

菌類を用いたうどんのゆで汁からのバイオエタノール生成

三澤 和文 玉田 雄大 長尾 洋輝

1.はじめに

「うどん県」である香川では、ソウルフードとしての「うどん」が老若男女を問わず好まれている。しかし、製麺時や調理時には大量の水が必要であり、大量のうどん排水（うどんのゆで汁）が発生している。その結果、香川県の下水道整備地域以外の小規模製麺所においては、難分解性であるデンプンを含有するうどん排水が未処理のまま農業用水路へ排出されることで、アオコやヘドロが発生し悪臭など環境悪化が問題となっている。また、下水道整備地域であっても光合成産物であるデンプンを多く含むうどんのゆで汁がそのまま下水として捨てられていることは、生物資源損失であるといえる。

そこで我々は香川県民として、これらの問題に取り組むべく、うどんのゆで汁を再利用する方法を身近な生活の中から見出したいと考えた。

2.研究目的

うどんのゆで汁に含まれるデンプンはグルコースの重合体である。酵母菌が行うアルコール発酵は工業用エタノール生産の重要手段の1つであり、我々の生活のなかに深く関わっている。最近では、トウモロコシ、サトウキビ、廃木材などを糖化、発酵、蒸留することによって作る植物性のバイオエタノールが注目されている。そこで、うどんのゆで汁中のデンプンも同様の手法により糖化を行いグルコースに分解し、それを酵母菌によりアルコール発酵させれば、バイオエタノールを得ることができるのではないかと考えた。

また先行実験では手法が難しく、入手が難しい材料もあったので我々は高校生でもできる実験手法や簡単に入手できる材料でうどんのゆで汁からのバイオエタノール生成に取り組むことにした。

3.予備実験 ①

初めに、予備実験としてアルコール発酵を行った。

10%のグルコース溶液 200ml に、酵母菌としてドライイースト 10g を加えて酵母菌溶液をつくり、キューネ発酵管に移し室温 28℃で 20~30 分間置く。

その後キューネ発酵管に水酸化ナトリウム(NaOH)を加えると減圧したことからCO₂の発生を確認でき、そのことからエタノールの生成を確認できる(図1)。



図1 キューネ発酵管でのアルコール発酵

4.予備実験 ②

次に、うどんのゆで汁の糖化を行った。

米麴を用いて糖化を行うことにした。ゆで汁に対する米麴の割合が一番効率よい時を調べるため、下の表のように A~L の 12 種類の条件に分けてそれぞれの糖化具合を時間とともに計測した。(表1)

表1 うどんのゆで汁と米麴の割合による、糖化具合の差

		うどんのゆで汁 (ml) 常温			
		400	300	200	100
米麴 (g)	30	A	B	C	D
	20	E	F	G	H
	10	I	J	K	L

表1のA~Lこれらに同時に米麴を入れてから10分ごとに試験管に0.5mlをとり、蒸留水を入れ20倍に希釈し、ヨウ素液を1滴入れることでデンプンの有無を調べ、糖化ができているかどうかを調べた。結果は次の表2のようになった。

表 2 予備実験 2 の結果

○...糖化できた
×...糖化できなかった

	A	B	C	D
10 分	×	×	○	○
20 分	○	○	○	○
30 分	○	○	○	○

	E	F	G	H
10 分	×	×	○	○
20 分	○	○	○	○
30 分	○	○	○	○

	I	J	K	L
10 分	×	×	×	○
20 分	○	×	○	○
30 分	○	○	○	○

表 2 より少ない米麴の量で多くのゆで汁を糖化できる、効率がよい I（ゆで汁：米麴＝400：10）は 20 分かかった。また、30 分おくと A～L のすべてデンプンがなくなった。

