

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2報. サトウキビ搾汁液中イオンと甘蔗糖度の関係および栄養診断への搾汁液分析の利用

渡邊 健太<sup>1)</sup>・平良 英三・上野 正実・川満 芳信

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

Kenta WATANABE, Eizo TAIRA, Masami UENO and Yoshinobu KAWAMITSU: Studies on an Improvement of Sugarcane Quality through Fertilizer Management Practices. 2. Relationships between Ions in Sugarcane Juice and Pol in Cane and Use of Juice Analysis for Nutrient Diagnosis.

### 要約

施肥管理はサトウキビの糖度に影響を与える要因の一つである。我々は搾汁液に含まれる養分のうち、特にこれまでの報告よりサトウキビ品質との関係が強いと考えられた  $K^+$  と  $Cl^-$  を中心に甘蔗糖度との関係を調査し、施肥管理の面から糖度を改善する方法について検討した。また、搾汁液中  $K^+$ 、 $Cl^-$  含有量の簡易推定法として搾汁液電気伝導度 (EC) の測定が有効であるか調査した。2013年から2015年までの3年間、国内に存在する17の分蜜糖工場から収集した原料茎サンプルを分析した結果、搾汁液に最も多く含まれる陽イオンと陰イオンは  $K^+$  と  $Cl^-$  であり、これらのイオンと甘蔗糖度の間には常に1%水準で有意な負の相関関係が認められた。 $K^+$  および  $Cl^-$  含有量は生産地により有意に異なり、 $K^+$  および  $Cl^-$  含有量の高い地域で糖度が低くなる傾向がみられ、このような地域ではこれらのイオンがサトウキビ圃場に過剰に蓄積されていると考えられた。ECは  $K^+$ 、 $Cl^-$  含有量と高い正の相関を有することからECを測定することでこれらのイオンを簡易的に推定することが可能であると考えられた。基準糖度帯の下限13.1%となるECの予測値は  $817 \pm 283$

$mS\ m^{-1}$  であったことから、この値を指標とし、ECが一定の値を超えた翌年は一般的なカリ肥料であり  $K^+$ 、 $Cl^-$  の両方を含む塩化カリの施肥量を低減させることで糖度を向上させることが可能と考えられた。

キーワード：サトウキビ、甘蔗糖度、 $K^+$ 、 $Cl^-$ 、EC、施肥管理、栄養診断

### 緒言

本稿は Plant Production Science に掲載された「Relationships between Nutrients and Sugar Concentrations in Sugarcane Juice and Use of Juice Analysis for Nutrient Diagnosis in Japan」(Watanabe et al., 2016a) を和訳し、再編・加筆したものである。

施肥管理はサトウキビの品質に影響を与える要因の一つである (Meyer and Wood, 2001) が、適切な施肥管理を行うためには各圃場ごとの栄養状態を正確に把握する必要がある。植物体の栄養診断には葉身を用いる方法が一般的であり (Oliveira et al., 2010)、その診断結果から養分の過不足を判断し、作物生産を効率化させる施肥管理の決定を行うことが可能である。

サトウキビにおいても葉身を用いた栄養診断法は細かく定められており (Samuels et al., 1955), 有効な診断方法として国内外問わず広く用いられている (大城ら, 1994; Anderson et al., 1995; Kumar and Verma, 1997; 大田ら, 2000; Bokhtiar, 2004). しかしながら, 葉身の栄養状態は成熟や他の養分の吸収・分配にともない大きく変化することから診断結果が複雑である (Walworth and Sumner, 1987). そこで, 我々はサトウキビを収穫した際に得られる搾汁液を使って栄養診断を行い, その結果を次年度の施肥管理に利用する方法を考えた. 診断に搾汁液を使用するメリットは以下のとおりである.

