

冷凍生芋を使用した焼酎製造技術の開発

富吉彩加*, 安藤義則*, 亀澤浩幸*

Development of Shochu Making Technology with Freezing Raw Sweet Potato

Ayaka TOMIYOSHI, Yoshinori ANDO and Hiroyuki KAMESAWA

冷凍蒸芋を使用した従来の醸造技術の改良を目的として、冷凍した生芋を使用する焼酎製造技術の開発を行った。これまで、サツマイモを生そのまま冷凍保存すると品質が低下し、焼酎製造に用いることはできないと考えられていたが、適切な方法で冷凍・解凍することによって、小仕込み試験では良好な発酵経過をたどり、官能評価においても生芋や冷凍蒸芋と遜色ない酒質の焼酎ができることを確認できた。また、冷凍生芋の蒸煮については実設備においても問題ないことが確認でき、冷凍生芋の芋焼酎製造への使用は、実用に耐えうる技術であることが分かった。

Keyword : サツマイモ, 芋焼酎, 冷凍保存, 解凍, テクスチャー

1. 緒 言

芋焼酎の製造はサツマイモの収穫時期である8月から12月に行われるのが一般的である。一方、従業員の通年雇用、蔵見学への対応、あるいは焼酎粕の飼料化のために収穫期以外にも芋焼酎を製造する蔵もある。収穫期以外は、蒸煮後冷凍されたサツマイモ（冷凍蒸芋）や、適温で保存された貯蔵芋を用いるが、保存中の変質が少なく長期間の保存が可能な冷凍蒸芋を使用することが多い。

冷凍蒸芋は保存性に優れている一方で、仕込み前に再度蒸煮して解凍する必要があり、計2回の蒸煮がコストの増加につながっている。サツマイモを生そのまま冷凍し長期間保存することができれば、蒸煮を仕込み前の1回だけにすることが可能となる。しかし、サツマイモは温暖な気候を好む作物のため低温障害を起し変質しやすく^{1)~3)}、通常は生のサツマイモを10℃以下で保存することは避けられている。そのため、冷凍した生のサツマイモ（冷凍生芋）を使用して焼酎を製造した例はこれまでにない。

一般的な食品素材の冷凍保存では、解凍した際に冷凍前の状態に復元することが望まれる。一方で芋焼酎の原料芋の場合、最終的には蒸煮して蒸芋の状態にすることから、蒸芋の状態が変わらないか、変わっても芋焼酎の製造において、作業性、発酵経過、酒質に影響がなければ良いと考えられる。

本研究では、サツマイモを生そのまま冷凍した際の課題を明らかにするとともに、冷凍生芋での焼酎製造を可能とするサツマイモの冷凍・解凍条件を見出すことを目的とした。

2. 実験方法

2. 1 試験に供したサツマイモの品種

鹿児島県内で栽培されたコガネセンガン、ベニサツマ、ジョイホワイト、ムラサキマサリおよびハマコマチを用いた。

2. 2 冷蔵・冷凍条件の検討

冷蔵条件の検討では、サツマイモの乾燥を防ぐため、泥がついたまま紙袋に入れ、保存温度17, 8, 4, 0℃の条件にて1か月間保存した。

冷凍条件の検討では、芋をよく水洗して軽く水気を拭き取った後、雰囲気温度-10, -20, -60, -80℃の冷凍庫で冷凍生芋を作製した。なお、比較のために生芋および従来の方法で作製した冷凍蒸芋、並びに4℃で2昼夜保冷した芋を用意した。試験区の一覧を表1（試験区1~7）に示す。蒸煮には家庭用の蒸し器を用い、蒸気が吹き抜けてから芋を鍋に入れ、十分に蒸煮した。粗熱がとれた後の芋について、断面の色、香り、物性を比較した。

2. 3 保管条件の検討

芋をよく水洗して軽く水気を拭き取った後、雰囲気温度-60℃または-80℃の冷凍庫で冷凍生芋を作製し、次いで冷凍生芋が4, -10, -20℃となるよう冷蔵庫または冷凍庫で保管した。蒸煮には家庭用の蒸し器を用い、蒸気が吹き抜けてから芋を鍋に入れ、十分に蒸煮した。粗熱がとれた後の芋について、断面の色、香り、物性を比較した。試験区の一覧を表1（試験区1, 2, 8~10）に示す。

2. 4 小仕込みによる芋焼酎製造試験

麴米はたからまさりを使用し、種麴は(株)河内源一郎商

* 食品・化学部

表1 サツマイモの処理条件

試験区	芋の処理方法	摘要
1	生芋	比較
2	生芋を蒸煮後に-80℃冷凍	冷凍蒸芋
3	生芋を4℃保冷	比較
4	生芋を-80℃冷凍	冷凍生芋
5	生芋を-60℃冷凍	"
6	生芋を-20℃冷凍	"
7	生芋を-10℃冷凍	緩慢冷凍
8	生芋を-80℃冷凍後に-10℃保冷	保冷なし輸送
9	生芋を-80℃冷凍後に-20℃保冷	"
10	生芋を-60℃冷凍後に4℃保冷	"

店製の焼酎用白麹を用いた。製麹は2kg用製麹装置（(株)河内源一郎商店製）を用い、36℃で引き込み、38℃で17時間、その後36～37℃で8時間管理し、仕舞手入れ後34～35℃で16時間管理し出麹とする常法の温度経過により製麹した。麹米200g、サツマイモ1kg、汲水歩合は65の配合で仕込みを行った。酵母は鹿児島5号酵母を用い、YG培地による前培養液を2.4ml添加した。発酵温度は30℃一定とし、発酵終了のもろみはガラス製蒸留機にもろみ1Lを張り込み、直接蒸気を吹き込む常圧蒸留法で行った。

