

前回は、清酒酵母について紹介しました。今回は、ビール酵母とワイン酵母です。最近になって海外での清酒への関心が高まり輸出量も増加傾向ですが、海外の製造場はわずかであり未だ地域性の高い酒類です。一方、ビールとワインは世界各地で醸造され、いずれも製造量、消費量共に清酒とは桁が違いに大きく、また、それぞれに独自の世界観が形成されています。酵母の研究者や技術者も清酒よりも格段に多く、様々な知見が蓄積されています。特に、遺伝的な背景に関する研究はこの数年で飛躍的に進みました。

●▲■ ビール酵母（上面酵母と下面酵母の違い）

ビール酵母は、主発酵時の挙動により上面酵母と下面酵母に大別されます。上面酵母はエール酵母、下面酵母はラガー酵母とも呼ばれます。これらは生物学上の分類が異なり、前者は多くの醸造用酵母と同じく *Saccharomyces cerevisiae* に、後者は *S. pastorianus*（パストリアヌス）に分類されます。主発酵中の挙動が異なることから、上面、下面のように区別されています。

上面酵母は発酵が進むと炭酸ガスと共に発酵麦汁の表面に浮いてきます。下面酵母は発酵開始当初は発酵麦汁液中を漂っていますが、発酵後期になると菌体同士が凝集し、タンクの底へ沈んでいきます。この下面酵母で見られる凝集は、細胞表層のレクチン（糖結合タンパク質）の違いによるもので、発酵が進んで発酵麦汁中の糖分が少なくなると、酵母細胞の表層にある多糖を認識して相互に結合し合うためです。凝集した酵母はタンク底部から効率的に回収されますが、若ビールの後発酵のため一部の酵母は浮遊している必要があります。すなわち凝集性は強過ぎて弱すぎてもだめで、適度な凝集性を保つことが下面酵母の菌株の管理上の重要な指標となっています。上面酵母を回収する場合は、小規模な開放タンクの場合は液面に浮いてきたものをスキミング（すくい取る）しますが、大規模なタンクの場合はそう簡単にはいきません。実は、上面酵母も発酵が終了すると、炭酸ガスと分離し徐々にタンクの底に沈んでいき、緩い沈殿を形成するので、下面酵母と同様に回収するのだそうです。

上面酵母と下面酵母のもう一つの違いは低温での発酵性です。上面酵母は 10℃以下の低温では発酵が緩慢になりますが、下面酵母はよく発酵します。そこでビールの主発酵温度は、上面酵母が 15～25℃なのに対し、下面酵母は 5～10℃の低温となっています。この低温での発酵は、微生物汚染の抑止に有効であるとともに、下面発酵ビールの風味を形成する要因の一つになっており、下面酵母の最大の特徴といえます。とはいえ、下面酵母は、低温だけでなくより高い温度での発酵も可能で、一般的ではありませんが、下面酵母を用いて上面ビール並みの温度で主発酵を行い、上面ビールのような華やかな香りを有する下面ビールも存在します。

上面酵母も下面酵母も種は違うものの、目視による形態的な識別は困難です。実用醸造特性においては顕著な違いを示すので、これにより識別は可能ですが、より簡便にはメリビオースなどオリゴ糖の資化能の違いを利用できます。上面酵母と下面酵母の違いについては、表1にまとめました。

●▲■ ビール酵母（上面酵母の遺伝的背景）

上面酵母が属する *S. cerevisiae* については、様々な菌株が分離され醸造分野で利用されています。それぞれの菌株の遺伝的な系統と、分離環境・用途、地理的由来との関係については、専門家

表1 上面酵母と下面酵母の違い

	上面（エール）酵母	下面（ラガー）酵母
学名	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Saccharomyces pastorianus</i>
発酵中の挙動	炭酸ガスと共に表面へ浮き上がる	発酵が進行すると、固く凝集し、沈降する
凝集性	弱い	強い
発酵温度	15～25℃	5～10℃
低温発酵性	弱い	強い
メリビオース資化能	なし	あり
ラフィノース資化能	1/3 発酵	完全発酵
ビールのタイプ	エール、スタウト、アルト、ケルシュ、ワイスなど	ピルスナー、ボック、ミュンヒナー、ドルムンダーなど

