

〈論文〉

市販のパン酵母の種類によるアルコール発酵の違い

加 古 大 也

Hironari KAKO : Differences in Alcoholic Fermentation Depending on the Type of Commercially Available Baker's Yeast

鳥取看護大学・鳥取短期大学研究紀要 第89号 抜刷

2024年7月

市販のパン酵母の種類によるアルコール発酵の違い

加古大也¹

Hironari KAKO : Differences in Alcoholic Fermentation Depending on the Type of
Commercially Available Baker's Yeast

酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) はアルコール発酵を伴う食品製造に広く利用されている一方で、酵母によっては糖質源の利用性が異なることも報告されている。本研究では、9種類の糖質源と8種類の市販の酵母を利用し、酵母の糖質利用能力を検討した。使用したすべての酵母において、グルコース、フルクトース、スクロースでアルコール発酵が行われ、でんぷん、ラクトース、キシロース、ガラクトースおよびソルビトールでは反応が見られなかった。マルトースは酵母によって、反応するもの、しないもの、その中間に分かれ、一般に販売される酵母でも均一の結果が得られないことが分かった。今後は実際のパン生地を用いた実験を重ねることで、酵母の糖質利用に関するよい教材ができると思われる。

キーワード：酵母 アルコール発酵 マルトース

1. 背景・目的

酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) は嫌気的条件・好気的条件に関わらず、グルコースなどの糖質源をエタノールと二酸化炭素に代謝するアルコール発酵を行っており、ビールやワインなどの醸造やパン製造に利用されている。特にパン用酵母はドライイーストとして一般に広く販売されており、身近で手軽に均一な品質のものが入手しやすい。

パン製造において酵母の糖質源として砂糖 (スクロース) が多く用いられている。酵母はスクロースだけでなく、グルコース、フルクトース、ガラクトースおよびマルトースを資化・発酵に利用できる一方で、でんぷんやラクトースは利用できないことが報告されている¹⁻²⁾。また、ガラクトースやマルトースは発酵に利用できない、または利用されにくいなどの糖質源の利用について異なる報告もある³⁻⁴⁾。

いわゆる天然酵母ではマルトース発酵性のないものが多いよう⁵⁾、酵母の種類 (株) によって資化・発酵能力が異なっていることがうかがえる。アルコール発酵により生じた二酸化炭素はパンの膨張に重要な要因であり、その糖質源として、小麦粉に含まれるβ-アミラーゼによる小麦粉でんぷんの分解で生じたマルトースおよび添加したスクロースが酵母の糖質源として利用される。そのため、特にフランスパンなどの糖を添加しないパンの製造においてマルトースを糖質源とした資化・発酵能力 (酵母のマルターゼ活性) は重要であるとされる⁵⁻⁶⁾。

酵母によるアルコール発酵は食品加工の過程で利用されているものであると同時に、関わる化学反応式が単純なため ($C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$)、容易に発生した二酸化炭素の体積から化学反応式を用いて消費した糖の質量を求めることができ、学生が化学や生化学、および食品加工学を学ぶ上でよい教材ともなる。本研究では、生徒・学生が実験を行うことを想定したシリンジを使った簡易的な測定器具を用いて、9種類の糖 (でんぷん、ラクトース、マ

1 鳥取短期大学生活学科

ルトース、スクロース、キシロース、グルコース、フルクトース、ガラクトース、およびソルビトール) に対する8種類の市販酵母の発酵能力を検討した。

2. 方法

(1) 試薬、試料および試料調製

酵母はドライイーストや天然酵母として市販されている8種類の製品(ニッポンふっくらパンドライイースト:株式会社ニッポン, 白神こだま酵母®ドライ:秋田十條化成株式会社, 日清スーパーカメラドライイースト:日清フーズ株式会社, ドライイースト:株式会社パイオニア企画, ドライイースト:株式会社井上清助商店, 北海道とかち野酵母®インスタントドライイースト:日本甜菜製糖株式会社, 有機穀物で作った天然酵母:株式会社風と光, saf-instant®インスタントイースト金:サフ)を用いた(表1)。酵母は20倍量の40℃で保温した蒸留水に懸濁し(基本として酵母15gに対し蒸留水300g), 酵母懸濁液とした。商品の原材料表示には酵母以外のものが含まれているものもあるが, 分けることはできないためそのまま使用した。糖質源としては, 多糖類であるでんぷん, 二糖類である

