

清酒の多様化技術としての異種酵母混合培養

誌名	日本醸造協会誌 = Journal of the Brewing Society of Japan
ISSN	09147314
巻/号	1107
掲載ページ	p. 462-469
発行年月	2015年7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



清酒の多様化技術としての異種酵母混合培養

酒類の製造では単一酵母による発酵が主流であるが、近年、純粹分離した酵母を混合培養し、それぞれの酵母の特長を生かして製品の多様化や高品質化をめざす試みがなされている。ここでは清酒酵母と二三の *Saccharomyces* 属以外の酵母との混合培養によって、それぞれ香気成分の強化、味の多様化さらにエタノール耐性の向上に成功した結果について、著者らの研究を中心に紹介していただいた。実用化にむけて混合培養系の再現性のある制御方法の開発や異種酵母間の相互作用の解明等が課題であるが、清酒製造技術の多様化の一環としてその進展を期待する。

山岡千鶴・栗田 修

1. はじめに

清酒の多様化を図る上での重要な要素は、味と香りの構成成分とその濃度であり、それらを変化させるための技術開発が求められる。清酒は、酵母工程で酵母を純粹培養することによって野生酵母の影響を受けずに安定した製造が行われてきた。酒質にはその酵母の特徴が反映されるため、清酒の多様化・高品質化を目指して、数多くの酵母が育種されてきた。味では多酸性酵母¹⁾や高リンゴ酸生産性酵母^{2,3)}、香りでは酢酸イソアミル高生産性酵母^{4,5)}やカプロン酸エチル高生産性酵母^{6,7)}が例として挙げられる。今や吟醸酒の製造にはカプロン酸エチル高生産性酵母が欠かせない存在となっているが、もろみ後半でのキレが鈍って低温長期もろみになりやすいという傾向やカプロン酸エチル過多により香味バランスが崩れる場合がある。そこで、これらの対策として、単一の酵母でなく、タイプの異なる複数の清酒酵母を用いて仕込む混合培養法がとられている⁸⁾。このように、清酒製造では、単一酵母の純粹培養だけでなく、同種酵母の混合培養が酒質の安定製造に重点をおいた手段として利用されている。

一方、ワインにおいては、清酒が同種酵母の利用だけに留まるのに対して、古くから土着の微生物を積極的に利用している。発酵初期において、*Kloeckera* 属

や *Hanseniaspora* 属、*Candida* 属、*Pichia* 属 や *Kluyveromyces* 属などの酵母が関与し、主発酵酵母である *Saccharomyces* 属がアルコール発酵する段階で死滅するが⁹⁾、これらの非ワイン酵母はワインの香りや味に作用している。例えば、混合培養に *H. uvarum* や *C. stellata* を用いるとワインの香り（アロマ）が向上すること^{10,11)}や、*C. cantarellii* を用いると味に幅をもたらす効果のあるグリセロールが増加すること¹²⁾が報告されている。

筆者らは、清酒の多様化を図る手段として、このワイン製造における異種酵母の混合培養の考え方に着目し、清酒製造への導入を検討したので紹介する。

2. 異種酵母混合培養の清酒製造への利用

2.1 香気成分の付与

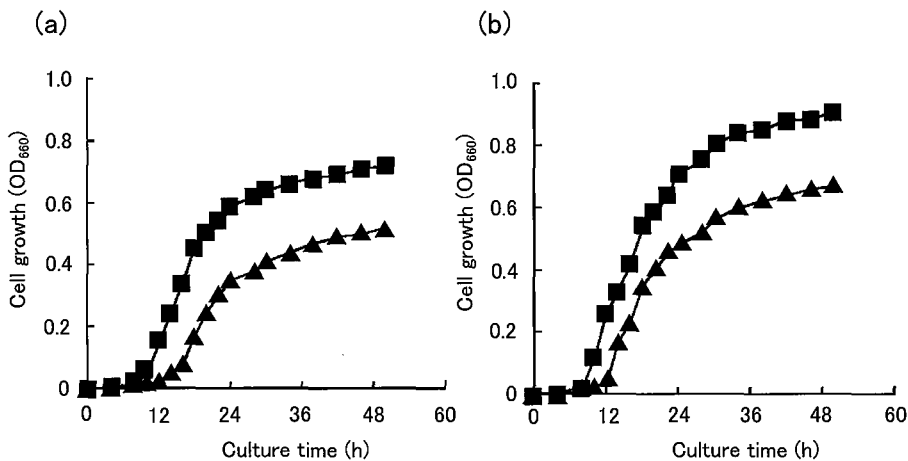
Pichia anomala はオフフレーバーである酢酸エチルを高生産する食品中の有害酵母として知られている^{13,14)}。そこで、この *P. anomala* の高酢酸エチル産生能を利用し、清酒酵母に酢酸エチルを資化させ、吟醸香の一つである酢酸イソアミルに変換できないかと考えた。