ばかりでなく酵母を利用する立場からも大きな関心が寄せられています。DNA 解析技術の革命的な進歩により、遺伝的な系統解析についてはこの 10 年間で大きく進展しました。

最近の多数の実用菌株を用いた解析から、上面酵母については大きく2つの系統が存在することがわかりました。各種醸造用酵母の相対的な系統関係は図1に示しています。このうちの系統群1は、分離された地域によりアメリカ系、イギリス系、ベルギー/ドイツ系の亜系統からなっています。系統群2は系統群1とは遺伝的な距離があり、ワイン酵母とより近い関係にあります。系統群2もいくつかの亜系統からなりますが、分離源の地域との関係はないようです。Galloneらによれば、系統群1と系統群2の菌株は、それぞれ共通祖先から分岐したことになります。系統群1に関する根拠の一つとして、系統群1の菌株は染色体の倍数性が高く大部分が四倍体であることが挙げられます（酵母は通常は二倍体）。四倍体細胞は二倍体細胞同士の接合によって生じますが、自発的に生じる頻度は極めて低いことから、系統群1は一つの四倍体細胞を共通祖先として系統分化してきたと考えるのが合理的です。なお、推定分岐時期は 1600 年頃、1650 年頃と比較的最近のことです。ビール醸造に適した優良菌株が選抜され、各地に広まって使用されるうちに遺伝的な多様化が進んだと考えられます。また、系統群1及び2ともに、ワイン酵母の系統群よりも遺伝的な多様化の程度が大きいようです。

●▲■ ビール酵母（下面酵母の分類事情）

上面酵母は従来からビール醸造に用いられていたのに対し、下面酵母は中世になってからビール醸造に利用されるようになりました。15 世紀にドイツ・バイエルン州で下面酵母による低温発酵が行われるようになったというのが定説ですが、同じくバイエルン州で 14 世紀には行われていたという説もあるようです。

1883 年になって、カールスバーグ研究所（デンマーク）のハンゼンによって下面酵母菌株の純粋分離が成し遂げられ、得られた優良菌株は当初 *S. carlsbergensis*（カールスベルゲンシス）と命名されました。その後紆余曲折があつて、*S. uvarum*（ウバラム）、*S. cerevisiae* と変遷しましたが、現在は上述のように *S. pastorianus* で決着がついています。実は *S. pastorianus* は、元はハンゼンがビールの汚染菌（要は不良野生菌株）として報告したものです。しかし 1987 年に DNA の相同性から *S. carlsbergensis* と *S. pastorianus* とは同種とわかりました。当時のビール技術者は *S. carlsbergensis* の名に愛着があつたかもしれませんが、*S. pastorianus* の方が正式な報告が数年早かつたことから、命名のルールによって現在の分類名になりました（表2）。

