

研究論文

施肥管理を通じたサトウキビの糖度向上に関する研究

第1報. 塩化カリおよび硫酸カリがポット栽培サトウキビのショ糖含有率に与える影響

渡邊 健太¹⁾・福澤 康典²⁾・河崎 俊一郎^{1), 3)}・富永 淳

藪田 伸・諏訪 竜一・上野 正実・川満 芳信

(琉球大学農学部, ¹⁾ 鹿児島大学大学院連合農学研究科, ²⁾ 大東糖業株式会社,

³⁾ エスベックミック株式会社)

Kenta WATANABE, Yasunori FUKUZAWA, Shun-Ichiro KAWASAKI, Jun TOMINAGA, Shin YABUTA, Ryuichi SUWA, Masami UENO and Yoshinobu KAWAMITSU: Studies on an Improvement of Sugarcane Quality through Fertilizer Management Practices. 1. Effects of Potassium Chloride and Potassium Sulfate on Sucrose Concentration in Sugarcane Juice under Pot Conditions.

要約

一般的にサトウキビ栽培にはカリ肥料に塩化カリ (KCl) が用いられる。これまでに沖縄県においてサトウキビ搾汁液中に含まれる K^+ とショ糖含有率の間には負の相関関係があることが報告されている。一方で、硫酸カリ (K_2SO_4) 施肥量を増加させたポット試験ではショ糖含有率の低下は確認されていない。このことから、サトウキビの糖度は K^+ だけでなく Cl^- や SO_4^{2-} などの副成分にも影響される可能性がある。この仮説を検証するため KCl および K_2SO_4 を用いて施肥量を変化させたポット試験を2度行った。カリ肥料の種類によらず、搾汁液中 K^+ 、 Cl^- 含有率は施肥量の増加にともない著しく増加したが、 SO_4^{2-} 含有率への処理の影響は小さかった。試験1において8月の時点では KCl、 K_2SO_4 施肥区ともに施肥量の増加にともないショ糖含有率が増加する傾向が認められた。しかし、10、12月のサンプリングでは KCl 施肥量が増加するとショ糖含有率が低下、 K_2SO_4 施肥量が

増加するとショ糖含有率が増加する傾向が見られ、カリ肥料の種類によりショ糖へ与える影響が異なった。同様に試験2でもショ糖含有率の低下は KCl 施肥下でのみ確認された。このことから、 K^+ ではなく KCl に含まれる Cl^- が糖度低下の主要因であると考えられ、カリ肥料が過剰に施肥されている地域では KCl 施肥量の低減または K_2SO_4 の代替利用により、サトウキビの糖度向上を達成できる可能性が示された。

キーワード：サトウキビ, ポット試験, K^+ , Cl^- , ショ糖含有率, KCl, K_2SO_4

緒言

本稿は Sugar Tech に掲載された「Effects of Potassium Chloride and Potassium Sulfate on Sucrose Concentration in Sugarcane Juice under Pot Conditions」(Watanabe et al., 2016) を和訳し、再編・加筆したものである。

サトウキビは沖縄県の基幹作物であるが、生

産者の高齢化、担い手不足、不適切な管理、より換金性の高い作物への土地利用などの理由によりその生産量は減少傾向にある。このように土地や労働力が限られた状況の中、最終産物である粗糖の生産量を増加させるためには単収や糖度の向上といった面からより効率的なサトウキビ生産を行う必要がある。

施肥管理はサトウキビの品質に影響を与える要因のひとつである (Meyer and Wood, 2001)。カリウムは植物の必須元素のひとつであり、植物体内では浸透圧調節、光合成、気孔開閉、糖の輸送、たんぱく質およびデンプン合成、60以上の酵素の活性化など様々な役割を担っている (Prajapati and Modi, 2012)。一方で、沖縄県のサトウキビ畑の土壤中交換性カリウム含量は過剰気味である (大田ら, 2000) こと、そして搾汁液中カリウムとショ糖含有率の間には負の相関関係がある (川満ら, 1996) ことが報告されている。サトウキビ栽培には一般的に塩化カリ (KCl) が用いられることから土壤中の過剰なカリウム蓄積は KCl によって引き起こされたと思われる。一方で、硫酸カリ (K_2SO_4) の施肥量を変化させたポット試験では搾汁液中カリウム含有率が増加してもショ糖含有率の低下は確認されなかった (永江ら, 1997; 上原ら, 2004; 川満ら, 2006; 安座間ら, 2007)。これらの結果から、われわれはカリウムだけでなく Cl^- や SO_4^{2-} などカリ肥料の副成分もサトウキビの糖度に影響を与えるものと推測した。

そこで、本試験では2種類のカリ肥料、KCl および K_2SO_4 を用いて、これらカリ肥料の副成分の違いがサトウキビの糖度に与える影響について明らかにし、施肥管理からの糖度向上可能性について検討した。

