

研究論文

## 東三河のサトウキビの品質に及ぼす低温の影響

岡田 正三<sup>1)</sup>・上野 正実<sup>2)</sup>・平良 英三<sup>1)</sup>・渡邊 健太<sup>1,3)</sup>・川満 芳信<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>琉球大学農学部, <sup>2)</sup>NPO 亜熱帯バイオマス利用研究センター,

<sup>3)</sup>Mitr Phol Sugarcane Research Center

Shozo OKADA, Masami UENO, Eizo TAIRA, Kenta WATANABE, Yoshinobu KAWAMITSU:

Effects of low temperature on the quality of sugarcane in Higashi-Mikawa region.

### 要約

本研究では、低温と霜がサトウキビの品質に与える影響を明らかにし、温帯地域におけるサトウキビ生産の可能性を検討した。2013 年度～2015 年度の 3 年間、東三河（北緯 34° 48' 11", 東経 137° 21' 51"）と沖縄（北緯 26° 15' 8", 東経 127° 45' 50"）においてサトウキビの品質を 9 月～3 月に毎月測定した。東三河で栽培した NiF8 の収量は沖縄とほぼ同じであった。強い降霜の前の 12 月までは沖縄と同様に甘蔗糖度は上昇し、1 月以降明確に低下する傾向が見られた。増減の傾向と最大糖度の出現時期は年度によって大きな差があった。甘蔗糖度は -2.0℃ 以下の低温、もしくは、0℃ よりわずかに低い気温でも持続時間が長いと影響を受けた。沖縄では 3 月～5 月まで収穫されているが、東三河では 12 月までに収穫する必要があることがわかった。

キーワード：東三河、温帯地域、低温、霜、甘蔗糖度

### 1 はじめに

サトウキビはわが国では種子島以南の南西諸島において広く栽培されている。歴史的には、

江戸時代から 1960 年頃までわが国の広範な地域でサトウキビが栽培されていた実績が残っている（岡田, 2017）。現在でも九州、四国、本州のいくつかの地域でわずかながら栽培されている。和三盆糖として伝統的な地域特産物となっている香川県（讃岐）や徳島県（阿波）はもとより、宮崎県日南市、福岡県朝倉市、高知県黒潮町、静岡県掛川市などでは昭和末期から平成初期にかけて小規模ながら栽培と砂糖づくりが復活し、最近では千葉県東金市においても栽培の動きが見られる（岡田, 2016）これらの地域は温帯に属し、必ずしもサトウキビの生産適地ではないが、昨今の温暖化の影響もあって熱帯性の作物が北上して栽培されるケースが見られる。加えて、品種改良や栽培技術の向上などによって、西南暖地は再びサトウキビの生産地となる可能性も無視できない。

亜熱帯と温帯の違いは冬季における気温差で、サトウキビの生育や品質に大きく影響する。温帯と亜熱帯の境界ゾーンにある種子島の一部地域では、サトウキビ品質に対する霜害が例年報告されている。世界の栽培地では、アメリカのルイジアナ、アルゼンチン、イラン、中国の一部など、幅広い地域で低温や降霜の被害を受けている。しかしながら、わが国では低温や霜

の影響について研究した報告例はほとんど見られない。著者らは温帯地域においてサトウキビ栽培を検討しているが、それには栽培可能性の確認に加えて、低温や霜が品質に及ぼす影響を把握しておく必要がある。そこで、本研究では、東三河における生育特性の把握と並行して生育中の品質を経時的に測定して低温および霜の影響を分析した。

## 2 材料および方法

### (1) 気象条件

東三河は愛知県の東南部に位置し、静岡県の遠州地方と接している。東三河南部の日平均気温は16.1℃、年平均降水量は1,621mmであり、年間を通じて比較的温暖で冬季の降雪、積雪はほとんどない地域である。梅雨明けの7月中旬

から9月中旬にかけては、最低気温が20℃を超える日が続くようになる。10月上旬より平均気温が20℃以下となる。3月から10月は123～228mm/月の降水量があったが、11月から2月は、53～97mmと乾燥傾向にある。

