

交配記録を用いた石垣島におけるサトウキビの出穂条件に関する考察

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
九州沖縄農業研究センター 研究員 梅田 周

【要約】

サトウキビの出穂^{しゅっすい}は、交配育種において極めて重要であるが、国内におけるサトウキビの出穂に関する研究報告は少数に限られる。そこで、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センター（以下「九沖研」という）が保有する石垣島での交配記録と気象データを比較することで、石垣島におけるサトウキビの出穂に影響する気象条件について考察した。交配記録から2013～19年の期間における11品種・系統の交配日の平均値を算出し、気象データと比較したところ、先行研究と同様に日長感応期の9月の気温と湿度が出穂の年次間差に影響していることが推察された。

はじめに

九沖研は砂糖の安定生産およびそれを通じた南西諸島の持続的発展に向けて、1966年以降サトウキビの交配育種を実施している。現在、九沖研はサトウキビ栽培の北限である種子島において選抜を実施する一方で、種子島でサトウキビが出穂することはごくまれであるため、より多く出穂が確認される石垣島の国立研究開発法人国際農林水産業研究センター熱帯・島嶼研究拠点（以下「国際農研・熱研」という）に11月下旬から12月下旬の1カ月程度出

張してサトウキビの交配作業を実施している（写真1）。自然条件で出穂している個体を用いて交配を実施するため、実施できる交配の組み合わせは気象条件の影響を大きく受ける。一方で、サトウキビの出穂は糖度の低下や茎の軽量化といった減収の要因となる場合もあることから¹⁾、出穂しにくい系統を選抜してきた結果、「Ni27」「RK97-14」「はるのおうぎ」といった近年の普及品種は自然条件での出穂がごくまれで、交配利用することがほとんどできていない。

そのような中で、2018年の石垣島での交配期間



写真1 国際農研・熱研における交配園と交配温室（右）

中に「Ni27」をはじめとするこれまで交配利用できなかった品種の出穂を多数観察した。そこで、九沖研が保有する交配記録を整理し、当時の気象データと比較することで、石垣島におけるサトウキビの出穂に影響する気象条件を考察し、交配技術の向上に資する知見を得ることを試みた。

なお、本調査は独立行政法人農畜産業振興機構の令和2年度砂糖関係研究委託調査により実施したものである。

1. これまで得られているサトウキビの出穂条件に関する知見

日本に限らずブラジル、豪州、米国など世界中のサトウキビ生産地域においてサトウキビの交配育種は行われているが、自然条件で出穂しにくいサトウキビ遺伝資源をどのように交配利用するか、という点は共通の課題である。この課題を解決する主な方法としては、出穂しやすい地域に交配園を設置する方法と、日長処理^(注1)を行うことで出穂を誘起させる方法の2種類がある。日長処理はサトウキビの屋内栽培が可能な大型の施設（日長処理施設）で行うことが一般的であり、国内においては沖縄県農林水産部農業研究センター（以下「沖縄農研」という）に同様の施設がある（写真2）。日長処理は自然環境では出穂しないサトウキビ遺伝資源の交配が

可能となること、人為的に出穂時期を前後させることにより出穂時期の異なるサトウキビ遺伝資源の交配が可能となることが大きなメリットである。一方で、出穂すると4メートル以上の長さになることもあるサトウキビを屋内栽培することは容易でなく、また施設の広さによって処理できる個体数が限られてしまう。そのため、日長処理を行う育種機関においても、交配数を確保するために温暖な出穂しやすい地域に交配園を設置している場合がある。例えば、北半球の米国農務省農業研究局サトウキビ研究所（USDA-ARS Sugarcane Field Station：以下「USDA-ARS」という）は南部フロリダ州のチャンネルポイントに、南半球の豪州砂糖研究センター（Sugar Research Australia：以下「SRA」という）は北部クイーンズランド州のメリンガに、それぞれ日長処理施設と交配園を設置している^{2)、3)}。

