

音を利用したアルコール発酵の効率化

浜松市立高等学校 自然科学部

代表 2年 西口誠悟

1 研究目的

ワインに音楽を聴かせることで味がよくなるといわれている。なぜ音を聞かせることで発酵食品はおいしくなるのであろうか。その理由を解明できれば、よりおいしい発酵食品をつくることに役立てられるだろう。そこで、一定の周波数の可聴音（以下、音とする）がアルコール発酵に及ぼす影響を調べる。今回の実験では、酵母ビーズを使用する。

2 実験の概要

今回は酵母をアルギン酸ナトリウムを担体とした酵母ビーズを用いたバイオリアクターの方法で行う。音はスマートフォンアプリ（トーンジェネレーター）を用い、可聴域の周波数を用いる。

3 実験方法

（1）酵母ビーズの作成

今回の実験では、酵母をバイオリアクターにした、酵母ビーズを使用する。

（1）. 溶液aと溶液b、溶液cを用意する。

- ・溶液a：スーパーカメリヤドライイースト7.5gを純水60gに溶かす。
- ・溶液b：アルギン酸ナトリウム1.5gを純水60gに溶かす
- ・溶液c：塩化カルシウム4.5gを純水150gに溶かす

（2）. 溶液aと溶液bを混ぜる。

（3）. （2）の混合液を、注射器を使用して溶液cに滴下する。

（4）. しばらく放置した後、水道水で洗う。

（2）スクロース溶液の作成

質量パーセント濃度10%スクロース溶液(モル濃度0.3mol/L)（以下スクロース溶液とする）を用いる。

（3）実験Ⅰ～Ⅲ

スクロース溶液と酵母ビーズを入れた容器に音を当て、糖度減少値とエタノール生成量を測定する。

ア 容器の作成

容器と茶こしを用意、金網の両端にニクロム線を取り付ける(写真1)。ニクロム線を容器のふたで固定、長さは調節できる。

イ 発酵の方法と糖度・エタノール生成量の測定

（1）. スクロース溶液200gを容器に入れ、糖度(%)を糖度計(SK-100R 手持屈折計(株佐藤計量器製作所))を用いて測定する。

（2）. 酵母ビーズを金網に入れスクロース溶液に60分間浸す(写真2)。実験時以外は金網を上げ溶液に浸さないようにした(写真3)。

（3）. 容器の横にスマホを置き、音を当てる(「トーンジェネレーター」、音量3 (iPhone))。



写真1

- (4). (2)～(3)を6日間行い、6日目の最後に実験Ⅰと同様に糖度(%)を測定し糖度減少値(はじめの糖度と6日目糖度の差)を求める。また、実験後の溶液 150g をリービッヒ冷却器を用いて蒸留し、採取したエタノール生成量(g)を測定する(写真4)。



写真2



写真3

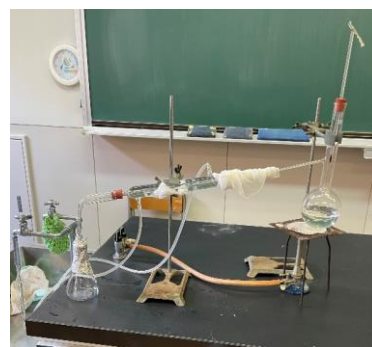


写真4

ウ 実験Ⅰ～Ⅲの発酵条件

実験の条件は次の通りである。

表1 実験Ⅰ～Ⅲの発酵条件

実験	酵母ビーズ (g)	波長 (Hz)	実験区		
実験Ⅰ	20	440	0分	30分	60分
実験Ⅱ	20	660	0分	30分	60分
実験Ⅲ	10	440	0分	30分	60分

(4) 実験Ⅳ

「松浦一雄, 超音波の酒類醸造への利用, 日本醸造協会誌, 第89巻, 1号」により、酵母の働きは、培養液中のCO₂濃度(DCO₂)に影響を受けるとある。

そこで、水道水を用いて、水道水に音を当て気泡の発生状態を調べ、音が水道水に溶けている気体を放出させる効果を持つかを調べる。

ア 方法

(1). 実験Ⅰ～Ⅲで使用した容器を2つ用意し、それぞれ水道水を入れる。

(2). A: 実験Ⅰ～Ⅲと同様にして、音(周波数440Hz)