表1に東三河南部の直近3年間の気候を示す。同表で、東三河は気象庁豊橋地域気象観測所(北緯34°45'24", 東経137°20'30")のデータを用いた。沖縄は、亜熱帯気候の代表的存在として、比較のために那覇気象台(北緯26°12'30", 東経127°41'12")のデータを使用した。豊橋の最近10年間(2006/4～2016/3)の平均最低気温は-2.5℃である。最低気温は2006/07年に限って0.3℃であったが、他の年は-1.3(2007/08)～-4.4(2011/12)となっている。

表1. 東三河南部の直近3年間の気象.

		豊橋(愛知)	那覇(沖縄)
降水量(年)	2013/4～2014/3	1533 mm	2234 mm
	2014/4～2015/3	1543 mm	2271 mm
	2015/4～2016/3	1787 mm	1859 mm
平均気温(年)	2013/4～2014/3	16.1 ℃	23.0 ℃
	2014/4～2015/3	15.8 ℃	23.0 ℃
	2015/4～2016/3	16.5 ℃	23.6 ℃
最高気温	2013/4～2014/3	36.1 ℃	34.8 ℃
	2014/4～2015/3	34.0 ℃	33.9 ℃
	2015/4～2016/3	33.8 ℃	33.8 ℃
最低気温	2013/4～2014/3	-2.0 ℃	10.3 ℃
	2014/4～2015/3	-1.8 ℃	9.6 ℃
	2015/4～2016/3	-4.3 ℃	6.1 ℃
日照時間(年)	2013/4～2014/3	2509.1 hours	1677.6 hours
	2014/4～2015/3	2314.8 hours	1618.4 hours
	2015/4～2016/3	2239.6 hours	1608.3 hours

### (2) 研究期間およびサンプル

#### 1) 研究期間

2013年4月～2016年3月において実験を行った。

- ・2013年度：霜の影響が少ない2013年11月30日、2回目は影響もありうる12月15日、3回目は影響を受けていると考えられる1月

14日、4回目はその30日後の2月13日、5回目は3月15日に採取した。

- ・2014年度、2015年度：10月以降1か月ごとにサンプリングして品質を測定した。

#### 2) 栽培圃場と品種

愛知県東三河南部の豊川市宿町に栽培圃場(北緯34°48'11", 東経137°21'51")を設置し

た(図1)。ここは豊川右岸の河岸段丘に位置し黒ボク土である。約1,300 m<sup>2</sup>の圃場内に3畦(畦間1.5m)×10mのブロックを20ブロック設けた。供試品種は日本で広く栽培されているNiF8を用いた。毎年4月に2節苗を4本/mの

密度で植付け、次年度以降は株出も行った。沖縄の品質データ取得のために、琉球大学農学部試験圃場(北緯26°15'8", 東経127°45'50")で新植したNiF8も用いた。