ラクトース, マルトース, スクロース, 単糖類であるキシロース, グルコース, フルクトース, ガラクトースおよび糖アルコールであるソルビトールを用いた。でんぷんは1.6%の懸濁液をオートクレーブ(120℃, 5分)で加熱溶解し, それ以外は蒸留水で1.6%に溶解して糖溶液とした。

特記のない試薬は富士フィルム和光純薬株式会社の特級試薬あるいは一級試薬を用いた。

(2) 実験1 各種糖質源と酵母による発酵

実験方法は慶應大学自然科学研究教育センター「18.アルコール発酵」を参考にした⁷⁾。酵母懸濁液と1.6%の各糖溶液を1:1で混合し, 先端にシリコンチューブを接続した30mL容シリンジに目盛りで10mLまで取り, チューブをクリップで閉じて嫌気的な条件下とした(図1)。実験で用いた酵母はすべて予備発酵を必要としないものであるため, 糖溶液と酵母を混合したのちにすぐに実験に使用した。シリンジは40℃の湯浴中に入れ, 0~30分までは5分おき, 30~60分までは10分おき, 60~120分までは15分おきに120分間, アルコール発酵の指標としてシリンジの目盛りをもとに二酸化炭素発生量を測定した。目盛りは操作の都合上0.5mL単

表1. ドライイーストの種類

商品名	略称*	原産国	販売者	名称	原材料
1 ニッポンふっくらパン ドライイースト	イーストN	フランス	株式会社ニッポン	ドライイースト	イースト/乳化剤, ビタミンC
2 白神こだま酵母®ドライ	白神酵母	国産	秋田十條化成株式会社	乾燥酵母(製パン用酵母)	酵母(国産)
3 日清スーパーカメラ ドライイースト	イーストNF	フランス	日清フーズ株式会社	ドライイースト	イースト/乳化剤, ビタミンC
4 ドライイースト	イーストP	フランス	株式会社パイオニア企画	ドライイースト	イースト/乳化剤(ソルビタン脂肪酸エステル), ビタミンC
5 ドライイースト	イーストI	フランス	株式会社井上清助商店	ドライイースト	パン酵母/乳化剤(ソルビタン脂肪酸エステル), ビタミンC
6 北海道とかち野酵母® インスタントドライイースト	とかち野酵母	北海道	日本甜菜製糖株式会社	乾燥酵母	酵母(北海道)/乳化剤, V.C
7 有機穀物で作った天然酵母	有機穀物酵母	ドイツ	株式会社風と光	有機穀物加工品	酵母(ドイツ), 有機小麦, 有機とうもろこし(遺伝子組み換えでない)
8 saf-instant® インスタントイースト金	イーストS	フランス	サフ	インスタントドライイースト	パン酵母/乳化剤, V.C

*略称は, 本文中での表記を表す。

位で読み取ることとした。グルコースの分解による二酸化炭素の発生量は計算上では約 20 mL であり、混合液 10 mL と合わせても 30 mL 容シリンジの目盛り (35 mL まで表示) を超えることはないため、30 mL 容シリンジを用いた。



図 1. シリンジの様子

(3) 実験 2 マルトースと酵母による発酵

酵母は実験 1 で用いたもののうち、白神酵母、イースト NF、イースト P、とち野酵母、イースト N、イースト I の 6 種類を用いた。実験 1 と同様に酵母懸濁液と 1.6% マルトース溶液を 1:1 で混合し、30 mL 容シリンジに 10 mL 取り、先端をクリップで閉じた。これを 40℃ の湯浴中に入れ、0~60 分までは 10 分おき、60~180 分までは 30 分おき、180~360 分までは 60 分おき、また、最終時間の 600 分後に二酸化炭素発生量を測定した。

3. 結果・考察

酵母は利用できる糖質源があると、それをもとにエタノールと二酸化炭素を作り出すアルコール発酵を行う。実験 1 では、8 種類の市販酵母を 9 種類の糖質源および蒸留水がある条件下で 40℃ で保温し、アルコール発酵が行われるか検討した。スクロース、グルコースおよびフルクトースを糖質源としたとき、40℃ での保温開始後すぐに二酸化炭素の発生がみられ、その量は 60 分後にはおよそ理論的に発生する最大値に近い 18 から 20 mL となり、その後の増加はとても緩やかとなった (図 2)。酵母はスクロース、グルコース、およびフルクトースの資化・発酵能力が高いと報告されており¹⁻²⁾、今回の結果はこれを反映していると思われる。とち野酵母 (図 2F) と有機穀物酵母 (図 2G) で二酸化炭素発生量