を当てる(写真5)

B: 音を当てない

ともに1時間放置する。

(3). 茶こしに付着した気泡を確認する。



写真5

(5) 実験V

実験Ⅰ～Ⅲで気温差があったため、気温による酵母の呼吸・アルコール発酵の影響を調べる。

ア 方法

- (1). 実験Ⅰ～Ⅲで用いたスクロース溶液を、糖度計(SK-100R 手持屈折計(株佐藤計量器製作所))で糖度を測定する。
- (2). 試験管を6本用意し、それに酵母ビーズ1.5g、スクロース溶液15ml 入れる。
- (3). 試験管を30℃、40℃、50℃の水が入ったビーカーに入れる。以下、液温と称す。
- (4). ビーカーの横にスマホを置き、トーンジェネレーターを用いて660Hzの音を当てる、条件(b, d, f)を行う(写真6)。
対照として音を当てない条件(a, c, e)を行う(写真7)。
- (5). 60分間発酵させた後、糖度計(SK-100R 手持屈折計(株佐藤計量器製作所))を用いて糖度を測定し、糖度減少値(%)を調べる。

実験の条件は以下の通りである。

表2 実験条件

条件	液温(℃)	音(660Hz)
a	30	なし
b	30	あり
c	40	なし
d	40	あり
e	50	なし
f	50	あり



写真6



写真7

4 結果

(1) 実験Ⅰ～Ⅲ

実験Ⅰは2022年4月5日～7月7日に2回ずつ、実験Ⅱは2022年7月15日～8月18日に5回ずつ、実験Ⅲは2022年9月20日～10月27日に6回ずつ行った。

実験時の平均気温は実験Ⅰが25.2℃、実験Ⅱが29.9℃、実験Ⅲが24.3℃であった。実験は室内で行ったため気温と液温は同じとみなす。

ア 糖度減少値

糖度減少量の結果を表3と図1に示す。

表3 糖度減少値(%)の平均

実験	条件		糖度減少値(%)の平均		
	酵母ビーズ(g)	周波数(Hz)	0分	30分	60分
実験Ⅰ	20	440	4.0	3.9	3.9
実験Ⅱ	20	660	6.1	6.8*	6.3
実験Ⅲ	10	440	2.6	2.8	3.0

