

化学実験ワークショップ「のぞいてみよう！発酵の世界」実施報告

吉岡 亜紀子*、木村 友美*、林 ゆりえ*、林 陽一郎*、上羽 貴大**

概要

発酵に関する化学実験ワークショップを実施した。子どもと大人と一緒にテーブルを囲んで実験した。(1) 様々な発酵食品の紹介とその共通点、(2) 微生物の顕微鏡観察、(3) パンのイースト、(4) 味噌のカビ(麹)、(5) 野菜のカタラーゼ、(6) 乳酸菌についてそれぞれ実験を体験した。身近な複数の発酵食品を導入にして、常に、発酵には微生物が関わっていること、発酵とは微生物がエネルギーを作る過程であること、その際にできる微生物にとっては不要な二酸化炭素やアルコールを人間は利用していること、の3点をキーワードにしながらか進め、発酵とは何かということ、体験を通して知ることを目的とした。

1. はじめに

当館では1997年から大人を対象とした化学実験教室「大人の化学クラブ」が継続的に実施されており、2022年からは大人向けの「日本酒の科学」のワークショップ^[1,2]が毎年開催されている。筆者(吉岡)はこのワークショップに参加して、ここで扱われた様々なトピックのうち発酵に関心を持ち、未成年や飲酒できない人でも発酵の世界の不思議を共有できるワークショップを企画したいと考えた。

身近な発酵の利用には発酵食品がある。発酵食品は多種多様で、発酵に関わる微生物も、発酵するものも多岐にわたる。そのため、1つ1つの発酵食品の製造工程を知るだけでは、結局、発酵とは何であるのかつかめないままになってしまう。そこでこのワークショップでは、身近な複数の発酵食品を導入しながら、常に①発酵には微生物が関わっていること、②発酵とは微生物がエネルギーを作る過程であること、③その際にできる微生物にとっては不要な二酸化炭素やアルコールを人間は利用していること、の3点をキーワードにしながらか進め、個々の発酵食品の詳細ではなく発酵の全体像を、体験を通して知ることを目的とした。

2. 全体の構成

実施日: 2024年9月16日(日)

①10:30~12:00 ②14:00~15:30

*大阪市立科学館 科学デモンストレーター

**大阪市立科学館 学芸員

定員: 各回12名

対象: 小学4年生以上どなたでも

場所: 科学館工作室

参加費: 500円

運営: 科学デモンストレーター8名

内容:

- (1) 様々な発酵食品の紹介とその共通点
- (2) 微生物の顕微鏡観察
- (3) パンのイースト
- (4) 味噌のカビ(麹)
- (5) 野菜のカタラーゼ
- (6) 乳酸菌

3. 各項目の詳細

3.1 様々な発酵食品の紹介とその共通点

初めに、パン、日本酒、しょうゆ、チーズ、ヨーグルトなどの日常的な食品名を挙げ、共通点は発酵食品であることと、発酵とは小さな生き物、微生物の働きであることを伝えた。そして、微生物の一例として酵母(イースト)、カビ、乳酸菌がどの食品の発酵に関わっているのかを紹介した。

3.2 顕微鏡観察

微生物は小さい生き物であると言うだけでは、どのくらい小さいのか伝わらない。本日扱う小さい生き物というのは、ウサギや小鳥のような小動物という意味ではなく、アリのような小さい昆虫よりももっと小さいということ

実感してもらうために、微生物の一例として、イースト、麴、乳酸菌を実際に顕微鏡で観察した。最初に髪の毛1本を顕微鏡で写し、顕微鏡で物がどのくらい拡大されるのかを見せた。以下の作業はすべて参加者が分担して行った。

イーストは、ドライイースト耳かき1杯程度を小さじ半分程度の水に溶き、しばらく置いてから、得られた懸濁液を割りばしの先に付けてスライドグラス上に移し、カバーガラスを載せた。なおカバーガラスの周縁に予め油性ペンで色を付けて目立つようにしておいた。

麴は味噌または塩麴、乳酸菌はサプリメントを用いて、ドライイーストと同様に顕微鏡観察用の試料を作製した。試料は大型ディスプレイに接続した顕微鏡で観察し、参加者全員で同じものを見られるようにした。視野の調整に時間をとられないよう倍率を低めにした。



