

ヨーグルト作製の教材化

加藤 良一¹⁾ 富樫 悠¹⁾ 長根 智洋²⁾ 鈴木 隆³⁾

乳糖を分解した牛乳およびノンホモジナイズ牛乳以外の牛乳に、ドリンクタイプのヨーグルトをその牛乳の量の1%加えて攪拌し、それを45℃で24時間培養するとヨーグルトが作製できた。なお、ドリンクタイプのヨーグルトは、賞味期限内かまたはそれになるべく近いものを用いる。この結果より、中学校理科3年生、高等学校「生物基礎」、および中学校技術・家庭科の実験教材としてこれらが提供できることを示した。

キーワード：牛乳 教材 ドリンクタイプのヨーグルト 培養 ヨーグルトの作製

はじめに

ヨーグルトは、古くからある発酵乳のひとつで、多くの人々に親しまれてきた。今では、多くの種類のヨーグルトが市販されており、気軽に入手できる。また、家庭でヨーグルトを作るための乳酸菌も販売されており、他の発酵食品に比べて、比較的容易に作る事ができる。

ヨーグルトの簡単な作製については、今までいろいろな研究がされてきた。松原と小田(1987)¹⁾は、牛乳および脱脂粉乳のどちらを用いてもヨーグルトは作製できたが、家庭でヨーグルトを作製する場合は牛乳の方が適していると報告した。また、熊崎と成田(1997)²⁾は、脱脂粉乳を用いて作製されたヨーグルトではその酸度は早く上昇し、牛乳を用いて作製されたヨーグルトの方が前者と比べて好まれたと報告した。榮ら(2002)³⁾は、乳脂肪が多く含まれる牛乳を用いて作製されたヨーグルトは好まれ、乳脂肪の低い牛乳で作製されたヨーグルトでは用いた乳酸菌によってその嗜好が分かると報告した。兒玉ら(2005)⁴⁾は、市販のカスピ海ヨーグルトと家庭で株分けされてきたカスピ海ヨーグルトとを比較して、カスピ海ヨーグルトにはクレモリス菌、アセトバクター菌が存在しているため常温で発酵できるが、長年株分けを続けると環境によっては別の菌が繁殖し始め、カスピ海ヨーグルトの本来持つ性状とは違うヨーグルトが作製される可能性を示した。牛越と小木曾(2006)⁵⁾は、植物乳で

ある豆乳を用いて作製したヨーグルトは、牛乳で作製したヨーグルトと比較して固めで、そのpHは培養48~72時間で4.0程度まで下がると報告した。

実際に、大学や専門学校での「食品学」の授業ではヨーグルト作製の実験が行われているが、理科教育または家庭科教育においてヨーグルトの作製を教材化した報告は少ない。中村(1998)⁶⁾は、高等学校の生物の授業で、使い捨てカイロを発泡スチロール製のクーラーボックス内に入れた簡易恒温器を利用してヨーグルトを作製することを提案した。中学校理科^{7),8),9)}および高等学校「生物基礎」^{10),11),12)}では乳酸菌が、中学校技術・家庭科¹³⁾ではヨーグルトがそれぞれ紹介されており、実際にこれらの授業でヨーグルトを作製してみることの意義は大きいと思われる。そこで、本研究では、市販のドリンクタイプのヨーグルトとさまざまな牛乳を用いてヨーグルトを作製し、その性状を比較検討し、教材として適するヨーグルトの作製の条件を調べた。

実験方法

1. 材料の入手

ドリンクタイプのヨーグルト(乳酸菌)①、ヨーグルト②、およびヨーグルト③は、山形市内のスーパーマーケットおよびコンビニエンスストアで購入した。

牛乳①「せいきょう牛乳げんき(生活協同組合共立社 無脂乳固形分:8.4%以上、乳固形分3.5%以上、種類別:牛乳)」、牛乳②「COOP 1.0低脂肪乳(生活協同組合共立社 無脂乳固形分:8.0%、乳脂肪分:1.0%、種類別:加工乳)」、牛乳③「小岩井無脂肪牛乳(小岩井乳業(株) 無脂乳固形:8.6%以上、乳脂肪