が 120 分時点で 15~17 mL ほどで低い傾向があったが、とち野酵母は「こねあげ温度は 27~28℃ が目安」、有機穀物酵母は「最適こねあげ温度は 28~30℃」、とパッケージなどに表示されており、今実験で設定した 40℃ では発酵温度が高く、酵母が弱化している可能性が考えられる。一方で、実験に用いた全ての酵母において、糖質を含まない蒸留水あるいは多糖類のでんぷん、二糖類のラクトース、単糖類のキシロース、ガラクトースおよび糖アルコールのソルビトールを糖質源としたときに発生した二酸化炭素量は 0~1 mL であり、大きな変化は見られなかった (データは割愛)。酵母はでんぷんやラクトース、キシロースなどをあまり利用することができないことなどが報告されており^{3-4,8)}、それが反映された結果となった。また、マルトースについては酵母によって傾向が違い、120 分の時点で二酸化炭素が発生しないもの、グルコース等と同様に発生するもの、その中間に分けられ、二酸化炭素が発生しないものは白神酵母 (0 mL)、グルコース等と同様に発生するものはイースト N (19.2 ± 1.0 mL)、イースト I (19.7 ± 0.8 mL)、その中間は、イースト NF (8.7 ± 0.3 mL)、イースト P (12.0 ± 0.0 mL)、とち野酵母 (7.7 ± 0.3 mL)、有機穀物酵母 (14.2 ± 0.3 mL)、イースト S (10.5 ± 0.5 mL) となった。

実験 2 では、酵母によって反応の異なるマルトースを糖質源としたアルコール発酵について、反応が弱いのか、もしくは反応時間が足りないのかを確認するために反応時間を 600 分間まで延長し二酸化炭素の発生量を測定した。酵母は実験 1 で用いたもののうち、反応性の属性から白神酵母、イースト NF、イースト P、とち野酵母、イースト N、イースト I の 6 種類とした。図 3 に示すように、実験 1 で二酸化炭素の発生が見られなかった白神酵母では 600 分後でもほとんど変化は見られず (0.9 ± 0.3 mL)、また、イースト N およびイースト I は 60 から 120 分後ではほぼ 20 mL の二酸化炭素が発生し (120 分時点でイースト N は 20.3 ± 0.3 mL、イースト I は 20.3 ± 0.5 mL)、その後は増加は鈍化した。二酸化