（注1）日長を人為的に変えて植物の生長をコントロールすること。例えば、植物体を長日条件下または短日条件下に置くことで、花芽形成を促進または抑制させることを指す。

国内のサトウキビの出穂に関する論文は1980年代までさかのぼる。宮里氏は総説「サトウキビとその栽培」⁴⁾においてこれらの論文を次のようにまとめている。

『サトウキビは特殊な日長反応を示し、ある範囲内の日長下においてのみ開花する定日性植物に属



写真2 アルゼンチンオビスポコロンプレス農業研究所における日長処理施設と沖縄農研の日長処理施設（右）

する。すなわち、サトウキビの開花可能な日長は、12時間から12時間45分の範囲にある。(中略) 一般に北半球では9月の日長に感応して10月、11月以降に出穂し、南半球では3月の日長に感応して4月、5月以降に出穂する。出穂歩合は一般に低緯度の高温地域で高く、高緯度の冷涼地域に移るにつれて低下する。また、熱帯・亜熱帯地域での出穂は平地よりもやや冷涼な高地に多い。出穂はまた、ある時期の降雨量によって左右される。北半球では前述のように花成の誘導と幼穂の分化開始期は9月であるが、この時期の降雨は出穂を促進し、逆に乾燥は出穂を抑制または遅延させる。』

宮里氏の総説は一般的なサトウキビの生理生態を知る上で極めて有用であるが、引用文献の多くがオンライン公開されていないために閲覧困難であることが難点である。近年では、沖縄農研の伊禮氏が、日長処理施設を用いた広範な遺伝資源の交配利用に取り組み、交配技術の高度化が図られている^{5) 6)}。

研究勢力が大きい海外の育種機関や研究機関においては、交配技術の高度化から基礎研究までさまざまなレベルでの取り組みが行われている。USDA-ARSのMooreと豪州サトウキビ試験場事務局(BESE、SRAの前身機関)のBerdingによる総説⁷⁾においては、サトウキビは中性植物もしくは量的短日植物に分類され、2～3節の成熟した茎が形成されてから、短日条件を未成熟葉で感受することで花成が誘導されること、日長処理は明期を12時間55分から1日当たり30～45秒ずつ減らしていくのが最適であり、日長処理期間中の32度以上の高温は出穂を遅らせること、などが多数の論文を引用しながら詳細に述べられている。近年では、USDA-ARSにおいて、20度以下の低温が出穂を遅らせることや、継続的な施肥が出穂を促進させることが報告されているほか^{8) 9)}、豪州科学産業研究機構(CSIRO)のGlassopとRaeによって、サトウキビの出穂関連遺伝子の発現パターンの多くが短日植物

と同一であることが報告¹⁰⁾されている。

このように、長大型作物であるためにモデル作物であるイネ程とはいかないが、国内外でサトウキビの出穂に関する研究が行われ、交配技術の向上に資する知見が得られている。一方で、九冲研においては自然任せ、かつ出張作業という制限のある中での交配を実施しており、年によっては目的とする交配を実施できないことが育種上の重大な課題となっている。そこで、本調査では交配記録と気象データを比較することで、石垣島におけるサトウキビの出穂に影響する気象条件を明らかにし、交配技術の向上に資する知見を得ることを試みた。

2. 調査結果

(1) 交配記録の整理

前述の通り九冲研は毎年11月下旬から12月下旬の1カ月程度、国際農研・熱研(沖縄県石垣市字真栄里川良原)に出張して交配作業を実施している。なお、交配を行う際には同拠点内において3～4月に植え付けおよび株出し処理を行った圃場^{ほじょう}から出穂した植物体を採取するとともに、交配日、交配した品種・系統および母本の穂数を記録している。九冲研種子島拠点で保有する9年分(2011年、2013～2020年)の交配記録を整理した結果を表1に示す。おおむね11月下旬から12月下旬の約1カ月の期間で石垣島に滞在し、母本の交配数で250～300穂程度の交配を行っている。年度によって多少はあるが、交配に用いる品種・系統数は90種類程度である。9年間の交配数が50穂以上の品種・系統を表2に示す。交配記録では母本^(注2)の穂数のみを記録しているため、父本の穂数は交配した母本と同数として計算した。交配数が50穂以上の品種は「NiF3」「NiF8」「Ni15」「Ni16」「NiTn18」「NiN24」「Ni28」「KY99-176(農林30号)」「KRfo93-1(飼料用)」「しまのうしえ(飼料用)」「やえのうしえ