1) 山形大学 地域教育文化学部 生活総合学科

2) シンガポール日本人校 中学部

3) 山形大学 地域教育文化学部 地域教育学科

表1 ヨーグルト作製のために使用した牛乳の一覧

	無油乳固形分(%)	乳脂肪分(%)	特徴
牛乳①	8.4以上	3.5以上	成分無調整
牛乳②	8.0	1.0	低脂肪乳
牛乳③	8.6	0.1	無脂肪乳
牛乳④	8.6	3.0	Ca+Fe 強化
牛乳⑤	8.6	4.4	高脂肪分
牛乳⑥	7.0	2.5	乳糖分解
牛乳⑦	8.3以上	3.5以上	ノンホモジナイズ

分：0.1%，種類別：無脂肪牛乳），牛乳④「カルシウムと鉄分の多いミルク（グリコ乳業㈱ 無脂乳固形分：8.6%，乳脂肪分：3.0%，種類別：乳飲料）」，牛乳⑤「濃くておいしいミルク（グリコ乳業㈱ 無脂乳固形分：8.6%，乳脂肪分：4.4%，種類別：乳飲料）」，牛乳⑥「おなかによさしく（日本ミルクコミュニティ㈱ 乳糖分解，無脂乳固形分：7.0%，乳脂肪分：2.5%，種類別：乳飲料）」，および牛乳⑦「低温殺菌牛乳（㈱湯田牛乳公社 無脂乳固形：8.3%以上，乳脂肪分：3.5%以上，種類別：牛乳）」は，山形市内のスーパーマーケットで購入した（表1）。

2. 滅菌処理

100mlビーカーに2重のアルミホイルで蓋をしたもの，薬さじおよびピペットマンのチップを2重のアルミホイルで包んだもの，および100mlメスシリンダーの口の部分に2重のアルミホイルで蓋をしたものを，オートクレイブ（㈱トミー精工 LBS-325）を用いて121℃で15分間滅菌した。

3. ヨーグルトの作製

牛乳①，牛乳②，牛乳③，牛乳④，牛乳⑤，牛乳⑥，または牛乳⑦のパックの注ぎ口部分に70%アルコールを噴霧して消毒し，それを開封して，滅菌したメスシリンダーで100mlに定量した後，滅菌した各100mlビーカーに分注した。次に，ヨーグルト①，ヨーグルト②，またはヨーグルト③を0ml，0.01ml，0.1ml，または1mlピペットマン（Gilson社製）を用いてそれらのビーカーに入れ，滅菌した薬さじで攪拌し，アルミホイルの蓋をした。これらは，それぞれ三つずつ用意した。以上の操作は，クリーンベンチ（HITACHI）内で行った。そして，それらを45℃に温度調節したインキュベーター（旭テクノグラス㈱ NIB-90）に入れて，24時間培養した。この培養時の6時間ごとに，pH試験紙（Whatman：pH試験紙 SRタ

イプ標準型 0.5-5.5：0.5 2600-101A，Whatman：pH試験紙 SRタイプ標準型 4.0-7.0：0.3 2600-102A）を用いてpHを測定し，3実験区の平均値を算出した。さらに，牛乳の凝固する状態を目視して記録した。作製されたヨーグルトは，冷蔵庫内に一時保存した。

実験結果及び考察

1. 牛乳に入れるヨーグルトの量

ヨーグルト①0ml，0.01ml，0.1ml，または1.0mlと牛乳①100mlを攪拌し，それぞれ24時間培養してヨーグルトを作製した。

ヨーグルトを入れなかった場合（0ml）は，培養24時間後までpH7.0のまままったく変化せず（図1），ヨーグルトは作製できなかった。

ヨーグルト①を0.01ml入れると，培養12時間後にpH5.0に，培養18時間後にpH3.5となり，その後は変化しなかった（図1）。そして，培養18時間後には，ヨーグルトが作製され，その表面は荒く，崩れやすく，離水が出て（図2），傾けると流動性が見られた。ヨーグルト①を0.1ml入れると，培養12時間後にpH4.5に，18時間後にpH3.5となり，その後は変化しなかった（図1）。そして，培養18時間後には，やや固く，離水の多いヨーグルトが作製された。ヨーグルト①を1.0ml入れると，培養12時間後にpH4.0に，培養18時間後にpH3.5となり，その後は変化しなかった（図1）。そして，培養18時間後には，固く，離水の少ないヨーグルトが作製された（図3）。

