肥区では無施用とした。なお、用いた牛堆肥中のリン酸およびカリ含有率は定法に従って分析し求めた⁶⁾(第2表)。施肥は化学肥料と牛堆肥を同日に全層施用し、2013年は1月28日(定植10日前)、2014年は2月5日(定植13日前)に行った。試験区の反復は2ヶ年とも2反復とした。試験ほ場は同じほ場を用いたが、2014年は施設中央部に番外区を設け、番外区を境にブロックが形成されるよう、試験区の配置を一部変更した。

第1表 試験区の構成

試験区	化学肥料施用量 (kg/a)			牛堆肥施用量 (kg/a)	備考
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
標準	1.6	1.6	1.6	200	
減肥	1.6	0.32	0	200	
減堆肥	1.6	0.32	0	100	
無堆肥	1.6	0.32	0	0	2014年のみ

第2表 供試牛堆肥中のリン酸およびカリ含有率と養分供給量

試験年度	成分含有率 (%)		牛堆肥からの養分供給量(kg/a)			
			200kg/a 施用時		100kg/a 施用時	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
2013	2.60	2.83	5.19	5.66	2.60	2.83
2014	2.03	2.68	4.06	5.37	2.03	2.68

4. 調査方法

1) 作物体の採取および分析

果実重は、収穫期に各処理区中央の5株から果実を採取し測定した。さらに、採取した果実のうち、交配日が全ての試験区で揃うように果実を2玉選定し、糖度、乾物重および各養分の含有率を測定して、養分吸収量を求めた。また、果実を採取した5株については茎葉の新鮮重量を測定し、うち平均に近い2株について、乾物重および養分含有率を測定し、養分吸収量を求めた。さらに、栽培中に除去されたわき芽および摘果された果実については、試験期間を通して試験区全体で採取し、乾物重および養分含有率を測定して、養分吸収量を求めた。果実を除く部位における養分含有率については、通風乾燥後の試料を、果実についてはミキサーを用いて破碎したペーストを分析に用いた。リン酸含有率は、試料を硫酸で湿式分解し、バナドモリブデン酸法で測定した。カリ含有率は乾式灰化後、炎光光度

法で測定した⁷⁾。

2) 土壌分析

栽培前後における土壌中の養分含有量の変化を比較するために、栽培前(施肥前)及び栽培後の作土を採取し、風乾・粉碎および2mm目の篩別後、有効態リン含有量に関しては、Truog法で抽出、モリブデンブルー法で、交換性カリウム含有量は1M酢酸アンモニウム(pH7.0)で抽出、炎光光度法で測定した⁷⁾。

3) 養分収支

肥料等からの養分供給量と作物の養分吸収量を比較し、養分供給量の過不足を判断するため、リン酸およびカリについて、養分収支を算出した。算出方法は、化学肥料および牛堆肥からの養分供給量(養分投入量)からスイカ地上部における養分吸収量を差し引いて求めた。本来、養分供給量は、肥料や堆肥(土壌改良資材等)以外に、土壌等から作物へ供給される養分供給量も含まれるが、土壌からの養分供給量は、実際に生産者が作物に供給する養分ではなく、また様々な条件によりその量は変化し、正確に測定することが困難であることから、本試験における養分供給量は、肥料および牛堆肥からの供給量とした。また、作物が吸収する養分量に関しても、本来は作物の根部が吸収する養分も含めるべきではあるが、根部は根毛等の細かな部位が含まれ、正確に採取することが困難であることから、本試験においては、作物地上部における養分吸収量とした。