材料および方法

試験は2010年4月～2011年2月 (試験1) および2013年1月～2014年1月 (試験2) にかけて琉球大学ハウス内で行われた。サトウキビ (*Saccharum* spp. cv. NiF8) の一節苗を育苗し、完全展開葉の出現を確認後、島尻マージ: 海砂: ピートモス = 1: 1: 1 (v/v) の混合土壌を充填した 1/2000a ワグネルポットに定植した。主茎への影響に着目するため分けつは切除し、一本仕立てで生育させた。灌水は土壌の水分状態を確認し、全ポット同量の水を与えた。

施肥は定植後おおよそ一月に一度行った。試験1では硫酸および重焼燐を用いてそれぞれ計 2.5, 0.75 g pot⁻¹ の窒素およびリン酸を全ポット同量与え、カリ肥料の種類 (KCl および K_2SO_4) および施肥量 (計 0.19, 0.75, 1.5 および 7.5 g pot⁻¹ (それぞれ i, ii, iii および iv)) の異なる8処理区を設定した。各区15ポットを用意した。試験2では窒素、リン酸肥料からの SO_4^{2-} および他の養分の影響を除外するため、硝酸および燐安を用いて 2.9, 1.16 g pot⁻¹ の窒素、リン酸を与えた。カリ肥料を全く与えなかった区 (K-0) に加え、カリ肥料の種類 (KCl, K_2SO_4 および KCl+ K_2SO_4 (カリ量を基準にそれぞれ半量ずつ, Mix)) および施肥量 (計 0.87, 2.61, 8.7 および 26.1 g pot⁻¹ (それぞれ I, II, III および IV)) の異なる13処理区を設定した。各区6ポットを用意した。各処理区は与えられたカリ肥料の種類および施肥量の組み合わせで表記された (例として、KCl を 0.19 g pot⁻¹ 与えた区は KCl-i と表記)。

定植後、4週間ごとに仮茎長、生葉数、第一展開葉の SPAD 値 (SPAD-502, Minolta Camera) を測定した。植物体の成熟にともない処理がどのようにサトウキビの糖度に影響を与えるかを明らかにするため、試験1では2010年8月、

10月、12月に各区3個体をおよび2012年2月に各区生育の良好な4~6個体をサンプリングした。試験2では2014年1月に各区生育の良好な4~6個体をサンプリングした。サンプルは地際部で刈り取り、製糖過程に不必要な部分を除去した後、原料基重を測定し搾汁した。搾汁液サンプルは分析で使用するまで-80℃で冷凍保存した。試験2ではサンプリング終了後ポットに残った土を採取し、風乾させた後、土壌分析に使用した。

搾汁液サンプル解凍後、試験2では搾汁液の電気伝導率(EC)をECメーター(CM-14P, Toa)により測定した。超純水を用いて搾汁液を50倍希釈した後メンブレンフィルター(径, 13 mm; 孔, 0.45 μm; Advantec)を用いてろ過した。試験1ではICP(ICPS-8100, Shimadzu)を用いてK⁺含有率を、イオン分析計(IA-300, Toa)を用いてCl⁻, SO₄²⁻含有率を測定した。試験2ではこれらのイオンはすべてイオンクロマトグラフ(ICS-1600, Thermo Fisher Scientific)を用いて測定した。陽イオン分析に使用したカラムはIon Pac CS12A, 溶離液は20 mM メタンスルホン酸, 陰イオン分析に使用したカラムはIon Pac AS22, 溶離液は4.5 mM 炭酸ナトリウムと1 mM 炭酸水素ナトリウムの混合液であった。ショ糖含有率は高速液体クロマトグラフィーにより測定した。示差屈折計検出器(RID-10A, Shimadzu), SCR101-Hカラム(Shimadzu)および溶離液には脱気した超純水を用いた。

土壌サンプルは2 mmメッシュのふるいにかけた後、5 gの土壌に対し25 mlの超純水を加え1時間振とうを行った(土壌:水 = 1:5; U. S. Salinity Laboratory Staff, 1954)。搾汁液サンプル同様にECメーター(CM-14P, Toa)およびイオンクロマトグラフ(ICS-1600, Thermo Fisher Scientific)を用いてEC, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻

含有率を測定した。

統計分析はすべて統計ソフトR(R Core Team, 2014)を用いて行われた。二元配置分散分析の結果、搾汁液、土壌浸出液のK⁺, Cl⁻含有率, ECにおいてカリ肥料の種類および施肥量間に有意な交互作用が認められたことから、カリ肥料の種類および施肥量別に分析を行った(表1, 2, 3)。試験1のカリ肥料種類間ではt検定を、試験2のカリ肥料種類間およびカリ肥料施肥量間では一元配置分散分析を行った。分散分析の結果、有意差が認められた場合にはTukey法または処理区の個体数が等しくない場合にはTukey-Kramer法を用いて、5%水準で検定を行った。