5. 予備実験③

次にこれらが本当に糖化されたかを調べる。

予備実験②で糖の生成をさらにヨードホルム反応によって確認する。

まずゆで汁 400ml と 200ml を用意し、それぞれに米麴 30, 20, 10g を加え 20 倍希釈した。それぞれを 10 分おきに採取し、水酸化ナトリウムを入れる。その後においを確かめる。その結果どのゆで汁からもヨードホルム独特のにおいが確認した。このことから糖の生成を間接的に確認できた。

しかし、においによる生成の確認は一般的ではないため、エタノールの生成を直接的に確認できるエタノールセンサーを今後の実験に用いることにする。(図 2, 3) このエタノールセンサーは液面に直接浸して濃度を測定するものではなく、揮発するエタノールの濃度を測定するものである。



図 2 エタノールセンサー

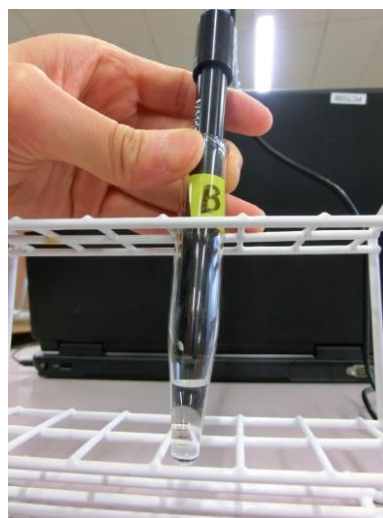


図 3 エタノールセンサーで
エタノールの濃度の確認

6. 本実験①

蒸留によって、エタノールを取り出した。まず、うどんのゆで汁 300ml に米麴 30g を加えて糖化した。この溶液に酵母菌（ドライイースト）を 10g 加えアルコール発酵を行った。その後この溶液をろ過し、精製したろ液約 70ml が得られた。このときのろ液のエタノール濃度は約 0.55% である。そして、ろ液を蒸留し、精製される液 2ml ごとを試験管にとりだし 4 本得た。(図 4)

そしてそれぞれのエタノール濃度をセンサーで測定した。その結果は 3 表のようになった。

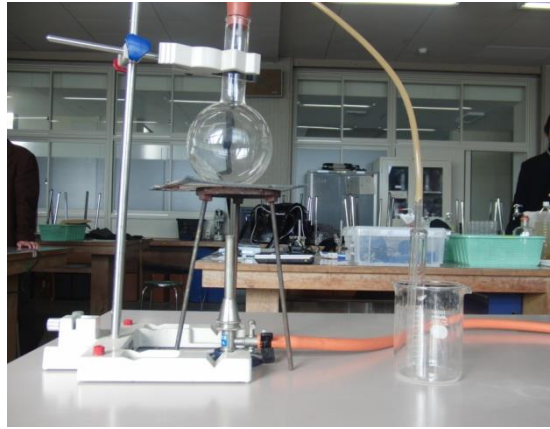


図4 蒸留の様子

表3 蒸留後のエタノール濃度

	1本目	2本目	3本目	4本目
濃度	5.8%	4.45%	2.25%	1.58%

表3より蒸留を行うことで1%を超える濃度のエタノールが精製できた。しかしより効率良くエタノールを生成したいと思い、そのためには蒸留を行うまでの過程、つまりろ液のエタノール濃度を高くすれば良いと考えた。そこでろ液のエタノール濃度を上げる方法として以下2つの方法を考案した。

方法1 ゆで汁中からより多くのでんぷんを取り出す(デンプンの凝集)

方法2 糖化した後の糖の濃縮をする。

我々はこの中で、方法1のデンプンの凝集について研究することにした。

本実験② タンパク質分解酵素を用いたデンプンの凝集

山形大学の渡辺准教授の論文によると、タンパク質分解酵素を加えるとゆで汁は上澄みと沈殿に分離するとあった。そこで私たちはタンパク質分解酵素を含む身近な食品(マイタケ、パイナップル、ハチミツ、キウイ、これらを混ぜたもの)を用いて、分離が起こるか確認した。(図5)

