

バイオエタノールの生成条件の効率化

秋田県立横手高等学校 2年1組 生物2班

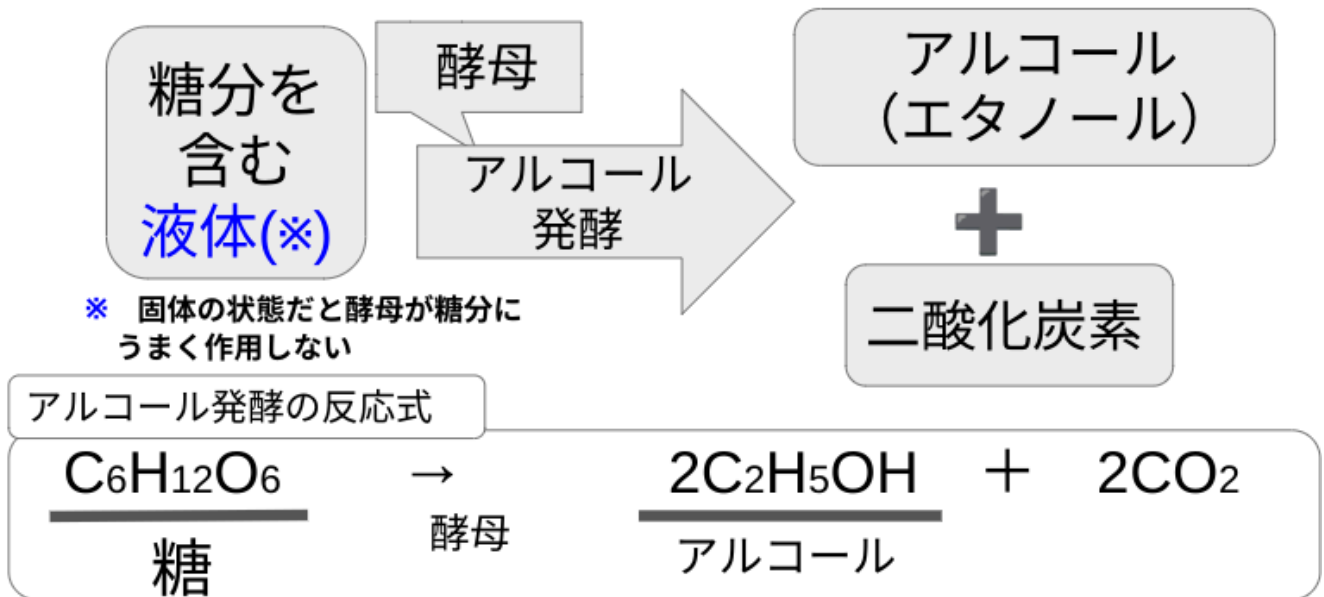
小川立 高橋英佑 保坂陽斗 梅津茉歩 大嶋亜実 土田妃乃
指導教員 岡本 由佳子

1 はじめに

フードロスとエネルギー問題に着目し、廃棄食品からバイオエタノールを生成できるのではないかと考えた。秋田県では米ぬかが大量に廃棄されていることから米ぬかを原料にしてバイオエタノールを生成させ、コスト・エネルギーが最も低い生成条件を探ろうと考えた。

2 バイオエタノールができる仕組み

バイオエタノールとは、トウモロコシやサトウキビなどの生物資源(バイオマス)を発酵させて製造するエタノールである。



3 実験方法と結果

〈予備実験〉

先行研究を参考に米、じゃがいも、人参、玉ねぎの4つでバイオエタノールを生成することができるかを確認する。

○実験工程

- ①各材料150gをフードプロセッサーで細かくし、水300g、ドライイースト1.14g、米麴45gを混ぜる。
- ②混ぜたものを密封容器に入れ、温度が変化しづらい暗所で18℃で約1週間糖化と発酵を行う。
- ③糖化発酵させたものを1回ろ過し、蒸留を行う。
- ④蒸留で得られた液体を200μL取り、燃焼させる。

○結果

表1

	米	じゃがいも	人参	玉ねぎ
蒸留した時間	7時間	10時間	10時間 30分	6時間 30分
得られた液体の量	1000 μ L	300 μ L	700 μ L	1100 μ L
200 μ Lあたりの燃焼時間	24秒	燃えない	燃えない	21秒