結果

試験1において栽培初期は仮茎長の増加は比較的緩やかであったが定植10週間後付近から大きくなり、その後だいに減少した(図1)。

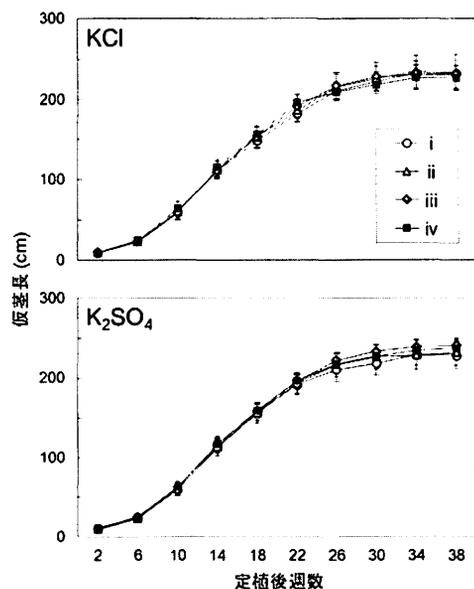


図1. カリ処理にともなうサトウキビ仮茎長の推移(試験1)。

バーは標準偏差を表す。

すべての処理区で同様に推移し、最終的な仮茎長は 230 cm 程度に達した。試験 2 において、仮茎長の変化は試験 1 同様であり、生育は定植後 14~34 週目においては旺盛であったが定植直後および栽培後期には緩慢であった (図 2)。サンプリング時の仮茎長は 220~260 cm と試験 1 に比べ処理区間差が大きく、特に Mix-III、IV 区で低かった。生葉数、SPAD 値に明確な処理区間差は認められなかった (データ未記載)。

試験 1 において、搾汁液中 K^+ 含有率は 200~3100 $mg L^{-1}$ の範囲に分布し、処理により著しく変化した (表 1)。KCl および K_2SO_4 施肥区ともにカリ施肥量の増加にともない K^+

含有率は増加し、この傾向は最終サンプリングとなる 2 月まで確認された。搾汁液中 Cl^- 含有率は 400~2000 $mg L^{-1}$ であり、カリ施肥量にともない増加する傾向が肥料中に Cl^- を含まない K_2SO_4 施肥区でも確認された。KCl-iv 区の Cl^- 含有率は K_2SO_4 -iv 区と比較し有意に高かったが他のカリ施肥量では KCl および K_2SO_4 施肥による明確な違いは認められなかった。 Cl^- 含有率と比べ SO_4^{2-} 含有率への処理の影響は小さく、 K_2SO_4 施肥量の増加による SO_4^{2-} 含有率の増加は見られなかった。しかしながら、2 月サンプリングでは KCl、 K_2SO_4 施肥区ともに施肥量の増加にともない SO_4^{2-} 含有率が低下する

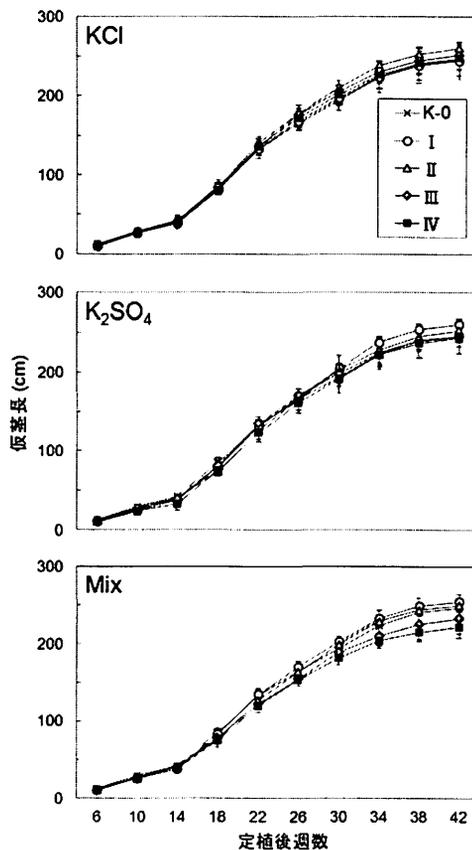


図 2. カリ処理にともなうサトウキビ仮茎長の推移 (試験 2)。バーは標準偏差を表す。

表 1. カリ処理がサトウキビ搾汁液中 K^+ 、 Cl^- および SO_4^{2-} 含有率に与える影響 (試験 1).

