

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3報. 塩化カリおよび硫酸カリが圃場栽培サトウキビの糖度および  
搾汁液中イオン含有量に与える影響

渡邊 健太<sup>1, 2)</sup>・齋川 拓生<sup>1, 2)</sup>・上野 正実<sup>1)</sup>・川満 芳信<sup>1)</sup>

(<sup>1)</sup> 琉球大学農学部, (<sup>2)</sup> 鹿児島大学大学院連合農学研究科)

Kenta WATANABE, Hiroo TAKARAGAWA, Masami UENO and Yoshinobu KAWAMITSU:  
Studies on an Improvement of Sugarcane Quality through Fertilizer Management Practices.  
3. Effects of Potassium Chloride and Potassium Sulfate on Sugarcane Quality and Juice Ion  
Composition under Field Conditions.

### 要約

既報において、ポット条件下ではカリ肥料の違いによりサトウキビの品質に与える影響が異なり、塩化カリ (KCl) が過剰に施肥された場合のみ糖度低下が確認され、硫酸カリ ( $K_2SO_4$ ) 施肥区ではそのような傾向は見られなかった。そこで、圃場条件下での再現性の有無や収量への影響を明らかにするためカリ肥料の種類および施肥量を変更した圃場試験を行った。試験1では施肥量は変えずカリ肥料に KCl および  $K_2SO_4$  を用いた区を設定した。搾汁液中  $K^+$ 、 $Cl^-$  含有量と糖度との間には有意な負の相関関係が認められたが処理による違いは見られなかった。試験2では KCl、 $K_2SO_4$  を 0, 6, 18 および  $60 \text{ kg } 10a^{-1}$  施肥した区を設けた。KCl 施肥量の増加にともない搾汁液および土壤中  $K^+$ 、 $Cl^-$  含有量は増加する傾向が見られた。また、試験1と比べ明確ではなかったものの搾汁液中  $K^+$ 、 $Cl^-$  含有量と糖度との間に負の相関関係が確認された。KCl  $60 \text{ kg } 10a^{-1}$  区は甘蔗糖度、原料茎重、可製糖量が最低であった。

以上より、圃場条件下でも  $K^+$ 、 $Cl^-$  は糖度を

低下させ、 $K^+$ 、 $Cl^-$  が過剰に蓄積している圃場では収量と品質の両方に悪影響を及ぼすことが明らかになった。その様な圃場に対しては KCl 減肥によって糖度増加が可能であると考えられたが、施肥管理の面からだけでなく栽培環境全体の  $K^+$ 、 $Cl^-$  を減らす工夫も必要である。

キーワード：サトウキビ, 糖度, KCl,  $K_2SO_4$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ , 圃場試験

### 緒言

現在、減少傾向にあるサトウキビ原料茎およびその粗糖の生産量を増加させるためには技術的な面から単収および品質 (糖度) を向上させる必要がある。サトウキビの糖収量増を図るため施肥管理を通じた糖度向上に関する研究として、国内の製糖工場から採取した原料茎の搾汁液中イオン含有量と糖度の関係を調べた結果、搾汁液には多量の  $K^+$ 、および  $Cl^-$  が含まれており、これらイオンと糖度との間には負の相関関係があることを確認した (Watanabe et al., 2016a)。すなわち、過剰な  $K^+$ 、および  $Cl^-$  はサ

トウキビの糖度を低下させる要因で、これらの養分を適切に管理することが糖度向上に有効であることを報告している。また、塩化カリ (KCl) と硫酸カリ ( $K_2SO_4$ ) を用いたポット試験では、KCl を多量に施肥した区で糖度が低下する傾向が見られたが、 $K_2SO_4$  施肥区では同傾向は見られなかった (Watanabe et al., 2016b)。サトウキビ栽培には一般的に KCl が用いられるため、カリ施肥量が過剰な圃場では蓄積された  $K^+$  および  $Cl^-$  が糖度低下を引き起こしていると考えられた。しかし、これはポット試験の結果であり、実際に生産が行われる圃場条件下では根圏が制限されておらず、降雨や台風などの影響もあることからポット条件下と異なる結果が示される可能性がある。また、施肥管理による糖収量増を達成するためには糖度だけでなく分げつを含めた株全体の収量への影響についても明らかにする必要がある。そこで、本報では圃場試験の結果からカリ肥料の違いがサトウキビの収量および糖度に与える影響を明らかにし、施肥管理による品質向上および糖収量増加の可能性について検討を試みた。

## 材料および方法

### 試験1：カリ肥料の種類異なる圃場試験

2011年4月29日にサトウキビ (*Saccharum* spp. cv. NiF8) の一節苗を琉球大学農学部試験圃場 (島尻マージ) に畝間 1.2 m, 株間 0.3 m の間隔で植えた。施肥に一般的なサトウキビ栽培用粒状配合肥料 BB666 を用いた慣行区に加え、窒素、リン酸に硫安、重焼燐を、カリに KCl または  $K_2SO_4$  を用いた KCl 区および  $K_2SO_4$  区を設けた。各処理区の面積は 68  $m^2$  (10.8 m × 6.3 m) であった。施肥量は慣行区をもとに全処理区で同量の N:  $P_2O_5$ :  $K_2O$  = 20.8, 7.8, 7.8  $kg 10a^{-1}$  とした。ポット試験

