

**BULLETIN
OF
THE OKINAWA PREFECTURAL
AGRICULTURAL RESEARCH
CENTER**

No.12

March, 2018

沖縄県農業研究センター研究報告

第12号

平成30年3月

OKINAWA PREFECTURAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

820, MAKABE, ITOMAN-city, OKINAWA 901-0336, JAPAN

沖縄県農研セ研報
Bull. OKINAWA
Agric.Res.Cent.
No.12 2018

沖縄県農業研究センター

沖縄県糸満市真壁 820

沖縄県農業研究センター 研究報告
第12号
(2018. 3)

目 次

【原著論文】

1. 宮古地域の生果用パインアップルにおける高品質果実が得られる収穫時期の検討
..... 伊礼彩夏・與座一文・伊地 良太郎 1
2. 真空脱気を利用して膨張させた黒糖(エアイン黒糖)の基本製造条件と特性
..... 前田剛希・広瀬直人 7
3. 梢頭部汁を混合して製造した黒糖と茎汁のみで製造した黒糖の比較
..... 前田剛希・下地 格・手登根正・下地浩之・上地克美・伊志嶺弘勝 14
砂川正幸・知念 潤・出花幸之介・宮城克浩・萩 貴之
4. 沖縄県のサトウキビ畑における改良型タンクモデルを用いた土壌水分量の推定と
灌水による収量への影響
..... 比屋根真一・砂川喜信・大見のり子・出花幸之介・伊禮 信 21
5. 挿し木によるヒハツモドキの増殖：挿し木に適する植物部位、挿し穂の節数、
葉切除の程度ならびに時期の特定
..... 大野 豪・根本明子・玉城盛俊 29
6. 沖縄県におけるサツマイモトビハムシの分布状況とその寄主植物
..... 小濱継雄・安藤緑樹 43

【論文抄録】

1. 乳酸発酵によってGABAを強化した黒糖の開発
..... 広瀬直人・前田剛希・照屋 亮・高良健作・和田浩二 48
2. サトウキビ搾汁粕から分離したGABA強化黒糖製造に利用可能な乳酸菌
..... 広瀬直人・前田剛希・照屋 亮・高良健作・和田浩二 48
3. 異なる温度条件下における罹病枯死葉上のマンゴー炭疽病菌
Colletotrichum gloeosporioides の生存期間
..... 澤岬哲也 49
4. 果梗部熱処理法によるマンゴー軸腐病の防除
..... 澤岬哲也・比嘉 淳 49
5. ストロビルリン系薬剤耐性マンゴー炭疽病菌 *Colletotrichum gloeosporioides* の発生
..... 澤岬哲也・嘉手苅佳太・新崎千江美・田場 聡 50
6. 沖縄県におけるヒハツモドキの地理的分布と生育環境の特徴、ならびに害虫等による
本種の被害・障害に関する予備的知見
..... 大野 豪・根本明子・宮里 進・東嘉弥真勇人・宮城徳道・山城信哉・玉城盛俊 50

原著論文

宮古地域の生果用パイナップルにおける高品質果実が得られる収穫時期の検討

伊礼 彩夏¹・與座 一文²・伊地 良太郎³

1 沖縄県農業研究センター

2 沖縄県農業研究センター宮古島支所

3 沖縄県農業大学校

要 約

夏植え作型のパイナップル7品種について、花芽誘導処理区（10月上旬処理、11月上旬処理）と自然夏実区を比較した結果、糖度は各品種の処理区間において有意な差はみられなかった。酸度は「N67-10」を除く6品種で10月上旬処理区が高く、11月上旬処理区および自然夏実区の順で低下した。糖酸比の値は、「N67-10」と「サマーゴールド」を除いて10月上旬処理区が低く、11月上旬処理区、自然夏実区の順で上昇した。食味点数は、糖酸比と同様の傾向を示した。糖酸比18以上かつ食味点数3の高品質果実は2014年収穫果実においては「ソフトタッチ」の11月上旬処理区と自然夏実区、「サマーゴールド」と「ジュリオスター」の自然夏実区が該当した。2015年収穫果実では「ボゴール」の全処理区、「ゴールドパレル」、「サマーゴールド」、「ソフトタッチ」、「沖農P17」の11月上旬処理区および自然夏実区と「ジュリオスター」の自然夏実区で得られた。このことから、宮古地域において良食味の果実を得るためには、以上の6品種を用いるのが好ましいと考えられた。そして、「ボゴール」は10月以降に花芽誘導処理を行い、「サマーゴールド」を除く4品種では、11月以降に花芽誘導処理を行う方が良いと考えられる。これらの6品種の花芽誘導処理および自然夏実を組み合わせることで、4月下旬から8月中旬まで収穫期を分散させながら高品質果実が収穫でき、長期間の果実供給が可能となることが明らかになった。

キーワード：花芽誘導処理時期、高品質果実

緒 言

沖縄県のパイナップル栽培は、主に本島北部や八重山などの酸性土壌地域（国頭マージ）で行われており、2014年度は農業産出額15億円、栽培面積490ha、収穫量7,130トンとなっている（沖縄県農林水産部, 2017）。宮古地域においては、パイナップル栽培に適さないとされる弱アルカリ性の島尻マージ（石灰性暗赤色土）が広く分布するため、これまで栽培はほとんど行われてこなかった。しかし、近年の大型クルーズ船就航に伴う海外からの観光客の増加などの要因によって、熱帯果樹類の需要の高まりや長期間果実を供給できる体制が望まれていることなどから、一部に分布する酸性土壌において、パイナップルの経済栽培が行われている。

パイナップルは生長点部分にエチレンおよびエチレン類似の不飽和炭化水素を作用することで、花芽が誘導されることがわかっている（小那覇, 2002）。この特性を利用して花芽誘導処理の時期を変更することで、収穫時期をずらすことが可能である。パイナップル栽培の盛んな本島北部および八重山地域では、収穫時期の分散・拡大を目的として、高品質果実が収穫できる植付け時期や各品種における花芽誘導処理時期の検討が行われてきた。一方宮古地域においては、これまで栽培試験等はほとんど

行われておらず、不明な部分が多い。そのため宮古地域の生産者に対して、パイナップルの品種特性や栽培管理技術に関する早急な情報提供が必要とされている。

そこで本研究では、花芽誘導処理技術を用いて宮古地域の夏植え作型のパイナップル栽培における収穫時期や果実品質について調査した。さらに調査結果から、高品質果実が得られる収穫時期について検討した。

材料および方法

試験は、沖縄県農業研究センター宮古島支所内の露地圃場（pH4.5～5.5）において2012年から2015年にかけて実施した。作型は、9～10月に植え付けて2年後の夏に果実を収穫する夏植えー自然夏実体系と、花芽誘導処理を実施し出蕾・収穫を前進化させる夏植えー促進夏実体系で行った。供試品種は「N67-10」、「ボゴール」、「ソフトタッチ」、「サマーゴールド」、「ゴールドパレル」、「ジュリオスター」、「沖農P17」の7品種を用いた。試験区は、植え付け後翌年の10月に花芽誘導処理を実施した10月上旬処理区、11月に実施した11月上旬処理区、そして花芽誘導処理を行わない自然夏実区の3試験区を設定し、1試験区あたり20株を供試した。花芽誘導処

表 1. 各収穫年における植え付け日と花芽誘導処理日

収穫年	植え付け日	10月上旬処理区	11月上旬処理区
2014年	2012年9月30日	2013年10月1日	2013年11月1日
2015年	2013年9月30日	2014年10月3日	2014年11月4日

理は、エテホン 1,000 倍と 3% 尿素の混合液を午後 3 時以降に葉芯に 25ml 灌注した。耕種概要はうね幅 150cm, 株間 30cm, 列間 60cm の黒マルチ栽培で実施した。その他の栽培管理は沖縄県果樹栽培要領に準じた。調査は、2014 年収穫と 2015 年収穫の 2 回実施した。ただし「沖農 P17」は 2015 年収穫の 1 回実施した。

2014 年収穫と 2015 年収穫の植付け日、花芽誘導処理日は表 1 のとおりである。

調査は、出蕾時期や出蕾割合、収穫時期や果実品質について行った。収穫は「N67-10」および「ソフトタッチ」は 2 分熟で、その他の品種は 3 ～ 5 分熟で収穫した。収穫した果実は冠芽を切除し、果実重を測定した。その後、縦 1/4 に切り、搾汁後濾過した果汁を用いて、酸糖度分析装置 (HORIBA NH-2000) で酸度および糖度を測定した。また食味評価 (5: 良い, 4: やや良い, 3: 普通, 2: やや悪い, 1: 悪い) を実施し、食味点数により品質を達観評価した。収穫終了後、収穫日、花芽誘導処理から収穫までの日数、果実重量、糖度、酸度、糖酸比、食味点数について、供試品種ごとの平均値を算出した。

宮古地域における高品質果実基準値は、沖縄県における高品質果実の基準値 (果汁 Brix14% 以上, クエン酸含量 0.8% 以下, 糖酸比 18 以上) (沖縄県農林水産部, 2013) および、2 回の収穫で得られた促進夏実および自然夏実のデータから、糖酸比 18 以上かつ食味点数 3 以上を目安とした。そしてこれらが得られる品種と処理区、収穫時期について考察した。

結 果

各品種の促進夏実と自然夏実における収穫時期および果実品質の結果を表 2 に示した。次に品種ごとに処理区別の結果を述べる。

「N67-10」

2014 年および 2015 年の平均収穫日はそれぞれ、10 月上旬処理区が 7 月 16 日, 6 月 14 日, 11 月上旬処理区が 7 月 23 日, 6 月 30 日で花芽誘導処理から 239 日～288 日で収穫できた。自然夏実区の収穫日はそれぞれ 7 月 28 日, 7 月 15 日であった。2014 年の 10 月上旬処理区は収穫期間が 68 日と幅広く、花芽誘導処理の効果が低いことが示唆された。果実重

は 2015 年の 11 月処理区を除いて 1 kg 以上の大玉果実が得られた。糖度はいずれの処理区で 14.0 ～ 15.1 と供試品種の中でも全体的に低く、高品質果実基準を満たす果実は得られなかった。

「ゴールドバレル」

2014 年および 2015 年の平均収穫日はそれぞれ、10 月上旬処理区が 4 月 25 日, 4 月 18 日, 11 月上旬処理区が 6 月 1 日, 5 月 29 日で花芽誘導処理から 197 日～213 日と約 7 ヶ月前後で収穫できた。2015 年の自然夏実区の収穫日は 7 月 6 日であった。2014 年の自然夏実区では出蕾が確認されなかった。10 月上旬処理区および 11 月上旬処理区の果実重は 844g ～ 1065g であった。自然夏実区の果実重は 1502g であり、花芽誘導処理を行った 10 月上旬および 11 月上旬区と比較すると大玉の果実が得られた。酸度は 10 月上旬処理区で 2 年とも 1 を超えていたが、11 月上旬処理区、自然夏実区の順に低下していった。糖酸比は自然夏実区で 25.3 と最も高かった。果実品質は 2015 年の 11 月上旬処理区および自然夏実区で高品質果実基準を満たす果実が得られた。

「サマーゴールド」

2014 年および 2015 年の平均収穫日はそれぞれ、10 月上旬処理区が 5 月 7 日, 5 月 10 日, 11 月上旬処理区が 6 月 18 日, 6 月 15 日で花芽誘導処理から 219 日～229 日と約 7 ヶ月で収穫できた。自然夏実区はそれぞれ 7 月 23 日, 7 月 22 日と 7 月下旬に収穫された。各品種の果実重は 803g ～ 923g であった。糖度、酸度および糖酸比は年次間でばらつきがみられたが、自然夏実区の糖酸比は 2 年とも 25 以上であり、高品質果実基準を満たす果実が得られた。

「ジュリオスター」

2014 年および 2015 年の平均収穫日はそれぞれ、10 月上旬処理区が 4 月 30 日, 4 月 23 日, 11 月上旬処理区が 6 月 9 日, 6 月 1 日で花芽誘導処理から 202 日～220 日と 7 ヶ月前後で収穫できた。自然夏実区の収穫日はそれぞれ 7 月 11 日, 7 月 3 日であった。2014 年の自然夏実区は出蕾率が 15% と低かった。酸度は 10 月上旬処理区で 2 年とも 1 を超えており高かったが、11 月上旬処理および自然夏実区の順に低下していった。酸度の低下に伴い、糖酸比は上昇し、自然夏実区では 23 以上と処理区間で最も高い値を示した。高品質果実基準を満たす果実が得られたのは、2015 年の 11 月処理区および 2014 年

表2 各品種の促進夏実と自然夏実における収穫時期および果実特性

品種	処理区	収穫年	出蓄率 (%)	収穫時期			処理から収穫 までの日数	果実重 (g)	糖度 (°Brix)	酸度 (%)	糖酸比	食味 ¹⁾
				開始	平均	終了						
N67-10	10月上旬	2014	77	5/30	7/16	8/6	288	1056	14.0	0.66	22.9	2.9
		2015	95	5/29	6/14	7/2	254	1121	15.0	0.86	17.8	2.6
	11月上旬	2014	91	7/18	7/23	7/30	265	852	15.2	0.58	27.0	2.7
		2015	95	6/24	6/30	7/2	239	1544	14.8	0.70	21.8	2.2
	自然夏実	2014	83	7/22	7/28	8/11	—	1081	14.6	0.59	25.4	2.8
		2015	100	7/6	7/15	7/31	—	1229	15.1	0.88	17.8	2.8
ゴールドバレル	10月上旬	2014	91	4/14	4/25	6/24	206	844	16.2	1.21	14.2	1.7
		2015	95	4/13	4/18	4/24	197	1065	18.2	1.16	15.9	3.1
	11月上旬	2014	64	5/19	6/1	6/13	213	987	17.7	0.86	20.6	2.9
		2015	100	5/25	5/29	6/10	206	1007	17.6	0.91	19.4	3.1
	自然夏実	2014	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		2015	70	7/1	7/6	7/13	—	1502	17.4	0.70	25.3	4.0
サマーゴールド	10月上旬	2014	82	5/2	5/7	5/15	219	870	15.2	1.45	10.5	2.1
		2015	90	4/28	5/10	5/18	219	923	20.6	0.76	27.9	2.7
	11月上旬	2014	82	6/16	6/18	6/24	229	903	16.0	1.08	15.0	3.5
		2015	86	6/10	6/15	6/22	223	803	18.7	0.64	29.9	2.9
	自然夏実	2014	78	7/14	7/23	8/14	—	804	16.2	0.69	25.6	3.1
		2015	85	7/13	7/22	7/31	—	921	17.1	0.63	28.2	4.0
ジュリオスター	10月上旬	2014	89	4/21	4/30	5/9	211	787	15.2	1.45	10.5	2.1
		2015	100	4/20	4/23	5/4	202	1016	15.0	1.15	13.2	2.2
	11月上旬	2014	89	6/2	6/9	7/2	220	696	16.0	1.08	15.0	3.5
		2015	100	5/27	6/1	6/5	209	983	16.0	0.90	18.1	3.4
	自然夏実	2014	15	7/2	7/11	7/16	—	1100	16.2	0.69	25.6	3.1
		2015	86	6/5	7/3	7/13	—	990	16.8	0.75	23.0	3.3
ソフトタッチ	10月上旬	2014	86	4/21	4/29	5/7	210	811	15.6	1.41	11.2	2.6
		2015	100	4/20	4/22	4/28	201	1011	16.6	0.97	17.6	1.8
	11月上旬	2014	90	5/28	5/30	6/11	211	1036	16.9	0.95	18.0	3.9
		2015	100	5/22	5/27	6/22	205	831	18.5	0.89	21.6	3.0
	自然夏実	2014	82	7/10	7/16	8/1	—	1009	16.3	0.59	27.8	3.5
		2015	100	6/17	6/30	7/17	—	893	16.8	0.71	24.3	3.2
ボゴール	10月上旬	2014	95	4/21	5/4	5/12	216	897	18.0	1.40	13.0	2.9
		2015	100	4/24	5/2	5/8	211	1083	20.7	1.06	19.8	3.2
	11月上旬	2014	90	6/2	6/6	6/11	218	775	18.5	0.90	20.8	2.3
		2015	95	5/27	6/2	6/10	211	845	20.6	0.73	29.0	3.9
	自然夏実	2014	85	6/30	7/4	7/10	—	884	17.7	0.72	25.3	2.3
		2015	90	6/12	6/20	7/6	—	992	21.2	0.57	37.6	3.8
沖農P17	10月上旬	2015	90	5/11	5/20	5/27	230	955	20.6	0.92	22.7	2.8
	11月上旬	2015	100	6/22	7/11	8/10	239	1320	20.4	0.81	25.6	3.8
	自然夏実	2015	73	7/24	8/3	8/11	—	1400	19.8	0.71	28.3	3.9

1) 食味は、5 : 良い、4 : やや良い、3 : 普通、2 : やや悪い、1 : 悪いで評価を行った。

と2015年の自然夏実区であった。

「ソフトタッチ」

2014年および2015年の平均収穫日はそれぞれ、10月上旬処理区が4月29日、4月22日、11月上旬処理区が5月30日、5月27日で花芽誘導処理から201日～211日と約7ヶ月で収穫できた。自然夏実区の収穫日はそれぞれ7月16日、6月30日であった。各品種の果実重は811g～1036gであった。果実品質は、2014年と2015年の11月上旬処理区および自然夏実区で高品質果実基準を満たす果実が得られた。

「ボゴール」

2014年および2015年の平均収穫日はそれぞれ、10月上旬処理区が5月4日、5月2日、11月上旬処理区が6月6日、6月2日で花芽誘導処理から211

日～218日と約7ヶ月で収穫できた。自然夏実区の収穫日はそれぞれ7月4日、6月20日であった。糖度は年次間でばらつきがみられたが、いずれの処理区もBrix17.7%以上と高い値を示した。果実品質は、2015年の全処理区において高品質果実基準を満たす果実が得られた。

「沖農P17」

平均収穫日は10月上旬処理区が5月20日、11月上旬処理区が7月11日で花芽誘導処理から230～239日と約8ヶ月で収穫できた。自然夏実区の収穫日は8月3日で、他の供試品種と比べて最も遅かった。果実重は10月上旬処理区で955gと他処理区と比較してやや小さかったが、11月上旬処理区および自然夏実区ではそれぞれ1320g、1400gと大玉果

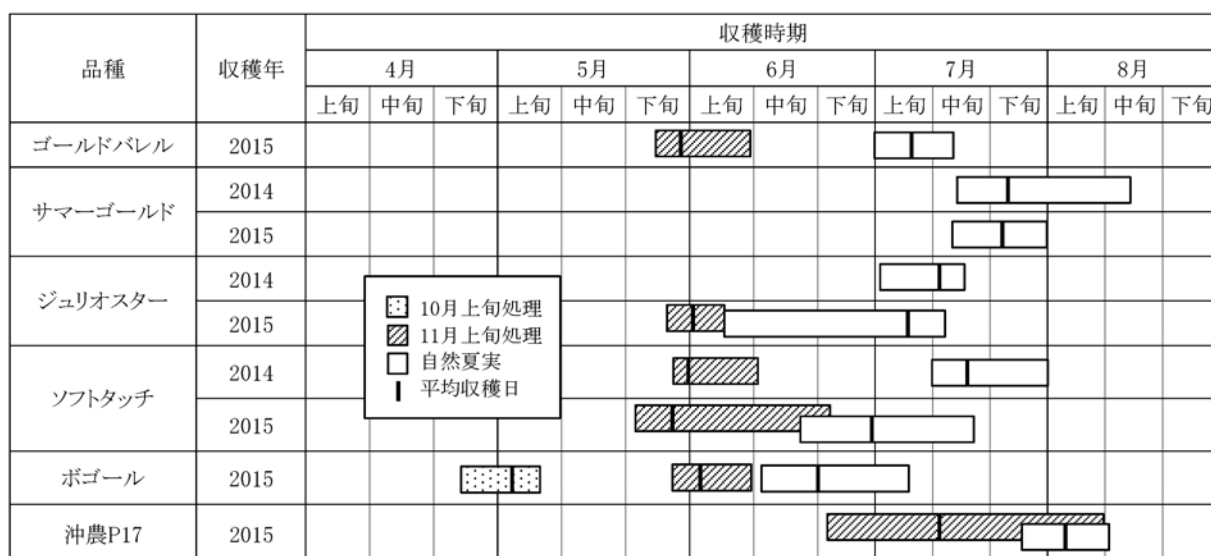


図1 高品質果実¹⁾が得られる各品種の収穫時期

1) 高品質果実の基準値は糖酸比 18.0 以上、食味点数 3.0 以上である。

実が得られた。酸度は 10 月上旬処理区が最も高く、11 月上旬処理区および自然夏実区の順に低下していった。酸度の低下に伴い、糖酸比は上昇し、自然夏実区では 28.3 と最も高い値を示した。高品質果実基準を満たす果実が得られたのは、11 月上旬処理区および自然夏実区であった。

考 察

2014 年の「ゴールドパレル」および「ジュリオスター」における自然夏実区の出蕾率は、それぞれ 0% および 15% と低かった。「ジュリオスター」は夏植え作型の自然出蕾率は既存品種よりも低いことが報告されている（與那覇ら，2014）。そのため、収量を安定的に確保するためには、花芽誘導処理を行うか、大苗を定植する必要があると考えられる。

果実品質について、沖縄県では品種育成の際の高品質果実基準値を果汁 Brix14% 以上、クエン酸含量 0.8% 以下、糖酸比 18 以上としている（沖縄県農林水産部，2013）。この値を目安に宮古地域におけるパインアップルの果実品質基準について、高品質果実基準を糖酸比 18 以上かつ食味点数 3 以上とすると 2014 年収穫果実においては「ソフトタッチ」の 11 月上旬処理区と自然夏実区、「サマーゴールド」と「ジュリオスター」の自然夏実区が該当した。2015 年収穫果実では「ボゴール」の全処理区、「ゴールドパレル」、「サマーゴールド」、「ソフトタッチ」、「沖農 P17」の 11 月上旬処理区および自然夏実区と「ジュリオスター」の自然夏実区において基準値を満たしていた。この結果をもとに図 1 に、高品質果実基準値を満たす品種の収穫時期を処理時期別に示した。宮古地域の夏植え栽培において、生果用

パインアップルは 4 月下旬から 5 月上旬には花芽誘導処理を 10 月上旬に行うことで「ボゴール」が高品質で収穫できる。5 月下旬から 6 月上旬には花芽誘導処理を 11 月上旬に行うことで「ゴールドパレル」、「ジュリオスター」、「ソフトタッチ」、「ボゴール」の 4 品種が高品質で収穫できる。6 月下旬は自然夏実で「ソフトタッチ」、「ボゴール」が高品質で収穫できる。7 月は花芽誘導処理を 11 月上旬に行うことで「沖農 P17」が、自然夏実で「ゴールドパレル」、「サマーゴールド」、「ジュリオスター」、「ソフトタッチ」の 5 品種が高品質で収穫できる。8 月上旬は自然夏実の「沖農 P17」が高品質で収穫できる。

以上のことから、宮古地域において良食味の果実を得るためには、図 1 に示す 6 品種を用いるのが好ましいと考えられた。そして、「ボゴール」は 10 月以降に花芽誘導処理を行い、「サマーゴールド」を除く 4 品種では、11 月以降に花芽誘導処理を行う方が良いと考えられる。これらの 6 品種の花芽誘導処理および自然夏実を組み合わせることで、4 月下旬から 8 月中旬まで収穫期を分散させながら高品質果実が収穫でき、長期間の果実供給が可能となると推測された。

各品種の処理区間において果実品質を比較すると、糖度は有意な差はみられなかったが、酸度は「N67-10」を除く全ての品種で 10 月上旬処理区が最も高く、11 月上旬処理区および自然夏実区の順で低下する傾向を示した。酸度の低下に伴い、糖酸比の値は「N67-10」と「サマーゴールド」を除いて 10 月上旬処理区が最も低く、11 月上旬処理区、自然夏実区の順で上昇した。また食味点数も、10 月上旬処理区よりも 11 月上旬処理区以降の試験区で高

くなった。この傾向は2014、2015年の2年間同様にみられた。この要因について、川満ら（1995）によると、パインアップルの糖含量は、季節で変化せず、有機酸含量は夏から冬実にかけて著しく増加し、その結果、糖酸比は著しく低下している。糖含量がほとんど変化しない理由として、8～12月の間、葉においては光合成が十分行われ、冬に向かうにつれ気温の低下で呼吸は抑制されるため、果実においては糖が蓄積し易い条件になるためと述べている。また、有機酸含量は発育中期に最高値に達し、その後呼吸基質として消費されるため減少する。このことから、今回の試験においても、気温が上昇し、呼吸量が増える5月以降においてその傾向が表れたと示唆される。福元ら（2002）は、パインアップルの果実品質は夜温の上昇に伴い、糖度が上昇して酸度が低下することで糖酸比が向上すると述べていることから、収穫期が遅くなると糖酸比は上昇することが示唆された。

これまでに、各品種の収穫時期や果実品質については、産地である沖縄本島北部や八重山地域で試験が行われている。正田ら（2014）は、「ボゴール」および「ソフトタッチ」の自然夏実の収穫時期は、本島北部地域で7月中下旬、八重山地域ではそれよりも約3週間程度早い6月下旬～7月上旬に収穫でき、「N67-10」および「沖農P17」は本島北部地域で8月下旬、八重山地域は約1ヶ月早い7月下旬に収穫できることを報告した。宮古地域における各品種の収穫時期について他産地と比較すると、「N67-10」、「ソフトタッチ」、「ボゴール」および「沖農P17」の自然夏実の収穫時期は、八重山地域と同等であり、本島北部地域より2～3週間程度早い。竹内ら（2014）は、「ジュリオスター」において本島北部地域で11月上旬～翌年4月中旬に花芽誘導処理を行うと、7月上旬～9月中旬に高品質果実（糖度14.5° Brix以上、酸度0.79%以下、糖酸比17.8以上）が収穫できることを報告した。宮古地域では11月上旬に花芽誘導処理を行うと6月上旬に高品質果実が得られたため、本島北部地域よりも1ヶ月程度早く高品質果実が収穫可能である。この理由として2012～2015年の宮古地域（鏡原气象台）および本島北部（名護气象台）における日平均気温の年間積算温度はそれぞれ8610.2℃、8315.9℃であり、宮古地域は本島北部地域よりも約300℃高い。先述の川満ら（1995）の報告より、積算温度の高い宮古地域では呼吸量の増加による熟の進みや減酸現象が本島北部よりも早い時期から始まるため、収穫時期も早くなったと考えられる。また本島北部地域においては、「ゴールドバレル」や「サマーゴールド」など各品種について、ハウス栽培における収穫時期や果実品質の研究が行われている。「ゴールドバレル」

のハウス栽培では生育や果実肥大が促進され、いずれの花芽誘導処理時期ともに露地栽培にくらべ収穫時期が1ヶ月程度早まり、商品価値の高い大果な果実が収穫できる（竹内ら、2016）ことが報告されている。宮古地域においてもハウス栽培の導入を検討することで、さらなる収穫期拡大の可能性が示唆される。

謝 辞

本研究は「気候変動対応型果樹農業技術開発事業」の一課題として実施された。本研究の推進にあたり、沖縄県農業研究センター宮古島支所の皆様には多大なご協力、ご助言をいただきまして心より感謝致します。

引用文献

- 福元康文，西村安代，島崎一彦（2002），パインアップルの品質に及ぼす夜温，日射量とエスレル処理濃度の影響，園学雑 71（別 1）
- 川満芳信，與儀喜代政，濱上昭人，野瀬昭博，比嘉正和（1995），パインアップル果実の糖，有機酸，プロメラインにおける品種間差異，季節および収穫後の変化，沖縄農業，30（1）
- 沖縄県農林水産部（2013），沖縄県におけるパインアップルの育種
- 沖縄県農林水産部（2017），沖縄の農林水産業
- 小那覇安優（2002），パインアップルの生理生態に関する研究，沖縄県農業試験場報告，25
- 正田守幸，竹内誠人，與那覇至，與那嶺要，諸見里知絵，出花幸之介，栗国佳史，喜納兼二，崎山澄寿，池宮秀和（2014），極高糖性で果実病害の発生が少ないパインアップル新品種候補「沖縄17号」，平成26年度普及に移す技術の概要，沖縄県農林水産部
- 竹内誠人，諸見里知絵，玉城聡，正田守幸（2016），パインアップル「ゴールドバレル」のハウス栽培による高品質果実出荷時期，平成28年度普及に移す技術の概要，沖縄県農林水産部
- 竹内誠人，諸見里知絵，與那嶺要，正田守幸，長浜隆市，金城秀樹（2014），本島北部地域における「ジュリオスター」の高品質果実栽培法，平成26年度普及に移す技術の概要，沖縄県農林水産部
- 與那覇至，與那嶺要，大野豪，村山盛敏，宮平米浩，宮里進，東嘉弥真勇人（2014），八重山地域における「ジュリオスター」の高品質果実栽培法，平成26年度普及に移す技術の概要，沖縄県農林水産部

Harvest period for high-quality fresh pineapple on Miyako Island, Okinawa

Ayaka Irei¹, Kazufumi Yoza², Ryotaro Ichi³

1 Okinawa Prefectural Agricultural Research Center

2 Okinawa Prefectural Agricultural Research Center Miyakojima Branch

3 Okinawa Prefectural Agricultural College

Abstract

The effects of flower induction treatment (treatment from early October and early November) and natural conditions on the fruit characteristics of 7 pineapple cultivars were compared. Although there was no significant difference in sugar content, the acidity was highest with the early October treatment in 6 cultivars except “N67-10” and decreased in order of early November treatment and natural conditions. The sugar/acid ratio was lowest with early October treatment in 5 cultivars except “N67-10” and “Summer Gold” , and increased in order of early November treatment and natural conditions. The taste scores matched the sugar/acid ratios. In 2014, high-quality fruit with a sugar/acid ratio of 18 or higher and a taste score of 3 was obtained with early November treatment and natural conditions for “Soft Touch” , and with natural conditions for “Summer Gold” and “Julio Star” . In 2015, similar quality fruit was obtained with all treatments for “Bogor” , with early November treatment and natural conditions for “Gold Barrel” , “Summer Gold” , “Soft Touch” and “Okino P17” , and only by natural conditions for “Julio Star” . From these results, it was considered preferable to use the 6 cultivars mentioned above in order to obtain good tasting fruit from the Miyako area. Flower bud induction treatment was carried out for “Bogor” after October, and we found that flower bud induction treatment should be performed after November for 4 cultivars except “Summer Gold” . The harvest period can be expanded by combining the flower induction treatment and natural conditions for these 6 cultivars. Furthermore, high-quality fruit can be harvested from late April to middle August by varying the harvesting period.

