

米麴の糖化力を利用したサツマイモペースト製造技術の開発

瀬戸口眞治*, 亀澤浩幸*, 松永一彦*, 安藤義則*, 下野かおり*, 中村寿一**

Development of Manufacturing Sweet Potato Paste Utilizing Rice Koji

Shinji SETOGUCHI, Hiroyuki KAMESAWA, Kazuhiko MATSUNAGA,
Yoshinori ANDO, Kaori SHIMONO and Toshikazu NAKAMURA

蒸し芋に乾燥粉末化した米麴を添加して、糖化处理することで、砂糖やクエン酸など添加物を使わずに甘味や酸味を加える技術を開発した。この技術により製造される発酵ペーストは、黄麴を使用すると甘い芋餡^{あん}(黄麴タイプ)に、白麴を使用すると甘酸っぱいフルーツジャム(白麴タイプ)を連想させる食味になる。

黄麴タイプはγ-アミノ酪酸を多く含むこと、白麴タイプは製造過程で生成するリナロールによる柑橘香を特徴としている。

Keyword : サツマイモ, サツマイモペースト, 米麴

1. 緒言

サツマイモは機能的豊富で老若男女を問わず人気の食品である。サツマイモ菓子には、有色サツマイモを用いてきんつばやサツマイモ餡を用いたものがある。しかし、甘味不足のため砂糖を使用して味の調整を行っており、ダイエットを意識する消費者には敬遠されている。従って、サツマイモを原料とする菓子市場を拡大するには砂糖やその他の添加物を使用しないで製造されるサツマイモ菓子は、芋好きの消費者にとって魅力あるお菓子と考えられる。

一方、サツマイモの発酵食品としては、サツマイモに米麴と水を混合し、麴の糖化酵素で蒸したサツマイモを糖化してつくる飲料が製品化されている^{1) 2)}。この製品はサツマイモのポリフェノール、米麴のクエン酸やアミノ酸を特徴とする健康飲料として販売されている。また、蒸したサツマイモと大豆粉から麴をつくり、さらに蒸したサツマイモと塩を混合して発酵することにより製造する味噌風発酵食品の開発例もある³⁾。

そこで、菓子原料として用いるサツマイモの味を調製するために、米麴を糖化剤あるいは酸味料として利用する技術を検討し、甘味料無添加で甘い芋餡や甘酸っぱいフルーツジャムを連想させる食味の新しいサツマイモの菓子素材(発酵ペースト)の製造技術を開発したので報告する。

2. 実験方法

2.1 原料

原料米は国産の等外米を、種麴は(株)河内源一郎商店製の河内白麴および糖化用黄麴を使用した。

また、製造条件設定用の原料サツマイモとしてコガネセンガンおよびムラサキマサリを使用した。原料選抜用のサツマイモには、コガネセンガン、ベニサツマ、種子島ゴールド、アヤムラサキ、ムラサキマサリ、ベニハヤト、ジェイレッドおよびタマアカネの8種類を供した。

2.2 製麴方法

原料米を洗米、浸漬、蒸きょう後、放冷して得られた蒸し米に、種麴を0.2%添加・混合して2kg用製麴装置で製麴した。

2.3 分析方法

2.3.1 米麴の酵素活性

グルコアミラーゼ活性は国税庁所定分析法⁴⁾に従い分析した。α-アミラーゼ活性はα-アミラーゼ測定キット(キッコーマン(株))を用いて分析した。

2.3.2 糖, 有機酸

分析用の試料調製については、試料に蒸留水を加えてホモジナイザーで磨砕後定容し、ろ過して分析に供した。

糖組成は高速液体クロマトグラフ(日本分光(株)製)で分析を行い、カラムはShodex KS801, 移動相は水とした。

有機酸は有機酸分析装置(日本分光(株)製)を使用し、カラムはShodex KC811, 移動相は過塩素酸とした。

アミノ酸はアミノ酸分析装置(日本ウォーターズ(株)製)を使用し、AccQ-Tag法(誘導体化試薬AccQ・FlourTMを用いたプレカラム法)で行った。

2.3.3 香気成分

ガラス製の15mlバイアル瓶(SUPELCO製)に各試料を1.0g取り、50μg/L cyclohexanolを内部標準として1ml添加した。次に、carboxen/PDMSを吸着剤とするSPMEファイバー(SUPELCO製)をバイアル内に挿入し、50℃で30分間かけ