米、玉ねぎから得られた液体は燃えたためエタノールを生成することができたと判断した(表1)。じゃがいも、人参から得られた液体は燃えなかった。しかし、この予備実験では蒸留した時間に対してエタノールの生成量が非常に少なかった。

ここで、エタノールの生成ができた米に着目し、秋田県で大量に廃棄されている米ぬかを用いて実験を行った。

水100g、米ぬか15g、米麴5g、ドライイースト0.5gを用い、糖化と発酵をそれぞれ25 $^{\circ}$ Cずつで合計1週間行い、ろ過した後1時間蒸留したが、得られた液体は燃えなかった。

〈今後の実験について〉

予備実験ではリービッヒ冷却器を用いて実験を行っていたが、十分に冷却できていなかったため、氷嚢を用いての冷却に変更した(写真1・写真2)。



写真1 予備実験で用いたリービッヒ冷却器

写真2 氷嚢を用いた冷却法

予備実験の結果から糖化・発酵・蒸留を行う際の3つの問題点についてそれぞれ改善し実験を行った。

・糖化と発酵をそれぞれ長時間行ったものの、少量のエタノールしか生成できず効率が悪かった。→〈実験1〉

・糖化と発酵を常温で行うと時間がかかった。→〈実験2〉

・一度に蒸留する溶液の量が多かったため、液体の温度が沸点まで上がらず少量のエタノールしか生成できなかった。→〈実験3〉

〈実験1〉発酵と糖化の手順について

仮説「糖化と発酵を同時に行っても、生成できるエタノールの量は変わらない」を立て実験を行った。

○実験工程

- ① デンプン10g、ジアスターゼ3g、水40gを入れたもの[1][2]を用意し、[1]にはドライイースト0.5gを加え、[2]には加えず、それぞれジップロックに入れ空気を抜いて密閉し混ぜる。
- ② [1]と[2]を恒温器で45℃、1時間糖化させる。
- ③ [2]にドライイースト0.5gを加え、恒温器で45℃、1時間発酵させる。
- ④ [1][2]を1回ろ過し、1時間蒸留を行う。
- ⑤ 蒸留で得られた液体の量を測定する。

○結果

表2

デンプンの量(g)	糖化と発酵	得られた液体の量(g)
10	同時に1時間 (計1時間)	3.0
10	別々に1時間ずつ (計2時間)	2.8

糖化と発酵を別々に行った時と同時に行った時ではエタノール生成量に大きな差はないと言える(表2)ため、糖化と発酵は同時に行ったほうが時間に対する生成効率が良いと考えた。

〈実験2〉発酵、糖化の際の温度について

仮説a「発酵は常温より高温で行ったほうが、生成できるエタノールの量が増加する」

仮説b「糖化は常温より高温で行ったほうが、生成できるエタノールの量が増加する」

を立て実験を行った。(ただし、このときの常温は15℃と設定する。)

・実験a

この実験では糖化を省くために上白糖を使用し、条件を「水:上白糖=2:1 発酵、蒸留1時間ずつ」とする。

○実験工程

45℃で行った場合

- ① 上白糖、水、ドライイーストを[1](上白糖20g、水40g、ドライイースト0.6g、)[2](上白糖30g、水60g、ドライイースト0.9g)[3](上白糖40g、水80g、ドライイースト1.2g)[4](上白糖50g、水100g、ドライイースト1.5g)の4パターンを2組ずつで用意し、それぞれジップロックに入れ混ぜる。
- ② 45℃に設定した恒温器で、1時間発酵を行う。
- ③ ②を1回ろ過し、1時間蒸留を行う。
- ④ 蒸留で得られた液体の量を測定する。
- ⑤ 得られた液体をそれぞれ200μLずつ燃焼させる。

18℃で行った場合

- ① 上白糖、水、ドライイーストを[1](上白糖20g、水40g、ドライイースト0.6g、)

[2](上白糖30g、水60g、ドライイースト0.9g)[3](上白糖40g、水80g、ドライイースト1.2g)[4](上白糖50g、水100g、ドライイースト1.5g)の4パターンを2組ずつで用意し、それぞれジップロックに入れ混ぜる。

② 温度が変化しづらい暗所で18℃で1時間発酵を行う。

③ ②を1回ろ過し、1時間蒸留を行う。

④ 蒸留で得られた液体の量を測定する。

⑤ 得られた液体をそれぞれ200μLずつ燃焼させる。

○結果

上記の[1][2][3][4]のいずれの場合においても45℃で発酵を行ったほうが生成量が多かった。また、上白糖の量を増やすにつれ生成量が減少した。

表3(45℃で発酵した場合)