Keywords: flower induction processing time, high-quality fruit

原著論文

真空脱気を利用して膨張させた黒糖（エアイン黒糖）の基本製造条件と特性

前田剛希¹，広瀬直人¹

¹ 沖縄県農業研究センター農業システム開発班

要 約

真空脱気の利用を利用して膨張させた黒糖，いわゆるエアイン黒糖について，黒糖を膨張させるタイミングなどエアイン黒糖の基本的な製造条件を確認した．また，エアイン黒糖と従来法で製造した黒糖について，密度と溶解性，崩壊性を比較した．試験の結果，次の知見を得た．

黒糖製造の際，固化直前のサトウキビハイシロップ（ショ糖が過飽和状態になるまで煮詰めた蔗汁）を密閉容器内に入れ，真空ポンプで排気して容器内を減圧することで，膨張した黒糖，いわゆるエアイン黒糖が得られた．エアイン黒糖の製造では，ハイシロップの急冷固化を防ぐために，型へ移すまではハイシロップを加温しながら攪拌すること，型は冷却攪拌終了時のハイシロップ液温と同程度の 90℃前後に加温しておくことが必要であった．エアイン黒糖は型崩れし易いが，離型油や離型し易いシリコン製の型あるいはシリコンコートされた型を使うことで，取り外し時の型崩れを防ぎ，様々な形状のエアイン黒糖を製造できた．

エアイン黒糖は，通常の黒糖と比較して 2～3 倍に膨張しており，破断荷重は小さく，溶解性と崩壊性は向上した．エアイン黒糖は噛み砕きやすく，口溶けの良い性質を有した黒糖であることが明らかになった．

キーワード：サトウキビ，食感

緒 言

黒糖は，サトウキビ（*Saccharum spp. hybrid*）の汁を煮詰めた砂糖菓子である．サトウキビは，沖縄県と鹿児島県に属する南西諸島全域で盛んに栽培されている．沖縄県におけるサトウキビ生産の経済波及効果は，サトウキビ生産額ベースで 4.3 倍である（家坂，2001）．沖縄県内には JA や製糖会社の運営する黒糖工場が 8 工場あるが，いずれも所在地は離島であり，サトウキビを原料とした製糖業は，島の経済を支える重要な産業の一つになっている．

沖縄県全体では年間約 8000 トンの黒糖が生産されており，そのうち約 9 割が羊羹やかりんとうなどの菓子あるいは黒糖焼酎などの原料用として，残りの約 1 割が黒糖をそのまま消費する直消用として流通している．黒糖は，お茶うけの菓子としてはもちろん，料理やお菓子作りにも利用され，観光土産としての人気も高い．市場には，黒糖をアレンジした様々な商品が流通している．そのほとんどは「味」や「香り」，「形・パッケージ」に着目したものである．

黒糖は，製造工程中に生じるカラメル様物質やメイラード反応物による独特な色調，風味を呈する（中田ら，1964）黒色の砂糖菓子である．黒糖独特の風味と色は，黒糖の長所である反面，味や香り，色をアレンジしにくいという短所でもある．黒糖は，石灰を入れて灰汁取り（ライミング）した蔗汁を加熱

濃縮して作られる．石灰を使わない（ライミングをしない）で作られた黒糖は色が明るくすっきりした味になる（氏原ら，2009）．茎の汁だけでなく，梢頭部汁を原料汁に含めると，ポリフェノールが豊富で，黒い色調や苦味の強い黒糖を作ることが可能である（前田ら，2017）．いずれにしても原料がサトウキビの汁だけであることから，黒糖の味や香りをアレンジするには限界があると考えられる．

一方，黒糖以外の食品を見ると，味や香りに留まらず，「食感」に特徴を持たせた製品が数多く開発されている．例えば，チョコレートでは軟らかい生チョコや発泡させて口当たりを軽くしたエアインチョコが数多く開発されている．黒糖でも，食感に特徴を持つ製品ができれば，新しい需要が創出され，大きな経済効果をもたらすことも期待できる．

食感に特徴付けした代表的な食品の 1 つであるエアインチョコは，チョコレート生地を攪拌して気体を含ませながら冷却後，減圧下で生地中の気泡を膨化させる方法（牧野ら，1983），いわゆる減圧冷却法で製造されている．減圧冷却法で作られたエアインチョコの内部は，連続したチョコレートの壁が気泡を包む構造をしている．

チョコレートと異なり，黒糖は，成分の約 9 割が糖質である（科学技術庁資源調査会 5 訂日本食品標準成分表）．ほとんど砂糖の結晶の塊である黒糖でもチョコレートと同様に，膨張して気泡を包む壁構

造が形成されたエアイン製品を作ることができるのか、また、その食感はどのようなものになるかは不明である。

そこで本研究では、エアインチョコの製造法である減圧冷却法で使われている真空脱気の原理（密閉容器に材料を入れて、容器内の空気を真空ポンプで排気すると、材料に溶け込んだ空気が膨張して発泡する）を利用して、膨張した黒糖、いわゆるエアイン黒糖の製造を試みた。次にエアイン黒糖の基本的な製造条件として、真空脱気のタイミングや型の加温条件、離型油の有効性、型の素材などを検討した。また、冷却攪拌時間とエアイン黒糖の膨張程度の関係についても調べた。さらに、エアイン黒糖の特性を明らかにするために、従来法で製造した黒糖と密度や硬度、崩壊性、溶解性を比較した。

実験材料および方法

試験 1. エアイン黒糖の製造条件の検討

1. 真空脱気と固化のタイミングの検討

1) サトウキビシロップの調製

2013 年 3 月に沖縄県農業研究センター内のほ場で収穫したサトウキビ‘Ni21’を、小型二軸圧搾機（松尾製作所、鹿児島）で搾汁した。石灰で pH7.5 に調整した蔗汁を、沸騰するまで加熱後、8000rpm で 10 分間遠心分離した。得られた上清を加熱濃縮して、Brix50% のサトウキビシロップ（以後シロップ）を調製した。シロップは黒糖の製造まで -20℃ で保存した。

2) 黒糖の製造

1) で調製したシロップ 150 mL を家庭用深底鍋に入れて、ガスコンロで液温が 125℃ に達するまで加熱濃縮した。濃縮したシロップ（以後ハイシロップ）は、広瀬ら（2014）が開発した卓上型黒糖試験製造装置の直径 8 cm のステンレス製容器に移し、翼径 7.5cm タービンタイプの攪拌羽根 2 枚を取り付けた攪拌機（BL300D, As ONE 製）を用いて、速度 300rpm で攪拌しながら冷却した。攪拌羽根にかかるトルクが 0.01N・m 未満、0.01 ~ 0.02N・m、0.06N・m または 0.06N・m 超に達した時点で、ステンレス製型（1 辺 2 cm の正方形 × 16 個）にハイシロップを半分程度流し込み、0.5 cm 厚の亚克力板でフタをして約 1.5 Kg の重りを乗せた後、容積 19 L の真空デシケーターに入れて真空ポンプで 5 分間脱気（到達圧力 -0.08Pa）した。

3) 固化直前のハイシロップの状態と黒糖の膨張程度

固化直前のハイシロップの状態と、製造した黒糖の膨張程度を目視で評価した。

2. 型の加温と黒糖の膨張程度の関係、型の素材の比較

1) 黒糖の製造

2014 年 11 月に沖縄県農業研究センター内のほ場で収穫したサトウキビ（数品種混合）の蔗汁から、1. と同様に Brix50% のシロップを調製し、従来の黒糖とエアイン黒糖を製造した。エアイン黒糖は、型の加温の有無により、下記の 2 種類を製造した。また、型加温区については、離型油スプレーを用いた時の黒糖回収率も調べた。さらに、異なる素材の型を 4 種類（シリコーンゴム、ABS 樹脂、スチール（シリコン加工、フッ素樹脂加工））用意して製造し、成型のし易さ、型崩れの状況を比較検討した。

① 無加温区：攪拌停止後、ハイシロップを無加温の型（ステンレス製、横 2 cm × 縦 1.5 cm × 99 個分）に流して、放冷固化あるいは下記②のとおり真空脱気して固化した（型底面の温度：25.4 ± 0.1℃、型側面の温度：26.9 ± 1.3℃）。

② 加温区：攪拌停止後、ハイシロップを、家庭用ホットプレートで加温した型（設定温度：保温、型底面の温度：86.8 ± 10.0℃、型側面温度：86.9 ± 9.0℃）に流した後、密閉容器のステンレス製底板（底板表面温度：26.9 ± 0.6℃）の上に置き、内寸が直径 54 cm × 高さ 19 cm のステンレス製ドーム型フタをかぶせて密閉、真空ポンプで脱気、固化した（写真 1）。真空脱気は次の条件で行った。容器容量：27.5 L、排気速度：18 L/min、脱気時間：5 min。冷却攪拌停止時のハイシロップの温度：104 ± 7.4℃。シロップと型の表面温度は、赤外線放射温度計 AD-5615（（株）A&D）で測定した。

2) 黒糖の膨らみの程度と型に接する部分の厚さ

製造したエアイン黒糖の外観と、内部の様子を目視で評価した。

3. 冷却攪拌時間とエアイン黒糖の膨張程度の関係

1) 黒糖の製造とエアイン黒糖の膨らみの程度の調査

2016 年 4 月に沖縄県農業研究センター内のほ場で収穫したサトウキビ（数品種混合）の蔗汁から、Brix50% のシロップを調製し、2. の型加温区と同様にしてエアイン黒糖を製造した。ハイシロップを冷却攪拌する際、ホットプレートスターラー RCT BS4



写真 1 黒糖製造に用いた密閉容器と真空ポンプ、型

表 1 真空脱気のタイミングの違いによるハイシロップの状態と黒糖の膨張程度

減圧脱気のタイミング (攪拌停止時の攪拌羽根 にかかったトルク) ^{注1)}	ハイシロップの状態		黒糖の膨張の程度 ^{注2)}
	色	見た目の性状	
0.01 N・m未満	濃茶褐色	・水飴状。 ・容器を傾けると型に流れ落ちて、自然に広がっていく。	全く膨らまないで普通の黒糖になる。一部は飴状。
0.01～0.02 N・m	白濁	・練り歯みがきを水で溶いて軟らかくした様な状態。 ・容器を傾けると型に流れ落ちて、自然に広がっていく。	十分に膨らむ。
0.06 N・m	白濁	・練り歯みがきを水で溶いて軟らかくした様な状態。 ・容器を傾けると型に流れ落ちるが、少し堅めで、へら等で広げる必要がある。	十分に膨らむが、一部膨らむ前に固まる。
0.06 N・m超	白濁	・練ったセメント様。 ・容器から型に移す途中で液が固まり始める。	膨らみが不十分で、膨らむ前にほとんど固まる。

注1) ライミング後、Brix50%に加熱濃縮したサトウキビ搾汁液150mlを125℃に達するまでさらに加熱濃縮。得られた糖液全量を直径8cmのステンレス製容器に移して、翼径7.5cmタービンタイプの攪拌羽根2枚を取り付けた攪拌機 (BL300D、As ONE製) で攪拌 (300rpm) し、攪拌羽根にかかるトルクを測定した。注2) 攪拌を止めた糖液を、ステンレス製金型 (1辺2cmの正方形×16個) に半分程度流し込んだ後、0.5cm厚の亚克力板でフタをし、その上に約1.5kgの重りを乗せて、真空デシケーターに入れ、真空ポンプで5分間脱気 (到達圧力-0.08Pa) した。減圧脱気後の黒糖の性状を目視で確認した。

(IKA) で容器底面を 80℃、100℃、120℃、140℃に加熱して、冷却攪拌時間とエアイン黒糖の膨らみ程度の関係を調査した。

を測定した。

結果および考察

試験 2. エアイン黒糖の膨張率と硬度、溶解性、崩壊性

1. 黒糖の製造

試験 1-1 で調製したシロップで、エアイン黒糖と従来法の黒糖を製造した。エアイン黒糖は試験 1-1 と同様に製造した。ハイシロップが白濁し、攪拌羽根にかかるトルクが 0.02N・m に達した時点で攪拌を止めて型に流し込み、5 分間真空脱気しながら固化させた。対照とする従来法の黒糖は、ハイシロップを流し込んだ後、自然放冷によって固化させた。

硬度と崩壊性、溶解性を測定するための黒糖はステンレス製型 (1 辺 2 cm の正方形×16 個) で、膨張率測定用の黒糖は亚克力製の型 (縦 1.5 cm × 横 1.5 cm × 高さ 17 cm) でそれぞれ製造した。

2. 膨張率と硬度、崩壊性と溶解性の測定

膨張率は、真空脱気前後の黒糖の高さを測定し、真空脱気前の高さを 100% として算出した。

硬度は、1 片 2 cm 角の黒糖を試料に用いて、島津小型卓上試験機 EZ-S 500N (島津製作所) で、破断荷重 (N) を測定した。試験治具は歯形押し棒 B を用い、ストローク 1 cm/ 分で測定した。

崩壊性と溶解性は、次のとおりに測定した。1 片 2 cm 角の黒糖を 37℃ の温湯中に入れて、スターラーが直接黒糖に触れないように温湯を 100 rpm の速度で攪拌した。黒糖の形が崩れるまでの時間 (崩壊時間) と、水に完全に溶けるまでの時間 (溶解時間)

試験 1. エアイン黒糖の製造条件の検討

1. 真空脱気と固化のタイミングの検討

冷却攪拌時に攪拌羽根にかかるトルクが 0.01N・m 未満のハイシロップは、水飴様であり、容器を傾けると型に流れ落ちて、自然に広がる程度の粘性を有していた。この状態のハイシロップを真空脱気すると膨らまずに固まり、一部は飴状になった。(表 1, 写真 2)。攪拌羽根にかかるトルクが 0.01 ～ 0.02N・m に達したハイシロップは、白濁して練り歯みがき粉を水に溶いて軟らかくした様な状態であり、容器を傾けると型に流れ落ちて自然に広がる程度の粘性を保っていた。この状態のハイシロップを真空脱気すると、膨らんで、中に空隙を含むエアイン黒糖が得られた。トルクが 0.06N・m のものも同様であったが、0.01 ～ 0.02N・m で攪拌を停止したハイシロップよりはやや固めであり、型に流す時には、へら等で広げ



写真 2 真空脱気のタイミングの違いによる黒糖の膨張程度 (左から攪拌羽根にかかるトルクが 0.01 N・m 未満, 0.01 ～ 0.02 N・m, 0.06 N・m のタイミングで攪拌を止めて真空脱気した)

表 2 型の加温と黒糖の状態の関係

		エアイン黒糖	
		通常黒糖	
		型無加温区	型加温区
冷却撹拌終了時の液温		105.4 ± 5.3	98.7 ± 9.1
型横面の温度(°C)		26.9 ± 0.6	26.9 ± 1.3
型底面の温度(°C)		26.8 ± 0.1	25.4 ± 0.1
密閉容器底面の温度(°C)		—	27.4 ± 2.8
黒糖の状態	固まり具合	しっかり固まった。	しっかり固まった。
	膨らみ具合	膨らんでいない。	一部膨らんだ。
	中のつまり具合	詰まっている。	一部に空隙。
	型枠からの取り外し具合	きれいに取れた。	きれいに取れた。
型からの回収率(%)		100	88.5
			67.5 (96%:離型油スプレーを用いた場合)

る必要があった（表 1, 写真 2）。トルクが $0.06\text{N}\cdot\text{m}$ を超えるまで撹拌を続けると、ハイシロップは練ったセメント様になり、容器から型に移す途中で液が固まり始め、膨らみも不十分であった（表 1, 写真 2）。

以上の結果から、冷却撹拌時の撹拌羽根にかかるトルクが $0.01 \sim 0.06\text{N}\cdot\text{m}$ 未満であり、ハイシロップの状態が、水で溶いた練り歯みがき粉様で容器を傾けると流れ落ちて自然に広がる程度になった頃に、真空脱気しながら煮詰めたハイシロップを固化することで、十分な膨らみのエアイン黒糖を得ることができると推察された。

2. 型の加温と黒糖の膨張程度の関係

型無加温区のエアイン黒糖は、型に接触する面が



写真 3 型の加温と黒糖の膨張程度の関係
（左から従来法の黒糖，エアイン黒糖（型無加温区），エアイン黒糖（型加温区））

膨らむ前に固化し、膨らみも不十分だった（写真 3 上, 表 2）。一方、型加温区のエアイン黒糖は、全体的に発泡しており、内部は空隙が均一に広がっていた（写真 3 下, 表 2）。いずれのエアイン黒糖も、崩れやすいために、従来法で製造した黒糖と比較すると、型からの回収率が低下した（表 2）。特に、型加温区のエアイン黒糖は、型との接触面まで空隙があるので取り外しの際に型崩れし易く、成形した黒糖を 70% 弱しか回収できなかった（表 2）。黒糖の型崩れは、予め型に離型油をスプレーしておくことで防止でき、成形したエアイン黒糖を 100% 近く回収できた（写真 4）。また、シリコンゴム製の型やシリコン加工・フッ素樹脂加工した型を用いれば、離型油スプレーを使わなくても、型からの取り外しは比較的容易であり、成型したエアイン黒糖を回収することができた（写真 5）。

3. 冷却撹拌時間とエアイン黒糖の膨張程度の関係

エアイン黒糖は、冷却撹拌時のハイシロップ加熱



写真 4 型から取り外した際のエアイン黒糖の型崩れの様子（左：離型油スプレー不使用，右：離型油スプレー使用）



写真5 素材の異なる型で成型したエアイン黒糖
(左からスチール・フッ素樹脂加工, スチール・シリコン加工, シリコーンゴム, ABS樹脂. 上段は黒糖の上の部分, 下段は黒糖が型に接触していた面)

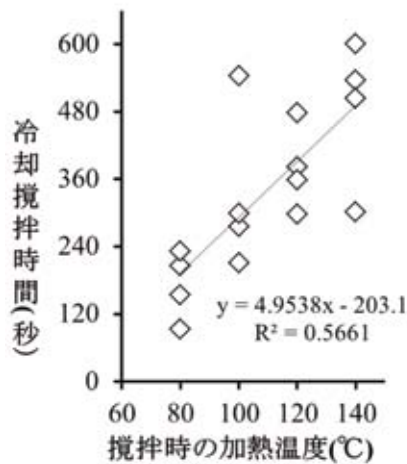


図1 冷却撹拌時のハイシロップ加熱温度と冷却撹拌時間^{注)}の関係

注) 冷却撹拌時間: 直径8cmのステンレス製容器に移したハイシロップを, 翼径7.5cmタービンタイプの撹拌羽根2枚を取り付けた撹拌機(BL300D, AsONE製)を用いて速度300rpmで撹拌し, 撹拌羽根にかかるトルクが0.01N・mに達するまでに要した時間.

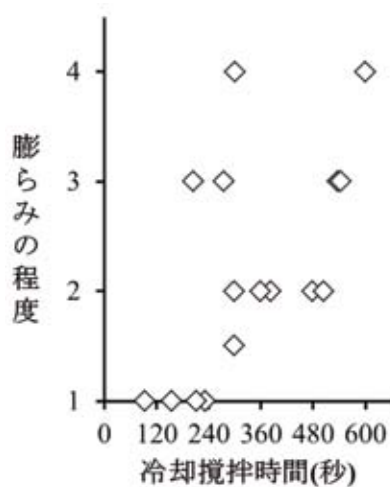


図2 冷却撹拌時間と膨らみの程度の関係

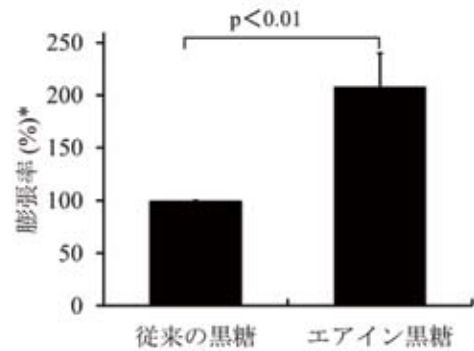


図3 従来法の黒糖とエアイン黒糖の膨張率



写真6 硬度測定用に製造したエアイン黒糖

温度が高いほど, 冷却撹拌時間は長くなり (図1), 冷却撹拌時間が長いほど安定して膨れる傾向を示した (図2). 一方, エアイン黒糖は膨れすぎると崩れやすくなるため, 型からの取り出しが難しくなる状況も観察された. エアイン黒糖の製造においては, 黒糖の膨らみを安定させることが最も重要である. さらに, 型からの取り外しを確実にすることも製品化の際に必要な不可欠な要素である. エアイン黒糖の型からの取り外しを容易にするためには, 型の素材の選択はもちろん, 撹拌程度の微妙な調整も必要と推察される.

試験2. エアイン黒糖の膨張率と硬度, 溶解性, 崩壊性

真空脱気しながら固化すると, 従来法の黒糖の2倍に膨張したエアイン黒糖が得られた. 密度が低く, 内部に空隙があるこの黒糖は, サクサクした軽い食感を有した (図3, 写真6). そこで, 型で立方体に成型したエアイン黒糖 (密度: 従来法で製造した黒糖の約67.8%) と, 同じ形状・大きさの従来法で製造した黒糖について, 破断荷重と水に入れた時の溶解時間, 崩壊時間を比較した. エアイン黒糖の破断荷重は従来法の黒糖の1/6であり, 従来法の黒糖と比べ

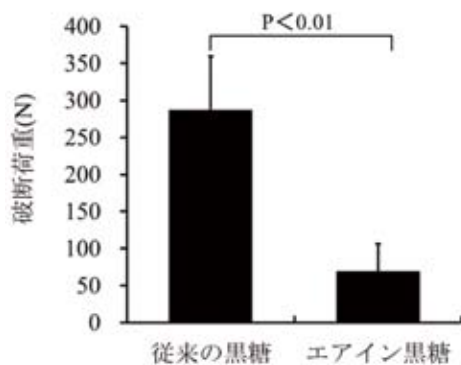


図4 従来法の黒糖とエアイン黒糖の破断荷重

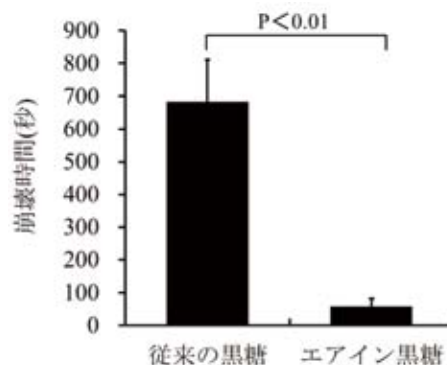


図5 従来法の黒糖とエアイン黒糖の崩壊性

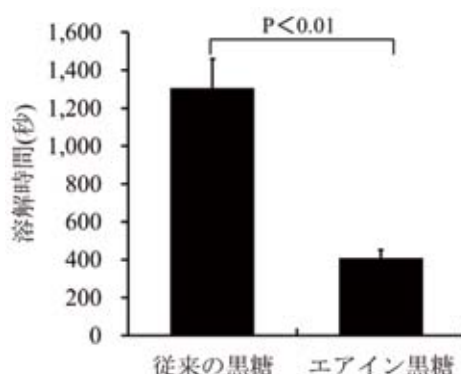


図6 従来法の黒糖とエアイン黒糖の溶解性

て、弱い力で噛み砕けることが明らかになった（図4）。また、エアイン黒糖は、水中で形が崩壊するまでの時間が従来の黒糖の約 1/10（図5）、完全に水に溶けるまでの時間は約 1/3 であった（図6）。エアイン黒糖は、従来の黒糖と比べて、水を含むと顕著に崩れやすく、水に溶けやすい性質を有していることから、口溶けも良い黒糖であることが明らかになった。

チョコレートと同様に、真空脱気することで黒糖でも内部に気泡を含むエアイン製品を製造できることが明らかになったが、チョコレートについては、本報で黒糖の膨張に応用した減圧冷却法だけでなく、常温あるいは加圧下で生地をホイップして気泡を抱き込ませる方法（土井ら，1985）を始め、食感を変えるために様々な研究が行われている。エアインチョコの製造では、真空度や添加する油脂の種類、含気するガス等の条件を変えることによって、気泡の大きさも変わる（Haedelt J., et.al., 2005, 2007）。著者らの研究でも、エアイン黒糖の製造条件を検討していく過程で、原料蔗汁によって膨らみの程度や内部の気泡の大きさが異なるという事例が度々生じた。黒糖においても、細かい製造条件の変更や蔗汁の状態を調整することで、様々な食感のエアイン黒糖を製造できると予想される。今後の課題としたい。

以上の結果より、エアイン黒糖について次の知見を得た。

- 1) 黒糖製造の際、固化直前の煮詰めたハイシロップを密閉容器内に入れて、真空ポンプで排気、容器内を減圧することで、膨張したエアイン黒糖を得ることが必要であった。
- 2) 十分に膨らんだエアイン黒糖を安定的に製造するためには、型に移すまで加温しながら十分に攪拌すること、型も十分に加温しておく事が必要であった。
- 3) シリコン製の型やシリコンコートされた型を使うことで、様々な形状のエアイン黒糖を作ることが可能であった。
- 4) エアイン黒糖は通常の黒糖と比較して2～3倍に膨張、密度は1/2～1/3になっていた。溶解性と崩壊性も顕著に向上していることから、サクサクした軽い食感で噛み砕きやすく、かつ口溶けの良い黒糖であることが明らかになった。

謝 辞

本研究は、新たな時代を見据えた糖業の高度化事業（沖縄振興特別推進交付金）で実施した。本研究の遂行にあたり、型の製作にご協力いただいた沖縄県農業研究センターの宮平守邦農林水産技能員とサトウキビの蔗汁を提供していただいた作物班の皆様には心より感謝いたします。

引用文献

- 家坂正光（2001），沖縄の農業労働力問題とサトウキビ生産構造（推移と展望，日本分蜜糖工業会，沖縄甘蔗糖年報，第32号，21-28。
- Haedelt J., Pyle D.L., Beckett S.T., Niranjana K., 2005. Vacuum induced bubble formation into liquid tempered chocolate, *J Food Sci*,

70(2): 159–64.