以上の結果から，牛乳に加えるヨーグルトの量は，牛乳の量の1%程度が適していると分かった。

2. ヨーグルトの違い

ヨーグルト①，ヨーグルト②，またはヨーグルト③0mlまたは1.0mlと牛乳①100mlを攪拌し，それぞれ24時間培養してヨーグルトを作製した。

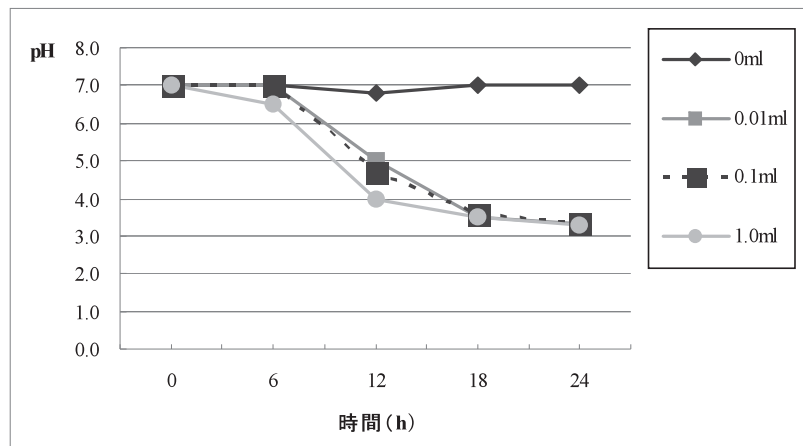


図1 牛乳に入れるヨーグルトの量を変えて培養した時の牛乳のpH変化

ヨーグルト①0 ml, 0.01ml, 0.1ml, または1.0mlと牛乳①100mlを攪拌し, それぞれ24時間培養してヨーグルトを作製した。なお, 各pHの値は, 三つの実験区の平均値で示した。



図2 ヨーグルト①0.01mlと牛乳①100mlを攪拌し, それを18時間培養して作製されたヨーグルトの様子



図3 ヨーグルト①1.0mlと牛乳①100mlを攪拌し, それを18時間培養して作製されたヨーグルトの様子

ヨーグルト①を1.0ml入れると, 培養18時間後に, pH3.5となり, その後のpHは変化しなかった(図4)。そして, 培養18時間後には, 固く, 離水のないヨーグルトが作製された。ヨーグルト②またはヨーグルト③を1.0ml入れると, これとほぼ同様な結果が得られた(図4)。

このように, すべての実験区でヨーグルトが作製できた。その中で, ヨーグルト③を用いて作製したヨーグルトは, ヨーグルト①および②で作製したそれと比較して, 風味がまろやかで酸味が抑えられたものになった。市販されているヨーグルトは一般的に数種類の乳酸菌を組み合わせで作製されることから, ヨーグルト③に含まれる乳酸菌類は, ヨーグルト①およびヨーグルト②のそれと比較して, 45℃で培養しても風味と酸味のバランスがとれる組み合わせであったと考

えられる。

3. 牛乳の違い

牛乳①, 低脂肪乳の牛乳②, 無脂肪乳の牛乳③, または高脂肪分の牛乳⑤各100mlとヨーグルト①1.0mlを攪拌し, それぞれ24時間培養してヨーグルトを作製した。

牛乳①にヨーグルト①を入れると, 培養18時間後にpH3.5になり(図5), この時固く, 離水のないヨーグルトが作製された。牛乳②および牛乳③にヨーグルト①を入れると, これとほぼ同様な結果が得られた(図5)。牛乳⑤を用いると, 培養12時間後に他と比較してpHが最も低くなった(図5)。この結果は, ヨーグルト①に含まれる乳酸菌類は, 乳脂肪分が高い牛乳中ではより増殖しやすいことを示している。