(飼料用)」だった。一方で、交配数が少数の品種は「Ni22」「Ni23」「NiH25」「Ni27」「KTn03-54」「RK97-14」「はるのおうぎ」「黒海道」などが挙げられる。

(注2) 交配は雌しべを使用する「母本」と雄しべを使用する「父本」の二つの植物体を用いて行う。九沖研では花粉を多く作る植物体を父本として、花粉をほとんど作らない植物体を母本として区別している。

交配記録について解析に使用できる状態にするため、まず各交配日について、11月21日を「1」、11月30日を「10」、12月1日を「11」などとする十進法表記への変換を行った。なお、交配記録に11月20日以前のはなかった。さらに、父本の穂数を母本の穂数と同じとみなし、年次、品種・系統名および穂数からなる「交配データ」を作成した。その後、「交配データ」を基に各年次における各品種・系統の最初の交配日（初回交配日）およ

表1 九沖研種子島拠点で保存されていた交配記録の概要

交配期間	日数	交配母本数	品種・系統数
2011/12/1 ~ 2011/12/25	24	247	100 (58)
2013/11/24 ~ 2013/12/21	27	324	88 (48)
2014/11/22 ~ 2014/12/20	28	298	100 (51)
2015/11/28 ~ 2015/12/16	18	180	68 (36)
2016/11/28 ~ 2016/12/24	26	254	98 (47)
2017/11/24 ~ 2017/12/23	29	311	82 (47)
2018/11/26 ~ 2018/12/21	25	359	90 (41)
2019/11/26 ~ 2019/12/22	26	365	102 (55)
2020/11/24 ~ 2020/12/24	30	283	98 (60)
平均	26	291	92 (49)

資料：筆者作成

注1：() 内は母本に用いた品種・系統数を示す。

注2：太字はデータセットの作成に用いた品種・系統を示す。

表2 9年間の交配数が50穂以上の品種・系統

品種・系統名	交配数	品種・系統名	交配数
NiF8	275	KY08-128	82
NiN24	250	Ni16	67
NiTn18	220	しまのうしえ	67
KY01-2044	145	KR08-77	66
KRFo93-1	130	RF79-247	60
KY06T-560	122	KY02-1543	59
KY09-105	115	Ni15	54
やえのうしえ	99	Ni28	54
NiF3	97	KR05-80	53
KY09-185	89	RK99-1472	53
KR05-619	89	KY02-1581	52
KY08-1200	88	KY99-176	51
KY08-2396	83		

資料：筆者作成

注：太字はデータセットの作成に用いた品種・系統を示す。

び交配日の平均値（平均交配日）を算出した（図1）。続いて欠測値のないデータセットを検討し、2013～19年度における11品種・系統（「NiF8」「Ni16」「NiTn18」「KRfO93-1」「やえのうしえ」「KY01-2044」「KR05-619」「KR08-77」「KY08-128」「KY08-1200」「KY09-105」）の初回交配日および平均交配日からなる「データセット」を作成し、年次または品種・系統によって数値に差があるか統計的に確認した。

初回交配日について、年次と品種・系統を要因とする二元配置分散分析^(注3)を行った結果、品種・系統にのみ統計的に有意な効果が認められた。つま

り、最も早い交配日に品種・系統による差（品種間差）がみられることが明らかになった（表3）。同様に平均交配日について、年次と品種・系統を要因とする二元配置分散分析を行った結果、いずれの要因についても統計的に有意な効果が認められた。つまり、交配日の平均値に年次による差（年次間差）、または品種間差がみられることが明らかになった（表4）。野生種（*Saccharum spontaneum*）を用いた交配に由来する「KRfO93-1」や「やえのうしえ」は、種子島においても毎年出穂が確認できるような出穂しやすい品種である。交配記録から得られたデータにおいても、これらの品種は出穂が早