2.5 実設備による冷凍生芋の蒸煮試験

冷凍芋の蒸煮は、大口酒造(株)の連続蒸煮器（(株)フジワテクノアート製、処理能力8t/時間）を用い、約10kgの冷凍生芋を網かごに入れて実施した（写真1）。

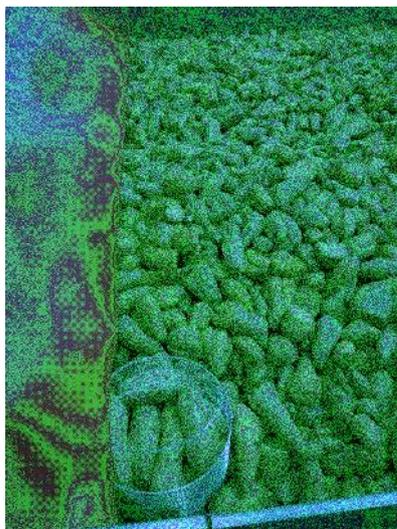


写真1 連続蒸煮器による冷凍生芋の処理

酵試験は、大口酒造(株)のパイロットプラントにて実施し、麹米1kg、芋5kgの配合で、酵母は鹿児島5号を用い、発酵温度は30℃一定とした。発酵終了のもろみはステンレス製蒸留機にもろみ7kgを張り込み、直接蒸気を吹き込む常圧蒸留法で行った。

2.6 分析方法

2.6.1 蒸芋の物性

生のサツマイモを切り、2cm角のブロックを作製した。このブロックを-20℃で冷凍保存して冷凍生芋ブロックとした。また、ブロックを15分間蒸煮したものを、標準の生芋ブロックとして、粗熱がとれた後、直ちに測定に供した。さらに、蒸煮後のブロックの一部は-20℃で冷凍保存して冷凍蒸芋ブロックとした。冷凍生芋ブロックと冷凍蒸芋ブロックについては、冷凍した翌日に所定時間蒸煮解凍し粗熱がとれた後、直ちに測定に供した。

物性の測定にはテクスチャーメーター（CR-500DX, COMP AC-100; (株)サン科学製）を使用した。直径10mmの円柱型アクリル製プランジャーを取り付け、圧縮速度1mm/秒、最大荷重20Nで測定を行った。

2.6.2 蒸芋の糊化度

グルコアミラーゼ法⁴⁾により測定した。すなわち、ガラスホモジナイザーに凍結乾燥試料100mgをとり、8mlの蒸留水を加えて試料を粉碎した後、50mlに定容して懸濁液とした。この懸濁液を2mlずつ20ml容の試験管2本 A B に採取し、試験管Aには2M酢酸緩衝液1.6mlと蒸留水0.4mlを加え、試験管Bには10N水酸化ナトリウム0.2mlを加えた。これらを室温で完全に溶解させた後、試験管Bに2N酢酸1.6mlを加え、最後に全容量が4mlとなるよう蒸留水を加えた。これらの検液に酵素液1mlを添加し、37℃60分間反応させた後、反応液0.5mlを25mM塩酸10mlの入った遠沈管に加えて遠心分離した。得られた上澄み液をソモジー・ネルソン法にて還元糖を定量し、試験管Bに対するAの還元糖量から糊化度(%)を求めた。

2.6.3 蒸芋のマルトース量

蒸煮後の芋を凍結乾燥し、凍結乾燥物に含まれるマルトースを蒸留水で抽出し、抽出液のマルトース濃度を高速液体クロマトグラフ（日本分光(株)製）、カラムはShode-x KS801、移動相は水の条件で定量した。

2.6.4 もろみおよび焼酎の分析方法

アルコール分、酸度、もろみ全糖、もろみ酸度、還元糖は国税庁所定分析法⁵⁾に従い分析した。試留酸度は、試留液を焼酎の酸度測定に準じて測定した。官能評価は利き酒経験者4名で実施した。生芋で製造した焼酎との香りを比較し、全く同じであるを1点、注意して違いが分かるを2点、やや違うと感じるを3点、全く違うと感じるを4点として評価し、点数の平均を求めた。

一般香気成分の分析は、ガスクロマトグラフ（SHIMAD-ZU GC-2014; (株)島津製作所製）を使用し、カラムはキャピラリーカラム（DB-WAX 60m×0.25mm×0.25mm; J&W Scientific(株)製）を用いた。注入口温度240℃、カラム温度40℃で3分間保持後3℃/minで230℃まで昇温し、10

分間保持した。スプリット比は1 : 30とし、キャリアガスはヘリウムガスで流速は1.0ml/min, 検出器はFIDを使用した。

微量香気成分の分析には、ガスクロマトグラフ質量分析計 (Agilent5973MSD ; Agilent Technology(株)製) を使用し、カラムはキャピラリーカラム (DB-WAX 60m×0.25mm×0.25mm ; J&W Scientific社製) を用いた。注入口温度は250℃, カラム温度40℃で3分間保持後3℃/minで230℃まで昇温し、10分間保持した。スプリットレスとし、キャリアガスはヘリウムガスで流速は1.0ml/min, 検出器は質量分析計を使用した。前処理はPPQ樹脂 (Waters社製) 4gを充填したガラスカラムに、試料20ml, 蒸留水50ml, ジエチルエーテル50mlを順に流した後、回収したジエチルエーテルを無水硫酸ナトリウムにて脱水後、窒素気流下にて400 μ lまで濃縮したものを測定に供した。