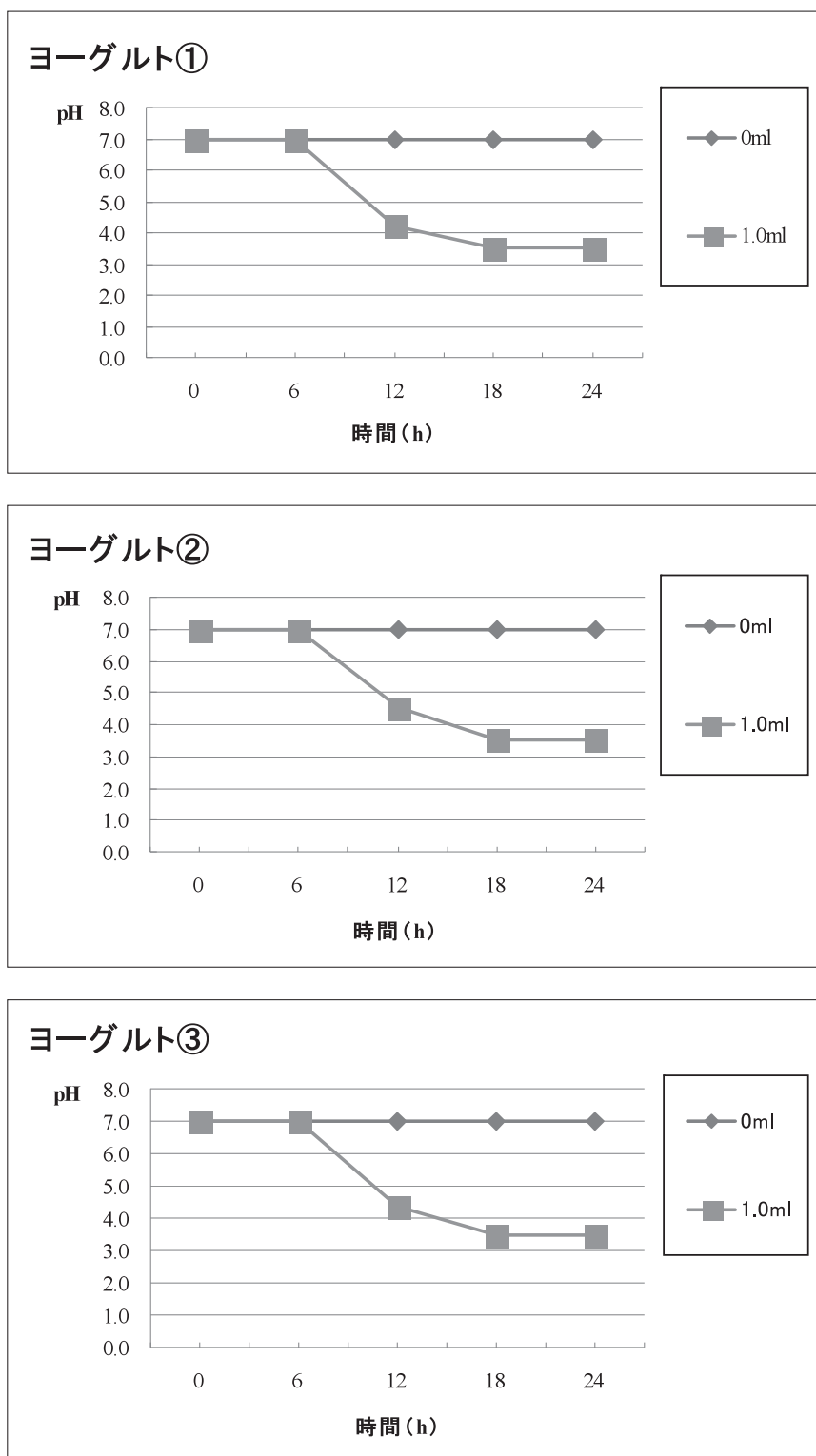


図4 違ったヨーグルトを入れて培養した時の牛乳のpH変化

ヨーグルト①, ヨーグルト②, またはヨーグルト③を0mlまたは1.0mlと牛乳①100mlを攪拌し, それぞれ24時間培養してヨーグルトを作製した。なお, 各pHの値は, 三つの実験区の平均値で示した。