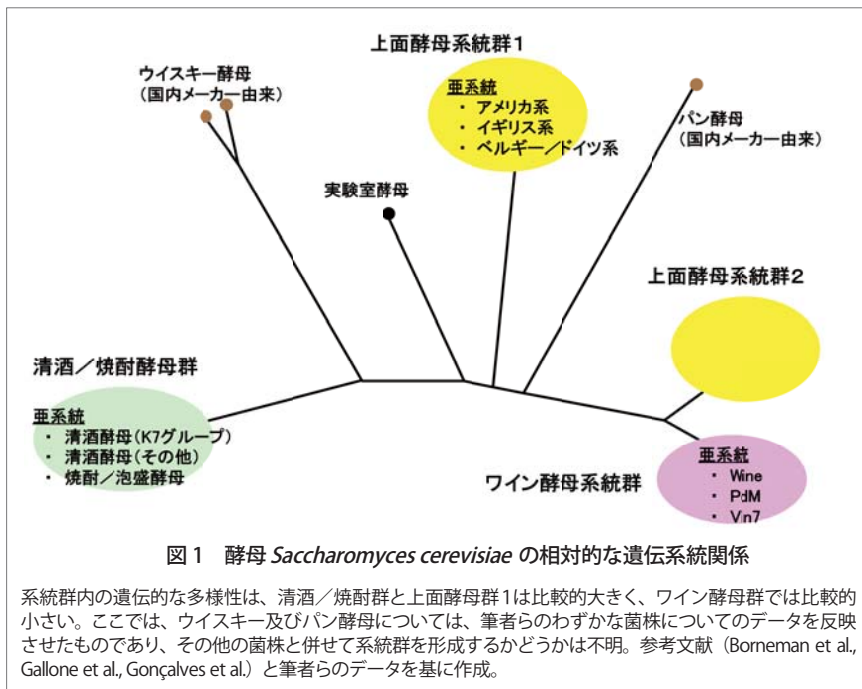


図1 酵母 *Saccharomyces cerevisiae* の相対的な遺伝系統関係

系統群内の遺伝的な多様性は、清酒/焼酎群と上面酵母群1は比較的大きく、ワイン酵母群では比較的小さい。ここでは、ウイスキー及びパン酵母については、筆者らのわずかな菌株についてのデータを反映させたものであり、その他の菌株と併せて系統群を形成するかどうかは不明。参考文献 (Borneman et al., Gallone et al., Gonçalves et al.) と筆者らのデータを基に作成。

表2 下面酵母の来歴と分類

年代	出来事
15世紀	ドイツ・バイエルン州で下面酵母を用いた低温発酵ビールの製造が始まる。
1870年	(下面酵母が <i>Saccharomyces pastorianus</i> として記載される。)
1846年	前年にミュンヘンの醸造所から譲渡された下面酵母を用いて、デンマークでカールスバーグ醸造所が操業開始。
1883年	カールスバーグ研究所のハンゼンが下面酵母菌株の純粋分離に成功し、カールスバーグ下面酵母 No. 1 と命名。
1904年	ハンゼンが下面酵母の別の菌株 (不良なもの) を <i>S. pastorianus</i> として正式に報告。
1908年	ハンゼンがカールスバーグ下面酵母 No. 1 について、 <i>S. carlsbergensis</i> として正式に報告。
1970年	糖の発酵性に基づき、 <i>S. uvarum</i> に分類される (The Yeasts 第2版)。
1984年	DNAの相同性や接合性により、 <i>S. cerevisiae</i> に分類される (The Yeasts 第3版)。
1985年	DNAの相同性により、 <i>S. cerevisiae</i> と <i>S. bayanus</i> の異質融合体であるとされる。
1987年	DNAの相同性により、 <i>S. pastorianus</i> に分類される。
1998年	<i>S. pastorianus</i> に分類 (The Yeasts 第4版)。
2011年	<i>S. pastorianus</i> に分類 (The Yeasts 第5版)。
2011年	独立した野生種として <i>S. eubayanus</i> が発見され、 <i>S. cerevisiae</i> と <i>S. eubayanus</i> が異質ハイブリッドを形成し、 <i>S. pastorianus</i> の最初の菌株が出現したと提唱される。

注1) *S. pastorianus* の名は1870年には記載されているが、現在から見ると特定の菌株ではなく、「下面酵母」という複合微生物系だったことがわかる。
 注2) The Yeasts: あらゆる酵母の分類学の成果を集大成した書。

●▲■ ビール酵母 (下面酵母の遺伝的背景)

同じ頃のDNAの相同性の研究から、下面酵母の遺伝的背景について非常に重要なこと、すなわち *S. pastorianus* は、*S. cerevisiae* と別の近縁種 (非 Sc) とが異質ハイブリッドを形成したものであることが明らかとなりました。当初、非 Sc については *S. bayanus* (バヤヌス) であると提唱されました。その後、別にいくつかの候補種も提唱されましたが、一時は *S. bayanus* で落ち着きました。しかしその後、判断の基準となった *S. bayanus* の菌株もそれ自身がハイブリッドと判明し、非 Sc の謎は残りました。ところが、冷涼な地である南米パタゴニアのブナの木の子菌から分離された野生酵母が *S. bayanus* と相同の配列を有する新しい独立種であったことが2011年に報告され、この種は *S.*

eubayanus (ユーバヤヌス) と命名されました。「ユーバヤヌス」とは「真正バヤヌス」という意味です。そして、この *S. eubayanus* は、全ゲノム配列に基づいて非 Sc の有力な候補として提唱され、このことは、現在広く受け入れられるに至っています。その後、*S. eubayanus* は世界各地から分離され、非 Sc はそのうちのアジア型の亜系統だと考えられています。また、*S. cerevisiae* は低温発酵性が低く、*S. eubayanus* は低温発酵が高い酵母ですので、下面酵母の低温発酵性の高さは *S. eubayanus* に由来するものといえます。