(Watanabe et al., 2016b) ではサンプリング時期により処理が糖度に与える影響が異なったことから 2011年12月7日 ( $T_1$ ) および 2012年3月5日 ( $T_2$ ) の2回、各処理区 15 株の刈り取り調査を行った。 $T_1$  では全茎を  $T_2$  では各処理区 15 茎を対象に近赤外線分光光度計 (Foss, InfraXact) により甘蔗糖度を測定した。搾汁液は Brix を測定し、超純水で希釈した後、ろ紙 (No.6, Advantec) を用いてろ過し、イオンプラズマ元素分析装置 (ICPS-8100, Shimadzu) により  $K^+$  含有量を測定した。 $T_2$  ではそのろ液をさらに 0.45  $\mu m$  メンブレンフィルターにかけ、イオンクロマトグラフ (ICS-1600, Thermo Fisher Scientific) により  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  含有量を測定した。

### 試験2：カリ肥料の種類および施肥量の異なる圃場試験

2014年4月12日にサトウキビ (*S. spp. cv. NiF8*) の一節苗を琉球大学農学部試験圃場 (島尻マージ) に畝間 1.2 m, 株間 0.3 m の間隔で植えた。施肥は硫安および燐安を用いてそれぞれ計 20, 6  $kg 10a^{-1}$  の窒素およびリン酸を全処理区同量与えた。カリを与えなかった区 (0K と表記) に加えカリ肥料の種類 (KCl または  $K_2SO_4$ ) および施肥量 (計 6, 18 および 60  $kg 10a^{-1}$  (それぞれ 1K, 3K および 10K と表記)) の異なる 7 処理区を設定した。0K 区は面積は 72  $m^2$  (6 m × 12 m)、他の処理区は面積は 43  $m^2$  (7.2 m × 6 m) であった。生育調査として月に一度、各区 6 株を対象に主茎の仮茎長および茎数を測定した。2014年10月9日 ( $T_3$ ) に各処理区 4 株の、2015年3月13日 ( $T_4$ ) に各処理区 6 株の刈り取り調査を行った。刈り取った原料茎を主茎および分げつで分類し、原料茎数および一茎重測定後、1 茎ごと

に搾汁した。試験1同様に搾汁液を調整した後、イオンクロマトグラフ (ICS-1600, Thermo Fisher Scientific) により  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  含有量を測定した。また、同サンプルを用いて高速液体クロマトグラフィー (Shimadzu) によりショ糖含有量を測定し、甘蔗糖度の算出に用いた。土壤サンプルは風乾し 2 mm メッシュのふるいにかけた後、5 g の土壤に対し 25 ml の超純水を加え 1 時間振とうを行った (土壤:水 = 1:5; U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954)。その土壤浸出液の pH, 電気伝導率 (EC) を測定した。土壤中  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  含有量は搾汁液と同様の方法で測定した。

統計分析はすべて統計ソフト R (R Core Team, 2015) を用いて行った。

## 結果および考察

試験1：試験1ではカリ施肥量は変えず、カリ肥料の種類のみを変え、サトウキビの糖度お

よび搾汁液中イオン含有量に与える影響を調査した。T<sub>1</sub>において、すべての区でカリ施肥量は同量であったが、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 区の搾汁液中  $K^+$  含有量は他の区より有意に高かった (表2)。同様の傾向は T<sub>2</sub> でも確認された。また、肥料中に含まれていないにもかかわらず T<sub>2</sub> の搾汁液中  $Cl^-$  含有量も K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 区で有意に高かった。

T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> ともに搾汁液中  $K^+$ ,  $Cl^-$  含有量および甘蔗糖度は同一処理区内で大きくばらついた (図1)。T<sub>1</sub> の時点では慣行区および KCl 区では  $K^+$  含有量と甘蔗糖度の間に明確な関係は見られなかったが、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 区では 1% 水準で有意な負の相関関係が確認された。一方、T<sub>2</sub> ではすべての処理区において  $K^+$  含有量の増加にともない甘蔗糖度が低下する傾向が見られ、特に慣行区および KCl 区で有意な関係が認められた。また、全茎を対象に  $K^+$  含有量と Brix との関係調べたところ、すべての処理区において両者の間には 1% 水準で有意な負の相関関係が

表1. KClおよびK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>処理が収量関連形質に与える影響 (試験1)。

	T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>				
	茎数 本	甘蔗糖度 %	茎数 本	一茎重 g 本 <sup>-1</sup>	原料茎重 kg 株 <sup>-1</sup>	甘蔗糖度 %	可製糖量 g 株 <sup>-1</sup>
慣行	28	13.8 a	32	575 b	1.23	16.7 a	192
KCl	24	13.4 a	39	558 b	1.45	16.4 a	222
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	38	12.9 b	43	723 a	2.07	16.4 a	316

サンプリングは 2011 年 12 月 7 日 (T<sub>1</sub>) および 2012 年 3 月 5 日 (T<sub>2</sub>) に行った。異なるアルファベット間には 5% 水準で有意差があることを示す (Tukey-Kramer 法)。

表2. KClおよびK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>処理が搾汁液中イオン含有量に与える影響 (試験1)。

	T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>	
	$K^+$ mg L <sup>-1</sup>	$K^+$ mg L <sup>-1</sup>	$Cl^-$ mg L <sup>-1</sup>	$SO_4^{2-}$ mg L <sup>-1</sup>
慣行	3635 b	3152 b	1403 b	1547 b
KCl	3577 b	3019 b	1482 b	1830 a
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4314 a	3784 a	1852 a	1807 a