上白糖の量(g)	10	20	30	40
得られた液体の量(μL)	3.8	2.8	1.6	1.3
燃焼時間(秒)	33	29	31	33
燃焼の様子	中程度	中程度	中程度	中程度

表4(18℃で発酵した場合)

上白糖の量(g)	10	20	30	40
得られた液体の量(μL)	3.1	2.0	0.9	0.3
燃焼時間(秒)	34	33	35	30
燃焼の様子	中程度	中程度	中程度	中程度

エタノールは濃度によって、燃焼の様子が異なる(写真3)。エタノール100%は強く燃え、75%は中程度燃え、50%は弱く燃えた。以上から生成したエタノールは同濃度(50%程度)といえる(表3・表4)。

したがって、仮説a「発酵は高温で行ったほうが、生成できるエタノールの量が増加する」が成り立ち、発酵は常温より高い温度で行ったほうが多くエタノールが生成できるといえる。

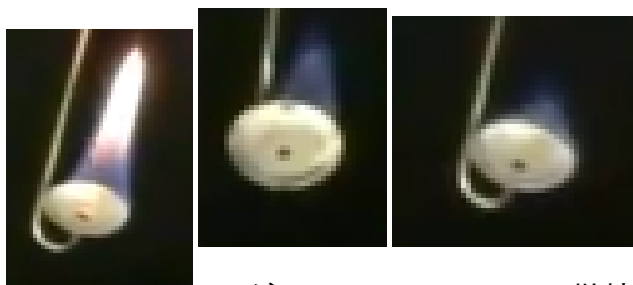


写真3 左から順にエタノールが100%、75%、50%の燃焼の様子。

・実験b

この実験では糖化の工程を強調するため、デンプンを使用し、条件をデンプン10g、水40g、米麴3g、ドライイースト0.5g、糖化・発酵・蒸留をそれぞれ1時間行うこととする。

○実験工程

- ① ジップロックにデンプン10g、水40g、米麴3gを入れたものを2つ用意する[1][2]。
- ② [1]は温度が変化しづらい暗所で18°Cで1時間放置し、[2]は恒温器で45°Cに保ちながら1時間糖化させる。
- ③ [1][2]にそれぞれドライイーストを0.5g加え、どちらも常温で1時間発酵させる。
- ④ [1][2]をそれぞれ1回ろ過し、1時間蒸留する。
- ⑤ [1][2]を蒸留して得られた液体の量を測定する。
- ⑥ 得られた液体をそれぞれ200μLずつとり、燃焼させる。

○結果 表5

デンプンの量(g)	糖化温度(°C)	得られた液体の量(g)
10	常温(15°C)	1.8
10	45°C	2.5

表6

	常温(18°C)で糖化	45°Cで糖化
燃焼時間(秒)	30	32
燃焼の様子	中程度	中程度

45°Cのほうが生成量が多い(表5)。生成したエタノールの濃度は燃焼の様子を写真3と比較してどちらもほぼ同濃度(50%程度)と考えられる(表6)。

したがって、仮説b「糖化は常温より高温で行ったほうが、生成できるエタノールの量が増加する」が成り立ち、糖化は常温より高温で行ったほうが多くエタノールを生成できるといえる。

また、〈実験1〉より糖化と発酵を同時に行ったほうが時間の効率が良いことから糖化と発酵を同時に行う時の酵素と酵母の最適温度を調べる実験cを行った。

・実験c

キューネ発酵管を下の調べる温度に保ったお湯の中に浸し発酵と糖化を同時に行い、発生する気体の量を調べた。

○実験工程

- ①ドライイースト2g、ジアスターゼ2gを水に溶かし10% mLキューネ発酵管に入れる。
- ②①のキューネ発酵管を25°C、28°C、30°C、32°C、34°C、35°C、36°C、38°C、44°Cに保ったお湯に入れ気体の発生量を調べる(写真4)。