3. 結果および考察

3. 1 サツマイモの冷蔵・冷凍保存における影響評価

サツマイモを各種温度にて冷蔵・冷凍保存し、その蒸芋の品質への影響を評価した。サツマイモの品種はコガネセンガンを用いた。17℃で保存した試験区については色、香り、味ともに異常はみられなかった (写真2)。一方、8, 4, 0℃で保存した試験区は、いずれも乾燥が進み、皮が硬変していた。また、断面を観察したところ、皮の直下で褐変がみられた (写真3)。香りについても、新鮮なコガネセンガンと全く異なり、中でも8℃保存の試験区はイタミ臭と呼ばれる特有の変質臭が著しかった。こ

れらのことから、コガネセンガンを生芋焼酎の原料として低温保存する場合には、従来から言われているように10℃以下は適さないことを確認できた。

次に、-80℃にて作製した冷凍生芋を、完全に自然解凍した後に蒸煮を行った。写真4に示すとおり、蒸芋は脱水によるパサつきと著しい褐変がみられ、蒸芋特有の甘香も弱かったため、焼酎の製造には適さないと判断した。脱水については、細胞内の水分が凍る際、氷の粒が細胞膜を破壊しながら成長するため、解凍時に破壊された細胞膜から水分が流出することが原因と考えられた。

次に、冷凍保存したコガネセンガンを解凍せずに直接蒸煮を行った。その結果、-20℃保存 (写真5)、-80℃保存のいずれにおいても蒸芋の褐変は発生しなかった。また、果肉のパサつきを感じることはなく、これは細胞内の水分が糊化に利用されることでデンプンの構造中に保持されるため、水分の流出が起こらなかったためと推察された。

果肉の肉質は-20℃保存したものは生芋を蒸煮した場合とほぼ変わらない色、硬さであった。しかし、-80℃で保存したものは十分に蒸煮したにもかかわらず、中央部はやや硬く、完全に熱が通っていないような印象を受けた。データは示さないが、十分に蒸煮時間を確保することで、この現象を改善することができた。香りについては、-20℃と-80℃の両方ともやや穏やかであったものの異常はみられず、焼酎を製造するために十分な品質を保持していると考えられた。以上のことから、焼酎製造に冷凍生芋を用いるには芋を解凍せずに直接蒸煮すれば良いことが分かった。



写真2 17℃で保存したコガネセンガン



写真3 8℃で保存したコガネセンガン



写真4 -20℃保存、自然解凍したコガネセンガン



写真5 -20℃保存、直接蒸煮したコガネセンガン

コガネセンガン以外の品種で作製した冷凍生芋を蒸煮した結果を写真6に示す。試験に用いた4種類のサツマイモについて、全ての品種で低温を原因とするイタミ臭は確認されなかった。特にムラサキマサリは冷凍生芋 冷凍蒸芋 生芋間の香りに差は認められなかった。ベニサツマ、ハマコマチについては、生芋の香味が好ましく、冷凍蒸芋の場合は香ばしい香り、冷凍生芋は青臭みを感じられたが、これらの違いはごくわずかであった。指で押したときの物性

について、ムラサキマサリ、ベニサツマ、ハマコマチの冷凍蒸芋は生芋、冷凍生芋に比べ軟らかかった。また、ジョイホワイトについては写真7に示すように冷凍生芋は生芋との品質の差が小さかったが、冷凍蒸芋の場合に褐変と著しいパサつきがみられた。以上のことより、サツマイモの品種によって冷凍が香味に与える影響は異なっており、中には冷凍蒸芋よりも冷凍生芋のほうが生芋に近い良好な品質を示すものがあることが判明した。



写真6 コガネセンガン以外の品種による冷凍生芋の蒸煮試験

(左上：ベニサツマ、右上：ジョイホワイト、左下：ムラサキマサリ、右下：ハマコマチ)



写真7 ジョイホワイトにおける冷凍処理

(左から 冷凍蒸芋, 生芋, 冷凍生芋)

3. 2 生芋の冷凍処理が蒸芋の糊化度に与える影響

冷凍処理が蒸芋の糊化度へ与える影響を評価した。試験区は、生芋（蒸煮時間60、46分）、冷凍生芋（蒸煮時間80、60分）、冷凍蒸芋（蒸煮時間60分）とした。なお、生芋46分蒸煮と冷凍生芋60分蒸煮については、蒸煮が不足した場合を想定した試験区である。サツマイモの品種はコガネセンガンを用いた。

結果を図1に示す。生芋の蒸煮時間60分（糊化度93.6%）を基準とすると、蒸煮不足を想定した蒸煮時間46分の試験区は糊化度80.5%と低下した。一方、冷凍生芋の蒸煮時間80、60分の試験区の糊化度は、それぞれ92.1%、92.6%と基準と同等であり、冷凍生芋であっても蒸煮による糊化に影響を受けないことが分かった。また、冷凍蒸芋は、糊化度100.6%であり、生芋よりも高い結果となったが、これは冷凍蒸芋は冷凍前に60分蒸煮し、仕込み前にもう一度60分蒸煮しており、他の試験区の芋より蒸煮時間が長いことに起因すると考えられるが、詳細については不明である。

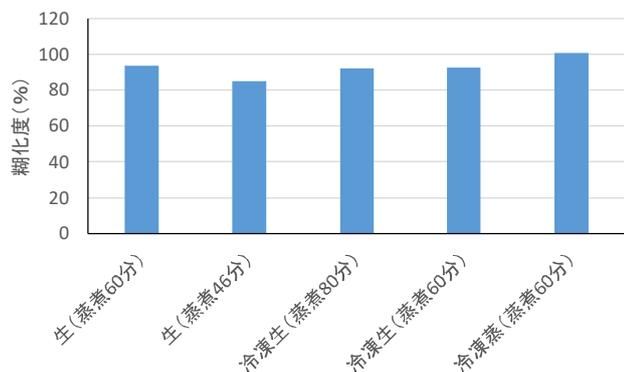


図1 蒸芋の糊化度 (コガネセンガン)