写真1 水に溶いたドライイーストの顕微鏡写真



写真2 味噌の顕微鏡写真

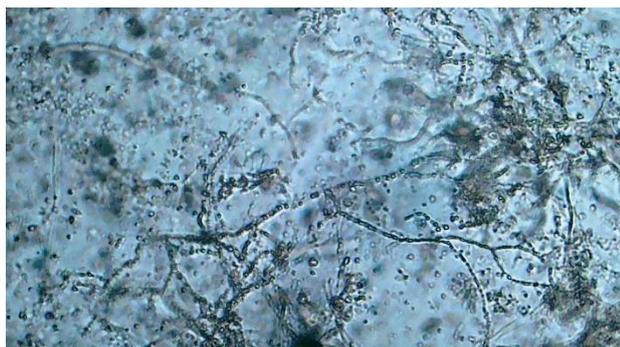


写真3 塩麴の顕微鏡写真

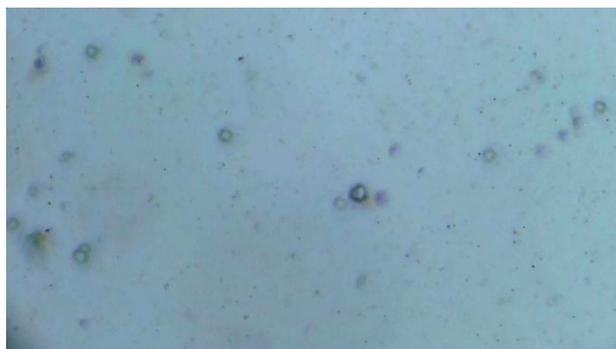


写真4 乳酸菌サプリメントの顕微鏡写真

3.3 パンのイースト

顕微鏡観察に用いたドライイーストはパンの製造によく使われる。ドライイーストによる発酵を観察した。ブドウ糖とドライイーストだけで変化を観察する実験1と、パン生地の変化を観察する実験2を行った。

<実験1>

<手順>

水 100mL を入れたペットボトルにドライイースト 3g とブドウ糖 4g(2錠)を入れる。ふたをしてブドウ糖が溶けるまでよく振る。ふたをはずして風船をかぶせる。ペットボトルを手で温めながら 15 分間ほど待つ。

<結果>

ペットボトルの中の液体が次第に泡立ち、初めはしぼんでいたゴム風船が大きく膨らむ様子が観察できる。風船を外すとにおいも確認できる。



写真5 左:ブドウ糖とイーストの発酵前、右:発酵後

<実験2>

<手順>

小麦粉大さじ2、ドライイースト3g、さとう6g(スティックシュガー1本)を透明なコップに入れ、割りばしで軽く混ぜる。水スプーン3杯を足して割りばしでよくかき混ぜる。

<結果>

パン生地が膨らむ様子とおいが観察できる。

＜何が起きているのか＞

発酵には時間がかかる。変化を待つ間に発酵について解説した。ここでは次の点に絞って伝えた。

- ①発酵とは、微生物がエネルギーを得るために糖などを分解する過程である。呼吸と異なり酸素を消費しない。
- ②エネルギーはアデノシン三リン酸(ATP)という分子として貯められたり消費されたりする。
- ③イーストはブドウ糖を分解してエネルギー(ATP)を作る。その際、アルコールと二酸化炭素が生じる。
- ④アルコールと二酸化炭素は、イーストにとっては不要なものであるが、人間にとってはパン作り等に役立つ。



写真6 発酵したパン生地

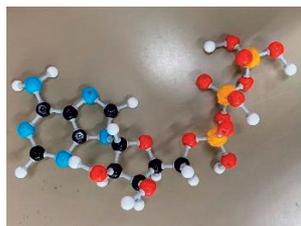


写真7 左:解説図、右:ATP 分子模型

3.4 味噌のカビ(麹)

日本酒や味噌の製造にはカビ(麹)が欠かせないことがよく知られている。麹は発酵においてどのような役割を果たしているのかを理解するために、味噌を用いてアミラーゼによるデンプンの分解の実験を行った。

＜実験＞

＜手順＞

片栗粉(バレイショデンプン) 大さじ2、水 120cc を鍋に入れてよく混ぜる。様子を観察する。火にかけて混ぜ続け、透明になったらデンプン糊のできあがり。4つに分けて冷ます。触ってもよい。1つのデンプンに砕い

たタカジアスターゼ錠を加える。別のデンプンにお味噌をわりばしの先で加える。変化を観察する。

＜結果＞

デンプン糊の塊は、デンプン分解酵素を含む胃腸薬であるタカジアスターゼまたは生味噌と混ぜると、さらさらの液体になる。一方、加熱済の調味味噌は、デンプン糊に混ぜてもさらさらにする事ができない。

＜何が起きているのか＞

先のイーストの実験で説明した通り、イーストはブドウ糖をエネルギー源にする。デンプンはブドウ糖が数千個つながった長い鎖状の構造をしている。デンプンが長い鎖状のままではイーストにとっては消化しにくい。

味噌や日本酒の製造に用いられるカビ(麹)は、デンプンの長い鎖を短く切る酵素(アミラーゼ)を含んでいる。麹の酵素がデンプンの長い鎖を切って短い糖にすると、イーストがその糖をエネルギー源として発酵が進む。

この実験では、イーストによる発酵に必要な糖が麹の酵素によって生成されることを観察した。

3.5 野菜のカタラーゼ

酵素はタンパク質の一種であり、数千種類もあると言われている。デンプンを分解するアミラーゼ、タンパク質を分解するプロテアーゼ、脂肪を分解するリパーゼなど、いわばそれぞれがスペシャリストである。