図1 交配記録からデータセットを得るまで



資料：筆者作成

注：平均交配日は交配数による加重平均として算出した。

例えばNiF8の平均交配日は{(9×4) + (11×2) + (13×3)}÷9で10.8となる。

表3 データセットにおける初回交配日

品種・系統	初回交配日							
	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	品種平均**
NiF8	18	5	10	11	21	16	13	13.4
Ni16	7	11	12	9	9	7	10	9.3
NiTn18	19	25	22	9	21	6	8	15.7
KRfO93-1	10	26	21	11	10	7	8	13.3
やえのうしえ	6	2	9	10	5	6	9	6.7
KY01-2044	4	4	8	8	9	9	8	7.1
KR05-619	6	15	8	9	15	6	8	9.6
KR08-77	11	22	10	8	14	10	7	11.7
KY08-128	7	4	21	21	23	7	20	14.7
KY08-1200	6	7	8	8	5	6	8	6.9
KY09-105	4	13	21	13	9	21	14	13.6
年次平均	8.9	12.2	13.6	10.6	12.8	9.2	10.3	11.09

資料：筆者作成

注：品種平均**は年次と品種を効果とする二元配置分散分析によって、品種に1%水準で有意な効果があることを示す。

表4 データセットにおける平均交配日

品種・系統	平均交配日							
	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	品種平均***
NiF8	20.7 (34)	17.7 (19)	17.4 (36)	22.8 (43)	28.6 (15)	23.4 (29)	16.7 (12)	21.0 (188)
Ni16	9.8 (4)	20.3 (16)	15.3 (6)	10.4 (5)	16.1 (21)	8.6 (5)	14.0 (6)	13.5 (63)
NiTn18	23.7 (27)	26.3 (9)	23.7 (6)	16.6 (20)	25.7 (29)	16.4 (43)	22.7 (41)	22.1 (175)
KRFo93-1	17.1 (8)	27.2 (5)	23.0 (12)	11.0 (2)	15.4 (10)	14.9 (26)	17.1 (19)	18.0 (108)
やえのうしえ	6.0 (2)	6.9 (40)	10.2 (5)	10.0 (2)	6.4 (16)	8.2 (10)	13.3 (12)	8.7 (87)
KY01-2044	10.6 (37)	8.0 (28)	11.3 (15)	12.5 (4)	19.3 (7)	16.4 (13)	15.5 (17)	13.4 (121)
KR05-619	13.2 (13)	19.5 (9)	14.2 (13)	18.0 (5)	18.0 (10)	15.8 (25)	17.6 (8)	16.6 (83)
KR08-77	13.5 (11)	24.1 (7)	13.0 (4)	12.4 (5)	21.8 (14)	10.9 (7)	8.7 (9)	14.9 (57)
KY08-128	14.7 (22)	15.2 (20)	21.0 (2)	24.2 (5)	28.4 (12)	11.9 (7)	26.8 (5)	20.3 (73)
KY08-1200	6.7 (7)	14.3 (25)	11.1 (7)	11.3 (11)	13.3 (19)	10.7 (9)	9.7 (6)	11.0 (84)
KY09-105	7.5 (6)	22.0 (17)	22.0 (9)	21.8 (12)	16.3 (37)	24.4 (14)	19.8 (17)	19.1 (112)
年次平均*	13.1 (197)	18.3 (195)	16.6 (115)	15.5 (114)	19.0 (190)	14.7 (188)	16.5 (152)	16.2 (1151)

