

市販乳酸菌による牛乳および豆乳類のヨーグルトの性状

The Characters of Milk and Soymilk Yogurts Made by Commercial Lactic Acid Bacterium

牛越 静子 Shizuko Ushikoshi
小木 曾加奈 Kana Kogiso

Abstract: 近年の健康志向から簡便にヨーグルトを作る家庭が増加している。本研究では市販の乳酸菌3種類を用いて、牛乳及び豆乳3種類をヨーグルト化させ、作成されたサンプルの破断応力、pH、酸度を比較し、ヨーグルトの性状を検討した。基本的に破断応力（カードの硬さ）は、乳中のタンパク質量に依存する傾向が見られた。また、3種類の市販乳酸菌とも牛乳では全てでカードを形成したが、植物性乳ではカードを作成した菌種とカードを形成しなかった菌種に分かれた。特にタンパク質含量の多い乳の場合はカード形成に時間が掛かり、植物性乳に対する菌種の向き不向きが示唆された。ヨーグルトに必要なカードの硬さは、酸度の上昇以降に形成されるため、柔らかでなめらかなカードのまま酸味を有するヨーグルトの形成が可能になった。また酸度においては、乳類の種類と菌種によって違いがみられた。

Key words: yogurt, soymilk, commercial lactic acid bacterium

はじめに

ヨーグルトはミルクを乳酸菌等で発酵させた発酵乳のうちの一つであり、現在までに整腸作用や抗腫瘍作用、血清コレステロール低減作用、乳糖不耐症改善効果、免疫賦活作用、貧食細胞の増殖作用と言ったプロバイオティクスの機能性研究が多数なされている¹⁻³⁾。その機能性を得るのに重要なのはヨーグルトを継続して摂取することであり^{1,2)}、それゆえ健康指向の人々の中には、自宅でヨーグルトを作成する人も出始めた。特に、グルジア原産の乳酸菌を使用したカスピ海ヨーグルト⁴⁾は家庭でも気軽に作成できるため、近年、日本においては一躍ヨーグルト・乳酸飲料ブームが巻き起こっている。

一方、そのような健康志向の中、動物性脂肪が含まれている牛乳ではなく、植物性である豆乳でヨーグルトを作成する人が増えて来ている。中でも、乳類として牛乳あるいは牛乳と豆乳を混合して用いたもの^{6, 7, 9)}、豆乳を用いたもの^{7, 10)}、脱脂粉乳を用いたもの^{5, 8, 10, 11)}が報告されている。またスターターとしての乳酸菌として、市販の乳酸菌を用いたもの^{7, 8)}、カスピ海ヨーグルト菌を用いたもの¹²⁾、他^{6, 9, 11)}について報告されている。しかし、乳類と市販の乳酸菌でヨーグルトを作成し、それぞれを比較した文献はほとんどない。

そこで、今回、我々は複数の市販の乳酸菌を用いて、動物乳類である牛乳と植物乳類である豆乳でヨー

グルトを作成し、その性状の一つである「硬さ」と「酸味」について比較検討した。

実験方法

ヨーグルトの性状を検討するために、破断応力（固さ）と pH、酸度（酸味）を測定した。

1. 試料

i. 乳酸菌

スターターとして次の3種類の市販乳酸菌を用いた。これらのスターターはそれぞれ数種類の乳酸菌を独自の配合をし、家庭でも簡単にヨーグルトが作成できるキットになっている。

市販菌種 A（以下菌種 A と略記）：このヨーグルト種菌は *Lactococcus derbrueckii* subsp. *Bulgaricus*, *St. thermophilus*, *Bifidobacterium lactis* LKM512 の3種類であった。

市販菌種 B（以下菌種 B と略記）：このヨーグルト種菌は *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *Cremoris*, *Lactococcus diacetylactis*, *Leuconostock cremoris*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus kazei*, *natural yeast*, *Saccharomyces florentinus* の8種類であった。

市販菌種 C（以下菌種 C と略記）：このヨーグ

ルト種菌は *Lactococcus lactis subsp. Cremoris*, *Lactococcus diacetylactis* の 2 種類であった。

ii. 乳類

発酵前の素地として以下の 4 種類を用いた。

動物性乳類として牛乳を、植物性乳類としてタンパク質の量が異なる 2-4 の豆乳を用いた。

(1)、成分無調整 3.6 牛乳(以下牛乳と略記)