*食品工業部(現 食品・化学部)

**デザイン・工芸部(現 研究主幹(食品・化学担当))

て香氣成分を捕集してGC/MS分析に供した。

GC/MSの分析は7890A GC System / 5975C inert XL MSD (Agilent社製)を使用し、カラムはPure-WAX (内径0.25mm, 長さ60m, 膜厚0.25 μ m, GL Sciences社製)を用いた。注入口温度は250 $^{\circ}$ C, カラム温度は初期温度40 $^{\circ}$ Cで5分間保持し, 2 $^{\circ}$ C/分で230 $^{\circ}$ Cまで昇温し, 5分間保持した。検出器温度は250 $^{\circ}$ C, キャリアガスはヘリウムガスで流量は2.4ml/分とし, スプリットレス注入により分析した。

なお, 香氣成分濃度は半定量値とし, (1)式で算出した。

半定量値 = 各成分の面積値 / 内部標準の面積値 (1)

3. 結果および考察

3.1 サツマイモの糖化温度の検討

清酒製造で行われる高温糖化酒母において, 黄麴を糖化する際の最適糖化温度は55 $^{\circ}$ Cとされている⁵⁾。50 $^{\circ}$ C以下では雑菌に汚染されやすく, 60 $^{\circ}$ C以上では酵素が失活するためとされている。そこで, サツマイモの糖化温度は50~65 $^{\circ}$ Cで検討した。

蒸したコガネセンガンに対して10%の重量となるように米麴を添加して入念に混合し, レトルト用ポリ袋に入れ, 恒温器で20時間糖化した。糖化後は3倍量の蒸留水を添加して入念に攪拌した後, 蒸留水で4倍希釈し, 糖度 (Brix) を測定した。その結果を図1に示す。黄麴は55 $^{\circ}$ C, 白麴は60 $^{\circ}$ Cが最適糖化温度であることがわかった。

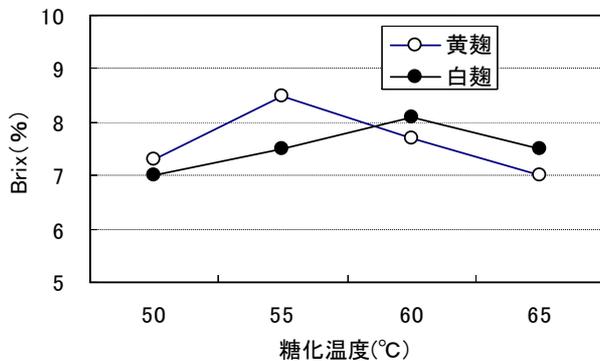


図1 発酵ペーストの糖度に及ぼす糖化温度の影響

3.2 米麴添加方法の検討

出麴直後の米麴を使用すると, 糖化後も粒がそのまま残るため, ペーストに異物が混入しているように見えた。そこで, その対策として米麴を乾燥粉末化して使用する方法を検討した。一般的に清酒や焼酎製造に使用される乾燥麴は, 40 $^{\circ}$ C程度の低温で通風乾燥している。そこで, 40 $^{\circ}$ Cで15時間通風乾燥し, 市販の家庭用コーヒーミルで粉碎して乾燥粉末麴を作製し, 処理前の米麴と糖化力を比較した。その結果を図2に示す。糖化力の指標となる α -アミラーゼ活性およびグルコアミラーゼ活性は, 黄麴, 白麴ともに

乾燥粉末化による失活は認められなかった。このことから, 発酵ペースト製造に使用する米麴は, 40 $^{\circ}$ Cで通風乾燥した乾燥粉末を使用することにした。

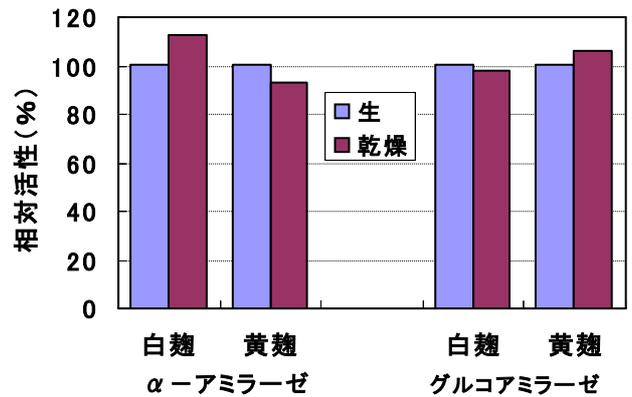


図2 乾燥粉末化処理後の糖化酵素残存活性

3.3 米麴添加割合の検討

米麴添加量の条件として, 夕方から翌朝までの15時間程度で糖化できて, サツマイモの風味が大きく変化しない程度の添加割合を検討した。具体的には, 蒸したサツマイモに対して5~50%の乾燥粉末麴を添加して, 糖化後の発酵ペーストを食味により判断した。

