

黒糖焼酎はサトウキビ栽培から ～原料サトウキビ品種が黒糖焼酎の香味に与える影響～

元鹿児島大学農学部附属焼酎・発酵学教育研究センター 奥津 果優

【要約】

サトウキビ品種が黒糖焼酎の風味に与える影響を明らかにするため、異なる三つの品種のサトウキビ (NiF8、Ni15、RK97-14) から黒糖焼酎を製造し、香り・味と香気成分を比較した。Ni15から得られた焼酎は、黒糖様の香りが強く、乳酸エチル濃度が高い傾向があったが、グアイアコール濃度は3品種中最も低かった。NiF8から得られた焼酎は、メイラード反応生成物 (MRPs)、 β -ダマセノンの濃度が最も高かった。一方、RK97-14から得られた焼酎はフルーティーな香気を有し、MRPsが低い傾向であった。

はじめに

読者の皆さんは、黒糖焼酎が黒糖の蒸留酒であることは想像にたやすいだろうが、原料や作る場所までもが酒税法で細かく規定されていることをご存知だろうか。酒税法第3条第10号二において黒糖焼酎は、「砂糖（政令で定めるものに限る。）、米こうじ及び水を原料として発酵させたアルコール含有物を単式蒸留機により蒸留したもの」と定められている¹⁾。この政令で定める砂糖については、酒税法施行令第4条第2項において分蜜・加工していないブロック状の黒糖という規定がある²⁾。さらには、この黒糖を焼酎の原料として使用することは「大島税務署（鹿児島県）の管轄区域において製造する場合で、当該砂糖と米こうじとを併用するとき限り認める」という法令解釈通達まで付いてくる³⁾。すなわち、黒糖と米こうじを原料として「黒糖焼酎」を作ることは、奄美群島でしか認められていないということである。この文言は黒糖焼酎という奄美の特産品を守るという意味で非常に意義がある。しかしながら言い換えると、例え研究目的であっても奄美以外では、黒糖焼酎を製造することはできないこと

を示している。著者が所属していた鹿児島大学農学部附属焼酎・発酵学教育研究センターは、芋焼酎をはじめとした国内外さまざまな蒸留酒の学際的な研究機関である。そのため黒糖焼酎についても、なんとか奄美群島の外で研究ができないかと試行錯誤するうちに、自身でサトウキビを搾汁し、粒状の黒糖を作れば、黒糖焼酎と同様の製造工程を経た酒の研究ができるのでは？という発想に至ったのである。黒糖がどのようにして作られるのか、純粋な興味もあった。われわれは即座に奄美大島の東方に浮かぶ喜界島へ向かい、サトウキビ搾汁液の確保ならびに鹿児島市内への冷凍輸送を行った。

ただ、言うは易く行うは難し、黒糖作りは一筋縄ではいかなかった。当初、実験材料を作る工程が一つ増えるだけという軽い気持ちであったが、実験室で黒糖がうまく作れないのである。結晶化せずあめになったり、焦げついたり…そしてさらに原料となるサトウキビの状態や、製造工程の微妙な違いによって、実にさまざまな黒糖が出来上がる。土壌、品種、シーズン、製糖法といったさまざまな要因が絡まり合って形作られているという黒糖の奥深さを知るとともに、それらの要因は、黒糖のみならず、焼

酎の香味にドラスティックな影響を与えるのではないかという仮説がむくむくと浮かび上がってきた。これが、われわれの研究着手のきっかけである。それ以来、黒糖の品質が黒糖焼酎の品質や香り、味に与える影響を調べてきた。本稿ではその中で、原料のサトウキビ品種が黒糖焼酎の香気に与える影響について得られた結果を概説する⁴⁾。ちなみに、本稿では便宜上「黒糖焼酎」と呼称しているが、酒税法上製造したサンプルはあくまで「スピリッツ」であることを申し添える。

1. サトウキビ品種について

黒糖の原料となるサトウキビは、古くから収量、可製糖量および病害抵抗性を指標とした品種開発が行われており、農林8号から31号、RK97-14、宮古1号など、現在30以上の品種が存在する⁵⁾。過去の研究において、サトウキビ品種の違いによる成分含量の差が報告されており、生理活性を有するポリコサノール^(注1)含量や、黒糖にした際の水分活性が品種により異なることが明らかになっている⁶⁾。しかしながら、これまでサトウキビ品種の違いが黒糖焼酎の香りや味にまで影響するのかは明らかになっていなかった。一方芋焼酎では、サツマイモの品種によって芋焼酎の香気に変化することが分かっており、焼酎用のサツマイモ品種の開発も行われている⁷⁾。そこで、将来の黒糖焼酎用サトウキビの品種開発を夢見て、黒糖の原料となるサトウキビ品種の違いが黒糖焼酎の香り・味ならびに香気成分にどのような影響を与えるのかを調べることにした。