サンプリングは 2011 年 12 月 7 日 (T<sub>1</sub>) および 2012 年 3 月 5 日 (T<sub>2</sub>) に行った。異なるアルファベット間には 5% 水準で有意差があることを示す (Tukey-Kramer 法)。

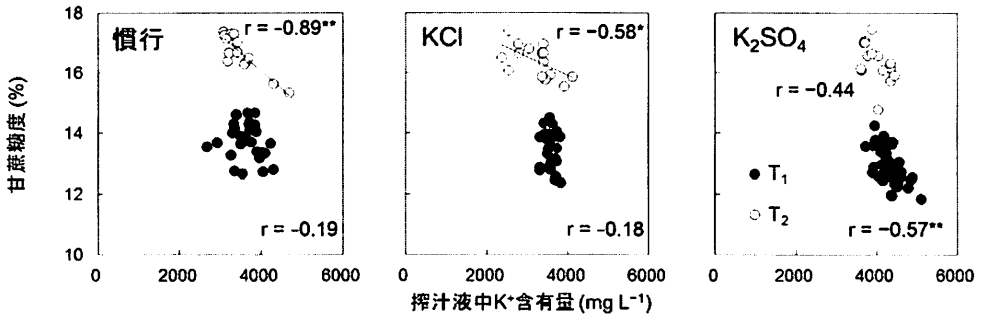


図1. 搾汁液中K<sup>+</sup>含有量と甘蔗糖度の関係 (試験1).

サンプリングは2011年12月7日 (T<sub>1</sub>) および2012年3月5日 (T<sub>2</sub>) に行った. \*および\*\*はそれぞれ5%および1%水準で有意であることを示す.

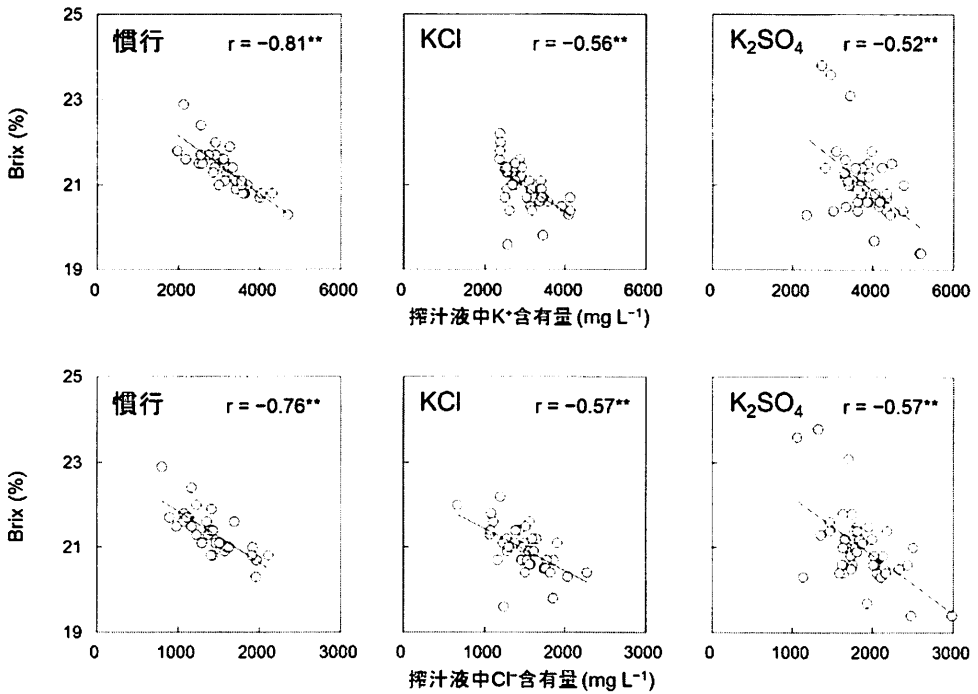


図2. T<sub>2</sub>における搾汁液中K<sup>+</sup>含有量, Cl<sup>-</sup>含有量とBrixの関係 (試験1).

\*\*は1%水準で有意であることを示す.

確認された (図2). 同様の関係はCl<sup>-</sup>含有量とBrixの間にも確認された. このことから, K<sup>+</sup>およびCl<sup>-</sup>は圃場条件下でも糖度を低下させる要因であると考えられたが, Watanabe et al. (2016b) の報告と異なり, カリ肥料間でK<sup>+</sup>およびCl<sup>-</sup>と糖度との関係に違いは見られなかつ

た. また, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>区ではK<sup>+</sup>含有量が有意に高かったことから, 他の区より糖度への負の影響が早く表れたと考えられた.