- 葉身分析は一時的な栄養状態の評価のみに用いられるのに対し, 搾汁液分析は栽培期間中に吸収した養分の総量を明らかにできることからサトウキビ全体の栄養状態をより正確に反映する
- ショ糖も茎部に蓄積されることからサトウキビの品質は搾汁液に含まれる養分の種類と量に影響される (Gomathi and Thandapani, 2005)
- サトウキビの茎は収穫部位であり自動的に製糖工場へと収集されるため, 診断のために新たにサンプルを採取する必要がない
- サンプルが液体であるため分析前の調整が容易である

これまでに川満ら (1996) は, 南大東島および石垣島を対象にサトウキビの搾汁液中カリウム (K) 含有量と甘蔗糖度との間に負の相関関係が確認されたことから, 特に K を対象とした施肥管理が糖度向上に対して有効であることを報告している. また, Watanabe et al. (2016b) は KCl と  $K_2SO_4$  の施肥量を変更させたポット試験を行った結果, KCl 施肥区でのみ糖度の低下が確認されたことから K だけでなく塩素

(Cl) が糖度に影響を与える要因であると結論づけている. しかしながら, 川満ら (1996) は Cl を分析の対象には含めていなかったことから, これまで日本国内で搾汁液中の Cl と糖度との関係を調査した報告例は見られない. また, これらの報告はサトウキビの品質改善に搾汁液中 K および Cl 含有量の把握が重要であることを示唆しているが, 一般的な分析法では高額な機械や専門的な技術を要することから, 誰もがサトウキビの栄養状態を簡便かつ正確に把握できる方法が必要である. 海外では電気伝導率 (EC) が搾汁液中 K や Cl 含有量と強い関係性を有している (Kingston, 1982a; Lingle et al., 1997; Golabi et al., 2009) ことから, 日本でも EC メーターを用いて簡易的に K および Cl 含有量を推測できる可能性がある.

そこで, 国内の製糖工場から得たサンプルを用いて, K および Cl を含む搾汁液中養分と糖度の関係を調査し, 実際の生産現場で Cl がサトウキビの品質に与える影響を明らかにした. また, 同サンプルを用いて K および Cl の把握に EC の測定が有効であるか検証し, 施肥管理へのデータの利用について検討を行った.

## 材料および方法

分析は 2013~2015 年の 2~3 月にかけて収穫されたサトウキビを対象に行った. 3~4 kg の原料茎束を 1 サンプルとして, 鹿児島・沖縄県に点在する 17 の分蜜糖工場から毎年作型や品種の異なる 10 サンプルが琉球大学へと送付された. サンプルはトラッシュを除去したのちカッターグライнда (CG03, Jeffco) で細裂し, 均一になるよう攪拌した. 細裂試料 100 g を専用のカップに詰め, 近赤外線分光分析装置 (Infra Xact, Foss) を用いて甘蔗糖度を算出した. なお甘蔗糖度は 3 回の測定値の平均値とした. そ

の後、油圧プレスを用いて細裂試料 550 g を圧搾し、EC メーター (WM-32EP, Toa) を用いて搾汁液 EC を測定した。2013 年は 170 サンプル中 40 サンプル分の EC のデータが欠けているが、傾向を把握するのに十分なサンプル数であると判断した。また、イオンクロマトグラフ (ICS-1600, Thermo Fisher Scientific) を用いて分析可能なイオン ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) を対象に搾汁液中イオン含有量を測定した。陽イオン分析に使用したカラムは Ion Pac CS12A, 移動相は 20mM 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, 移動相は 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。サンプルは年、工場、作型、品種で分類し、より詳細な解析に用いた。また、3 年間の全サンプルを対象として、説明変数を EC, 目的変数を  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  含有量とする推定式を作成した。統計処理は統計解析ソフト R (R Core Team, 2014) を用いた。