(注1) サトウキビ表皮部に含まれるワックスの構成成分。血清コレステロール低下作用や血小板凝集抑制効果などの報告がある。

2. 実験方法

(1) 黒糖の製造

本研究では沖縄県農業研究センター圃場^(ほじょう)(糸満市)にて栽培された3品種(NiF8、Ni15、RK97-14)のサトウキビを用いて実験を行った。NiF8は1991年に登録された日本の主要品種で、早熟、高糖、多収で病害に強いとされている。Ni15は2002年に登録された砂糖収量の多い品種である。そしてRK97-14は2016年に登録された新品種で早期高糖、安定多収といった特徴がある⁵⁾。これらの品種について、年次変動も踏まえた違いを調べるために2017年産から2020年産にかけて3シーズン分のデータを取ることにした。製糖方法は以下の通りである。

サトウキビから得られた搾汁液10リットル(pH 5.0~5.5)に水酸化カルシウム水溶液を添加し、pH 7.5に調整した。pH調整した搾汁液をいったん80度まで加熱後、冷却し、遠心分離後の上澄みを得ることで搾汁液からの不純物の除去作業を行った。その後大鍋を利用しBrix^(注2) 50度になるまで搾汁液を加熱濃縮し、得られたシロップを用いて卓上型黒糖試験製造装置⁸⁾によりさらに加熱濃縮・冷却・結晶化を行った。得られた黒糖の糖含量およびアミノ酸組成を、高速液体クロマトグラフィー(HPLC)により分析した。

(注2) 搾汁液の中に溶けていて乾燥させると固まる物質(可溶性固形分)の割合。糖の含有量を反映している。

(2) 黒糖焼酎の製造

黒糖焼酎の一般的な製造法を図1に示す。黒糖焼酎に限らず、すべての焼酎は製麴^(せいぎく こうじ)(麴を作る)ことから始まる。蒸した米に種麴と呼ばれる麴菌のスターターを振りかけて、米に麴菌を増殖させる。原料となる米は、蔵元によってインディカ米やジャポニ

カ米が利用される。通常麴は42時間程度かけて製造されるが、半麴と呼ばれる製麴時間が短い麴も一部の蔵元で利用される。

続いて、麴と水と酵母で一次発酵させ、酵母を十分に増殖させる。その後主役である黒糖を一次もろみに添加し、さらに発酵させる。この際、黒糖は仕込み水にあらかじめ加熱溶解させてから添加するのが一般的である。発酵後蒸留し、原酒が完成する。原酒は、数カ月から数年熟成させて、出荷前に割水（アルコール度数の調整）、ろ過（油分の除去）された後出荷される。このように、焼酎は工程が多い上、仕込みから製品化まで「少なくとも」数カ月必要であり、非常に手間のかかる酒といえる。

本研究では、以下のような方法で製造を行った。米麴（白麴）120グラムに酵母培養液（鹿児島5号酵母）を含む水120ミリリットルを添加し、30度で5日間発酵させた。その後黒糖200グラムと水600ミリリットルを添加し、さらに30度で8日間発酵させ、二次もろみを得た。発酵経過を確認するために、二次もろみ中の残糖、アルコール分、酵母

菌数および揮発酸度^(注3)を測定した。その後二次もろみ700グラムをガラス製蒸留器により常圧蒸留し、留液のエタノール濃度が10% (v/v) 以下になった時点で蒸留を停止した。得られた焼酎については、エタノール濃度25% (v/v) になるように水で希釈した後、官能評価およびガスクロマトグラフィー質量分析（GC-MS分析）を行った。