いずれの処理区においてもT<sub>2</sub>時のK<sup>+</sup>含有量とCl<sup>-</sup>含有量の間には高い正の相関関係が確認されたが, 回帰係数において処理区間で明確な

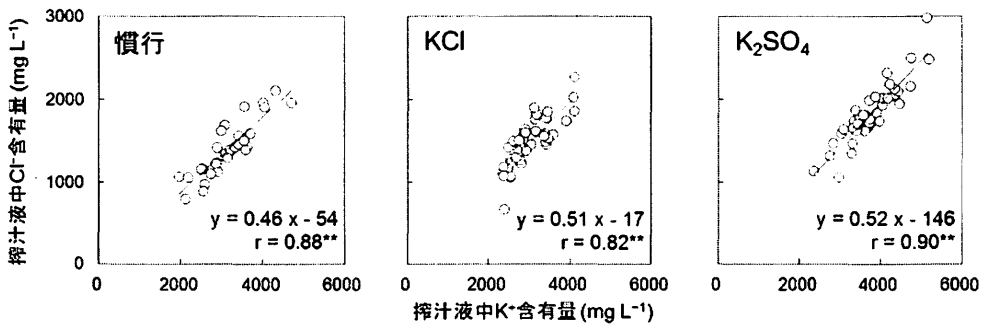


図3. T<sub>2</sub>における搾汁液中K<sup>+</sup>含有量とCl<sup>-</sup>含有量の関係(試験1).

\*\*は1%水準で有意であることを示す。

違いは見られなかった(図3)。Cl<sup>-</sup>はK<sup>+</sup>のカウンターイオンとしての働きを持つ(Laties et al., 1964; Stuart and Jones, 1978; Schnabl and Raschke, 1980)ことから、肥料中にCl<sup>-</sup>を含まないK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>区においても吸収されたK<sup>+</sup>とともにCl<sup>-</sup>が植物体内に取り込まれたことが示唆された。圃場条件では土壤溶液(Goos, 1987)、大気(Kafkafi, 2001)、灌漑水(Thomas et al., 1981; Lingle et al., 2000; Golabi et al., 2009)などからCl<sup>-</sup>が供給源となることが知られていることから、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>区でも肥料以外の面から吸収可能なCl<sup>-</sup>が供給されたと考えられた。

また、搾汁液中K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含有量がK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>区で有意に高かったり、同一処理区内でK<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含有量に大きなばらつきが見られたりした理由として、前作などの影響により栽培前の土壤にはこれらのイオンが不均一に分布していた可能性がある。Lingle and Wiegand (1997)は同一圃場内でもイオン分布が異なり、搾汁液中K<sup>+</sup>含有量と土壤中K<sup>+</sup>含有量、搾汁液中Cl<sup>-</sup>含有量と土壤中Cl<sup>-</sup>含有量の間には有意な正の相関関係があることを報告している。本試験では試験前後の土壤分析を行っていないためデータとして示せないが、搾汁液中イオン含有量は一圃場内のより小さなスケールにおける土壤中イオン含

有量によって決定されていた可能性がある。また、カリウムおよび塩素は大部分がサトウキビ内で常にイオン状態またはイオン化しやすい状態にあり、古い器官から若い器官へと容易に再転流されることが知られている(宮里, 1986; Taiz and Zeiger, 2004)。そのため主茎に比べ糖度が低い分けつにより多くのK<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>が蓄積されていたためにK<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>と糖度の間に負の相関関係が確認されたとも考えられる。以上の点を明らかにするため、試験2では定期的に土壤サンプリングを行い、また収穫茎を主茎と分けつに分けて分析を行った。

試験2：試験1から圃場条件下でも搾汁液中K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含有量の増加にともない甘蔗糖度が低下する傾向が見られたことから圃場条件下でもK<sup>+</sup>およびCl<sup>-</sup>が糖度低下の要因であると考えられた。そこで、試験2では肥料由来のK<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>が搾汁液中K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含有量を増加させ、糖度を低下させているかどうかを検証するため、カリ肥料の種類に加え、施肥量を変えた試験を行った。仮茎長はすべての処理区で7月ごろまでは緩やかに上昇したが、その後、9月ごろまで著しく増加した(図4)。また、それにともない処理区間差も大きくなり、8月以降KCl 10K

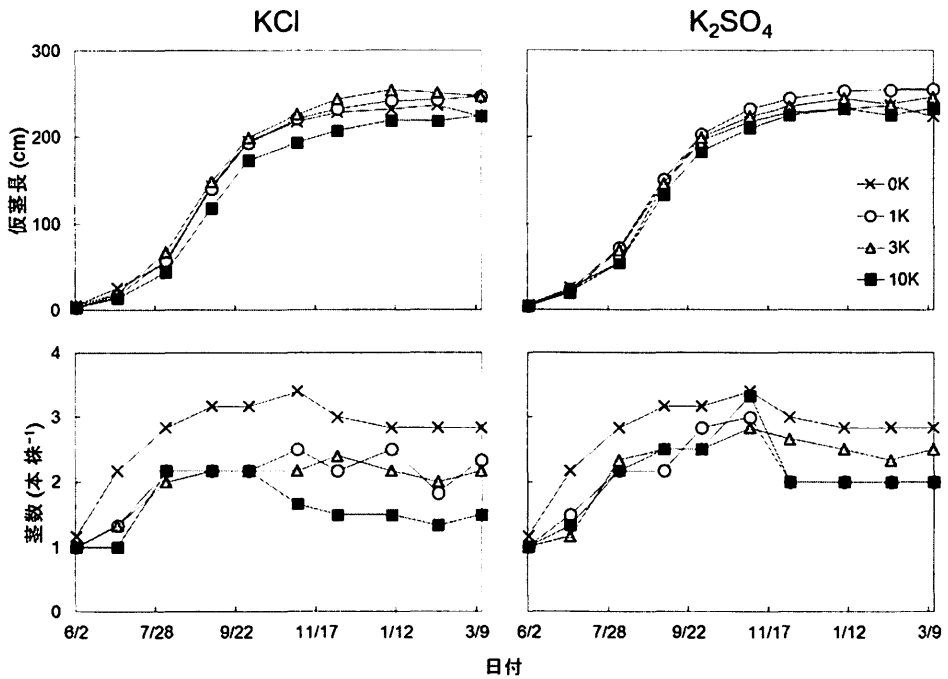


図4. KClおよびK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>処理にともなう仮茎長および茎数の推移 (試験2).

