再現性の高い試験用黒糖の製造方法の開発

誌名	沖縄県農業研究センター研究報告 = Bulletin of the Okinawa Prefectural Agricultural Research Center
ISSN	18829481
著者名	広瀬,直人 前田,剛希 照屋,亮 宮平,守邦 比屋根,真一 和田,浩二
発行元	沖縄県農業研究センター
巻/号	8号
掲載ページ	p. 40-44
発行年月	2014年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

沖縄県農業研究センター研究報告 8：40～44，2014

原著論文

再現性の高い試験用黒糖の製造方法の開発

広瀬直人[1]，前田剛希[1]，照屋亮[2]，宮平守邦[1]，比屋根真一[3]，和田浩二[4]

1 沖縄県農業研究センター農業システム開発班
2 沖縄県農業研究センター研究企画班
3 沖縄県農業研究センター作物班，〒901-0336 沖縄県糸満市真壁820番地
4 琉球大学 農学部，〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原1番地

要　旨

黒糖はサトウキビの搾汁液をそのまま煮沸濃縮した後に冷却して製造するため，黒糖の製造条件は黒糖の品質に大きく影響する．小規模の黒糖製造は手作業で行うため，製造された黒糖の品質が安定せず，サトウキビ原料由来の特性を評価することは困難である．そこで，仕上げ加熱装置と冷却撹拌装置を用いた，再現性の高い黒糖試験製造方法を開発した．シラップ（Brix50の蔗汁濃縮液）を仕上げ加熱装置により130℃に達するまで（あるいは125℃以上で10分間）加熱し，冷却撹拌装置で白濁するまで撹拌・冷却すると，水分の変動係数が0.06～0.19，水分活性の変動係数が0.01～0.02と，安定して黒糖を製造できた．

キーワード：仕上げ加熱，冷却撹拌，黒糖製造

緒　言

黒糖（黒砂糖）は，サトウキビの搾汁液をそのまま煮沸濃縮した後に冷却して製造する（図1）．すなわち，（1）サトウキビの搾汁，（2）搾汁液の清浄化，（3）清浄液の濃縮，（4）冷却・撹拌，（5）固化・成形，という非常に単純な工程で製造されており，成分を調整する工程は含まれていない（中田ら，1964）．そのため，黒糖の品質は原料のサトウキビによって大きく左右される．サトウキビジュースでは，品種や収穫時期によって糖組成やアミノ酸含有量が異なること（氏原ら，2004），品種によってポリコサノール含量（サトウキビ表皮部のワックスに由来する）が異なること（Asikin et al., 2012）が報告されている．一方，黒糖では，搾汁機ローラーの材質によってミネラル組成が異なること（氏原ら，2009），仕上げ加熱の方式によってポリコサノール組成や含有量が変化すること（Asikin et al., 2008）が見出されている．黒糖の個性は，このような原料のサトウキビの違いや，工場ごとの製造工程の違いなどに起因する可能性が大きいと考えられる．

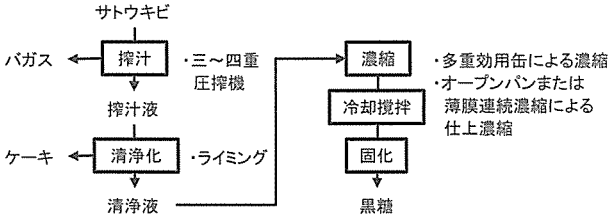


図1　黒糖製造工程

サトウキビ原料や黒糖製造工程の違いが黒糖品質に及ぼす影響を詳細に研究するためには，再現性のある標準的な黒糖の試作方法を確立することが前提となる．試験的に黒糖を製造する場合には，（3）搾汁液の濃縮，（4）冷却・撹拌，（5）固化成形の工程を手作業で行うが，作業中に利用可能な管理指標はシラップのBrixと温度のみである．また，加熱濃縮に直火鍋を用いるため加熱プロファイルが安定しない（加熱温度が一定でない，温度ムラが大きい），過飽和となった濃縮液を手作業で冷却撹拌するため冷却条件が一定でないなど，人的，機器的および環境的要因の影響を受けやすい．そのため，製造された黒糖の品質に大きなバラツキが生じることがあり，試験的に黒糖製造を行うには再現性に問題があった．そこで，黒糖製造工程のうち加熱工程および冷却撹拌工程に着目し，一定条件で行うことが可能な黒糖試験製造方法の開発を試みた．