清酒酵母と *P. anomala* の混合培養を行う場合、*P. anomala* の生存期間が長くなると、発酵産物に *P. anomala* の特徴である酢酸エチルの残存量が高くなる可能性があることから、酢酸エチル産生能が低く、

混合培養中に死滅しやすい変異株の分離が必要と考えた。*P. anomala*における酢酸エチル生産の意義は、エステル合成酵素の作用による優先的な酢酸とエタノールからの酢酸エチル生産とミトコンドリアでのNADH生産が共役していると考えられること、さらに*P. anomala*は酸素制限下で酢酸エチルを高生産すること¹⁵⁾が知られていることから、呼吸欠損株を分離すれば、酢酸エチル産生能の低い株が得られると推測し、*P. anomala* NBRC10213の変異株EAL-6を分離した¹⁶⁾。炭素源がグルコースの場合、親株と変異株は生育にほとんど差はないが、第1図に示すように、炭素源をエタノール及びグリセロールとした場合、変異株は親株よりも生育が遅いことから呼吸活性の漏出

変異株であることがわかる。また、高糖濃度培地における清酒酵母との混合培養で、変異株は親株よりも早期死滅することを確認した。

混合培養による清酒小仕込試験は、きょうかい酵母901号(K-901)と*P. anomala* NBRC 10213及びその変異株EAL-6を用いて、総米500g、清酒酵母と*P. anomala*の混合比は1:1、発酵温度は15℃一定で行った。その一般成分及び香気成分分析結果を第1表及び第2表に示す。*P. anomala*の純粋培養では、酢酸エチルの濃度が極めて高いが、混合培養では*S. cerevisiae*の純粋培養とそれほど差はなかった。このことは*P. anomala*の酢酸エチル産生能が変化したのか、あるいは清酒酵母が酢酸エチルを代謝し別の物質へ変



第1図 YPE培地(a)及びYPG培地(b)での親株*P. anomala* NBRC10213(■)及びその変異株EAL-6(▲)の生育曲線

YPD培地で好氣的に30℃、24時間培養した菌液を、初発菌体濃度が約 10^5 個/mlとなるように炭素源がエタノールのYPE培地及び炭素源がグリセロールのYPG培地に植菌し、振とう速度30rpm、培養温度30℃で培養した。生育度は660nmの濁度により測定した。

第1表 K-901及び*P. anomala*の純粋培養及び混合培養による製成酒の一般成分

	日本酒度	アルコール (%)	酸度 (ml)	アミノ酸度 (ml)
K-901	- 10.5	17.0	1.9	2.1
<i>P. anomala</i> (NBRC 10213)	Be 9.0	4.8	3.9	2.8
<i>P. anomala</i> (EAL-6)	Be 11.4	2.1	4.9	2.6
K-901 + <i>P. anomala</i> (NBRC 10213)	- 10	17.0	2.2	2.3
K-901 + <i>P. anomala</i> (EAL-6)	- 10.5	17.2	2.0	2.3

第2表 K-901 及び *P. anomala* の純粋培養及び混合培養による製成酒の香気成分

	酢酸エチル (ppm)	酢酸イソアミル (ppm)	イソアミル アルコール (ppm)	カプロン酸 エチル (ppm)
K-901	121	4.62	158	0.58
<i>P. anomala</i> (NBRC 10213)	1500	2.41	64	ND
<i>P. anomala</i> (EAL-6)	830	2.36	40	ND
K-901 + <i>P. anomala</i> (NBRC 10213)	92	2.50	166	0.71
K-901 + <i>P. anomala</i> (EAL-6)	138	7.38	165	0.64