サンプリング 時期	カリ肥料 種類	カリ 施肥量	K^+ ($mg L^{-1}$)	Cl^- ($mg L^{-1}$)	SO_4^{2-} ($mg L^{-1}$)
8月	KCl	i	273 Ab	403 Ac	1954 Aa
		ii	742 Ab	673 Abc	1950 Aa
		iii	1130 Ab	784 Ab	1770 Aa
		iv	3090 Aa	1743 Aa	1871 Aa
	K ₂ SO ₄	i	387 Ac	473 Ab	1833 Aa
		ii	608 Ac	543 Ab	1591 Aa
		iii	1372 Ab	957 Aab	1956 Aa
		iv	2886 Aa	1385 Ba	2008 Aa
10月	KCl	i	356 Ac	414 Bc	1852 Aa
		ii	416 Abc	520 Bbc	1765 Aa
		iii	832 Ab	695 Ab	1838 Aa
		iv	2559 Aa	1408 Aa	1610 Aa
	K ₂ SO ₄	i	241 Bc	764 Ab	2067 Aa
		ii	603 Ab	836 Ab	1788 Aa
		iii	909 Ab	763 Ab	1881 Aa
		iv	2497 Aa	1259 Aa	1774 Aa
12月	KCl	i	525 Ac	544 Ab	2208 Aa
		ii	652 Abc	700 Ab	2361 Aa
		iii	912 Ab	870 Ab	1968 Aab
		iv	3053 Aa	1918 Aa	1783 Ab
	K ₂ SO ₄	i	309 Bc	719 Ab	2328 Aa
		ii	443 Ac	678 Ab	1898 Ba
		iii	892 Ab	831 Ab	2059 Aa
		iv	2496 Ba	1208 Ba	1973 Aa
2月	KCl	i	427 Ac	501 Ab	2294 Aa
		ii	470 Abc	749 Ab	2388 Aa
		iii	725 Ab	898 Ab	2130 Aa
		iv	2805 Aa	1837 Aa	1835 Aa
	K ₂ SO ₄	i	204 Bd	649 Ab	2528 Aa
		ii	408 Ac	729 Ab	2351 Aab
		iii	749 Ab	758 Ab	2124 Aab
		iv	2572 Aa	1276 Ba	2049 Ab

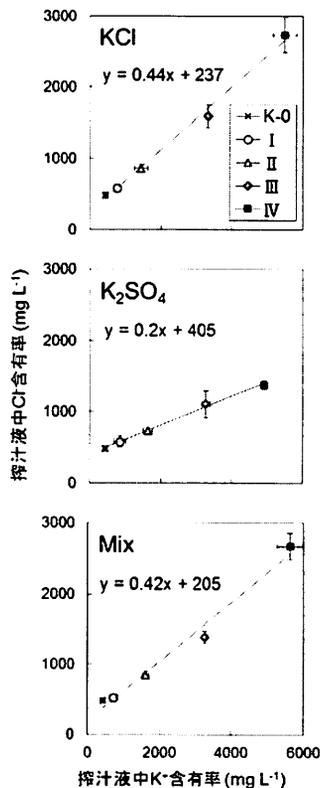
同一のサンプリング時期において異なる大文字のアルファベットはカリ肥料の種類の間、小文字のアルファベットはカリ肥料の施肥量の間それぞれ5%水準で有意差があることを表す (カリ肥料の種類：t検定, カリ肥料の施肥量：Tukey法 (8月, 10月および12月サンプリング) または Tukey-Kramer法 (2月サンプリング)).

表2. カリ処理がサトウキビ搾汁液中K⁺, Cl⁻およびSO₄²⁻含有率に与える影響 (試験2).

カリ肥料 種類	カリ 施肥量	K ⁺ (mg L ⁻¹)	Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	EC (mS m ⁻¹)
K-0		435 e	481 d	1736 a	251 d
KCl	I	758 Ad	579 Ad	1695 Aa	297 Ad
	II	1435 Ac	856 Ac	1334 Bab	347 Acd
	III	3334 Ab	1592 Ab	1272 Ab	607 Ab
	IV	5488 Aa	2725 Aa	1069 Bb	935 Aa
K ₂ SO ₄	I	854 Ad	582 Ad	1545 Aa	277 Ad
	II	1633 Ac	733 Bc	1505 ABa	367 Ac
	III	3277 Ab	1108 Bb	1767 Aa	626 Ab
	IV	4909 Aa	1381 Ba	1547 Aa	772 Ba
Mix	I	722 Ad	526 Ad	1624 Aa	270 Ad
	II	1611 Ac	844 Ac	1616 Aa	376 Ac
	III	3262 Ab	1385 ABb	1664 Aa	597 Ab
	IV	5635 Aa	2670 Aa	1575 Aa	972 Aa