*外れ値を除いた平均となっている

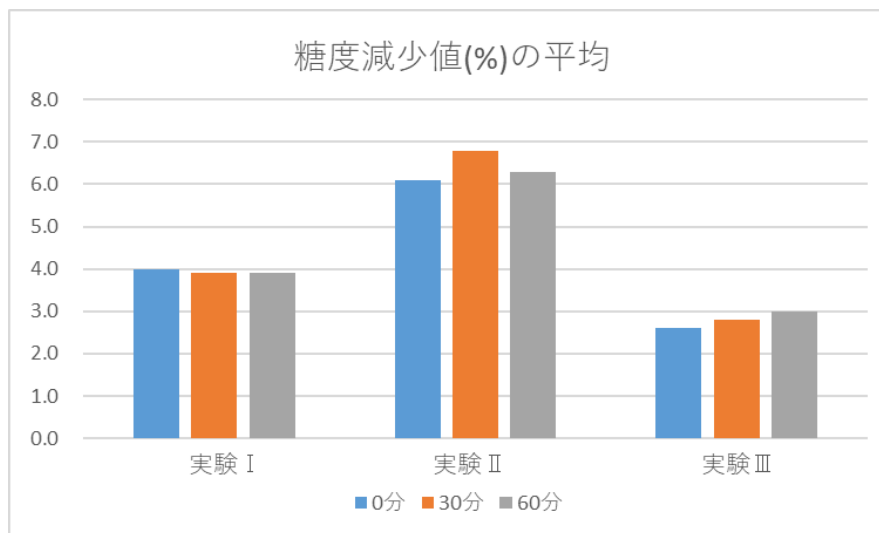


図1 糖度減少値(%)の平均

実験Ⅱ・Ⅲでは0分より30分・60分のほうが糖度減少量が大きかった。

イ エタノール生成量

エタノール生成量(g)の平均の結果を表4と図2に示す。

表4 蒸留で得たエタノール生成量(g)の平均

実験	条件		蒸留で得たエタノール生成量(g) の平均		
	酵母ビーズ(g)	周波数(Hz)	0分	30分	60分
実験Ⅰ	20	440	2.74	2.82	3.81
実験Ⅱ	20	660	2.82	7.14*	6.34
実験Ⅲ	10	440	1.22*	1.09	1.15

*外れ値を除いた平均となっている

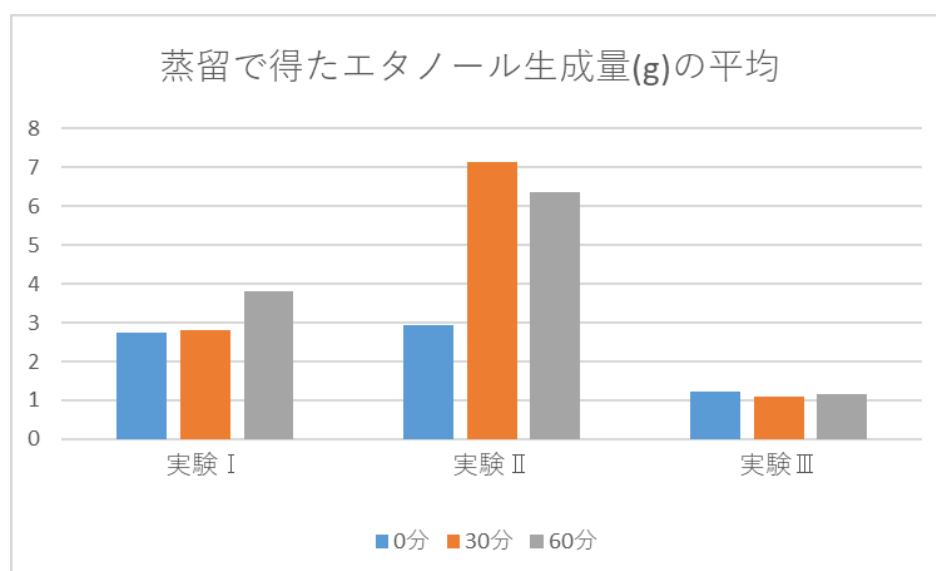


図2 蒸留で得たエタノール生成量(g)の平均

- ・周波数 660Hz では、440Hz より糖度減少値・エタノール生成量ともに多くなった。
- ・酵母ビーズ 10g では、20g より糖度減少値・エタノール生成量ともに少なくなった。
- ・実験Ⅰ・Ⅱの0分はエタノール生成量が同じで糖度減少量が多くなった。