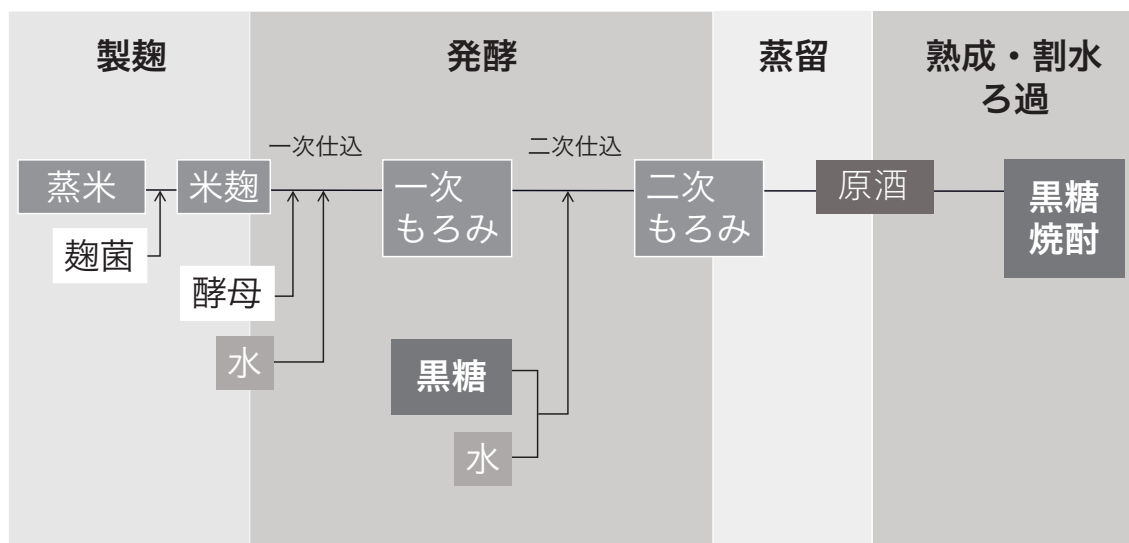
官能評価は、それぞれのサンプルの味（甘味、苦味、酸味、塩味、旨味）・香り（甘香、刺激臭、酸臭、青臭、黒糖様^{かんきつ}、柑橘様、果実香）強度を6段階で評価した。香気成分については、スターバー抽出法（PDMS Twister）^(注4)ならびにジクロロメタンによる液-液抽出法^(注5)により香気成分を抽出後、GC-MS（Agilent、6890 N/5975B MSD）による定性・定量分析を行った。

(注3) もろみ中の酢酸濃度の指標となり、高すぎると微生物汚染の可能性が考えられる。

(注4) PDMSなどをコーティングした攪拌子を試料溶液中で攪拌させ、目的成分を抽出・濃縮する方法。

(注5) 溶媒抽出ともいい、水系溶媒と有機溶媒の二液間における溶質の分配を利用した分離・濃縮方法。

図1 黒糖焼酎の製造工程



3. 結果と考察

(1) 品種別黒糖の品質について

黒糖の主成分である糖含量を測定したところ、すべての黒糖においてスクロースが77~87%、グルコースおよびフルクトースは0.1~2.5%であった(表1)。市販されている黒糖も80%前後のスクロースを含むため、実験室でも黒糖が問題なく製造できたことが確認された。糖含量の品種間比較を行った結果、品種による傾向は見られず、むしろ年次変動が大きいということが示された。

黒糖の色については、NiF8から得られた黒糖は色が濃く、RK97-14から得られた黒糖は色が薄いことが分かった(図2)。そこで、品種別に製造した黒糖の色の濃さを測定するため、黒糖水溶液の400ナノメートルにおける吸光度を測定したところ、2018

年産の黒糖が他の年に比べて著しく高かったものの、3年間通してNiF8の色が他品種に比べて濃いということが明らかになった。またアミノ酸含量についても、2018年産の黒糖が全体的に高かったが、3年間共通してNiF8が高く、RK97-14が低いという特徴が見られた(表1)。Ni15に含まれるアミノ酸は、2018年産において3品種間で最も高かったが、2019年、2020年産はNiF8とRK97-14の中間の値を示した。黒糖の色とアミノ酸含量の間には正の相関性が見られたことから(図3、 $R=0.86$)、アミノ酸が黒糖の色の濃さに影響していることが示された。黒糖は、製糖時の加熱によって糖とアミノ酸がメイラード反応を起こすことで茶色に着色する。アミノ酸含量が高い品種の方がメイラード反応の促進が起き、濃い色の黒糖になることが示された。

図2 品種の異なるサトウキビから得られた黒糖(文献4から改変)



図3 品種別黒糖の色とアミノ酸の関係 (文献4から改変)

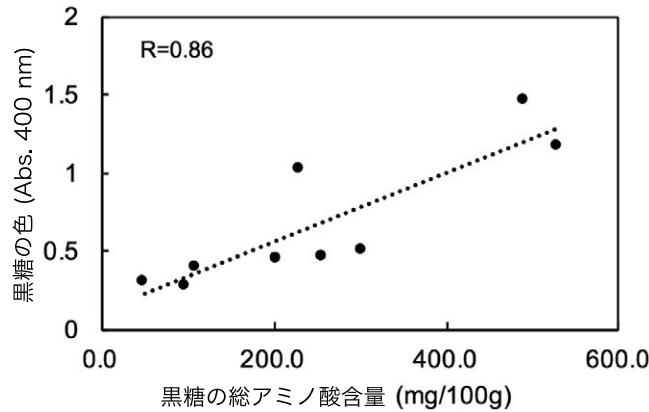


表1 黒糖に含まれる糖およびアミノ酸 (品種・年産別)