## 結果

2013 年から 2015 年までの 3 年間、搾汁液中で最も含有量の高かったイオンは  $\text{K}^+$  であった (表 1)。次に高かったのは  $\text{Cl}^-$  であり、陰イオンの中では最大であった。 $\text{K}^+$  と  $\text{Cl}^-$  で全イオンの 70% 以上を占めることからこれら 2 つのイオンがサトウキビの搾汁液に存在する主要なイオンであると考えられた。3 番目に高かったのは  $\text{SO}_4^{2-}$  であり、他のイオンの含有量は 10 mM に満たなかった。3 年間を通じて  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  含有量と甘蔗糖度の間には 1% 水準で有意な負の相関関係が、 $\text{PO}_4^{3-}$  と甘蔗糖度の間には有意な正の相関関係が確認された (表 2)。しかし、 $\text{NO}_3^-$  および  $\text{PO}_4^{3-}$  は  $\text{K}^+$  および  $\text{Cl}^-$  と比較して搾汁液中含有量が著しく低かったため、施肥管理による影響が小さく、評価が難しいと考えた。また、他のイオンとの間にも有意な関係が見られることがあったが 3 年間を通して統一した傾向は見られなかった。以上より、サトウキビの糖度向上を達成するうえで  $\text{K}^+$  および  $\text{Cl}^-$  が最も重要な要因となることが明らかになっ

表 1. 2013～2015 年収穫サトウキビの搾汁液中イオン含有量 (mM)。

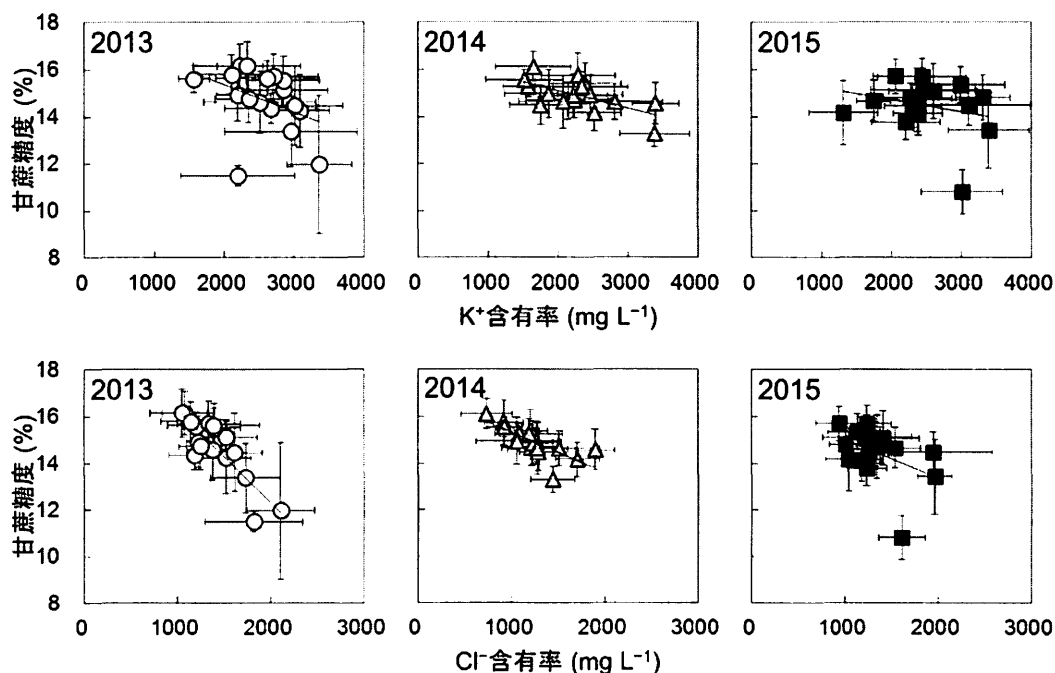
	2013	2014	2015	平均
$\text{Na}^+$	$3.5 \pm 2.6$	$2.1 \pm 1.2$	$3.3 \pm 2.2$	$3.0 \pm 2.2$
$\text{NH}_4^+$	$1.3 \pm 1.7$	$1.3 \pm 1.7$	$5.5 \pm 10.6$	$2.7 \pm 6.5$
$\text{K}^+$	$65.7 \pm 18.6$	$58.1 \pm 18.8$	$63.9 \pm 19.0$	$62.1 \pm 19.3$
$\text{Mg}^{2+}$	$8.4 \pm 2.5$	$9.4 \pm 2.9$	$7.7 \pm 2.6$	$8.5 \pm 2.8$
$\text{Ca}^{2+}$	$4.7 \pm 1.9$	$5.9 \pm 2.1$	$4.5 \pm 1.6$	$5.0 \pm 1.9$
$\text{Cl}^-$	$39.7 \pm 11.7$	$35.2 \pm 10.8$	$38.0 \pm 11.5$	$37.5 \pm 11.7$
$\text{NO}_2^-$	$0.0 \pm 0.0$	$0.1 \pm 0.5$	$0.0 \pm 0.1$	$0.0 \pm 0.3$
$\text{NO}_3^-$	$0.1 \pm 0.2$	$0.1 \pm 0.1$	$0.1 \pm 0.2$	$0.1 \pm 0.2$
$\text{PO}_4^{3-}$	$5.5 \pm 3.6$	$4.1 \pm 2.5$	$4.7 \pm 2.5$	$4.8 \pm 3.0$
$\text{SO}_4^{2-}$	$16.1 \pm 4.7$	$15.5 \pm 4.2$	$13.8 \pm 3.5$	$15.1 \pm 4.3$