(2) 実験Ⅳ

実験前(写真8)と実験後(写真9)のA・Bの比較より、A(音を当てたほう)のほうが気泡が多かった。

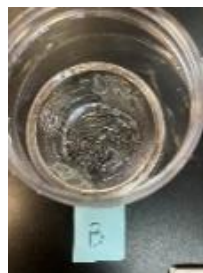


写真8

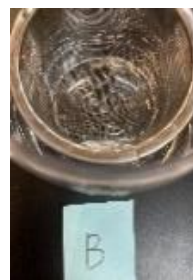


写真9

(3) 実験Ⅴ

糖度減少値を図3に示す。

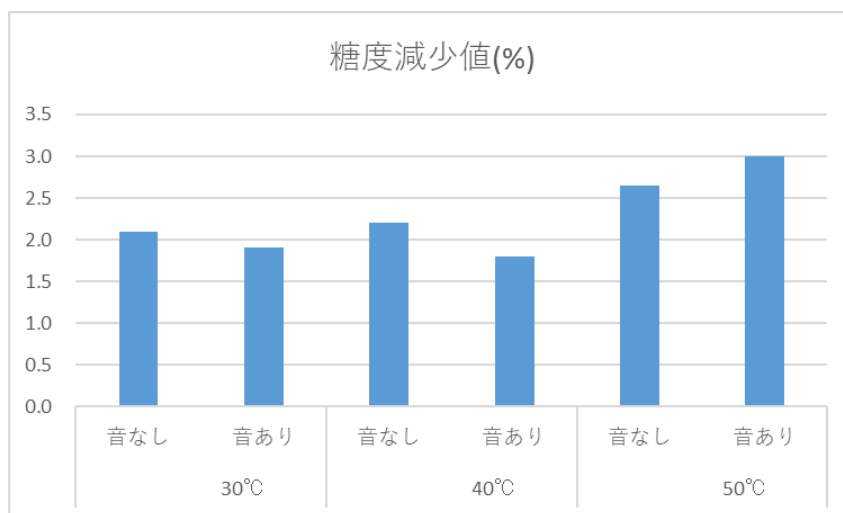


図3 糖度減少値(%)の平均

- ・液温 50℃では、音を当てた方が音を当てなかったものより糖度減少値が多くなった。一方で、液温 30℃, 40℃では音を当てた方が音を当てなかったものより糖度減少量は少なかった。
- ・液温 50℃で糖度減少値は最も大きくなる結果となった。

5 考察

【実験Ⅰ・Ⅱ・Ⅲの考察】

- ・実験Ⅰ・Ⅱにおいて音を当てた方がエタノール生成量が多い傾向にあるため、音で発酵は促進したといえる。
- ・実験Ⅰ・Ⅱより周波数 440Hz よりも周波数 660Hz のほうが発酵が促進される。
- ・実験Ⅰ・Ⅱの 0 分はエタノール生成量が同じで糖度減少量が多いことから、温度が高いほど酵母の呼吸が促進すると考える。
- ・実験Ⅲは、30 分・60 分のほうが 0 分よりも糖度減少値は多いが、エタノール生成量は少ない。このことから、この条件では音により発酵が抑制され、呼吸が促進したと考える。
- ・実験Ⅰと実験Ⅲにおいて、酵母ビーズ 20g のほうが酵母ビーズ 10g より効果がある。
- ・温度環境が異なるため、実験ⅠとⅡ、実験ⅠとⅢの間では、0 分の比較は可能であるが、30 分、60 分の比較は 2 つの条件が同時に変化するため困難である。
- ・音を当てることで発酵が促進した理由として、溶液中の二酸化炭素濃度 (DCO_2) が考えられる。 DCO_2 が高い場合は酵母の増殖が阻害される) ことから、音によって DCO_2 が低下し、増殖を阻害する効果が軽減されたと予想した。そこで、音が水に溶けている気体に及ぼす影響を調べるため、実験Ⅳを計画した。
- ・実験Ⅱが実験Ⅰに比べて糖度減少値・エタノール生成量が予想よりもはるかに多かった。このことから、酵母ビーズの作用において音以外の要因がかかわっている可能性を考えた。実験時の平均気温は実験Ⅰが 25.2℃、実験Ⅱが 29.9℃、実験Ⅲが 24.3℃であったことから、気温の影響を受けていると考え、実験Ⅴを計画した。

【実験Ⅳの考察】

- ・結果より、440Hz の音には、水道水に溶けていた気体を気泡にする効果があると考えられる。このことから、音を当てたことでエタノール溶液中の気体中の二酸化炭素も気泡になり、溶液の DCO_2 が低下することが示唆される。

【実験Ⅴの考察】

- ・実験Ⅰ・Ⅱ・Ⅲの結果を比較すると実験Ⅱの糖度減少値がとて多い。実験時の平均気温が実験Ⅱの時だけ気温が高い。このことから酵母の発酵の速度は温度に影響されるのではないかと考えた。
- ・結果から 50℃の時に音あり・なし共に糖度の減少量が多い。また 50℃の時だけ音を当てた時のほうが糖度減少値は多い。このことから、液温 50℃で酵母は活発に活動し、音を当てることでさらに活発になったと考えられる。
- ・「松田仁志, 固定化酵母を用いた呼吸の実験」では酵母は 40℃の時に最も呼吸と発酵が最も活発になるとあった。実験Ⅴの結果を見ると、糖度減少値は 50℃の時に最大で 30℃と 40℃の時の糖度減少値はほぼ同じであった。これはビーカー内の液温が 50℃であったが試験管内は十分に温められず、40℃程度になっていたためだと考えられる。また、50℃の時だけ音を当てた時のほうが糖度減少値は多い。このことから気温 50℃のときに最も呼吸やアルコール発酵が活発になり、音を当てることでさらに活性化させることが可能であると考えた。