材料および方法

供試材料

サトウキビ搾汁液（蔗汁）は，沖縄県農業研究センター圃場で栽培した夏植のサトウキビを供試した．製造条件の検討には，NiF8（2010年1月22日収穫・搾汁，Brix21.7，pH5.2）を用いた．サトウキビ品種別の製糖試験には，Ni15（2011年12月14日収穫・搾汁，Brix20.7，pH5.0）およびNCo310（2011年12月14日収穫・搾汁，Brix19.7，pH5.0）を用いた．原料サトウキビは未出穂茎のみを収穫し，脱葉および完全展開葉第5葉より上部を切除して調製した原料

茎をサトウキビ小型圧搾機（TM340，マツオ）を用いて平均搾汁率 55 ～ 60%で搾汁した．ライミングは，常温下で pH 調整の後に加熱・冷却して不溶性成分を除去するコールドライミング（山根，1964）を行った．すなわち，蔗汁に水酸化カルシウムを添加して pH7.4 に調整し，煮沸してフロックを形成させた後に，遠心分離（8,000rpm×10 分間）で不溶性成分を除去して pH7 前後の清澄汁を得た．製糖試験には，常圧下で清澄汁を体積比で約 1/2.5 ～ 1/3 倍に加熱濃縮して Brix50 程度に調整したシラップを用いた．このほか，市販の黒糖を蒸留水で再溶解し，Brix50 に調整したシラップを併用した．

加熱試験装置

黒糖製造用卓上加熱装置には，ホットプレートスターラー（RCT basic，アズワン）を用いた．外部撹拌装置として，仕上げ加熱にはデジタル撹拌機（BLG-4D，アズワン）を，冷却撹拌には低トルク検出型（最大トルク 0.2N・m）のデジタル撹拌機（BLG-4D，アズワン）を用いた．

測定方法

1) 水分

粉砕した試料を 1.0g 量りとり，加熱乾燥式水分計（MX50，エー・アンド・ディ）で水分を測定した．加熱温度は 150℃とし，測定は 2 ～ 3 回測定した平均値を水分率（%）で表示した．

2) 水分活性

粉砕した試料を 5.0g 量りとり，電解質電気抵抗湿度センサ式水分活性計（LabSwift-aw，ケツト科学研究所）で水分活性を測定した．測定は 2 ～ 3 回行い，測定値を平均して水分活性（Aw）で表示した．

3) 色調

黒糖の平滑面について，分光測色計（CM-2600d，コニカミノルタ）を用いて SCI 方式（正反射光込み）で測定し，L*a*b* 表色系で表示した．

結果および考察

仕上げ加熱条件の検討

工場で黒糖を製造する場合の仕上げ加熱はシラップの品温（取上温度）が 130℃ 以上となることを目安としている．これまでに卓上レベルの試験製糖を行った際にも，125 ～ 130℃以上の取上温度で良好に黒糖が製造できた．そこで，仕上げ加熱におけるシラップの取上温度を 130℃ とした．仕上げ加熱装置の設定温度は高い方が製造所要時間の短縮となるが，ショ糖の融点は 186℃であり，170℃以上で還元糖が生成される場合があるとされている（岸原，2008）ため，加熱設定温度を 165℃とした．