平均値 ± 標準偏差。

表2. 搾汁液中イオン含有量と甘蔗糖度との間の相関係数.

	2013	2014	2015
$\text{Na}^+$	-0.57 **	-0.13	-0.03
$\text{NH}_4^+$	0.01	-0.11	-0.09
$\text{K}^+$	-0.32 **	-0.48 **	-0.29 **
$\text{Mg}^{2+}$	0.04	0.18 *	0.16 *
$\text{Ca}^{2+}$	-0.01	0.20 **	0.27 **
$\text{Cl}^-$	-0.63 **	-0.54 **	-0.39 **
$\text{NO}_2^-$	0.04	-0.01	-0.06
$\text{NO}_3^-$	-0.36 **	-0.34 **	-0.44 **
$\text{PO}_4^{3-}$	0.18 *	0.19 *	0.38 **
$\text{SO}_4^{2-}$	0.06	0.05	0.22 **
EC	-0.59 **	-0.60 **	-0.46 **

\*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1. 各工場の平均搾汁液中 $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ 含有量と平均甘蔗糖度との関係.

水平方向のバーは $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ 含有量の標準偏差を, 垂直方向のバーは甘蔗糖度の標準偏差を表す.

たのでこの2つのイオンを対象に解析を進めることとする。

図1は $K^+$ 、 $Cl^-$ 含有量と甘蔗糖度の関係を示したものであるが、1点が1工場の $K^+$ 、 $Cl^-$ 含有量と甘蔗糖度の平均値を示しているため、ひとつの図に17点がプロットされている。工場によってその値は大きく異なり、またこれらのイオンと甘蔗糖度との間には負の相関関係が確認された。すなわち、 $K^+$ 、 $Cl^-$ 含有量の高い地域ほど甘蔗糖度が低くなる傾向があることが明らかになった。

図1より搾汁液中 $K^+$ 、 $Cl^-$ 含有量には地域間

差が存在すると考えられたため、3年間にわたる各工場の $K^+$ 、 $Cl^-$ 含有量の平均値を表3に示した。分散分析の結果、すべての年で工場間の $K^+$ 、 $Cl^-$ 含有量に有意差が認められた。同じ工場から得られたサンプルであっても年により $K^+$ 、 $Cl^-$ 含有量には大きな違いがみられたが、いくつかの工場は3年間を通じて平均値よりも高い $K^+$ 、 $Cl^-$ 含有量を有していた（ $K^+$ ：新光糖業、翔南製糖、北大東製糖、石垣島製糖； $Cl^-$ ：南西糖業）。