その結果, 黄麴は使用量が多いと麴臭が強くなるため, 5%添加が適正であった。また, 5%以下では糖化力が低下して, 糖化時間が長くなった。

白麴については, 米麴がクエン酸を含有しているため, サツマイモとは異なる食味になる。従って, サツマイモの風味より甘味と酸味のバランスが重要である。食味の結果, 10~20%の添加割合が適正であることを確認し, 添加量は10%とした。

3.4 発酵ペーストの殺菌処理法の検討

糖化終了後は, 殺菌と同時に品質安定のために, 酵素を失活させる必要がある。糖化終了後の糖化力残存活性を図3に示す。白麴と黄麴を比較すると, 白麴の残存率がグルコアミラーゼで66%, α -アミラーゼで57%が残存しており, 黄麴より高い残存率であった。このことから, 白麴を用いて酵素失活条件を検討することにした。

原料サツマイモにはムラサキマサリを用いた。糖化温度の限界は60 $^{\circ}$ Cであることから, 酵素失活の熱処理温度はより高温にする必要がある。そこで, 処理温度を90 $^{\circ}$ Cとし, 処理時間を検討した。熱処理方法は, 菓子素材をレトルト用ポリ袋に入れて真空パックし, 90 $^{\circ}$ Cに調整した熱水に投入して行った。白麴製の熱処理後の分析結果を表1に示す。3分間の処理で一般細菌は検出されなかったが, 酵素は僅かに残存しており, 5分間の処理では酵素も完全に失活していた。このことから, 菓子素材は90 $^{\circ}$ Cで5分間以上の熱

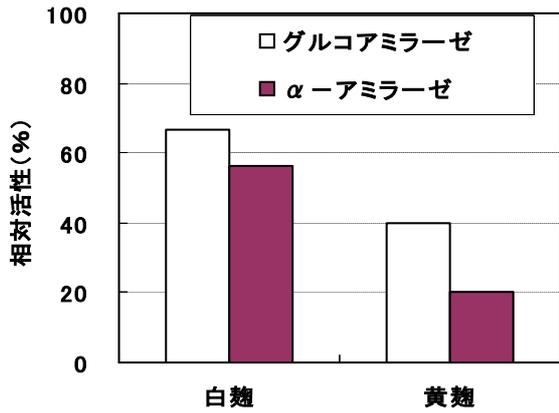


図3 糖化処理後の糖化力の残存活性

表1 殺菌および酵素失活試験結果（白麴製）

熱処理時間	一般生菌数 (CFU/ml)	相対活性 (%)	
		グルコ アミラーゼ	α-アミラーゼ
3分間	<10個	13.3	14.1
5分間	<10個	0	0
7分間	<10個	0	0

90℃の熱湯中で処理した。

処理により、保存性の確保が可能であると判断した。

以上の試験結果から、図4に示すサツマイモの発酵ペーストの製造方法を確立した。

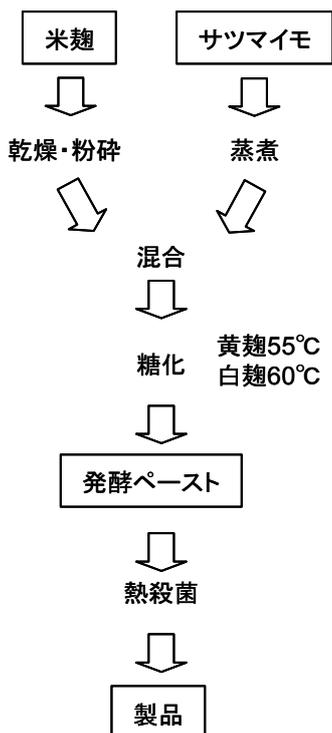


図4 サツマイモ発酵ペーストの製造工程

3.5 原料サツマイモの選抜

肉色が黄色系2種類、紫系3種類、橙色系3種類の合計8種類のサツマイモについて、黄麴および白麴を用いた菓子素材を製造し、食味や色合いに優れる原料サツマイモの選抜を行った。その結果を表2に示す。コガネセンガン、種子島ゴールド、アヤマラサキは色相に欠点があり、ベニハヤト、ジェイレッドは香りに野菜臭があった。最終的に、黄麴製ではベニサツマ、ムラサキマサリ、白麴製ではベニサツマ、ムラサキマサリおよびタマアカネが適すると判断した（図5）。