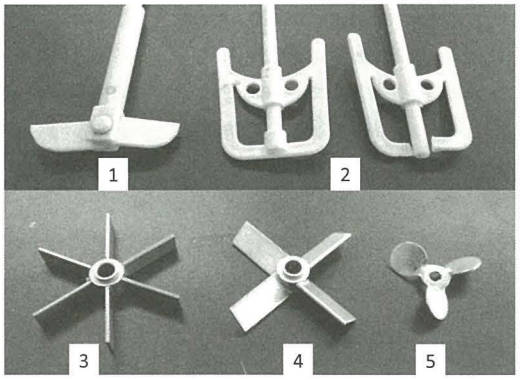
100g 程度の黒糖を試作するためには 500g（≒ 500ml）程度の蔗汁（Brix20）が必要である．蔗汁の加熱濃縮時には大量の泡が発生し，突沸の恐れがあるため，蔗汁に対して 5 倍量程度の容量を持つ容器が必要となり，濃縮にも長時間を要する．黒糖の特性に大きな影響を及ぼすと考えられる色調はカラメルやメイラード反応物であるメラノイジンおよびポリフェノールの鉄化合物によるものであり，120℃以上の加熱によって急増する（安藤・鴨田，1964）．また，香気成分は加熱食品特有のピラジン類やフェノール類であり（和田ら，1990），これらもまたメイラード反応により生成する種々の揮発性化合物であると考えられる（奥村，1993）．著者らのグループでは，加熱濃縮時の温度が 105℃程度（Brix65 程度に相当）のシラップでは黒糖特有の香気成分生成が乏しいことを見出している（Hirose et al., 2010）．これらの知見は，Brix65 以下までの加熱濃縮では黒糖に特有の色調や香気成分の生成が少なく，黒糖の特性に大きな影響を及ぼさないことを示唆している．そこで，シラップの粘性上昇によるハンドリングの低下も考慮して，試験製糖には Brix50 に加熱濃縮したシラップを用いることとした．

8 cm 径のステンレスカップに Brix50 のシラップを 100ml 入れ，マグネチックスターラーで撹拌しつつ加熱して製糖を試みたところ，製糖は可能であったもののスターラーの能力が不足してシラップの撹拌が不十分となり，シラップ温度も十分に上昇しなかった．そこで，ポリプロピレン製固定U型羽根（写真 1）を用いた外部撹拌装置による撹拌に変更した．撹拌回転数を上げすぎると温度上昇が遅くなるため，回転数を 25rpm として加熱濃縮を行ったところ，30 ～ 50 分間の加熱によってシラップ温度は 130℃に到達したが，冬期など環境温度が低い場合にはステンレス容器の上部が素手で触れられる程度に冷え，加熱時間に 60 分程度を要する場合があった．メイラード反応が活発に進行する高温加熱時間の極端な変動は，黒糖の品質に大きく影響すると考えられる．そこで，アルミ製のヒーティングブロックを製作して装着したところ（写真 2），加熱に要する時間が 40 分程度と安定した（表 1）．

表 1　ヒーティングブロックの有無がシラップの仕上げ加熱時間に及ぼす影響

	ブロック無し (n=32) 加熱時間(分)			ブロック有り (n=18) 加熱時間(分)		
	120℃	125℃	130℃	120℃	125℃	130℃
平均所要時間	31.0	35.6	43.1	31.1	34.7	39.5
標準偏差	4.1	5.4	7.7	3.1	4.1	4.9
最大値	43.2	45.9	60.0	37.6	42.5	49.2
最小値	23.6	25.4	28.2	25.8	28.5	32.1

8cm径のステンレスカップにBrix50のシラップを入れて加熱した。
加熱時間は50℃からの昇温に要した時間を示した。



上段：仕上げ加熱装置用羽根
1：テフロン製可動羽根（80mm）
2：ポリプロピレン製固定U型羽根（65mm）
右側は冷却撹拌に用いて変形した羽根
下段：冷却撹拌装置用羽根
3：ステンレス製タービン（75mm）
4：ステンレス製ファンタービン（75mm）
5：ステンレス製プロペラ（60mm）