$K^+$ 、 $Cl^-$ 含有量と甘蔗糖度との関係をより詳細に見るためサンプルを作型および品種で分類

表3. 各工場の2013～2015年収穫サトウキビの搾汁液中 $K^+$ 、 $Cl^-$ 含有量（ $mg\ L^{-1}$ ）。

	$K^+$ 含有率			$Cl^-$ 含有率		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015
新光糖業	2672	3378	3016	1188	1444	1614
富国製糖	2231	2392	2373	1081	1206	1384
生和糖業	1573	1574	1754	1203	1083	1541
南西糖業（伊仙）	2851	2143	2212	1519	1217	1240
南西糖業（徳和瀬）	2849	2464	2380	1396	1268	1349
南米糖業	3361	2238	3394	2107	1269	1968
与論島製糖	2201	1751	1314	1819	1289	1046
JAおきなわ伊是名支店	3087	2228	2444	1525	1234	1241
球陽製糖	2962	1866	2456	1731	1059	1238
翔南製糖	3015	2291	3312	1612	919	1329
久米島製糖	2513	1648	2318	1380	737	1259
北大東島製糖	2710	2341	3109	1337	1189	1948
大東糖業	2332	3394	2605	1048	1900	1413
宮古製糖（伊良部）	2195	2522	2282	1225	1710	1010
宮古製糖（城辺）	2355	2075	2389	1246	1282	1186
沖縄製糖	2111	1519	2063	1145	925	938
石垣島製糖	2618	2814	2992	1388	1510	1141
平均	2567	2273	2496	1409	1250	1346

した。30品種以上が分析に供試されたが、NiF8、Ni21、Ni22、Ni23、Ni27が最もサンプル数の多い5品種であったのでこれらの品種を解析の対象とした。3作型および5品種でサンプルを分類したときのK<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含有量と甘蔗糖度の間の相関係数を表4に示す。この関係は年

や作型、品種によって異なったが概して負の相関関係であった。Cl<sup>-</sup>含有量と甘蔗糖度の間には2015年の夏植えを除き、全作型において有意な関係が確認された。作型別では特に春植えや株出しで相関係数が高く、品種別ではNi22やNi23で高い傾向であった。

表4. 作型および品種ごとの搾汁液中K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含有量と甘蔗糖度との関係。

		K <sup>+</sup> 含有率			Cl <sup>-</sup> 含有率		
		2013	2014	2015	2013	2014	2015
作型	春植え	-0.24 **	-0.60 **	-0.55 **	-0.63 **	-0.52 **	-0.67 **
	夏植え	-0.06	-0.43 **	-0.11	-0.34 *	-0.55 **	-0.23
	株出し	-0.45 **	-0.46 **	-0.22	-0.73 **	-0.60 **	-0.28 *
品種	NiF8	0.07	-0.49 **	-0.18	-0.36 *	-0.42 **	-0.35 *
	Ni21	-0.12	-0.61 *	0.02	-0.11	-0.85 **	-0.79 **
	Ni22	-0.48 *	-0.61 **	-0.50 *	-0.80 **	-0.54 **	-0.32
	Ni23	-0.08	-0.36	-0.54 *	-0.77 **	-0.68 **	-0.43
	Ni27	-0.50 *	-0.22	-0.39 *	-0.37	-0.16	-0.64 **

\*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。

3年間の全サンプルを対象に、ECを説明変数に、K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含有量を目的変数として直線回帰した結果、決定係数はそれぞれR<sup>2</sup> = 0.82、0.73と高かったことからECの値をもとにK<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含有量の推定が可能であると考えられた(図2)。それぞれの回帰式はy = 3.9922x - 424.65、y = 2.0785x - 162.33となった。

次にECを説明変数に、甘蔗糖度を目的変数として直線回帰を行った(図3)。R<sup>2</sup> = 0.28と回帰の精度はそれほど高くはなかったが、ECの値から甘蔗糖度の推定がある程度可能であると考えられた。回帰式はy = -0.0046x - 18.005となった。2013年は全体の17.64%が、2014年は2.94%が、2015年は12.5%が基準糖度帯(13.1~14.3%)を下回ったサンプルであっ