●▲■ ビール酵母 (下面酵母の遺伝的系統)

現在、下面酵母はDNA解析の結果に基づきグループ1 (ザーツ型) とグループ2 (フローバーク型) の2系統に分類されています。ザーツ型、フローバーク型という区分は元々は発酵度の違いを表していましたが、現在では各系統群の通称となっているようです。グループ1には、ハンゼンが下面酵母として初めて分離・報告した "*S. carlsbergensis*"

や、汚染菌として分離・報告した *S. pastorianus* の標準株が含まれます。グループ2には、ミュンヘン工科大学が管理・分譲する Weihenstephan34/70 (W34/70) 株を含みます。歴史的にはハンゼンの "*S. carlsbergensis*" が重要ですが、現在下面酵母として広く実用に供され産業的に重要なのは、W34/70 (及びその派生株) です。これら2つの系統を比較すると、グループ1で *S. cerevisiae* 型のDNAの含量が低いという違いがあります。共通の祖先ハイブリッドに由来するのかどうか (つまりハイブリッド形成が起こったのは一回なのか複数回なのか) について、諸説が出されています (図2)。これについては研究者の関心事ですので、今後何らかの結論が出ると期待されます。

●▲■ ビール酵母の育種と実用菌株

発酵が酵母によるものだとわかる以前、ビール醸造の現場では主発酵後に得られる滓を次の麦汁に添加すると発酵がよいことに気づいていたそうです。その中で、各地で、優れた醸造特性、官能特性を示す優良な菌株を含んだ滓が選抜・継承されていき、現在の優良菌株のソースになったと想像します。

新しい菌株の育種に関しては、古典的ですが自然突然変異体の分離が主たる方法と聞きます。つまり、自然の摂理として、菌株は継代されていくうちに遺伝的な変異が蓄積し醸造特性も変化していきますので、そこから新しい特性を持った菌株を分離し直すわけです。人為的な突然変異導入は、好ましくない変異が予期せず導入されることもあり、あまり用いられていないようです。実用ビール酵母菌株の要件の主なものを挙げると以下のとおりです。

- 優れた増殖性、糖の資化性、アルコール生産性
- 適度な発酵度
- 適度な凝集性 (下面酵母)
- 優れた遺伝的安定性
- 優れた官能特性

大手ビール会社では、自社で大規模な酵母のカルチャーコレクションを持ち、そこから目的に合った菌株や新しい菌株を選抜しているようです。小規模な醸造所の場合は、優良菌株の供給業者を利用するのが一般的でしょう。これらの業者は、各地のカルチャーコレクションなどから菌株を収集し、独自に選抜をするなどしたものを供給していますが、各菌株の醸造特性についても詳細な情報

