

可聴域の振動を用いた酵母の発酵コントロール

岩手県立一関第一高等学校理数科3年
生物2班 佐藤鈴音 小野寺瑠那 西村優菜

要約

酵母には最も発酵を促進させる振動数があるのか調べるため、本研究では可聴域の振動数を用いて研究を行った。この研究により、10kHzの振動で酵母の発酵が最も促進され、9kHzの振動では発酵が最も抑制されることが明らかとなった。また、振動による発酵促進効果は45～60分間持続することも分かった。

キーワード

振動 酵母 発酵

ABSTRACT

We used the frequency in the audible range to investigate whether yeast has the most accelerated frequency. The study revealed that 10 kHz oscillations promote yeast fermentation and suppress it at 9 kHz. It was also found that the fermentation promotion effect of yeast by vibration lasted for 45 to 60 minutes.

KEYWORD

Vibration Yeast Fermentation

1 はじめに

酵母はパンなど様々な食品の製造過程に利用されている。現在、酵母の発酵速度は温度によって調節されている。一関市内の酒造店である関の一酒造に取材したところ、水をタンク周辺に流すことで温度調節を行っていることが分かった。私たちは、振動による発酵速度の調節は温度調節と比べてコストを抑えることが可能なのではないかと考え、振動を用いた酵母の発酵コントロールの実用化に向けて実験を進めた。

酵母の環境応答については様々な研究がなされている。先行研究(胡ら, 2012)では、超音波により清酒酵母の増殖、グルコース消費量、エタノール産生量が促進されることが分かっている。より安全で安価に発酵速度調節を行う

方法を探るため、本校の先輩方の研究(佐々木ら, 2020)では比較的コントロールしやすい可聴域の振動が酵母にどのような影響を与えるのかについて調べた。その結果、10kHzの振動を与えた場合のCO₂発生量は振動を与えなかった場合より多かった。このことから、10kHzの振動を与えることで発酵が促進されることを明らかにした。また、先輩方は発酵前に振動を与えても同様の結果が得られたことから、振動による発酵促進効果は振動を与えた後も持続することを示した。先輩方は10kHzの振動でのみ実験をしていたが、私たちは発酵の最適温度や最適pHがあるように最適な振動数もあるのではないかと考え、可聴域で最も発酵を促進させる振動数を調べた。また、私たちは、振動による発酵促進効果がどれくらいの時間

持続するかについても調べた。

2 研究方法

25℃恒温器内に下図のようにスピーカと注射器を設置した。

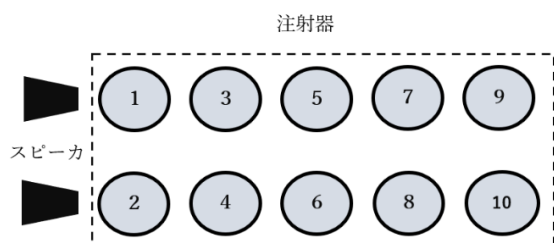


図1：恒温器内のスピーカと注射器の配置

(1) 実験 1: 最も発酵を促進させる可聴域の振動数

[仮説]

振動数が大きくなるほど発酵速度が上がり、ある一定の振動数で停滞し、その後徐々に減少していく。

[実験器具]

酵母(スーパーカメリヤ, 日清フーズ株式会社), グルコース(和光純薬工業株式会社, 関東化学株式会社), 音源装置 (AG-203D, KENWOOD), スピーカ(マルチメディアスピーカー, サンワサプライ株式会社), 注射器, 紙粘土

[実験方法]

① 10%グルコース溶液 16ml に乾燥酵母 0.80g を加え, 5 回かき混ぜて注射器に入れる。

② 25℃の恒温器内で 15 分間発酵させる。その際, 恒温器内に設置したスピーカを用いて各振動を与えた。今回の実験では, 0, 0.1, 1, 8, 9, 9.5, 10, 10.5, 11, 12, 15, 20kHz の振動を与えた。

③ 15 分間で発生した二酸化炭素 (CO₂) の体積を計測する。

※0kHz の振動を与えた場合(振動を与えない場合)をコントロールとする。

(2) 実験 2: 振動を与えるときの乾燥酵母の状態

と発酵促進効果

[仮説] 乾燥酵母に直接振動を与えても発酵は促進されないが, 乾燥酵母を水で湿らせて振動を与えると発酵が促進される。

[実験器具]