Haedelt J., Beckett S.T., and Niranjana K., 2007, Bubble-Included Chocolate: Relating Structure with Sensory Response, *J Food Sci*, 72(3):138-142.

広瀬直人 (2014), 再現性の高い試験用黒糖の製造方法の開発, 沖縄県農業研究センター研究報告, 8, 40 ~ 44.

前田剛希・下地格・手登根正・下地浩之・上地克美・伊志嶺弘勝・砂川正幸・知念潤・出花幸之介・宮城克浩・荻貴之 (2017), 梢頭部汁を混合して製造した黒糖と茎汁のみで製造した黒糖の比較, 沖縄県農業研究センター研究報告, 投稿中. 牧野正義, 塚田尚義, 膨化成型菓子及びその製造方法, 1983, 特開昭 58-107136.

牧野正義, 塚田尚義, 膨化成型菓子及びその製造方法, 1983, 特開昭 58-107136.

中田栄太郎・前田直彦・谷口修・酒井一幸 (1964), 黒糖製造法, シュガーハンドブック (浜口栄二郎・桜井芳人監修), 朝倉書店, p.106-118.

土井明, 松浪秀信, 松尾英明, 気泡性を有するチョコレート類の製造方法, 1985, 特開昭 60-58037.

氏原邦博・吉元誠・和田浩二・永井竜児・広瀬直人・照屋亮 (2009), 黒砂糖の色調と品質に及ぼすサトウキビ搾汁機ローラーの材質とライミング処理の影響, 食科工, 56, 343 ~ 349.

Characteristic features and manufacturing conditions of unrefined brown sugar (Air in unrefined brown sugar; Air in Kokuto) expanded using the principle of vacuum degassing

Goki MAEDA, Naoto HIROSE

Okinawa Prefectural Agricultural Research Center, Regional Agricultural System Section,

Abstract

We tried making inflated Kokuto (Air in unrefined brown sugar; Air in Kokuto) using vacuum degassing. We compared the density, solubility and disintegration of Kokuto produced by the conventional method with those of Air in Kokuto. We also clarified the basic manufacturing conditions for Air in Kokuto such as timing to inflate Kokuto.

We found that expanded Kokuto can be obtained by putting the sugar cane high syrup in a sealed container immediately before solidification and evacuating it with a vacuum pump to depressurize the inside of the container. In order to make Air in Kokuto, it was necessary to stir the high syrup while heating until transferring to the mold. In addition, the mold had to be heated to around 90°C, which is approximately the same as the liquid temperature of the high syrup at the end of cooling and stirring. Air in Kokuto easily collapses when detached from the mold, but this can be prevented by using mold release oil, a silicone mold or a silicone-coated mold.

Air in Kokuto expanded 2- to 3-times more than conventional Kokuto, markedly decreasing the breaking load and improving the solubility and disintegration properties.

Keywords: Sugar cane, texture

原著論文

梢頭部汁を混合して製造した黒糖と茎汁のみで製造した黒糖の比較

前田剛希¹，下地 格¹，手登根正²，下地浩之²，上地克美²，伊志嶺弘勝²，
砂川正幸²，知念 潤¹，出花幸之介¹，宮城克浩³，荻 貴之⁴

1 沖縄県農業研究センター

2 沖縄県農業研究センター宮古島支所

3 沖縄県農林水産部農林水産総務課

4 沖縄県工業技術センター

要 約

サトウキビの梢頭部は、ほとんど糖分を含まないために黒糖製造時には原料茎から取り除かれているが、ポリフェノールやミネラル等の有用成分を多く含んでいる。サトウキビ梢頭部を原料に加えることで、ポリフェノールが豊富な黒糖を製造できることが期待される。

そこで、まずサトウキビの梢頭部と茎の搾汁液（梢頭部汁と茎汁）について、ポリフェノールやカリウム等の含量を比較した結果、梢頭部汁には茎汁と比較して、カリウムは約4倍、カルシウムは約5倍、ポリフェノールは約1.6倍多く含まれていた。次いで茎汁と梢頭部汁を混合して製造した梢頭部入り黒糖と、茎汁だけを原料とした従来の黒糖を製造し、色、ミネラル含量、ポリフェノール含量及び組成、抗酸化能を比較した結果、梢頭部入り黒糖は従来の黒糖よりも黒色が強く、カリウムやカルシウム、マグネシウム、およびポリフェノールは増加し、抗酸化能も強くなった。梢頭部入り黒糖には梢頭部由来のポリフェノールであるクロロゲン酸とネオクロロゲン酸が多く含まれていた。

梢頭部汁を原料に混合することで、黒糖のポリフェノール含量を増加、抗酸化能も強くするだけでなく、色調や味も調整できる可能性が示唆された。

キーワード：ポリフェノール、ミネラル

結 言

黒糖は、サトウキビ (*Saccharum* spp. hybrid) の搾汁を煮詰めた甘味原料であり、沖縄や鹿児島では伝統的な砂糖菓子としても食されている。黒糖の製造工程は単純で、概略すると次のとおりである。サトウキビの茎部の搾汁液を、石灰で pH7.5 前後に調整した後、加熱する。沸騰したら浮いてきた灰汁を除去し、搾汁液を煮詰める。搾汁液がショ糖の過飽和状態、いわゆるハイシロップの状態になるまで煮詰めた後、加熱を中止し、ハイシロップを攪拌する。金型などに流し込んで放冷すると、ショ糖の結晶化が進み、固化して黒糖ができあがる。

原料のサトウキビは、収穫時に、葉や梢頭部（第5完全展開葉の着生節部より上部を指す）を取り除き、原料茎として利用される（写真1）。サトウキビ梢頭部（以後梢頭部）は糖分をほとんど含んでいないことから（藤井ら，1982），黒糖の原料に混入すると単位重量あたりの製糖量，すなわち製糖歩留まりを低下させる原因となるため、製糖原料から取り除く対象となっている。取り除かれた梢頭部は、そのまま畑に鋤込まれるか、苗や家畜の飼料（田中ら，2008）として利用される。一方、梢頭部にはポリフェノール等の有用成分が多く含まれており（前

田，2010），梢頭部を活用した高付加価値黒糖や機能性素材などの商品開発の展開も期待される。しかしながら、積極的に梢頭部を黒糖原料に加える様な研究は行われていない。

そこで本研究では、まず梢頭部と茎部の搾汁液（以後、梢頭部汁と茎汁）について、ポリフェノールやカリウム等の含量を比較し、両者の成分的な違いを明らかにした。次いで茎汁と梢頭部汁を混合して製造した黒糖（以後、梢頭部入り黒糖）と、茎汁だけを原料とした黒糖（以後、従来の黒糖）を製造し、色や食味、有用成分含量（ミネラル、ポリフェノール）、抗酸化能を比較した。また、黒糖に含まれる



写真1 収穫したサトウキビの梢頭部と茎部（右写真の矢印部分の第5完全展開葉着生節部より上部が梢頭部）

ポリフェノールを分析し、梢頭部が原料に混入することで生じる黒糖のポリフェノール組成の変化を明らかにした。さらに、アンケート調査を行い、梢頭部入り黒糖と従来の黒糖に対する消費者の嗜好性を明らかにした。

実験材料および方法

1. 梢頭部汁と茎汁の成分比較

1) 材料

沖縄県農業研究センター宮古島支所（土壌：島尻マーヅ）で栽培した夏植え（2008年9月植え）のサトウキビ‘Ni21’を試験に用いた。2009年11月末に収穫したサトウキビは脱葉し、第5完全展開葉の着生節部から上部の「梢頭部」と下部の「茎部」に分けて、モーター駆動式小型圧搾機（3本ロールバナ加压式圧搾機 TM-340（B）、松尾製作所）で搾汁した。搾汁率は、茎 72.2%、梢頭部 48.9%であった。搾汁液は黒糖製造時まで -20℃で冷凍保存した。

2) ミネラルの定量

搾汁液を蒸留水で 50 倍希釈し、0.45 μ m メンブレンフィルター（DISMIC-13HP, ADVANTEC）で濾過後、イオンクロマトグラフ装置（ICS1500, Thermo Fisher SCIENTIFIC）でカリウムとマグネシウム、カルシウム、ナトリウムの含量を分析した。分析条件：カラム；Dionex IonPac CS12A（250 mm $\times$ 4.0 mm I.D., Thermo Fisher SCIENTIFIC）、移動相；20 mmol/L メタンスルホン酸、流量；1.0 mL/min、検出器；電気伝導度計（サプレッサ使用）。

3) 糖分の定量

搾汁液に等量のエタノールを添加後、蒸留水で 5 倍希釈し、0.45 μ m メンブレンフィルターで濾過、HPLC（LC-6A, 島津製作所）でショ糖とブドウ糖、果糖の含量を分析した。分析条件：カラム；Asahi-pack NH2P-50（250 mm $\times$ 4.6 mm I.D., 島津製作所）、移動相；75% アセトニトリル、流量；1.0 mL/min、カラム温度；40℃、検出器；示差屈折計。

4) ポリフェノールの定量

搾汁液を蒸留水で 40 倍希釈して、フォーリン・チオカルテ法（須田ら、2005）で分析し、クロロゲン酸相当量として算出した。

5) 可溶性固形分（Brix）と純糖率

Brix は Brix 計（PAL-J, ATAGO）で測定し、純糖率を次式により算出した。

$$\text{純糖率 (\%)} = \text{糖分} * \text{の合計} / \text{Brix} \times 100$$

* 糖分析で算出したショ糖と果糖、ブドウ糖の合計

2. 梢頭部入り黒糖と従来の黒糖の品質比較

1) 黒糖の製造と試料溶液の調製

従来の黒糖は、茎汁（純糖率 95.2%）で製造した。梢頭部入り黒糖は、茎汁に梢頭部汁を 15%（純糖率 92.8%）、30%（純糖率 89.7%）混合した搾汁液で製造した。コールドライミング法（中田ら、1964）で清浄化したそれぞれの搾汁液 1.8 L をステンレス製深底鍋に移し、水酸化カルシウムで pH7.4 に調整後、加熱して生成した凝固物を調理用丸カス揚げで除去、清澄汁を調製した。清澄汁を常圧下で加熱濃縮し、液温が 125 ~ 130℃に達し、黒糖臭が発生した時点で加熱を止め、濃縮液（以後ハイシロップ）をステンレス製ボールに移して木製のへらで攪拌後、ステンレス製バットに流し込んで放冷固化させた。製造した黒糖を乳鉢で粉碎し、黒糖粉末 1 g を 10 mL の蒸留水に溶かしたものを試料溶液とした。

2) 黒糖の品質評価

(1) 褐色度

松井（1987）の方法を一部改変して褐色度を測定した。試料溶液を蒸留水で 10 倍希釈して 3000rpm、15 分間遠心分離した。上清の 470 nm の吸光度を分光光度計（UV-160A, 島津製作所）で測定した。

(2) ミネラル含量

試料溶液を蒸留水で 50 倍希釈して、1 に示した方法で分析した。

(3) ポリフェノール含量

試料溶液を蒸留水で 40 倍希釈して、1 に示した方法で分析した。

(4) DPPH ラジカル消去能

マイクロプレートリーダー法（沖ら、2001）で測定し、トロロックス相当量として算出した。

(5) ポリフェノールの同定

ポリフェノール組成を LC/MS（HPLC：Alliance 2695, MS：Quattro micro API, 日本ウォーターズ）で分析した。分析条件：(LC 条件) カラム；ODS-AQ（150 mm $\times$ 4.6 mm I.D., YMC）、移動相；0 min 0.1% ギ酸 $\rightarrow$ 30min 50% アセトニトリル、1% ギ酸、流速；0.34 mL/min、検出波長；330nm、(MS 条件) ESI-MS、ネガティブモード、コーン電圧 40V。

3. 梢頭部入り黒糖の市場性

従来の黒糖と梢頭部汁を 15% 混合して製造した梢頭部入り黒糖を、アンケート調査に用いた。2010 年 12 月 18 日に、沖縄県農業研究センター（沖縄県糸満市）一般公開デー来場者を対象にして、無記名アンケートを実施した。年齢と性別、黒糖の摂取頻度（よく食べる、時々食べる、めったに食べない、食べたことがない、の 4 段階から選択）を記入後に従来の黒糖と梢頭部入り黒糖の試食を行い、①色の好み、②香り、③甘さ、④苦さ、⑤塩辛さの 5 項目について多項目選択式で回答を得た。また、どちらの黒糖を好むかについて、二項目選択式で回答を得

表 1 サトウキビの梢頭部汁と茎汁の成分比較

	茎汁	梢頭部汁
pH	5.6	5.2
Brix (%)	18.4	4.7
純糖率 (%) 注)	95.2	39.5
糖 (g/100 mL)		
ショ糖	17.3	0.8
ブドウ糖	0.1	0.5
果糖	0.1	0.5
ミネラル (mg/100 mL)		
Na	13.9	28.9
K	140.7	547.8
Ca	20.5	92.5
Mg	29.6	49.1
総ポリフェノール (クロロゲン酸相当量 mg/100 mL)	115.6	187.6

注) 純糖率 = 糖分の合計/Brix×100

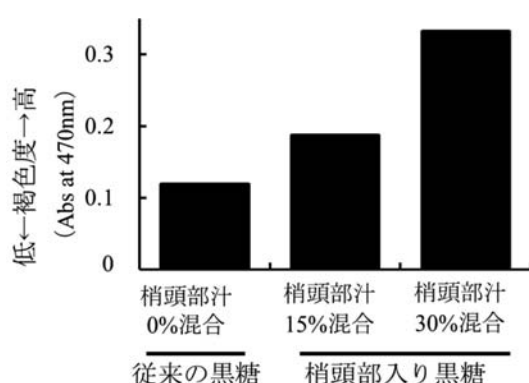


図 1 従来と梢頭部入り黒糖の褐色度の比較

た。アンケート回答者数は、20～70代の男性45人、女性55人の合計100名であった。

結 果

1. 梢頭部汁と茎汁の成分比較

梢頭部汁は茎汁と比較してBrixが顕著に低だけでなく、純糖率も低い値を示した(表1)。梢頭部汁には茎汁の約1/22しかショ糖が含まれていなかったが、カリウムは約4倍、カルシウムは約5倍、



写真 2 従来と梢頭部入り黒糖の外観の比較

ナトリウムは約2倍、ポリフェノールは約1.6倍多く含まれていた。

2. 梢頭部入り黒糖と従来と黒糖の品質比較

梢頭部汁を原料の蔗汁に加えることで、黒糖中の有用成分増加が期待される一方、純糖率は低下するため、黒糖製造が困難になる事が懸念された。そこでまず、梢頭部汁混合による黒糖製造への影響を確認した。2009年11月に収穫した春植えのサトウキビ8品種各12茎の梢頭部と茎部を搾汁し、梢頭部を含めた1茎あたりの蔗汁に占める両者の割合を調査した結果、梢頭部汁14.6%、茎汁85.4%であったことから、梢頭部汁を15%混合した蔗汁を調製して梢頭部入り黒糖を製造したところ、通常の黒糖と同様に製造可能であった。さらに梢頭部汁の混合率を30%に増やした黒糖も製造したが、同様に黒糖は製造可能であった(写真2)。

製造した黒糖の褐色度は、梢頭部汁の混合量に依存して高くなり、色調は黒くなった(図1, 写真2)。カリウムやカルシウム、マグネシウムとポリフェノールは増加し、DPPHラジカル消去能も強くなった(表2)。

ポリフェノール組成をLC/MSで分析した結果、梢頭部汁入り黒糖には、従来の黒糖からは検出されない2種類の特徴的なピークが検出され、混合した梢頭部汁の量に依存してピーク強度も高くなった。

表 2 従来と梢頭部入り黒糖のミネラルとポリフェノール含量、DPPHラジカル消去能

	梢頭部汁の混合率	ミネラル (mg/g)				ポリフェノール (mg/g)	DPPHラジカル消去能 (μmol-trolox eq./g)
		Na	K	Mg	Ca		
従来	0%	1.1	7.9	1.0	1.7	7.6	7.7
梢頭部入り黒糖	15%	0.9	11.9	1.3	2.7	8.7	8.6
	30%	1.3	16.6	1.7	4.0	10.4	14.3

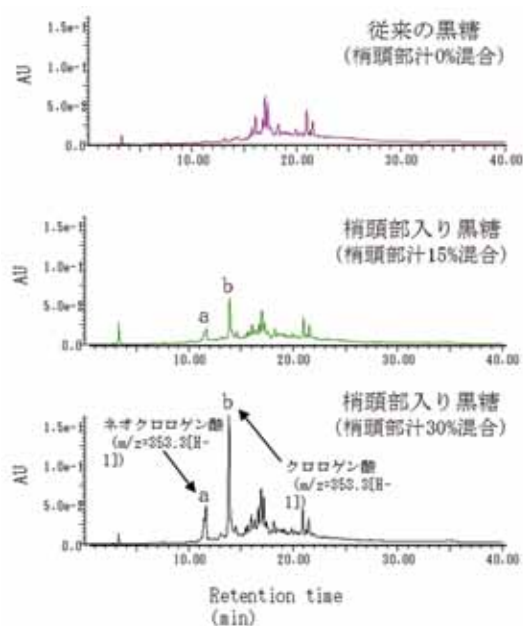


図2 梢頭部入り黒糖のHPLCクロマトグラム
(UV at 330nm)

標品と、溶出時間及びUVスペクトル、MSスペクトルを比較した結果、ピークaはネオクロゲン酸 ($m/z=353.3 [M-H]^-$)、ピークbはクロロゲン酸 ($m/z=353.3 [M-H]^-$) と同定した (図2)。

3. 梢頭部入り黒糖の市場性

アンケート対象者のうち、梢頭部入り黒糖を好む人は54%、従来の黒糖を好む人は46%であり、両黒糖の好みに有意差は無かった (図3)。男女別でも黒糖に対する好みに明確な差は認められなかった。減多に黒糖を食べないと回答した人については、梢頭部入り黒糖を好む人の割合が多かった (図4)。香りの強さや甘さについては従来の黒糖と梢頭部入り黒糖に顕著な差は見られなかったが、苦さと塩辛さについては、梢頭部入り黒糖の方が強く感じると回答する人が有意に多かった (2点識別法の直接法、有意水準 0.001) (表3)。両黒糖の苦さや塩辛さを異なると認識した人では、両黒糖の好みはほぼ半数に

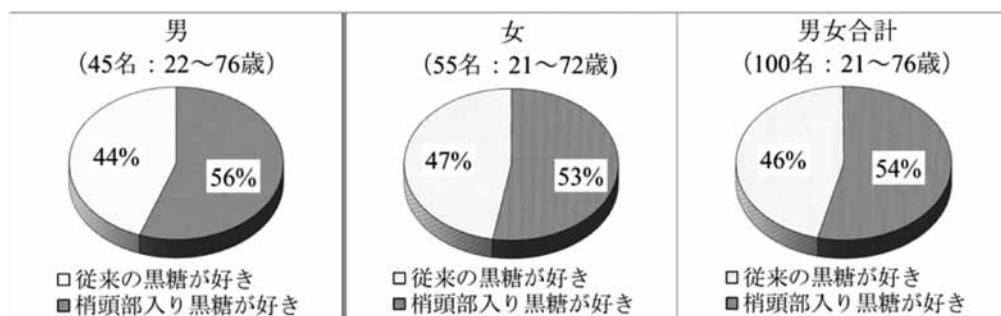


図3 従来の黒糖と梢頭部入り黒糖に対する好み (性別による分類)

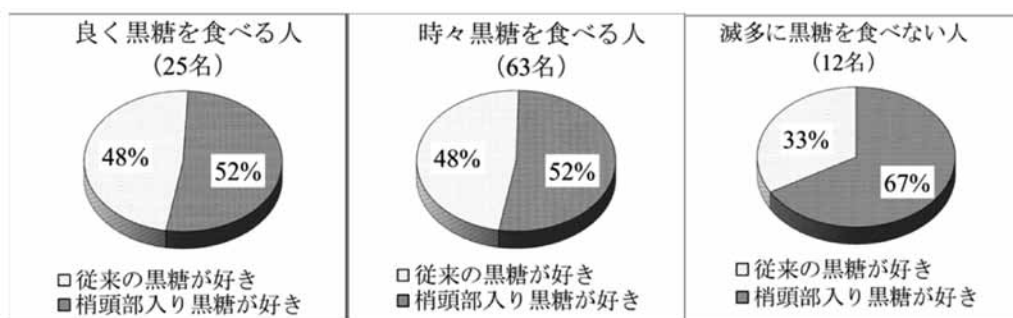


図4 従来の黒糖と梢頭部入り黒糖に対する好み (黒糖の摂食頻度による分類)

表3 従来の黒糖と梢頭部入り黒糖の香りの強さ、味、色の好みの比較

	回答者の割合(%)			両者の差を認識した人の割合 (%)
	従来の黒糖が強い (良い)	どちらも同じ	梢頭部入り黒糖が強い (良い)	
香り	39	20	41	80
甘さ	38	12	50	88
苦さ	21	26	53	74
塩辛さ	11	47	42	53
色の好み	41	6	53	94

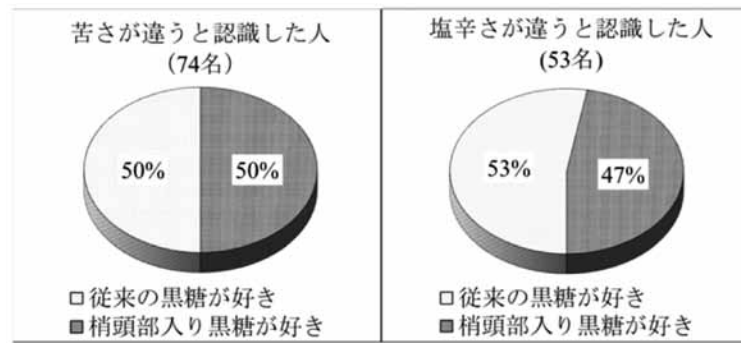


図5 従来黒糖と梢頭部入り黒糖に対する好み
(苦さや塩辛さを異なると認識した人による分類)

分かれた (図 5)。また、梢頭部入り黒糖の方が従来の黒糖と比べて色は黒いが、黒糖の色の好みについても意見がほぼ 2 分した (表 3)。

考 察

梢頭部は糖分が少ないために、製糖原料として扱われることは無い。しかしながら、梢頭部汁にはポリフェノールやカリウム等の有用成分が茎汁の数倍含まれていたことから、機能性素材としては有望と考えられた。梢頭部の成長点付近には、100g あたりに茎内部の 22 倍、表皮の 36 倍に相当する高濃度のポリフェノールが含まれている (前田ら, 2010)。梢頭部汁のポリフェノールは、成長点付近由来のポリフェノールであることが推察された。

梢頭部汁を原料の蔗汁に 15 ～ 30% の割合で混合しても、黒糖は製造可能であった。梢頭部汁を加えることで蔗汁の純糖率は低下するが、Brix5% 未満の梢頭部汁を茎汁に 30% の割合で混合しても、純糖率は約 5% 低下しただけで、純糖率は 90% 近い値を維持していたために、黒糖の製造にはほとんど影響しなかったと推察された。黒糖は蔗汁の純糖率が 85% あれば製造可能であり (前田ら, 2015)、登熟期の純糖率が 90% 近いサトウキビを原料に用いれば、梢頭部入り黒糖は製造可能と推察された。

黒糖には、抗酸化作用を有するフェノール性化合物が多く含まれている (高良ら, 2000, Takara et al., 2002, 荻ら, 2008)。梢頭部汁が原料に加わることで、黒糖のポリフェノール含量は更に増加し、茎汁のみで製造される従来の黒糖からは、ほとんど検出されないクロロゲン酸とネオクロロゲン酸が多く検出された。クロロゲン酸は、コーヒーなどに多く含まれ、抗酸化能 (村山ら, 1998) や抗炎症作用 (Hwang SJ et al., 2014) 等が報告されているポリフェノールである。著者らは、梢頭部の成長点付近にクロロゲン酸とネオクロロゲン酸が豊富に含まれていることを

明らかにしている (前田ら, 2010)。梢頭部入り黒糖中のクロロゲン酸とネオクロロゲン酸のピーク強度は、原料に混合した梢頭部汁の割合に依存して高くなった。従って、原料に梢頭部を加えることで、梢頭部に含まれるクロロゲン酸類が黒糖中に移行し、DPPH ラジカル消去能も増加したものと推察された。

原料汁に梢頭部汁を混合すると、黒糖のポリフェノール含量が増加するだけでなく、黒糖の色が黒くなることも明らかになった。梢頭部汁を 30% 混合した梢頭部入り黒糖では、コーヒー様の黒色を呈した。コーヒーの褐色色素の一部は、コーヒー豆の焙煎中に、ショ糖の熱分解中間物とクロロゲン酸を前駆体とする非酵素的褐変反応によって生成され (中林ら, 1975, 1984)、クロロゲン酸を多く含むゴボウ、ヨモギの根でも、コーヒー豆同様に焙煎することで褐変色素が生成される (中林ら, 1977)。コーヒー豆の焙煎は 200℃ 付近で行われ、褐色色素の生成は 200℃ 以上で活発になる (中林, 1975)。黒糖製造では、蔗汁を 130℃ 前後に加熱濃縮するが、加熱容器と熱源が接触する部分では局所的に 200℃ 近い高温になっていることが予想される。梢頭部入り黒糖でも、製造時に加熱容器内の局所的に高温になっている部分でクロロゲン酸とショ糖が反応して褐色色素が生成され、クロロゲン酸が少ない従来の黒糖と比較して黒くなった可能性が示唆された。

梢頭部入り黒糖の味について、従来の黒糖よりも苦さと塩辛さを強く感じると回答する人が有意に多かった。梢頭部汁を原料汁に混合しても、黒糖中のナトリウムの含量に大きな増加は認められないことから、塩辛く感じる原因はナトリウムによるものではないと推察される。一方、梢頭部入り黒糖では従来の黒糖と比較して、カリウムやマグネシウム、カルシウムの顕著な増加が認められた。食塩代替品として知られる塩化カリウムは塩辛味と同時に特有の強い苦みを有し、同じカリウム塩でもクエン酸二カリウムは塩辛味が弱く酸味は強い等、カリウムは塩

の種類によって味が異なる（芳賀ら，1984）。また，秋永ら（1996）は黒糖中の磷酸とカルシウムが増えると，黒糖はおいしくなくなり，辛くなり，マグネシウムが増えるとおいしくなる，と報告している。カリウムやカルシウム，マグネシウムの増加によって，梢頭部入り黒糖では，従来の黒糖よりも複雑な味を呈するようになっていることが示唆された。また，梢頭部入り黒糖では，ミネラルだけでなくポリフェノール含量も増加した。チョコレートでは，ポリフェノールの量と苦味，酸味，渋味が相関を示すことが報告されている（葛西ら，2007）。梢頭部に多く含まれるクロロゲン酸類は，ナスなどの渋味の原因物質でもあることから（黒澤，1986），梢頭部入り黒糖の苦みの一部は，梢頭部汁由来のポリフェノール，特にクロロゲン酸の寄与によるものであることが推察された。

アンケートの結果では，梢頭部入り黒糖と従来の黒糖の両者の味の違いを認識した上で，梢頭部入り黒糖を好む人が半数いた。黒糖の食経験が少ない人では梢頭部入り黒糖を好むと回答する人が過半数いた。また，黒糖の色の好みについても，意見がほぼ二分した。梢頭部入り黒糖は，従来の黒糖と比較して苦さや塩辛さを強く感じるなど複雑な味を呈し，色も黒いという特徴は有している。これらの特性は，従来の黒糖と同様に消費者に受け入れられるものと考えられる。食品の色・味に対する好みは人によって様々であり，梢頭部を原料に混合することで，黒糖の色や味のバリエーションを広げることも可能であろう。香りの強さについては，従来の黒糖と梢頭部入り黒糖に差異は見られなかったが，香りの質については詳細に検討する必要がある。

以上の結果より，梢頭部汁が原料に含まれていても，黒糖製造は可能であることが明らかになった。梢頭部入り黒糖は，従来の黒糖よりもカリウムやカルシウム，マグネシウム，ポリフェノールが多く，抗酸化能も強い事が明らかになった。また，梢頭部入り黒糖には梢頭部由来のクロロゲン酸，ネオクロロゲン酸が多く含まれていることが明らかになった。梢頭部汁を原料に混合することで，黒糖の色調と味が変化したことから，黒糖の機能性付加だけでなく，品質の調整も可能であることが示唆された。

謝 辞

本研究は，独立行政法人科学技術振興機構（JST）の2009年度地域イノベーション創出総合支援事業地域ニーズ即応型「梢頭部を活用した新しい黒糖の開発および原料サトウキビの周年収穫技術の開発」

で実施した。本研究の遂行にあたり，沖縄県農業研究センターの農業システム開発班と宮古島支所作物園芸班の皆様，元財団法人日本食品分析センターの山口昭弘氏（現酪農学園大学）と里山俊哉氏（現株式会社久原本家）には甚大なご協力とご助言を頂きました。心より感謝いたします。

引用文献

- 秋永孝義，野瀬昭博，岡留博司，國府田佳弘（1996），黒糖の品質に関する基礎的研究（第2報）黒糖の品質と無機成分の関係，農業機械学会誌，58，11～17。
- 藤井聡，岸原士郎，山口禎，河本正彦（1982），サトウキビ梢頭部の成分，熱帯農業，25，157～159。
- 芳賀文子，小峰洋美，近藤栄昭，鍛野信子（1984），官能テストによるカリウム塩の調味効果の検討，栄養学雑誌，42，225～234。
- Hwang SJ, Kim YW, Park Y, Lee HJ (2014), Anti-inflammatory effects of chlorogenic acid in lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 cells, *Inflamm Res.*, 63(1), 81～90。
- 葛西真知子・石川由花・酒巻旦子・奥山知子・芦屋浩明・上脇達也・飯田文子（2007），カカオ豆産地とチョコレートのおいしさとの関係，食科工，54，332～338。
- 黒澤祝子（1986），ナスの渋味におよぼす食用油の影響，調理科学，119～124。
- 前田剛希・広瀬直人・津志田藤二郎（2010），サトウキビの抗酸化能および抗酸化成分の同定，沖縄県農業研究センター研究報告，4，52～57。
- 前田剛希・下地格・手登根正・下地浩之・上地克美・伊志嶺弘勝・砂川正幸・知念潤・出花幸之介・宮城克浩・荻貴之（2015），黒糖の周年製造に向けたサトウキビ収穫時期と蔗汁品質からみた黒糖固化条件の検討，沖縄県農業研究センター研究報告，9，26～33。
- 松井年行（1987），和三盆糖のモデル系における褐変の統計的解析，日本農芸化学誌，61，29～35。
- 村山徹・小堀真珠子・新本洋士・津志田藤二郎（1998），食用ギクの抗酸化性の評価及びその成分の同定，園芸学会誌，67別2，p158。
- 中林敏郎，コーヒーの品質に関する化学的研究（第1報）焙煎による褐色色素の生成と変化（1975），日食工誌，22，507～512。
- 中林敏郎，コーヒーの品質に関する化学的研究（第3報）焙煎中のクロロゲン酸類の質的および量的変化（1975），日食工誌，22，549～553。
- 中林敏郎，渡辺千賀子（1975），コーヒーの品質に関する化学的研究（第4報）焙煎によるクロロゲン酸より褐色色素の形成，日食工誌，24，124～129。
- 中林敏郎（1984），改良モデル焙煎法によるコーヒー褐色色素形成の初期段階の検討，日食工誌，31，421～

422.