		NiF8			Ni15			RK97-14		
成分		2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
糖 (g/100g)	スクロース	87	77.1	77.6	83	81.1	81.7	84	82.3	79
	グルコース	0.1	1.3	2.5	0.3	1.4	1.5	0.5	0.6	1.4
	フルクトース	0.1	1.2	2.5	0.2	1.3	1.9	0.4	0.5	1.9
	総量	87.2	79.6	82.6	83.5	83.8	85.1	84.9	83.1	82.3
	(3年間の平均値)	(83.1 ± 3.8)			(84.1 ± 0.9)			(83.4 ± 1.3)		
遊離アミノ酸 (mg/100g)	アスパラギン酸	57	30.5	30.5	50	19	21	35	22.5	18.5
	グルタミン酸	17	2	1	5.5	0.5	ND	4	0.5	ND
	アスパラギン	349	196	142	368	136	42.5	123.5	34	6.5
	セリン	11.5	7	11	8.5	4	4.5	6	3	2.5
	グルタミン酸	1	3.5	4	8.5	4.5	1.5	3	1.5	0.5
	ヒスチジン	4	2.5	3.5	3.5	1	1.5	6	1	1
	グリシン	3.5	1.5	2	2	1	1	1.5	1	0.5
	スレオニン	2	3	4.5	3.5	1.5	2	3	1.5	1
	アルギニン	1.5	3	3	4	1.5	1.5	4	2	1
	β-アラニン	1	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	ND
	アラニン	11	7.5	12	10.5	4.5	7	7.5	3.5	3.5
	γ-アミノ酪酸	5.5	14.5	12	28.5	12	11	7	9.5	5
	チロシン	2.5	2.5	3.5	2.5	1	1.5	2.5	1	1
	システイン	4	9	6	11	8	6	7.5	6.5	3.5
	バリン	8	4.5	6.5	7	3	2.5	6.5	3	2
	メチオニン	ND	0.5	1	ND	0.5	0.5	ND	ND	0.5
	トリプトファン	1.5	5	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	フェニルアラニン	2	2.5	3.5	2.5	1.5	1.5	2.5	1.5	ND
	イソロイシン	3.5	2	3	3.7	1	1	3.5	1.5	1
	ロイシン	3	3.5	4.5	4.5	2	2	3.5	2.5	1.5
	リジン	1	2	1.5	3.5	1	1	2.5	1.5	0.5
総量	490	303	257	528	204	110	230	98	50	
(3年間の平均値)	(350 ± 123)			(281 ± 220)			(126 ± 93)			

注:「ND」は、検出されなかったことを示す。

(2) 品種別黒糖から得られた焼酎の発酵経過

蒸留前のもろみ分析の結果、3品種すべてにおいてアルコール15% (v/v) 以上、残糖1%前後、もろみ1ミリリットル当たりの酵母数は 2×10^8 程度となり、順調に発酵が進行したことが確認された(表

2)。この結果から、サトウキビ品種によって発酵経過が大きく変化することはないと考えられた。一方有意差はなかったものの、NiF8から得られたもろみの揮発酸度は、他の2品種よりも高かった。発酵中にもろみが高温や低pHにさらされると、スト

レスにより酵母が酢酸を生成することが報告されている^{9、10}。しかしながら、二次もろみのpHは品種ごとに大きく変わらなかったことから、その他の要因が考えられた。

表2 発酵後のもろみエタノール濃度、残糖、酵母数および揮発酸度（品種別）

	NiF8	Ni15	RK97-14
エタノール濃度 (%、w/v)	16.43 ± 1.02	16.70 ± 0.54	16.74 ± 0.56
残糖 (%、w/v)	0.92 ± 0.20	1.02 ± 0.14	0.92 ± 0.17
酵母数 (×10 ⁸ cells/ml)	1.82 ± 0.46	1.86 ± 0.23	1.89 ± 0.56
揮発酸度	4.40 ± 0.60	4.19 ± 0.56	3.97 ± 1.04