III 結果

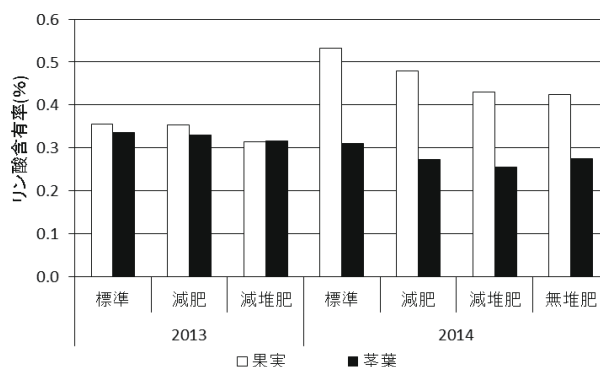
1. スイカ地上部におけるリン酸およびカリの含有率と吸収量

1) リン酸

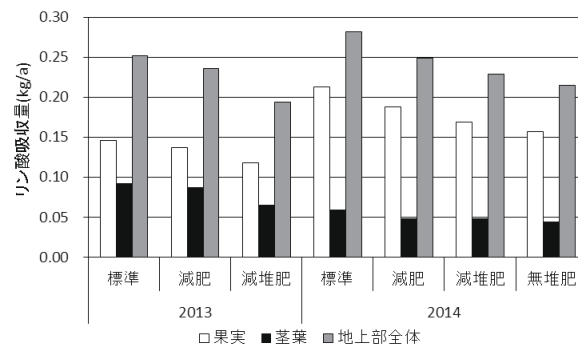
スイカ地上部における部位別のリン酸含有率を、第1図に示した。標準施肥区におけるスイカ果実のリン酸含有率は、2013年が0.36%、2014年が0.53%であった。一方、リン酸質肥料の施用量を削減した減肥区では、2013年は0.35%(標準施肥区の97%、以下同様)、2014年は0.48%(91%)で、2013年は標準施肥区と同等であったものの、2014年は低下した。さらに、牛堆肥施用量を削減すると、リン酸含有率は両年とも低下した(2013年減堆肥区:0.31%(86%)、2014年減堆肥区0.43%(81%)、無堆肥区0.42%(79%)。また、茎葉のリン酸含有率は、標準施肥区で、2013年は0.34%、2014年は0.31%であったのに対し、リン酸質肥料の施用量を削減した減肥区では、2013年は0.33%(97%)で、標準施肥区と同等であったが、2014年は0.27%(87%)で、標準施肥区と比較して低下した。さらに、牛堆肥施用量の削減により、茎葉におけるリン酸含有率も、標準施肥区と比較すると低下したが(2013年減堆肥区0.32%(94%)、2014年減堆肥区0.25%(81%)、無堆肥区

0.27%(87%))、減肥区と比較すると、ほとんど低下しなかった。

スイカ地上部におけるリン酸吸収量は、果実及び茎葉において、リン酸質肥料および牛堆肥の施用量の削減によりリン酸の投入量が少なくなるに従い、2ヶ年とも減少した(第2図)。そのため、摘果およびわき芽も含めたスイカ地上部全体におけるリン酸吸収量も、標準施肥区では2013年が0.25kg/a、2014年が0.28kg/aであったのに対し、2013年の減肥区が0.24kg/a(96%)、減堆肥区が0.19kg/a(76%)、2014年の減肥区が0.25kg/a(90%)、減堆肥区が0.23kg/a(83%)、無堆肥区が0.21kg/a(75%)で、リン酸の供給量が少なくなるのに従って減少した。



第1図 スイカ地上部における部位別リン酸含有率



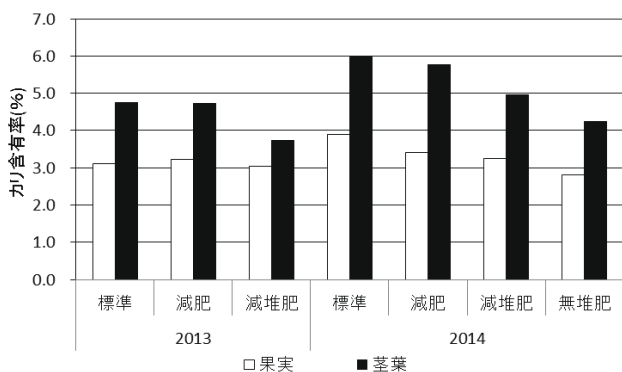
第2図 スイカ地上部におけるリン酸吸収量
※地上部全体には摘果およびわき芽の吸収量も含む