乾燥酵母(スーパーカメリヤ, 日清フーズ株式会社), グルコース(関東化学株式会社), 音源装置 (AG-203D, KENWOOD), スピーカ(マルチメディアスピーカー, サンワサプライ株式会社), 注射器, ゴム栓, ビーカー

[実験方法]

(a) 乾燥酵母 0.80g, (b) 乾燥酵母 0.80g+水 1ml 霧吹き(ビーカー), (c) 乾燥酵母 0.80g+水 1ml(ビーカー), (d) 乾燥酵母 0.80g+水 10ml(ビーカー)の 5 種類を用意する。

① 25℃恒温器内で 15 分間 (a)~(d) のそれぞれに 10kHz の振動を与えた。

② その後, グルコース溶液を加えて注射器に入れる。(a)は 10%グルコース溶液 16ml, (b), (c)は 10.7%グルコース溶液 15ml, (d)は 26.7%グルコース溶液 6ml を加え, それぞれグルコース溶液を加えた場合に, 10%グルコース溶液 16ml になるようにした。

③ 25℃の恒温器内で振動を与えずに 15 分間発酵させる。

④ 15 分間で発生した二酸化炭素 (CO₂) の体積を計測する。

※それぞれの場合に振動を与えなかったものをコントロールとする。

(3) 実験 3: 振動による発酵促進効果の持続時間

[仮説]

振動による発酵促進効果は 1 時間ほど続く。

[実験器具]

乾燥酵母(スーパーカメリヤ, 日清フーズ株式会社), グルコース(関東化学株式会社), 音源装置 (AG-203D, KENWOOD), スピーカ(マルチメディアスピーカー, サンワサプライ株式会社),

注射器, ゴム栓, ビーカー

[実験方法]

- ① ビーカーに入れた乾燥酵母 0.80g に純水 10ml を加え, 5 回かき混ぜて 25°C 恒温器内で 10kHz の振動を 15 分間与える。
 - ② その後, 25°C 恒温器内で振動を与えずに各時間間隔 (0 分, 30 分, 45 分, 60 分) 放置する。
 - ③ 各時間間隔で放置後, グルコース 26.7% 溶液 6ml を加え, 10% グルコース溶液 16ml になるようにして注射器に入れる。
 - ④ 25°C の恒温器内で振動を与えずに 15 分間発酵させる。
 - ⑤ 15 分間で発生した二酸化炭素 (CO₂) の体積を計測する。
- ※それぞれの時間間隔で振動を与えなかった場合 (0kHz) をコントロールとする

3 結果

(1) 実験 1: 最も発酵を促進させる可聴域の振動数

先行研究 (佐々木ら, 2020) の確認実験を行った結果, 先行研究 (佐々木ら, 2020) と同様に, 10kHz の振動を与えた場合の CO₂ 発生量は振動を与えなかった場合 (0kHz) より多かった。

また, 先行研究ではキューネ発酵管を使用しているが, 注射器を用いて同様の実験を行っても, 同じような結果が得られたため, この後の実験はすべて注射器で行った。

可聴域の 1, 8, 9, 9.5, 10, 10.5, 11, 12, 15, 20kHz の振動を与えながら発酵させた場合の CO₂ 発生量を調べた。その結果を図 4 に示した。1, 9.5, 10kHz の振動を与えた場合の CO₂ 発生量は振動を与えなかった場合より多かった。最も CO₂ 発生量が多かったのは 10kHz の場合だった。一方で 8, 9, 10.5, 11, 12, 15, 20kHz の振動を与えた場合の CO₂ 発生量は振動を与えなかった場合より少なかった。

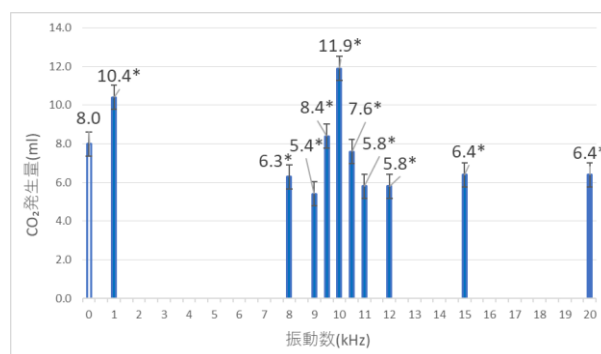


図 4: 酵母に与えた振動数と発酵による CO₂ 発生量
0, 1, 8, 9, 9.5, 10, 10.5, 11, 12, 15, 20kHz の振動数で行った各 10 本×3 回=30 本の平均値を示す。*は 0kHz の結果に対して p < 0.05 (t 検定) であることを示す。