異なる大文字のアルファベットはカリ肥料の種類の間、小文字のアルファベットはカリ肥料の施肥量の間それぞれ5%水準で有意差があることを表す (Tukey-Kramer法)。

傾向が見られた。以上のような処理にともなうイオン含有率の変化は試験2でも確認された。カリ肥料の種類によらず、K⁺, Cl⁻含有率はカリ施肥量とともに増加する傾向にあった (表2)。カリ施肥量を増やしたためK⁺, Cl⁻含有率の分布範囲は試験1より広く、K⁺は400~5700 mg L⁻¹, Cl⁻は400~3000 mg L⁻¹であった。カリ肥料の種類によるK⁺含有率への影響は小さかったがCl⁻含有率はカリ肥料の種類によって大きく異なり、K₂SO₄-II, III, IV区はカリ施肥量の等しいKCl, Mix区のそれらより有意に低いCl⁻含有率であった。他の施肥区では認められなかったがKCl施肥区においてSO₄²⁻含有率はカリ施肥量の増加にともない減少した。どのカリ肥料においても搾汁液ECはカリ施肥量にともない著しく増加したがK₂SO₄-IV区のECはKCl-, Mix-IV区よりも有意に低かった。試験2において、カリ肥料の種類によらず搾汁液中K⁺含有率とCl⁻含有率の間には高い正の相関関係が認められた (図3)。しかしながら、回帰直線の傾きが異なっており、回帰係数はKCl施肥区, Mix施肥区でそれぞれ0.44, 0.42であっ

図3. サトウキビ搾汁液中K⁺とCl⁻含有率の関係 (試験2).

水平方向のバーはK⁺含有率の、垂直方向のバーはCl⁻含有率の標準偏差を表す。回帰式は図中に示してある。

たのに対し、 K_2SO_4 施肥区では 0.2 であった。同様の傾向は試験 1 でも確認された（データ未記載）。

また、搾汁液分析同様にどのカリ肥料を与えた場合にも土壌浸出液中 K^+ 含有率および EC はカリ施肥量にともない増加した（表 3）。カリ肥料の種類にかかわらず、土壌浸出液中 K^+ 含有率は K-0, I および II 区では $2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ 以下であったが III 区では約 $10 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ 、IV 区では $46\sim 68 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ と有意に増加した。土壌浸出液中 Cl^- 含有率は KCl および Mix 施肥区でカリ施肥量の増加にともない増加し、KCl-IV 区、Mix-IV 区でそれぞれ $48.3, 30.4 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ となった。同様に K_2SO_4 および Mix 施肥区においてカリ施肥量が増加すると土壌浸出液中 SO_4^{2-} 含有率が増加した。EC は K^+ および SO_4^{2-} 含有率が高かったことから KCl-IV 区、MIX-IV 区、 K_2SO_4 -IV 区の順となったが有意差は見られなかった。

試験 1 において、8 月時点では KCl、 K_2SO_4

の両施肥区でカリ施肥量の増加によりショ糖含有率が増加する傾向が見られ、KCl-iv、 K_2SO_4 -iv 区のショ糖含有率は他の区より有意に高かった（図 4）。ところが 10 月のサンプリングではカリ肥料の違いによりショ糖含有率に与える影響が異なり、カリ施肥量の増加により KCl 施肥区ではショ糖含有率は 16.5% から 11.4% へと減少したが、 K_2SO_4 施肥区では 6.3% から 16.2% へと増加する傾向が見られた。このような関係は 12 月でも確認され、KCl-iv、 K_2SO_4 -i 区のショ糖含有率は他の区より有意に低かった。最後のサンプリングとなる 2 月ではショ糖含有率は全処理区 21% 以上まで上昇し、前サンプリングと比較し処理区間差は小さかった。最終的に最もショ糖含有率が高かったのは KCl-i 区、最も低かったのは K_2SO_4 -i 区であった。試験 2 において、ショ糖含有率は K-0 区で最も低く、どのカリ肥料でも I 区、II 区と施肥量が増加するにつれショ糖含有率も増加した。しかし、さらに施肥量が増加すると試験 1 同様にカリ肥料の

表 3. カリ処理がポット土壌浸出液中 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含有率および EC に与える影響（試験 2）。