中田栄太郎・前田直彦・谷口修・酒井一幸（1964），黒糖製造法，シュガーハンドブック（浜口栄二郎・桜井芳人監修），朝倉書店，p.106～118.

荻貴之・前田剛希（2008），沖縄産黒糖におけるフラボン配糖体，沖縄県工技セ研究報告，第10号，7～11.

沖智之・増田真美・古田収・西場洋一・須田郁夫（2001），紫サツマイモを原材料としたチップスのラジカル消去活性，食科工，48，926～932.

須田郁夫，沖智之・西場洋一・増田真美・小林美緒・永井沙樹・比屋根理恵・宮重俊一（2005），沖縄県産果実類・野菜類のポリフェノール含量とラジカル消去活性，食科工，52，462～471.

高良健作，金城聡子，松井大吾，和田浩二，仲宗根洋子，与儀誠一（2000），黒糖の非ショ糖画分におけるフェノール性抗酸化物，日本農芸化学誌，74，885～890.

Takara, K., Matsui, D., Wada, K., Ichiba, T. and Nakasone, Y., (2002), New antioxidative phenolic glycosides isolated from Kokuto non-centrifuged cane sugar, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 66, 29～35.

田中正仁・鈴木知之・神谷充・服部育男・神谷祐子・塩谷繁（2008），さとうきび梢頭部の飼料化技術の確立，九州沖縄農業研究センター研究資料，第93号，81～84.

Comparison between non-centrifugal brown sugar (*Kokuto*) manufactured using cane juice alone and that manufactured using cane juice with cane top juice.

Goki MAEDA¹, Itaru SHIMOJI¹, Tadashi TEDOKON², Hiroyuki SHIMOJI²,
Katsumi UECHI², Hirokatsu ISHIMINE², Masayuki SUNAGAWA², Jun CHINEN¹,
Konosuke DEGI¹, Katsuhiko MIYAGI³ and Takayuki OGI⁴

1 Okinawa Prefectural Agricultural Research Center

2 Okinawa Prefectural Agricultural Research Center Miyakojima Branch

3 Okinawa Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Department, Agriculture,
Forestry and Fisheries General Affairs Section

4 Okinawa Industrial Technology Center

Abstract

The green leafy top region of sugarcane contains polyphenols and minerals. However, this region is not commonly used in sugar manufacturing because of its low sugar content. In this study, we aimed to develop non-centrifugal brown sugar (*Kokuto*) prepared using a mixed juice of the top and stem regions of sugarcane.

We compared the polyphenol, potassium, and sugar levels in the sugarcane top juice and stem juice. We prepared *Kokuto* using a mixture of the top juice and stem juice, and using stem juice alone. Next, we compared the color, mineral and polyphenol content, and antioxidant capacity of the two types of brown sugar.

Kokuto containing the sugarcane top juice had a deeper black color than that prepared using sugarcane stem juice alone. In addition, the *Kokuto* containing the sugarcane top juice had higher potassium and polyphenol levels, and stronger antioxidant ability than that prepared using sugarcane stem juice alone. *Kokuto* prepared by mixing sugarcane top juice also contained a large amount of chlorogenic acid and neochlorogenic acid, which are polyphenols derived from cane tops. These findings suggest that sugarcane top juice acts as a good source of minerals and polyphenols for the preparation of *Kokuto*.

Keywords: Polyphenol, mineral

原著論文

沖縄県のサトウキビ畑における改良型タンクモデルを用いた 土壌水分量の推定と灌水による収量への影響

比屋根真一¹・砂川喜信²・大見のり子³・出花幸之介¹・伊禮 信¹

1 沖縄県農業研究センター, 2 沖縄県農業研究センター宮古島支所,
3 沖縄県農業研究センター石垣支所

要 約

従来のタンクモデル法とその改良法による土壌水分量の推定精度を検討した。その結果、土壌水分量の変化を考慮した日射法をタンクモデル法に組み合わせることにより土壌水分量を推定することが可能であることが明らかとなった。各土壌別の土壌水分量の推定値の平均2乗平方根誤差(RMSE)は、ジャーガルは3.43%、島尻マージは2.95%、国頭マージは2.28%であった。よって、改良型タンクモデル法を用いた土壌水分量の推定法は、沖縄県の主要3土壌に対して、適応性は高いものと推察される。ジャーガルでは、夏季の降水量の少ない時期において、土壌水分量が毛管連絡切断含水量まで低下した時に灌水を実施すればサトウキビの増収効果は高まった。

キーワード：灌水，ジャーガル，蒸発散量，水収支，日射法

緒 言

沖縄県におけるサトウキビ生産量は、干ばつや台風被害等の自然災害の影響により不安定である。こうしたなかで、限られた水資源をより効率的に活用して灌水を実施することにより安定・多収生産が期待される。

サトウキビ畑における灌水の時期や量を明らかにするためには、正確に水収支を求める必要がある。畑地の水収支モデルの研究は多く見られるが、その一つにタンクモデルがある。太田ら(1992, 1995)は南九州の火山灰台地において浅層地下水の動態にタンクモデルを適応している。沖縄県においても、沖縄本島北部の国頭マージにおける土砂流出量の推定(大場ら, 1993)や、宮古島の島尻マージにおける土壌水分量の推定(比屋根・大場, 2001)、ジャーガルにおける曝気処理水の施用量の検討(比屋根ら, 2008)等へのタンクモデルの適応が検討されている。気象情報を活用して本モデルを基本とした灌水情報を提供することができれば、沖縄県におけるサトウキビの安定生産に寄与できるものと考えられる。

本報告では、沖縄県の主要な土壌であるジャーガル、国頭マージ、島尻マージのサトウキビ畑において、3つのタンクモデルによる土壌水分量の推定精度と適応性を検討した。さらに、土壌水分状態を把握するモニタリング技術の開発と灌水技術を組み合わせた実証試験をジャーガルにおいて実施した。これらの結果をふまえて、沖縄県における気象情報を

活用した灌水情報システムの実用化の可能性を考察する。

材料および方法

タンクモデル法と蒸発散量推定式の組み合わせによる土壌水分量の推定

従来法(タンクモデル法)

本報告では、土壌型の異なる3土壌の土壌水分量を推定するため、サトウキビ畑の有効土層を考慮し(久貝, 1972; 山城, 1981)、表層から0~30cm, 30~60cmの2段の直列につないだタンクモデル(図1)を作成した(太田・凌, 1990, 太田ら, 1992, 太田ら,



図1 タンクモデル(従来法)の概略図

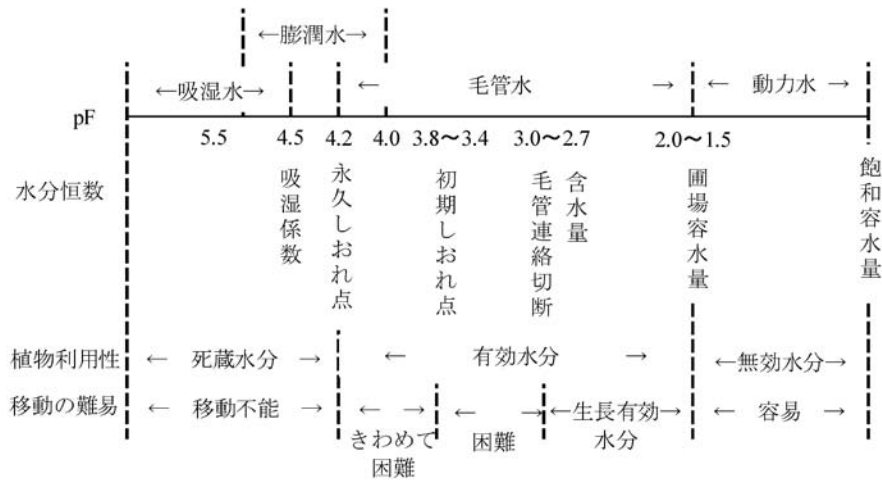


図2 土壌水の分類 (太田ら, 1995)

1995). 本モデルを起動するには、表面流出、蒸発散、浸透水の各孔の高さを全孔隙率や pF- 体積含水率曲線によって決定し、降水量や灌水量を入力して実測値と推定値との誤差をできるだけ抑えるように、各タンク孔の係数について試行を重ねながら決定する必要がある。タンクモデルの各浸透水孔、蒸発散孔、表面流出孔、毛管上昇孔の高さは、ジャーガルと国頭マージは儀間ら (2002, 2004)、島尻マージは藤川ら (1979) が算出した pF- 体積含水率曲線から土壌水分恒数の値を用いて、それぞれの圃場容水量、毛管連絡切断含水量及び全孔隙量の値を用いた (図2)。つまり、表面流出孔は全孔隙率、浸透水孔は圃場容水量、蒸発散孔は毛管連絡切断含水量と初期しおれ点、毛管上昇孔は毛管連絡切断含水量の体積含水率の値をあてはめ、各上下段に乘じて求めた。各土壌の pF- 体積含水率曲線は以下の式で近似することができる。

Y (ジャーガル, 15cm) =

$$-0.0026X^3 + 0.0175X^2 - 0.0603X + 0.506 \quad R^2 = 1$$

Y (ジャーガル, 45cm) =

$$-0.0051X^3 + 0.0383X^2 - 0.1087X + 0.524 \quad R^2 = 1$$

Y (国頭マージ, 15cm) = $0.031X^2 - 2415X + 6103 \quad R^2 = 0.99$

Y (国頭マージ, 45cm) = $0.0286X^2 - 2083X + 5603 \quad R^2 = 0.99$

Y (島尻マージ, 15cm) =

$$0.0042X^3 - 0.021X^2 - 0.0327X + 0.506 \quad R^2 = 0.99$$

Y (島尻マージ, 45cm) =

$$-0.0047X^3 + 0.0204X^2 - 0.0411X + 0.5326 \quad R^2 = 0.99$$

ここで、Y は体積含水率 (cm^3/cm^3)、X は水分恒数である。従って、本モデルは物理的裏付けがあり、畑地の水動態を表すものと考えられる。

作土層における水収支は次式で表される。

$$W_{1,j+1} = W_{1,j} + (P_j - E_j - F_{1,j} + S_{2,j} - Q_j) \Delta T / L_1$$

また、2層目は

$$W_{2,j+1} = W_{2,j} + (F_{1,j} - F_{2,j} - S_{2,j}) \Delta T / L_2$$

ここで、 $W_{1,j+1}$ は j+1 日における土層 1 の土壌水分

量 (cm^3/cm^3)、 $W_{2,j+1}$ は j+1 日における土層 2 の土壌水分量 (cm^3/cm^3)、 P_j は j 日における降水量 (mm/日)、 E_j は j 日にける蒸発散量、 $F_{1,j}$ は j 日における土層 1 から土層 2 への浸透水量 (mm)、 $F_{2,j}$ は j 日における土層 2 からの浸透水量 (mm)、 Q_j は表面流出水 (mm/日)、 $S_{2,j}$ は j 日における土層 2 から土層 1 への毛管上昇量 (mm/日)、 L_1 と L_2 は土層 1 と土層 2 の厚さ (cm)、 ΔT は時間間隔を示し 24 時間間隔である。

改良タンクモデル法 A (蒸発散孔への日射法の結合)

沖縄県宮古島および沖縄本島南部地域における蒸発散量の推定には、日射法で求めた基準蒸発散量に作物係数を乗じて求める方法が推定精度は高いことが明らかとなっている (比屋根ら, 2004; 比屋根, 2008)。そこで、タンクモデルの蒸発散孔の部分の日射法で推定した基準蒸発散量に作物係数を乗じた値に変更して土壌水分の推定精度を検討した。

$$W_{i,j+1} = W_{i,j} + (P_j - AET_j - F_{1,j} + S_{2,j} - Q_j) \Delta T / L_i$$

AET は実蒸発散量で以下の方法で求められる。

$$AET = RET * Kc$$

RET は日射法で求められる基準蒸発散量で、Doorenbos and Pruitt (1977) の提案した以下の推定式で求めた。

$$RET = a \Delta / (\Delta + \gamma) R_s / L$$

ここで、a は経験定数で 1、 Δ は飽和水蒸気傾度 ($\text{hPa}/^\circ\text{C}$)、 γ は乾湿計定数 ($\text{hPa}/^\circ\text{C}$)、 R_s は日射量 (MJ/m^2)、L は蒸発潜熱 (J/kg) である、しかし、那覇地方気象台の日あたりの観測値では日射量の値は得られない。そこで、以下の式を用いて 1985 年 1 月から 2017 年 11 月までの日照時間の値から日射量の推定を試みた。

$$R_s = (0.25 + 0.50n/N) R_a$$

ここで、n は日照時間、N は可照時間、 R_a は大気外日射量 (MJ/m^2) である。月あたりの推定値とし

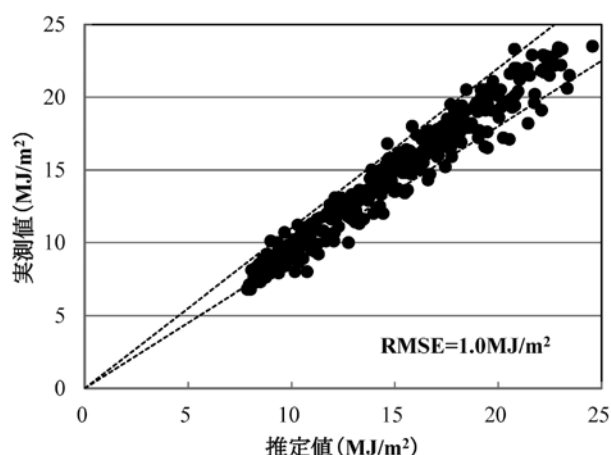


図3 日射量の推定値と実測値の関係

て実測値と比較したところ、平均2乗平方根誤差(RMSE)は1.0 MJ/m²、誤差が10%の範囲内で概ね推定できた(図3)。

作物係数(Kc)についてはAllen et al. (1998)の値を採用した。つまり、生育初期のKcは0.4、栄養成長期は0.7～1.1に上昇し、生育最盛期は1.2、成熟期は1.15～0.7と低下した。

改良タンクモデル法B(蒸発散孔への土壌水分量の影響を考慮した日射法の結合)

作物係数は作物の種類、生育時期および土壌水分によって異なる。そこで、以下の方法を検討した。

$$AET=RET \cdot Kc \text{ (SWC)}$$

Kc(SWC)は、土壌水分量の低下に対応して葉身の水ポテンシャルが低下すると蒸散速度が低下する(Du et al., 1996)ことを考慮した作物係数である。

以上の3つのタンクモデルの入力に必要な日照時間、気温、降水量等の気象情報は那覇、宮古島そして石垣島の地方気象台の観測値を用いた。

各土壌型の土壌水分量の測定

各土壌別にタンクモデルの土壌水分量の推定精度を評価するため、実測値を得る必要がある。本報告では、土壌水分の実測値を得るためにTDR土壌水

分計(Campbell製、CS616)を表層から15cmと45cmに設置して体積含水率を求めた。計測期間は、ジャーガルは2015年6月1日～8月15日、島尻マージは2015年9月19日～11月30日、国頭マージは2015年9月10日～11月25日とした。なお、表面流去水の実測値は測定をおこなっていないため本報告ではなしとした。

サトウキビの栽培方法は、ジャーガル(軟岩型普通陸成未熟土石灰質土壌)は、沖縄県糸満市真壁の沖縄県農業研究センターにおいて、品種Ni15を供試して春植え栽培を行った。島尻マージ(暗赤色土壌)は、宮古島市の沖縄県農業研究センター宮古島支所において夏植え栽培を行った。国頭マージ(赤黄色土壌)は、石垣市の沖縄県農業研究センター石垣支所において春植え栽培を行った。なお、宮古島支所と石垣支所での栽培品種はNiF8を供試した。春植え栽培は2015年3月15日、夏植え栽培は2014年8月15日に植付けた。培土、施肥等の栽培管理はさとうきび栽培指針(沖縄県農林水産部、2014)に従った。

ジャーガルにおけるサトウキビへの灌水効果

サトウキビへの灌水による原料茎重への影響を評価した。土壌水分量は、TDR土壌水分計を表層から15cmの位置に埋め込んで計測した。測定値はデータロガー(Campbell製、CR1000)に取り込んだ。灌水方法は、畦間に灌水ホースを配置して、試験区内に圃場容水量に達するまで30mm以上の量を灌水した。灌水のタイミングは、土壌水分値が毛管連絡切断含水量(図2)に達した時点で電磁弁を開閉して灌水した。収穫調査は、2013年度は2014年2月1日、2014年度は2015年1月29日、2015年度は2016年2月3日に試験区内を全て刈り取って1aあたりの原料茎重を算出した。

結果と考察

各タンクモデル法を用いた土壌水分量の推定

沖縄県糸満市のジャーガルにおいて、各タンクモ

表1 土壌の違いによる改良型タンクモデルの各孔の高さと係数

土壌	1段目(0～30cm)				2段目(30～60cm)			
	表面流出孔		浸透孔		浸透孔		毛管上昇孔	
	高さ(mm)	係数	高さ(mm)	係数	高さ(mm)	係数	高さ(mm)	係数
ジャーガル	152	0.30	132	0.60	127	0.70	123	0.10
島尻マージ	183	0.10	121	0.45	150	0.60	144	0.30
国頭マージ	164	0.10	84	0.20	84	0.20	62	0.02

ジャーガルは糸満市真壁、島尻マージは宮古島市平良西里、国頭マージは石垣市平得地底原

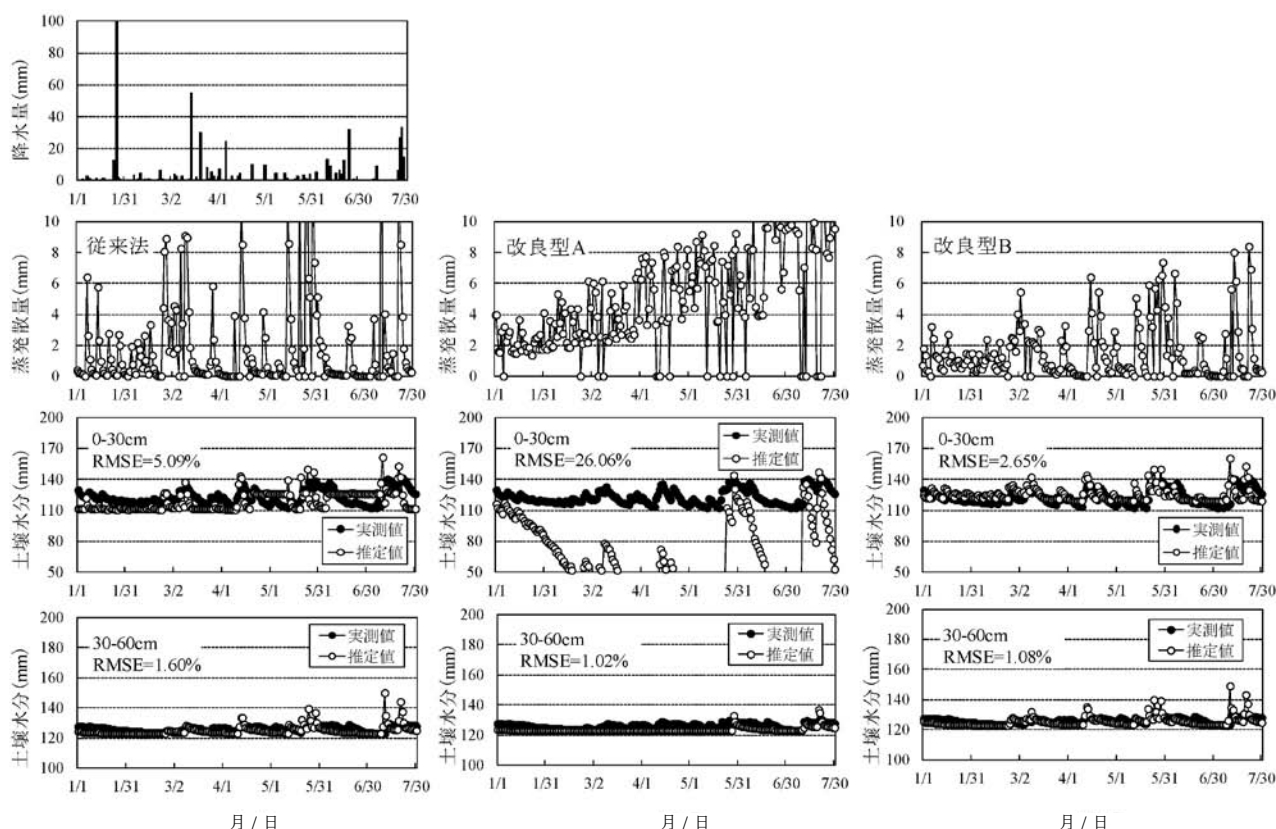


図4 3つのタンクモデル法による蒸発散量、土壌水分量推定の比較
場所糸満市真壁、土壌はジャーガル

デルの土壌水分量の推定精度や蒸発散量の推移について検討した。

従来法の各タンク孔の高さは、1段目の表面流出152mm、蒸発散126mmと111mm、浸透水孔132mm、2段目の浸透水孔127mm、毛管上昇孔123mmであった。各タンク孔の係数は、1段目の表面流出0.30、蒸発散0.80と0.60、浸透水孔0.60、2段目の浸透水孔0.70、毛管上昇孔0.10であった（表1）。このようなタンク孔と係数からなるタンクモデルを用いて推定した土壌水分量の平均2乗平方根誤差(RMSE)は、従来法の1段目5.09%、2段目1.60%、改良型タンクモデルAは1段目26.06%、2段目1.02%、改良型タンクモデルBは1段目2.65%、2段目1.08%であった（図4）。よって、改良型タンクモデルB、つまり、土壌水分量の変化に対応した日射法をタンクモデルの蒸発散孔に組み込んだ方法が、土壌水分量を最も高い精度で推定することが明らかとなった。この推定精度は、TDR土壌水分計の測定精度2.5%（クリマテック株式会社、2017）から考慮しても良好な精度であると考えられる。

蒸発散量の推移を検討すると、従来法はまとまった降雨直後に高い値を示し、時には10mm以上を示す場合もあった。沖縄県における蒸発散量の検討例（山城、1968、比屋根、2008）から判断しても従来法による蒸発散量の推定値は高めである。改良型

タンクモデルAの蒸発散量は、過去の蒸発散量の検討例と比較しても値は高く、1段目の土壌水分量のばらつきもかなり大きい。その原因としては蒸発散量の推定値が高いことが考えられるため、何らかの要因による蒸発散量への影響を考慮する必要がある。これに対し、土壌水分量の変化に対応した日射法をタンクモデルの蒸発散孔に組み込んだ改良型タンクモデル法Bは、1段目の土壌水分量の推定精度が他の方法と比較して高かった。以上の結果、土壌水分量の変化に対応した日射法をタンクモデルの蒸発散孔に組み込んだ改良型タンクモデル法が最も正確に土壌水分量を推定することができた。

改良型タンクモデル法を用いた沖縄県の 主要3土壌での推定精度の検討

最も推定精度が良好であった改良型タンクモデル法Bを用いて、沖縄県内の主要土壌であるジャーガル、島尻マージ、国頭マージにおける土壌水分量の推定精度を検討した。まず、各土壌別のタンク孔の高さと係数を表1に示す。ジャーガルにおける改良型タンクモデルの各タンク孔の高さは、1段目の表面流出孔152mm、浸透水孔132mm、2段目の浸透水孔127mm、毛管上昇孔123mmであった。各タンク孔の係数は、1段目の表面流出孔0.30、浸透水孔0.60、2段目の浸透水孔0.70、毛管上昇孔0.10となっ