2) カリ

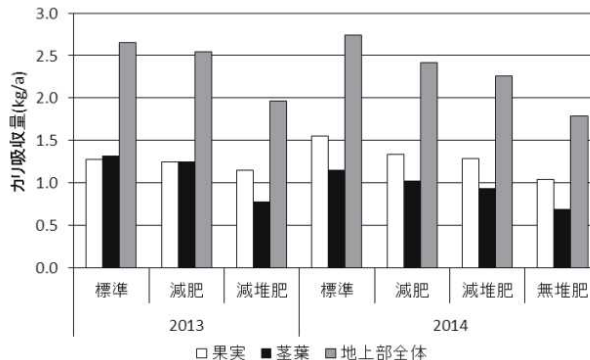
スイカ地上部における部位別のカリ含有率を、第3図に示した。標準施肥区におけるスイカ果実のカリ含有率は、2013年が3.12%、2014年が3.89%であったのに対し、カリ質肥料の施用量を削減した減肥区では、2013年は3.23%(104%)、2014年は3.40%(88%)で、2013年は標準施肥区と同等であったが、2014年は低下した(第3図)。また、牛堆肥の施用量を削減すると、果実におけるカリ含有率は、2013年の減堆肥区は3.04%(98%)で、標準施肥区と同等

であったが、2014年は、減堆肥区で3.26% (84%)、無堆肥区2.81% (73%)で、堆肥施用量が削減されるに従って減少した。標準施肥区における茎葉のカリ含有率は、2013年が4.76%、2014年は5.98%であった。一方、カリ質肥料を無施用とした減肥区では、2013年が4.72% (100%)、2014年が5.76% (97%)で、標準施肥区のカリ含有率とほとんど変わらなかったが、牛堆肥の施用量を削減すると、カリ含有率は明らかに低下した(2013年減堆肥区3.74% (79%)、2014年減堆肥区4.96% (83%)、無堆肥区4.24% (71%))。

スイカの果実と茎葉におけるカリ吸収量は、リン酸吸収量と同様に、カリ質肥料および牛堆肥の施用量の削減量が増えるに従って、果実、茎葉ともに減少した(第4図)。そのため、スイカ地上部全体におけるカリ吸収量も、カリ供給量の低下に伴い減少し、2013年標準施肥区が2.65kg/a、2014年標準施肥区が2.74kg/aであったのに対し、2013年の減肥区では2.55kg/a(97%)、減堆肥区では1.96kg/a(74%)、2014年の減肥区では2.41kg/a(88%)、減堆肥区では2.26kg/a(83%)、無堆肥区では1.78kg/a(65%)となった。



第3図 スイカ地上部における部位別カリ含有率



第4図 スイカ地上部におけるカリ吸収量
※地上部全体には摘果およびわき芽の吸収量も含む

2. スイカ地上部におけるリン酸およびカリ収支

1) リン酸収支

スイカ地上部におけるリン酸収支を第3表に示した。標準施肥区において、リン酸質肥料および牛堆肥からのリン酸供給量は、2013年が6.79 kg/a、2014年が5.66 kg/aであったが、スイカ地上部におけるリン酸吸収量は2013年が0.25kg/a、2014年が0.28 kg/aで、リン酸供給量からリン酸吸収量を差し引いたリン酸収支は、それぞれ6.54kg/a、5.38kg/aとなり、供給量が吸収量を上回る状態であった。また、リン酸質肥料の施用量を80%削減した減肥区においても、リン酸収支は供給量が上回る状態(5.27kg/a、4.13kg/a)であったが、過剰となったリン酸供給量は、標準施肥区と比較して、それぞれ1.26 kg/a、1.25kg/a減少した。さらに、牛堆肥施用量を半量削減した減堆肥区および無施用とした無堆肥区でも、リン酸収支は供給過剰であったが、過剰量は標準施肥区と比較して、大幅な減少となった(減堆肥区:-3.81kg/a、-3.26kg/a、無堆肥区:-5.27kg/a)。

第3表 スイカ地上部におけるリン酸収支 (kg/a)