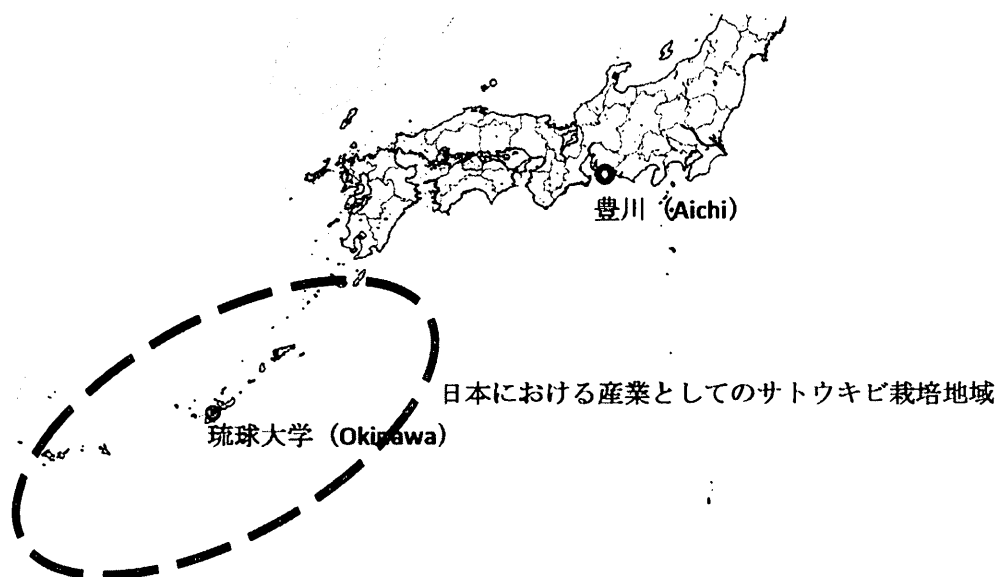


図1. 東三河(豊川)と沖縄(琉球大学)の圃場位置。

### (3) 測定方法

#### 1) 生育および収量の測定

生育調査は可能な限り毎日行った。地上から梢頭部(最上位完全展開葉の肥厚帯)までを仮茎長とし、その長さを測定した。収穫期に収量調査を行った。1ブロック2mの畦長を3反復して測定、平均を求め、それを基に10a当りの単収を算出した。

#### 2) 品質測定

原則的に月1回の間隔で3kg程度のサンプルを無作為に採取し、琉球大学農学部の品質評価室に輸送して甘蔗糖度(PIC; Pol in Cane)を測定した。また、強い低温によって顕著な品質変化が予想される場合には2週間間隔で測定

した。

品質の測定は、わが国の分蜜糖工場で行われている測定法に準じて行った。サンプルをカッターグラインダ(CGO3)で細裂し、細裂サンプルの一部を用いて近赤計線分光分析装置(NIR analysis instrument (Foss, InfraXact))にて甘蔗糖度を測定した。また、500g程度の細裂サンプルを油圧プレスで搾汁(圧力:255MPa, 加圧時間:1分)し、ブリックス計および自動旋光計(Anton Paar, MCP 500)を用いて、蔗汁ブリックスおよび蔗汁糖度を測定した。

#### 3) 気象データ

前述のように気象庁豊橋地域気象観測所のデータを利用した。

3 結果と考察

(1) 研究期間中の東三河の気候の概要

愛知県東三河（豊橋）のこの10年間（2006年4月～2016年3月）の最低気温の平均は-2.5℃である。2013/2014期は最低気温-2.0℃で、氷点下の日も17日、-1℃以下は6日だけで、この10年間に於いて3番目の寒さが弱い年であった。2015/2016の最低気温は-4.4（1月25日）で、2011年に次ぐ寒い年となった。

(2) 生長と収量

1) 仮茎長の変化

図2にNiF8の生育特性を把握するために仮茎長の変化を示す。東三河の栽培では、4月に

苗を植付けると5月以降に発芽する。7月上旬までの伸長（生長）速度は10mm/日以下であるが、梅雨明けの7月下旬から9月上旬にかけて、20mm/日以上伸長を示す。9月中旬から伸長は鈍くなり、10月中旬は5mm/日程度、11月は1日当たり1mm/日程度になり、11月下旬からは伸長が停止する。株出の方が春植よりよく伸長し、収穫期には40～60cmの差が見られる。

表2は東三河の圃場で栽培したサトウキビの収量から1ha当たりの単収を算出したものである。沖縄本島南部の単収は沖縄県庁のHPで紹介されている実績値である。実験圃場のデータは実績値より高くなる傾向があるが、目安として見ても沖縄と遜色のない収量が得られた。