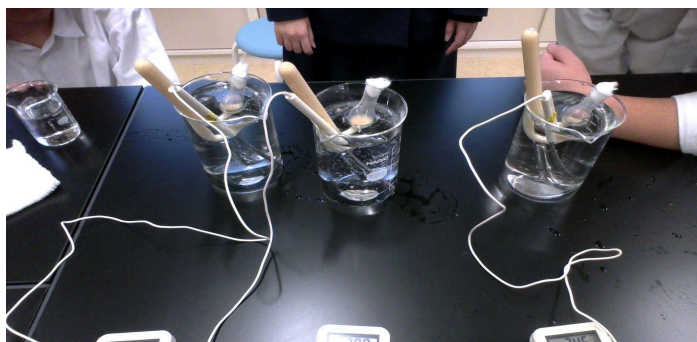
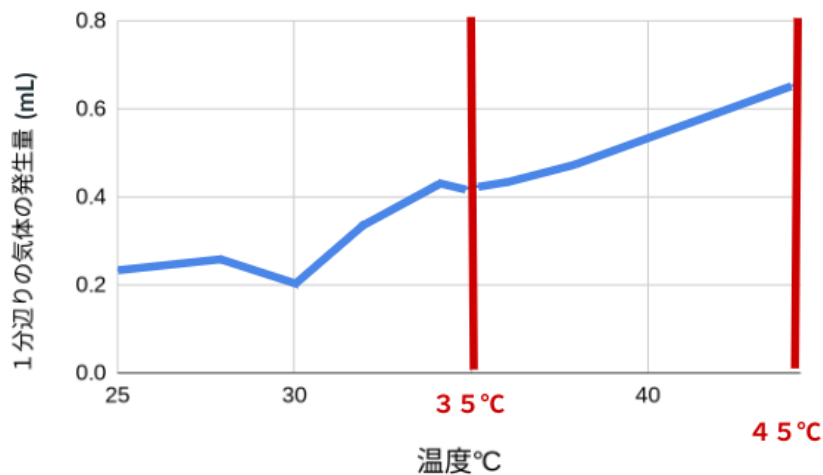


写真4(実験の様子)

○結果 図1



※このとき、最初に示したアルコール発酵の化学式より、エタノール生成時に伴い二酸化炭素も発生することから、エタノール生成量を二酸化炭素発生量に置き換えて検証した。

温度が高くなるほど気体の発生量が多くなっている(図1)。このことから、35~45°Cが発酵と糖化を同時に行ったときの最適温度である可能性が高いと予想した。

〈実験3〉一度に蒸留する溶液の量について

仮説「一度に蒸留する量が少ないほど、生成できるエタノールの量が増加する」を立て実験を行った。

○実験工程

- ①(上白糖20g、水40g、ドライイースト0.6g)(上白糖30g、水60g、ドライイースト0.9g)(上白糖40g、水80g、ドライイースト1.2g)(上白糖50g、水100g、ドライイースト1.5g)の4パターンを2組ずつで用意し、それぞれジップロックに入れ空気を抜いて混ぜる。
- ②45°Cに設定した恒温器で、発酵を1時間行う。
- ③糖化発酵させたものを1回ろ過し、蒸留を行う。
- ④蒸留で得られた液体の量を測定する。

○結果

表7

溶液全体の量(g)	得られた液体の量(g)
-----------	-------------

60.6	3.8
90.9	3.8
121.2	1.6
151.5	1.3

図2

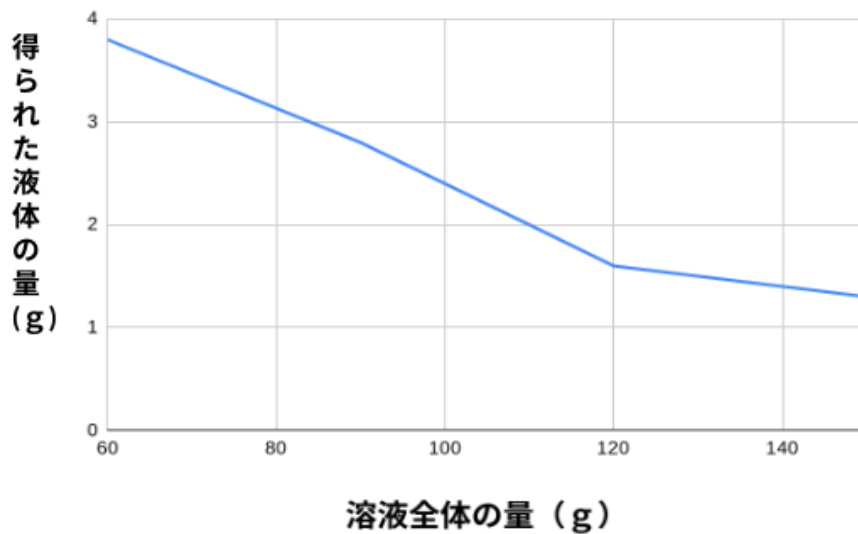


表7より得られた液体の量と溶液全体の溶液の量の相関係数を求めると-0.36という値が得られた(図2)。これはやや負の相関があるといえる値であるため仮説が成り立ち、「一度に蒸留する量が少ないほど、生成できるエタノールの量が増加する」と言える。