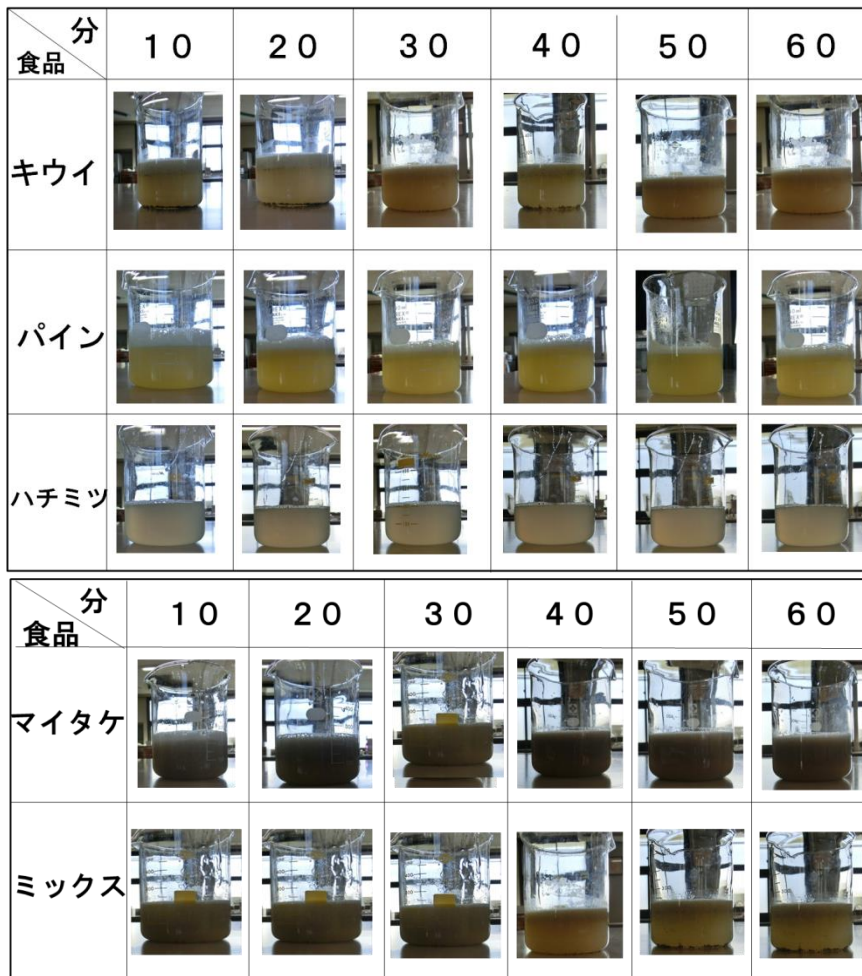


図5 タンパク質分解酵素を含む食品を加えた後の分離の確認

結果

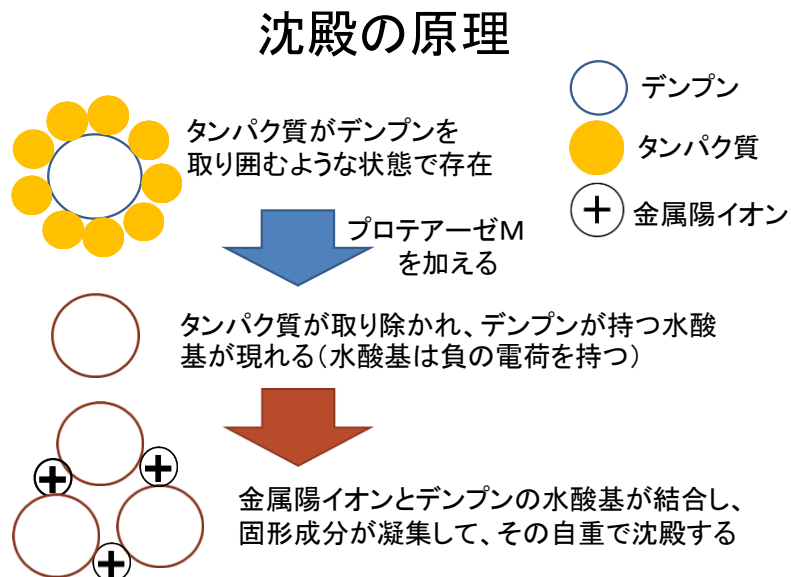
どの食品を用いても分離は確認出来なかった。また、食品を直接加えたため色の変化を確認しづらかったことも考えられる。

