

凍結耐性と関連生体物質

小西 正朗

冷凍技術は食品の保存や輸送に重要な技術である。冷凍技術は中長期の食材の保存に便利な反面、氷結晶の成長による細胞や組織の破壊により、食品や食材の品質を低下させることが知られている。冷凍中の食品や食材を保護する素材ならび技術開発は食品工学分野で重要な研究課題の一つである。凍結保護技術開発には、生物の凍結耐性とそれに関与する生体物質に関する研究に着目する必要がある。ここでは、凍結耐性と生体物質の関連について紹介したい。

製パン用凍結耐性酵母の研究で凍結耐性と生体物質の関連性が研究されている。一般に製パン用酵母は生地に含まれる糖分を利用して炭酸ガスを生産するため、パン生地を膨らませることができる。また、酵母が生産するフレーバーがパン独特の風味を与える。こうして発酵させた生地を焼くことで、おいしいパンができて上がる。近年では、製パンに関わる労働者の負担を軽減のため、工場などで製造したパン生地を一度冷凍し、販売店で解凍し発酵させてから焼く“冷凍パン生地製法”が広く普及している。この製法は少量多品種生産に対応しやすいなどメリットの大きい反面、凍結により、混練した酵母に凍結障害が生じ、生菌数の減少や細胞膜の損傷による生体内の還元物質などの漏出により発酵不足や生地の軟化などを引き起こすことが問題となる。この問題を解決するために、凍結耐性が高い酵母が研究されている。

凍結耐性が高い製パン用酵母として、*Saccharomyces cerevisiae* AFY¹⁾、*Torulasporea delbrueckii* IFO 1129, D2-4²⁾などが分離されている。凍結耐性には、脂質組成²⁾、Trehalose³⁾、proline、一酸化窒素 (NO)⁴⁾などの細胞内代謝物濃度が関連しているようである。Murakamiらは*T. delbrueckii* D2-4とその凍結耐性感受性株60B3の脂質組成を比較し、耐性株はphosphatidylethanolamine, phosphatidylcholine, phosphatidylinositolの含量が多く、triglycerideが少ないことを報告している²⁾。Sasanoらにより、ストレス誘導性proline oxidaseによって生成するNOが凍結など製パンに悪影響が出るストレスへの耐性に関与していることが報告されている⁴⁾。細胞内trehaloseは凍結耐性の向上に関与することがよく知られており、生地への添加によっても凍結耐性が向上する³⁾。また、trehaloseは量産方法が確立されており、比較的安価かつパンの品質に影響が少ないことから、trehaloseを添加した製パン方法が広がりつつある。*Bacillus subtilis*が生産するpoly- γ -glutamate (納豆の“ネバネバ”

の主成分)も酵母の凍結耐性向上に効果があることが報告されている⁵⁾。

耐冷性や好冷性生物を示す細菌や野生酵母、動植物に目を向けるとさらに多様な代謝産物が凍結耐性に関与していることがわかる。低温耐性の高い微生物、魚類や節足動物はanti-freeze protein (AFP)や氷核タンパク質(ice nucleating protein)などのice binding protein (IBP)が氷結晶の成長面に結合することにより、氷結晶の成長を阻害することで、氷結晶による細胞障害を回避している⁶⁾。AFPは好冷性酵母*Glaciozyma antarctica*でも見いだされている⁷⁾。植物ではダイコン由来のAFPが報告⁸⁾されており、冷凍焼け防止、食感の維持など目的とした種類の凍結保護剤として、販売されている。IBPは幅広い生物種で凍結耐性に関与していることが推測できる。また、アラスカ産の甲虫*Upis ceramoides*はmannose-xyloseの二糖をユニットとする繰り返し構造を有する多糖にリン脂質が結合した多糖型の糖脂質を体内に蓄積することで凍結耐性を向上させ、寒冷地での越冬能力を獲得している⁶⁾。

面白いことに、凍結耐性関連生体物質は糖、アミノ酸、タンパク質、脂質、その他の生体高分子を含む幅広い分子種があり、微生物～動植物まで幅広い生物種で見られている。また生物種によって、凍結耐性機構が異なるのも非常に興味深い。生物の多様性を鑑みると、未知の凍結耐性生物や関連代謝産物は無数に存在することを想像させる。また、新規凍結耐性関連生体物質の探索の余地があるように思える。余談ではあるが、筆者が所属する北見工業大学が位置するオホーツク地域は冬季の最低気温は -20°C 以下と寒冷な気候であるため、国内でもっとも凍結耐性関連生体物質の探索に適した地域である。ご興味がある方は一度足を運んでみてはいかがでしょうか。

- 1) Meng, J. et al. *Springerplus*, **5**, 503 (2016).
- 2) Murakami, Y. et al.: *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **44**, 167 (1995).
- 3) Hirasawa, R. et al.: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **65**, 522 (2001).
- 4) Sasano, Y. et al.: *Microb. Cell Fact.*, **11**, 40 (2012).
- 5) Yokoigawa, K. et al.: *J. Biosci. Bioeng.*, **102**, 215 (2006).
- 6) Duman, J. G.: *J. Exp. Biol.*, **218**, 1846 (2015).
- 7) Hashim, N. H. F. et al.: *Extremophiles*, **17**, 63 (2013).
- 8) Kawahara, H. et al.: *Cryo Letters.*, **30**, 119 (2009).