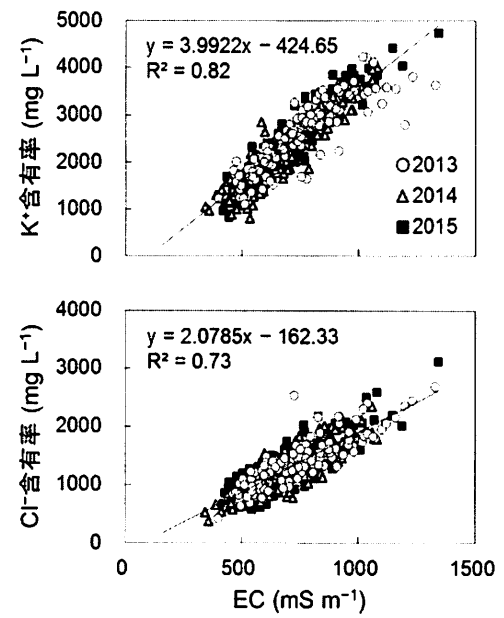


図2. 搾汁液ECと搾汁液中K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含有量との関係。

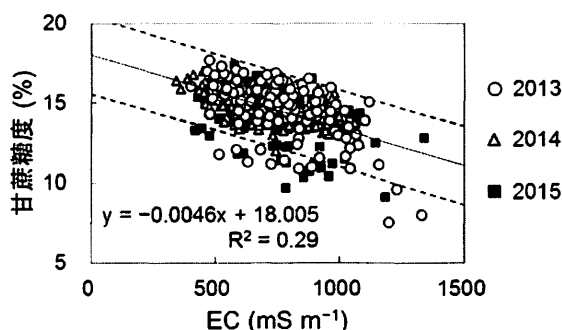


図3. 搾汁液 EC と甘蔗糖度との関係。

図中の点線で囲まれた範囲は甘蔗糖度の95%予測区間を，  
灰色部は品質取引時の基準糖度帯（13.1～14.3%）を示す。

た。また、甘蔗糖度から EC を逆推定するため、甘蔗糖度を説明変数、EC 目的変数とした場合の回帰式は  $y = -62.2499x + 1632.463$  となった。甘蔗糖度を基準糖度帯の下限 13.1%としたときの EC の予測値および 95%予測区間幅は  $817 \pm 283 \text{ mS m}^{-1}$ 、つまり 534～1100  $\text{mS m}^{-1}$  が 95%予測区間となった。

## 考察

3 年間にわたり、鹿児島・沖縄両県に存在する分蜜糖工場から供試されたサンプルの分析を行った結果、 $\text{K}^+$  および  $\text{Cl}^-$  がそれぞれ搾汁液中に最も多く含まれる陽イオンと陰イオンであり、これらの含有量と甘蔗糖度の間には有意な負の相関関係が認められた。これは、搾汁液中 K 含有量は糖度と負の相関関係を有するという川満ら (1996) の報告と一致するだけでなく、 $\text{Cl}^-$  が糖度低下の主要因であるという Watanabe et al. (2016b) の報告を支持するものである。供試サンプルの作型、品種、採取地などが毎年異なっていたにもかかわらず 3 年間同様の傾向が確認されたことから、 $\text{K}^+$  および  $\text{Cl}^-$  はサトウキビの品質に大きな影響を与えうる要因であり、これらを対象とした施肥管理が品質向上に有効

であると考えた。

生産地により搾汁液中  $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  含有量は大きく異なり、またその含有量の高い地域ほど糖度が低下する傾向が見られた。搾汁液中  $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  含有量と土壤中  $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  含有量の間には強い関係が存在する (Stevenson et al., 1970 ; Kingston, 1982a, Lingle and Wiegand, 1997) ことから、搾汁液中  $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  含有量の高かった地域では土壤中に過剰な量の  $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  が蓄積していたと考えられる。 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  の供給源の一つに最も一般的なカリ肥料である塩化カリ (KCl) がある。日本国内ではカリ施肥量は土壌、作型、品種などにより 5～25  $\text{kg 10a}^{-1}$  の範囲で細かく定められている (鹿児島県農林水産部, 2015 ; 沖縄県農林水産部, 2015)。一般的にサトウキビ栽培で使用される配合肥料には KCl 由来のカリが 6～15% 配合されていることからカリ配合割合の低い肥料を使用することが糖度向上に貢献すると考えられた。大田ら (2000) は沖縄県のサトウキビ生産地を対象に植物体と土壌の栄養診断を行った結果、サトウキビ葉身の K 含有量と土壌に含まれる交換性 K 含有量は大部分が基準値以上もしくは過剰であると報告している。また、Cl が海から飛来するような海岸