表3. KClおよびK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>処理が収量関連形質に与える影響 (試験2).

	T <sub>3</sub>		T <sub>4</sub>				
	甘蔗糖度 %	一茎重 g本 <sup>-1</sup>	原料茎数 本株 <sup>-1</sup>	原料茎重 kg株 <sup>-1</sup>	甘蔗糖度 %	可製精量 g株 <sup>-1</sup>	
KCl	0K	6.1 a	683 b	2.8 a	1.93 a	16.8 a	303 a
	1K	7.3 a	753 ab	2.3 a	1.76 a	16.9 a	278 a
	3K	7.0 a	806 ab	2.2 a	1.75 a	16.8 a	273 a
	10K	7.3 a	875 ab	1.5 a	1.31 a	15.9 a	197 a
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1K	7.2 a	889 ab	2.0 a	1.78 a	16.4 a	272 a
	3K	6.5 a	942 a	2.5 a	2.35 a	16.0 a	352 a
	10K	6.9 a	888 ab	2.0 a	1.78 a	16.7 a	276 a

サンプリングは2014年10月9日 (T<sub>3</sub>) および2015年3月13日 (T<sub>4</sub>) に行った。異なるアルファベット間には5%水準で有意差があることを示す (Tukey-Kramer法)。

区の仮茎長は他の処理区より低く推移した。その後、仮茎長の伸びは緩慢となり、12月以降はほとんど増加が見られず、最終的には220~250 cmとなった。茎数は栽培期間を通じて0K区で高かった。11月以降KCl 10K区の茎数は低く、3月では他の区が2本株<sup>-1</sup>以上

であったのに対しKCl 10K区では1.5本株<sup>-1</sup>となった。収量調査の結果、T<sub>3</sub>では甘蔗糖度は0K区で最も低く、KCl 1Kおよび10K区で最も大きかったが、T<sub>4</sub>ではKCl 10K区で最低となった (表3)。T<sub>4</sub>において、一茎重は0K区がK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3K区に対し有意に低かったが、原

料茎数は最大であったため原料茎重は  $K_2SO_4$  3K 区について大きかった。KCl 10K 区は一茎重においては他の区と同程度の値であったものの原料茎数が他の区と比べ著しく低く、原料茎重は最低となった。また、甘蔗糖度も最低であったことから可製糖量も最も低く、最大となった  $K_2SO_4$  3K 区より 40%以上低かった。海外ではカリ肥料の種類や施肥量を変更した圃場試験に関する報告は少なくない。Akhtar and Akhtar (2002), Almeida et al. (2015) は KCl 施肥量を増加させると収量、糖度の向上および植物体または土壤中  $K^+$  含有量の増加を確認している。一方で、Hallmark et al. (2001), Khosa (2002), Khadr et al. (2004) は KCl および  $K_2SO_4$  の違いによる収量や糖度への影響は小さいと述べている。そのため、KCl 施肥量の増加による負の影響やカリ肥料の種類による糖度への影響の違いなどは報告されていない。しかし、これらの試験では最大でもカリ施肥量が約  $20 \text{ kg } 10a^{-1}$  と本試験 10K 区の  $60 \text{ kg } 10a^{-1}$  と比べて著しく少ないことから本試験のように KCl 施肥量が過剰となったときの影響を評価できていないと考えられた。

$T_3$  においては主茎、分げつともに KCl,  $K_2SO_4$  施肥量の増加にともない搾汁液中  $K^+$  含有量は増加する傾向がみられ、KCl 10K 区および  $K_2SO_4$  10K 区は 0K 区および KCl 1K 区に対し有意に高かった (表 4)。同様に搾汁液中  $Cl^-$  含有量もカリ施肥量の増加にともない増加する傾向が認められたが、特に KCl 施肥区においてその傾向が顕著であり、KCl 10K 区で最大となった。 $T_4$  においてもカリ施肥量の増加にともない搾汁液中  $K^+$ ,  $Cl^-$  含有量は増加する傾向が見られたが、その傾向は  $T_3$  ほど明瞭ではなかった。特に  $T_3$  で最も搾汁液中  $K^+$ ,  $Cl^-$  含有量の高かった KCl 10K 区で  $T_3$  時と比

べて  $T_4$  の主茎の  $K^+$ ,  $Cl^-$  含有量が著しく低かった。したがって、KCl 施肥量を増加させると搾汁液中  $K^+$ ,  $Cl^-$  含有量は増加する傾向が認められたが生育前半の方がその影響を強く受けると考えられた。また、 $T_4$  の搾汁液中  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  含有量は主茎よりも分げつで高くなる傾向にあったが、甘蔗糖度には主茎・分げつ間の有意差は認められなかったことから、 $K^+$ ,  $Cl^-$  と糖度間の負の相関関係は茎の熟度によるものではないと判断した。