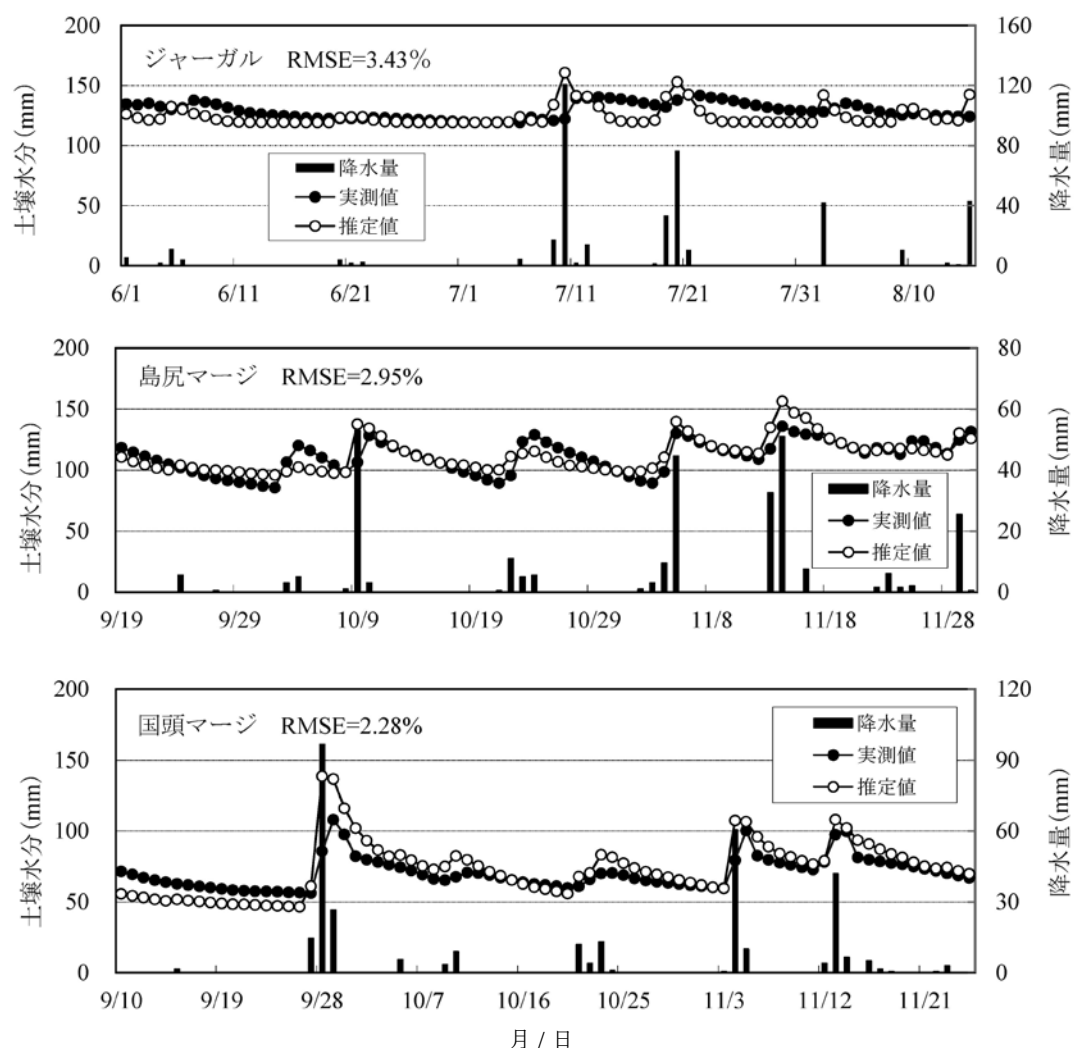


図5 改良型タンクモデルを用いた3土壤における土壌水分量の推定精度
土壌水分量の実測値は表層から15cmの位置にTDR水分計を設置した

た．島尻マージは，1段目の表面流出孔183mm，浸透水孔121mm，2段目の浸透水孔150mm，毛管上昇孔144mmであった．各タンク孔の係数は，1段目の表面流出孔0.10，浸透水孔0.45，2段目の浸透水孔0.60，毛管上昇孔0.30となった．国頭マージでは，1段目の表面流出孔164mm，浸透水孔84mm，2段目の浸透水孔84mm，毛管上昇孔62mmであった．各タンク孔の係数は，1段目の表面流出孔0.10，浸透水孔0.20，2段目の浸透水孔0.20，毛管上昇孔0.02であった．

各土壤別の土壌水分量の実測値と推定値は，降水量の分布に反応して推移した．さらに，推定した土壌水分量のRMSEは，ジャージャー3.43%，島尻マージ2.95%，国頭マージ2.28%であった（図5）．従来法の適応性は過去に島尻マージの宮古島において土壌水分量の推定（比屋根・大場，2001），国頭マージにおいて赤土流出推定モデル（大場ら，1993）が検討されたが，各報告ともに土壌水分量の推定誤差は約10%であった．ジャージャーにおいては従来法を適応した時の土壌水分量のRMSEは2.5%で

あった（比屋根ら，2008）．よって，本報告の改良型タンクモデル法を用いた土壌水分量の推定精度はジャージャーで同等，島尻マージと国頭マージでこれまで以上の精度を実現している．

以上の結果，沖縄県におけるpF-体積含水率曲線等の土壤の物理的特性と，各気象台の観測値を活用した土壌水分量の推定による灌水情報の提供の可能性が示唆された．今後は，改良型タンクモデル法を活用した土壌水分量の推定による灌水情報の提供が期待される．TDR土壌水分計の測定誤差2.5%（クリマテック株式会社，2017）を考慮すると，改良型タンクモデルにおける土壌水分量の推定誤差は7.5mmである．この値は夏季における1日の最大の蒸発散量の報告（山城，1968，比屋根ら，2004，比屋根，2008）とほぼ同等である．よって，灌水指標として改良型タンクモデルで推定した土壌水分量を扱う場合は，夏季において週もしくは旬レベルでの灌水情報の提案が妥当である．地域別では，農業用水を地下水に依存し，灌漑施設が整った宮古島での地下水保全を考慮した灌水情報提供の実用化も期待

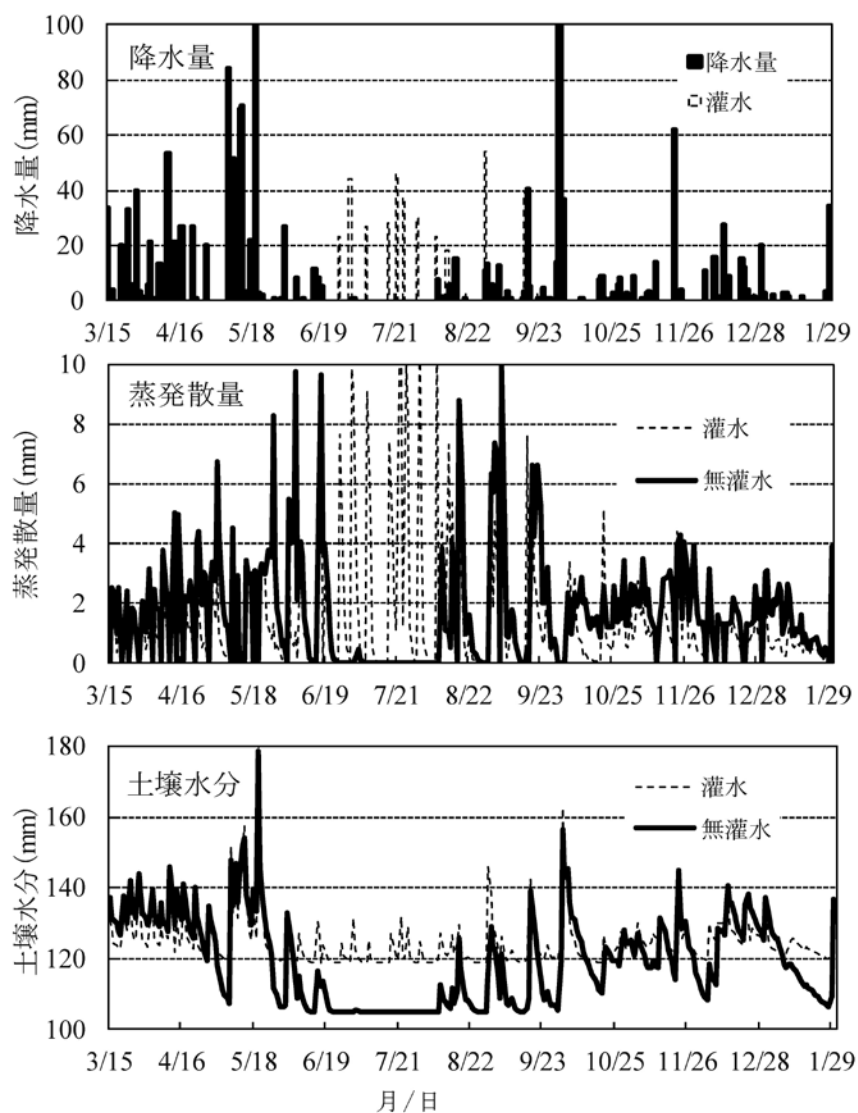


図6 2013年度の春植えにおける降水量と灌水量，蒸発散量および土壌水分量の推移
場所は糸満市真壁，土壌はジャークル

表2 2013～2015年度の灌水による原料茎重の違い

年度	作型	原料茎重 (kg/a)			備考
		灌水区	無灌水区	比率	
2013	春植え	487	63	773	干ばつ
	株出し	640	351	182	
2014	春植え	654	773	85	
	株出し	332	390	85	
2015	春植え	557	595	94	
	株出し	727	952	76	

比率 (%) = 灌水区/無灌水区 x 100

される。

ジャーガルにおける灌水がサトウキビ収量に与える効果

土壌水分センサーと灌水制御装置を設置して、土壌水分量の変化に対応した灌水をおこなった。灌水時期は土壌水分量が毛管連絡切断含水量（図2）に達した時点で行なった。その結果、2013年度の無灌水区における土壌水分量は、5月下旬～8月下旬において毛管連絡切断含水量まで低下し、蒸発散量はゼロ付近まで低下した（図6）。しかし、2014年度と2015年度の土壌水分量は、満遍なく降雨が認められたため、サトウキビの生育期間において毛管連絡切断含水量まで低下することはなかった（データ省略）。

原料茎重は、夏季に干ばつ傾向を示した2013年度において、春植え栽培の灌水区は487kg/a、株出し栽培は640kg/aであり、無灌水区と比較して各々773%、182%の増収効果を示した（表2）。しかし、比較的満遍なく降雨が認められた2014年度と2015年度の原料茎重は春植え栽培、株出し栽培の各作型ともに灌水による増収効果が認められなかった。以上の結果から、ジャーガルでは梅雨明け後から夏季の降水量の少なく、土壌水分量が毛管連絡切断含水量付近まで低下する時期に灌水を実施するとサトウキビの増収効果が高まることがわかった。砂川ら（2017）は、宮古地域の島尻マージにおける効果的な灌水時期は梅雨明け1週間程度であり、この時期に灌水を始めることにより梅雨明け後の高い茎伸長速度を維持することができることを明らかにした。ここでの灌水開始時期は、本報告で明らかにした土壌水分量が毛管連絡切断含水量付近まで低下した時期と一致している。この時期の灌水は、春植えと株出しの増収につながることを意味する。サトウキビの安定生産を実現するためにも、限りある水資源を有効活用し、効果的な灌水を行う必要がある。

謝 辞

本研究は、農研機構生物系特定産業技術研究支援センターが実施する「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業（うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立）」による成果である。本試験を遂行するにあたり、沖縄県農業研究センター農林水産技能員の比嘉正徳氏、與那嶺介功氏、宮古島支所、石垣支所の農林水産技能員、非常勤職員の御協力をいただいた、記して感謝申し上げます。

引用文献

- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith (1998) Crop evapotranspiration. FAO irrigation and Drainage Paper No.56, FAO, Rome, Italy.
- Doorenbos, J. and W. O. Pruitt (1977) Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No.24, FAO, Rome, Italy.
- Du, Y.C., Kawamitsu, Y., Nose, A., Hiyane, S., Murayama, S., Wasano, K., Uchida, Y. (1996) Effects of water stress on carbon exchange rate and activities of photosynthetic enzymes in leaves of sugarcane (*Saccharum* sp.). Aust. J. Plant Physiol. 23: 719–726.
- 藤川武信、元田雄四郎、高山昌照、江口弘美（1979）圃場土の分光反射率。南西諸島の干ばつに関する研究代表藤川武信 文部省科学研究費自然災害特別研究成果 No.A54-7. 57 – 60.
- 儀間靖、亀谷茂、宮丸直子、與那嶺介功（2002）土壌機能増進対策事業 土壌機能実態モニタリング調査。化学部試験成績概要書。沖縄県農業試験場。那覇 1-15.
- 儀間靖、亀谷茂、宮丸直子、與那嶺介功（2004）土壌機能増進対策事業 土壌機能実態モニタリング調査中南部2巡め。化学部試験成績概要書。沖縄県農業試験場。那覇 1-16.
- 比屋根真一、大場和彦（2001）宮古島における過去20年間の降雨特性と土壌水分量の推定。宮古島20周年記念誌。沖縄県農業試験場宮古支場 平良 65-75.
- 比屋根真一、大場和彦、丸山篤志、黒瀬義孝、河野伸二、伊志嶺正人（2004）宮古島における夏植サトウキビ畑の蒸発散特性。熱帯農業 48（2）：94-100.
- 比屋根真一（2008）沖縄本島南部地域の夏季における春植えサトウキビの蒸発散量。沖縄県農業研究センター研究報告（1）：63-67.
- 比屋根真一、真境名元次、比嘉明美、儀間靖、新里良章、生駒泰基（2008）沖縄県南部地域のサトウキビ畑におけるタンクモデルを用いた豚ふん尿曝気処理水の散布時期と量の推定。日本作物学会九州支部会報 74：39-42.
- 久貝晃尋（1972）沖縄のサトウキビカンガイ栽培における土壌水分。畑地農業 166:322-326.
- クリマテック株式会社（2017）総合カタログフィールド用計測機器。クリマテック株式会社。東京（53）：59.
- 沖縄県農林水産部（2014）栽培管理。さとうきび栽培指針 代表安田宗伸 沖縄県農林水産部糖業農産課。那覇 8-40.
- 大場和彦、桃木徳博、長谷川功、雁野勝宣、亀谷茂、喜名景秀（1993）国頭マージ土壌の土砂流出量予測モデルについて。九州の農業気象Ⅱ（2）：23-26.
- 太田弘毅、凌祥之（1990）タンクモデル法による土壌水分

収支の解析. 農土誌 58 (7) :5-9.

太田弘毅, 大場和彦, 長谷川功, 桃木徳博, 塩野隆弘 (1992) 南九州火山性台地畑における土壌水分収支のタンクモデル法の解析. 九州農試報告 27 (2) :207-237.

太田弘毅, 大場和彦, 塩野隆弘 (1995) 畑地における降雨の浅層地下水までの移動モデル. 生態系からみた畑生産技術体系の確立 - 南九州畑作地域における浅層地下水窒素濃度の小地域的管理システム - 代表桃木徳博 総合研究第2チーム第1期 研究成果. 西合志 (2) :28-37.

砂川喜信, 佐藤光徳, 比屋根真一, 伊禮信, 大見のり子 (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 75 : 50-53.

山城三郎 (1968) 沖縄における甘蔗の蒸発散量 第1報. 琉大農学報 15:193-198.

山城三郎 (1981) 沖縄のサトウキビに対するカンガイの必要性. 琉大農学報 28:127-137.

Estimation of the soil moisture content using the improved tank model and the effects of irrigation on yields from sugar cane fields in Okinawa Prefecture

Shinichi HIYANE ¹, Yoshinobu SUNAKAWA², Noriko OOMI ³,
Kounosuke DEGI ¹ and Shin IREI ¹

1 Okinawa Pref. Agri. Res. Center

2 Okinawa Pref. Agri. Res. Center Miyakojima Branch

3 Okinawa Pref. Agri. Res. Center Ishigaki branch

Abstract

The present study aimed to examine the accuracy of estimating the soil moisture content using the existing tank model method and its improved method. The soil moisture content was accurately estimated by combining the tank method with the solar radiation method a method that takes into account changes in the soil moisture content. The root mean square error (RMSE) was calculated for the estimated moisture content of various types of soil, and the RMSE of Jahgaru, Shimajiri Mahji, and Kunigami Mahji was 3.43, 2.95, and 2.28%, respectively. Therefore, the adaptability of the estimation of the soil moisture content using the revised tank model method to three principal types of soil in Okinawa Prefecture is considered to be high. The yield of sugar cane planted in Jahgaru was increased by conducting irrigation when the soil moisture content was below the “moisture content at the point of the rupture of capillary bonding” in the summer season with little precipitation.

Keywords: evapotranspiration, Irrigation, Jahgaru, solar radiation method, water balance

原著論文

挿し木によるヒハツモドキの増殖：挿し木に適する植物部位，挿し穂の節数，葉切除の程度ならびに時期の特定

大野 豪^{1*}・根本明子^{1,2}・玉城盛俊³

1 沖縄県農業研究センター石垣支所（* 現所属：沖縄県病害虫防除技術センター）

2 琉球産経株式会社

3 沖縄県農業研究センター

要 約

沖縄県，特に八重山地域において古くから香辛料・薬用植物として利用されてきたヒハツモドキは，近年，機能性食材としても注目を浴びつつある．本種の栽培技術開発のための研究の一環として，挿し木による増殖法の確立に向け，挿し穂に適する植物部位，節数，葉切除の程度および挿し木に好ましい時期を特定するための一連の試験を行った．植物部位として，よじのぼり茎，ほふく茎およびよじのぼり茎から発生する側枝に分けて発根と初期生育を比較した．側枝の先端部はその発根率が3割未満と著しく低いために挿し穂に適さず，よじのぼり茎の先端部も発根に関する諸形質において他の部位に劣る場合があるため，挿し穂にはあまり適さないと考えられた．一方，よじのぼり茎の中間部は，その発根率が7割以上であるだけでなく，初期生育に関する諸形質においても優れるため，現時点では挿し穂として最も適した部位であると言える．ほふく茎の先端部と中間部は，発根と初期生育において，よじのぼり茎の中間部に次いで優れるため，挿し穂として利用可能である．挿し穂の節数については，発根に関する諸形質と取り扱いのしやすさの観点から，よじのぼり茎では3～4節，ほふく茎では2～3節が適していると考えられた．挿し穂の葉切除については，よじのぼり茎では切除の程度が大きくなるほど発根に関する諸形質が劣る傾向がみられ，側枝においても葉切除は発根率上昇効果を示さなかった．このため，本種の挿し木においては葉の切除は行わないほうがよい．挿し木に好ましい時期については，冬の発根が他の時期より劣る場合が多かったため，春から秋にかけて挿し木を行うのがよいと考えられた．

キーワード：コショウ科，ピパーツ，天挿し，管挿し，育苗，琉球列島

緒 言

ヒハツモドキ *Piper retrofractum* Vahl（コショウ科）は，インドネシアやマレーシア，タイ等の東南アジア地域原産とされるつる植物であり，これらの地域を中心に，世界各地で香辛料や生薬として用いられている（Weiss, 2002; Lim, 2012）．日本においても，沖縄県，特にその南西端に位置する八重山地域では，本種は住居の周囲にしばしば植栽されており，ピパーツ，ピーヤシ等の方言名で呼ばれ，その果穂や葉は香りがよいために，古くから香辛料等に用いられてきた（たとえば，多和田，1981; 山門，1996）．本種は他のコショウ科植物と同様に，その果穂や葉等に piperine をはじめとした各種機能性成分を含むことから（たとえば，成井ら，1995; Banerjia *et al.*, 2002），最近では伝統食材としてだけではなく，健康食品としても注目されるようになってきている．このため近年沖縄においては，本種の果穂等の安定した収量を得るための栽培技術開発や有望系統選抜に対する要望が高まりつつある（大野ら，2016）．しかしながら，国内ではヒハツモドキの栽培研究が

なされた事例がなく，有望系統選抜の上で重要となる系統間での諸形質の変異についても，葉の形状に関する1研究例（皆川・中村，1995）があるのみである．また，主要な産地であるインドネシアにおいても，そうした栽培や形質変異に関する研究は十分には行われていない状況である（Djauhariya and Rosman, 2008; Evizal, 2013）．一方で，このような栽培技術開発や有望系統選抜のための研究や，それらの成果の普及を今後進める上では，苗の増殖が不可欠であるが，これについても研究事例は限られており（Evizal, 2013 とその引用文献を参照），増殖技術が確立されているとはいえない状況である．そこで本研究では，挿し木による本種の効率的な増殖法の確立をめざした試験の一環として，挿し穂に適した植物部位，最適な挿し穂の節数，ならびに挿し穂の葉からの蒸散を防ぐ目的でしばしば行われる葉切除の必要性を明らかにするための試験を行った．さらに，これらの試験はいずれも異なる時期に複数回実施したため，全試験のデータを統合した上で，挿し木に適する時期の検討も行った．

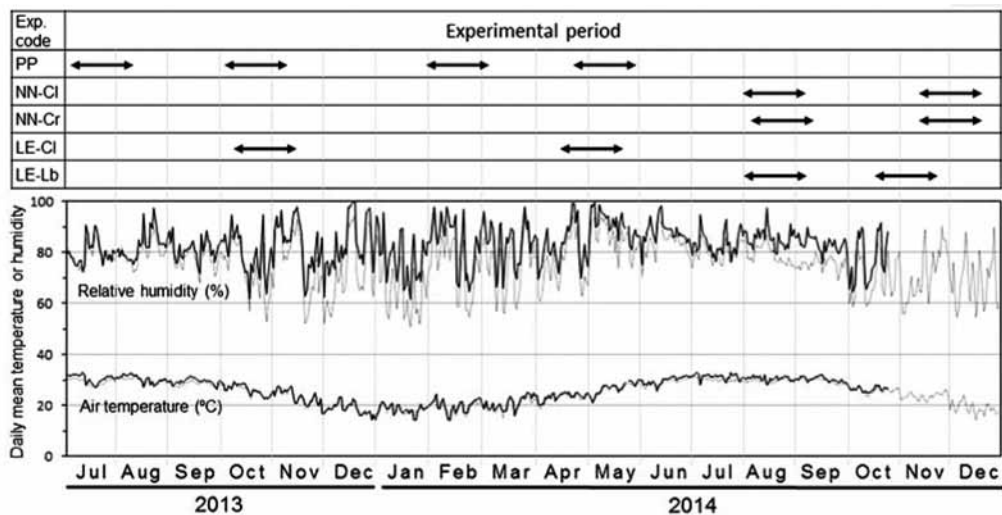


Fig. 1 Periods in which five different experiments (indicated as Exp. code) on propagation of *Piper retrofractum* were conducted (upper), and temporal changes in the daily means of air temperature and relative humidity during these periods (lower; solid and dotted lines indicating those in the experimental glasshouse and outside the house, respectively). The explanations for the Exp. codes are as follows: PP, testing the plant parts suitable for cuttings (see Table 1 for the results); NN-CI and NN-Cr, testing the number of nodes suitable for cuttings using the climbing stem and the creeping stem, respectively (see Table 3); LE-CI and LE-Lb, testing the effects of leaf excision from the cuttings on rooting using the climbing stem and the lateral branch, respectively (see Table 4). See Figs. 2-3 for further details on plant parts and experimental treatments.

材料および方法

試験場所とその環境

以下すべての試験は、沖縄県農業研究センター石垣支所（沖縄県石垣市；24.382°N, 124.191°E）において、2013年7月から2014年12月にかけて行った。個々の試験を実施した期間はFig. 1および以下に示す。供試材料（挿し穂の供給元となる親株や、挿し木後のセルトレイ、苗等）は、同支所内の育苗用ガラス室（17.6 m × 9.2 m）内の一角（5.5 m × 3.5 m）に保管した。この一角の側窓は風よけのために閉め切ったが、他の側窓については、その総面積の3分の1相当を、台風襲来時を除いて常に網戸の状態で開放した。この一角には遮光ネットとして、地表からの高さ1.9 m前後の位置に黒色ナイロンネット（2 mm 目合い）を2枚重ねて展張し（遮光率75%前後）、その下（高さ1.6 m前後）に散水ノズル9個をおおむね等間隔で吊り下げ、試験期間中は毎日、午前9時頃より10分間散水を行った。気温と相対湿度については、温湿度データロガー（おんどとり®TR-77Ui, T & D Corporation）を遮光ネットの真下に吊り下げ、30分ごとに記録した（ただし、2014年10月下旬以降は機器の不具合により記録できず）。試験期間中のガラス室内および外気の日平均温湿度の変動をFig. 1に示した（外気については石垣島地方気象台で取得されたデータを使用）。気温と相対湿度の双方とも、ガラス室内のほうが外気よりもほぼ一貫して高く推移していた。

親株の管理および植物部位の定義

2013年2月に石垣島の栽培者より、雌株のほふく茎（定義は以下参照）由来の苗を購入し、これを親株として育成した。これら苗は、支柱として長さ1 m前後、直径6～7 cmの丸太を立て、鹿沼土を底から5 cm前後の深さまで入れ、その上から石垣島産の赤土（国頭マージ）と堆肥（世美がえり、石垣島堆肥センター）とカナダ産ピートモス（Morning Glory, Theriault & Hachey Peat Moss 社）を体積比1:1:1で混合した土を入れた黒色プラスチックポット（容量18.5L、高さ29 cm、開口部内径30 cm、底部内径25 cm）に1本ずつ移植した。以下の試験では、特にことわらないかぎり、これら親株から繰り返し挿し穂を切り出した。苗移植時と、挿し穂を切り出した時には、化学肥料（くみあい尿素入りIB化成S1号、N:P:K = 10:10:10）を1親株あたり約20 g与えた。

なお、コショウ科植物には、同一種がよじのぼり茎（climbing stem）やほふく茎（creeping stem）等の性質が異なる茎を発生させる例がしばしばあり（たとえば、Chaveerach *et al.*, 2006）、ヒハツモドキにも、葉の形態が互いに異なるよじのぼり茎とほふく茎が存在するとされる（皆川・中村, 1995）。しかし本種については、これら異なるタイプの茎の形態・生態的差異を詳述した文献が見当たらない。そこで今回、試験に先立ち、育成した親株と野外の株の観察に基づき、各タイプの茎・枝を以下のように定義した（模式図をFig. 2に示した）。親株導入から5ヶ月経過後（2013年7月）、一部の茎は各節から気根

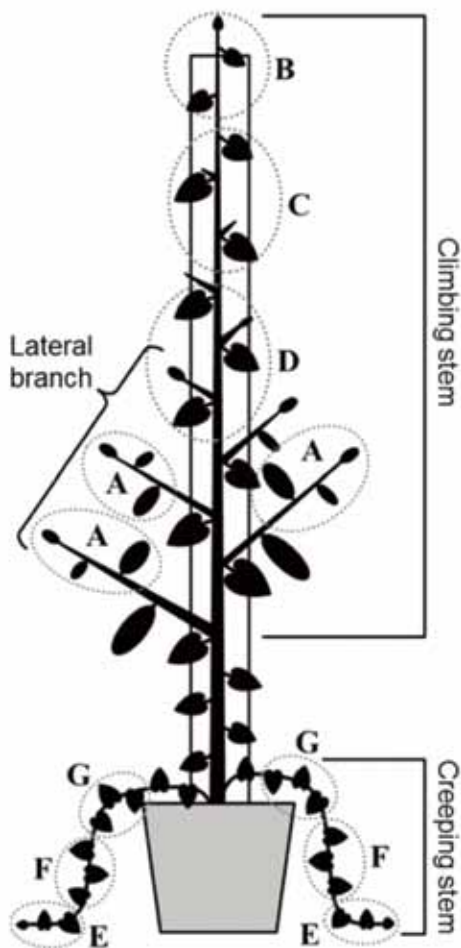


Fig. 2 Schematic representation of the definition of lateral branch, climbing stem and creeping stem of *Piper retrofractum*, and the plant parts used as cuttings (indicated with dotted ellipses and uppercase letters) in the present study. Although multiple climbing stems usually emerge by branching, only one was figured for simplification. A, tip of the lateral branch including three nodes (and thus three leaves, hereafter); B, tip of the climbing stem including three nodes; C and D, intermediate portions of the climbing stem including the fourth to sixth nodes and the seventh to ninth nodes, respectively; E, tip of the creeping stem including three nodes; F and G, intermediate portions of the creeping stem including the fourth to sixth nodes and the seventh to ninth nodes, respectively. See also Fig. 3f for external differences among the seven parts.