換したことが推測される。いずれにしても、混合培養中では必ずしもそれぞれの酵母の持つ特徴がそのまま酒質に反映されるわけではないと言える。酢酸イソアミルの濃度については *P. anomala* の変異株との混合培養で *S. cerevisiae* の純粋培養よりも高い値を示した。しかしながら、親株の *P. anomala* では逆にその濃度は減少した。このことは、親株と変異株での酢酸エステル分解エステラーゼ活性を比較すると、変異株のその活性が低いことが一つの要因と考えられる¹⁶⁾。加えて、清酒の一般成分分析では、*S. cerevisiae* の純粋培養と混合培養ではほとんど差はなく、ややアミノ酸度が高い傾向にあった。

以上のように、清酒酵母と *P. anomala* との混合培養によって、酢酸イソアミル含量の高い清酒が製造できた。

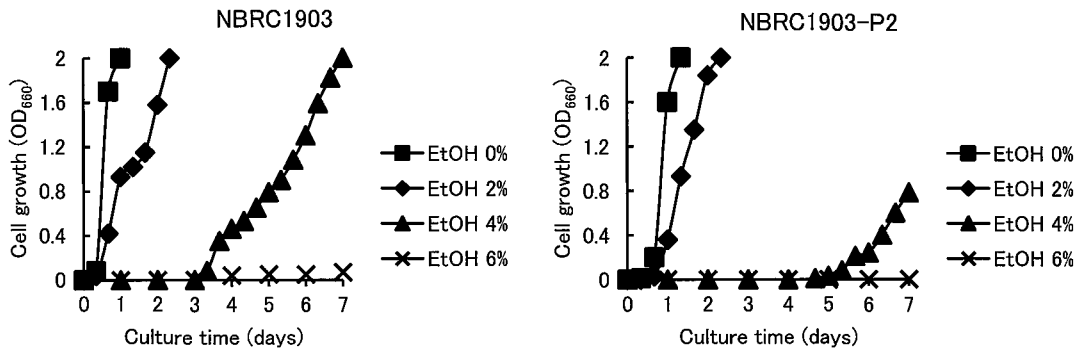
2.2 味の多様化

筆者らは、馬乳酒の製造に利用されている乳糖資化性の *Kluyveromyces* 属酵母の *K. lactis* が、高糖濃度培地における清酒酵母との混合培養で、清酒酵母より早く死滅することを明らかにした¹⁷⁾。この混合培養を用いた清酒製造中では、*K. lactis* のアミノ酸やペプチド等を含む菌体内内容物がもろみへ流出することが想定される。アミノ酸とペプチドの含有量及びそのバランスは、清酒の味を特徴づける重要な因子であることから、この混合培養によって酒質の多様化が図れないか考えた。

もろみに流出する *K. lactis* の菌体内内容物の量や組成は、その死滅時期や細胞内アミノ酸プールに影響されると考えられる。そこで、*S. cerevisiae* において、

そのエタノール耐性は液胞の機能と深く関連している¹⁸⁾とされていることから、*K. lactis* についても液胞内に局在するプロテアーゼ活性の低下した変異株を分離することができれば、よりエタノール耐性が低く、もろみでより早期に死滅する株が取得できると考えた。そこで、*K. lactis* NBRC1903 を親株として、そのカルボキシペプチダーゼ Y 活性の低い変異株 NBRC1903-P2 を分離した¹⁹⁾。第2図に示すように、エタノール存在下での変異株の生育は親株よりも低下していた。また、カルボキシペプチダーゼ Y は液胞内の遊離アミノ酸の生成に関わる酵素であることから、変異株の細胞内アミノ酸の総量は親株の約 56% と低下し、そのアミノ酸の構成比も親株とは大きく異なっていた (第3表)。

混合培養による清酒小仕込試験は、三重県酵母 MK-5 と *K. lactis* NBRC1903 及びその変異株 NBRC1903-P2 を用いて、総米 1kg、清酒酵母と *K. lactis* の混合比は 1:1、発酵温度は 15℃ 一定で行った¹⁹⁾。その一般成分分析結果を第4表に示す。グリセロール含量について、親株と変異株の混合培養で差があり、変異株 (仕込3号) の方が高かった。次に、親株と変異株のもろみでの死滅時期の違い及び細胞内アミノ酸プールの違いがどのように酒質に影響するかを調べるため、製成酒の遊離アミノ酸及びペプチドを測定した結果を第5表に示す。アミノ酸及びペプチドは、混合培養の製成酒でやや高かった。これは、*K. lactis* の死滅による菌体内内容物のもろみへの流出が要因と考えられる。親株に比べて変異株のアミノ酸及びペプチドが少なかったのは、変異株は親株よりエタノ