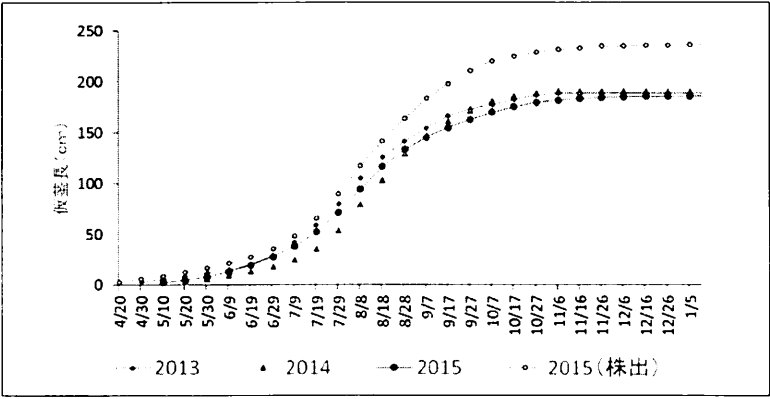


図2. NiF8の仮茎長の変化。

表2. 東三河（左）と沖縄本島南部（右）における新植と株出の甘蔗糖度。

年度	単 収 t/10a		Brix. %		甘蔗糖度 %		単 収 t/10a		甘蔗糖度 t/10a	
	新植	株出	新植	株出	新植	株出	新植	株出	新植	株出
2013	6.6	8.4	18.1	18.2	13.4	13.6	4.8	5.5	14.6	
2014	5.7	8.5	17.2	18.5	12.2	13.2	4.3	5.1	14.0	
2015	5.1	8.3	19.6	20.1	14.9	15.9	5.7	6.1	14.0	
平均	5.8	8.4	18.3	18.9	13.5	14.2	4.9	5.6	14.2	

## 2) 低温による葉色の変化

東三河では、例年11月中旬になるとそれまで濃い緑であった葉が黄緑色に変色し、12月中旬頃にはさらに黄色が強くなる。12月下旬～3月上旬にかけて霜があり、年末頃にはサトウキビの葉は生気を失い、1月には低温によって、葉は乾燥・枯死して白色が加わり、薄緑と灰を混ぜ合わせたような色に変色する。2月以降は、葉は割け、残された葉鞘も落葉した枯葉と同じ色に変わる。2015/2016期だけは葉の変色が3週間遅かった。

## (3) 甘蔗糖度 (PIC) への低温の影響

冬季におけるサトウキビの品質変化すなわち低温の影響を調べた。

### 1) 2013/14 年

図4に2013/14年期の気温と糖度の変化を示す。1月3日採取のサンプルが甘蔗糖度のピー

クを示し、それまでは上昇傾向が見られる。そして、1月18日以降のサンプルの甘蔗糖度は低下した。2013年12月には氷点下の日はなかった。12月29日からの3日間は最低気温が0.3, 0.0, 0.2℃と続き、軽い霜も確認された。その過程で、葉の色が黄緑色から黄色に変化した。その後の1月3日に採取したサンプルの甘蔗糖度は低下していなかった。氷点下の日は1月6日以降2月7日までに15日あったが、氷点下の継続時間はほとんどの日が1時間以内であった。低温の顕著な日は1月6日(−2.0℃)、1月16日(−1.4℃)、1月24日(−1.2℃)、1月28日(−1.3℃)と2月6日(−1.9℃)であった。1月18日採取のサンプルの甘蔗糖度の低下は1月6日など事前の低温が影響した結果で、最低気温が−2℃以下になるか、0℃よりわずかに低い気温でも数時間持続すると顕著に低下するものとする。