酵素の中には発酵に関係ないものもある。例えばカタラーゼは、生物にとって有害な過酸化水素を酸素と水に分解する。

ここで、発酵には関係しないが最も身近な酵素の1つであるカタラーゼの働きを実験で見る。

＜実験＞

＜手順＞

野菜(ニンジン、ピーマン、ブロッコリー、マイタケ)を小さくちぎってフィルムケースに入れ、割りばしで押しつぶす。オキシドール(薄い過酸化水素水) 大さじ2を加え、素早くフィルムケースのフタをし、逆さにしたペットボトルやポリ袋をかぶせる。

＜結果＞

過酸化水素が分解されて酸素が発生し、密閉されたフィルムケース中の圧力が上がり、フタが跳ね飛ばされる。

3.6 乳酸菌

乳酸菌は乳糖を分解してエネルギー源とし、分解の過程で乳酸が生成される。牛乳中で乳酸が増えると牛乳のpHが低下し、牛乳中のタンパク質であるカゼインが凝集する。凝集したカゼインを集めたものがチーズ

やヨーグルトになる。

乳酸菌による発酵には時間がかかるため、ここでは乳酸菌によって乳酸が生成されて牛乳が酸性になったときにどのような変化が起きるのかを観察した。

<実験5>

<手順>

レモン汁大さじ1に水を足して 100mL にする。または、クエン酸小さじ1に水を足して 500mL にする。鍋で牛乳 100mL をわかす。沸騰したらすぐ火を止めて 10 秒待つ。うすめたレモン汁またはクエン酸を一気に注ぎ入れる。絶対にかきまぜない。冷めたらキッチンペーパーでろ過する。

<結果>

牛乳が白い塊と透明な液体に分離した。

4. 参加者の反応

発酵食品には微生物が関わっていると話したときから「信じられない」「カビを食べてるといこと？」と反応をする参加者がいるなど、驚きや疑問、喜びを素直に表現する方が多く、各テーブル(参加者4名+保護者で最大8名)に1~2名の科学デモンストレーターのファシリテーションもあり、和気あいあいとした雰囲気であった。顕微鏡での観察では1つ試料を写す度に声が上がっていた。イーストによる発酵では、変化に時間がかかったためか、歓声はあまり上がらなかったものの、気泡が生じた様子を写真に撮る参加者もいた。味噌(アマラーゼ)によるデンプンの分解では、参加者が持ち寄った味噌も使用したので、参加者どうして味噌や結果を見せ合って自然と考察や議論が生まれていた。野菜のカタラーゼによるオキシドールの分解を利用してフィルムケースのフタを飛ばす実験は、発酵に関連しなかったものの、派手で楽しいので、大いに盛り上がった。

終了時、参加者にアンケートを実施した。次の表1の各項目について5点満点で評価してもらった。また、自由記述で、「印象的だったこと、新しく知ったこと、驚いたことなど」「残念だったこと」「自由な感想」を尋ねた。

点数では最も満足度が高かったのは酵素ロケット(野菜のカタラーゼによるオキシドールの分解でフィルムケースロケットのフタを飛ばす)であったが、発酵とは何かの話も意外と満足度が高かった。自由記述でも「印象的だったこと、新しく知ったこと、驚いたことなど」では「微生物」「カビ」「アデノシン三リン酸(ATP)」に言及されたものが最も多く、複雑で不思議な発酵の世界の正体が、このワークショップを通して少しでも見えてきた

のなら嬉しく思う。「残念だったこと」の回答は2件のみで、夏休みの自由研究にしたかったとの要望と、ロケットをもっと高く飛ばしてほしいとの要望であった。

表1 アンケート結果

本日の教室はいかがでしたか。5点満点 で教えて下さい。 (とても満足:5点、ふつう:3点、とても 不満:1点)	午前午後合 計点 22名
(1) 微生物を顕微鏡で見る	102点
(2) イーストで風船をふくらます	99点
(3) イーストでパン生地をふくらます	102点
(4) でんぷん糊をお味噌で糖にする	101点
(5) 酵素ロケット	106点
(6) 牛乳を酸性にする	103点
(7) 発酵とは何かのお話	104点

5. 今後の課題

90分間のワークショップに7項目の実験と解説を詰め込み、消化の時間が足りなかった。酵母による発酵と酵素の働きを分けて別個のワークショップにする方が時間に余裕ができ、内容も単純になり理解しやすくなるだろう。

運営の科学デモンストレーターの振り返りでは、過酸化水素の分解では泡の発生をしっかりと観察したり、泡に線香の火を近づけて激しく燃える様子を見せたりすることで酸素の発生を確信させる必要性や、温度を変えると変化があることを見せて生き物が関わっていることを実感させる必要性が指摘された。

6. 謝辞

ボランティアの活動を支え続けて下さっている大阪市立科学館の皆様と、試行錯誤も失敗も準備や後片付けもいつも楽しみながら一緒に取り組んでくれる科学デモンストレーターの皆様に心から感謝申し上げます。

7. 参考文献

- [1] 上羽貴大、大阪市立科学館研究報告 34, 53 (2024)
- [2] 宮丸晶、上羽貴大、大阪市立科学館研究報告 33, 147 (2023)