コガネセンガン以外の品種の結果を図2に示す。試験に供した4品種の芋いずれも、生芋、冷凍生芋、冷凍蒸芋の処理方法の違いによって糊化度に差は認められなかった。このことから、コガネセンガン以外の品種も冷凍生芋であっても糊化に影響を受けないことが分かった。なお、ジョイホワイトの糊化度は生芋で74.4%と低いなど品種による違いが認められた。

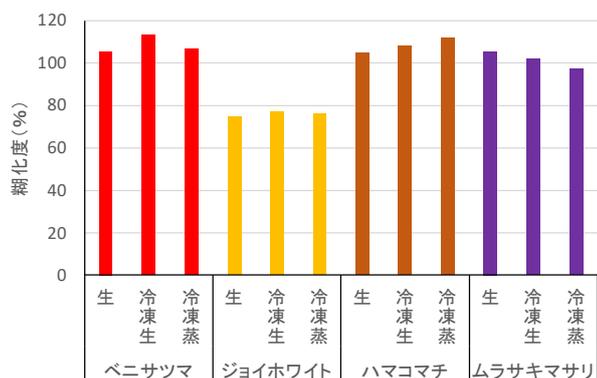


図2 蒸芋の糊化度 (コガネセンガン以外)

3. 3 生芋の冷凍処理が蒸芋のマルトース生成に与える影響

3. 1の結果から、冷凍生芋の蒸芋は、生芋のそれと比べやや香りが穏やかであることが分かった。その原因は、生のままサツマイモを冷凍することで、生芋に含まれるβアミラーゼ活性が低下し、蒸煮中のマルトースの生成およびそれに伴う加熱香生成が抑制されたためと考察し、コガネセンガンを用い試験を実施した。

結果を図3に示す。基準である生芋の蒸煮時間60分の試験区では、蒸煮後の蒸芋に含まれるマルトース含有率は、10.6%であった。一方、冷凍生芋蒸煮時間80分、60分の試験区では、10.9%、12.7%であり生芋を上回っていた。このことから、サツマイモを生のまま冷凍しても、生芋中のβアミラーゼ活性は低下しないことが示唆された。なお、冷凍蒸芋のマルトース含有率は、14.6%と最も高かった。

これは蒸煮、放冷、冷凍保存する操作により芋の水分が失われ、相対的にマルトース含有率が上昇したと考えられるが、詳細については不明である。

以上のことから、生芋より冷凍生芋が香りが穏やかである理由については、βアミラーゼ活性とは関連しないことが示唆された。

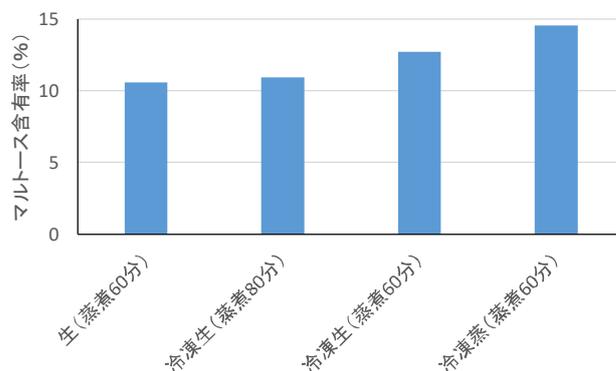


図3 蒸芋のマルトース含有率

3. 4 蒸煮後の物性測定

蒸芋の最大破断荷重を図4に示す。生芋15分蒸煮を基準にした場合、冷凍蒸芋の最大破断荷重は半分以下になった。このことは、冷凍蒸芋が軟らかく製造場における解凍蒸しの際に作業性が悪いという現場の声と一致する結果であった。一方、冷凍生芋を生芋と同じ時間蒸煮した場合はやや硬かったが、蒸煮時間を延長することで生芋と同程度の硬さとなった。

この結果より、冷凍生芋は従来の冷凍蒸芋に比べて芋の潰れが起りにくいいため、連続蒸煮器だけではなくバッチ式蒸煮器においても問題なく使用できると推察された。

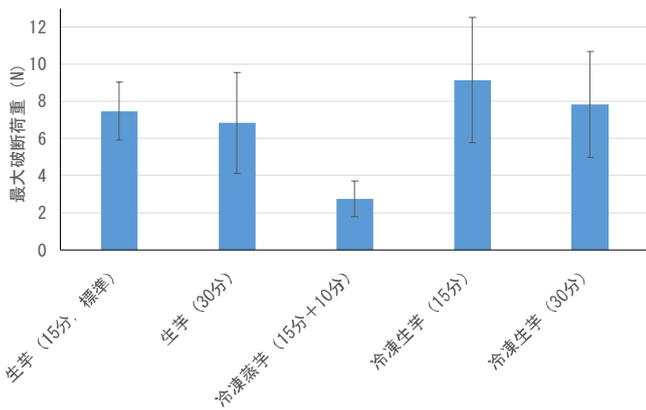


図4 蒸煮後の最大破断荷重

3. 5 冷凍温度の検討

3. 1の試験より、サツマイモを生のまま冷凍しても、蒸煮した芋は品質が劣化しないことを示したが、さらに詳細な検討のため各種冷凍温度で冷凍生芋を作製し、蒸芋の品質を評価した。また、大規模冷凍の場合、芋どうしの隙間、冷気の流れなどにより冷凍効率にムラが生じ、急速冷凍できない箇所が発生することも考えられる。そこで、 -10°C という凍結温度ぎりぎりの温度帯でサツマイモを凍結することで緩慢冷凍させた試験区と、長時間凍らずに低温にさらされることを想定した 4°C 2昼夜保冷の試験区を設定し、蒸芋の品質を評価した。