写真1　黒糖試験製造方法に用いる撹拌羽根

左は8cm径、右は10cm径のステンレスカップ用

写真2　仕上げ加熱装置に用いるアルミ製ヒーティングブロック

加熱濃縮に要する時間や温度の上昇プロファイルは，使用するサトウキビ品種によって異なった（図2）．これは蔗汁（シラップ）中に存在する可溶性固形分がサトウキビ品種によって異なる（氏原ら，2004）ためであると考えられた．一方，純糖率が低い蔗汁を用いると取上温度が低くなる（中田ら，1964）ため，シラップ温度が130℃ まで上昇しないものがあった．取上温度が130℃に達するシラップは，125℃から130℃までに要する加熱時間が5分程度のものが多数であった．そこで，取上温度の目安を「125℃で5分間，または130℃に達するまで」とした．

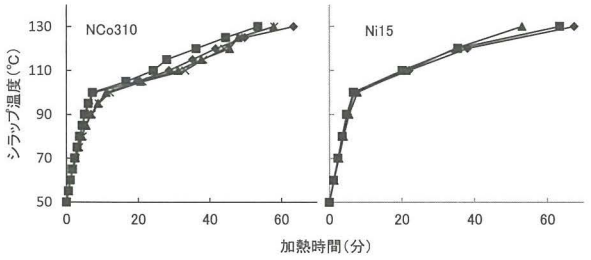


図2　サトウキビ品種別シラップの仕上げ加熱における温度変化

冷却撹拌条件の検討

冷却撹拌操作は，過飽和状態の濃縮シラップを放冷して固化させるだけでなく，撹拌中に水分が蒸散することで，黒糖の水分活性低減に大きく寄与していると考えられる．実工場での冷却撹拌時間は4～6分間であるが，スケールが極めて小さい卓上実験レベルでは，冷却撹拌時間が短くなることが予想された．8cm径のステンレスカップにBrix50のシラップを100ml入れて加熱し，130℃に到達した後にステンレスカップを金属製の台に静置して，ポリプロピレン製固定U型羽根を用いて50～300rpmで1～5分間の冷却撹拌を行った．その結果，回転数を上げると早く冷却されて固化してしまい，逆に回転数を下げると飴状となった．次に，140℃ 設定で加熱しながら200rpmで撹拌した結果，水分4～5%，水分活性0.5前後の良好な黒糖を製造することが可能となったが，冷却撹拌時間は1～2分間と短く，実工場での撹拌冷却時間である4～6分には及ばなかった．そこで，仕上げ加熱用ステンレスカップを8cm径から10cm径に変更し，新たにアルミ製ヒーティングブロックを製作した（写真2）．また，撹拌羽根を65mm径の固定U型から80mm径のテフロン製可動羽根（写真1）に変更し，撹拌の効率化を図った．加熱濃縮装置の容器を大型化したことで，最大で200mlのシラップを用いた仕上げ加熱が可能となった．それに伴い，取上温度の目安を「125℃で10分間，または130℃に達するまで」とした．10cm径のステンレスカップを装着した加熱装置で仕上げ加熱したシラップを，8cm径のステンレスカップを装着した冷却撹拌装置に移し，140℃ で加熱しつつ300rpmで撹拌することによって，冷却時間を実工場レベルに近い4分間程度にすることができた（表2）．

表2　加熱濃縮容器のカップ容量が冷却撹拌に及ぼす影響

	8cm径カップ（n=10）			10cm径カップ（n=9）		
	冷却撹拌時間（分）	水分（%）	水分活性（Aw）	冷却撹拌時間（分）	水分（%）	水分活性（Aw）
平均値	2.0	4.7	0.59	4.4	6.4	0.57
標準偏差	0.7	0.8	0.04	0.7	2.2	0.07
最大値	3.7	6.4	0.65	5.3	8.7	0.66
最小値	1.0	3.6	0.54	3.3	2.3	0.42