無脂乳固形分は 8.5%以上、乳脂肪分は 3.7%以上、乳タンパク質分は 6.9g/200ml 以上であった。

(2)、成分無調整豆乳(以下豆乳と略記)

大豆固形分は 8%以上、タンパク質量は 9.0g/200ml であった。

(3)、調整豆乳 A(以下調整豆乳と略記)

大豆固形分 7%以上、タンパク質量は 7.4g/200ml であった。

(4)、調整豆乳 B (以下調整豆乳濃と略記)

大豆固形分 14%以上、タンパク質量は 7.8g/125ml (=11.8g/200ml) であった。

2. 各ヨーグルト作成方法

乳類はそれぞれ 5°C に保ったまま各乳酸菌を加えた。各乳酸菌の量は市販品のヨーグルト作成方法に準じた。菌種 A は乳類 500ml に対し 1.0g、菌種 B は乳類 1000ml に対し 1.0g、菌種 C は乳類 800ml に対し 1.5g の割合で加え、これを滅菌三角フラスコ中でよく混和し、サンプル素地とした。その後滅菌 50ml ビーカーに 45.75g±0.25g 分注し、湯煎にて菌種 A は 40°C、菌種 B、C は 25°C に加温後、同温度の恒温器で保温した。所定の時間に取り出し、水中にて冷却後、0°C で保存したものをサンプルとし、以下の実験に用いた。

我々は乳酸菌の種類と牛乳、植物乳類の違いによるヨーグルトの性状を検討するため、全部で 12 種類のヨーグルトについて比較検討した。組み合わせ

方法は以下のようなものである。(表 1)

表 1. 乳酸菌種と乳類の組み合わせ

菌種	乳類	番号
A	牛乳	①
	豆乳	②
	調整豆乳	③
	調整豆乳濃	④
B	牛乳	⑤
	豆乳	⑥
	調整豆乳	⑦
	調整豆乳濃	⑧
C	牛乳	⑨
	豆乳	⑩
	調整豆乳	⑪
	調整豆乳濃	⑫

3. 各ヨーグルトの破断応力測定方法

目視により凝固の認められた時より、各ヨーグルトサンプルに対し破断応力を測定した。測定機器は株式会社山電製クリープメーター RE3305 を用いた。ロードセルは 2kgf または 200gf、圧縮速度 1mm/sec、プランジャーは No.3 (φ16mm) を用いて測定を行った。

4. 各ヨーグルトの pH および酸度測定方法

各ヨーグルトに対し pH 及び酸度を測定した。カード状のサンプルはペースト状に崩して測定を行った。pH の測定には株式会社堀場製作所製 HORIBA F-23 II を用いた。酸度は乳酸%として算出した^{10, 13)}。ペースト状にしたサンプルを 1.0g 精秤し、5°C に冷却した蒸留水 25ml を加えた後、0.05N-NaOH (指示薬：フェノールフタレイン溶液) を用いて滴定した。

結果

1. 破断応力結果

各種乳酸菌によるヨーグルトの破断応力を測定した結果を図 1-3 に示した。

乳酸菌に菌種 A を用いたとき、植物乳類は 3 時

間で一部の凝固を認め、7時間で全てのものに凝固が認められた。全ての乳類は破断応力が10時間程度で著しく上昇したが、その後は緩やかな上昇を示した。これは10時間の発酵で乳類が一気に凝固し、その後も徐々に硬化していることを示している。破断応力は高い順に調整豆乳濃、豆乳、牛乳、調整豆乳であった。

乳酸菌に菌種 B を用いたとき、牛乳の場合は16時間でピーカー下に凝固が認められ、流動性が減少していた。しかし破断応力はほとんど増加せず低値のままであった。植物乳類はそれぞれ異なった状態であった。調整豆乳は18時間で一部に凝固が見られ、21時間で全体が凝固したものの破断応力がほとんど増加せず同様に低値のままであった。豆乳は18時間経過後のときには下層に凝固があり19時間で全体が凝固した。豆乳と調整豆乳濃は24時間後、急速に破断応力が高値となった。調整豆乳濃では表面は液状だが内部は固まっており、発酵が進んでいると考えられた。牛乳よりもタンパク質含量の多い豆乳類の方が硬くなっていると言えた。