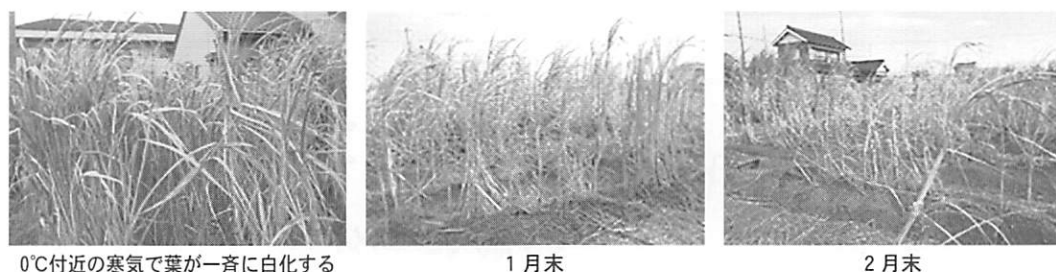


図3. サトウキビの葉色の変化の状況。

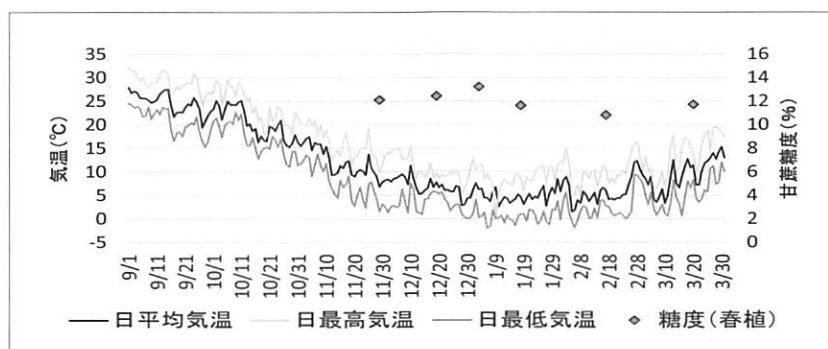


図4. 気温の変化と甘蔗糖度の推移 (2013/14 年度)。

## 2) 2014/15 年 期

図5に2014/15年期の気温と甘蔗糖度の変化を示す。全体的に春植と株出のいずれも同じ傾向が見られる。12月20日に採取したサンプルの甘蔗糖度が最高値で、12月20日以前のそれは上昇傾向にあり、12月20日以後は下降している。1月5日採取のサンプルの甘蔗糖度は春植(10.3%)、株出(11.6%)ともに12月20日サンプルの甘蔗糖度より低下している。これは12月28日の最低気温が $-1.8^{\circ}\text{C}$ であったことと $-1.0^{\circ}\text{C}$ 以下が4時間継続したことの影響と考える。この年度に最低気温が氷点下になったのは12月8日( $-0.3^{\circ}\text{C}$ )から3月13日( $-0.1^{\circ}\text{C}$ )までの間で計13日間であった。氷点下になった日は12月に7回もあり、最低気温を記録したのは12月28日( $-1.8^{\circ}\text{C}$ )であった。しかし、氷点下の持続時間は30分以内の日が10日間あり、しかも $-1^{\circ}\text{C}$ 以下の低温になったのは12月

28日( $-1.8^{\circ}\text{C}$ )と2月11日( $-1.4^{\circ}\text{C}$ )の2日だけで、例年に比べて暖冬であった。

1月18日採取のサンプルの甘蔗糖度は、春植、株出ともに1月3日採取の糖度より高い数値となっている。これは、12月28日の低温が完全に全てのサトウキビを枯死させるほどの強度でなかったことと、 $-1^{\circ}\text{C}$ 以下の低温になった日が2月11日までなかったことによる現象と考える。

2014/15年期については春植だけでなく株出のサンプルの測定も行った。春植より株出の方がすべてのサンプルにおいて高い甘蔗糖度が得られた。これは、春植より早く萌芽して、生育期間が長くて生長が良好なことが要因と考えられる。株出の方が新植より茎径が太く、かつ、株数が多くて密集していることも低温によるダメージを少なくする一助になっていると考えられる。