表2 サツマイモの原料適性評価

肉色	品 種 名	麴	評価	特徴
黄色	コガネセンガン	黄	△	色が薄い
	ベニサツマ	白	△	色が薄い
	ベニサツマ	黄	○	甘い
	ベニサツマ	白	○	甘酸っぱい
紫色	種子島ゴールド	黄	△	色が薄い
	種子島ゴールド	白	△	色が薄い
	アヤマラサキ	黄	△	紫が濃過ぎる 苦味
	アヤマラサキ	白	△	やや苦味
橙色	ムラサキマサリ	黄	○	適度な紫 甘い
	ムラサキマサリ	白	◎	鮮やかな赤色 甘酸っぱい
	ベニハヤト	黄	△	野菜臭, 甘い
	ベニハヤト	白	△	野菜臭
タマアカネ	ジェイレッド	黄	△	野菜臭, 甘い
	ジェイレッド	白	○	オレンジジャム風 野菜臭
	タマアカネ	黄	△	甘い
	タマアカネ	白	◎	オレンジジャム風



図5 選抜した原料サツマイモ

3.6 菓子素材の栄養機能性評価

黄麴製としてベニサツマ、ムラサキマサリ、白麴製としてベニサツマ、ムラサキマサリおよびタマアカネを用いて菓子素材を製造し、糖組成、有機酸、アミノ酸、ポリフェノール含量およびDPPHラジカル消去能を測定した。また、サツマイモのポリフェノール成分であるクロロゲン酸およびその構成成分であるカフェ酸についても分析した。

図6に原料および発酵ペーストの糖組成を示す。黄麴製、

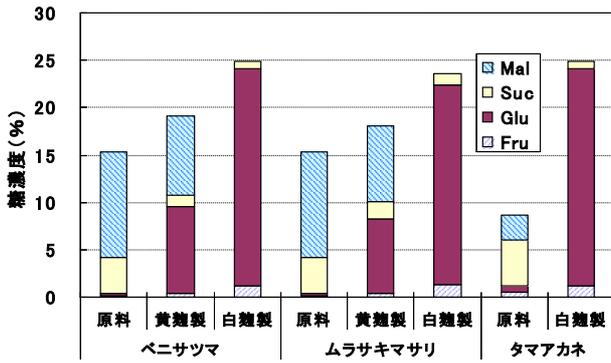


図6 原料および発酵ペーストの糖組成

白麴製ともにグルコースが増加しており、特に白麴製の生成量が多い。今回の製造試験では、黄麴の糖化がやや不足していたようである。また、黄麴製はマルトースの分解が僅かであるが、白麴製はマルトースがほとんど分解されており、白麴の糖化酵素はマルトース分解能が高いことがわかった。

図7に原料および発酵ペーストの有機酸組成を示す。原料および発酵ペーストともに主成分はクエン酸とリンゴ酸であり、乳酸、コハク酸、酢酸等ごく微量であった。原料を比較すると、ベニサツマはクエン酸濃度が高く、ムラサキマサリとタマアカネはリンゴ酸濃度が高く、それぞれ特徴のある有機酸組成となっていた。また、黄麴製の発酵ペーストは原料と同様の有機酸組成でほとんど変化が無く、白麴製はクエン酸濃度が高くなっていた。このことか