栽培年度	試験区	リン酸供給量			リン酸吸収量 C	リン酸収支 A+B-C	収支の増減*
		施肥量 A	牛堆肥 B	合計 A+B			
2013	標準	1.60	5.19	6.79	0.25	6.54	0
	減肥	0.32	5.19	5.51	0.24	5.27	-1.26
	減堆肥	0.32	2.60	2.92	0.19	2.73	-3.81
2014	標準	1.60	4.06	5.66	0.28	5.38	0
	減肥	0.32	4.06	4.38	0.25	4.13	-1.25
	減堆肥	0.32	2.03	2.35	0.23	2.12	-3.26
	無堆肥	0.32	0.00	0.32	0.21	0.11	-5.27

※収支の増減は各試験区におけるリン酸収支の値から各年度における標準施肥区のリン酸収支の値を減じて求めた。

2) カリ収支

カリ収支もリン酸収支と同様で、標準施肥区におけるカリ収支は、それぞれ 4.61kg/a, 4.23kg/a の供給過剰であった(第 4 表)。一方、減肥区におけるカリ収支も、それぞれ 3.11kg/a, 2.95kg/a で、供給過剰ではあったが、過剰となったカリ供給量は、標準施肥区と比較して、それぞれ 1.50kg/a,

1.28kg/a 減少した。また減堆肥区においても、カリ収支はそれぞれ 0.87kg/a, 0.42kg/a で、供給過剰ではあったが、過剰なカリ供給量は、標準施肥区と比較して、3.74kg/a, 3.81kg/a 減少した。一方、無堆肥区はカリ質肥料および牛堆肥からのカリ供給がないため、カリ収支は-1.78 kg/a となった。

第4表 スイカ地上部におけるカリ収支 (kg/a)

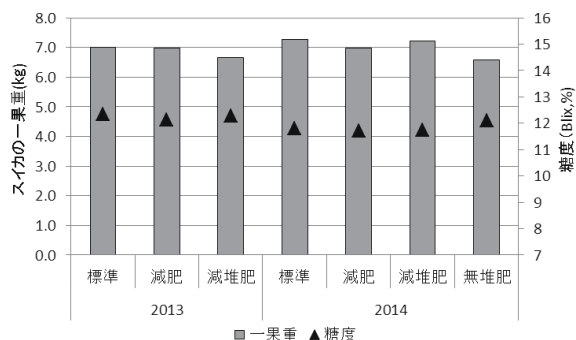
栽培年度	試験区	カリ供給量			カリ吸収量 F	カリ収支 D+E-F	収支の増減*
		施肥量 D	牛堆肥 E	合計 D+E			
2013	標準	1.60	5.66	7.26	2.65	4.61	0
	減肥	0.00	5.66	5.66	2.55	3.11	-1.50
	減堆肥	0.00	2.83	2.83	1.96	0.87	-3.74
2014	標準	1.60	5.37	6.97	2.74	4.23	0
	減肥	0.00	5.37	5.37	2.41	2.95	-1.28
	減堆肥	0.00	2.68	2.68	2.26	0.42	-3.81
	無堆肥	0.00	0.00	0.00	1.78	-1.78	-6.01

※収支の増減は各試験区におけるカリ収支の値から各年度における標準施肥区のカリ収支の値を減じて求めた。

3. 施肥量および堆肥施用量の削減によるスイカの収量および糖度

施肥量および牛堆肥施用量を削減したときのスイカの一果重および果実の糖度を、第5図に示した。標準施肥区におけるスイカの一果重は、2013年が7.02kg, 2014年が7.26kgであった。一方、リン酸質肥料およびカリ質肥料を削減した減肥区では、2013年が6.99kg(標準施肥区の99.6%, 以下同様), 2014年が6.97kg(96.0%)で、一果重は標準施肥区と同等であった。また減堆肥区においては、2013年が6.66kg(94.9%), 2014年が7.21kg(99.3%)で、ほぼ同等であったが、牛堆肥無施用で栽培した無堆肥区は6.59kg(90.7%)で、1割程度低下した。