8cm径カップはBrix50のシラップを100ml、10cm径カップは200mlを、それぞれ用いた。
水分および水分活性は、試作した黒糖の測定値を示した。

冷却撹拌ではシラップの粘度が上昇し，130℃ 前後の高温とも相まって，ポリプロピレン製固定U型羽根の変形が頻発した．そこで，冷却撹拌用羽根を75mm径のステンレス製タービンに変更した（写真1）．同径のファンタービンや60mm径プロペラを冷却撹拌に用いると，固化しない場合があった．これは，空気の巻き込みが少ないために水分蒸発が緩慢になることや，撹拌ムラが原因であると考えられた．

冷却撹拌終了後のペーストをステンレス製バット

に流し込むと黒糖が製造できるが，放冷固化中の様態は黒糖の物性に大きく影響する．また，黒糖の物性を測定する場合には一定型の黒糖が必要となるが，結晶が不均一な黒糖から一定サイズのブロック試料を切り出す作業は，非常に困難な作業である．そこで，1.0cm 角，1.5cm 角および 2.0cm 角の成形用ステンレス型枠を製作した．この型枠にペーストを流し込むことで，立方体型の黒糖を製造することが可能になった．また，表 3 のように，試作した黒糖の水分，水分活性および色調の再現性は高いものであった．

表 3　黒糖試験製造方法で試作した黒糖の色調と水分および水分活性

	色調			水分	水分活性
	L*	a*	b*	(%)	(Aw)
Ni15	61.1	8.8	29.3	3.6	0.55
(変動係数)	0.05	0.18	0.06	0.06	0.02
NCo310	62.7	8.3	28.1	3.3	0.53
(変動係数)	0.12	0.34	0.13	0.19	0.01

(n=3)

以上の結果より，Brix50 のシラップを原料とした，加熱工程（仕上げ加熱工程）および冷却撹拌工程を一定条件で行えるように，黒糖試験製造方法を構築した（図 3）．この方法では，シラップ 200ml を用いて，良好な再現性を確保しつつ，約 70g 程度の固形黒糖を製造することが可能になった．残された課題は，以下の点である．

1) 本方法は，加熱仕上げ温度 130℃，製造された黒糖の水分 6%，水分活性 0.6%を目安として，各種条件を設定している．しかし，使用原料（蔗汁）によっては，仕上げ温度が 130℃ に到達しない場合がある．仕上げ加熱終了の指標となる数値を，今後，検索していく必要がある．
2) 冷却撹拌の終了を目視による確認に頼っているため，何らかの数値指標を設定する必要がある．冷却撹拌の終了間際には，ペーストの粘性が急激に上がる現象が発生するが，外部撹拌装置（トルク検知機能付きの低トルク対応型，最大トルク 0.2N・m）では最小表示単位のトルクしか検知できない．そこで，撹拌羽根の形状変更等によりトルク検出の感度を向上させて，撹拌時の粘性上昇（トルク上昇）による冷却撹拌終了判定方法を開発する必要がある．将来的には，冷却撹拌が黒糖の水分低減に寄与している現象を利用して，非接触型計測方法による水分含有量測定値を冷却撹拌終了判定に利用可能であるか，検討したいと考えている．

図 3　黒糖試験製造方法の概要

謝　辞

本研究は，「先島地域における黒糖の高品質安定生産技術の開発（2011 年度，住民生活に光をそそぐ交付金）」および「黒糖の品質保持技術開発（平成 23 年度沖縄黒糖安定供給支援事業）」において実施した．本研究の遂行に当たり，沖縄県農業研究センター作物班の伊禮信氏と内藤孝氏（現沖縄県農業研究センター名護支所作物園芸班），琉球大学農学部亜熱帯生物資源科学科の崎原盛司氏と Ishmael Mutanda 氏にご協力いただいた．ここに記して感謝の意を表します．

引用文献

Asikin, Y., Chinen, T., Takara, K. and Wada, K. (2008), Determination of Long-chain Alcohol and Aldehyde Contents in the Non-Centrifuged Cane Sugar Kokuto, Food Sci. Technol. Res., 14(6): 583-588.