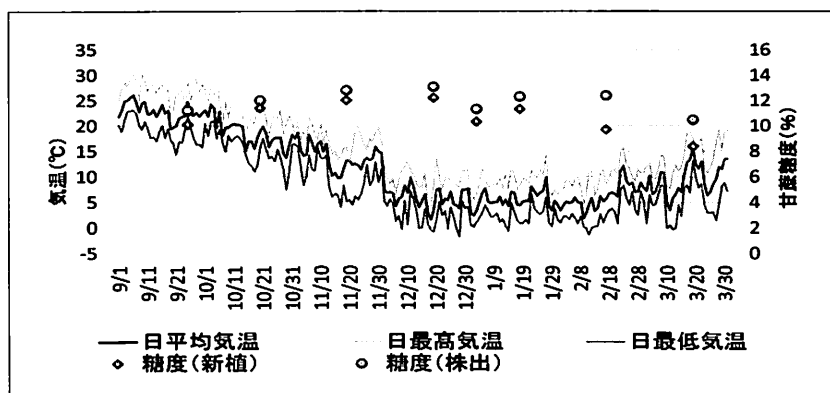


図5. 気温の変化と甘蔗糖度の推移 (2014/15 年 期)。

## 3) 2015/16 年 期

図6に2015/16期の気温と糖度の変化を示す。2015/16年期の甘蔗糖度のピークは1月11日で、それまでは上昇傾向を示し、1月26日以降は低下傾向が認められた。2015/16年期の特徴と

して、ピーク値が例年に比べて高いこと、そして1月以降の下降は顕著であった。2015/16年期は、サトウキビの品質に影響の出るような低温になるのが遅く、1月中旬までは感じられるような霜は降りなかった。1月2日( $-0.1^{\circ}\text{C}$ )

と1月13日(−0.6℃)は氷点下になったが、葉は緑色を維持していた。しかし、その後の1月17日(−2.1℃)、1月24日(−1.9℃)、1月25日(−4.3℃)、2月8日(−3.0℃)の低温は影響を及ぼした。1月17日の低温によって葉が黄緑化し、25日の低温によって葉に残されていた緑色はすべて消失した。その後の2月8日(−3.0℃)を経て、葉は完全に枯葉状態に変化した。

甘蔗糖度は12月までは上昇した。1月11日採取のサンプルの甘蔗糖度は14.8%で、ほぼ横ばいであった。1月2日(−0.1℃)の低温は大きく影響していないようであった。しかし、1

月17日の低温(−2.1℃)は、1月26日採取のサンプルの甘蔗糖度(13.3%)が下がっていることから、影響を及ぼしたことがわかる。さらに、2月11日採取のサンプルは甘蔗糖度(11.8%)が下降している。これは、1月24、25日および2月8日の低温が強く影響した結果と考えられる。

2015/16年期も株出の方が春植より甘蔗糖度は高い結果が得られた。春植による栽培は5月中旬以降に発芽しているが、株出による栽培では3月には萌芽し始めている。株出による栽培の方が、春植よりも30~40日間、生育期間が長いことの影響と考えられる。

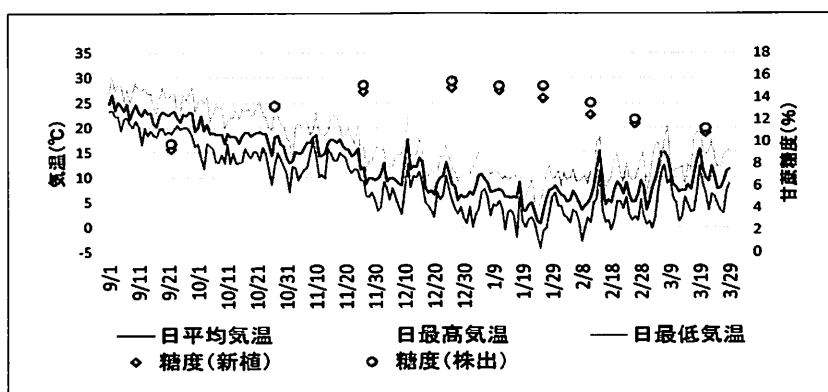


図6. 気温の変化と甘蔗糖度の推移 (2015/16年期)。

#### (4) 沖縄(亜熱帯地域)との比較

図7は東三河と沖縄の3年間の甘蔗糖度の変化をまとめたものである。新植は植付け時期が異なることもあって年による差はあるが、3年間とも同様な傾向が認められた。両者の特徴は次のとおりである。