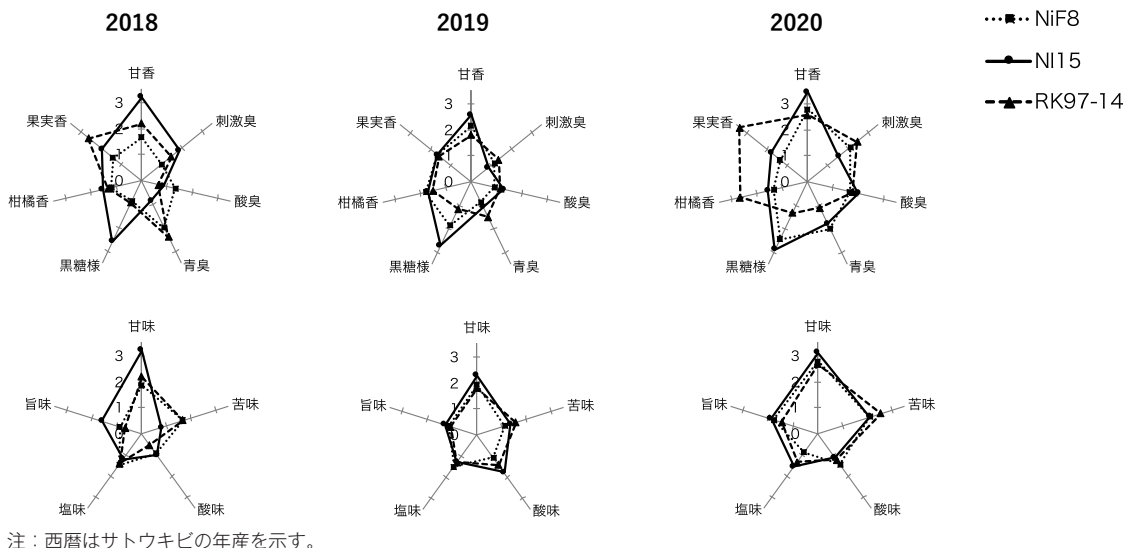
(3) 品種別黒糖から得られた焼酎の香味

官能評価を行った結果、年によって香味が変動することが示された。図4に示すように、2019年産の黒糖を使用した焼酎は全体的に香味の特徴が弱く、2018年、2020年産の焼酎はそれぞれの特徴が強く出ていることが分かる。さらに刺激臭や柑橘香といった香気は年次変動が大きく、品種による特徴が見られなかった。「ビンテージ」という言葉が示すように、ワイン研究においては同じ畑から収穫された同じ品種のぶどうから製造されたワインでも、年

によって品質が異なることが報告されている¹¹。年次変動の最も大きな要因は登熟期における平均気温であることが知られているため、沖縄における冬の平均気温を調べたところ、2019年（19.5度）が2018年（17.4度）や2020年（19.1度）よりも若干高かった¹²。このように、高い気温がサトウキビやそれから得られる黒糖焼酎の香味に少なからず影響しているのかもしれない。

一方、3シーズンかけて実験を行ったことで、品種ごとの共通性も見いだされた。最も特徴的だったのは、Ni15から得られた焼酎である。Ni15は3年を通して黒糖様ならびに甘い香気が強いという結果が得られた。NiF8についても2019年、2020年産は黒糖様の香気が比較的強かったが、2018年産はより酸臭が強かった。なお、前述のようにNiF8から得られたもろみは揮発酸度が高かったが、酸臭と焼酎の揮発酸度に相関は見られなかった。RK97-14から得られた焼酎については、果実香が2018年および2020年産で、青臭が2018年、2019年産で強い傾向が見られた。苦味も少し高い傾向があった。このように年次変動はあるものの得られた焼酎の香味は、品種間で異なることが明らかになった。

図4 品種別黒糖焼酎の官能評価（文献4から改変）



(4) 品種別黒糖焼酎の香気成分

焼酎のGC-MS分析を行った結果、主要香気成分であるエステル類やアルコール類は、サンプル間ならびに年次変動が大きく品種間差は見られなかった(表3)。これらの化合物は酵母の代謝産物であることから、サトウキビ品種による直接の影響は少ない

ことが示された。一方、メイラード反応生成物(以下「MRPs」という。2-フランメタノール、ベンジルアルコール、ピラジン、HDMF)は、NiF8、Ni15、RK97-14の順に多い傾向が見られた。ピラジン類はナッツ様やチョコレート様の香気を有し、黒糖焼酎の特徴香気成分であることが報告されている¹³⁾。

表3 黒糖焼酎の香気成分(品種別)

