

黒麹菌近景

醸造微生物研究部門 山田 修

1. はじめに

黒麹菌 (*Aspergillus luchuensis*) やそのアルビノ変異株 (*Aspergillus luchuensis* mut. *kawachii*) は、泡盛や焼酎の製造に利用されている有用糸状菌＝国菌です。黄麹菌と同じように原料穀物のでんぷん質を分解する酵素の供給源であるとともに、製麹中に大量のクエン酸を生産することでもろみを酸性にし、暖地での醸造に適しているとされています。このため、九州地方でも始めは黄麹菌を利用した焼酎製造が行われていましたが、沖縄から黒麹菌が導入されると「其の製品は俗に『ハイカラ』焼酎なる名称の下に市場に歓迎せられ」と広く使われるようになりました。しかし、黒麹菌として報告された菌株は、*A. luchuensis* をはじめとして、10 数株にのぼり、また、欧州でクエン酸生産に用いられている *Aspergillus niger* の異名同種とする報告もあるなど、その分類には混乱が見られていました。今回は、近年の黒麹菌をめぐる学名の変遷やゲノム解析などについて紹介させていただきます。

2. 黒麹菌学名の変遷

黒麹菌は、1901 年乾により *A. luchuensis* として初めて報告されました。ところが、1911 年中澤は泡盛麹から分離した糸状菌にメトレが存在したことから、*A. luchuensis* とは別種の *Aspergillus awamori* を報告するなど、初期からその分類に混乱が見られました。また、海外では黒麹菌は *A. niger* の 1 種と考えられていました。そこで、当研究所保存の 37 株、醸造現場由来黒麹菌 12 株 (TTC 株)、白麹菌 NBRC 4308 など合計 57 株について分子生物学的解析を行ったところ、分類名とは関わりなく 3 つの菌群に大別されました。特に醸造現場由来黒麹菌 TTC 株 12 株、白麹菌及び当研究所の 37 株中 15 株は解析した約 2,500 塩基がほぼ完全に一致し、これらの菌株が醸造産業上重要な黒麹菌であると考えられました。また、これ以外にもこれまで文献に現れた黒麹菌を日本国内の菌株保存機関の協力のもと見出し、解析した結果全て *A. luchuensis* であることを確認しています。以上を受けて、現在では、国際的に黒麹菌は *A. niger* とは違う生物種であること、その学名は *A. luchuensis* がふさわしいことが認められています。

3. 黒麹菌のゲノム解析とそこから見えてきたこと

2016 年、黄麹菌から遅れること 11 年、黒麹菌ゲノム解析の論文が公開されました。そこで、黒麹菌ゲノムと *A. niger* とを詳細に比較解析したところ、その相同性はわずか 89% と推定され、人とチンパンジーとの相同性 96% よりも塩基配列における差が大きいことが示されました。これは、黒麹菌と *A. niger* とは人とチンパンジーよりも進化的に遠い親戚であることを示唆しています。また、染色体レベルでも大規模な再編成・組換えが観察され、ゲノム配列から見ると黒麹菌は *A. niger* とは別々の生物種であることが一目瞭然となりました。

また、*A. niger* は、2 種類のカビ毒オクラトキシン A とフモニシン B2 とを生産することが知られ問題とされています。ともに生合成遺伝子がゲノム中でクラスター (固まり) を形成していることが、*A. niger* のゲノム解析から報告されています。そこで、これらのクラスター配列について黒麹菌ゲノム配列を網羅的に検索した結果、オクラトキシン A については遺伝子が全く存在していないこと、フモニシン B2 についても生合成に必要な 10 数遺伝子の内、配列の似た遺伝子が 2 つだけが存在してお

り、その他の遺伝子は全く存在していないことが明らかとなりました。また、このゲノム構造は、これまで解析した数十株の黒麹菌全てで保存されており、黒麹菌はゲノムレベルでカビ毒オクラトキシン A やフモニシン B2 も非生産性であることが示されました。

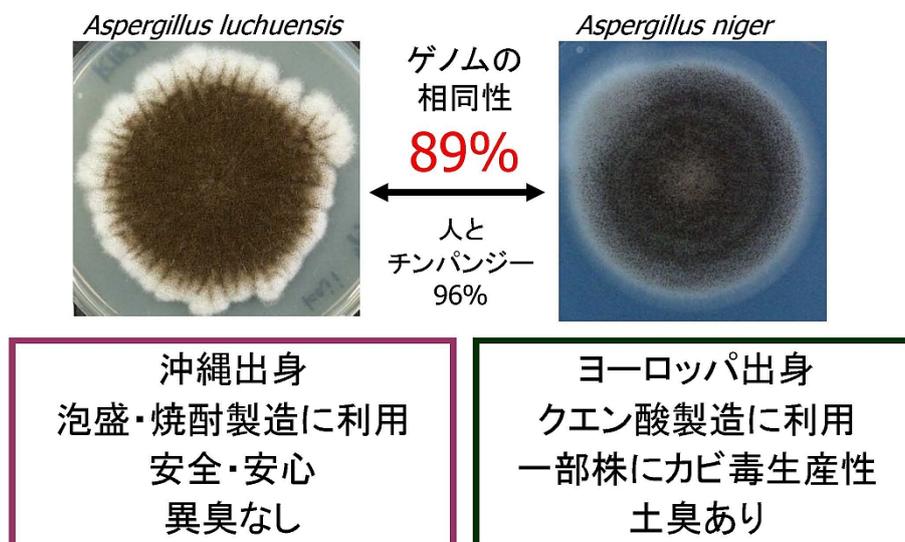
黒麹菌の *Aspergillus* という属名は、有性世代の見つかっていない不完全菌のもので、分生子（無性胞子）による増殖のみが知られています。しかし、近年、*Aspergillus* 属菌株のゲノム解析の結果から、これらの菌株も有性生殖に必要な遺伝子をゲノム中に保存していること、培養条件によっては有性生殖を行うことが可能であることが分かってきました。黒麹菌ゲノム情報を解析したところ、黒麹菌はヘテロタリック株であり MAT1-1 株と MAT1-2 株との間で有性生殖を行う可能性が示唆されました。そこで、当研究所保存の黒麹菌株や醸造用菌株を含む数十株の MAT 遺伝子について解析したところ、驚いたことに全ての黒麹菌株がゲノム解析株と同じ MAT1-2 ばかりでした。現在、MAT1-1 な黒麹菌を見出すべく、醸造分野だけではなくより広範囲に黒麹菌株を収集し、その MAT 遺伝子の解析を始めたところです。黒麹菌を交配により育種できる日が来るといいのですが。

4. おわりに

黒麹菌の学名が *A. luchuensis* として認められ、また、ゲノム情報も公開されました。今後、黒麹菌についてより多くの人達に興味をもってもらい、クエン酸高生産性といった有用形質のメカニズム解明や効率的な有用菌株の育種法などをはじめとして、様々な切り口・様々な視点から黒麹菌研究が大きく進展することを願っています。

5. 参考文献

- 1) 山田, 醸協, 107, p200-204 (2012)
- 2) Hong, s. *et al.*, PLOS ONE, 8, e63769 (2013)
- 3) 山田, 醸協, 110, p64-67 (2015)
- 4) Yamada, O. *et al.*, DNA Research, 23, p507-515 (2016)



黒麹菌と*A. niger*とは見た目のよく似た遠い親戚