資料：筆者作成

注1：年次平均*は年次と品種を効果とする二元配置分散分析によって、年次に5%水準で有意な効果があることを示す。

注2：品種平均***は年次と品種を効果とする二元配置分散分析によって、品種に0.1%水準で有意な効果があることを示す。

注3：() 内は平均値の算出に用いた穂数を示す。

く、品種間差については感覚と一致していた。また、年次間差がみられた平均交配日の年次平均について比較してみると、2018年は7年間のうち2番目に収穫が早い年だった。

(注3) 要因によるデータのバラつきの大きさ(分散)を比較することで、その効果を評価する統計的手法を分散分析という。また、二つの要因がある場合の分散分析を二元配置分散分析という。

(2) 出穂に適する気象条件の考察

年次間差がみられた平均交配日を用いて、サトウキビの出穂に影響する気象条件を考察した。気象データは気象庁のホームページ¹¹⁾より石垣島地方気象台のデータを取得した。

ア. 日長感応期における気象データとの比較

先行研究よりサトウキビの出穂に負の影響を与える気象条件として、花成の誘導と幼穂の分化開始期における低温(20度以下)、高温(32度以上)、乾燥が挙げられる。宮里氏の総説⁴⁾より、日長が12時間から12時間45分の期間を『日長感応期』と仮定し、気象データと出穂データの比較解析を試みた。

海上保安庁海洋情報部の日日出没計算サービス¹²⁾によると、石垣市において日長が12時間から12時間45分の日長感応期はおおよそ8月27日から9月28日である。そこで、この期間における最高気温が32度以上の日数、平均湿度を年次ごとに取得し、平均交配日との相関係数を算出した。なお、日長感応期において最低気温が20度を下回る日はなかった。その結果、先行研究と同様の傾向が一部の品種・系統でみられた(表5)。この結果から、例えば、「KR08-77」の平均交配日は最高気温32度以上の日数と正の相関関係を示すことから、先行研究と同様に日長感応期である9月に高温に遭遇すると交配日が遅くなる、つまり出穂が遅くなることが推測される(図2)。また、平均交配日と平均湿度が負の相関関係を示すことから、湿度が低い乾燥条件に遭遇すると、出穂が遅くなることが推測される。2018年は日長感応期における最高気温32度以上の日数が少なく、平均湿度も高い年だったため、出穂が多くみられたと考えられる。一方で、多くの品種・系統で有意な相関関係が得られなかったことから、出穂の年次間差に先行研究とは異なる要因が影響している可能性が考えられた。

表5 日長感応期における最高気温32度以上の日数および平均湿度と平均交配日との相関係数

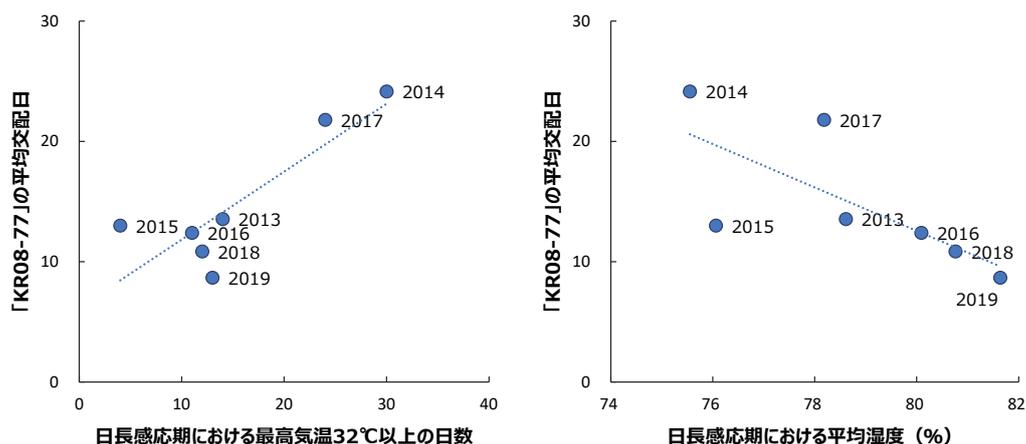
	平均交配日					
	NiF8	Ni16	NiTn18	KRFo93-1	やえのうしえ	KY01-2044
日長感応期における最高気温32℃以上の日数	0.234	0.618 †	0.539	0.352	-0.543	-0.057
日長感応期における平均湿度	0.180	-0.696*	-0.658 †	-0.793**	0.481	0.208