地帯ではしばしば  $\text{Cl}^-$  による害が観察される (Kafkafi, 2001). このように国内のサトウキビ産地には  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  が多量に存在すると推察されることから  $\text{KCl}$  の減肥は有効であると考えられる. 無駄な肥料コストを抑え, 低負荷型農業に貢献することから,  $\text{KCl}$  減肥は製糖業だけでなくサトウキビ生産農家や環境にとっても有益である. また,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  含有量と甘蔗糖度間の負の相関関係はサンプルを作型や品種で分類したときにも確認された. これは, この診断方法が作型, 品種にかかわらず有効であることを示唆している.

$\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  含有量同様,  $\text{EC}$  も甘蔗糖度と負の相関関係を有していた.  $\text{EC}$  と  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  含有量との間には高い正の相関関係が確認されたことから,  $\text{EC}$  を  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  の指標として利用できると考えられた.  $\text{EC}$  の測定は非常に簡便かつ迅速であり, 機器の値段も安価であることから, 海外では工場のラインに  $\text{EC}$  メーターを取り付け, 搾汁液中灰分量の推定に利用した例がある (Kingston, 1982b). 同様の方法を行うことで, 日本でも各圃場の推定  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  含有量を農家に提供し, データの施肥管理への利用が可能であると考えられた. 甘蔗糖度を説明変数,  $\text{EC}$  を目的変数として回帰分析を行い甘蔗糖度が基準糖度帯の下限 13.1% となる  $\text{EC}$  の値を予測したところ, 予測値は  $817 \text{ mS m}^{-1}$ , 95% 予測区間は  $534 \sim 1100 \text{ mS m}^{-1}$  となったことから,  $\text{EC}$  が  $1100 \text{ mS m}^{-1}$  以上となった翌年は,  $\text{KCl}$  割合の低い肥料の使用を農家に勧めるなどの対策が可能であると考えられた. しかしながら,  $\text{EC}$  が  $1100 \text{ mS m}^{-1}$  以上のサンプルは 3 年間を通じて 8 サンプルしか該当しなかったことから予測値である  $817 \text{ mS m}^{-1}$  を指標とする検討も行う必要がある. また, 収穫茎だけでなく立毛茎を対象に搾汁液  $\text{EC}$  を測定することでカリの

追肥管理にもこの技術を応用できる可能性もある. 今後は, 収量への影響も考慮したうえで  $\text{EC}$  が高かった場合にどの程度  $\text{KCl}$  施肥量を減らす必要があるのかを明らかにし, このような栄養診断法による施肥管理の有効性を調査する予定である.

## 謝辞

搾汁液サンプルの分析およびデータの整理にご協力いただいた NPO 亜熱帯バイオマス研究センターの田崎厚也氏および古川昇氏に深く感謝の意を表する.

**Abstract** Fertilizer management practice is one of the factors that influence sugarcane quality. We focused on nutrients present in sugarcane juice, especially  $\text{K}^+$  and  $\text{Cl}^-$  which were thought to be harmful to sugarcane quality from previous reports, and investigated relationships with pol in cane (PIC) to achieve a quality improvement through fertilizer management practices. Moreover, we examined the effectiveness of measuring juice electrical conductivity ( $\text{EC}$ ) to easily estimate  $\text{K}^+$  and  $\text{Cl}^-$  concentrations. From 2013 to 2015, we collected sugarcane samples from all of the sugar mills in Japan. Juice analysis over the three years showed that  $\text{K}^+$  and  $\text{Cl}^-$  were the most abundant cation and anion in the juice and that both negatively correlated with PIC.  $\text{K}^+$  and  $\text{Cl}^-$  concentrations significantly varied depending on production areas and those with higher  $\text{K}^+$  and  $\text{Cl}^-$  concentrations had a low sucrose concentration. This finding suggests that sugarcane in those areas may have been supplied with these two ions in excess.  $\text{EC}$  always positively correlated with  $\text{K}^+$  and  $\text{Cl}^-$  concentrations and the