スイカ果実における糖度は、標準施肥区の2013年が12.3%, 2014年が11.8%であったのに対し、減肥区は12.1%, 11.7%, 減堆肥区は12.3%, 11.8%, 無堆肥区は12.1%で、施肥量および牛堆肥施用量の削減による糖度の低下は見られなかった。



第5図 スイカの一果重および糖度

4. 土壌養分含有量の推移

2013年および2014年における栽培前後の土壌中の有効態リン含有量を第5表に示した。2013年の標準施肥区における土壌中の有効態リン含有量は、栽培前が116.8mg/kg, 栽培後が191.1mg/kgで、栽培後に有効態リン含有量が74.3mg/kg増加した。また2014年においても69.4mg/kgの有効態リンが、栽培後に増加した。減肥区では、栽培後における有効態リンの増加量が、2013年は118.0mg/kg, 2014年は29.8mg/kgで、2013年における有効態リン含有量の増加量は、標準施肥区と比較して、約1.6倍となったが、2014年は約0.4倍で、リン酸質肥料の施用削減に伴った栽培前後における土壌中の有効態リン含有量の増減に明確な傾向は見られなかった。一方、牛堆肥施用量を削減すると、減堆肥区では栽培前後において有効態リン含有量はほとんど変化しなかった。また無堆肥区では、栽培後における土壌中の有効態リン含有量が19.6mg/kg減少した。

第5表 有効態リン含有量の推移 (mg/kg)

試験区	2013		2014		2013 増減 B-A	2014 増減 D-C
	栽培前 A	栽培後 B	栽培前 C	栽培後 D		
標準	116.8	191.1	133.7	203.1	74.3	69.4
減肥	134.8	252.9	135.1	164.9	118.0	29.8
減堆肥	169.8	170.9	131.2	133.2	1.0	1.9
無堆肥	-	-	121.7	102.2	-	-19.6

2013年の標準施肥区における交換性カリウム含有量は、栽培前が0.57cmol(+)/kg、栽培後が1.75cmol(+)/kgで、栽培後に交換性カリウム含有量が1.18cmol(+)/kg増加した。また2014年には1.35cmol(+)/kgの交換性カリウムが、栽培後に増加した。減肥区では、栽培後における交換性カリウムの増加量が、2013年は1.98cmol(+)/kg、2014年は1.11cmol(+)/kgで、2013年における交換性カリウム含有量の増加量は、標準施肥区と比較して、約1.7倍となったが、2014年は約0.8倍で、交換性カリウムについても有効態リンと同様で、カリ質肥料の施用量を削減することによる栽培前後における土壤中の交換性カリウム含有量の変化に明確な傾向を見ることができなかった。一方、牛堆肥施用量を削減すると、減堆肥区では、栽培後に交換性カリウム含有量が増加するものの、増加量は標準施肥区における増加量と比較して少なく(2013年0.48cmol(+)/kg、2014年0.33cmol(+)/kg)、無堆肥区においては、交換性カリウム含有量が栽培前より0.13cmol(+)/kg減少した(第6表)。

第6表 交換性カリウム含有量の推移 (cmol(+)/kg)

試験区	2013		2014		2013 増減 B-A	2014 増減 D-C
	栽培前	栽培後	栽培前	栽培後		
	A	B	C	D		
標準	0.57	1.75	0.77	2.12	1.18	1.35
減肥	0.62	2.60	0.82	1.93	1.98	1.11
減堆肥	0.62	1.10	0.67	1.00	0.48	0.33
無堆肥			0.67	0.54	-	-0.13

IV 考察

本試験では、スイカを供試作物として、家畜ふん堆肥中に含まれるリン酸およびカリを利用し、化学肥料によるリン酸およびカリの施用量を削減した栽培法を確立するため、リン酸質肥料、カリ質肥料および牛堆肥の施用量の削減によるスイカ地上部におけるリン酸およびカリの吸収量の変化について調査し、その結果を基に、肥料および堆肥からの養分供給量と比較して、スイカ地上部における養分収支を求め、その変化について解析した。また、その際のスイカの収量、糖度および栽培前後の土壤中の有効態リン含有量と交換性カリウム含有量の推移についても調査した。そこで、これらの結果に基づき、①リン酸およびカリ収支、②収量および糖度、③土壌養分の推移の3つの観点から、各試験区における養分供給量の過不足について考察を行った。