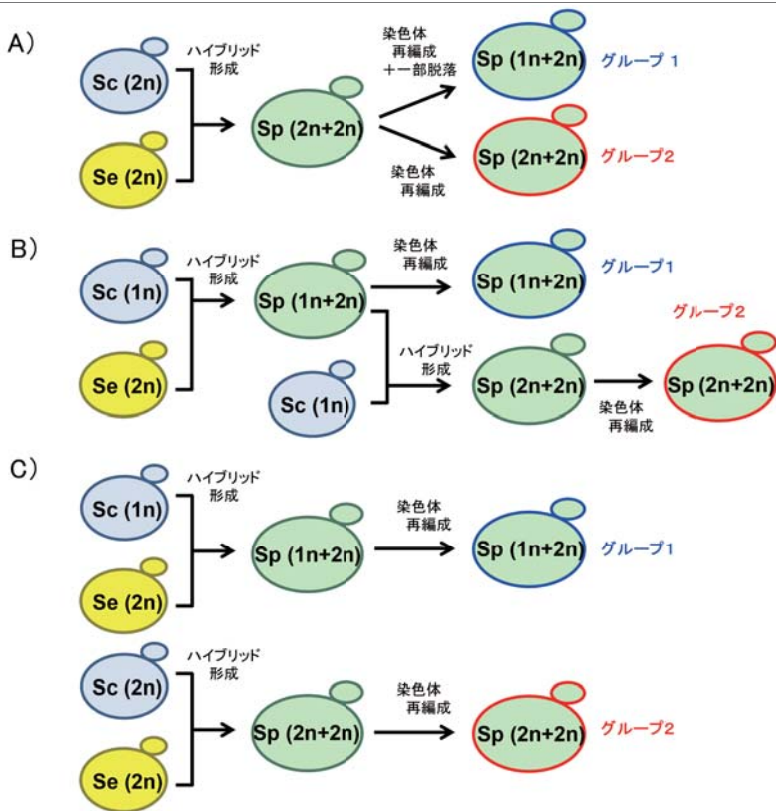


図2 下面酵母のグループ1及び2の形成モデル

Sc: *S. cerevisiae*, Se: *S. eubayanus*, Sp: *S. pastorianus*, 2n: 二倍体, 1n: 一倍体; A) 二倍体同士のハイブリッド形成後、染色体脱落と染色体再構成により2つのグループに分化。B) 一倍体と二倍体のハイブリッド形成2回と染色体再構成によりグループ分化。C) 独立したのハイブリッド形成と染色体再構成により2つのグループが別々に形成。(Okuno et al.)などを参考に作成。

を提供しています。文面やデータからだけではなく、実際に使ってみないと本当のところはわからないでしょうが参考にはなると思っています。

ビール酵母の項の最後に下面酵母の育種に関して、興味深い例を紹介します。*S. pastorianus* の遺伝的な起源が明らかになったことを受け、最近新たに上面酵母と *S. eubayanus* から胞子を分離、交配をし、*S. pastorianus* と似た異種ハイブリッドを造成したという論文が出版されました。そこでは期待されたとおり両方の親株の特徴を併せ持ち、低温発酵性に優れ、凝集性を持った菌株が得られています。現存の実用下面酵母菌株の場合、交配育種が困難ですが、同じ種の親からこのように新しくハイブリッドを形成させるとするのは将来有望な育種方法になるかもしれません。

●▲■ ワイン醸造における野生酵母と培養酵母

かつてはどんな種類のお酒でも、たとえ知らぬ間に飼いやられていたにせよ、酵母が菌株として管理されていないという意味において、自然発酵によって造られていました。しかし、酵母の単一菌株の純粋培養技術が確立されて以降は、健全な発酵と酒質の安定化のために、優良菌株を添加することが普通になっています。ところがワイン醸造においては、優良菌株がたくさん出回っている一方で、未だに酵母無添加による自然発酵を行うワイナリーが数多く残っています。原料ブドウの微生物叢についてはよく調べられていて、数多くの酵母や細菌が棲息することがわかっています。酵母無添加の果醪（マスト）の場合、酵母は非 *Saccharomyces* 属が多く、*S. cerevisiae* は少数派です。高糖濃度、低 pH で亜硫酸が存在するマスト環境下で、微生物叢が変遷しながらゆっく

りとアルコール発酵が進行していきますが、アルコールが5%程度に達すると非 *Saccharomyces* 属は淘汰され、*S. cerevisiae* が優勢となり更にアルコール発酵が進みます。自然発酵の場合、初期の発酵の立ち上がりが遅くアルコール濃度が低い時期が続くことで、マスト中のアントシアニンなどのフェノール化合物と酸素の反応が進み、赤色の安定性とフェノール化合物の重合が促進されます。官能的には、自然発酵によるワインはよりストラクチャーが豊かであるといえます。非 *Saccharomyces* 属の酵母も発酵の前半で死んでしまいがちですが、官能特性に影響を与えていると考えられています。その一方で、ブドウの微生物叢は安定したものではなく、その年の天候や収穫時期の気温によって変化しますので、腐敗や発酵停止、あるいは発酵の結果が予期せぬものとなるリスクは常について回ります。

野生酵母による自然に任せた発酵、培養酵母による制御された発酵、そのどちらを選ぶかは、それぞれのワイン醸造家の考え方、大げさに言えばワイン造りの哲学によるものといえます。前者は旧世界の考え方であり、微生物叢がテロワールやビンテージの一部を構成する因子となります。新世界ではほとんどが後者を選択します。発酵初期の培養酵母の添加により、複雑な微生物叢の遷移を回避し、適切でリスクの少ない発酵が可能になります。