第2図 各エタノール濃度のYPD培地での親株 *K. lactis* NBRC1903 及びその変異株 NBRC1903-P2 の生育曲線
 YPD培地で30℃、48時間静置培養した菌液を、初発菌数濃度が約 10^5 個/mlとなるように各エタノール濃度(■, 0%; ◆, 2%; ▲, 4%; ×, 6% v/v)のYPD培地に植菌し、振とう速度30rpm、培養温度30℃で培養した。生育度は660nmの濁度により測定した。

第3表 清酒酵母 MK-5 及び *K. lactis* の細胞内アミノ酸濃度

アミノ酸 ($\mu\text{mol/g cell dry weight}$)	MK-5	<i>K. lactis</i> NBRC 1903	<i>K. lactis</i> NBRC 1903-P2
アスパラギン酸	7.8	8.1	3.4
トレオニン	13.9	16.8	10.1
セリン	17.9	2.2	4.0
グルタミン酸	140.2	106.8	55.8
プロリン	64.4	11.3	11.9
グリシン	35.3	2.4	4.1
アラニン	128.6	75.1	26.9
バリン	21.4	2.1	1.3
メチオニン	1.8	0.5	-
イソロイシン	6.6	0.6	0.5
ロイシン	8.3	1.4	1.8
チロシン	2.6	1.3	0.3
フェニルアラニン	4.9	3.3	2.3
ヒスチジン	36.3	28.6	9.7
リジン	32.2	7.2	13.1
アルギニン	23.4	15.1	11.9
合計	545.6	282.8	157.1

第4表 純粋培養及び混合培養による製成酒の一般成分分析

使用酵母	日本酒度	アルコール (%)	酸度 (ml)	アミノ酸度 (ml)	グルコース (g/l)	グリセロール (g/l)
仕込1号 MK-5	- 10	19.8	3.52	2.85	41.5	9.52
仕込2号 MK-5 + <i>K. lactis</i> NBRC 1903	- 10	20.6	3.58	2.81	42.6	9.82
仕込3号 MK-5 + <i>K. lactis</i> NBRC 1903-P2	- 9	20.5	3.70	2.78	40.1	10.7

第5表 純粋培養及び混合培養による製成酒のアミノ酸、ペプチド及び蛍光強度

	アミノ酸 ($\mu\text{mol}/\text{ml}$)	ペプチド ($\mu\text{mol}/\text{ml}$)	ペプチド/アミノ酸 (%)	ANS 蛍光強度
仕込1号	31.3 \pm 1.8	12.0 \pm 3.4	38.2 \pm 8.8	9418 \pm 1842
仕込2号	33.7 \pm 3.2	13.1 \pm 4.9	38.4 \pm 10.8	11295 \pm 3041
仕込3号	33.4 \pm 6.4	12.4 \pm 4.3	36.6 \pm 5.8	10988 \pm 3164

ール存在下での生育が低く、もろみ中の総菌数が親株より少ないことが考えられる。アミノ酸及びペプチド量の比については、混合培養の親株（仕込2号）が最も高く、変異株（仕込3号）が最も低い値であった。次に、清酒の苦味はペプチドに由来する²⁰⁾との報告があり、最近では、ペプチド濃度とANS蛍光強度との間に正の相関があることが報告されている²¹⁾。ANSは疎水物質と結合すると蛍光を呈する試薬である。製成酒のANS蛍光強度を測定したところ、ペプチド量と比例してANS蛍光強度も親株（仕込2号）が最も高く、清酒酵母の純粋培養（仕込1号）が最も低い値となった（第5表）。なお、製成酒の香り成分、有機酸については、純粋培養と混合培養で明らかな差は認められなかった。官能評価の結果は、第6表に示すように、混合培養の製成酒は苦味が強いという特徴があった。親株（仕込2号）は最も苦味が強く、味の調和も悪かったため、総合評価が最も低かったが、変異株（仕込3号）は苦味があるものの、味の調和が良く、純粋培養の製成酒に並ぶ総合評価を得た。これは、変異株の製成酒はグリセロール含量が最も高く、また、アミノ酸に対するペプチド量が最も低かったことによるものと推測される。