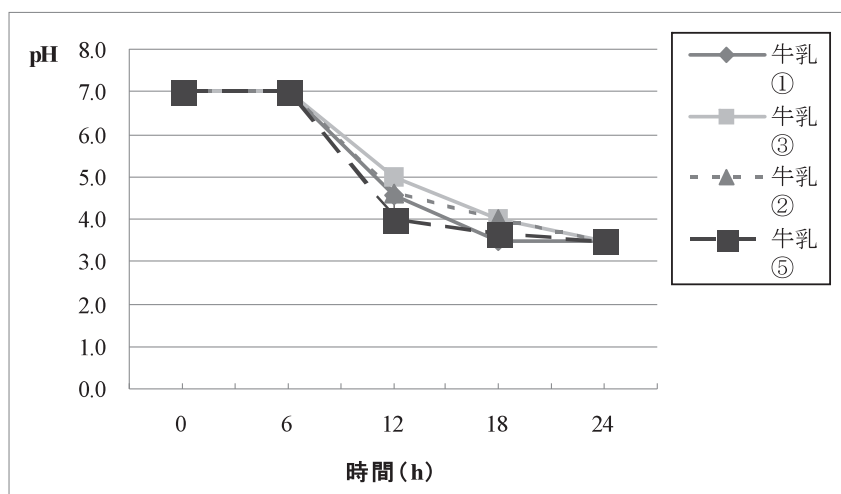


図5 乳脂肪分が異なる違った牛乳で培養した時の牛乳のpH変化

牛乳①, 低脂肪乳の牛乳②, 無脂肪乳の牛乳③, または高脂肪分の牛乳⑤各100mlとヨーグルト①1.0mlを攪拌し, それぞれ24時間培養してヨーグルトを作製した。なお, 各pHの値は, 三つの実験区の平均値で示した。

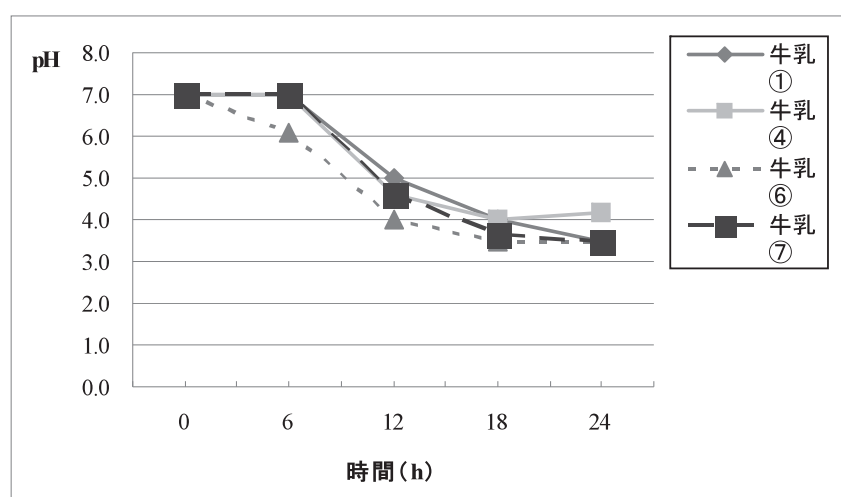


図6 Ca+Fe強化, 乳糖分解, およびノンホモジナイズの牛乳で培養した時の牛乳のpH変化

牛乳①, カルシウムと鉄を強化した牛乳④, 乳糖を分解した牛乳⑥, またはノンホモジナイズの牛乳⑦各100mlとヨーグルト①1.0mlを攪拌し, それぞれ24時間培養してヨーグルトを作製した。なお, 各pHの値は, 三つの実験区の平均値で示した。

乳脂肪分がほとんど含まれない牛乳③を用いると, 牛乳①, 低脂肪乳の牛乳②, および高脂肪分の牛乳⑤を用いた場合と比較して, 透明感のあるヨーグルトが作製された。しかし, これら4者を用いて作製されたヨーグルトで, その匂いに大きな差はなかった。

牛乳①, カルシウムと鉄を強化した牛乳④, 乳糖を分解した牛乳⑥, またはノンホモジナイズの牛乳⑦各100mlとヨーグルト①1.0mlを攪拌し, それぞれ24時間培養してヨーグルトを作製した。