mean EC of samples with lower PIC than the standard value (13.1 to 14.3%) was 900 mS m<sup>-1</sup>. EC may thus be a reliable indicator of K<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> concentrations and could be used for nutrient diagnosis because of its ease of measurement. For improving sugarcane quality, we recommend that potassium chloride, which supplies both K<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> and is a commonly used potassium fertilizer for sugarcane production in Japan, should be used in lower quantities in a year following one in which the EC of sugarcane juice at harvest is higher than 900 mS m<sup>-1</sup>.

#### 引用文献

- Anderson, D. L., de Boer, H. G. and Portier, K. M. 1995. Identification of nutritional and environmental factors affecting sugarcane production in Barbados. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26: 2887-2901.
- Bokhtiar, S. M. 2004. Interrelation of soil and plant factors with sugar accumulation and maturity of sugarcane and ratoon. *Bangl. J. Bot.* 33: 63-67.
- 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.
- Gomathi, R. and Thandapani, T. V. 2005. Salt stress in relation to nutrient accumulation and quality of sugarcane genotypes. *Sugar Tech* 7: 39-47.
- Kafkafi, U. 2001. Introduction; Potassium and chloride in soils. In *Potassium and chloride in crops and soils: the role of potassium chloride fertilizer in crop nutrition*, 11-15, 29-47. Basel: International Potash Institute.
- 鹿児島県農林水産部 2015. 土壌改良および施肥改善指針 9. サトウキビ [http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_sehi\\_kizyun/pdf/08460105chap1\\_6to1\\_11.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/pdf/08460105chap1_6to1_11.pdf)
- 川満芳信・上野正実・渡嘉敷義浩・永江哲也・大見のり子・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－南大東島と石垣島の場合－. *沖縄農業* 31: 2-10.
- Kingston, G. 1982a. Ash in first expressed cane juice at Rocky Point?I. Factors affecting the inorganic composition of juices. *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.* 1982 Conf. 11-17.
- Kingston, G. 1982b. Ash in first expressed cane juice at Rocky Point?II. Effects of geography and varieties. *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.* 1982 Conf. 19-22.
- Kumar, V. and Verma, K. S. 1997. Relationship between nutrient element content of the index leaf and cane yield and juice quality of sugarcane genotypes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28: 1021-1032.
- Lingle, S. E. and Wiegand, C. L. 1997. Soil salinity and sugarcane juice quality. *Field Crops Res.* 54: 259-268.
- 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.
- 沖縄県農林水産部 2015. さとうきび栽培指針. [http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_sehi\\_kizyun/pdf/satokibi.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/pdf/satokibi.pdf)
- Oliveira, S. R., Neto, J. A. G., Nobrega, J. A. and Jones, B. T. 2010. Determination of macro- and micronutrients in plant leaves by

- high-resolution continuum source flame atomic absorption spectrometry combining instrumental and sample preparation strategies. *Spectrochim. Acta B*. 65: 316-320.
- 大城正市・伊敷元光・高江洲賢文 1994. さとうきびの栄養診断調査. 沖縄甘蔗糖年報 28: 7-12.
- 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 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing Vienna, Austria.
- Samuels, G., Landrau, P., Alers, S. A. 1955. Part I: taking the sugarcane-leaf samples. In *The method of foliar diagnosis as applied to sugarcane*. University of Puerto Rico, San Juan. 8-22.
- Stevenson, D. M., McGrath, G. J. and Statham, M. K. 1970. A potash survey in the Pioneer mill area. *Proc. Qd. Soc. Sugar Cane Technol.*, thirty-seventh Conf. 39-49.
- Walworth, J. L. and Sumner, M. E. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Advances in Soil Sci.* 6: 149-188.
- 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.