成分	NiF8	Ni15	RK97-14
(単位: mg/L)			
エステル類			
酢酸エチル	244 ± 130	283 ± 113	194 ± 111
酢酸イソアミル	889 ± 533	1,243 ± 594	806 ± 426
カブロン酸エチル	139 ± 47	162 ± 42	113 ± 46
乳酸エチル	2,863 ± 1,009	3,357 ± 1,491	2,840 ± 1,401
カプリル酸エチル	793 ± 255	861 ± 201	648 ± 302
ノナン酸エチル	8.4 ± 4.6	9.9 ± 6.3	7.7 ± 5.1
カプリン酸エチル	365 ± 183	411 ± 267	344 ± 264
酢酸フェネチル	973 ± 359	1,056 ± 401	1,042 ± 452
ラウリン酸エチル	14 ± 17	21 ± 26	16 ± 21
リノール酸エチル	91 ± 96	64 ± 67	51 ± 94
アルコール類			
イソブチルアルコール	90,893 ± 80,807	107,960 ± 84,790	89,838 ± 65,558
1-ブタノール	6,913 ± 2,936	6,649 ± 2,514	6,904 ± 5,275
イソアミルアルコール	110,774 ± 76,126	128,955 ± 74,047	116,894 ± 76,027
2-フランメタノール	29 ± 12	18 ± 7.6	17 ± 7.7
2-フェネチルアルコール	20,678 ± 7,458	20,082 ± 6,999	21,048 ± 9,736
ベンジルアルコール	163 ± 13	83 ± 23	12 ± 3.1
脂肪酸			
カブロン酸	920 ± 158	899 ± 142	939 ± 145
カプリル酸	1,362 ± 461	1,284 ± 347	1,344 ± 289
カプリン酸	899 ± 536	817 ± 300	804 ± 309
ラウリン酸	385 ± 193	350 ± 149	366 ± 141
窒素系化合物			
2-メチルピラジン	7.9 ± 4.6	2.1 ± 0.4	1.7 ± 0.5
2,5-ジメチルピラジン	29 ± 22	7.3 ± 2.5	3.1 ± 1.4
2,6-ジメチルピラジン	19 ± 5.5	10 ± 6.4	4.4 ± 2.5
2-エチル-3,5-ジメチルピラジン	22 ± 21	6.3 ± 4.0	2.1 ± 3.0
2-アセチルピロール	4.5 ± 3.9	1.8 ± 0.9	1.0 ± 0.6
ケトン類			
アセトイン	60,398 ± 39,506	40,895 ± 15,144	70,286 ± 22,247
ヒドロキシアセトン	513 ± 221	481 ± 144	712 ± 177
β-ダマセノン	16 ± 4.1	15 ± 2.9	12 ± 3.6
HDMF*	13 ± 6.6	9.0 ± 5.5	6.4 ± 3.4
フェノール誘導体			
グアイアコール	5.5 ± 0.7	2.3 ± 0.4	4.2 ± 0.4
フェノール	7.2 ± 0.9	5.7 ± 2.7	4.6 ± 1.0
桂皮酸エチル	21 ± 17	8.1 ± 8.0	13 ± 6.9
4-ビニルグアイアコール	130 ± 78	127 ± 81	133 ± 82
その他			
γ-ブチロラクトン	391 ± 183	499 ± 107	449 ± 218
γ-ノナラクトン	23 ± 6.6	29 ± 13	30 ± 7.6
バニリン	51 ± 20	57 ± 26	55 ± 28

* : 4-Hydroxy-2,5-dimethyl-3 (2H) -furanone

ベンジルアルコールや2-フランメタノールは焙煎香と表現され、コーヒーなどの香気成分として知られている¹⁴⁾。HDMFは甘く、キャラメル様の香気を有し、われわれが過去の研究で黒糖焼酎に含まれることを報告している¹⁵⁾。これらのMRPsは黒糖にも含まれることから、品種別黒糖の香気成分についても調べることにした(表4)。その結果、黒糖焼酎中のMRPsと黒糖中のMRPs含量には高い相関が見られ(R=0.59~0.70)、黒糖中のMRPsが直接黒糖焼酎に持ち込まれていることが示唆された。

MRPsと同様に、β-ダマセノンについてもNiF8およびNi15で高く、RK97-14で低い結果が得られた。β-ダマセノンは甘くリンゴのコンポートのような香りを持つ成分であり、芋焼酎にも含まれる成分である。サツマイモ中に前駆体が存在し、発酵・蒸留を経ることでβ-ダマセノンが生成することが報告されている。黒糖中にβ-ダマセノンが検出されなかったことから、黒糖焼酎においても発酵・蒸留を経ることで生成すると考えられた。

ワインのオフフレーバーとしても知られるグアイ

アコール¹⁶⁾については、NiF8に多く含まれており、Ni15には少ないことが分かった。黒糖にもグアイアコールが含まれていたものの、黒糖中と黒糖焼酎中の含量に相関が見られなかったことから、発酵・蒸留過程でも生成していると考えられた。