	平均交配日					
	KR05-619	KR08-77	KY08-128	KY08-1200	KY09-105	平均値
日長感応期における最高気温32℃以上の日数	0.679*	0.853**	-0.028	0.584	-0.100	0.583
日長感応期における平均湿度	0.004	-0.722*	0.198	-0.461	0.028	-0.419

資料：筆者作成

注：**、*、†はそれぞれ1%水準、5%水準、10%水準で有意な相関関係があることを示す。

図2 日長感応期における最高気温32度以上の日数および平均湿度と「KR08-77」の平均交配日との相関関係



イ. 日長感応期以外の期間における気象データとの比較

日長感応期以外におけるサトウキビの出穂に影響する気象条件について検討するため、石垣島地方気象台における4～11月の月別平均気温、月別降水量、月別日照時間、月別最大瞬間風速のデータを取得し、出穂データとの比較を試みた。その結果、日長感応期と考えられる9月以外の気象データにおいても、いくつか有意な相関関係が得られた(表6)。生育データを取得していないため相関関係それぞれについて考察することは控えるが、ここでは4～6月の気象データで多くの相関関係が得られた理由に

ついて考察してみる。4～6月はサトウキビ栽培において植え付けもしくは株出し管理直後から3カ月程度の初期生育の期間である。また、沖縄県において5～6月は梅雨の期間でもあり、この期間の降雨がその後の生育に大きな影響を与えることが知られている¹³⁾。また、沖縄農研の伊禮氏は、沖縄で出穂を促す場合、感応期までに十分な生育量の茎を確保することが有効であると述べている⁵⁾。これらの状況証拠から、4～6月の気象要因が複合的に作用し、サトウキビが日長感応するために必要な生育量の確保に年次間差が生じているのではないかと考えている。

表6 気象データと平均交配日の間で見られた有意な相関関係

		降水量	平均気温	日照時間	最大瞬間風速
平均交配日	NiF8	10月			4月
	Ni16	5月			6月
	NiTn18		5月	5月	6月
	KRFo93-1	5月			
	やえのうしえ	9月	4月	9月	9月
	KY01-2044				
	KR05-619				
	KR08-77	5月	9月	9月	
	KY08-128	4月			
	KY08-1200				
KY09-105			4月	11月	