【全体の考察】

酵母ビーズ 20g かつ、周波数 440Hz 又は 660Hz で音を当てることで発酵は促進する。周波数 440Hz の音を当てるよりも周波数 660Hz の音を当てるほうが糖度減少値は多い。また、音を当てたほうが糖度減少値は多い。このことから音を当てることは酵母の発酵を効率化させることに一定の効果があると考えた。その理由は二つ考えられる。一つは溶液に音を当てたことで溶液中の二酸化炭素を気泡にし、 DCO_2 が低下し、発酵が促進されたことが考えられる。もう一つは音を当てることで酵母の働きが最も活発になる温度での働きをさ

らに活発にすることが考えられる。

音を当てることはDCO₂を低下させることで水質環境を向上させることと、最適温度での酵母のはたらきを活性化させ、酵母の働きがさらに活発になると考えられる。

【結論】

- ・周波数 440Hz の音を当てるよりも 660Hz の音を当てたほうが発酵は促進する。
- ・酵母ビーズ 20g のほうが 10g よりも発酵は進む。
- ・音を当てることで溶液中の DCO₂を減少させることができる。
- ・酵母は液温 50℃の時最も活発に活動し、この時音を当てることでさらに活発に活動する。
- ・音を当てることは酵母のはたらきを活発にするだけでなく、水質環境を向上させ、酵母の働きをさらに活発にさせることが可能であると考えられる。

【今後の展望】

- ・音を当てた時の溶液中に溶解した気体の減少と、発酵速度の間の直接的な関係を調べたい。
- ・実験時の温度を一定にし、当てる音の周波数や酵母ビーズの量と、発酵速度の関係を正確に調べたい。
- ・音による、溶液中に溶解した気体の減少効果の詳細と、その効果を最大にする条件を調べたい。
- ・酸素のない完全密封の状態で実験Ⅰ～Ⅲをして、どのような違いがでるかを調べたい。
- ・酵母の呼吸とアルコール発酵を分けて糖度の減少量を測定したい。
- ・実験Ⅳでの内容を水道水ではなく、グルコース溶液で同様に行いたい。また、液中の CO₂の量を調べ、比較したい。
- ・実験Ⅴで、試験管の中のグルコース溶液の温度を測定したい。

共同研究者

近藤壮之輔（2年） 武田智樹（3年）

参考文献

坂口正明・広瀬務・中谷和夫・大西正巳・熊田順一, 酵母の増殖・代謝に及ぼす減圧の影響, 醸酵工学会誌, 第 68 巻, 4 号, p261-266 (1990)

- ・大橋淳史・福山勝也・大場茂, アルコール発酵の最適温度の測定 慶
応義塾大学日吉紀要. 自然科学, No. 45 p1-13 (2009)

- ・松浦一雄, 超音波の酒類醸造への利用, 日本醸造協会誌, 第 89 巻, 1 号,

・毎日新聞 疑問氷解 コップに水を入れて、しばらく放っておくと、コップの内側にたくさん気泡が付くのはなぜですか

<https://mainichi.jp/maisho/articles/20180508/kei/00s/00s/010000c>

(参照 2023-4-14)

- ・松田仁志, 固定化酵母を用いた呼吸の実験, 生物教育 第 34 巻 第 4 号(1994)
- ・実験で使用した「トーンジェネレーター」

<https://apps.apple.com/jp/app/%E3%83%88%E3%83%BC%E3%83%B3%E3%82%B8%E3%82%A7%E3%83%8D%E3%83%AC%E3%83%BC%E3%82%BF%E3%83%BC/id457003837?platform=iphone>