- ① 沖縄のサンプルは、12月になって13.0%を超すようになり、1月には14.0%以上になった(同図B)。その後ほぼ同じ、もしくはやや増加した。

- ② 東三河では、3期とも糖度の推移にピークが見られ、甘蔗糖度は12~15.5%に達する。その後、1月から3月にかけて著しく低下している。

- ③ 甘蔗糖度のピークの出現時期は年によって異なる。

- ④ 糖度の最高値は沖縄の方が高い。

- ⑤ 東三河では10月以降に甘蔗糖度が急上昇し、13.3ないし15.5%まで達し、甘蔗糖度は沖縄より早くピーク時が現れる。

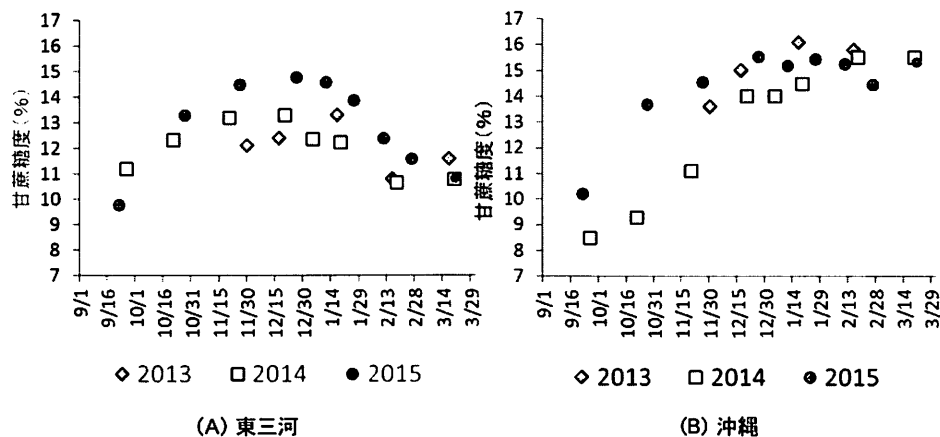


図7. 東三河 (A) と沖縄 (B) の甘蔗糖度の変化。

#### 4 むすび

本研究では、低温や霜のサトウキビの収量と品質に及ぼす影響を明らかにし、日本の温帯地域におけるサトウキビ生産の可能性を検討した。3年間の実験によって次の結果が得られた。

- ① 東三河での NiF8 は沖縄の春植とほぼ同程度の収量が得られた。
- ② 甘蔗糖度 (PIC) は大きな霜の降りる前の12月までは沖縄のサンプルと同様に上昇している。
- ③ 1月以降の甘蔗糖度の推移およびその最大値の出現位置は年によって明らかな違いがあった。甘蔗糖度は霜や氷点下による低温による影響が顕著であった。
- ④ NiF8 は東三河では11月から12月に収穫と製糖が可能である。
- ⑤ 沖縄では3月や5月まで収穫されているが、東三河では12月までに収穫する必要がある。
- ⑥ 甘蔗糖度は $-2.0^{\circ}\text{C}$ 以下の低温、もしくは、 $0^{\circ}\text{C}$ よりわずかに低い気温でも持続時間が長いと顕著に低下した。

#### 謝辞

本研究において、品質分析で助力いただいた琉球大学農学部作物学研究室の松原拓磨氏をはじめ多くの大学院生・学生諸君に感謝いたします。また、東三河での栽培用に苗を提供いただいた方々にも紙面を借りてお礼を申し上げます。

#### Abstract

In this study, we revealed the effects of low temperature and frost on yield and quality, in order to examine the potential of the sugarcane production in the temperate area of Japan. Sugarcane was cultivated during three years since 2013 to 2015 in Higashi-Mikawa ( $34^{\circ}48'\text{N}$ ,  $137^{\circ}22'\text{E}$ ) and Okinawa ( $26^{\circ}15'\text{N}$ ,  $127^{\circ}46'\text{E}$ ). Sugar content, that is, pol in cane (denoted as PIC) was measured every month from September to March. The yield of NiF8 of the spring plant cane in Higashi-Mikawa was almost same as that of Okinawa. PIC of Higashi-Mikawa increased until December before the strong frost, which was a similar trend of Okinawa. Then, it decreased clearly from January. The trend of