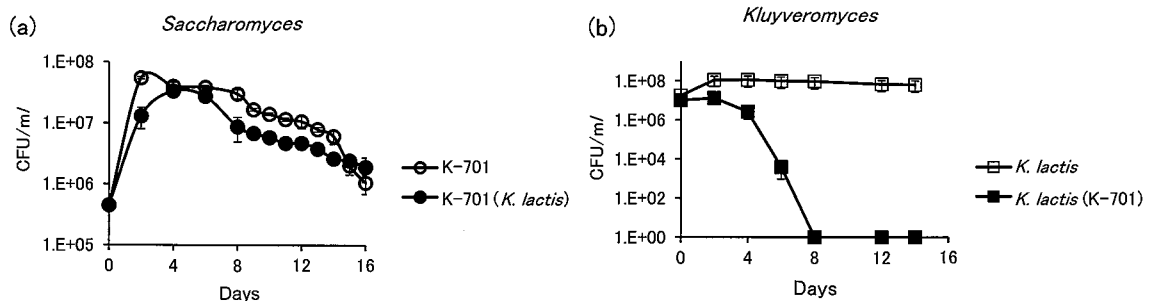
以上のように、清酒酵母と *K. lactis* との混合培養

によって、苦味を特徴とする清酒が製造できた。

3. 異種酵母混合培養がもたらす清酒酵母への効果

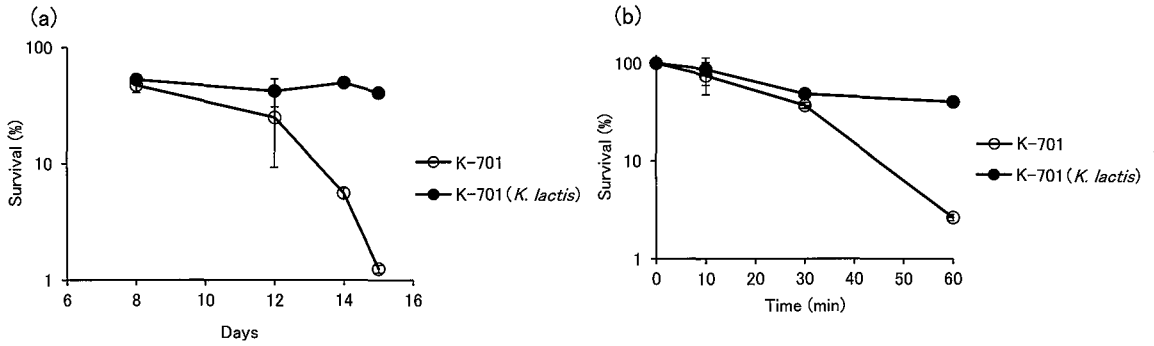
前項で、清酒酵母との混合培養で酒質に影響を及ぼすことが明らかとなった *K. lactis* は、*Lactobacillus paracasei* との混合培養で、*L. paracasei* の純粋培養よりも *L. paracasei* の生育と乳酸生成を増加させることが報告されている²²⁾。そこで、清酒酵母との混合培養においても、清酒酵母に何らかの影響を及ぼしているのではないかと考え、清酒酵母のエタノール耐性に着目し、調べることにした¹⁷⁾。

きょうかい酵母701号 (K-701) と *K. lactis* NBRC1903 を用い、グルコース20%のYNB培地 (YNB20) において、培養温度30°Cで純粋培養及び混合培養の発酵試験を行った。発酵期間中の生育曲線を第3図に示す。混合培養の清酒酵母は、純粋培養よりも発酵後期での死滅が比較的に緩やかであった。一方、混合培養の *K. lactis* は培養8日目まで完全に死滅した。*K. lactis* が死滅した培養8日目以降の清酒酵母について、温度25°Cで20%エタノール濃度の処理を行い、清酒酵母のエタノール耐性を調べたところ、第4図に示すように、培養12日目以降、純粋培養の清酒酵母は生存率が著しく低下したが、混合培養の清酒酵母は