を発生させ、これを丸太に付着させて登っており、他の茎は地表から水平方向に伸長してポットの外に垂れ下がっていた。登っている茎は、基部と先端部をのぞく各節から、大型で楕円形の葉を有し、付着根のない枝（以降、これを側枝 lateral branch と呼ぶ）を発生させていた。野外株の観察では、果穂は例外なくこの側枝だけに認められた。地表から水平に伸長している茎は、心形～腎形で小型の葉を有し、この型の茎からは側枝の発生は認められなかった。こ

れをほふく茎と定義する。一方、よじのぼり茎については、支柱に付着している茎のうち、側枝が発生している最下位節より上の部分と定義する。したがって、地表と最下位の側枝の間の部分は、ほふく茎がよじのぼり茎に変化しつつある部分とみなし、本試験での調査対象からは除外する。よじのぼり茎の各節に直接着生する葉は心形であり、その大きさは側枝の葉とほふく茎の葉の中間であった。ほふく茎の節間はよじのぼり茎のそれより明らかに短く、よじのぼり茎の先端1～2節をのぞく各節にはほぼ例外なく気根の発生が認められたが、ほふく茎には気根が発生している節としていない節があった。ほふく茎の中間節が地表に接している場合、そこから土中への根の伸長がみられることがあった。

挿し穂の調製および挿し木法

試験用の挿し穂の切り出しはいずれの場合も、月齢6ヶ月以内の部位から行なった。切り出した挿し穂はすみやかに水に浸漬し、浸漬開始から6時間以内に挿し木した。挿し木培地には、市販のフェノール樹脂製の発泡成形育苗資材（オアシス® さし木育苗用（クサビ形）、Smithers-Oasis 社、品番 5615）を102穴（6穴×17穴、25 cm×51 cm）の専用セルトレイ（同社、品番 5641）に1穴おきに入れ、十分に湿らせたもの（Fig. 3a）を用いた。挿し穂として用いた茎・枝の小片はすべて、最下位節より下の部分を挿ししろとして2.5 cm前後（これに満たない場合はできるだけ長く）残し、挿し穂長（最下位節から最上位節までの長さ）を測定したのち（ただし挿し穂が1節の場合は測定せず）、最下位節が培地表面に接するかやや埋まる程度の深さまで挿して固定した。挿し穂は通常、培地表面中央にあけられている直径2 mm程度の穴に挿したが、挿し穂が穴の径より細いために固定されにくい場合は、穴から5 mm程度離れた位置に挿した。いずれの試験においても、異なる試験区の挿し穂を同一セルトレイ上に無作為順で挿し、セルトレイごとと水稲用育苗箱（30 cm×61 cm）に入れ、上記の遮光ネット下に置いた高さ65 cmの台の上に静置した（Fig. 3a）。保管中に生じうる灌水ムラの影響を除去するため、挿し木から発根調査までの間、週2～3回、セルトレイの配置を入れ替えた。

発根調査法およびデータ解析

すべての試験において、発根調査は挿し木から35日後に行った。挿し穂をセルトレイから抜きとり、必要に応じて培地を分解し、肉眼で発根の有無を確かめた。少なくとも1本の発根が認められた挿し穂についてはさらに、発根数を確認し、最も長い根の長さ（最大根長）を計測した。発根数について

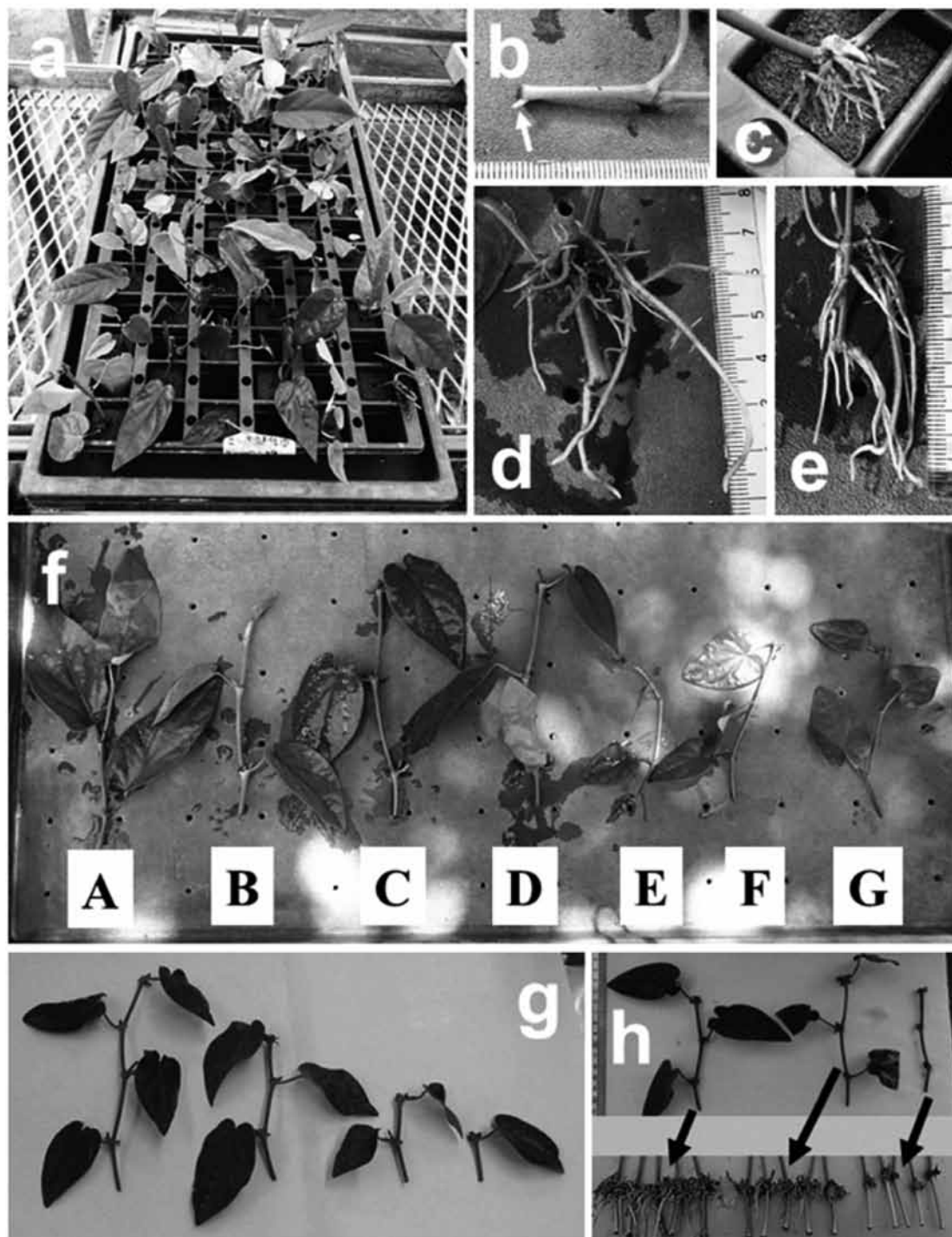


Fig. 3 Examples of the rooting media used, successful rooting, the plant parts used, and experimental treatments on the plant parts in propagation of *Piper retrofractum* by cutting. a: The growing media and tray used, and cuttings thereon. For all experiments in the present study, Oasis® Wedge® medium was embedded in every other cell of the dedicated tray with 102 cells, and different cutting types, as shown in photos f-h, were put in the media in a randomized order. Each cutting was inserted into the medium so that the undermost node of the cutting was in touch with the medium. b-d: Rooting observed on cutting derived from varying plant parts (see below and Fig. 2). The photo b shows a small root (indicated by the arrow) that emerged on terminal of the lateral branch. The photo c shows roots of an intermediate portion of the climbing stem that are recognizable on the surface of the rooting medium. The photos d and e show roots of intermediate portions of the climbing stem and the creeping stem, respectively, which have grown inside the rooting media. f: External differences among seven plant parts (A-G) used to determine the parts suitable for cuttings (see Fig. 2 for detailed explanations). g: Cuttings varying in the number of nodes that were used to examine the number of nodes suitable for cutting. h: Cuttings varying in the degree of leaf excision that were used to test the effects of leaf excision on rooting (upper), and apparent differences in the degree of rooting observed after 35 days (lower; leaves removed for ease of recognition).

は、多数の発根が認められた場合の多くで根が互いに癒合しており、肉眼での計数が困難であったため、根数が10以内であれば全数を計数したが、明らかに10以上の発根が認められる場合はすべて10以上として記録した。なお発根は主として挿し穂の最下位節に認められたが、挿し穂最下端の切り口や、最下位節と切り口の間に認められる場合もあった (Fig. 3b-e)。発根数は、こうした発根部位の違いにかかわらずひとまとめにして記録した。発根率 (発根が認められた挿し穂の割合)、発根数、最大根長、および挿し木時に得た挿し穂長のデータは、必要に応じて、異なる試験区間で多重比較した (有意水準5%)。発根率については、Fisherの正確確率検定によって総当たりで比較したのち、FDR (false discovery rate) 法 (Benjamini and Hochberg, 1995) によって有意差がある組み合わせを選び出した。発根数のデータについては、4つのランク (1~3本なら1, 4~6本なら2, 7~9本なら3, 10本以上であれば4) に配分して順序変数とし、Mann-WhitneyのU検定で総当たりの比較を行い、同様にFDR法により有意性を判定した。最大根長と挿し穂長については、Tukey-KramerのHSD検定によって多重比較した。

試験1: 挿し穂に適する植物部位の検討

本試験では、上のように定義した各部位をさらに細分し、Fig. 2およびFig. 3fに示したA~Gの7部位間で発根率等の比較を行った。すなわち、部位Aは側枝の先端3節、部位Bはよじのぼり茎の先端3節、部位Cは同じく先端から4~6節、部位Dは同じく先端から7~9節、部位Eはほふく茎の先端3節、部位Fは同じく先端から4~6節、部位Gは同じく先端から7~9節とした。なお、側枝の中間部については、全節に葉を備えた挿し穂を十分量得ることが困難であったため、本試験には用いていない。部位B~Dに側枝の発生がみられた場合、これを切除してから試験に用いた。ほふく茎の中間節から土中への根の伸長が認められた場合、その節より上位を試験に用いた。本試験は2013年7月5日~8月9日、同年10月3日~11月7日、2014年1月29日~3月5日、同年4月24日~5月29日の4回実施した (Fig. 1)。ただし3回目と4回目の試験においては、部位DとGをのぞく5部位間の比較とした。いずれの部位とも、挿し木前に挿し穂の最下位節における気根の有無を記録した。部位E~Gではいずれも、最下位節に気根があるものとなないものが認められたが (結果を参照)、これらの間で発根率、発根数あるいは最大根長が有意に異なることはなかったため (データ省略)、結果では気根の有無にかかわらずひとまとめにして算出したデータを

示す。

さらに、異なる部位間での発根後の活着率や初期生育の比較を行うため、上記4回の試験のうち1回目と4回目では、挿し木後の発根調査に引き続いて以下のような調査を行った。発根が認められた挿し穂については、親株育成に使用したのと同じ混合土を十分量入れた黒色ポリポット (570 ml, 口径10.5cm) に1本ずつ、最下位節が土表面から1 cm程度の深さに埋まるように植えかえ、上記と同じ化学肥料を3粒 (1.5 g 前後) 与え、部位を記したラベルを挿したポット苗とした。これらポット苗は各部位40本を上限に準備し、上記と同じ台の上に無作為順で並べて保管した。1回目の試験では移植から40日後 (2013年9月18日) に、4回目の試験では移植から50日後 (2014年7月18日) に、苗ごとに活着の有無を判定し、さらに活着したと判定されたものについては最大茎長、茎数、側枝数および葉数を記録した。ここで、節数の増加が認められた苗は活着しており、枯死しているか節数が増加していない苗は活着していないと判断した。最大茎長については、最も長い茎の土表面から茎先端 (葉を含まない) までの距離とした。茎数は、主茎 (もとの挿し穂を含む茎) の各節 (土中の最下位節も含む) から発生している側枝ではない分枝を数え、これに1 (主茎の数) を加えたものとした。側枝数はすべての茎の側枝の数の合計、葉数は苗全体の展開葉数とした。なお茎と側枝については、少なくとも1枚の展開葉を有するものだけを数えた。活着率の部位間での多重比較については発根率の場合と同様であり、他の値についてはTukey-KramerのHSD検定によって比較した。

試験2: 最適な挿し穂の節数の検討

ヒハツモドキの挿し穂の節数と発根・生育等との関係については、インドネシアの研究例があるが (Darwati *et al.*, 1991; Januwati and Effendi, 1992)、いずれも土・肥料等の混合物を挿し木培地として使用した例であり、本研究のように発泡成形育苗資材を用いた研究例はないため、検討することとした。ここでは、試験1において良好な発根が確かめられた、よじのぼり茎の中間部とほふく茎の中間部 (結果を参照) を用いた試験を、それぞれ2回ずつ実施した (Fig. 1)。1回目の試験は、よじのぼり茎では2014年8月1日~9月5日に、ほふく茎では同年8月4日~9月8日に行った。2回目の試験は、よじのぼり茎・ほふく茎双方とも、同年11月13日~12月18日に行った。双方の茎とも、茎先端2節を除く、3節~12節程度の間から挿し穂を切り出した。よじのぼり茎に側枝がある場合、試験1と同様に切除した。ほふく茎については、親株からだけでは十分なサン

ブル数が確保できなかったため、試験1の4回目の試験で初期生育比較のために用いたポット苗のうち、ほふく茎（E・F）由来のものからも同様に挿し穂を切り出して用いた。中間節から土中への根の伸長がみられた場合の扱いについても、試験1と同様である。試験区については、挿し木前後の取り扱いのしやすさや挿し穂の安定性から、よじのぼり茎では1節から4節の4区（Fig. 3g）、ほふく茎では1節から5節の5区とした。茎の特定の部位（たとえば、先端寄り）が特定の区に偏って配分されることがな

いよう、節数が異なる挿し穂の切り出しは無作為順で行った。なお、1節の区においては節間がないために、挿し穂長はゼロとした。

試験3：挿し穂の葉切除の必要性の検討

挿し穂の葉切除は、蒸散の抑制による発根促進効果が期待されることに加え、葉面積が小さくなるために、挿し床の単位面積あたり挿し穂数を増やせるという利点をもたらさうる。本研究では隣接する挿し穂どうしの干渉（隣の挿し穂の葉によって培地表

Table 1. Comparison of external characteristics and rooting among cuttings derived from varying plant parts of *Piper retrofractum*

Experiment No. (period)/plant parts tested ^a	<i>N</i>	Cutting length (cm) ^{b,c}	% cuttings with aerial roots ^{d,e}	% rooting ^{d,f}	No. of roots (rank) ^g	Maximum root length (cm) ^{b,h}
Exp. 1 (5 Jul.-9 Aug., 2013)						
A	38	6.39 ± 0.20 b	0.0 a	2.6 a	1.00	0.30
B	25	7.37 ± 0.18 c	100.0 c	68.0 b	3.47 ± 0.24 bc	1.89 ± 0.24 a
C	23	10.71 ± 0.26 d	100.0 c	91.3 b	3.90 ± 0.10 cd	3.54 ± 0.30 b
D	21	9.67 ± 0.28 d	100.0 c	90.5 b	3.89 ± 0.11 cd	3.78 ± 0.36 b
E	36	4.61 ± 0.18 a	77.8 b	75.0 b	3.11 ± 0.20 ab	4.31 ± 0.31 b
F	35	6.55 ± 0.23 bc	71.4 b	85.7 b	2.93 ± 0.20 ab	4.70 ± 0.27 b
G	26	6.82 ± 0.33 bc	61.5 b	76.9 b	2.65 ± 0.25 a	4.50 ± 0.46 b
Exp. 2 (3 Oct.-7 Nov., 2013)						
A	51	5.20 ± 0.18 ab	0.0 a	23.5 a	1.08 ± 0.08 a	1.67 ± 0.33 a
B	45	7.44 ± 0.26 c	93.3 c	97.8 b	2.59 ± 0.16 b	1.93 ± 0.17 a
C	37	9.99 ± 0.23 d	100.0 c	100.0 b	3.84 ± 0.08 c	4.08 ± 0.20 b
D	31	10.58 ± 0.36 d	100.0 c	93.5 b	4.00 ± 0.00 c	3.64 ± 0.19 b
E	28	4.67 ± 0.29 a	75.0 b	92.9 b	2.19 ± 0.21 b	4.19 ± 0.34 bc
F	24	6.15 ± 0.38 b	70.8 b	100.0 b	2.21 ± 0.22 b	4.72 ± 0.29 bc
G	15	6.23 ± 0.34 bc	66.7 b	93.3 b	2.36 ± 0.17 b	5.39 ± 0.59 c
Exp. 3 (29 Jan.-5 Mar., 2014)						
A	14	3.39 ± 0.18 ab	0.0 a	0.0 a	No data	No data
B	27	4.10 ± 0.18 bc	96.2 c	40.7 b	1.64 ± 0.34 ab	0.49 ± 0.11 a
C	22	6.44 ± 0.19 d	100.0 c	77.3 c	2.71 ± 0.29 b	0.68 ± 0.08 a
E	29	2.97 ± 0.20 a	65.5 b	41.4 b	1.08 ± 0.08 a	0.63 ± 0.18 a
F	24	4.48 ± 0.28 bc	54.2 b	20.8 ab	1.20 ± 0.20 ab	0.68 ± 0.43 a
Exp. 4 (24 Apr.-29 May, 2014)						
A	14	4.01 ± 0.27 a	0.0 a	0.0 a	No data	No data
B	46	5.39 ± 0.19 b	100.0 c	87.0 b	2.03 ± 0.13 a	3.12 ± 1.17 a
C	47	7.95 ± 0.14 c	100.0 c	100.0 c	3.89 ± 0.08 b	4.98 ± 0.92 b
E	27	4.06 ± 0.20 a	66.7 b	92.6 bc	1.92 ± 0.18 a	5.07 ± 1.66 b
F	19	5.14 ± 0.32 b	47.4 b	89.4 bc	1.76 ± 0.24 a	4.92 ± 1.12 b

a: The letters A-G represent plant parts tested, as shown in Fig. 2 and Fig. 3f. b: Mean ± SE. Values with the same letter are not significantly different (Tukey-Kramer HSD test, $P = 0.05$). The data without SE indicate $N = 1$ and were thus excluded from the statistical comparison. c: Linear distance between the uppermost (first) and the undermost (third) nodes of the cutting at the start of the experiment. d: Values with the same letter are not significantly different (Fisher's exact tests followed by FDR adjustment, $P = 0.05$). e: Percentage of cuttings bearing at least one aerial root on the undermost node at the start of the experiment. f: Percentage of cuttings bearing at least one newly emerged root at the end of the experiment. g: Mean ± SE of the number of newly emerged roots recorded as an ordinal variable with four ranks as follows: 1, one to three roots; 2, four to six roots; 3, seven to nine roots; 4, 10 or more roots. Values with the same letter are not significantly different (Mann-Whitney U tests followed by FDR adjustment, $P = 0.05$). The data without SE indicate $N = 1$ and were thus excluded from the statistical comparison. h: Length of the longest root among the newly emerged roots.

面が覆われ、水がかかりにくくなることなど）をできるかぎり防ぐため、すべての試験においてセルトレイに1穴おきに挿し木しているが（Fig. 3a）、葉が小さいほふく茎では、全穴に挿し木してもこうした干渉は問題にならず（筆者らによる観察）、また葉を切除せずとも発根がよいことが試験1で確かめられている（結果を参照）。このため本試験ではほふく茎は用いず、比較的大型の葉を有するよじのぼり茎（中間3節）と側枝（先端3節）を用いて、それぞれ2回ずつ試験を実施した（Fig. 1）。よじのぼり茎を用いた試験は2013年10月9日～11月13日と2014年4月15日～5月20日に、側枝を用いた試験は2014年8月1日～9月5日と同年10月17日～11月21日に行った。試験区については、葉を切除しない対照区（NE）、3葉すべてを葉幅が最大となる部分で切除する部分切除区（PE）、および3葉すべてを葉柄基部から切除する全切除区（AE）（Fig. 3h）を設けた。よじのぼり茎については試験2と同様に、茎先端から3節～12節程度の間から挿し穂を切り出し、側枝がある場合はこれを切除し、また特定の部位が特定の区に偏って配分されないよう、3試験区の処理は無作為順で行った。なお、よじのぼり茎の2回目の試験では、上記親株と異なる株から挿し穂を切り出した。これらの株は、2013年7月に沖縄本島（糸満市）の野外から採取したよじのぼり茎を、本論文に記したのと同様な方法で挿し木・育苗し、同年10月に同様の丸太を立てたポットに移植して育成したものである。

挿し木に適する時期の検討

以上3試験のデータから、挿し穂の節数が3節で、かつ葉切除をしていないものの挿し穂長および発根に関するものを抽出し、挿し木に適した時期の検討を行った。ここで、試験1におけるよじのぼり茎の部位CとDは、挿し穂長や発根、活着、初期生育に関するすべてのデータにおいて同一試験期間内では有意に異ならなかったため（結果を参照）、これらはよじのぼり茎中間部としてひとまとめにし、挿し穂長や発根に関するデータを再計算した。同じ理由で、ほふく茎の部位FとGのデータも、ほふく茎中間部としてひとまとめにした。また、よじのぼり茎中間部を用いている試験1の2回目と試験3の1回目では試験期間が大幅に重なっており（Fig. 1）、挿し穂も同じ株から切り出したものであるため、これらのデータもひとまとめにして扱った。一方、試験1の4回目と試験3の2回目についても同様に試験期間が重なっているが（Fig. 1）、上述のとおり後者では他の試験とは用いた挿し穂の由来が異なるため、後者のデータは除外した。

結果および考察

挿し穂に適する植物部位

Table 1に、挿し木前の挿し穂長と最下位節の気根有無、および挿し木後の発根に関するデータを要約した。挿し穂長については、4回の試験すべてに共通した傾向がみられ、よじのぼり茎中間部（C・D）が一貫して他よりも有意に大きく、よじのぼり茎先端部（B）とほふく茎中間部（F・G）がそれに続き、側枝先端部（A）とほふく茎先端部（E）は他よりも有意に小さいことが多かった。気根有無についても一貫した傾向があり、側枝先端部（A）は気根を備えておらず、一方でよじのぼり茎の各部位（B～D）はそのほとんどが気根を備えており、ほふく茎の各部位（E～F）では気根を備えるものが5～8割を占めた。これらの結果は、各部位の定義のための上記観察を裏付けるものである。発根率についてはまず、側枝先端部（A）が一貫して他よりも劣っており、高くても2割強であったが、一方でよじのぼり茎中間部（C・D）においては全試験を通じて7割以上と良好であった。よじのぼり茎先端部（B）とほふく茎の各部位（E～G）の発根率はやや劣る場合があり、前者では3回目と4回目の試験において、後者では3回目の試験においてのみ、よじのぼり茎中間部の発根率より低かった。ほふく茎の先端部（E）と中間部（F・G）の間では発根率が有意に異なることはなかった。発根数については、多くの場合でよじのぼり茎中間部（C・D）がほふく茎の各部位（E～G）より多く、よじのぼり茎先端部（B）がそれらの中間に位置するという結果になった。2回目の試験では側枝先端部（A）の発根数も統計検定に含めることができたが、他のすべての部位より少なかった。最大根長については、3回目の試験をのぞき、よじのぼり茎先端部（B）が、よじのぼり茎中間部（C・D）とほふく茎の各部位（E～G）よりも劣っていた。3回目の試験では、ほふく茎中間部のうち部位Gが、最大根長においてよじのぼり茎中間部（C・D）より勝っていた。2回目の試験のみ、側枝先端部（A）の最大根長も検定に含めることができ、よじのぼり茎先端部（B）とは有意に異ならなかったが、他の部位には劣った。

1回目と4回目の試験について、発根確認後にポットに移植した各部位由来の挿し穂の、その後の活着率および初期生育に関するデータをTable 2に要約した。2回の試験を通じて、いずれの部位由来の挿し穂の活着率も9割以上と高く、部位間に有意差はなかった。最大茎長については、2試験の間でやや結果が異なった。すなわち、よじのぼり茎先端部（B）と比べた場合、1回目の試験ではよじのぼり茎中間

Table 2. Comparison of the survival and early growth among the nursery plants of *Piper retrofractum* derived from varying plant parts

Experiment No. (period)/plant parts tested ^a	N	% survival ^b	Maximum stem length (cm) ^{c,d}	No. of stems ^{c,e}	No. of lateral branches ^{c,f}	No. of leaves ^{c,g}
Exp. 1 (9 Aug.-18 Sep., 2013)						
B	17	94.1 a	22.4 ± 1.26 a	1.50 ± 0.13 a	3.81 ± 0.53 a	14.5 ± 0.97 ab
C	21	100.0 a	29.0 ± 0.76 c	3.10 ± 0.16 c	4.75 ± 0.62 a	21.1 ± 1.20 d
D	19	100.0 a	28.4 ± 1.21 bc	3.44 ± 0.22 c	4.44 ± 0.64 a	22.8 ± 1.15 d
E	27	100.0 a	19.7 ± 0.79 a	2.30 ± 0.12 b	0.11 ± 0.11 b	12.1 ± 0.57 a
F	30	90.0 a	22.6 ± 1.08 a	3.00 ± 0.09 c	0.04 ± 0.04 b	17.0 ± 0.75 bc
G	20	100.0 a	24.0 ± 1.35 ab	3.10 ± 0.12 c	0.00 ± 0.00 b	19.2 ± 0.84 cd
Exp. 4 (29 May-18 Jul., 2014)						
B	36	100.0 a	24.3 ± 1.07 a	1.83 ± 0.12 a	3.14 ± 0.31 a	17.1 ± 1.14 a
C	40	100.0 a	28.1 ± 1.09 ab	2.73 ± 0.12 b	4.43 ± 0.45 b	23.9 ± 1.64 b
E	23	100.0 a	30.3 ± 1.55 b	2.61 ± 0.16 b	0.04 ± 0.04 c	19.3 ± 1.20 ab
F	16	100.0 a	30.9 ± 2.17 b	3.00 ± 0.20 b	0.06 ± 0.06 c	22.9 ± 1.48 ab

a: Same as those in Table 1. At the end of Exp. 1 and Exp. 4 in Table 1, each rooted cutting was transplanted to a 570 ml-pot containing a mixture of red soil (Kunigami-maaji), manure compost, and Canadian peat moss. b: Percentage of the rooted cuttings that survived the experimental period. Values with the same letter are not significantly different (Fisher's exact tests followed by FDR adjustment, $P = 0.05$). c: Mean ± SE. Values with the same letter are not significantly different (Tukey-Kramer HSD test, $P = 0.05$). d: Length of the longest stem (usually including the initial cutting length) at the end of the experiment. e: Sum of the number of main stem (including the initial cutting) and of other stems that newly branched during the experimental period. f: Total number of lateral branches (see Fig. 2) with at least one leaf at the end of the experiment. g: Total number of leaves on all stems and branches at the end of the experiment.