考察

分離が確認出来なかったのは、ゆで汁中には多量のタンパク質が含まれており、各食品中に含まれるタンパク質分解酵素では分解しきれなかったためだと考察した。

本実験③ タンパク質分解酵素への金属陽イオン添加

本実験②の後、論文を読み返してみたところ、沈殿の原理は以下の通りであった。



(山形大学渡辺准教授の論文より)

そこで、タンパク質分解酵素を含むキウイをお茶パックに入れゆで汁に30分浸した後、塩化マグネシウムを主成分とするにがりを加えて変化を調べた。

	左 : control	右 : MgClを加えたゆで汁
変化前		
1日後		
2日後		
3日後		
4日後		
5日後		

図6 ゆで汁ににがりを加えたものの変化の様子

結果

にがりを加えて5日まで変化を調べたが変化は確認できなかった。

本実験④ 冷凍による沈殿の凝集

ゆで汁を冷凍保存しておいたところ、沈殿が生じていた（図7）。

我々はこの沈殿がデンプンではないかと仮定し実験を行った。



左の写真のように、冷凍することにより上澄みと沈殿に分離した。そして、それぞれにヨウ素液を加えて変化を調べた。

{ 上澄み・・・ほとんど変化しなかった。
沈殿・・・青紫色を示した

図7 冷凍したゆで汁

結果

冷凍により生じた沈殿はデンプンと確認出来た。

よって冷凍することにより、デンプンを凝集出来る。

本実験⑤ ろ液のエタノール濃度の比較

沈殿部分をアルコール発酵させ、生成したろ液のエタノール濃度を調べた。沈殿部分は、デンプンが β 化した状態であり反応が悪かったため、冷凍したゆで汁 300ml を 60℃のお湯に浸し α 化した後、本実験①と同様に実験を行う。そして、冷凍せず、そのままゆで汁を用いた場合と比較した。

表4 エタノール濃度

各液（ろ過後）	1回目	2回目	3回目	4回目
冷凍による沈殿部分	1.30%	0.80%	0.48%	1.37%
そのままのゆで汁	0.43%	0.74%	0.68%	1.00%

結果

表4より、そのままのゆで汁よりも冷凍により生じた沈殿部分をアルコール発酵させることでより高い濃度のエタノールを生成できた。

考察

2回目、3回目において濃度が低くなっているのは冷凍したゆで汁を α 化する時間が短かったため、デンプンが完全に糖化しなかったことが考えられる。

7.結論

うどんのゆで汁に米麴を加えてできた糖化液に、ドライイーストを加えることでバイオエタノールを得ることができた。また、より濃度の高いバイオエタノールを得る為の方法としてデンプンの凝集が有効であることが分かった。しかし、タンパク質分解酵素添加によるゆで汁からのデンプンの凝集は出来ず、冷凍することによりデンプンの凝集に成功した。

8.謝辞

今回の研究にあたり多くの助言を下された松本澄洋先生、藤沢敦子先生

「うどんまるごとエコツアー」において見学させていただいた ちよだ製作所さん、ゆで汁を提供して下さったまるいちさん(うどん店)に厚くお礼申しあげます。

9.参考文献

「日本食品工学誌」,Vol.7,No.1,pp.49-54,Mar.2006 渡辺昌規ら