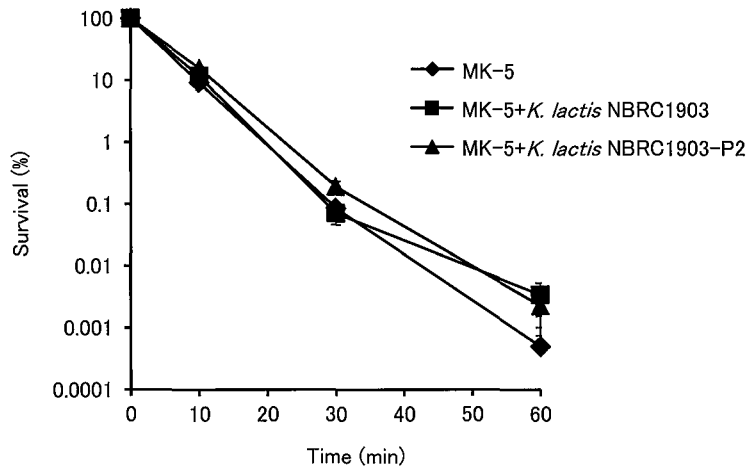
第3図 清酒酵母 K-701(a)及び *K. lactis* NBRC1903(b)の YNB20 培地での純粋培養(○, □)及び混合培養(●, ■)中の生菌数

YNB 培地で 30°C、48 時間静置培養した菌液を、初発菌数濃度が約 10^6 個 / ml となるように YNB20 培地に植菌し、30°C で静置培養した。生菌数は YPD 寒天培地及び YNBL 寒天培地を用いて計測した。



第4図 清酒酵母 K-701 のエタノール耐性

YNB20 培地で 30℃、静置での純粋培養(○)及び *K. lactis* NBRC1903 との混合培養(●)中の K-701 について、培養温度 25℃で 20%(v/v)エタノール処理を行い、YPD 寒天培地で生菌数を計測した。(a)は各培養日数におけるエタノール処理時間 60 分での生存率を示す。(b)は培養 15 日目における各エタノール処理時間での生存率を示す。



第5図 留添後 20 日目のもろみ中の清酒酵母 MK-5 のエタノール耐性

純粋培養(◆), *K. lactis* NBRC1903 との混合培養(■)及び *K. lactis* NBRC1903-P2 との混合培養(▲)のもろみから分離した酵母菌体に対して 30℃で 22% エタノール(v/v)処理を行い、YPD 寒天培地で生菌数を計測した。

40%以上の生存率を保っていた。この結果から、清酒酵母は *K. lactis* との混合培養によってエタノール耐性が向上し、発酵後期の清酒酵母の死滅が抑えられることが明らかになった。また、培養液中の代謝産物を調べたところ、清酒酵母の純粋培養と比べて混合培養ではグリセロール含量が高く、アラニン含量が少ないという特徴が認められた。グリセロールは、エタノールストレスにおける誘導物質であり²³⁾、一方、アラニンの生成はグリセロールの生産を抑制することが知られていること²⁴⁾と清酒酵母のエタノール耐性が関連しているのかもしれない。このようにして、*K.*

lactis との混合培養により清酒酵母の代謝が変化し、そのエタノール耐性が向上したと考えられる。

もろみ中においても、高糖濃度培地での結果と同様に、*K. lactis* との混合培養によって清酒酵母のエタノール耐性が向上するか調べた¹⁹⁾。前項の三重県酵母 MK-5 と *K. lactis* NBRC1903 及びその変異株 NBRC1903-P2 を用いた小仕込試験において、留添後 20 日目のもろみ中の清酒酵母に対して、温度 30℃で 22% エタノール濃度の処理を行ったところ、清酒酵母の純粋培養よりも混合培養の方が清酒酵母の生存率が高く、エタノール耐性が向上したことが示された

第6表 純粋培養及び混合培養による製成酒の官能評価

	仕込1号	仕込2号	仕込3号
香り	3.1	2.7	3.0
苦味	3.6	1.7	2.3
味の濃淡	2.7	2.3	2.4
味の調和	2.9	4.1	2.6
総合評価	2.6	4.1	2.7

官能評価は7人のパネラーによって以下の基準にて5点法で行った。

香り, 味の調和, 総合評価: 1, 良い; 5, 悪い

苦味: 1, 強い; 5, 弱い

味の濃淡: 1, 重い; 5, 軽い

(第5図)。

以上のように, 清酒酵母と *K. lactis* との混合培養では, 清酒酵母のエタノール耐性が向上するという効果もたらされ, 異種酵母混合培養は, 清酒製造において酒質だけでなく, 清酒酵母の生理状態にも影響を及ぼすことが明らかになった。