4 まとめと考察

(1) 実験工程について

〈実験1〉において、糖化と発酵を同時に行ったほうが時間効率が良いという結果を受けて調べてみたところ、焼酎の製造などでも用いられている「並行複発酵」という手法を文献で見つけた。これは、糖化と発酵を同時に行うことで、糖化から発酵に進む速度が上昇し、時間効率が向上する手法である。

また、糖化で用いる酵素、発酵で用いる酵母は、それぞれ35~40℃、40~45℃で活発になる(図3・図4)。〈実験2〉の図1と図3・図4を比較すると、35~45℃がエタノール生成の最適温度であると考えられる。

図3

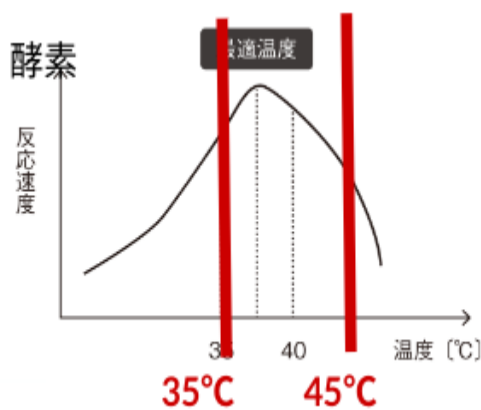
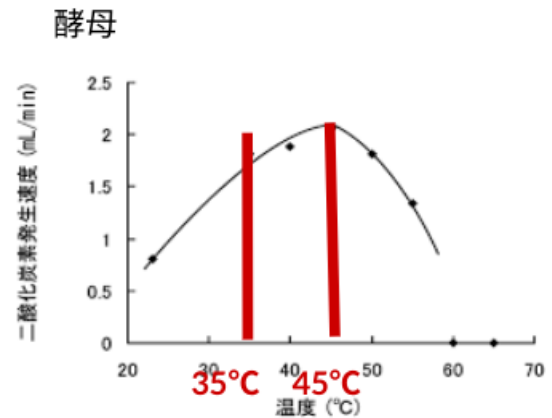


図4



実験1～3から得た結果をまとめた。

- ・糖化と発酵は35～45°Cで同時に行う。
- ・一度に蒸留する液量を少なくし、蒸留の温度上昇と得られた液体の冷却の効率を上げる。

(2) 米ぬかからのエタノール生成について

1番最初の米ぬかからバイオエタノールを生成できなかった原因を考察した。まず、糖化と発酵を常温の25°Cで行ったため、糖化と発酵が十分に行われなかったことがあげられる。さらに文献を調べてみたところ、炊いた白米は炊くことによって自然に糖化が起こっており、デンプンが増加する変化が起きていることがわかった。予備実験では炊いた白米でバイオエタノールを生成できたため、米ぬかも蒸してエタノールを生成する実験を行い結果を比較していきたい。

5 今後の課題

- ・米ぬかからエタノールを生成する実験方法を見直す。
- ・エタノール生成になるべくエネルギーを使用しないように実験方法を見直す。

6 謝辞

これまでの活動に丁寧なご指導をくださった岡本由佳子先生、加藤華世先生、高橋里実先生、本当にありがとうございました。

7 引用・参考文献

- Try It 高校化学 5分でわかる！最適温度
- 「アルコール発酵の最適温度の測定」-大橋 淳史・福山 勝也・大場 茂
- 「廃棄食品から生まれるバイオエタノール パート2」-国立大学法人 筑波大学附属中学校 2年5組 穴澤 見空
- 麦焼酎醪の並行複発酵の解析について-国税庁醸造試験所 岩野君夫・三上重明・石田謙太郎・椎木敏
- 米のむせる科学-御茶の水大学 木原芳次郎