牛乳①および牛乳⑦にヨーグルト①を入れると, pHの変化はほぼ同じで, 培養24時間後にそれぞれ

pH3.5になった(図6)。牛乳④にヨーグルト①を入れると, 培養24時間後でもpHは4.0より下がらなかった(図6)。また, 牛乳⑥を用いると, 培養6時間後に他と比較してpHが低くなり始めた(図6)。これらは, ヨーグルト①に含まれる乳酸菌類は, カルシウムと鉄を強化した牛乳中では比較的増殖しにくく, 乳糖を分解した牛乳中では増殖しやすいことを示している。

カルシウムと鉄分の含量を高めた牛乳④を用いて作製されたヨーグルトは, 牛乳①で作製されたヨーグルトと比較して, 酸味が少なく牛乳の味が残るものになった。これは, 牛乳に添加された成分によるものと

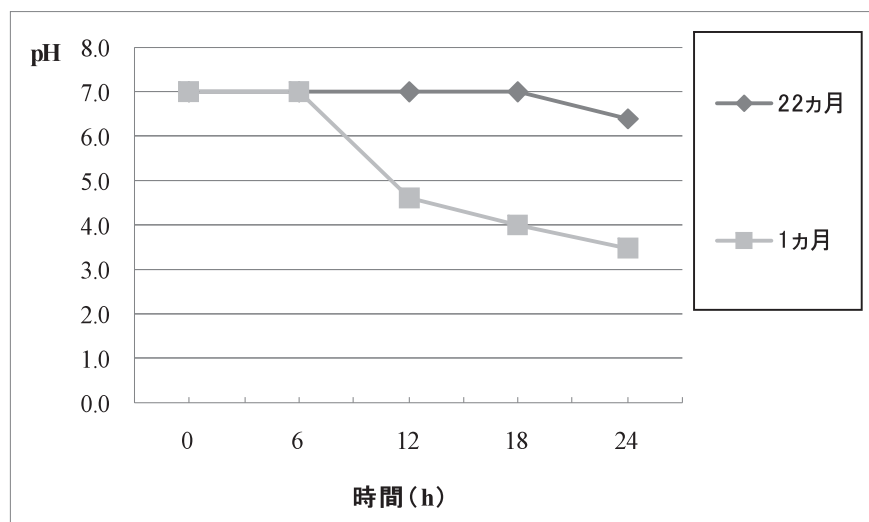


図7 賞味期限から1ヵ月間または22ヵ月間保存したヨーグルトを入れて培養した時の牛乳のpH変化

ヨーグルト①を、その賞味期限が切れてから、4℃下で1ヵ月間または22ヵ月間保存した。牛乳①100mlと1ヵ月間または22ヵ月間保存したヨーグルト①1.0mlを攪拌し、24時間培養してそれぞれヨーグルトを作製した。なお、各pHの値は、三つの実験区の平均値で示した。

考えられる。乳糖を分解した牛乳⑥を用いて作製されたヨーグルトは、牛乳①で作製されたヨーグルトと比較して、少し軟らかいものになった。ヨーグルトの固さは乳内のタンパク質量によるとされ⁵⁾、乳糖を分解したこの牛乳の無脂乳固形分(7.0%)は他の牛乳のそれと比較して低いため、結果的に軟らかいヨーグルトが作製されたと考えられる。また、ヨーグルトの成分規格は無脂乳固形分8.0%以上となっているので、乳糖を分解した牛乳はヨーグルト作製に適していないといえる。ノンホモジナイズの牛乳⑦を用いると、脂肪分が培養途中で分離して上部で層になったヨーグルトが作製された。一般の牛乳は乳内の脂肪を均質化(ホモジナイズ)して脂肪を乳中に分散させているが、ノンホモジナイズ牛乳はその工程を行っていないので、脂肪分が分離しやすくなり、ヨーグルト上部にそれが層として固まったと考えられる。このヨーグルトを試食すると、口当たりも悪いので、ノンホモジナイズ牛乳もヨーグルト作製に適さないことが分かった。