またバルサム(樹脂)臭を有する桂皮酸エチルについてもNi15で低い傾向が見られた。桂皮酸エチルは酵母のリパーゼによってフェノール酸から生成される¹⁷⁾。サトウキビにおいてもいくつかのフェノール酸誘導体が含まれていることが知られている¹⁸⁾。今後、サトウキビ中の桂皮酸誘導体含量と焼酎中の桂皮酸エチル含量の関係性について調べる必要がある。

GC-MS分析の結果を見ると、焼酎中の個々の香気成分はそれぞれの香味の特徴と対応していないことが分かる。例えば、RK97-14は比較的果実香が強いにもかかわらず、果実香に寄与するエステル類やアルコールに差は見られなかった。また、黒糖様や甘香が強かったNi15においても、MRPsやβ-ダマセノンはNiF8の方が高い傾向が見られた。そこで、各焼酎の官能評価の点数とそれぞれの香気成分

表4 黒糖の香気成分(品種別)

(単位: μg/100g)

	NiF8	Ni15	RK97-14
アルコール類			
2-フランメタノール	18 ± 12	7.2 ± 4.2	5.7 ± 1.7
ベンジルアルコール	2.1 ± 1.2	0.9 ± 0.4	0.4 ± 0.3
窒素系化合物			
2-メチルピラジン	15 ± 17	3.0 ± 1.4	1.7 ± 0.8
2,5-ジメチルピラジン	12 ± 13	2.1 ± 0.8	0.9 ± 0.6
2,6-ジメチルピラジン	57 ± 1.3	3.7 ± 2.5	1.3 ± 0.6
2-エチル-5-メチルピラジン	7.9 ± 9.9	0.9 ± 1.2	Trace
2-アセチルピロール	9.0 ± 9.1	8.7 ± 7.7	6.5 ± 7.5
ケトン類			
HDMF*	34 ± 19	13 ± 7.3	7.3 ± 2.8
フェノール類			
グアイアコール	9.0 ± 6.7	15 ± 16	10 ± 9.9
フェノール	15 ± 2.0	25 ± 12	14 ± 5.7
2-フェノキシエタノール	1.8 ± 1.6	2.2 ± 2.1	2.2 ± 2.0
4-ビニルグアイアコール	858 ± 201	1,589 ± 212	877 ± 195
その他			
メイブラクトン	6.5 ± 1.2	4.9 ± 0.6	4.2 ± 0.3
バニリン	69 ± 6.2	77 ± 18	80 ± 17

* : 4-Hydroxy-2,5-dimethyl-3 (2H) -furanone

の相関を調べ、香気に寄与する成分を一から洗い出すことにした。その結果、乳酸エチル含量と甘香および黒糖様の香気には、正の相関が見られることが明らかになった ($R=0.52, 0.50$)。また有意差はないものの、Ni15は他の品種に比べて乳酸エチル含量が高い傾向が見られた。乳酸エチルは甘くミルク様の香気を有していることから、黒糖焼酎の甘い香気に寄与している可能性がある。乳酸エチルは、発酵中に酵母によって乳酸とエタノールから生成されるが¹⁹⁾、黒糖中の乳酸量と焼酎中の乳酸エチル量には相関が見られなかったことから、今後乳酸エチルの生成メカニズムについてさらなる研究が必要である。

一方、グアイアコールは、甘香や黒糖様の香気と負の相関が見られ ($R=-0.70, -0.59$)、黒糖焼酎の特徴的な香気をマスキングする可能性が示された。以上より、Ni15から得られた焼酎の甘香や黒糖様の香気が強くなったのは、乳酸エチルやグアイアコールなどが複合的に寄与していると考えられた。

おわりに

本研究では、原料のサトウキビ品種を変えることで、黒糖焼酎の香り・味が変化することを明らかにした。さらにNi15を使用すると黒糖様や甘香が強くなり、Ni15が黒糖焼酎用の品種として有望であることが示唆された。

現在のところ、ほとんどの蔵元において黒糖焼酎の原料となる黒糖は一括購入されており、自社でサトウキビを栽培している蔵元は数えるほどしかない。さらには黒糖製造においても、多くのメーカーで複数品種のサトウキビを混合して一種類の黒糖を製造しており、単一の品種から黒糖を製造することはほとんどない。この現況を俯瞰^{ふかん}すると、研究室で10リットルもの搾汁液を使い、わずか1リットルほどの黒糖焼酎を3年間作り続けた意味はどこにあったのだろうかと少々自暴自棄になってしまう。しかし一方で、原料から作れば酒の品質をかじ取りできる部分が格段に増えるということに気づき、原料栽培に取り組む蔵元も少しずつ増えている。酒の原料は「購入する時代」から「自分たちで育てる時代」へと確実に変化しているのである。醸造家による農業がさらに盛んになった将来、本研究がその一助になれば幸いである。