資料：筆者作成

注1：赤字は有意な正の相関関係が、青字は有意な負の相関関係があることを示す。

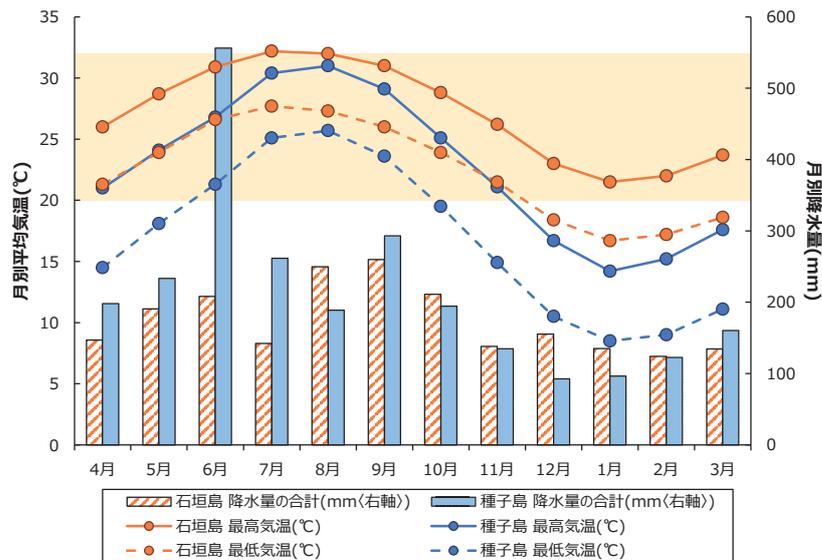
注2：黄色地は4～6月の項目を示す。

ウ. 種子島と石垣島における気象データの比較

以上で得られた知見に基づき、石垣島と比較して、種子島でサトウキビが出穂しにくい原因について考察してみる。種子島において日長が12時間から12

時間45分の期間である『日長感応期』は9月3日～9月27日であり、石垣島では約1カ月間だったのに対して約1週間短い。日長の変化を日割り計算してみると、石垣島で1日当たり-84秒、種子島で1日当たり-113秒である。日長処理施設において1日当たり30～45秒で日長を短縮させることが最適であること⁷⁾を考えれば、種子島は石垣島よりサトウキビが出穂しにくい日長条件であると言える。続いて、種子島における9月の気象データについてみると、気温に関しては低温（20度以下）、高温（32度以上）にあたらぬ時期である（図3）。降水量についても石垣島より多く、むしろ日長感応には適した気候と考えられる。また、種子島におけるサトウキビの初期生育については、春先の低温による生育の遅れは少なからず考えられるが、種子島は石垣島より梅雨明けが遅く、夏季の干ばつ被害がほとんどみられないため、日長感応期である9月までの生育量が石垣島より種子島で劣っているとは考えにくい。種子島と同緯度に位置する米国ルイジアナ州では、秋の低温が出穂しにくい原因であるこ

図3 石垣島と種子島における月別降水量、日最高気温の月平均、日最低気温の月平均の比較



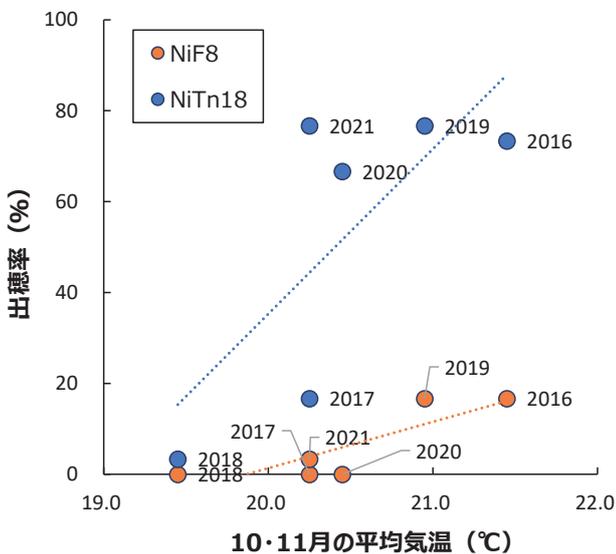
資料：筆者作成

注1：石垣島のデータは石垣島地方気象台の平年値を、種子島のデータは種子島観測所の平年値を示す。

注2：黄色地は気温20度～32度の範囲を示す。

とが明言されている¹⁴⁾。そこで、九冲研で2016～21年度に実施した生産力検定試験における出穂率と10、11月の平均気温を比較したところ、平均気温が高いほど出穂率が高くなる傾向が見られた(図4)。よって、種子島においても10月以降の低温によって、日長感応後から出穂までの生育に問題が生じている可能性が高い。以上から、種子島で出穂しにくい原因として、急な日長の変化と10月以降の低温が考えられた。

図4 九冲研の生産力検定試験における出穂率と10、11月の平均気温との相関関係



資料：筆者作成

注：九冲研で2016～2021年度に実施した春植えのデータを示す。

3. まとめと今後の課題

九冲研で保有する交配記録を整理した結果、サトウキビの出穂の年次間差を明らかにすることができた。また、気象データとの比較により先行研究と同様に、日長感応期と考えられる9月の高温と乾燥が、石垣島におけるサトウキビの出穂を遅らせている原因として示唆されるとともに、初期生育の期間である4～6月における気象も出穂の年次間差に影響している可能性が推察された。九冲研は毎年、石垣島の国際農研・熱研に出張して交配作業を実施してい