まず、標準施肥区におけるリン酸およびカリ収支は、両成分とも肥料および堆肥からの養分供給量がスイカ地上部における養分吸収量を上回っており(第3、4表)、栽培後における土壤中の有効態リン含有量および交換性カリウム含有量も増加した(第5、6表)。このことは、スイカが吸収できなかったリン酸およびカリが土壌に蓄積したと考えられることから、リン酸およびカリの減肥が可能であると考えられた。

次いで、牛堆肥からの養分供給量を勘案し、リン酸質およびカリ質肥料の施用量を削減した減肥区では、標準施肥区と同等の収量を得ることができ、糖度も同等であった(第5図)。しかし、リン酸収支およびカリ収支は、標準施肥区と比較して減少したものの、依然、養分供給量がスイカ地上部における養分吸収量を上回っており(第3、4表)、栽培後における土壤中の有効態リン含有量および交換性カリウム含有量も増加したことから(第5、6表)、牛堆肥を200kg/a施用すると、牛堆肥からのリン酸およびカリの供給量だけでスイカの吸収量をまかなえ、さらに土壌に養分が残存すると考えられた。そのため、養分収支の観点だけで考えると、スイカの養分吸収量をまかなうだけのリン酸およびカリを供給するためには、化学肥料によるリン酸およびカリの施肥量に加え、牛堆肥の施用量についても削減が必要であると考えられた。

一方、減肥したうえで牛堆肥を無施用で栽培した無堆肥区では、糖度は標準施肥区と同等であったものの、収量が1割程度低下した(第5図)。また、無堆肥区におけるリン酸収支は供給量が吸収量をやや上回っていたが、カリ収支は、肥料および堆肥からのカリの供給がないことからマイナスであり(第3、4表)、栽培後における土壤中の有効態リン含有量および交換性カリウム含有量は、栽培前の含有量から減少していた(第5、6表)。このことから、無堆肥区では、肥料からのリン酸およびカリの供給量が、スイカが十分に生育するにあたって必要なリン酸およびカリの量に対して不足したため、栽培前にあった土壌中のリン酸およびカリをスイカが吸収したと考えられた。ただし、作物中のリン酸含有率は、減堆肥区から無堆肥区にかけてほとんど変化せず(第1図)、一方で、カリ含有率は果実及び茎葉で低下していることから(第3図)、リン酸については土壌からの供給でまかなえたが、カリはまかなえず、カリの供給不足が収量低下に強く影響した可能性が考えられた。

減肥をしたうえで牛堆肥の施用量を標準の半量である100kg/aまで削減した減堆肥区では、収量および糖度は標準施肥区と同等(第5図)で、リン酸収支およびカリ収支は、どちらも供給量が吸収量を上回っていた(第3、4表)。一方、栽培後の土壌養分は、交換性カリウム含有量がやや増加したものの、有効態リン含有量は、栽培前と比較してほとんど変化しなかった(第5、6表)。

以上のことから、標準施肥区と同等の収量を確保した時の収支の値は、リン酸、カリの両成分とも供給量が吸収量を上回っていた。ただし、この結果は土壌の状態により変化することが予想され、土壌からの養分供給量や土壌の性質(リン酸吸収係数など)などを踏まえた考察がさらに必要であると考えられる。また糖度については、全ての試験区で同等であり、養分収支との関連性は不明であった。養分収支と土壌養分との関連性は、収支の値が低下することで栽培後における土壌養分の蓄積量が低下する傾向は見られたが、減堆肥区におけるリン酸収支は過剰、