部 (C・D) が大きく、ほふく茎の各部位 (E～G) との有意差はなかったが、4 回目の試験ではほふく茎の各部位 (E・F) が大きくなり、よじのぼり茎中間部 (C) とは有意差がなかった (ただし E・F と C との間にも有意差なし)。茎数については、よじのぼり茎とほふく茎の、ともに中間部 (C・D・F・G) が、一貫してよじのぼり茎先端部 (B) よりも多く、ほふく茎先端部 (E) については、中間部と比べて少ない場合 (1 回目の試験) と有意差がない場合 (4 回目の試験) があった。側枝数については、よじのぼり茎とほふく茎の間に顕著な差がみられ、前者では苗あたり平均で 4 本前後の側枝を発生させていたのに対し、後者ではほとんどあるいは全く発生させていなかった。1 回目の試験では、よじのぼり茎の先端部 (B) と中間部 (C・D) の間で側枝数に有意差はなかったが、4 回目の試験では、前者の側枝数が後者のそれより少なかった。葉数については、一貫してよじのぼり茎中間部 (C・D) で最も多く、よじのぼり茎先端部 (B) ではこれらより少なかった。ほふく茎の各部位 (E～G) については、葉数がよじのぼり茎中間部 (C・D) と比べて少ない場合 (1 回目の試験) と同等である場合 (4 回目の試験) があった。また 1 回目の試験では、ほふく茎先端部 (E) の葉数が、中間部 (F・G) と比べて少なかった。

以上のように、本研究によって、ヒハツモドキの

どの部位を挿し穂に用いるかによって、発根やその後の初期生育が顕著に異なることが明らかになり、本種の増殖法確立の上で重要となるデータが得られた。今回試験に用いた各部位の中で、側枝先端部 (A) は、その発根率が著しく低く、また発根が認められた場合でも根が少なく短いため、挿し穂としては最も適さないと考えられる。一方、よじのぼり茎中間部 (C・D) は、発根と初期生育に関するすべてのデータにおいて、ほぼ一貫して最も数値が高く、したがって現時点では挿し穂として最も適した部位であると言える。これらに続いて発根等が優れたのが、ほふく茎の各部位 (E～G) である。これらの部位とよじのぼり茎中間部を比較した場合、発根数については劣ることがほとんどであったものの、発根率については 1 回の試験を除けば同等であり、最大根長においては勝る場合もあった。ただし、ほふく茎の各部位由来の苗には、発根した挿し穂の移植から 40～50 日後においても側枝の発生がほとんど認められないため、これが欠点となる可能性はある。すなわち、果穂の発生は側枝だけに認められるため、ほふく茎由来の株の果穂の収穫開始時期は、よじのぼり茎由来の株よりも遅れる可能性があり、また果穂の収量も低くなるかもしれない。これらの点を明らかにするためには、苗移植後の生育や収量について長期的な比較を行う必要がある。

Table 3. Relationships between the number of nodes of cuttings of *Piper retrofractum* and their subsequent rooting

Plant parts used ^{a/} experiment No. (period)/ No. of nodes ^b	<i>N</i>	Cutting length (cm) ^c	% rooting ^d	No. of roots (rank) ^d	Maximum root length (cm) ^d
Climbing stem					
Exp. 1 (1 Aug.-5 Sep., 2014)					
1	38	0.00	100.0 a	3.58 ± 0.12 a	2.16 ± 0.14 a
2	39	5.16 ± 0.17	100.0 a	3.82 ± 0.10 a	2.87 ± 0.18 b
3	38	10.62 ± 0.35	92.1 a	3.97 ± 0.03 a	3.56 ± 0.22 c
4	38	16.07 ± 0.34	97.4 a	3.86 ± 0.10 a	4.02 ± 0.20 c
Exp. 2 (13 Nov.-18 Dec., 2014)					
1	49	0.00	98.0 a	3.69 ± 0.11 a	1.14 ± 0.07 a
2	49	4.57 ± 0.12	98.0 a	3.90 ± 0.07 a	1.26 ± 0.10 a
3	48	8.87 ± 0.19	97.9 a	3.79 ± 0.11 a	1.40 ± 0.09 a
4	48	13.93 ± 0.27	97.9 a	3.57 ± 0.13 a	1.39 ± 0.11 a
Creeping stem					
Exp. 1 (4 Aug.-8 Sep., 2014)					
1	53	0.00	100.0 a	2.58 ± 0.12 a	4.76 ± 0.17 a
2	51	3.27 ± 0.11	100.0 a	2.94 ± 0.17 a	4.94 ± 0.26 a
3	51	6.72 ± 0.21	94.1 ab	2.81 ± 0.17 a	5.29 ± 0.24 a
4	50	9.68 ± 0.38	86.0 bc	2.42 ± 0.18 a	4.75 ± 0.35 a
5	50	12.55 ± 0.41	68.0 c	2.62 ± 0.23 a	4.72 ± 0.46 a
Exp. 2 (13 Nov.-18 Dec., 2014)					
1	51	0.00	74.5 ab	1.84 ± 0.18 a	1.41 ± 0.19 a
2	51	3.43 ± 0.12	80.4 a	2.22 ± 0.16 a	1.72 ± 0.18 a
3	51	6.99 ± 0.25	72.6 ab	2.11 ± 0.18 a	1.56 ± 0.17 a
4	51	10.02 ± 0.32	64.7 ab	2.55 ± 0.19 a	1.71 ± 0.20 a
5	51	13.87 ± 0.37	51.0 b	2.04 ± 0.21 a	1.58 ± 0.28 a

a: See Fig. 2 for the plant parts. For both types of stems, those excluding the two apical nodes were used. b: Stems were cut into pieces with varying numbers of nodes as shown in Fig. 2g. c: Mean ± SE of linear distance between the uppermost and the undermost nodes of the cutting at the start of the experiment. For cuttings with one node, this length is regarded as zero due to lack of internodes. d: See Table 1 for explanations.

また、よじのぼり茎の先端部 (B) は、側枝先端部 (A) よりは発根について有意に優れてはいるものの、よじのぼり茎中間部 (C・D) と比べると発根や初期生育に関して劣る場合が多かったため、挿し穂としてはあまり適さないだろう。一方で、ほふく茎の先端部 (E) と中間部 (F・G) の間には、よじのぼり茎で観察されたような特性の差はみられなかった。すなわち、発根については先端・中間部に有意差がみられることはなく、初期生育に関しては、1 回の試験において、先端部の茎数と葉数が中間部に劣ったのみであった。挿し木による増殖を行う際に、植物体の茎・枝の先端部を用いる場合 (すなわち、天挿し) と中間部を用いる場合 (管挿し) のいずれが発根において優れるかは、植物種によって異なる (たとえば, Reynoso *et al.*, 2001; 山田ら, 2007; 水島, 2013)。ヒハツモドキの場合では、この点は使用する茎の種類によっても異なる (すなわち、よじのぼり茎を用いる場合では管挿しのほうが好ましいが、ほふく茎を用いる場合ではどちらでもよい) ことがわかり、たいへん興味深い。こうした部位間での挿し穂としての適性の差は、何らかの生

理的あるいは物理的性質の差に起因すると思われるが、現時点ではその原因は不明であるため、今後詳しく調べる必要があるだろう。

なお、側枝先端部 (A) については、今回の結果からは挿し穂として適しないと判定されたが、一方でこの部位は、よじのぼり茎中間部から3節の挿し穂を1本切り出す場合に、多くて同時に3本得られる (Fig. 2)。この点で、今後側枝も挿し穂として利用できるようになれば、増殖効率をかなり高められることが期待される。このために、発根促進剤の利用等により、側枝の発根率を高める試みを進めることには価値があるだろう。

最適な挿し穂の節数

Table 3 に、互いに節数が異なる挿し穂の発根に関するデータを要約した。よじのぼり茎中間部を用いた試験では、2 回の試験とも、1～4 節の挿し穂間に発根率と発根数の有意差はみられなかった。最大根長については、1 回目の試験でのみ、節数が多くなるほど長くなる傾向がみられ、3～4 節のものが1～2 節よりも長くなった。一方で、ほふく茎中間

Table 4. Effects of leaf excision from cuttings of *Piper retrofractum* on subsequent rooting

Plant parts used ^a / experiment No. (period)/ treatment ^b	N	Cutting length (cm) ^c	% rooting ^c	No. of roots (rank) ^c	Maximum root length (cm) ^c
Climbing stem					
Exp. 1 (9 Oct.-13 Nov., 2013)					
NE	24	8.80 ± 0.32 a	100.0 a	3.67 ± 0.17 a	2.97 ± 0.25 a
PE	24	8.68 ± 0.25 a	100.0 a	3.67 ± 0.17 a	2.14 ± 0.21 b
AE	24	8.43 ± 0.28 a	25.0 b	1.83 ± 0.48 b	0.20 ± 0.05 c
Exp. 2 (15 Apr.-20 May, 2014)					
NE	17	8.67 ± 0.37 a	88.2 a	3.93 ± 0.07 a	3.09 ± 0.29 a
PE	17	9.08 ± 0.49 a	88.2 a	3.40 ± 0.25 a	2.11 ± 0.27 b
AE	17	9.04 ± 0.36 a	17.7 b	1.67 ± 0.67 b	0.23 ± 0.03 c
Lateral branch					
Exp. 1 (1 Aug.-5 Sep., 2014)					
NE	51	4.96 ± 0.15 a	7.8 a	1.25 ± 0.25 a	0.10 ± 0.00 a
PE	51	5.13 ± 0.15 a	3.9 a	1.00 ± 0.00 a	0.80 ± 0.70 a
AE	51	5.08 ± 0.18 a	2.0 a	1.00	0.30
Exp. 2 (17 Oct.-21 Nov., 2014)					
NE	23	5.04 ± 0.23 a	4.4 a	1.00	0.60
PE	23	4.80 ± 0.24 a	0.0 a	No data	No data
AE	24	5.47 ± 0.28 a	0.0 a	No data	No data

a: See Fig. 2 for the plant parts. For climbing stems, those excluding the two apical nodes were cut into pieces with three nodes each and used as cuttings. For the lateral branches, the three apical nodes were cut off and used as cuttings. b: NE, leaves not excised (control); PE, leaves partially excised (cut at the maximum breadth) as shown in Fig. 3h (center); AE, all leaves, including petioles, were excised as shown in Fig. 3h (right). c: See Table 1 for explanations.

部を用いた試験では、2回の試験を通じて、1～5節の挿し穂間に発根数と最大根長の有意差はみられなかったが、発根率については節数が多くなるほど低くなる傾向がみられた。特に、1回目の試験では1～2節の挿し穂と4～5節の挿し穂の間で発根率が異なり、2回目の試験では2節の挿し穂と5節の挿し穂の間で発根率が異なった。

このように、本試験によって、挿し穂の節数と発根との関係が、茎の種類によって異なることが明らかになった。すなわち、今回試した節数の範囲内においては、よじのぼり茎では節数が多いほうが安定して根の伸長が優れ、ほふく茎では節数が少ないほうが発根率が優れる傾向があるという興味深い結果が得られた。このような差異をもたらす原因については現時点では不明であり、今後追及されるべきである。よじのぼり茎については、より節数を増やせばさらに根の伸長がよくなる可能性はあるが、5節以上の挿し穂を用いる場合、今回供試した挿し木培地では、いったん挿して固定した後も、風や運搬時の揺れ、挿し穂の自重等によって緩みやすく（筆者らの経験による）、したがって取扱いのしやすさの面で難がある。このため、よじのぼり茎を挿し穂に用いる場合には3～4節が適していると言える。一方ほふく茎では、4節以上だと発根率が有意に劣る場合があるため、発根率だけに着目すれば、3節以内が好ましいと考えられる。しかし、1節のみの挿し穂には節間がないために、これをセルトレイから

取り出す際には葉をつまんで持ち上げなければならず、この時にしばしば葉をちぎってしまうことがあるため（筆者らの経験による）、やはり取扱いのしやすさに難がある。したがって、ほふく茎を挿し穂に用いる場合には2～3節が適しているだろう。なお、今回の試験では、挿し穂の節数を変えた結果、挿し穂の長さや葉数の双方が同時に変わっているため、いずれの要因が発根率や根の長さの違いにより強く寄与しているのかは不明であり、この点はさらに追究する必要があるだろう。

インドネシアでの研究結果を見ると、Januwati and Effendi (1992) は、sulur vertikal（垂直な蔓；図示されていないが、おそらくよじのぼり茎に相当）の1節から3節の挿し穂を土・砂等の混合物に挿し木した場合、3節のものが根や茎の生長において優れると述べており、よじのぼり茎では3～4節のものが1～2節のものよりも根の伸長が優れる場合があるとする本研究の結果と一致する。したがって、このような傾向は挿し木培地の種類によらず安定したものであると考えられる。一方、Darwati *et al.* (1991) は、挿し穂の節数と土への挿し木後の株の生育との関係を調べ、3節よりも1～2節のほうが生育が優れると述べており、この点で Januwati and Effendi (1992) とは異なる。Darwati *et al.* (1991) では、どの部位を挿し穂としたのかが明記されていないが、用いた部位が Januwati and Effendi (1992) とは異なったため、結果も異なったという可能性もある。今後はよじの

ぼり茎とほふく茎の双方について、挿し穂の節数と挿し木後の株の生育との関係も明らかにする必要があるだろう。

挿し穂の葉切除の必要性

Table 4 に、試験に用いた挿し穂の長さ、および挿し穂の葉の全切除あるいは部分切除が発根に及ぼす影響に関するデータを要約した。挿し穂長に処理区間での有意差がみられることはなかったため、区間でこの値には偏りがなかったとみなすことができる。よじのぼり茎中間3節を用いた試験では、2回の試験とも、全切除 (AE) 区が発根率と最大根長が他の2区よりも劣り、さらに最大根長については部分切除 (PE) 区も対照 (NE) 区より劣るという結果となった。側枝先端3節を用いた試験では、全切除 (AE)・部分的切除 (PE) とも、発根率、発根数あるいは最大根長のいずれにも有意な向上効果を示すことはなかった。

このように、今回供試した2種の挿し穂について

は、葉の切除が発根に好ましい影響を及ぼすことはなかったため、今回の実験条件下では、葉からの蒸散は問題にならないと考えられる。したがって、ヒハツモドキのよじのぼり茎に関しては、挿し床のスペースに制約がない場合は、葉の切除は行わないほうがよいだろう。スペースに制約がある場合、部分切除ならば行ってもよいかもしれないが、この処理は発根率と発根数には悪影響を示さないものの、根の伸長には悪影響があることを念頭に置く必要がある。部分切除が発根後の生育等に及ぼす影響については、今後詳しく調べる必要があるだろう。なお、側枝の発根の向上について今後追及する価値があることは上で述べたとおりであるが、葉の切除はこのための一手段として適さないことが、本試験の結果から結論できる。

挿し木に適する時期

Table 5 に、挿し木前の挿し穂長と挿し木後の発根を時期間で比較するためのデータを、挿し木部位別

Table 5 Relationships between the rooting of *Piper retrofractum* cuttings and the season when the cutting was implemented

Plant parts used ^a /experimental period	N	Cutting length (cm) ^b	% rooting ^b	No. of roots (rank) ^b	Maximum root length (cm) ^b
Apical part of lateral branch (A)					
Jul.-Aug., 2013	38	6.39 ± 0.20 d	2.6 a	1.00	0.30
Oct.-Nov., 2013	51	5.20 ± 0.18 c	23.5 a	1.08 ± 0.08 a	1.67 ± 0.33 b
Jan.-Mar., 2014	14	3.39 ± 0.18 a	0.0 a	No data	No data
Apr.-May, 2014	14	4.01 ± 0.27 ab	0.0 a	No data	No data
Aug.-Sep., 2014	51	4.96 ± 0.15 bc	7.8 a	1.25 ± 0.25 a	0.10 ± 0.00 a
Oct.-Nov., 2014	23	5.04 ± 0.23 c	4.4 a	1.00	0.60
Apical part of climbing stem (B)					
Jul.-Aug., 2013	25	7.37 ± 0.18 c	68.0 ab	3.47 ± 0.24 c	1.89 ± 0.24 b
Oct.-Nov., 2013	45	7.44 ± 0.26 c	97.8 c	2.59 ± 0.16 b	1.93 ± 0.17 b
Jan.-Mar., 2014	27	4.10 ± 0.18 a	40.7 a	1.64 ± 0.34 a	0.49 ± 0.11 a
Apr.-May, 2014	46	5.39 ± 0.19 b	87.0 bc	2.03 ± 0.13 a	3.12 ± 1.17 c
Intermediate part of climbing stem (C and D)					
Jul.-Aug., 2013	44	10.22 ± 0.21 c	90.9 ab	3.90 ± 0.07 b	3.66 ± 0.23 b
Oct.-Nov., 2013	92	9.88 ± 0.19 c	97.8 b	3.84 ± 0.06 b	3.64 ± 0.13 b
Jan.-Mar., 2014	22	6.44 ± 0.19 a	77.3 a	2.71 ± 0.29 a	0.68 ± 0.08 a
Apr.-May, 2014	47	7.95 ± 0.14 b	100.0 b	3.89 ± 0.08 b	4.98 ± 0.13 c
Aug.-Sep., 2014	38	10.62 ± 0.35 c	92.1 ab	3.97 ± 0.03 b	3.56 ± 0.22 b
Nov.-Dec., 2014	48	8.87 ± 0.19 b	97.9 ab	3.79 ± 0.11 b	1.40 ± 0.09 a
Apical part of creeping stem (E)					
Jul.-Aug., 2013	36	4.61 ± 0.18 b	75.0 b	3.11 ± 0.20 c	4.31 ± 0.31 b
Oct.-Nov., 2013	28	4.67 ± 0.29 b	92.9 b	2.19 ± 0.21 b	4.19 ± 0.34 b
Jan.-Mar., 2014	29	2.97 ± 0.20 a	41.4 a	1.08 ± 0.08 a	0.63 ± 0.18 a
Apr.-May, 2014	27	4.06 ± 0.20 b	92.6 b	1.92 ± 0.18 b	5.07 ± 1.66 b
Intermediate part of creeping stem (F and G)					
Jul.-Aug., 2013	61	6.66 ± 0.19 c	82.0 bc	2.82 ± 0.16 c	4.62 ± 0.24 b
Oct.-Nov., 2013	39	6.18 ± 0.26 bc	97.4 d	2.26 ± 0.15 b	4.97 ± 0.29 b
Jan.-Mar., 2014	24	4.48 ± 0.28 a	20.8 a	1.20 ± 0.20 a	0.68 ± 0.43 a
Apr.-May, 2014	19	5.14 ± 0.32 ab	89.5 bc	1.76 ± 0.24 ab	4.92 ± 0.27 b
Aug.-Sep., 2014	51	6.72 ± 0.21 c	94.1 cd	2.81 ± 0.17 c	5.29 ± 0.24 b
Nov.-Dec., 2014	51	6.99 ± 0.25 c	72.5 b	2.11 ± 0.18 ab	1.56 ± 0.17 a

a: See Fig. 2 for the plant parts. Data from parts C and D were combined into one group, and those from F and G were combined into another group. b: See Table 1 for explanations.

に要約した。

側枝先端部 (A) においては、全試験期間を通じて発根率が低く、時期間で発根率が有意に異なることはなかった。複数の挿し穂に発根がみられた2013年の秋期 (10～11月) と2014年の夏秋期 (8～9月) のデータを比較すると、発根数には有意差がみられなかったが、最大根長は前者のほうが大きかった。この原因については現時点では不明であるが、後者の期間のほうが明らかに日平均気温が高かったため (Fig. 1)、これが根の伸長を阻害した可能性はある。

よじのぼり茎先端部 (部位 B) においては、冬春期 (2014年1～3月) の発根率が他の時期に劣り (ただし2013年7～8月とは有意差がない)、また最大根長も他の時期より劣った。このため、冬期に特有の環境要因 (たとえば、低温) が発根やその後の根の伸長を阻害した可能性がある。しかしながら、冬期では同時に、供試した挿し穂の長さが他の時期よりも小さかった。このため、挿し穂のサイズが小さいことによる栄養面等での不利さが、発根に反映された可能性も残る。他の時期に着目すると、夏期 (2013年7～8月) においては、発根率は秋期 (同年10～11月) より低く春期 (2014年4～5月) と同等であったが、発根数は両時期に勝り、最大根長は秋期と同等であったが春期には劣った。これらの結果は、高温時には発根数は増えるものの、上述の側枝先端部の場合でも示唆されたように、根の伸長阻害が起こることを示唆しているのかもしれない。ただし、ここでも挿し穂長が春期と夏～秋期の間で異なっていたため、結果の解釈には注意が必要である。

よじのぼり茎中間部 (C・D) においては、2014年の冬春期 (1～3月) の発根率と最大根長が他のいくつかの時期より劣り、発根数は他のすべての時期より劣った。また、2014年の秋冬期 (11～12月) の最大根長も同様に、他の春～秋期の場合より劣った。このため、上述の先端部の場合と同様に、低温等が発根や根の伸長を阻害した可能性があるが、2014年の冬春期では挿し穂のサイズが他の時期より小さいことが同時に影響した可能性も残る。一方で、2014年秋冬期 (11～12月) の挿し穂長は、少なくとも同年春期 (4～5月) のものと同等であり、したがってこの場合では、冬期における根の伸長程度の低下と挿し穂のサイズは関係していないと考えられる。また、春期の最大根長が他の時期より優れたという点も先端部と同様であったが、一方で夏期の発根数が他の時期より多いという、先端部でみられた傾向はみられなかったため、部位間で気温等の環境条件への反応性が異なる可能性がある。しかしながら、中間部の発根数ランクの平均値は、冬期を

除けばいずれの時期においても4に近く、これは、ほとんどの挿し穂で10本以上の発根がみられたことを示している。今回の調査法では、10本以上の発根がみられた挿し穂間での発根数の差は検出できないため、実際には夏期においてより発根が多かった可能性も否定できず、この点は今後詳しく調べる必要がある。

ほふく茎先端部 (E) においては、冬春期 (2014年1～3月) の発根率、発根数および最大根長のいずれも他の時期に劣っていたが、挿し穂長も他の時期より小さかったため、これが同時に発根に影響した可能性も残る。また、発根数においては夏期 (2013年7～8月) が他の時期に勝するという、よじのぼり茎先端部と同様の傾向がみられた。ほふく茎中間部 (F・G) においても類似した傾向がみられ、2014年の冬春期 (1～3月) と秋冬期 (11～12月) の発根率や発根数、最大根長が他の時期に劣る場合が多かった。挿し穂長については、よじのぼり茎中間部と類似した傾向がみられ、2014年冬春期のものは他のいくつかの時期より小さかったが、2014年秋冬期ではそのようなことはなく、むしろ他の時期より大きい場合があった。夏秋期 (2013年7～8月および2014年8～9月) の発根数もまた、よじのぼり茎・ほふく系の先端部と同様に、他の時期に勝っていた。

以上の結果を総合すると、全試験期間を通じて発根率が低かった側枝先端部を除けば、いずれの部位においても、冬期を含む時期に挿し木した場合、発根率・発根数・最大根長のうち少なくともひとつが他の時期に劣るという結果となった。よじのぼり茎とほふく茎の先端部については、冬期の試験で供試した挿し穂が他の時期のものより小さかったため、これが冬期特有の環境要因 (低温等) と同時に発根に影響した可能性を排除できなかったものの、それらの中間部については必ずしもそうではなかったため、少なくともこれらの部位については、冬期は挿し木に適していないと結論してよいだろう。春から秋の期間のうちどの時期が挿し木に適するかという点については、いくつかの部位で夏期に発根数が多くなる傾向がみられたものの、最大根長については夏期が春期あるいは秋期に劣る場合もみられたため、今回の結果からは結論できない。この点については、挿し木時期と、その後の生育や収穫に関する諸特性との関係を明らかにした上で再検討する必要がある。

謝 辞

試験準備や育苗施設の管理，データ取得等の作業を手伝って下さった沖縄県農業研究センター石垣支所の宮里 進，東嘉弥真勇人，宮平米浩，登野城泰佑，福本 光，大山朋美，野崎真由，大瀨俊三，平良直美，岸本光邦，豊平康友の諸氏，オアシス®を用いた育苗法についてご教示いただいた石垣市在住の玉城真男氏および藤原政之氏，ならびにインドネシアの文献収集に協力してくださったインドネシア香辛料・薬用植物研究所の Oti Rostiana 博士に厚くお礼申し上げる．本研究は沖縄振興特別推進交付金による「うちなー島ヤサイ商品化支援技術開発事業」の一環として行われた．

引用文献

- Banerjia, A., M. Sarkara, R. Dattaa, P. Senguptaa, and K. Abraham (2002) Amides from *Piper brachystachyum* and *Piper retrofractum*. *Phytochemistry* 59: 897-901.
- Benjamini, Y. and Y. Hochberg (1995) Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *J. Royal Stat. Soc., Ser. B, Stat. Methodol.* 57: 289-300.
- Chaveerach, A., P. Mookamul, R. Sudmoon, and T. Tanee (2006) Ethnobotany of the genus *Piper* in Thailand. *Ethnobotany Research and Applications* 4: 223-231.
- Darwati, I., S. M. D. Rosita, G. Bangun, and T. Handayani (1991) Effect of triacontanol and number of internodes on growth of cutting of long pepper (*Piper retrofractum* Vahl.). *Bul. Littro. (Indonesia)* 6: 39-46. (in Indonesian with English abstract)
- Djauhariya, E. and R. Rosman (2008) Technology status of Java long pepper. *Perkembangan Teknologi Tanaman Rempah dan Obat (Indonesia)* 20: 75-90. (in Indonesian with English abstract)
- Evizal, R. (2013) Development of pharmacognosy and agro-technology of Java long pepper (*Piper retrofractum* Vahl.). *Jurnal Agrotropika* 18: 34-40. (in Indonesian with English abstract)
- Januwati, M. and D. S. Effendi (1992) Perbanyakan vegetatif tanaman cabe jawa (*Piper retrofractum*) dan teknik penanamannya. *Warta Tumbuhan Obat Indonesia* 1: 15-16. (in Indonesian)
- Lim, T. K. (2012) *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants: Volume 4, Fruits*. Springer Netherlands (Dordrecht) p.439.
- 皆川礼子・中村武久 (1995) 琉球諸島のヒハツモドキの起源種に関する研究. *東京農業大学農学集報* 40: 100-107.
- 水島智史 (2013) ウワバミソウ挿し穂の発根に及ぼす挿し芽用土，挿し穂採取部位およびインドール酪酸処理の影響. *園学研* 12: 269-272.
- 成井孝雄・竹内幹尚・石井玲子・石田寿昌・奥山 徹 (1995)

沖縄産香辛料ヒハツモドキ *Piper hancei* の成分研究. *Natural Medicines* 49: 438-441.

大野 豪・根本明子・宮里 進・東嘉弥真勇人・宮城徳道・山城信哉・玉城盛俊 (2016) 沖縄県におけるヒハツモドキの地理的分布と生育環境の特徴，ならびに害虫等による本種の被害・障害に関する予備的知見. *熱帯農業研究* 9: 1-11.

Reynoso, G. A., A. Hasegawa, Y. Masuda and M. Goi (2001) Propagation of *Telopea speciosissima* from softwood cuttings. *Tech. Bull. Fac. Agr. Kagawa Univ.* 53: 67-69.

多和田真淳 (1981) 沖縄薬草 家庭栽培と薬効. 新星図書出版 (那覇) p.447.

Weiss, E. A. (2002) *Spice Crops*. CABI Publishing (Wallingford) p.429.

山田康裕・真崎修一・宮崎潤二・佐々木義則 (2007) 抵抗性クロマツの挿し木増殖における管挿しと低温貯蔵の検討. *九州森林研究* 60: 125-127.

山門健一 1996. 香りのまちづくり構想について. *沖大経済論叢* 19: 1-2.

Vegetative Propagation of Javanese Long Pepper, *Piper retrofractum* Vahl, by Cutting: Determination of Plant Parts, Number of Nodes, Degree of Leaf Excision, and Seasons Suitable for Cuttings

Suguru Ohno^{1*}, Akiko Nemoto^{1,2} and Moritoshi Tamaki³

1 Ishigaki Branch, Okinawa Prefectural Agricultural Research Center

(*Present affiliation: Okinawa Prefectural Plant Protection Center)

2 Ryukyusankei Co.Ltd.

3 Okinawa Prefectural Agricultural Research Center

Abstract

The Javanese long pepper, *Piper retrofractum*, has been used as a traditional spice and medicinal plant in the Ryukyu Archipelago including Okinawa Prefecture, southwestern Japan. Recently, this plant has been focused on for its functionality, but its cultivation technique is not well-developed. To establish a propagation technique for *P. retrofractum* by cutting, we conducted a series of experiments to determine plant parts, number of nodes, degree of leaf excision, and seasons suitable for cuttings. The lateral branch, climbing stem, and creeping stem were tested. The apical part of the lateral branch was not suitable for cutting due to its lower rooting percentage (<24%). The apical part of the climbing stem also seems unsuitable because its rooting traits were sometimes inferior to those of the other parts tested. The intermediate part of the climbing stem was consistently superior in not only rooting traits, including rooting percentage (>77%), but also in traits for early growth of the rooted nursery plant, indicating its suitability for cuttings. For the creeping stem, both the apical and intermediate parts were generally good for rooting and early growth, demonstrating their suitability for cuttings; however, in some cases, they were inferior to the intermediate part of the climbing stem. The optimum number of nodes for cutting varied between the climbing and creeping stems: three to four nodes and two to three nodes were suitable for the former and for the latter, respectively, in terms of their rooting traits and ease of handling. With respect to leaf excision, both partial and full excisions from the climbing stems resulted in poor rooting, and excision from the lateral branches did not improve rooting. These results indicate that leaf excision is unnecessary for *P. retrofractum* cutting. As the rooting traits in winter were overall inferior to those of other seasons, *P. retrofractum* cuttings should be grown from spring to autumn.