4. 今後の展望

異種酵母混合培養は清酒の多様化に貢献しうる方法であることが明らかになったが, その実用化に向けてはさらなる研究が必要である。その研究の最重要課題は“制御された混合培養”の確立である。具体的には, 非清酒酵母の清酒酵母に対する混合比やその生育能, さらには非清酒酵母の生理学的特性及び代謝特性を理解した上で, 清酒の品質に大きな影響を与える仕込配合や温度管理に注目した検討等が必要であろう。今回紹介した *P. anomala* と *K. lactis* は, いずれも取得した変異株との混合培養の方が酒質に好ましい結果をもたらした。単に非清酒酵母を選択するだけでなく, このように目的に応じた変異株を取得することも重要と考えられる。さらに, 培養方法も検討すべきである。今回紹介した混合培養は, 別々に酵母を立て, もろみで混合したが, 酵母で混合する方法もある。最近になって, *S. cerevisiae* は以前に獲得したストレス抵抗性を記憶し, さらなるストレス条件下でより迅速に遺伝子発現し, その抵抗性を示す能力があることが明らかにされた²⁵⁾。このことから, 酵母の育成中, 例えば *K. lactis* との混合培養で付与された清酒酵母のエタノール耐性は, もろみにおいても, その能力が発揮されると推定される。また, もう一つの培養法の試みとし

て, 連続培養, 即ち初めに非清酒酵母を培養した後, 時間差を置いて主発酵酵母を添加する方法がある。言わば異なる酵母による二個配で, 実際, ワイン製造においては混合培養及び連続培養の影響について調査されており, 香り(アロマ)の向上を目的とした *C. stellata* の利用では, 混合培養と連続培養で異なる官能評価のワインが製造されるという報告¹¹⁾がなされている。以上, 述べたこれらのデータを蓄積し, 目的とする酒質に適したもろみ管理が可能な制御された混合培養法の検討が必要である。加えて, 異種酵母混合培養は酒質だけでなく清酒酵母の生理状態にも影響を及ぼしうることから, 混合培養中の酵母間の相互作用及び非清酒酵母の死滅後の清酒酵母への影響についての研究を深めることも不可欠であろう。

昨今, メタボロミクス, プロテオミクス, ゲノミクスなど, 科学の進歩は著しい。これらの新しい情報をいかに醸造学に応用できるかが, 新たな清酒の多様化への立案の鍵となろう。筆者らは, 異種酵母混合培養法を新しい発酵技術とした一つの清酒多様化例を紹介した。清酒は國酒であり, 日本の文化でもある。この文化を新しい時代へと伝えていくためにも, その時代の科学技術を利用し, 伝統技術を進化させていくことが大切と思う。より多くの方々に清酒を楽しんでもらえるよう, さらなる清酒の可能性を追い求めていきたい。

(三重県工業研究所)

参考文献

- 1) 吉田 清: 清酒酵母の研究 - 90年代の研究 -, 79-83, 清酒酵母・麹研究会 (2003)
- 2) 吉田 清, 稲橋正明, 中村欽一, 秋山裕一, 野白喜久雄: 醸協, **89**, (8), 647-651 (1994)
- 3) 栗田 修, 中林 徹, 坪内一夫: 醸協, **93**, (7), 555-561 (1998)
- 4) S. Ashida, E. Ichikawa, K. Suginami and S. Imayasu: *Agric. Biol. Chem.*, **51**, (8) 2061-2065 (1987)
- 5) 溝口(藤城) 弘子, 渡辺 陸, 永井英雄, 西村 顕, 近藤恭一: 醸協, **93**, (8), 665-670 (1998)
- 6) 神田晃敬, 三森智子, 松井菊恵, 浜地正昭, 本馬健光: 醸協, **85**, (6), 417-421 (1990)
- 7) 市川英治: 醸協, **88**, (2), 101-105 (1993)