カリ収支はやや過剰な状態であるにもかかわらず(第3, 4表), 栽培前後における土壌中の有効態リン含有量の推移はほとんど変化なく, 交換性カリウムに至ってもやや増加した程度で, 養分収支と土壌養分の推移は, 必ずしも整合しなかった。そこで, 牛堆肥中の含有成分の総量で求めた収支ではなく, 仮定した肥効率に基づき補正を加え, 肥料成分として見込める養分供給量を基に求めた収支を再計算した(第7表)。

牛尾らの報告¹⁾に従って, リン酸の肥効率を80%, カリの肥効率を90%に仮定し, 加えて, リン酸については施肥リン酸の利用率が低いことから, Mishima らの報告¹⁾に従って利用率を10%とすると, 作物が利用できるリン酸量(リン酸利用量)からスイカ地上部におけるリン酸吸収量を差し引いたリン酸収支は0.05 kg/a および0.03 kg/a であり, 栽培前後における土壌中の有効態リン含有量の推移と同様に, ほぼ均衡状態となった。また, カリ利用量から吸収量を差し引いたカリ収支は0.58kg/a および0.15kg/a で, 肥効率を考慮してもやや過剰であったが, 減堆肥区における栽培後の土壌中の交換性カリウム含有量はやや増加していたことから, カリにおいても, 収支と交換性カリウムの推移に同様の傾向が見られた。さらに, 無堆肥区におけるリン酸収支は-0.18 kg/a, カリ収支は-1.78 kg/a であったが, 無堆肥区における栽培後の有効態リンおよび交換性カリウムの含有量はともに減少しており, 無堆肥区において養分供給量が不足し, 土壌養分が用いられたことが, この結果からも考えられた。このように, リン酸, カリとも牛堆肥の肥効率(リン酸については利用率も)を考慮して収支を算出することで, 土壌中の養分含有量との関連性が見られた。

以上の考察から, スイカ栽培において, スイカ地上部の養分

吸収量と肥料および牛堆肥からの養分供給量から求められる養分収支を算出することで, 化学肥料によるリン酸およびカリ, また堆肥の施肥量を削減し, かつ土壌養分の蓄積も抑える栽培が可能と考えられた。しかし, 今回の考察で用いた肥効率及び利用率はあくまで仮定であり, 家畜ふん堆肥におけるそれらは, 畜種, 製造方法, 副資材等の違いにより変化する。また, 土壌の種類や蓄積する養分含有量の違いによっても, 肥料成分の利用率は変わることが予想されるため, 今回仮定した肥効率や利用率がすべての条件ではまるとは言えない。また, 本試験は2ヶ年の試験であり, 連作した際の影響については明らかでない。特に, 家畜ふん堆肥は本来土づくり資材として用いられるものであり, 養分収支を基に安易に施肥量を削減することは地力の低下を招く可能性が考えられるため, 慎重に行われるべきであると考えられる。さらに, 作物は肥料や堆肥以外に土壌からも養分が供給されるため, 正確な養分収支を出すためには, 土壌からの養分供給量についても考慮する必要がある。実際に, 多くのスイカ栽培ほ場では, 堆肥や土壌改良資材の連用により土壌中に有効態リンおよび交換性カリウムが蓄積している状況であり, このようなほ場では養分収支がマイナスであっても十分な収量が確保できる可能性が考えられる。今回の試験において, 肥料および牛ふん堆肥の施肥量削減によるスイカ地上部でのリン酸およびカリの吸収量の変化, 養分供給量と比較した収支の変化について明らかとなったが, 土壌や家畜ふん堆肥からの養分供給量を把握するための条件設定や地力低下の抑制といった問題点もあることから, 今後は, 産地の実態に即した技術として改良していく必要があると考えられる。