結果を表2に示す。対照である生芋の試験区は、色は白く、香りは栗様であり、手触りはややパサついていた。一方、 -10 、 -20 、 -60 、 -80°C の冷凍条件で作製した冷凍生芋を蒸煮した試験区は、蒸芋の色がやや濃く、しっとりとした手触りになるといった違いはあったが、品質の低下は認められなかった。香りは、生芋の試験区とは質が異なるものの甘い香りがしており違和感はなかった。詳しくみると、 -80°C 冷凍の条件では、蒸芋の中心部が時間の経過と共に徐々に褐変した。これは、芋の蒸し時間不足により、ポリフェノールオキシダーゼが完全に失活せず、生冷凍による細胞構造の破壊も加わり、褐変が発生したと推察された。蒸し時間を十分に確保することで改善すると考えられる。

4°C 2昼夜保冷の試験区は、生芋の試験区と色は変わらず、香りは若干弱いものの香りの質は同等であった。これまでの試験で、 4°C で1か月の保管では低温障害が発生し色、香味とも著しく変質したが、今回の試験は 4°C の保管期間が2昼夜であったため品質の変化はなかったと考えられる。このことから、大規模冷凍で、ある程度の冷凍ムラにより凍結速度が遅くなっても、冷凍生芋の品質への影響は小さいと推察された。

芋焼酎製造試験のうち、もろみの分析結果を表3、一般香気成分の分析結果を図5に示す。いずれの試験項目も、冷凍生芋と生芋との間で違いは認められず、問題なく発酵していることが確認できた。なお、冷凍蒸芋の試験区では蒸留前のアルコール度数が16.4%と他の試験区に比べやや高かった。これは、冷凍蒸芋を作製する際の蒸煮、放冷、冷凍保存する操作により芋の水分が失われ、2次仕込みに使用した原料中のデンプン量が相対的に増加したためと考えられた。実際の製造現場においても、冷凍蒸芋を使用する際には、生芋のときに比べ蒸留前もろみのアルコール分が増加するため、汲水量を増やすなどの対応がとられている。

香気成分のうちモノテルペンアルコールの濃度を表4に示す。比較である生芋に比べ、冷凍芋の試験区は同等の濃度かやや低い値となった。このことから、いずれの冷凍条件であってもサツマイモ冷凍障害によるモノテルペンアルコールの増加は認められないことが分かった。

官能評価の結果を表5に示す。比較である生芋に比べ酒質が劣化した試験区はなく、特に -60°C 冷凍、 -20°C 冷凍の試験区は評点が1.5であり、生芋の焼酎と酒質の差はほとんど認められなかった。

以上の結果から、いずれの冷凍条件であっても、冷凍生芋およびその芋焼酎は品質の低下が認められず、大規模冷凍で一部の芋の冷凍速度が遅くなっても問題がないなど十分に実用に耐える技術であると考えられる。

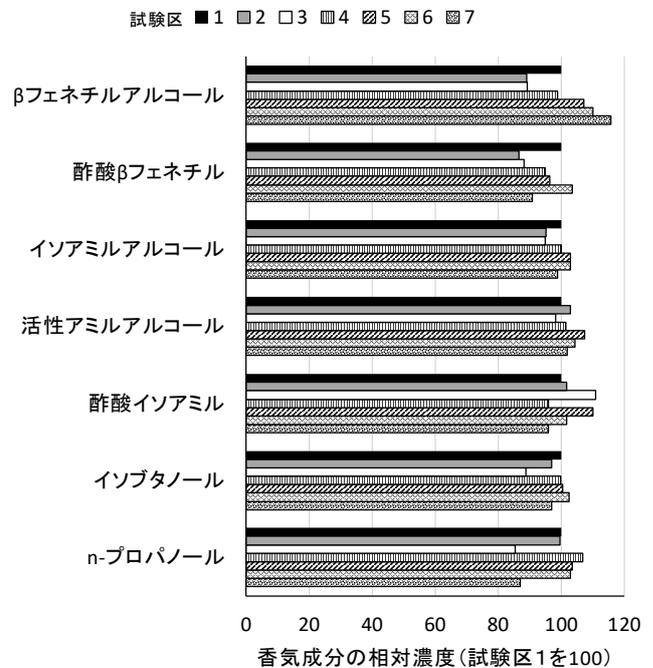
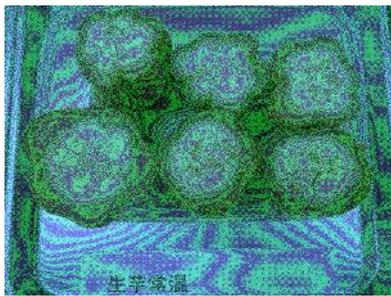