4. 長期間保存したヨーグルト

ヨーグルト①を、その賞味期限が切れてから、4℃の冷蔵庫内で1ヵ月間または22ヵ月間保存した。22ヵ月間保存したヨーグルト①は、沈殿物がその容器の底に溜まっていたので、牛乳に加える前によく攪拌した。牛乳①100mlと1ヵ月間または22ヵ月間保存したヨーグルト①1.0mlを攪拌し、24時間培養してそれぞれヨーグルトを作製した。

1ヵ月間保存したヨーグルト①を入れると、培養12時間後にpH4.5に、培養24時間後にpH3.5となり(図7)、この時やや固く、やや離水のあるヨーグルトが作製された。22ヵ月間保存したヨーグルト①を入れると、培養24時間後に、三つの実験区の内二つはpHがそれぞれ5.8と6.4まで下がったが、残りの一つはpH7.0のまま変化はなかった(図7)。この時、三つの実験区の内二つは液状のままヨーグルトは作製できず、残りの一つはゆるく固まったヨーグルトになった。

この実験では、市販のヨーグルトに含まれる乳酸菌は、その活性が維持できる期間はどの程度かを調べた。なお、冷蔵庫内に古いヨーグルトが二つ残っており、それらは賞味期限後1ヵ月間および22ヵ月間経過したものであったので、これらを用いた。その結果、ヨーグルト中の乳酸菌は、賞味期限後1ヵ月程度ならばまだその活性がほとんど落ちずに、それを用いてヨーグルトを作製できると分かった。一方、賞味期限から22ヵ月経過したヨーグルトでは、その乳酸菌の活性は無くなっており、ヨーグルトを作製しにくいことが分かった。

まとめと教材化

ヨーグルトの作製と発酵の仕組みを学習する教材の開発を目的に、市販されているドリンクタイプのヨーグルト3種と牛乳7種を用い、それらを45℃で24時間培養してヨーグルトを作製した。

ヨーグルトを牛乳の量に対してどの程度加えるのが

適切か調べるために、成分無調整の牛乳(牛乳①) 100mlにヨーグルト①を 0 ml, 0.01ml, 0.1ml, または1.0ml加えて、それぞれ45℃で24時間培養した。結果は、すべてにおいてヨーグルトが作製できたが、ヨーグルト①を1.0ml加えると、適度に硬く離水の少ないヨーグルトが作製できた。

用いるヨーグルトによって、作製されるヨーグルトにどの程度の違いが生じるのか調べた。牛乳①100mlにヨーグルト①, ヨーグルト②, またはヨーグルト③を1.0ml加えて、それぞれ培養した。結果は、すべての実験区でほぼ同様なヨーグルトが作製できた。

乳脂肪分が異なった牛乳を用いて作製されたヨーグルトにおいて、各々に違いはあるか調べた。牛乳①, 低脂肪乳の牛乳②, 無脂肪乳の牛乳③, および高脂肪分の牛乳⑤を用いて作製されたヨーグルトでは、それらに差はほとんどなかった。

成分を調節した各種の牛乳を用いて作製されたヨーグルトにおいて、各々に違いはあるか調べた。カルシウムと鉄分の含量を高めた牛乳(牛乳④)を用いて作製されたヨーグルトは、牛乳①で作製されたヨーグルトと比較して、風味の違うものになった。乳糖を分解した牛乳(牛乳⑥)を用いて作製されたヨーグルトは、牛乳①で作製されたヨーグルトと比較して、少し軟らかいものになった。ノンホモジナイズ牛乳(牛乳⑦)を用いると、脂肪分が培養途中で分離して上部で層になったヨーグルトが作製された。結果として、牛乳⑥および牛乳⑦は、ヨーグルトの作製に適さないことが分かった。

長期間低温で保存したヨーグルトを種として用いても、ヨーグルトが作製できるか調べた。賞味期限から1ヵ月間または22ヵ月間4℃で保存したヨーグルト①1mlを牛乳①100mlに加えて、それぞれ培養した。結果は、1ヵ月間保存したヨーグルト①を用いると、通常通りにヨーグルトは作製できたが、22ヵ月間保存したものをを用いると発酵しないものがあった。