第7表 牛堆肥の肥効率を考慮した養分収支

栽培年度	試験区	養分供給量				養分吸収量 E	養分収支 D-E	
		施肥量 A	牛堆肥 B	肥効率補正值 C (B×肥効率 ¹⁾)	利用可能量 ²⁾ D (A+C)			
								(kg/a)
リン酸	2013	標準	1.60	5.19	4.15	0.58	0.25	0.32
		減肥	0.32	5.19	4.15	0.45	0.24	0.21
		減堆肥	0.32	2.60	2.08	0.24	0.19	0.05
	2014	標準	1.60	4.06	3.25	0.48	0.28	0.20
		減肥	0.32	4.06	3.25	0.36	0.25	0.11
		減堆肥	0.32	2.03	1.62	0.19	0.23	-0.03
	無堆肥	0.32	0.00	0.00	0.03	0.21	-0.18	
カリ	2013	標準	1.60	5.66	5.09	6.69	2.65	4.04
		減肥	0.00	5.66	5.09	5.09	2.55	2.55
		減堆肥	0.00	2.83	2.55	2.55	1.96	0.58
	2014	標準	1.60	5.37	4.83	6.43	2.74	3.69
		減肥	0.00	5.37	4.83	4.83	2.41	2.42
		減堆肥	0.00	2.68	2.42	2.42	2.26	0.15
	無堆肥	0.00	0.00	0.00	0.00	1.78	-1.78	

1)牛堆肥のリン酸の肥効率は80%, カリの肥効率は90%とした

2)リン酸については利用率を10%とし, 施肥量と肥効率補正値の合計に乗じた。

V 謝辞

本試験に伴う現地実証に際して、山鹿市のスイカ栽培農家には、情報収集のための試験ほ場の提供、作物の栽培管理および調査にご協力をいただきました。また、試験ほ場の選定にあたっては、熊本農業協同組合の営農指導員、ならびに鹿本地域振興局農業普及・振興課の関係諸氏にご協力をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

VI 参考文献

- 1) Mishima S. Itahashi S. Kimura R. Inoue T. (2003) : Trends of Phosphate Fertilizer Demand and Phosphate Balance in Farmland Soils in Japan, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 49(1) 39-45
- 2) 中山統雄, 原野幸子, 坂本夏美, 中村寿男, 鶴田克之 (2014) : 県内の家畜排泄物由来堆肥および液状きゅう肥の含有肥料成分特性, 熊本県農業研究センター研究報告第 21,37-41
- 3) 橘田安正, 森国博全 (1999) : 各種家畜ふん堆肥リン酸の肥効率, 日本土壤肥科学会講演要旨集 (45) 391
- 4) 牛尾進吾, 吉村直美, 斉藤研二, 安西徹郎(2004) : 家畜ふん堆肥の成分特性と肥料的効果を考慮した施用量を示す「家畜ふん堆肥利用推進ナビゲーションシステム」, 土肥誌 75(1)99-102
- 5) 財団法人畜産環境整備機構(2015) : たい肥のリン酸, カリの肥効を考慮した施肥設計—考え方とシステムの操作手順—
- 6) 財団法人日本土壤学会(2000) : 堆肥等有機物分析法
- 7) 財団法人日本土壤協会(2001) : 土壌機能モニタリング調査のための土壌, 水質および植物体分析法

Summary

Effects of Reducing the Application Rates of Fertilizer and Barnyard Manure on the Supply-Absorption Balance of Phosphoric Acid and Potassium Oxide in Watermelon Aerial Part

Junji TOMINAGA, Hidenobu JYOU

In cultivation of watermelon, to reduce the application rates of phosphoric fertilizer and potassium fertilizer by using phosphoric acid and potassium oxide that included in barnyard manure, we examined the effects of reducing the application rates of fertilizer and barnyard manure on the supply-absorption balance of phosphoric acid and potassium oxide in watermelon aerial part. Absorption of phosphoric acid and potassium oxide in watermelon aerial part was reduced by reducing the nutrient supply from fertilizer and barnyard manure. But the supply-absorption balance, that was determined by subtracting absorption from supply, of phosphoric acid and potassium oxide reduced, because supply from fertilizer and barnyard manure was more than absorption in watermelon aerial part. In addition, it suggested that we can reduce application rates of phosphoric fertilizer and potassium fertilizer and consider the accumulation of soil nutrients by calculating the supply-absorption balance of phosphoric acid and potassium oxide, because it was thought that there is the association between supply-absorption balance and the accumulation of available phosphoric acid and exchangeable potassium oxide in soil, when cultivation finished.