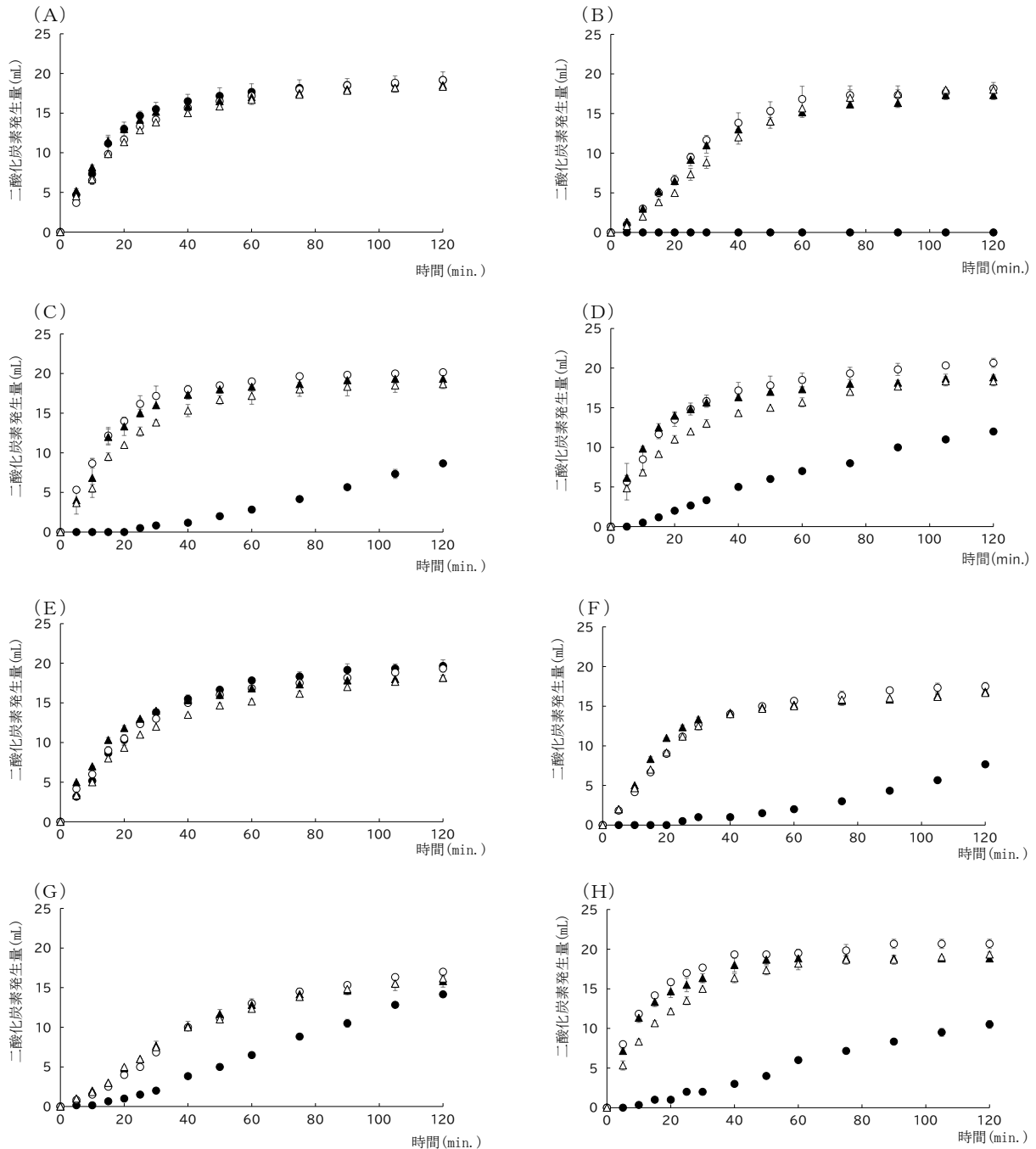


図2. 二酸化炭素発生量の経時的変化

(A) イースト N, (B) 白神酵母, (C) イースト NF, (D) イースト P, (E) イースト I, (F) とち野酵母, (G) 有機穀物酵母, (H) イースト S, ●:マルトース, ○:スクロース, ▲:グルコース, △:フルクトース. n=3, 図中の数値は平均値±標準偏差で示した.

炭素の発生量が中間ほどであったイースト NF およびイースト P は, 120 分以降も二酸化炭素の発生が続き, 300 から 360 分後に約 20 mL に達し, その後もわずかに増加し続けた. とち野酵母は 600 分まで増加し続けたが, 二酸化炭素発生量は他の半分ほど (9.1 ± 0.5 mL) であった.

これらの実験結果から, スクロース, グルコース, およびフルクトースを用いたアルコール発酵は多くの場合どの酵母を用いてもおよそ一定の実験結果が得られるが, マルトースを糖質源として使用する際には酵母によって反応に差があることが確認できた. 一般にパン生地における酵母の発酵は, 材料で