カリ肥料 種類	カリ 施肥量	K^+ ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$)	Cl^- ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$)	SO_4^{2-} ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$)	EC (mS m^{-1})
	K-0	0.6 b	4.9 c	8.0 c	29.4 c
KCl	I	0.6 Ab	5.0 Bc	9.3 Ac	30.4 Ac
	II	1.6 Ab	9.7 ABc	9.1 Bc	32.6 Bc
	III	9.2 Ab	25.6 Abc	10.1 Bc	41.9 Abc
	IV	46.2 Aa	48.3 Ab	5.4 Bc	58.4 Ab
K_2SO_4	I	0.5 Ab	6.5 Bc	11.3 Ac	32.4 Ac
	II	0.7 Ab	8.6 Bc	22.0 Abc	37.4 ABbc
	III	10.3 Ab	10.4 Ac	84.5 Ab	60.1 Ab
	IV	68.0 Aa	10.6 Ac	166.4 Aa	97.8 Aa
Mix	I	1.0 Ab	12.3 Abc	11.2 Ac	36.5 Ac
	II	1.1 Ab	14.9 Ab	17.1 ABc	39.3 Ac
	III	11.6 Ab	15.8 Ab	46.6 ABbc	53.8 Ac
	IV	55.2 Aa	30.4 Aa	92.1 ABb	85.1 Ab

異なる大文字のアルファベットはカリ肥料の種類の間、小文字のアルファベットはカリ肥料の施肥量の間それぞれ 5%水準で有意差があることを表す（Tukey-Kramer 法）。

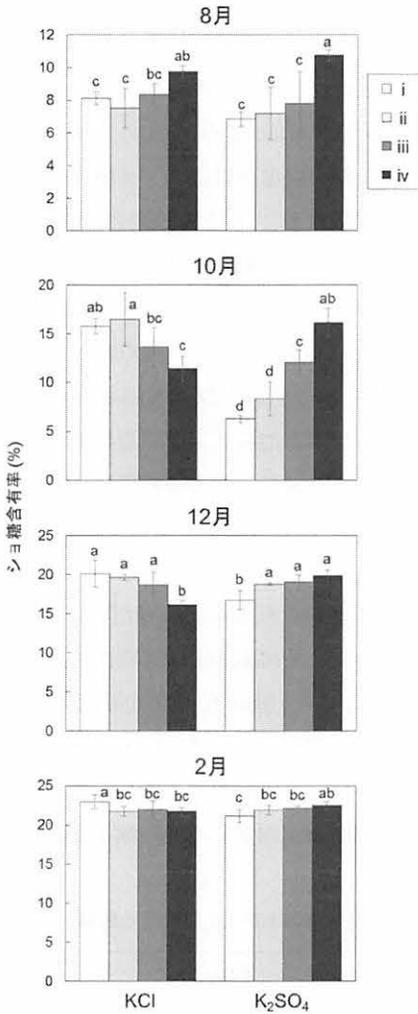


図4. カリ処理がサンプリング時期の異なるサトウキビ搾汁液中シヨ糖含有率に与える影響 (試験1).
バーは標準偏差を表す.

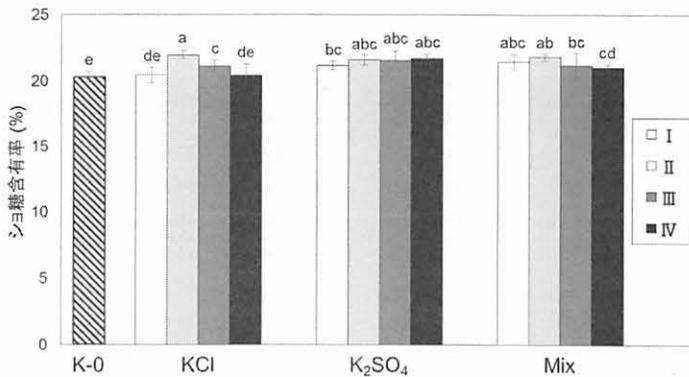


図5. カリ処理がサンプリングサトウキビ搾汁液中シヨ糖含有率に与える影響 (試験2).
バーは標準偏差を表す.

種類による違いがみられ、KCl 施肥区では有意に減少したが、 K_2SO_4 施肥区では変わらないもしくははやや増加する傾向が見られた。対して Mix 施肥区では KCl 施肥区のようにショ糖含有率は減少した。II 区から IV 区までカリ施肥量が増加したことで、KCl 施肥区および Mix 施肥区でそれぞれショ糖含有率は 1.6%、0.6% 減少した。ショ糖含有率が最も高かったのは KCl-II 区、最も低かったのは K-0 区であった。

考察

本試験において、KCl 施肥量の増加にともなうショ糖含有率の低下が確認されたが、既報(永江ら, 1997; 上原ら, 2004; 川満ら, 2006; 安座間ら, 2007)と同様に K_2SO_4 施肥量の増加による負の影響は認められなかった。また、試験 2 の Mix 施肥区でも、与えた Cl^- 量は KCl 施肥区の半分であったが KCl 施肥区同様に搾汁液中 Cl^- 含有率が増加し、ショ糖含有率が低下する傾向が認められた。これらの結果は K^+ ではなく Cl^- がショ糖含有率の低下に対してより重要な要因であることを示唆している。また、KCl 施肥によるショ糖低下だけでなく K_2SO_4 施肥による糖度への正の効果も確認された。施肥量が増加しても搾汁液中の SO_4^{2-} 含有率の増加は見られなかったため明確な理由は不明であるが、硫黄は多量要素の一つとして光合成やアミノ酸、タンパク質の合成など植物の代謝に重要な役割を果たす (Abdelrahman, 2014) ことから SO_4^{2-} がショ糖含有率の向上に寄与していた可能性がある。