KCl 施肥区において、試験 1 と比較して明確な傾向は得られなかったものの、 $T_4$  時の搾汁液中  $K^+$ ,  $Cl^-$  含有量と甘蔗糖度との間には負の相関関係が認められた (図 5)。また、0K 区の中でも  $K^+$  含有量の範囲が  $1000 \sim 3000 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $Cl^-$  含有量の範囲が  $700 \sim 1400 \text{ mg L}^{-1}$  に及ぶなど、同処理区内でもばらつきが大きく、やはり肥料以外にも搾汁液中  $K^+$ ,  $Cl^-$  含有量は左右されるものと考えられた。

$T_3$ ,  $T_4$  ともにカリ肥料の種類に関わらず、搾汁液中  $K^+$  含有量と  $Cl^-$  含有量の間には高い正の相関関係が確認され、その回帰係数は KCl 施肥区より  $K_2SO_4$  施肥区で小さかった (図 6)。同様の結果は Watanabe et al. (2016b) のポット試験でも確認されたことから、圃場レベルでも施肥量が増加した場合  $K_2SO_4$  は KCl よりも搾汁液中  $Cl^-$  含有量を低下させることができると考えられた。

$T_3$  において、土壤中  $K^+$  含有量はカリ施肥量の増加にともない、また土壤中  $Cl^-$  含有量は KCl 施肥量の増加にともないそれぞれ増加したが、特に KCl 10K 区で土壤中  $K^+$ ,  $Cl^-$  含有量、EC が他の区より有意に高かった (表 5)。 $T_4$  においてもカリ施肥量が増加すると  $K^+$  含有量が増加する傾向が見られたが処理区間に有意差は認められなかった。これはサトウキビに養分

表4. KClおよびK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>処理が主茎・分げつ別搾汁液中イオン含有量および甘蔗糖度に与える影響(試験2).

			K <sup>+</sup> mg L <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg L <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg L <sup>-1</sup>	甘蔗糖度 %
T <sub>3</sub>	主茎	0K	1566 b	962 b	1213 a	6.5 a
		1K	1647 b	1053 b	1040 a	7.6 a
		KCl 3K	2406 ab	1352 ab	1226 a	7.1 a
		10K	2950 a	1580 a	1169 a	7.5 a
		1K	2113 ab	967 b	1078 a	7.4 a
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3K	2468 ab	964 b	1227 a	7.7 a
	10K	2797 a	1129 ab	1056 a	7.9 a	
	分げつ	0K	1926 b	1010 b	1164 a	5.9 a
		1K	1633 b	1056 b	945 a	6.9 a
		KCl 3K	1750 b	991 b	1060 a	6.9 a
		10K	3073 a	1635 a	1062 a	7.2 a
		1K	2059 ab	849 b	1066 a	7.0 a
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3K		2577 ab	986 b	1008 a	5.8 a	
10K	3016 a	1163 b	983 a	5.6 a		
ANOVA	茎	ns	ns	*	**	
	処理	***	***	ns	ns	
	茎×処理	ns	ns	ns	ns	
T <sub>4</sub>	主茎	0K	1709 ab	999 a	1500 a	17.0 a
		1K	1429 b	1045 a	1474 a	17.2 a
		KCl 3K	2021 ab	1153 a	1340 a	17.0 a
		10K	1923 ab	1123 a	1526 a	15.8 a
		1K	1701 ab	961 a	1411 a	16.4 a
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3K	1768 ab	890 a	1346 a	15.9 a
	10K	2179 a	1051 a	1476 a	16.5 a	
	分げつ	0K	1697 c	1084 a	1717 a	16.6 a
		1K	1850 bc	1166 a	1455 a	16.7 a
		KCl 3K	2024 abc	1260 a	1541 a	16.6 a
		10K	2882 ab	1454 a	1659 a	16.1 a
		1K	2116 abc	1156 a	1644 a	16.5 a
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3K		2816 a	1285 a	1529 a	16.1 a	
10K	2697 ab	1245 a	1720 a	16.8 a		
ANOVA	茎	***	***	***	ns	
	処理	***	*	*	ns	
	茎×処理	*	ns	ns	ns	

サンプリングは2014年10月9日(T<sub>3</sub>)および2015年3月13日(T<sub>4</sub>)に行った。各サンプリング時期のそれぞれ主茎と分げつにおいて異なるアルファベット間には5%水準で有意差があることを示す(Tukey-Kramer法)。\*、\*\*および\*\*\*はそれぞれ5%、1%および0.1%水準で有意差もしくは有意な交互作用があることを、nsは5%水準で有意差もしくは有意な交互作用がないことを示す。



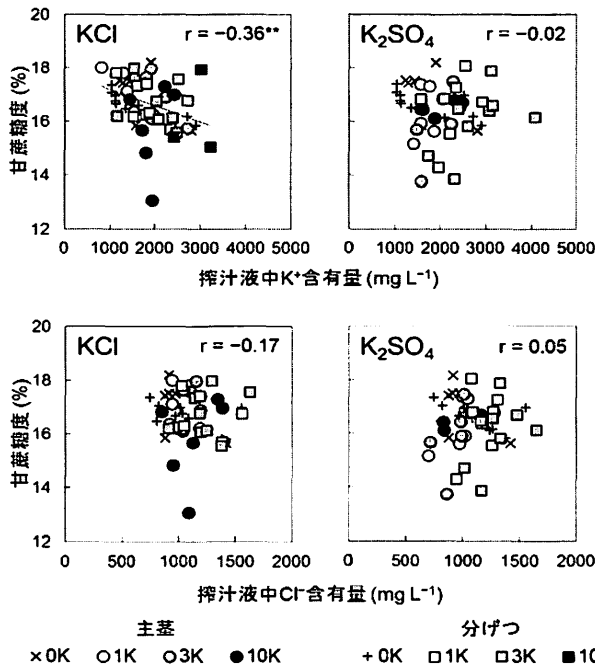


図5. T<sub>4</sub>における搾汁液中K<sup>+</sup>含有量, Cl<sup>-</sup>含有量と甘蔗糖度の関係 (試験2).  
\*\*は1%水準で有意であることを示す.