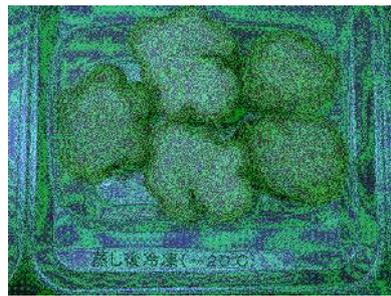
図5 香気成分

1:生芋, 2:冷凍蒸芋, 3: 4°C 保冷, 4: -80°C 冷凍, 5: -60°C 冷凍, 6: -20°C 冷凍, 7: -10°C 冷凍

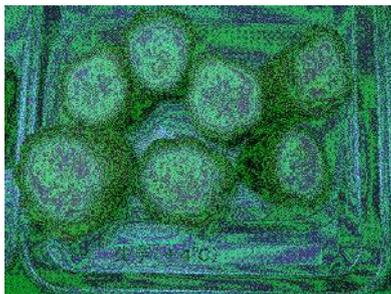
表2 蒸芋の評価（評価のコメントは、色・香・物性）



試験区1 生芋
白 栗香 パサつき



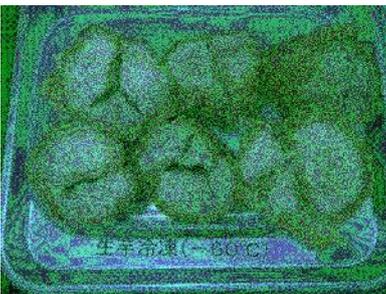
試験区2 冷凍蒸芋
やや褐色 やや低調 しっとり



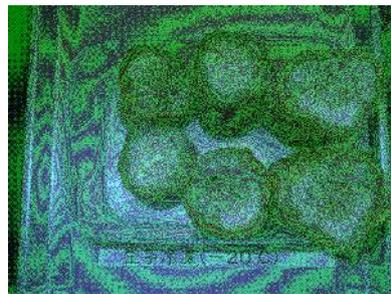
試験区3 4℃保冷
白 栗香 パサつき



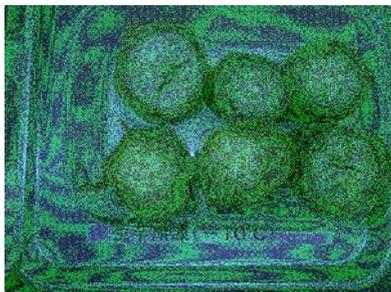
試験区4 -80℃冷凍
褐色 甘香・少し生香 しっとり



試験区5 -60℃冷凍
褐色 甘香 しっとり



試験区6 -20℃冷凍
やや褐色 甘香 しっとり



試験区7 -10℃冷凍
やや褐色 やや栗香 しっとり

表3 もろみの分析結果

試験区	1	2	3	4	5	6	7
芋の処理方法	生芋	冷凍蒸芋	4℃保冷 生芋	冷凍生芋			
				-80℃	-60℃	-20℃	-10℃
蒸留前もろみAlc(%)	15.2	16.4	15.7	15.1	15.3	15.1	15.2
試留酸度	1.1	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
蒸留前もろみ全糖(%)	2.1	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.1
蒸留前もろみ純Alc(mL)	271.4	291.2	279.4	270.1	273.0	270.5	271.8

表4 モノテルペンアルコール

(µg/L)

試験区	1	2	3	4	5	6	7
リナロール	31	44	30	22	30	24	28
α-テルピネオール	56	47	32	34	26	27	31
シトロネロール	93	47	24	28	29	24	44
ネロール	50	31	18	11	18	15	30
ゲラニオール	39	39	21	15	28	25	32

表5 官能評価

試験区	1	2	3	4	5	6	7
評点	—	1.8	2.3	2.0	1.5	1.5	2.3

試験区 1：生芋， 2：冷凍蒸芋， 3：4℃保冷， 4：-80℃冷凍， 5：-60℃冷凍，
6：-20℃冷凍， 7：-10℃冷凍

評点：全く同じであるを1点，注意して違いが分かるを2点，やや違うと感じるを3点，
全く違うと感じるを4点として評価し，4人の点数の平均を求めた。

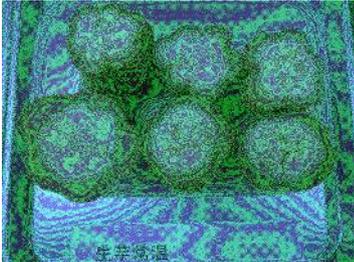
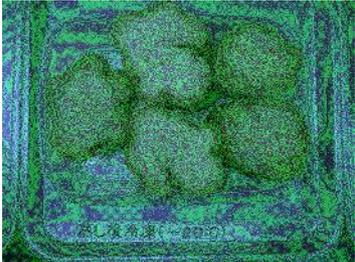
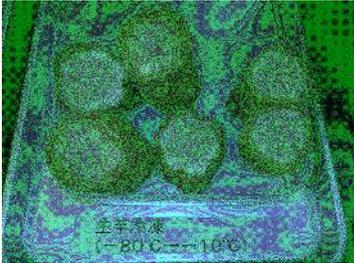
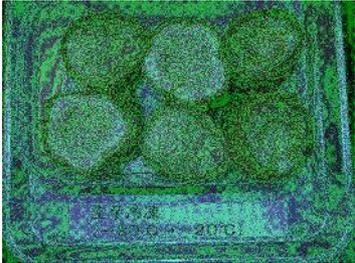
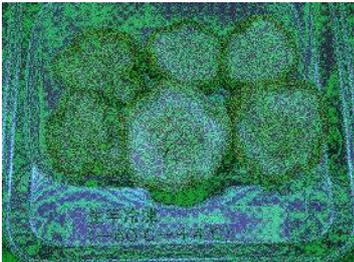
3. 6 保管温度の検討