increase-decrease and the appearance timing of the maximum PIC were largely different by year. The PIC was strongly affected by the strong low temperature below  $-2.0^{\circ}\text{C}$  or long holding duration of little bit lower temperature than  $0^{\circ}\text{C}$ . In other words, it is affected by the both of strength and holding duration of the low temperature. Sugarcane in Higashi-Mikawa region should be harvested by December, though it is harvested until March or May in Okinawa.

**Key words:** Higashi-Mikawa, temperate area, low temperature, frost, pol in cane (PIC)

#### 参考文献

- 1) 宮里清松 1986. サトウキビとその栽培, (社) 沖縄県糖業振興協会, 沖縄県.
- 2) 岡田正三 2017. 東三河地区におけるサトウキビ栽培と砂糖生産の消長とその技術. 第2報. 文献による砂糖生産の調査. 農業生産技術管理学会誌 24(1) 1-16
- 3) 岡田正三 2016. 東三河地区におけるサトウキビ栽培と砂糖生産の消長とその技術 第1報. サトウキビ栽培に関する文献調査. 農業生産技術管理学会誌 23(2) 1-19
- 4) Eizo Taira, Masami Ueno, Siori Takashi, Kho Kikuchi and Yoshinobu Kawamitsu 2015. Non-destructive quality measurement system for cane stalks using a portable NIR instrument. Inter. Sugar J. 17(1398):430-433.
- 5) 独立行政法人農畜産業振興機構 2017. さとうきび等の生産実績合計 (鹿児島県と沖縄県). [http://sugar.alic.go.jp/japan/data/jd1-\(5\)](http://sugar.alic.go.jp/japan/data/jd1-(5)).
- 6) 気象庁 2006. 豊橋地点の観測データ. 2016.6.6  
[http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec\\_no=51&block\\_no=0470&year=2006&month=3&day=&view=](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=51&block_no=0470&year=2006&month=3&day=&view=)
- 7) 気象庁 2006. 那覇地点の観測データ. 2016.6.6  
[http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily\\_sl.php?prec\\_no=91&block\\_no=47936&year=2006&month=3&day=&view=](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_sl.php?prec_no=91&block_no=47936&year=2006&month=3&day=&view=)
- 8) 沖縄県糖業農産課 平成 25/26 年期さとうきび及び甘しゃ糖生産実績  
<http://www.pref.okinawa.jp/site/norin/togyo/kibi/mobile/h25-26seisanjisseki-pe-ji.html>
- 9) 沖縄県糖業農産課 平成 26/27 年期さとうきび及び甘しゃ糖生産実績  
<http://www.pref.okinawa.jp/site/norin/togyo/kibi/mobile/h26-27seisanjisseki.html>
- 10) 沖縄県糖業農産課 平成 27/28 年期さとうきび及び甘しゃ糖生産実績  
<http://www.pref.okinawa.jp/site/norin/togyo/kibi/mobile/h27-28seisanjisseki/h27-28jisseki.html>
- 11) M.A. Karamvand, L. Abdollahi, F. Yarahmadi, M.R. Gasemi and A. Soraghi 2013. Evaluation of frost damage and coping strategies on sugarcane production in Iran. Proc. of the 28<sup>th</sup> ISSCT 34-37.
- 12) B. Legendre, G. Eggleston, H. Birkett, M. Mrini, M. Zehuaif, S. Chabaa, M. Assarrar and H. Mounir 2013. How to manage sugarcane in the field and factory following damaging freezes. Proc. of the 28<sup>th</sup> ISSCT 290-300.
- 13) J.A. Giardina, P.A. Digonzelli, E.R. Romero and D. Duarte 2013. Frost severity effect on sprouting and seedling emergence of high quality seed cane in Tucuman, Argentina. Proc. of the 28<sup>th</sup> ISSCT 424-434.