肥料からはまったく Cl^- を与えられていないにもかかわらず、 K_2SO_4 施肥区においても搾汁液中 K^+ 含有率と Cl^- 含有率の間には高い正の相関関係が示された。 K^+ はサトウキビに質沢吸収される (宮里, 1986; Hunsigi, 2011) こ

とから、体内に取り込まれた K^+ のバランスをとるために、溶液全体では同量の陽イオンと陰イオンが含まなければならない (Taiz and Zeiger, 2011) という電気的中性の法則に従い、 K^+ の増加にともない搾汁液の Cl^- も増加したと考えられる。肥料で Cl^- を与えていないことから K_2SO_4 施肥区では土壌や灌漑水に含まれる Cl^- を積極的に吸収したと推測した。しかしながら、 K_2SO_4 施肥区では KCl 施肥区に比べて Cl^- 含有率の増加が小さいことから、KCl の代わりに K_2SO_4 を施肥することで Cl^- 吸収を抑制し、より多くのショ糖を蓄積させる結果へとつながった可能性がある。White and Bloodley (2001) は電気化学勾配に従って行われる Cl^- 輸送を受動的、逆らう Cl^- 輸送を能動的と定義しているが、能動的 Cl^- 輸送は外液の Cl^- 濃度が低い場合に根の細胞への Cl^- 流入を介して行われるが受動的 Cl^- 輸送はより塩濃度の高いときに引き起こされると述べている。また、根への Cl^- 流入は外液の Cl^- 濃度が 1~40 mM であり、 Cl^- が KCl として供給されたときに受動的となる (Laties et al., 1964; Macklon and MacDonald, 1966) と報告されている。本試験の結果と合わせると、ショ糖含有率の低下は KCl が与えられたときに受動的 Cl^- 輸送を介して引き起こされ、能動的に吸収された Cl^- は糖度に対して負の影響を与えないものと推測した。

Lingle and Wiegand (1997) は塩類集積圃場において土壌塩類がサトウキビの品質に与える影響について調査を行った結果、土壌 EC の増加にともなう搾汁液 EC の増加、Pol, Brix, 純糖率など品質に関連するパラメーターの低下を確認している。また、搾汁液 EC の増加は主に Cl^- によるものと報告している。これらの知見はわれわれの試験結果を支持するものであるが、一方で彼らは土壌 EC が品質に与える影響は個

別のイオン害よりもむしろ浸透圧ストレスによるものだと述べている。本試験ではショ糖含有率の低下は KCl が与えられた場合にのみ引き起こされているが土壌および搾汁液 EC の増加はどのカリ肥料を与えたときにも確認されており、これは Cl^- によるイオン害の存在を示唆している。処理にともなうイオン含有率の大きな変化は糖蓄積に関わる生理機能に影響を与えた可能性がある。ショ糖は光合成の結果生産される物質であるとともにサトウキビ茎内へと分配される貯蔵物質でもある (Stewart et al., 1973) ことからショ糖含有率の低下は光合成の抑制もしくはショ糖分配の変化によるものと考えられる。加えて、試験 1 において KCl 多量施肥による負の影響は 10 月以降確認されたことから Cl^- によるショ糖含有率低下は気温が低下し糖蓄積が進行する過程で引き起こされると推測される。しかしながら、現段階では詳しいメカニズムについては不明であり、その解明にはさらなる試験が必要である。

本試験の結果より、カリ肥料が過剰に施肥され、土壌中 K^+ および Cl^- 含有率の高い地域では KCl 施肥量を低減または現行の KCl に代わって K_2SO_4 を利用することで施肥管理を通じてサトウキビの糖度向上を達成できる可能性がある。しかし、処理による原料茎重への影響について、今回は 2 つの試験で統一した結果は確認できなかった (データ未記載)。そのため、本報では品質への影響に焦点をしばったことから、収量に関する議論についてはなされておらず、カリ肥料の違いが収量へ与える影響については明らかでない。また、実際に栽培がおこなわれる圃場条件下でも本ポット試験同様の結果が見られるか確認する必要がある。以上の点を明らかにするため、カリ肥料の種類および施肥量を変化させた圃場試験を現在行っており、今後は