冷凍芋を輸送し芋焼酎製造場で蒸煮されるまで一定の時間を要する。最も時間を要する事例は、離島にある製造場で保冷することなく1昼夜を要して輸送する。しかし、春先以降の仕込み終盤であっても、芋の表面が解凍することはない。これは、冷凍芋が保冷剤のような役割を果たすため、外気に触れる最外の芋も解凍されなかったと推察される。また、急速冷凍した冷凍生芋をそのまま蒸煮するより-10℃などある程度温度を上昇させた冷凍生芋を蒸煮したほうがエネルギーコストが抑えられる。そこで、解凍ぎりぎりの温度である-10℃で2昼夜、比較として解凍する温度である4℃で2昼夜保管し、蒸芋の品質を評価した。

結果を表6に示す。-80℃で急速冷凍した冷凍生芋を、-10℃，20℃で2昼夜保冷した試験区では比較的生芋試験区に比べ、蒸芋の色がやや褐変し、香りがやや低調であったが、品質が損なわれることはなかった。一方、急速冷凍した冷凍生芋を4℃で解凍した試験区については、蒸芋の色がやや褐変し、香りに違和感があり、品質が大きく損なわれた。

これらのことから、生冷凍芋は蒸煮前に完全に解凍されない限り、蒸芋の品質が劣化することはないことを確認することができ、通常の冷凍蒸芋を輸送するときと同様に保冷しなくても問題ないと判断できた。

表6 蒸芋の評価（評価のコメントは、色・香・物性）

	
<p>試験区1 生芋 白 栗香 パサつき</p>	<p>試験区2 冷凍蒸芋 やや褐色 やや低調 しっとり</p>
	
<p>試験区8 -80°C冷凍 → -10°C保存 褐色 少し栗香 しっとり</p>	<p>試験区9 -80°C冷凍 → -20°C保存 褐色 やや低調 しっとり</p>
	
<p>試験区10 -60°C冷凍 → +4°C保存 やや褐色 異臭 しっとり</p>	

これらの芋を用いて、芋焼酎の小規模製造試験を行ったもろみ分析の結果を表7に示す。いずれの試験区も順調に発酵が進み、分析した全ての項目について差はほとんどなかった。これらのことより、いずれの保管条件による冷凍生芋を使用しても生芋と同等の良好な発酵が可能であることが分かった。

一般香気成分の分析結果を図6に示す。試験区10の凍結後4℃にて解凍した試験区については、n-プロパノールが比較である生芋の1.5倍に上昇していたがその理由については不明である。そのほかの試験区は、生芋と同等の香気成分組成であった。

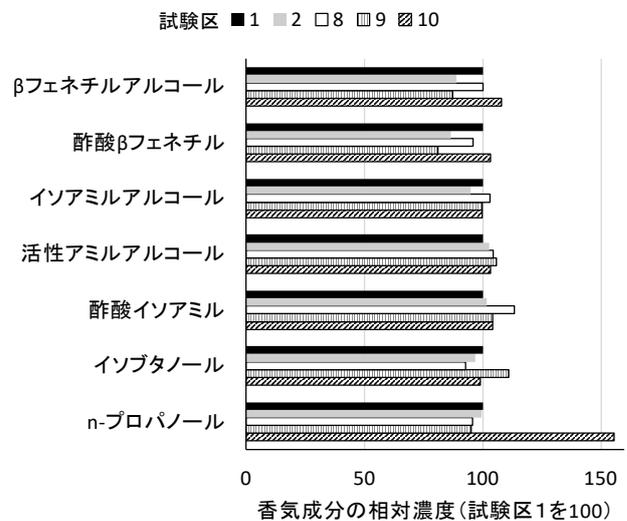


図6 香気成分（試験区1：生芋，2：冷凍蒸芋，8：-10℃保管，9：-20℃保管，10：4℃保管・解凍）

香氣成分のうちモノテルペンアルコールの濃度を表8に示す。比較である生芋に比べ、冷凍芋およびその後の保管温度を変えた試験区は同等の濃度かやや低い値となった。このことから、いずれの保管条件であってもサツマイモ冷凍障害によるモノテルペンアルコールの増加は認められないことが分かった。

官能評価の結果を表9に示す。比較である生芋に比べ、 -10°C 保管、 -20°C 保管した冷凍生芋の試験区では、評点が2.8、3.0とやや酒質に違いが認められた。コメントとしては、蒸し不足を連想させる香り、渋味が挙げられていた。仕込み前の蒸芋は、蒸し不足の香りはしておらず、焼酎で

蒸し不足の香りがした理由については不明である。今後、繰り返し試験を実施するなどして検討する必要がある。

ところで、冷凍魚では、いったん凍結されても冷凍保管中に色調の変化や油脂の酸化により変質が進むことが知られている。冷凍生芋の貯蔵期間は、サツマイモ収穫の最盛期から芋焼酎の製造最終盤の最大8か月程度が想定される。そこで、コガネセンガン製の冷凍生芋を8か月間貯蔵し蒸芋の品質を確認したところ、大きな品質の変化は認められなかった。このことから、冷凍生芋は冷凍魚のような変質は起こらず、安定した品質を保てることを確認できた

表7 もろみの分析結果

試験区	1	2	8	9	10
	冷凍生芋				
芋の処理方法	生芋	冷凍蒸芋	凍結後		
			-10°C	-20°C	4°C
蒸留前もろみAlc(%)	15.2	16.4	15.3	15.3	15.3
試留酸度	1.1	1.0	1.1	1.0	1.0
蒸留前もろみ全糖(%)	2.1	2.2	2.1	2.0	2.0
蒸留前もろみ純Alc(mL)	271.4	291.2	272.3	273.5	272.3

表8 モノテルペンアルコール (μg/L)