中学校理科3学年で学習する「土の中の微生物」の箇所では、生態系の分解者として細菌類の記載があり、そこでは乳酸菌が紹介されている^{7), 8), 9)}。高等学校「生物基礎」で学ぶ「生物の多様性」の箇所では、原核細胞として乳酸菌が記載されている^{10), 11), 12)}。また、中学校技術・家庭科で学ぶ「食品」の箇所では、ヨーグルトが紹介されている¹³⁾。乳酸菌は我々の食生活の中で広く活用されていて、ヨーグルトはその一例であることを学び体験するには、実際にこれらの授業の中でヨーグルトを作製してみることが望ましいと思われる。

本研究では、ヨーグルトを牛乳に入れる時に、その無菌操作にクリーンベンチを用いた。しかし、一般の家庭でも、牛乳で乳酸菌を継代培養しながらヨーグルトが作製されており、この時クリーンベンチは用いられていない。そこで、クリーンベンチが無くても、中学校や高等学校では、本研究の結果を参考にしながらヨーグルトを作製できると思われる。具体的には、次の手法が考えられる。乳糖を分解した牛乳およびノンホモジナイズ牛乳以外の牛乳と、ドリンクタイプのヨーグルトを用意する。計量スプーンや葉さじを70%エチルアルコールで噴霧した後、自然乾燥させる。次に、無風の室内で、牛乳パックの注ぎ口の部分を70%エチルアルコールで噴霧し、牛乳パックを少し開けて、そこにその牛乳の量の1%のヨーグルトをその計量スプーンで量って入れ、牛乳をその葉さじで攪拌する。最後に、牛乳パックの注ぎ口をホチキスで完全に閉じ、それを45℃で24時間培養する。このようにして、ヨーグルトを作製してみる実験・実習が提起できる。さらに、今後は実際に授業でこれらを実践して、生徒の知識や意識に及ぼす効果等を検証する必要があるだろう。

引用文献

- 1) 松原重子, 小田元典 「市販のヨーグルト用種菌を使ったヨーグルトの製造について」 大谷女子短期大学紀要 30: 22-31 (1987)
- 2) 熊崎稔子, 成田公子 「2種の牛乳から調製したヨーグルトの性状と食味」 日本調理科学会誌 30(2): 142-145 (1997)
- 3) 榮昭博, 中島君恵, 藤掛道子, 関崎悦子 「自家製ヨーグルトの味覚に及ぼす材料の影響」 桐生短期大学紀要 13: 121-123 (2002)
- 4) 兒玉誠一, 安随ゆき枝, 熊川裕子 「家庭で植え継がれたカスピ海ヨーグルト」 千里金蘭大学紀要 生活科学部 人間社会学部 2: 55-60 (2005)
- 5) 牛越静子, 小木曾加奈 「乳酸菌による牛乳および豆乳類のヨーグルトの性状」 長野短期大学紀要 61: 87-92 (2006)
- 6) 中村八栄子 「簡易恒温器を利用したヨーグルト作り」 生物教育 38(2): 96 (1998)
- 7) 有馬朗人 ほか56名 平成23年2月文部科学省検定教科書「理科の世界 3年」 pp125, 大日本図書(株) (2011)
- 8) 細矢治夫, 養老孟司, 下野洋, 福岡敏行 ほか25名 平成23年2月文部科学省検定教科書「自然の探

8 加藤・富樫・長根・鈴木：ヨーグルト作製の教材化

求 中学校理科3」 pp192, 教育出版(株) (2011)

- 9) 岡村定矩, 藤嶋昭 ほか49名 平成23年2月文部科学省検定教科書「新しい科学3年」 pp235, 東京書籍(株) (2011)
- 10) 嶋田正和 ほか11名 平成23年3月文部科学省検定教科書「生物基礎」 pp31-32, 数研出版(株) (2011)
- 11) 嶋田正和 ほか11名 平成23年3月文部科学省検定教科書「新編 生物基礎」 pp25, 数研出版(株) (2011)
- 12) 浅島誠 ほか20名 平成23年3月文部科学省検定教科書「生物基礎」 pp17, 東京書籍(株) (2011)
- 13) 鶴田敦子 ほか63名 平成23年2月文部科学省検定教科書「技術・家庭 [家庭分野]」 pp93, 開隆堂出版(株) (2011)