Asikin, Y., Takahashi, M., Hirose, N., Hou, D. X., Takara, K. and Wada, K. (2012), Wax, policosanol, and long-chain aldehydes of different sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) cultivars, Eur. J. Lipid Sci. Technol., 114(5): 583-591.

安藤雅敏・鴨田稔（1964），砂糖の性状・分解と着色，シュガーハンドブック（浜口栄次郎・桜井芳人監修），朝倉書店，p.393-394.

Hirose, N., Teruya, R., Miyagi, K., Arakaki, K., Hanashiro, Y., Takara, K. and Wada, K. (2010), Enrichment of volatile aroma compounds in non - centrifugal cane sugar (Kokuto), China-Japan Joint Symposium on Food Science &

Technology at Food Industry Level, p93-94.
岸原士郎（2008），メーカーによるグラニュー糖の加熱特性の違い，砂糖類情報，146：1-7.
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，浜口栄次郎・桜井芳人監修，朝倉書店，p.106-118.
奥村烝司（1993），メイラード反応とフレーバーの生成，フレッシュフードシステム，88(3)：178-187.
氏原邦博・増田亮一・杉浦誠・永田茂穂・杉本明・寺島義文・福原誠司（2004），サトウキビジュースにおける有用成分の生育時期別推移と加工時の消長，日作九支報，70：75-77.
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(6)：343-349.
和田浩二・渡邊守・仲宗根洋子（1990），黒糖の香気成分に関する研究，琉大農学報，37：41-47.
山根嶽雄（1964），甘蔗汁清浄法，シュガーハンドブック，浜口栄次郎・桜井芳人監修，朝倉書店，p.24-32.

Development of the test manufacturing method for *kokuto* (non-centrifuged cane sugar) with high reproducibility

Naoto HIROSE[1], Goki MAEDA[1], Ryo TERUYA[2], Morikuni MIYAHIRA[1], Shinichi HIYANE[2] and Koji WADA[4]

1 Okinawa Prefectural Agricultural Research Center, Regional Agriculture System Section, 820, Makabe, Itoman City, Okinawa 901-0336, Japan
2 Okinawa Prefectural Agricultural Research Center, Research Planning Section, 820, Makabe, Itoman City, Okinawa 901-0336, Japan
3 Okinawa Prefectural Agricultural Research Center, Sugarcane and Ordinary Crops Section, 820, Makabe, Itoman City, Okinawa 901-0336, Japan
4 University of the Ryukyus, Faculty of Agriculture, Senbaru 1, Nishihara, Okinawa 903-0213, Japan

Abstract

Kokuto is produced from sugar cane juice. This sugar cane juice is concentrated and cooled off, and then *kokuto* is made. The quality of *kokuto* is greatly influenced by the production conditions. It is usually produced on a small scale by manual labor, so its quality is not stable. It is necessary to make *kokuto* with a stable quality in order to evaluate its characteristics in terms of the sugar cane from which it is derived. Therefore, we developed an examination manufacturing method for *kokuto* production with high reproducibility. This method uses finish-heating and cooling-agitation devices. Sugar cane syrup (Brix 50) is heated to more than 130°C (or 125°C, for 10 minutes) using the finish-heating device. The syrup is then cooled and agitated until cloudy, using the cooling-agitation device. Using this equipment, *kokuto* is produced stably: the coefficient of variation of water content was 0.06-0.19 and that of water activity was 0.01-0.02.

Keywords: Finish-heating, Cooling with agitation, *Kokuto* production