Keywords: Artificial propagation, cuttage, Piperaceae, Ryukyus, Yaeyama region

原著論文

沖縄県におけるサツマイモトビハムシの分布状況とその寄主植物

小濱継雄^{1*}・安藤緑樹^{2*}

沖縄県農業研究センター病虫管理技術開発班

(1* 現所属：琉球大学博物館（風樹館）)

(2* 現所属：沖縄県農林水産部農林水産総務課)

要 約

サツマイモトビハムシ（甲虫目，ハムシ科）は，北米原産のサツマイモの害虫である．筆者らは沖縄県において本種の分布状況と寄主植物を調査した．その結果，本種は沖縄諸島から八重山諸島にかけてと大東諸島に広く分布することがわかった．本種の寄主植物として，サツマイモやヨウサイを含む7種を確認した．そのうち，ノアサガオ，ホシアサガオ，ヒメノアサガオおよびネコアサガオの4種は国内で初めて本種の寄主として記録された．

キーワード：ヒルガオ科，外来害虫，サツマイモ属，琉球列島

緒 言

北米原産のサツマイモトビハムシ（*Chaetocnema confinis* Crotch, 1873）は，サツマイモ（*Ipomoea batatas* (L.) Lam.）の重要害虫であり（Schalk et al, 1991; Jolivet, 2008），甲虫目，ハムシ科に属し，別名でサツマイモヒサゴトビハムシとも呼称され，成虫の体サイズは1.5mm程度と微小である（Fig. 1）．本種は北米および世界の熱帯地域にまで広く分布し，日本では，小笠原諸島，九州（宮崎県・鹿児島県）および琉球列島での分布が記録されている（Takizawa, 1998；今坂・祝，2007；小濱，2010；今坂・石関，2012；宮

崎県病害虫防除・肥料検査センター，2012；東京都病害虫防除所，2012）．本種の寄主としては，サツマイモ，ヨウサイ（*I. aquatica* Forsk.），ノアサガオ（*I. indica* (Burm.) Merr.），マルバアサガオ（*I. purpurea* Roth），セイヨウヒルガオ（*Convolvulus arvensis* L.）などヒルガオ科植物が知られている（Jolivet, 2008；Majka and LeSage, 2010）．

最近，種子島では本種幼虫によるサツマイモ塊根への加害が問題となっており（林川ら，2013；林川ら，2014），また種子島や沖縄島などでは成虫によるサツマイモの葉への食害が報告されている（田中ら，1990；小濱，2010）．さらには小笠原諸島父島や沖縄島においては成虫によるヨウサイの葉への食害も報告されている（今坂・石関，2012；東京都病害虫防除所，2012）．今後，沖縄県において本種によるサツマイモやヨウサイへの被害が拡大する可能性があるが，防除対策を実施する上で基礎的な知見となりうる本種の分布状況や寄主植物に関する情報は極めて少ない．たとえば，本県で本種の分布が記録されているのは沖縄島，津堅島，久米島および石垣島のわずか4島であり（小濱，2010），また，国内で確認されている寄主植物は，サツマイモ，ヨウサイおよびグンバイヒルガオ（*I. pes-caprae* (L.) Sweet.）の3種のみである（小濱，2010；今坂・石関，2012；東京都病害虫防除所，2012）．そこで，本稿では本県における本種の分布状況と寄主植物に関して新たな知見を得たので報告する．



Fig. 1. Specimen of adult sweetpotato flea beetle, *Chaetocnema confinis* Crotch (Dana, Iheya-jima Island, 3. Sep. 2014)



Fig. 2. Sweet potato leaf damaged by the adults of *Chaetocnema confinis* Crotch (Ohgami-jima Island, Miyakojima City, 5. Mar. 2016)

材料および方法

2013年2月から2017年6月に沖縄県内の27島において、サツマイモトビハムシの分布調査を行った。27島のうち複数回調査したのは、沖縄島（調査回数4回）、渡名喜島（同2回）、黒島（同2回）、宮古島（同2回）、多良間島（同2回）および宮古諸島水納島（同2回）の6島で、残りの21島については、それぞれ調査回数は1回のみであった。本種成虫は寄主植物の葉を筋状に食害するため（Fig. 2）（田中ら，1990；小濱，2010；今坂・石関，2012），寄主となるサツマイモ（*Ipomoea*）属植物を対象に，成虫の食痕がある植物上で成虫を探索し，成虫が認められた場合，証拠標本として成虫を捕虫網で捕獲した。また，本種成虫とその食痕が認められた植物については成虫の寄主として記録し，さらに採集した成虫は持ち帰り標本作製した。なお今回の調査で得られた本種成虫の標本は，琉球大学博物館（風樹館）に収蔵されている。

結果および考察

調査した27島のうち，25島（沖縄諸島14島，宮古諸島4島，八重山諸島6島および大東諸島1島）でサツマイモトビハムシの分布が確認された（Table 1）。25島のうち，すでに記録のある沖縄島と石垣島を除く23島で新たに本種が確認され，本種を確認できなかったのは，宮古諸島水納島（多良間村）と八重山諸島黒島の2島（それぞれ2回ずつ調査した）であった。これら2島の特徴として，島の大半が牛の放牧場になっており，サツマイモなど寄主植物がほとんど見られなかった点が挙げられる。水納

島では，牛の放牧場とは別に島全体にヤギが放し飼いにされており，草本を中心にヤギによる食害を激しく受けていた。水納島では2か所の砂浜でグンバイヒルガオの小群落が見られただけで，サツマイモなど他の寄主植物は全く確認できなかった。黒島ではサツマイモ圃場はなく，サツマイモは1か所民家の庭で確認されたのみであり，ノアサガオもほとんど確認されず，グンバイヒルガオを確認したのは2か所だけであった。以上のことから水納島と黒島においては，寄主植物が乏しいためサツマイモトビハムシの生息密度が極端に低いか，もしくは生息していない可能性がある。今回の分布調査の結果，本種は沖縄諸島から宮古・八重山諸島と大東諸島で見つかっており，小島嶼を含む沖縄県の広い範囲に分布していることが明らかになった。

今回の調査で本種の寄主植物として，サツマイモ，ヨウサイ，ノアサガオ，ホシアサガオ（*I. triloba* L.），ヒメノアサガオ（*I. obscura* (L.) Ker Gawl.），グンバイヒルガオおよびネコアサガオ（*I. biflora* (L.) Pers.）の7種を確認した（Table 1）。そのうち，ノアサガオ，ホシアサガオ，ヒメノアサガオおよびネコアサガオの4種は国内で初めて本種の寄主として記録された。本種の存在を確認したのは，25島の合計50地点のうちサツマイモでは沖縄島など18島19地点，ヨウサイは沖縄島など6島6地点，ノアサガオは沖縄島など16島18地点，ホシアサガオは沖縄島など3島3地点，ヒメノアサガオ（南大東島のみ）とグンバイヒルガオ（大神島のみ），ネコアサガオ（来間島のみ）はそれぞれ1島1地点であった（Table 1）。これら7種のうち，サツマイモとヨウサイ以外は野生寄主である。野生寄主のうち，ノアサガオは調査したほとんどの島において耕地周辺や原野において最も多く生育しており，また上述のように多くの地点で本種の存在が確認された。したがって，ノアサガオは本県における本種の最も重要な野生寄主と考えられる。

長い間，本種はテンサイトビハムシ *Chaetocnema concinna* (Marshall, 1802) とされてきた（田中ら，1990；木元・滝沢，1994；Takizawa, 1998；小濱，2010）。日本における本種の存在が確認されたのは比較的最近のことであり（Takizawa and Kushigemati, 1996；Takizawa, 1998），日本への侵入時期は明らかではないが，1976年9月に徳之島で得られた標本があることから（Takizawa, 1998），本種は少なくとも1970年代に日本（奄美諸島）に侵入したものと推察される。その後，1989年には種子島において本種成虫（当時はテンサイトビハムシとされていた）によるサツマイモの葉の被害が認められている（田中ら，1990）。本種によるサツマイモ塊根やヨウサイの被害が明らかになったのはごく最近のことであ

Table 1. Collecting data of *Chaetocnema confinis* in Okinawa, Japan

Locality	Collection date	No. of specimen	Collector	Adult host plant
OKINAWA ISLANDS				
Okinawa-jima Is.				
Nakijin, Kamiunten	4. May 2015	2exs.	T. Kohama	<i>Ipomoea indica</i>
Onna, Maeganeku	2. Feb. 2013	3exs.	T. Kohama	<i>I. aquatica</i> , <i>I. batatas</i> , <i>I. indica</i>
Onna, Onna	26. Oct. 2016	3exs.	T. Kohama	<i>I. triloba</i>
Ginowan, Samashita	7. Nov. 2014	4exs.	T. Kohama	<i>I. triloba</i>
Iheya-jima Is.				
Dana	3. Sep. 2014	3exs.	T. Kohama	<i>I. indica</i>
Maedomari	3. Sep. 2014	1ex.	T. Kohama	<i>I. batatas</i>
Noho-jima Is.	2. Sep. 2014	1ex.	T. Kohama	<i>I. batatas</i>
Izena-jima Is.	5. May 2015	4exs.	T. Kohama	<i>I. batatas</i>
Ie-jima Is.	7. Oct. 2015	4exs.	T. Kohama	<i>I. indica</i> , <i>I. triloba</i>
Kouri-jima Is.	6. May 2015	3exs.	T. Kohama	<i>I. indica</i>
Minna-jima Is.	11. Nov. 2013	3exs.	T. Kohama	<i>I. batatas</i> , <i>I. indica</i>
Ikei-jima Is.	9. Apr. 2015	5exs.	T. Kohama	<i>I. batatas</i>
Miyagi-jima Is.	9. Apr. 2015	4exs.	T. Kohama	<i>I. indica</i>
Hamahiga-jima Is.	9. Apr. 2015	6exs.	T. Kohama	<i>I. indica</i>
Kudaka-jima Is.	6. May 2013	2exs.	T. Kohama	<i>I. batatas</i> , <i>I. indica</i>
Zamami-jima Is.	16. Nov. 2014	3exs.	T. Kohama	<i>I. batatas</i> , <i>I. indica</i>
Aguni-jima Is.	16. Jun. 2013	4exs.	T. Kohama	<i>I. batatas</i>
Tonaki-jima Is.	29. Jun. 2017	5exs.	T. Kohama	<i>I. indica</i>
DAITOU ISLANDS				
Minamidaitou-jima Is.				
Kita	30. Jul. 2013	7exs.	K. Gotou	<i>I. obscura</i>
Kyutou	30. Jul. 2013	25exs.	K. Gotou	<i>I. aquatica</i>
Ikenosawa	30. Jul. 2013	12exs.	K. Gotou	<i>I. batatas</i>
MIYAKO ISLANDS				
Miyako-jima Is.				
Fukuyama	25. Sep. 2014	2exs.	T. Kohama	<i>I. triloba</i>
Ohno-sanrin	9. Mar. 2013	3exs.	T. Kohama	<i>I. batatas</i>
Uipya	10. Mar. 2013	3exs.	T. Kohama	<i>I. indica</i>
Ohgami-jima Is.	27. Apr. 2013	5exs.	T. Kohama	<i>I. batatas</i> , <i>I. pes-caprae</i>
Kurima-jima Is.	28. Sep. 2014	3exs.	T. Kohama	<i>I. batatas</i> , <i>I. biflora</i>
Tarama-jima Is.				
Nakasuji	17. Mar. 2013	2exs.	T. Kohama	<i>I. aquatica</i>
Futenma-kou	17. Mar. 2013	1ex.	T. Kohama	<i>I. indica</i>
Shiokawa	16. Nov. 2013	8exs.	T. Kohama	<i>I. indica</i>

YAEYAMA ISLANDS				
Ishigaki-jima Is.				
Arakawa	20. Feb. 2014	3exs.	T. Andou	<i>I. indica</i>
Ohhama	20. Feb. 2014	4exs.	T. Andou	<i>I. batatas</i>
Nagura	20. Feb. 2014	1ex.	T. Andou	<i>I. batatas</i>
Iriomote-jima Is.				
Ohhara	19. Feb. 2014	2exs.	T. Kohama	<i>I. indica</i>
Toyohara	19. Feb. 2014	2exs.	T. Kohama	<i>I. aquatica, I. batatas</i>
Taketomi-jima Is.	20. Feb. 2014	2exs.	T. Kohama	<i>I. batatas</i>
Kohama-jima Is.				
Kumazaki	20. Feb. 2014	3exs.	T. Andou	<i>I. indica</i>
Kohama-kou	20. Feb. 2014	2exs.	T. Andou	<i>I. aquatica, I. batatas</i>
Hateruma-jima Is.	17. Apr. 2016	4exs.	T. Kohama	<i>I. aquatica, I. batatas</i>
Yonaguni-jima Is.				
Tattagami	21. Feb. 2013	2exs.	T. Kohama	<i>I. indica</i>

り（今坂・石関，2012；宮崎県病害虫防除・肥料検査センター，2012；東京都病害虫防除所，2012；林川ら，2013），林川ら（2013）は，種子島において，本種幼虫によるサツマイモ塊根の被害が最近まで見過ごされていた可能性がある」と述べている．これまで，沖縄県においては本種幼虫によるサツマイモ塊根の被害はほとんど問題になっていなかった．しかし，今回の県内における本種の分布調査結果から推察すると，本県においても実際にはサツマイモで本種の被害はあるが，種子島における状況と同様にその被害が見過ごされてきた可能性がある．その要因として，本県に分布するサツマイモ塊根の重要害虫である，アリモドキゾウムシ（*Cylas formicarius* (Fabrius, 1798)；ミツギリゾウムシ科）やイモゾウムシ（*Euscepes postfasciatus* (Fairmaire, 1849)；ゾウムシ科）の被害に紛れて，本種幼虫による被害が顕在化していなかった可能性が考えられる．また成虫は体長約1.5mmと微小であるため，食害も軽微で，成虫密度が高くない場合，食痕が目立たないことから，本種成虫によるヨウサイの被害も見過ごされてきた可能性がある．したがって，今後本種によるサツマイモやヨウサイでの被害が顕在化する可能性が懸念されるため，本種の分布域や寄主範囲の詳細についてさらに調査を継続する必要がある．

謝辞

南大東島産のサツマイモトビハムシ標本および寄主植物についての情報を提供いただいた後藤健志

氏，現地調査に協力いただいた比嘉実野氏および伊礼有佳氏に厚くお礼申し上げる．また文献収集に協力いただいた栗和田隆氏および長田勝氏にもお礼を申し上げます．

引用文献

- 林川修二・福田 健・山下 進（2014）サツマイモトビハムシ (*Chaetocnema confinis* Crotch) の生態と防除 2. 種子島のサツマイモほ場におけるサツマイモトビハムシ幼虫の加害時期. 九病虫研究会報 60: 64-67.
- 林川修二・嶽崎 研・福田 健・水島真一・山下 進（2013）サツマイモトビハムシ (*Chaetocnema confinis* Crotch) の生態と防除 1. サツマイモトビハムシ幼虫によるサツマイモ塊根の被害. 九病虫研究会報 59: 72-76.
- 今坂正一・石関 博（2012）サツマイモヒサゴトビハムシのエンサイへの加害，および国内における分布と単為生殖個体群の存在について. さやばねニューシリーズ (5): 18-21.
- 今坂正一・祝 輝男（2007）喜界島で2007年に採集した甲虫. *Satsuma*(137): 119-129.
- Jolivet, P. (2008) Sweetpotato flea beetle, *Chaetocnema confinis* (Coleoptera: Chrysomelidae: Alticinae). In: Encyclopedia of Entomology (Capinera, J. L. ed.). Springer Science+Business Media B. V.: pp.4. <http://springerlink.com/content/h42257r043001884/fulltext.html> (2017年9月30日アクセス確認)
- 木元新作・滝沢春雄（1994）日本産ハムシ類幼虫・成虫分類図説. 東海大学出版会（東京）. pp. 539.

- 小濱継雄 (2010) 沖縄県におけるサツマイモの食葉性害虫.
沖縄県農研セ研報 (4): 27-31.
- Majka, C. G. and L. LeSage (2010) *Chaetocnema* flea beetles (Coleoptera: Chrysomelidae, Alticini) of the Maritime Province of Canada. J. Acad. Entomol. Soc. 6: 34-38.
- 宮崎県病害虫防除・肥料検査センター (2012) 平成 23 年度病害虫発生予察特殊報第 2 号. pp. 2.
- Schalk, J. M., A. Jones, P. D. Dukes, and J. K. Peterson (1991) Approaches to the control of multiple insect problems in sweet potato in the Southern United States. In: Jansson, R. K. and K. V. Raman (eds.) Sweet potato pest management: a global perspective. pp. 283-301. Westview Press, Boulder.
- Takizawa, H. (1998) Notes on Japanese Chrysomelidae (Coleoptera). Part 3. Elytra 26(1): 217-222.
- Takizawa, H. and K. Kusigemati (1996) Notes on Chrysomelidae of the Palau Islands. (Insecta, Coleoptera). Kagoshima Univ. Rec. Center S. Pac., Occasional Papers (30): 23-25.
- 田中 章・肥後三郎・上妻道紀 (1990) 種子島のサツマイモに発生したテンサイトビハムシについて. 九病虫研会報 36: 120-122.
- 東京都病害虫防除所 (2012) 平成 24 年度病害虫発生予察特殊報第 2 号. pp. 2.

Geographical distribution and host plants of the sweet potato flea beetle, *Chaetocnema confinis* Crotch (Coleoptera: Chrysomelidae) in Okinawa, Southwestern Japan.

Tsuguo Kohama^{1*} and Tsunaki Andou^{2*}

Okinawa Prefectural Agricultural Research Center

(1* Present affiliation: Ryukyu University Museum (Fujukan))

(2* Present affiliation: Agriculture, Forestry and Fisheries General Administration Division, Okinawa Prefectural Government)

Abstract

We surveyed the geographical distribution and host plants of *Chaetocnema confinis* Crotch, an exotic insect pest of sweet potatoes that originated in North America, in Okinawa, Southwestern Japan. *Chaetocnema confinis* was widely distributed from the Okinawan Islands to the Yaeyama and Daitou Islands. Seven *Ipomoea* (Convolvulaceae) species, including *I. batatas* (L.) Lam. and *I. aquatica* Forsk., were recorded as host plants of the beetle. Of those, *I. indica* (Burm.) Merr., *I. triloba* L., *I. obscura* (L.) Ker Gawl., and *I. biflora* (L.) Pers. were new hosts recorded in Japan.

Keywords: Convolvulaceae, exotic insect pest, *Ipomoea*, Ryukyu Islands

乳酸発酵によって GABA を強化した黒糖の開発

広瀬直人・前田剛希・照屋 亮・高良健作・和田浩二

乳酸発酵を利用して γ -アミノ酪酸 (GABA) を強化した黒糖を開発した。サトウキビ搾汁液にグルタミン酸ナトリウムと酵母エキスを添加し, *Lactobacillus brevis* NBRC 3345 を接種して 30℃で乳酸発酵させた。 *L. brevis* NBRC 3345 による GABA 生産には, サトウキビ搾汁液に酵母エキスの添加が必要であった。グルタミン酸ナトリウムと酵母エキスの最適添加濃度は, いずれも 0.2%であった。24 時間乳酸発酵させた搾汁液で製糖すると, GABA を 275 mg/100g 含有する黒糖を製造することができた。30 時間乳酸発酵させた搾汁液では, そのままでは固形の黒糖を製造できなかったが, 1/4 量の新鮮な搾汁液を添加することで 302 mg/100g の GABA を含有する固形の黒糖を製造できた。

出典：日本食品保蔵学会誌 43:269-273 (2017)

サトウキビ搾汁粕から分離した GABA 強化黒糖製造に利用可能な乳酸菌

広瀬直人・前田剛希・照屋 亮・高良健作・和田浩二

サトウキビ搾汁粕より, GABA を生産する *Enterococcus* 属の乳酸菌 AG34 を分離した。AG34 は, GABA の生産に酵母エキスの添加を必要としなかった。サトウキビ搾汁液にグルタミン酸ナトリウムを 0.2%添加した培地に AG34 を接種して 30℃で 24 時間発酵させた後に製糖すると, GABA を 357.4 mg/100g 含有する黒糖を製造することができた。また, AG34 は黒糖の固形化を妨げる物質を生産しないことが示唆された。

出典：日本食品保蔵学会誌 44:17-21 (2018)

異なる温度条件下における罹病枯死葉上のマンゴー炭疽病菌 *Colletotrichum gloeosporioides* の生存期間

澤岬哲也

異なる温度条件下におけるマンゴー罹病残渣葉上の炭疽病菌 *Colletotrichum gloeosporioides* の生存期間を調べた。その結果、罹病残渣葉上の分生子塊は、35℃の条件下では 120 日、25℃では 150 日、15℃では 210 日、10℃では 300 日以上生存した。また、各温度区の罹病残渣葉から分離した 4 菌株は、すべて果実へ病原性を示した。以上より、病原菌は罹病残渣葉上で長期間生存でき、温度が低いほど生存期間も長くなった。さらに長期生存中も病原性は欠落しなかった。このことから、ほ場の残渣はマンゴー炭疽病の伝染源になる可能性が示唆された。

出典：九州病害虫研究会報 61：16-19（2015）

果梗部熱処理法によるマンゴー軸腐病の防除

澤岬哲也・比嘉 淳

マンゴー軸腐病に有効な収穫後の防除法を確立するために、ハンダゴテを用いた果梗部熱処理の防除効果について検討した。熟度の異なるマンゴー果実における果梗から果実内部への病原菌の侵入過程を調べた結果、未熟果実と比較して収穫期の成熟果実で病原菌の進行は早く、接種 12 時間後には果梗から深さ 15mm の果肉部まで達した。果梗部熱処理の方法は、市販のハンダゴテの先端部を平らに切断し、果実の果梗部に加熱したハンダゴテの先端部を 10 秒間押し当てた。病原菌を果梗に接種して 3, 6, 12 および 24 時間後に果梗部熱処理を行った結果、接種 3, 6 時間後の処理で有意に発病が抑制され、接種 24 時間後の処理では発病は抑制されなかった。このことから、効果的な防除効果を得るには、果実を収穫して 6 時間以内に熱処理を行う必要があることが示された。また、現地試験において収穫 3 時間後に果梗部熱処理を行った結果、無処理と比較して高い発病抑制効果が認められ、果実品質の劣化もみられなかった。以上より、果梗部熱処理は本病の防除法として有効であると考えられた。

出典：九州病害虫研究会報 60：48-52（2014）

ストロビルリン系薬剤耐性マンゴー炭疽病菌 *Colletotrichum gloeosporioides* の発生

澤岬哲也・嘉手苺佳太・新崎千江美・田場 聡

2009～2010年に沖縄県全域から採集したマンゴー炭疽病菌 *Colletotrichum gloeosporioides* 107菌株のストロビルリン系薬剤に対する感受性を調査した。サリチルヒドロキシ酸 (SHAM) とともにアゾキシストロビンおよびクレソキシムメチルを添加した PDA 培地を用いる寒天希釈平板法で評価した結果、最小生育阻止濃度 (MIC 値) が 3000ppm 以上を示す耐性菌の 2 菌株が確認された。また、葉接種による生物検定では、2 菌株に対するアゾキシストロビン剤の防除効果は低かった。さらに、制限酵素 Fnu4HI を用いた PCR-RFLP 解析により、2 菌株の薬剤耐性に関与するチトクローム b 遺伝子の変異 (コドン 143 : G143A) が確認された。

出典：日本植物病理学会報 80:119-123 (2014)

沖縄県におけるヒハツモドキの地理的分布と生育環境の特徴、 ならびに害虫等による本種の被害・障害に関する予備的知見

大野 豪・根本明子・宮里 進・東嘉弥真勇人・宮城徳道・山城信哉・玉城盛俊

日本最西端に位置する八重山地域において古くから香辛料として利用されてきたコンショウ科植物であるヒハツモドキの、沖縄県内における地理的分布と生育環境の特徴を調べた。本種は広い地域に分布することが確かめられたが、その出現頻度は地域間で異なっており、南西部の先島諸島 (八重山地域を含む) では高頻度で発見されたが、北部の沖縄諸島ではやや稀であり、東部の大東諸島からは発見されなかった。本種は雌雄異株であるとされるが、今回の調査では野外で雄株が観察されることはなく、茎を採取して挿し木によって育成した株もすべて雌であったことから、沖縄県には雄株が分布しない可能性が高い。本種がみられるのはほぼ例外なく集落地や農地といった人為的に改変された環境であり、林縁等の自然植生から発見されることはほとんどなかった。茎が付着していた基質の素材としては、コンクリートやモルタル、石灰岩、樹木、木材が多く、金属類や合成樹脂類等の他の素材が利用されていることは稀であった。性判別のための株の育成の過程で、ハダニ科の一種ナンゴクナミハダニと、コナカイガラムシ科の未同定種の頻繁な発生が問題となった。これらの情報は、今後本種の栽培技術開発や有望系統選抜を進める上での重要な基礎となる。

出典：熱帯農業研究 9:1-11 (2016)

沖縄県農業研究センター研究報告
第12号

平成30年3月30日発行

編集・発行

沖縄県農業研究センター

〒901-0336 沖縄県糸満市真壁820番地

電話 098-840-8500 (代表) Fax 098-840-8510

ホームページ: <http://www.pref.okinawa.jp/arc/>

代表 E-mail: xx015063@pref.okinawa.lg.jp

印刷

有限会社 金城印刷

〒901-0306 沖縄県糸満市西崎町 5-9-16

電話 098-995-0001 Fax 098-994-9886

**BULLETIN OF THE OKINAWA PREFECTURAL AGRICULTURAL
RESEARCH CENTER**

..... **Number12 March, 2018**

Contents

Original paper

- 01-06 Ayaka IREI, Kazufumi YOZA, Ryotaro ICHI:**Harvest period for high-quality fresh pineapple on Miyako Island, Okinawa
- 07-13 Goki MAEDA, Naoto HIROSE:**Characteristic features and manufacturing conditions of unrefined brown sugar (Air in unrefined brown sugar; Air in Kokuto) expanded using the principle of vacuum degassing
- 14-20 Goki MAEDA, Itaru SHIMOJI, Tadashi TEDOKON, Hiroyuki SHIMOJI, Katsumi UECHI, Hirokatsu ISHIMINE, Masayuki SUNAGAWA, Jun CHINEN, Konosuke DEGI, Katsuhiko MIYAGI and Takayuki OGI:**Comparison between non-centrifugal brown sugar (*Kokuto*) manufactured using cane juice alone and that manufactured using cane juice with cane top juice.
- 21-28 Shinichi HIYANE, Yoshinobu SUNAKAWA, Noriko OOMI, Kounosuke DEGI and Shin IREI :**Estimation of the soil moisture content using the improved tank model and the effects of irrigation on yields from sugar cane fields in Okinawa Prefecture
- 29-42 Suguru OHNO, Akiko NEMOTO and Moritoshi TAMAKI :**Vegetative Propagation of Javanese Long Pepper, *Piper retrofractum* Vahl, by Cutting: Determination of Plant Parts, Number of Nodes, Degree of Leaf Excision, and Seasons Suitable for Cuttings
- 43-47 Tsuguo KOHAMA and Tsunaki ANDOU :**Geographical distribution and host plants of the sweet potato flea beetle, *Chaetocnema confinis* Crotch (Coleoptera: Chrysomelidae) in Okinawa, Southwestern Japan.