収量、糖度双方の面から最適なカリ施肥方法について考えていく予定である。

Abstract Sugarcane is generally fertilized with potassium chloride (KCl). It has been reported that there is a negative correlation between K^+ and sucrose concentrations in sugarcane juice in Okinawa. On the other hands, pot experiments revealed that increasing levels of potassium sulfate (K_2SO_4) did not decrease sucrose concentration, indicating that sugarcane quality may be affected not only by K^+ but by other components of potassium fertilizer, such as Cl^- and SO_4^{2-} . We thus conducted two pot experiments changing levels of KCl and K_2SO_4 to test this hypothesis. As potassium levels increased, irrespective of types of potassium fertilizers, K^+ and Cl^- concentrations in juice significantly increased, while SO_4^{2-} concentration did not change much. In the first experiment, both KCl and K_2SO_4 enhanced sucrose concentration in August. In October and December, however, the relationships completely changed based on the potassium type: with an increase of potassium fertilizer, sucrose concentration decreased in KCl plots but increased in K_2SO_4 plots. Similarly, sucrose reduction was only seen with increasing KCl levels in the second experiment. These results suggest that Cl^- is the primary factor in sucrose reduction, suggesting that we may improve sugarcane quality by lowering KCl amount or using K_2SO_4 instead of KCl.

引用文献

Abdelrahman M., A. H. and Yassin, Ib. D. 2014. Effect of sulfur on sugarcane yield and quality

- at the heavy clay soil "Vertisols" of Sudan. *Universal J. Appl. Sci.* 2: 68-71.
- 安座間健・川満芳信・福澤康典・上原直子・平良英三・上野正実 2007. サトウキビの生長と糖蓄積に与えるカリウムの影響. *日本作物学会紀事* 76(別1): 130-131.
- Hunsigi, G. 2011. Potassium management strategies to realize high yield and quality of sugarcane. *Karnataka J. Agric. Sci.* 24: 45-47.
- 川満芳信・上野正実・渡嘉敷義浩・永江哲也・大見のりこ・孫麗亜・浅沼康清・入嵩西正治 1996. サトウキビ茎中の糖度と各種元素との関係—南大東島および石垣島の場合—. *沖縄農業* 31: 2-10.
- 川満芳信・安座間健・福澤康典・平良英三・上野正実 2006. 糖含量の異なるサトウキビの光合成速度及び糖蓄積に与えるカリウムの影響. *日本作物学会紀事* 75(別1): 156-157.
- Laties, G. G., MacDonald, I. R. and Dainty, J. 1964. Influence of the counter-ion on the absorption isotherm for chloride at low temperature. *Plant Physiol.* 39 : 254-262.
- Lingle, S. E. and Wiegand, C. L. 1997. Soil salinity and sugarcane juice quality. *Field Crops Res.* 54: 259-268.
- Macklon, AES. and MacDonald IR. 1966. The role of transmembrane electrical potential in determining the absorption isotherm for chloride in potato. *J. Exp. Bot.* 17: 703-717.
- Meyer, J.H. and Wood, R. A. 2001. The effects of soil fertility and nutrition on sugarcane quality: a review. *Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass.* 75: 242-247.
- 宮里清松 1986. サトウキビとその栽培. *日本分蜜糖工業会*. 261-263.
- 永江哲也・川満芳信・大見のりこ・川中岳志・上野正実・渡嘉敷義浩 1997. サトウキビの糖度向上に関する作物, 土壌, 生産システム工学的研究 第2報. カリ処理がサトウキビ茎の糖度に及ぼす影響. *日本作物学会紀事* 66(別1): 264-265.
- 大田守也・久場峯子・屋良千賀子. 2000. 沖縄県におけるサトウキビの栄養診断と土壌診断. *日作九支報* 66: 56-59.
- Prajapati, K. and Modi, H. A. 2012. The importance of potassium in plant growth - a review. *Indian J. Plant Sci.* 1: 177-186.
- Stewart, C. M., Melvin, J. F., Diteburne, N., Tham, S. H. and Zerdoner, E. 1973. The effect of season of growth on the chemical composition of cambial saps of *Eucalyptus regnans* trees. *Oecologia* 29: 349-372.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology*, Fifth Edition. Sinauer Associates, Inc. 131-159.
- 上原直子・佐々木治人・川満芳信・大杉立 2004. 過剰なカリウム施肥がサトウキビの産糖量に及ぼす影響. *日本作物学会紀事* 73(別1): 262-263.
- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U.S. Gov. Print. Office. 7-33.
- Watanabe, K., Fukuzawa, Y., Kawasaki, S., Ueno, M. and Kawamitsu, Y. 2016. Effects of potassium chloride and potassium sulfate on sucrose concentration in sugarcane juice under pot conditions. *Sugar Tech* 18: 258-265.
- White, P. J. and Broadley, M. R. 2001. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: a review. *Ann. Bot.* 88: 967-988.