乳酸菌に菌種 C を用いたとき、牛乳は18時間で凝固が認められた。しかし粘性が高く、破断応力はほとんど上昇せず、カード状にはならないまま発酵が進んでいた。

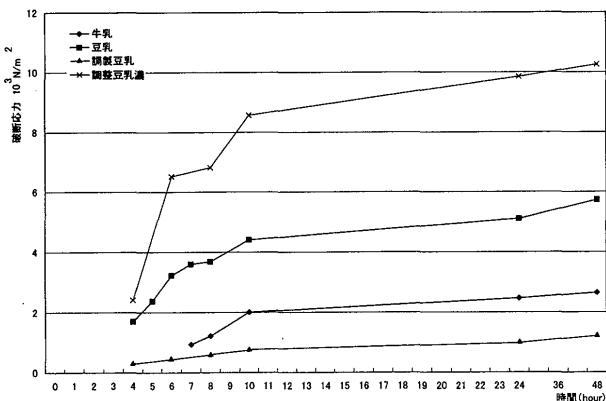


図 1. 菌種 A を用いたときの各乳類の破断応力の経時変化

一方、豆乳は42時間から急速に破断応力が上昇した。しかし、調整豆乳、調整豆乳濃は調整時間内に破断点を認めることが出来なかった。(そのためグラフには示されていない) このことから乳酸菌に菌種 C を用いたときは菌種 B と反対に豆乳よりも牛乳の方が先んじて凝固すると言えた。

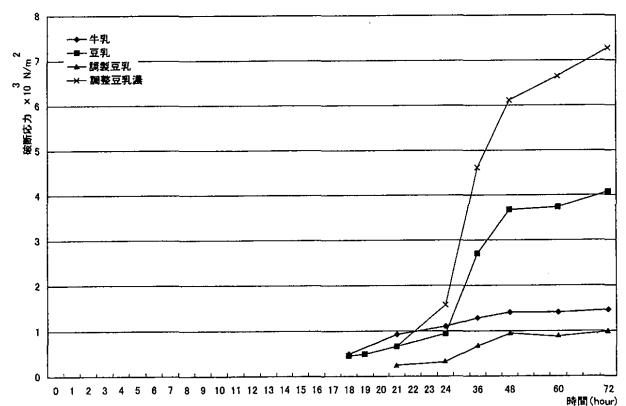


図 2. 菌種 B を用いたときの各乳類の破断応力の経時変化

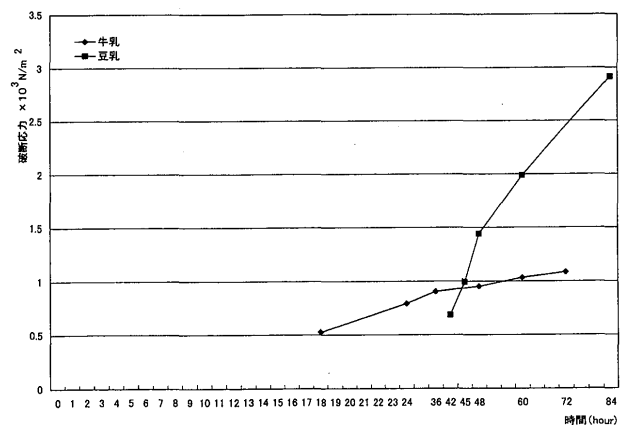


図 3. 菌種 C を用いたときの各乳類の破断応力の経時変化

2. pH 結果

各種乳酸菌によるヨーグルトの pH を測定した結果を示した。(図 4-6)