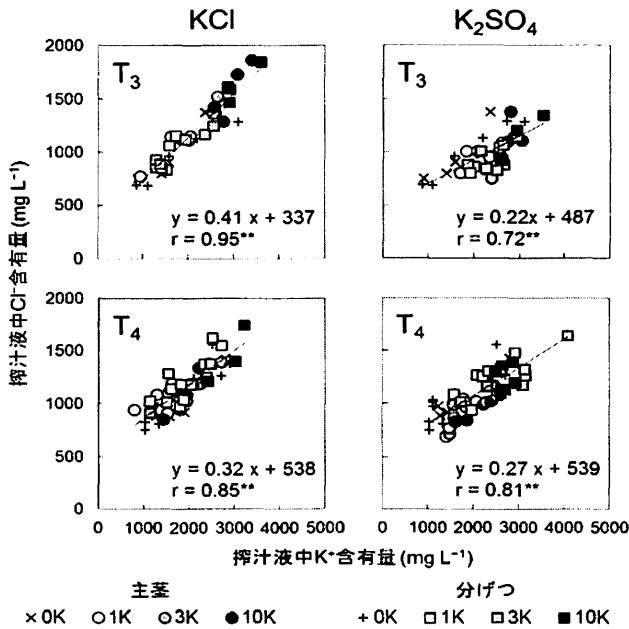


図6. 搾汁液中K<sup>+</sup>含有量とCl<sup>-</sup>含有量の関係 (試験2).

サンプリングは2014年10月9日 (T<sub>3</sub>) および2015年3月13日 (T<sub>4</sub>) に行った. \*\*は1%水準で有意であることを示す.

表 5. KCl および  $K_2SO_4$  処理が土壤中イオン含有量に与える影響 (試験 2).

		pH	EC mS m <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> mg 100 g <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg 100 g <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg 100 g <sup>-1</sup>
	栽培前	6.93	7.12	1.49	1.99	4.07
T <sub>3</sub>	0K	6.31 a	30.45 b	1.00 b	4.19 b	5.85 a
	1K	4.82 ab	27.30 b	1.16 b	4.57 b	7.72 a
	KCl 3K	5.49 ab	39.55 ab	3.03 b	8.27 b	8.87 a
	10K	6.38 a	82.38 a	14.15 a	19.61 a	19.76 a
	1K	5.39 ab	25.91 b	1.40 b	4.13 b	7.84 a
	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3K	3.98 b	30.90 b	2.92 b	3.46 b	11.08 a
	10K	4.05 b	28.90 b	3.16 b	4.19 b	9.53 a
T <sub>4</sub>	0K	6.61 abc	12.74 a	0.79 a	3.42 a	6.67 a
	1K	6.45 abc	11.53 a	0.45 a	3.70 a	8.54 a
	KCl 3K	6.72 ab	16.49 a	1.04 a	2.20 a	8.67 a
	10K	6.87 a	21.78 a	1.34 a	2.55 a	11.68 a
	1K	6.65 ab	17.81 a	0.53 a	2.47 a	14.18 a
	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3K	6.23 c	11.11 a	0.84 a	1.97 a	11.31 a
	10K	6.32 bc	14.10 a	1.99 a	2.34 a	18.73 a

サンプリングは 2014 年 10 月 9 日 (T<sub>3</sub>) および 2015 年 3 月 13 日 (T<sub>4</sub>) に行った. 各サンプリング時期において異なるアルファベット間には 5%水準で有意差があることを示す (Tukey 法).

が吸収されたり, 降雨等によって肥料の溶脱が生じたためだと推測した.

以上, 試験 1 から K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>は圃場条件下でも糖度低下の要因となりうることを, 試験 2 から KCl が過剰に施肥されると土壤中および搾汁液中 K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>含有量が増加し, 収量および糖度を低下させることが明らかになった. しかし, その搾汁液中含有量には肥料以外の要因も影響すると考えられたため, 施肥管理の面からだけでなくクリーニングクロープを用いて残存する K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>を除去したり, 塩濃度の低い灌漑水を用いるなど栽培環境全体の K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>を低減する必要があると考えられた. Watanabe et al. (2016b) は特に糖度低下の主要因と考えられた Cl<sup>-</sup>量を減らすため現行の KCl 施肥量の低減, もしくは K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> の代替利用を行う必要があると述べているが, ポット条件下と異なり圃場条件下では試験 1 の K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 区でも搾汁液中 K<sup>+</sup>,

Cl<sup>-</sup>含有量と糖度の間にも負の相関関係が確認されたことから, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 代替利用ではなく KCl 減肥によって K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>による糖度低下を回避する方法が有効であると考えられた. 沖縄県の多くの圃場ではすでに十分量のカリが蓄積されている (大田ら, 2000) ことや試験 2 においてカリを全く与えなかった 0K 区でも慣行栽培 (KCl 1K) 区より高い可製糖量が得られたことからカリを減肥できる可能性は十分にある. 今後は K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>存在量の異なる栽培圃場でこのような KCl 減肥が実際に糖度および可製糖量の向上に有効であるか研究する予定である.