【参考文献】

- 1) e-Gov法令検索「酒税法（昭和二十八年法律第六号）」〈<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=328AC00000000006>〉
- 2) e-Gov法令検索「酒税法施行令（昭和三十七年政令第九十七号）」〈<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=337CO00000000097>〉
- 3) 国税庁「法令解釈通達 第3条その他の用語の定義」〈<https://www.nta.go.jp/law/tsutatsu/kihon/sake/2-02.htm>〉
- 4) Okutsu, K., Yamamoto, Y., Matsuo, F., Yoshizaki, Y., Futagami, T., Tamaki, H., Maeda, G., Tsuchida, E., and Takamine, K.: Characterization of aroma profiles of kokuto-shochu prepared from three different cultivars of sugarcane, *J. Biosci. Bioeng.*, 135 (6), 458-465 (2023).

-
- 5) 農林水産省「品種登録ホームページ」〈<http://www.hinshu2.maff.go.jp/>〉
 - 6) Asikin, Y., Takahashi, M., Hirose, N., Hou, D. X., Takara, K., and Wada, K.: Wax, policosanol, and long - chain aldehydes of different sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) cultivars, *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 114, 583-591 (2012).
 - 7) 小林晃 (2019)「焼酎原料用サツマイモ—品種開発の変遷と今後の展望—」『日本醸造協会誌』第114巻2号.pp.71-78.公益財団法人日本醸造協会
 - 8) 広瀬直人、小野裕嗣、前田剛希、和田浩二 (2019)「卓上型黒糖試験製造装置の開発と冷却攪拌工程中の品温上昇」『日本食品科学工学会誌』第66巻第1号.pp.27-31.公益社団法人日本食品科学工学会
 - 9) Liu, G., Serikawa, J., Okutsu, K., Yoshizaki, Y., Futagami, T., Tamaki, H., and Takamine, K.: Impact of fermentation temperature on the quality and sensory characteristics of imo-shochu, *J. Inst. Brew.*, 127, 417e423 (2021).
 - 10) 高峯和則、小島舞、奥津果優、二神泰基、玉置尚徳、吉崎由美子 (2018)「芋焼酎の発酵および酒質に及ぼす二次醗pHの影響」『日本醸造協会誌』第113巻6号.pp.375-382.公益財団法人日本醸造協会
 - 11) Bramley, R. G. V., Ouzman, J., and Boss, P. K.: Variation in vine vigour, grape yield and vineyard soils and topography as indicators of variation in the chemical composition of grapes, wine and wine sensory attributes, *Aust. J. Grape Wine Res.*, 17, 217e229 (2011).
 - 12) 沖縄気象台 地球環境・海洋課「沖縄地方の天候2019年(平成31年・令和元年)」
〈<https://www.data.jma.go.jp/okinawa/data/tenko/year/tenkou2019.pdf>〉
 - 13) 福田央、韓錦順 (2014)「黒糖焼酎の揮発成分組成の特性」『日本醸造協会誌』第109巻10号.pp.735-734.公益財団法人日本醸造協会
 - 14) Bertrand, B., Boulanger, R., Dussert, S., Ribeyre, F., Berthiot, L., Descroix, F., and Joet, T.: Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint in green Arabica coffee bean as well as coffee beverage quality, *Food Chem.*, 135, 2575e2583 (2012).
 - 15) Iwasaki, F., Sunao, M., Okutsu, K., Yoshizaki, Y., Futagami, T., Tamaki, H., Takamine, K., and Sameshima, Y.: Effects of liming on the flavor of kokuto- shochu, a spirit made from non-centrifugal sugar, *J. Biosci. Bioeng.*, 130, 360e366 (2020).
 - 16) Cravero, M. C.: Musty and moldy taint in wines: a review, *Beverages*, 6, 41 (2020).
 - 17) Guyot, B., Bosquette, B., Pina, M., and Graille, J.: Esterification of phenolic acids from green coffee with an immobilized lipase from *Candida antarctica* in solvent-free medium, *Biotechnol. Lett.*, 19, 529e532 (1997).
 - 18) Duarte-Almeida, J. M., Salatino, A., Genovese, M. I., and Lajolo, F. M.: Phenolic composition and antioxidant activity of culms and sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) products, *Food Chem.*, 125, 660e664 (2011).
 - 19) Zhao, Z., Sugimachi, M., Yoshizaki, Y., Yin, X., Han, X., Okutsu, K., Futagami, T., Tamaki, H., and Takamine, K.: Correlation between key aroma and manufacturing processes of rice-flavor baijiu and awamori, Chinese and Japanese traditional liquors, *Food Biosci.*, 44, 101375 (2021).
-