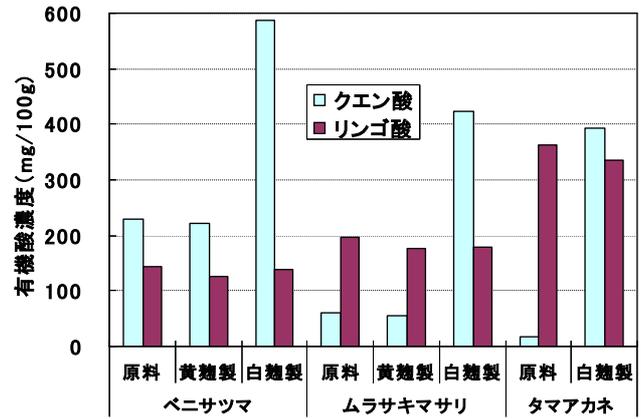


図7 原料および発酵ペーストの有機酸組成

ら、白麴製は白麴が含有するクエン酸により酸味が増すことがわかる。

表3に原料および発酵ペーストのアミノ酸組成を示す。原料に比べて発酵ペーストは黄麴製、白麴製ともにアミノ酸濃度は高くなっている。糖化反応時にプロテアーゼによるタンパク質の分解でアミノ酸が生成するためであるが、その程度は白麴製が強かった。また、黄麴製についてはGABA(γ-アミノ酪酸)濃度が高いことが特徴であった。

表4に発酵ペーストの抗酸化能および抗酸化性成分について分析した結果を示す。ムラサキマサリはベニサツマ、タマアカネに比べてポリフェノール濃度が高く、DPPHラジカル消去能も1オーダー高く、機能性成分が多いことがわかる。しかし、芋発酵ペーストとなってもこれらの成分濃

表3 原料および発酵ペーストのアミノ酸組成 (mg/100g)

アミノ酸	ベニサツマ			ムラサキマサリ			タマアカネ	
	原料	黄麴製	白麴製	原料	黄麴製	白麴製	原料	白麴製
Asp	88	103	82	78	83	79	42	48
Ser	73	63	80	44	42	50	35	46
Glu	54	40	69	59	46	68	49	66
Gly	2	5	9	1	4	6	1	7
His	8	9	22	3	5	13	4	19
Arg	2	10	51	2	9	45	1	46
Thr	20	23	28	24	27	29	10	15
Ala	19	29	33	14	25	30	11	25
Pro	3	17	34	3	15	39	2	30
GABA	2	21	6	2	14	4	2	4
Cys-Cys	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	7	25	N. D.	37
Tyr	4	10	33	2	8	22	6	28
Val	9	17	28	3	13	18	4	18
Met	1	4	14	1	4	11	1	11
Orn	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
Lys	1	10	49	2	9	39	1	43
Ile	7	13	18	2	8	9	3	14
Leu	6	17	45	2	14	32	3	33
Phe	29	32	48	6	13	21	11	26
Trp	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	71	N. D.	N. D.
合計	328	424	649	247	346	609	187	518

N. D : 検出せず

表4 発酵ペーストの抗酸化能および抗酸化性成分

成分	ベニサツマ			ムラサキマサリ			タマアカネ	
	原料	黄麴製	白麴製	原料	黄麴製	白麴製	原料	白麴製
DPPHラジカル消去能 (μ mole Trolox/100g)	3.7	2.2	2.3	30.9	31.5	30.6	3.1	4.0
ポリフェノール (mg/100g)	126	102	147	1,258	1,251	1,095	104	168
クロロゲン酸 (mg/100g)	11.3	4.0	0.0	125	104	40.6	16.9	1.8
カフェ酸 (mg/100g)	1.1	1.3	9.0	5.9	9.1	99.2	0.0	25.6

度は増加していなかった。タマアカネについては、発酵ペーストにすることでポリフェノールおよびDPPHラジカル消去能が増加していた。原因については不明である。

サツマイモに含まれるクロロゲン酸は、麴菌が有するクロロゲン酸エステラーゼにより分解され、カフェ酸が生成することを吉元らは報告している⁶⁾。分析の結果、ムラサキマサリにクロロゲン酸が多く含まれ、黄麴より白麴が分解能に優れ、カフェ酸を多く生成することがわかった。以上のことから、発酵ペーストは原材料に比べてアミノ酸が増加し、栄養機能が向上するが、ポリフェノール、DPPHラジカル消去能などの機能性向上について認められないことがわかった。