今日、ワインの品質はほぼブドウの品質で決まるという考え方が非常に広く流布していますが、培養酵母を使用する立場からは、ブドウのポテンシャルを酵母によってしっかり引き出すために酵母の選択は重要であるという発想になるようです。私見ですが、「ブドウの品質がすべて」というのは、自然発酵をよとする立場の発想ではないでしょうか。であれば、ブドウに棲息する微生物もブドウの品質に含まれると考えることができ、すっきりするように思えます。

●▲■ ワイン酵母菌株の実情

ワイン酵母菌株の純粋培養は、ハンゼンに学んだドイツ・ガイゼンハイム研究所のマルクスによって1888年に開始されました。ワイン醸造で培養酵母を使用する場合は、かつては種菌をあらかじめ増殖させる「酒母工程」が組み入れられていましたが、現在、世界的には乾燥酵母の利用が主流であり、酒母の必要性は少なくなっています。

酵母供給業者からは多種多様な菌株が頒布されています。一般には白ワインには低温発酵性、赤ワインには中温発酵性の菌株が適すとされますが、ワイナリーにおけるより適切な菌株選択の指標となるよう、供給業者からは、菌株の由来、発酵及び官能特性、オフフレーバー生産性、ブドウ品種とのペアリングなどの詳細な情報も提供されています。実用ワイン酵母を選択する上で、考慮すべき主な項目を以下に列挙します。

○発酵管理特性

- － 増殖・発酵速度
- － 低温発酵性
- － 高糖濃度耐性
- － エタノール耐性
- － 亜硫酸耐性の程度
- － キラー活性の有無
- － 乾燥耐性

○官能特性

- － 香気成分生産性

表3 きょうかいワイン酵母の菌株

開発機関	菌株名	年代	来歴・特徴
日本醸造協会	ブドウ酒 1号	1946年(頒)	従来、OC-2とされていたが、 実際は不明 高発酵性、高亜硫酸耐性
	ブドウ酒 2号※	1957年(報)	ブドウ酒 1号と清酒酵母 K6 の交配株 高亜硫酸耐性
	ブドウ酒 3号	1968年(頒)	醸造試験所で保存菌株から 選抜 (Johannisberger II 株) 白用、低温発酵性
	ブドウ酒 4号	1992年(頒)	ワインもろみ 山梨酵母 1954年(分) 低温発酵性、高亜硫酸耐性
東京大学	OC-2	1936年(分)	ワインもろみ(大阪府) 中温発酵性

分：分離年、報：報告年、頒：頒布開始年

※：現在は頒布されていない株

OC-2については、ブドウ酒 1号との関係が曖昧なため参考として記載。

－揮発酸低生産性

－オフフレーバー非生産性

さてこれまで日本では、いくつかの菌株が日本醸造協会や山梨県内機関などから頒布されてきましたが、やはり現在では、海外の業者が販売する乾燥酵母の利用も広まっているといえます。日本醸造協会の頒布株を表3にまとめました。このうちきょうかいブドウ酒 1号(KW1)については、元々OC-2と同一株とされてきましたが、生理特性や染色体多型など複数のデータから、少なくとも現在は、これらは近縁だが別の菌株と考えるのが適当です。また、KW3の元株であるJohannisberger II株については、すでに1901年の文献にその名がありますので、安定した菌株であることが窺えます。

●▲■ ワイン酵母の遺伝的背景

ワイン酵母の菌株には *S. cerevisiae* が多いですが、*S. bayanus* に分類されてきたものも少なくありません。また、しかし下面酵母の項目で触れたように、*S. bayanus* は複雑な遺伝的背景を持ち、菌株によって異質ハイブリッドもあればそうでないピュアな菌株もあり、分類群として考えることが難しくなっているといえましょう。DNA解析の進展により、ワイン酵母のうち *S. bayanus* とされた菌株の中にも、*S. cerevisiae* に分類されたものもあります。

ワイン酵母のうち、*S. cerevisiae* である様々な菌株についてもその遺伝系統が明らかになっています(図1)。上面酵母の項でも少し述べましたが、ワイン酵母の菌株はまとまった系統群を形成し、これは上面酵母のグループ2と比較的近縁です。上面酵母と比較すると系統内の遺伝的多様性は高くありません。また、いくつかの亜系統が存在しますが、このうちPdMとあるのは、Prise de Mouse(プリス・デ・ムース)を含む群です。この株は、EC1118とも呼ばれワイン酵母研究の標準的菌株の一つです。シャンパーニュに由来する株で高発酵力と高アルコール耐性を両立した興味深い菌株です。