(2) 実験 2: 振動を与えるときの乾燥酵母の状態と発酵促進効果

先行研究 (佐々木ら, 2020) では, キューネ発酵管を使用し, 乾燥酵母に純水 1ml を加えて 15 分間 10kHz の振動を与えた後, グルコース溶液を加えて振動を与えずに 15 分間発酵させても CO₂ 発生量が増加することを示した。私たちは, 先輩の検証実験を行った。先行研究で使用しているキューネ発酵管に形状に近い試験管を使用した。乾燥酵母に 1ml の水を加えると, 団子状態になる。その状態でも 10kHz の振動を与えた後, グルコース溶液を加えて振動を与えずに発酵させると振動を与えなかった場合より CO₂ 発生量が増加し, 先輩の結果と同様であった。この後, 実験のしやすさの観点から, ビーカーを使用した。乾燥酵母に直接振動を与えた場合, 乾燥酵母に 1ml の水を霧吹きで加えてから振動を与えた場合, 乾燥酵母に 1ml の水を加えてから振動を与えた場合, 乾燥酵母に 10ml の水を加えてから振動を与えた場合について CO₂ 発生量が増加するかどうかについて調べた。乾燥酵母 0.80g に直接振動を与えたとき, 10kHz の振動を与えた場合の CO₂ 発生量は振動を与えなかった場合より多かった (図 5, (a) 粉末ビーカー)。全体に水がかかるように乾燥酵母 0.80g に霧吹きで 1ml の水を加えてから 10kHz の振動を与えた場合の CO₂ 発生量は, 振動を与えなかった場合と比べて差がなかつ

た(図 5, (b)1ml 霧吹きビーカー)。乾燥酵母 0.8g に 1ml の水を加えてから 10kHz の振動を与えた場合の CO₂発生量は振動を与えなかった場合より多かった(図 5, (c)1ml ビーカー)。乾燥酵母 0.8g に 10ml の水を加えてから 10kHz の振動を与えた場合も同様の結果だった(図 5, (d)10ml ビーカー)。

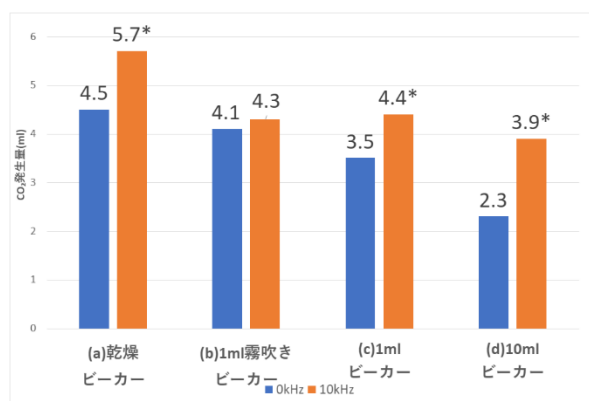


図 5: 酵母の状態と発酵による CO₂発生量
0, 10kHz の振動数で行った各 10×3=30 本の平均値を示す。
横軸は酵母の状態を示す。*は各状態で 0kHz の結果に対して p < 0.05 (t 検定)であることを示す。

(3) 実験 3: 振動による発酵促進効果の持続時間

最も実験が行いやすいので乾燥酵母に加える純水を 10ml とし、15 分間 10kHz の振動を与えた後 0 分、30 分、45 分、60 分放置した後にそれぞれ 26.7% グルコース溶液 6ml を加えて、10% グルコース溶液 16ml になるようにし、振動を与えずに 15 分間発酵させた結果を表 1 に示した。0 分、30 分、45 分放置した場合は、10kHz の振動を与えた場合の CO₂発生量は振動を与えなかった場合より多かった。しかし、60 分放置した場合は、10kHz の振動を与えた場合の CO₂発生量は振動を与えなかった場合と比べて差がなかった。

4 考察

実験 1 で 1, 9.5, 10kHz の振動を与えた場合の CO₂発生量が振動を与えなかった場合より多かったことから、これらの振動によってアルコール発酵が促進されたと考えられる。一方で 8, 9, 10.5, 11, 12, 15, 20kHz の振動を与えた