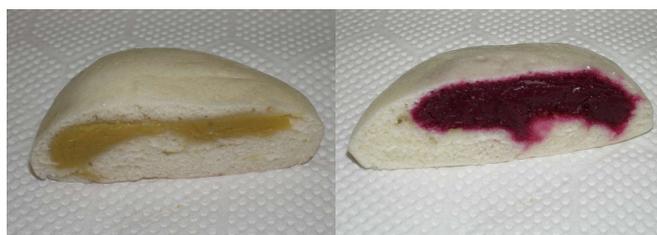
3.7 芋発酵ペーストの香り特性

発酵ペーストの香り成分をヘッドスペース法により測定した結果、白麴製のみにも果実香の成分であるリナロールが検出された。リナロールは芋焼酎の特徴香であるモノテルペンアルコール類の一つである⁷⁾。サツマイモはモノテルペンアルコールとグルコースが結合したモノテルペン配糖体含有しており、焼酎製造で使用される麴菌が産生する β -グルコシダーゼにより、グルコースが切り離されてモノテルペンアルコールが生成する。そして、 β -グルコシダーゼ活性は白麴、黒麴が強く、黄麴は弱いことが知られている⁷⁾。そのため、今回白麴製のみにもリナロールが検出されたのは、芋焼酎の香り成分に関する知見が反映されて

いるものと推測された。ここで、白麴製の発酵ペーストに含まれるリナロールを原料ごとに比較した結果を図8に示す。半定量値ではあるが、タマアカネが多い。タマアカネの発酵ペーストが、オレンジジャム的に感じられる要因として、リナロールが重要な香り成分であることが推測された。

3.8 芋発酵ペーストを用いた饅頭の試作

発酵ペーストを用いた食品例として、発酵ペーストを饅頭の餡として加治木饅頭を試作した(図9)。発酵ペーストはベニサツマ、ムラサキマサリの黄麴製および白麴製、タマアカネの白麴製を使用した。試作の結果、タマアカネのみが水分が多く成形できなかった。また、加治木饅頭の試作品を試食した結果、黄麴製は饅頭の餡として甘味が足りず、やや味がぼけていると評価された。しかし、白麴製は色合いがよいこと、クエン酸の酸味に新鮮みを感じることで評価された。白麴製については他の食品への応用が期待された。



ベニサツマ、黄麴製 ムラサキマサリ、白麴製

図9 発酵ペーストを使用した加治木饅頭

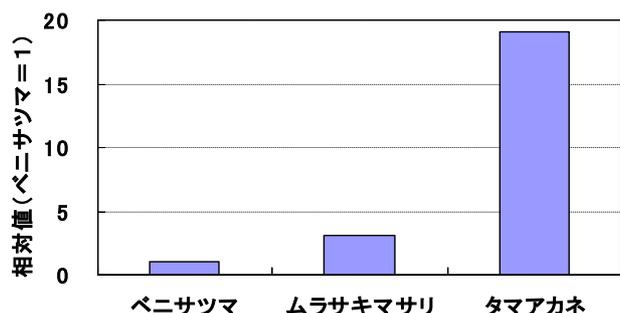


図8 白麴製発酵ペーストの品種別リナロール含量比

4. 結 言

菓子原料として用いるサツマイモの味を調製するために、米麴を糖化剤あるいは酸味料として利用する技術を検討し、甘味料無添加で甘い芋餡や甘酸っぱいフルーツジャムを連想させる食味の新しいサツマイモの菓子素材(発酵ペースト)の製造技術を開発した。また、黄麴で製造するとGABA含量が高くなり、白麴で製造すると柑橘系の香り成

分であるリナロールが産生することが明らかとなった。

今後、これらの特徴を活かして新しいサツマイモ菓子の商品化を目指したい。

謝 辞

本成果の一部は、(独)科学技術振興機構(JST)の平成21年度地域イノベーション創出総合支援事業(シーズ発掘型)により実施した。その支援に謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 山元正明：特許 第3354528 (2002)
- 2) 鎌田輝男：特許 第4422049 (2009)
- 3) 鶴木隆文, 瀬戸口眞治, 亀澤浩幸, 下野かおり, 前野一朗, 西場洋一, 須田郁夫：鹿児島県工業技術センター研究報告書, **19**, 15-20(2005)
- 4) “第四回改正国税庁所定分析法注解”, (財)日本醸造協会 (1993)
- 5) “増補改訂最新酒造講本”(財)日本醸造協会 (1996)
- 6) M Yoshimoto, R Kurata, M Fujii, D Hou, K Ikeda, T Yoshidome and M osako : Biosci. Biotechnol. Biochem., **68**, 2477(2004)
- 7) 太田剛雄, 下条寛和, 橋本憲治, 近藤洋大, 佐無田隆, 大場俊輝：日本醸造協会誌, **86**, 536-539(1991)