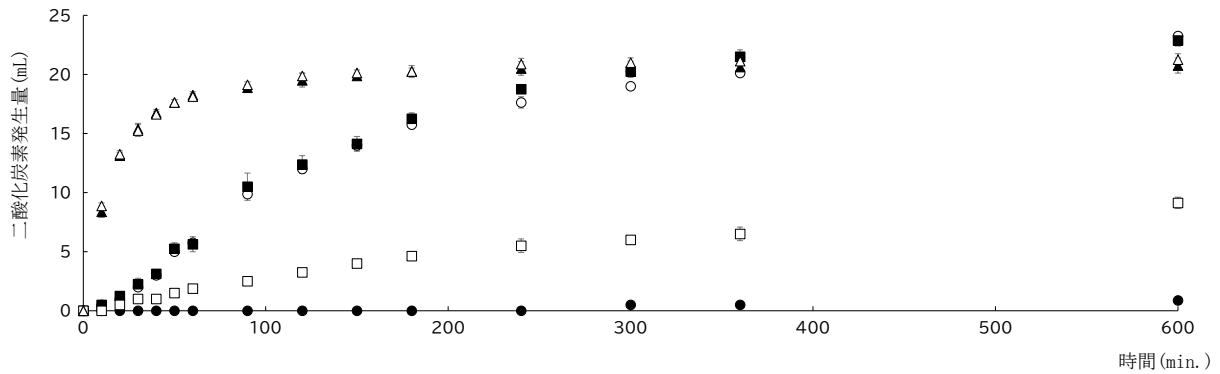


図3. マルトースを糖質減としたときの二酸化炭素発生量の経時的変化

●：白神酵母，○：イースト NF，■：イースト P，□：とち野酵母，▲：イースト N，△：イースト I. n=4, 図中の数値は平均値±標準偏差で示した。

ある小麦粉や砂糖に含まれる糖質（グルコース，スクロースなど）がまず消費され，その後小麦粉でんぷん由来のマルトースが消費される二段階の反応が起きているとされる^{3,9)}。市販の酵母，特にドライイーストとして市販される酵母は，基本的にどの酵母であっても想定される製パンにおいて同じような働きを期待されていると思われるが，マルトースの利用能力（マルターゼ活性）に差が見られたため，目的にあった酵母を選ぶ必要がある。山田らの報告では，イースト NF を使用したパン生地の発酵は砂糖を添加することで促進するが砂糖がなくても 120 分間発酵し続けていくこと，白神酵母では砂糖無添加の生地（糖質源が小麦粉に含まれる糖質およびでんぷん由来のマルトースのみ）はあまり発酵しないことが報告されている⁹⁾。今回のシリンジの実験では，マルトースを糖質源としたときに，イースト NF は発酵速度は遅いが発酵し，白神酵母は発酵しないという結果が得られており，パン生地における結果とシリンジの結果にある程度相関性があると思われる。

以上をまとめると，今回の実験から，結果の読み取りが容易なシリンジを用いた実験は，酵母における糖代謝を考察する優れた教材となると思われる一方で，目的に合わせて酵母を選ぶ必要があることがわかった。今後は実際にパン生地を用いて，マルトースや他の糖がどう影響を及ぼしているのかを検討し，実際のパンの状態，および過去の様々な研究報

告を結びつける予定である。

引用・参考文献

- 1) 山本武彦, 「糖質のアルコール発酵」, 『エネルギー・資源』 2 巻 3 (1981), pp. 44-50.
- 2) Endoh R., Horiyama M. and Ohkuma M., "D-Fructose Assimilation and Fermentation by Yeasts Belonging to Saccharomycetes: Rediscovery of Universal Phenotypes and Elucidation of Fructophilic Behaviors in *Ambrosiozyma platypodis* and *Cyberlindnera americana*" *Microorganisms*, 9(4) (2021), p. 758.
- 3) 小田有二, 大内弘造 「パン製造にはどのような酵母が必要か パン酵母の機能解析とその応用」, 『化学と生物』, 29 巻 4 号 (1991), pp. 258-263.
- 4) 佐藤友太郎, 田中康夫 「パン酵母の性能に関する研究 (第 5 報) パン酵母のマルトース醗酵能と製パン能との関係 (その 2) パン酵母のマルトース醗酵能と生地醗酵能」, 『日本農芸化学会誌』 33 巻 1 号 (1959), pp. 65-68.
- 5) 小田有二, 山内宏昭, 田村雅彦 「産学官連携による製パン用「とち野酵母」の開発」, 『日本食品科学工学会誌』, 59 巻 1 号 (2012), pp. 1-5.
- 6) 藤本章人, 「パンと微生物」, 『モダンメディア』 63 巻 8 号 (2017), pp. 186-192.
- 7) 慶應大学 自然科学研究教育センター 「18. アルコール発酵」 <https://www.sci.keio.ac.jp/gp/2E73>

001A/17A5C7C5/F075937D.pdf (2024.03.31).

8) 小原信夫, 榎牧子, 岡井公彦, 上田孝太郎, 石田真巳, 浦野直人「キシロース発酵能を持つ新奇酵母によるバイオエタノール生産」, 『科学・技術

研究』3巻1号(2014), pp. 55-60.

9) 山田密穂, 小泉昌子, 赤石記子, 峯木真知子「酵母の違いがパンの品質に与える影響」, 『日本家政学会誌』72巻12号(2021), pp. 796-807.