- 8) 宮尾俊輔：醸協，103，(10)，742-749 (2008)
- 9) G.M. Heard and G.H. Fleet: *J. App. Bacteriol.*, 65, (1), 23-28 (1988)
- 10) N. Moreira, F. Mendes, P. Guedes de Pinho, T. Hogg and I. Vasconcelos: *Int. J. Food Microbiol.*, 124, (3), 231-238 (2008)
- 11) A. Soden, I.L. Francis, H. Oakey and P.A. Henschke: *Aust. J. Grape Wine Res.*, 6, (1), 21-30 (2000)
- 12) M.E. Toro and F. Vazquez: *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 18, (4), 347-354 (2002)
- 13) D. Kosse, H. Seiler, R. Amann, W. Ludwig and S. Scherer: *Syst. Appl. Microbiol.*, 20, (3), 468-480 (1997)
- 14) R. Lanciotti, M. Sinigaglia, F. Gardini and M.E. Guerzoni: *Microbiol. Res.*, 153, (2), 145-148 (1998)
- 15) E. Fredlund, L. M. Blank, J. Schnürer, U. Sauer and V. Passoth: *Appl. Environ. Microbiol.*, 70, (10), 5905-5911 (2004)
- 16) O. Kurita: *J. Appl. Microbiol.*, 104, (4), 1051-1058 (2008)
- 17) C. Yamaoka, O. Kurita and T. Kubo: *Microbiol. Res.*, 169, (12), 907-914 (2014)
- 18) D. Stanley, A. Bandara, S. Fraser, P. J. Chambers and G. A. Stanley: *J. App. Microbiol.*, 109, (1), 13-24 (2010)
- 19) 山岡千鶴, 栗田 修, 山崎栄次：醸協，109, (9), 679-686 (2014)
- 20) 橋爪克己：醸協，103, (8), 574-580 (2008)
- 21) 鈴木由佳, 金内 誠, 石堂智子, 森田 明, 下山田真, 坪田康信：醸協，107, (12), 923-930 (2012)
- 22) S. Ishii, M. Kikuchi, K. Muramatsu and S. Takao: *Anim. Sci. J.*, 70, (2), 81-89 (1999)
- 23) Y. Ogawa, A. Nitta, H. Uchiyama, T. Imamura, H. Shimoi and K. Ito: *J. Biosci. Bioeng.*, 90, (3), 313-320 (2000)
- 24) F. Radler and H. Schütz: *Am. J. Enol. Vitic.*, 33, (1), 36-40 (1982)
- 25) Q. Guan, S. Haroon, D. G. Bravo, J. L. Will and A. P. Gasch: *Genetics*, 192, (2), 495-505 (2012)

執筆者紹介 (順不同・敬称略)

奥田 徹 < Tohru OKUDA >

昭和 39 年 7 月 26 日生まれ<勤務先と所在地>山梨大学大学院総合研究部附属ワイン科学研究センター 〒400-0005 甲府市北新 1-13-1 <略歴>平成 5 年北海道大学大学院農学研究科農芸化学専攻博士課程修了, 同年山梨大学工学部助手, 平成 15 年山梨大学工学部助教授, 平成 21 年山梨大学大学院医学工学総合研究部教授, 現職に至る。<抱負>ワインの研究を通して, 製造技術の向上やおいしさの解明の一助となるように努力したい。<趣味>尺八演奏

山岡千鶴 < Chizuru YAMAOKA >

<勤務先と所在地>三重県工業研究所 〒514-0819 三重県津市高茶屋 5-5-45 <略歴>平成 24 年 3 月東京農工大学生物生産学科卒, 平成 25 年 4 月三重県入庁, 現在に至る。<抱負>微生物の声に耳を傾けながら, 醸造業界の発展に貢献していきたい。<趣味>スイーツ探索

栗田 修 < Osamu KURITA >

<勤務先と所在地>三重県工業研究所 〒514-0819

三重県津市高茶屋 5-5-45 <略歴>昭和 58 年 3 月京都大学大学院農学研究科食品工学専攻修士課程修了, 同年 4 月不二製油(株)入社, 昭和 61 年 4 月三重県入庁, 平成 15 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科生物機能工学専攻博士 (工学) 取得, 現在に至る。<抱負>地球人として, 発酵分野に関する研究で貢献し, 海外の研究者と積極的に交流を図っていきたい。<趣味>錦鯉鑑賞

齋藤知明 < Tomoaki SAITO >

昭和 36 年 11 月 11 日生まれ<勤務先と所在地>地方独立行政法人青森県産業技術センター弘前地域研究所 〒036-8363 弘前市袋町 80 <略歴>昭和 62 年弘前大学大学院農学研究科修士課程修了, 同年青森県工業試験場技師, 平成 21 年青森県産業技術センター弘前地域研究所研究管理員, 現在に至る。<抱負>時代に合った醸造技術の進歩に貢献したい。個人的には休肝日なして肝機能を健全に維持したい。<趣味>リンゴづくり, DIY