るが、出穂のピークの時期と出張の時期が合わない場合に、交配に使う植物体を探すのに苦労し、目的とする交配の実施が難しくなるという課題がある。今回の調査において明らかになった出穂の年次間差に影響する気象データを手掛かりとすることで、出穂のピークに合わせた出張期間を検討することが可能となった。また、植え付けを早める、日長感応期にかん水を実施する、といった出穂を促すような処理を行うことで、圃場条件で出穂しにくい遺伝資源を交配利用できる可能性もある。さらには、九冲研が位置している種子島では、サトウキビの出穂が全く見られないわけではなく、年によっては「NiF8」「NiTn18」といった普及品種の出穂を確認できる。今回、急な日長の変化と10月以降の低温が種子島で出穂しにくい原因として考えられたため、これらを克服するような処理（急な日長の変化を和らげる補光処理、ガラス室での栽培など）を行うことで、種子島における交配の可能性についても検討したいと考えている。

謝辞

本稿執筆にあたっては、沖縄県農業研究センター伊禮信氏、国際農林水産業研究センター寺島義文氏よりご助言を賜った。また、石垣島での交配作業にあたっては国際農林水産業研究センター熱帯・島嶼研究拠点の皆さま、沖縄県農業研究センター石垣支所の皆さまから多大なご協力を賜っている。ここに記して感謝を申し上げる。

【引用文献】

- 1) 園田忠弘ら (1986) 「サトウキビの品質劣化に及ぼす出穂の影響」『九州農業研究』 48、pp. 100.
- 2) 服部・下地 (2017) 「米国農務省農業研究所におけるサトウキビ育種研究」『砂糖類・でん粉情報』 2017年8月号、pp. 71-78.
- 3) Wei et al. (2022) 「Sugarcane breeding in Australia」『Sugar Tech』 24 (1)、pp. 151-165.
- 4) 宮里清松 (1986) 『サトウキビとその栽培』 日本分蜜糖工業会
- 5) 伊禮信ら (2009) 「サトウキビ育種における種属間交配手法の改良－第3報 圃場におけるサトウキビ近縁属種の出穂誘起と同調の試み－」『熱帯農業研究』 Vol.2 Extra issue 1、pp. 27-28.
- 6) 伊禮信ら (2011) 「サトウキビ育種における種属間交配手法の改良－第6報 広範な素材の利用に向けた出穂誘起と同調－」『熱帯農業研究』 Vol.4 Extra issue 2、pp. 49-50.
- 7) Moore・Berding (2014) 「Flowering」『Sugarcane Physiology, biochemistry & Functional Biology』 Willey Blackwell、pp. 379-410.
- 8) Hale et al. (2017) 「Effect of growing media and fertilization on sugarcane flowering under artificial photoperiod」『PLoS one』 12 (8)、e0181639.
- 9) Abu-Ellail・McCord (2019) 「Temperature and relative humidity effects on sugarcane flowering ability and pollen viability under natural and semi natural conditions」『Sugar Tech』 21 (2)、pp. 83-92.
- 10) Glassop・Rae (2019) 「Expression of sugarcane genes associated with perception of photoperiod and floral induction reveals cycling over a 24-hour period」『Functional Plant Biology』 46、pp. 314-327.
- 11) 気象庁ホームページ 〈<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>〉 (2022/08/04アクセス)
- 12) 海上保安庁海洋情報部日月出没計算サービス 〈https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KOHO/automail/sun_form3.html〉 (2022/08/04アクセス)
- 13) 砂川善信ら (2017) 「茎伸長速度から見たサトウキビの効果的な灌水開始時期」『日本作物学会九州支部会報』 83、pp. 50-53.
- 14) Bischoff・Gravois (2004) 「The development of new sugarcane varieties at the LSU Agcenter」『Journal American Society Sugar Cane Technologists』 Vol.24、pp. 142-164.