試験区	1	2	8	9	10
リナロール	31	44	28	28	28
α -テルピネオール	56	47	32	32	32
シトロネロール	93	47	42	47	44
ネロール	50	31	27	31	28
ゲラニオール	39	39	29	36	37

試験区1：生芋，2：冷凍蒸芋，8： -10°C 保管，
9： -20°C 保管，10： 4°C 保管・解凍

表9 官能評価

試験区	1	2	8	9	10
評点	—	1.8	2.3	3.0	2.5

試験区1：生芋，2：冷凍蒸芋，8： -10°C 保管，9： -20°C 保管，10： 4°C 保管・解凍
評点：全く同じであるを1点，注意して違いが分かるを2点，やや違うと感じるを3点，
全く違うと感じるを4点として評価し，4人の点数の平均を求めた。

3.7 実設備による冷凍生芋の蒸煮および芋焼酎製造試験

大口酒造(株)の連続蒸煮器を用いて試験した。これまでの試験から通常の生芋で行う60分の蒸煮では加熱不足の恐れがあったため、連続蒸煮器を2回通過させることで蒸煮不足を防ぐこととした。実用化の際には、コンベアのスピードを遅くすることで蒸煮時間を延長することが望ましいと考える。

もろみの分析結果を表10、香気成分の分析結果を表11に示す。全ての分析項目において、冷凍生芋と生芋とで違いは認められなかった。また、大口酒造(株)担当者の評価によると、比較である生芋の試験区と比べ、もろみの香りに

違和感はなく、状ぼうもやや色が濃かったがそれ以外に違いは認められなかった。

以上のことから、冷凍生芋を用いた芋焼酎の製造は十分に実用に耐える技術であることが確認できた。

表10 熟成もろみの分析結果

	生芋	冷凍生芋
pH	4.3	4.1
もろみ酸度	7.5	7.2
還元糖(%)	0.25	0.26
アルコール分(%)	14.7	14.9
試留酸度	0.6	0.5
収得歩合(ml/kg)	191	195

表11 香気成分

一般香気成分(mg/L)	冷凍芋	冷凍生芋	微量香気成分(μg/L)	冷凍芋	冷凍生芋
アセトアルデヒド	21	15	リナロール	26	20
酢酸エチル	70	61	α-テルピネオール	27	28
アセタール	6	4	シトロネロール	17	20
ジアセチル	0	0	ネロール	12	16
n-プロパノール	144	149	ゲラニオール	33	23
i-ブチルアルコール	282	279	β-ダマセノン	10	11
酢酸イソアミル	8	7	cis-ローズオキサイド	1	1
n-ブチルアルコール	4	5	trans-ローズオキサイド	0	1
活性アミルアルコール	137	132			
i-アミルアルコール	319	319			
カプロン酸エチル	0	0			
アセトイン	1	1			
乳酸エチル	1	2			
3-エトキシ-1-プロパノール	3	5			
カプリル酸エチル	1	1			
酢酸	13	27			
フルフラール	1	1			
2,3-ブタンジオールA	10	15			
2,3-ブタンジオールB	3	4			
γ-ブチロラクトン	1	1			
カプリン酸エチル	2	2			
メチオノール	1	1			
酢酸β-フェネチル	2	3			
ラウリン酸エチル	0	0			
β-フェネチルアルコール	52	61			

4. 結 言

本研究では、生のまま冷凍したサツマイモを使用する焼酎製造技術を開発するため、各種冷凍条件、保管条件による冷凍生芋の試作、並びに蒸芋および焼酎の評価を行い、以下のことを明らかにした。

- (1) -10, -20, -60, -80℃の冷凍条件で作製した冷凍生芋を蒸煮したところ、生芋の試験区に比べ蒸芋の色がやや濃く、香りが穏やかになる違いはあったが、品質の低下は認められなかった。また、それらの芋による芋焼酎の品質に大きな差は認められなかった。
- (2) -10℃の緩慢冷凍で作製した冷凍生芋であっても品質に問題はなく、冷凍速度は冷凍生芋の品質を左右しないことが分かった。このことから、大規模冷凍で一部の芋の冷凍速度が遅くなっても、冷凍生芋の品質への影響は小さいと推察された。
- (3) 冷凍生芋を蒸煮前に自然解凍すると、蒸芋の品質が劣化し、解凍せずに直接蒸煮すると劣化しなかった。このことから、冷凍生芋の使用にあたっては、速やかに解凍から蒸煮を行うことが重要であることが示唆された。
- (4) 実規模の連続蒸煮器による冷凍生芋の蒸煮試験、並びにパイロットプラントによる芋焼酎製造試験を行ったところ、生芋と比べても発酵経過および焼酎の品質に違いはなかった。

- (5) 以上のことから、生芋をそのまま冷凍保存して焼酎製造に利用することは不可能とされていたが、適切な条件で冷凍・解凍することによって、焼酎製造への利用が十分可能であることが明らかになった。

謝 辞

本研究を行うにあたり、大口酒造(株)の皆様にも多大なるご協力をいただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

なお、本研究の一部は日本酒造組合中央会からの助成を受けて実施したものです。

参 考 文 献

- 1) 邨田卓夫：日本冷凍空調学会論文集，3(1)，1-12(1986)
- 2) 島佳久：熱帯農業，40(4)204-212(1996)
- 3) 神渡巧ら：日本醸造協会誌，100(7)，520-526(2005)
- 4) 鈴木繁夫，中村道徳：“澱粉科学実験法”学会出版センター(1979) 171
- 5) 注解編集委員会編：“第四回改訂国税庁所定分析法注解”財団法人日本醸造協会(1993)