●▲■ ワイン酵母のトピック2題

○非 *Saccharomyces* 属酵母の積極的利用

培養ワイン酵母といえば *Saccharomyces* 属ですが、新しい流れもあります。近年、マスト中から検出される非 *Saccharomyces* 酵母である *Torulaspora delbrueckii* (トルラスポラ・デルブリュッキ) と *Metschnikowia pulcherrima* (メッシュニコウィア・パルシェリマ) が乾燥酵母として市販されて

います。それぞれ *S. cerevisiae* との組合せで、ワインに特徴的な官能特性を付与すると謳われています。従来は野生酵母として扱われていたものですが、(実際の効果はわかりませんが) そのポジティブな役割を認識して発酵に取り入れることで発酵系は複合的なものとなります。より自然発酵に近い条件を人為的な制御の下で再現しようとするものであり、将来的な発酵技術の方向性として興味深く思います。

○遺伝子組換えワイン酵母の実用化

ワイン酵母の育種においても、他の醸造用酵母と同様に、発酵系や自然突然変異体から新しい菌株を選抜することが多いようですが、アメリカでは遺伝子組換えワイン酵母が既に実用化されています。ML01という菌株は、*S. cerevisiae* に他の酵母由来のリンゴ酸輸送体とマロラチック発酵(MLF)乳酸菌のMLF酵素の遺伝子を導入したものです。アルコール発酵とMLFとが並行して進行するため、短期間で発酵が終了します。安価なワインを効率的に製造したい場合には有効かもしれませんが、実際に使用しているワイナリーがあるのかわかりませんし、製品が日本に輸入されたという情報もありません。ワインは嗜好品ですから、造り手も取って使用することは少ないのではないかと想像しますし、日本では規制もある上、消費者の心理としても、それと知って受け入れるのはちょっと難しいのではないかと思います。

ビール、ワイン醸造用の実用酵母菌株に関する情報は、以下の酵母供給業者またはその代理店のウェブサイトを利用可能です。

Lallemand社：<https://www.sceeti.co.jp/ingredients/fermentation/>
WhiteLabs社：<http://www.whitelabs.com/yeast/tasting-room-data-depth>
Wyeast社：<http://mckinnoninternational.com/japanese/ingredients.htm>
Mauri社：<http://www.shinwa-fc.jp/products/australia.html>

謝辞

酒類総合研究所・日下一尊主任研究員、日本醸造協会・武藤貴史氏にいろいろとご教示いただきました。ここに感謝いたします。

(Text: T.Akao)

主な引用文献

- 高橋俊明：“清酒酵母の研究－80年代の研究－”，清酒酵母研究会，1992，p.56
尾形智夫：“清酒酵母の研究－90年代の研究－”，日本醸造協会，2003，p.158
村上満：“ビール世界史紀行”，東洋経済新報社，2000
宮地秀夫：“ビール醸造技術”，食品産業新聞社，1999
後藤昭二：“ワイン学”，産調出版，1991，p.91
後藤昭二：*Microbiol. Cult. Coll.*, 26, 137 (2010)
ジェイミー・グッド：“新しいワインの科学”，河出書房新社，2014
L. Pérez-Través et al, *PLOS ONE*, 9, e93729 (2014)
A. Walther et al, *G3*, 4, 783 (2014)
K. Krougerus et al, *J. Ind Microbiol. Biotechnol.*, 42, 769 (2015)
EC. Baker et al, *Mol. Biol. Evol.*, 32, 2818 (2015)
B. Gallone et al, *Cell*, 166, 1397 (2016)
M. Gonçalves et al, *Curr. Biol.*, 26, 1 (2016)
M. Okuno et al, *DNA Res.*, 23, 67 (2016)
AR. Borneman et al, *G3*, 6, 957 (2016)

赤尾 健(あかお たけし)

独立行政法人酒類総合研究所 醸造微生物研究部門 副部門長

QA? 本稿に関するご質問・ご意見等は、きた産業 (info@kitasangyo.com) にご連絡ください。筆者に転送いたします。