表 1 放置した時間と発酵による CO₂発生量

放置した時間	0Hz(ml)	10kHz(ml)
0 分	2.3	3.9*
30 分	5.8	6.7*
45 分	15.8	18.6*
60 分	5.9	5.9

0, 10 皿の振動数で行い、それぞれ 0 分、45 分、30 分、60 分の間隔で行った各 10 本×2=20 本の平均値を示す。*は各時間間隔で 0 皿の結果に対して p < 0.05 (t 検定)であることを示す。

場合の CO₂発生量が振動を与えなかった場合より少なかったことから、これらの振動によって発酵が抑制されると考えられる。特に、最も発酵を促進させた振動数は 10kHz、最も発酵を抑制させた振動数は 9kHz であった。振動数が大きくなるほど発酵速度が上がり、ある一定の振動数で停滞し、その後徐々に減少していくという仮説を立てたが、ピークの 10kHz まで CO₂発生量は単調増加せず、10kHz 以降も CO₂発生量は単調減少しなかった。この結果からわずかな振動数の違いにより、発酵を促したり、抑制したりしていることが分かった。このことから、発酵は多数の過程を経ており、それぞれの振動数は別々の過程に影響を及ぼしているのではないかと考えられる。

実験 2 では乾燥酵母のみに振動を与えると CO₂発生量がどうなるかについて調べた。結果は、乾燥酵母に 10kHz の振動を与えた場合の CO₂発生量は振動を与えなかった場合よりも多かった。乾燥酵母は、一度空気に触れると活動を始めると言われている。そのため、乾燥酵母でも活動しているので振動の効果によって発酵が促進されたと考えられる。乾燥酵母の様々な状態で振動を与えて、発酵促進効果の有無を調べたが、乾燥酵母に 1ml の水を霧吹きで与えた状態で振動を与えた時のみ、発酵促進効果は見られなかった。この結果については、追試も行いながら検討していく必要がある。

実験 3 で 10kHz の振動を与えた後 30 分間放置した場合と 45 分間放置した場合は、CO₂発

生量が振動を与えなかった場合より多かったことから、振動による発酵促進効果は持続していると考えられる。しかし、60分間放置するとCO₂発生量が振動を与えなかった場合と比べて差がなかったことから、振動による発酵促進効果は完全に失われたと考えられる。したがって、45～60分間に振動による発酵促進効果がなくなると考えられる。

実験1, 実験2, 実験3でCO₂発生量に差があった。これは温度が関係していると考えられる。恒温器外での操作時間は約2分30秒であった。実験1は8～11月, 実験2は11月～12月, 実験3は12月と7月に行った。それぞれの実験時の室温は、実験1では15.0～27.0℃, 実験2では15.4～18.3℃, 実験3では14.0～32.0℃であった。この気温差が発酵速度に影響を及ぼしCO₂発生量に差が出てしまったと考えられる。

先行研究(胡ら, 2012)では、超音波の振動を与えると溶存CO₂濃度が減少すると述べている。可聴域の振動を与えた場合についても溶存CO₂濃度の減少を調べる必要はあるが、実験2で乾燥酵母に10kHzの振動を与えた場合や乾燥酵母に1mlの水を加えて団子状態の酵母に10kHzの振動を与えた場合でも、CO₂発生量が振動を与えなかった場合よりも多かったことから、可聴域の振動においては、振動によって溶存CO₂量が減少したためにCO₂発生量が増加したとは考えにくく、発酵が促進されたためにCO₂発生量が増加した可能性が高いと考えられる。

5 今後の展望

最も発酵を促進させる振動数については、今回の実験で最も発酵を促進する10kHzの前後である9.5kHz～10.5kHzの間について少し細かく調べていきたい。振動による発酵促進効果がどのくらいの時間持続するかについては今回の実験でその効果がなくなる45分～60分の間

について少し細かく調べていきたい。今回の実験で様々な結果が出たが、より多くのデータを取り、より正確な結論を出したい。室温の変化についての対策も考える必要がある。これに対して先行研究(胡ら, 2012)は超音波の振動によって溶存CO₂濃度が減少することを示している。この現象について可聴域の振動でも調べたい。また、他にも振動によって温度が上昇することで発酵が促進することや酵母自体に振動の受容体があることなどが考えられる。このことについても今後明らかにしていく必要がある。

謝辞

本研究にご協力いただきました
佐藤功司先生
高橋昭宏先生
大竹信之先生
尻引美和子先生
に感謝申し上げます。

参考文献

- 胡ら(2012): 低強度の超音波とジュール加熱の清酒酵母の増殖に及ぼす影響, 平成24年度研究報告62
- 佐々木ら(2020): 振動を用いた酵母の発酵コントロール