**Abstract:** From the previous reports, it was revealed that, under pot conditions, different potassium fertilizers had different effects on sugarcane quality and sugar concentration was reduced only with increasing potassium chloride (KCl) levels,

while potassium sulfate ( $K_2SO_4$ ) had no adverse effect. To investigate the effects on sugarcane yield and quality under field conditions, two field experiments with different types and/or levels of potassium fertilizer were conducted. Three plots were set up applying the same amount of potassium as the conventional plot but with different kinds of fertilizer, KCl and potassium sulfate ( $K_2SO_4$ ) in the first experiment. In all the plots, juice  $K^+$  and  $Cl^-$  concentrations had significantly negative correlations with sugar concentration. The second experiment was consisted of seven plots changing types (KCl and  $K_2SO_4$ ) and levels (0, 6, 18 and 60 kg  $10a^{-1}$ ) of potassium. Juice and soil  $K^+$  and  $Cl^-$  concentrations were increased by increasing KCl doses. The relationships were not as clear as the first experiment, however, pol in cane decreased with an increase of juice  $K^+$  and  $Cl^-$  concentrations. The plot treated with the highest KCl amount had the lowest pol in cane and millable cane yield, resulting in the lowest sugar yield. From these, it was concluded that  $K^+$  and  $Cl^-$  could be harmful factors to sugar content under field conditions as well and both sugarcane yield and quality are negatively influenced in fields where  $K^+$  and  $Cl^-$  are excessively accumulated. Less KCl should be applied in such areas for the quality improvement; and besides, we need to lower  $K^+$  and  $Cl^-$  existing in the environments by other ways as well as fertilizer management practices.

#### 引用文献

- Akhtar, M. and Akhtar, M. E. 2002. Effect of different levels of potassium on agronomic traits, productivity and quality of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). Asian J. Plant Sci. 1: 349-351.
- Almeida, H. J., Cruz, F. J. R., Pancelli, M. A., Flores, R. A., Vasconcelos, R. L. and Prad, R. M. 2015. Decreased potassium fertilization in sugarcane ratoons grown under straw in different soils. Aust. J. Crop Sci. 9: 596-604.
- Golabi, M., Naseri, A. A. and Kashkuli, H. A. 2009. Mathematical modeling of the relationship between irrigation water salinity and sugarcane juice quality. J. Food Agric. Environ. 7: 600-602.
- Goos, R. J. 1987. Chloride fertilization: the basics. Crops Soils 39, 12-13.
- Hallmak, W. B., Williams, G. J., Hawkins, G. L. 2001. Effect of potassium sulfate vs. potassium chloride on sugarcane yields across two years. Sugarcane research annual progress report 2001. 173-183.
- Kafkafi, U. 2001. Introduction. In Potassium and chloride in crops and soils: the role of potassium chloride fertilizer in crop nutrition. International Potash Institute, Basel. 11-15.
- Khadr, M. S., Negm, A. Y., Khalil, F. A. and Antoun, L. W. 2004. Effect of potassium chloride in comparison with potassium sulfate on sugar cane production and some soil chemical properties under Egyptian conditions. IPI Regional Workshop on Potassium and Fertigation development in West Asia and North Africa, Rabat, Morocco, 24-28 November, 2004. 1-8.
- Khosa, T. M. 2002. Effect of different levels and sources of potassium on growth, yield, and quality of sugarcane. Better Crops International 16: 14-15.
- 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.
- Lingle, S. E., Wiedenfeld, R. P. and Irvine, J. E. 2000. Sugarcane response to saline irrigation water. *J. Plant Nutr.* 23: 469-486.
- 宮里清松 1986. 第6章 栽培, 第4節 肥料. In サトウキビとその栽培. 日本分蜜糖工業会, 沖縄. 257-293.
- 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.
- R Core Team 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing Vienna, Austria.
- Schnabl, H. and Raschke, K. 1980. Potassium chloride as stomatal osmoticum in *Allium cepa* L., a species devoid of starch in guard cells. *Plant Physiol.* 65: 88-93.
- Stuart, D. A. and Jones, R. L. 1978. Role of cation and anion uptake in salt-stimulated elongation of lettuce hypocotyl sections. *Plant Physiol.* 61: 180-183.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2004. 5 無機栄養. In 植物生理学 第3版. 培風館, 東京. 65-83.
- Thomas, J. R., Salinas, F. G. and Oerther, G. F. 1981. Use of saline water for supplemental irrigation of sugarcane. *Agron. J.* 73: 1011-1017.
- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Gov. Print. Office. 7733.
- Watanabe, K., Nakabaru, M., Taira, E., Ueno, M. and Kawamitsu, Y. 2016a. Relationships between Nutrients and Sugar Concentrations in Sugarcane Juice and Use of Juice Analysis for Nutrient Diagnosis in Japan. *Plant Prod. Sci.* 19: 215-222.
- Watanabe, K., Fukuzawa, Y., Kawasaki, S., Ueno, M. and Kawamitsu, Y. 2016b. Effects of potassium chloride and potassium sulfate on sucrose concentration in sugarcane juice under pot conditions. *Sugar Tech* 18: 258-265.