菌種 A ではどの乳類においても2時間後に、急激に pH4 程度まで下がり10時間以後は変化が少な

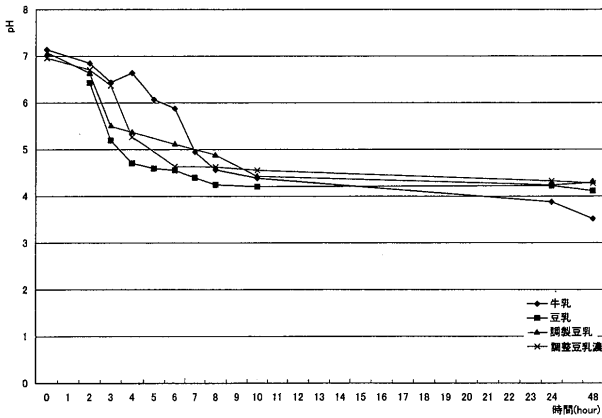


図 4. 菌種 A を用いたときの各乳類の pH の経時変化

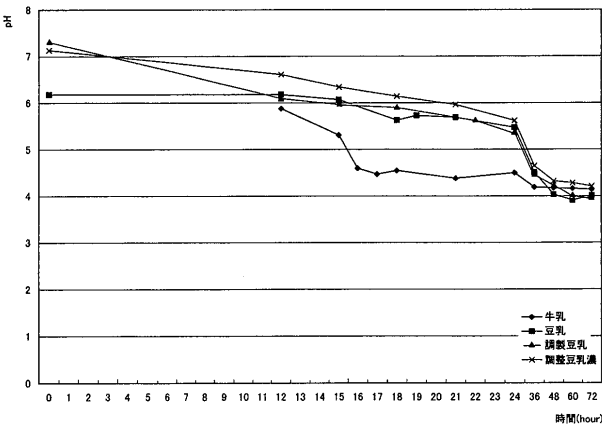


図 5. 菌種 B を用いたときの各乳類の pH の経時変化

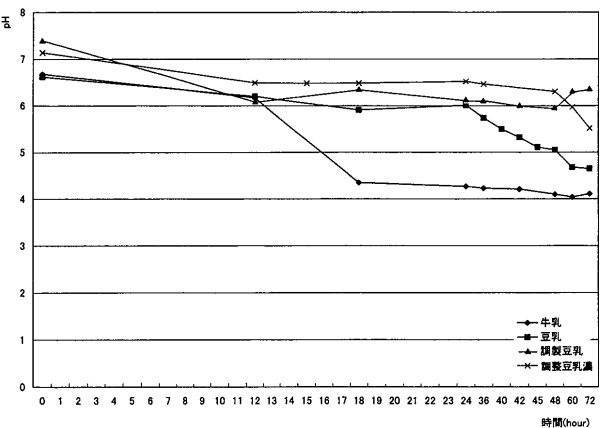


図 6. 菌種 C を用いたときの各乳類の pH の経時変化

かった。

菌種 B は 12 時間までは変化が少なく、牛乳を除き、24 時間までは pH 低下は緩やかであった。24 時間後、植物乳類は急激に pH が 4 程度まで低下し、牛乳と異なり発酵に時間が掛かることが認められた。菌種 C では 14 時間後、牛乳は pH4 前半まで低下した。植物乳類は 24 時間後 pH の低下が見られたが pH4 前半までは時間内に下がらなかった。

3. 酸度結果

各種乳酸菌によるヨーグルトの酸度を図 7-9 に示した。

菌種 A では 2 時間後より全乳類とも酸度は急速に上昇し、発酵が急速に進んでいることを示していた。植物乳類は、10 時間後以降、穏やかに酸度が増加した。一方、牛乳は 10 時間後でも酸度の上昇率が激しかった。菌種 B では 12 時間経過後、牛乳は急速に酸度が上昇した。植物乳類は 24 時間までは非常に緩やかな上昇を示していたが、24 時間以降急速に酸度を増し、48 時間を過ぎると植物乳類の方が牛乳に比べ酸度は高くなった。菌種 C では調整豆乳を除く植物乳類は 36 時間までほとんど変化がなく、36 時間後急速に酸度が上昇したが、牛乳の酸度には及ばなかった。

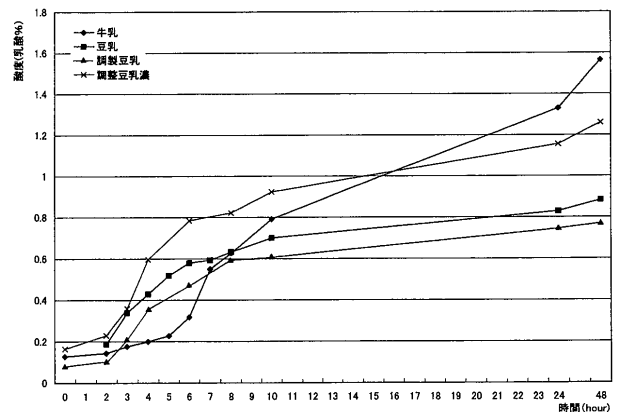


図 7. 菌種 A を用いたときの各乳類の酸度の経時変化

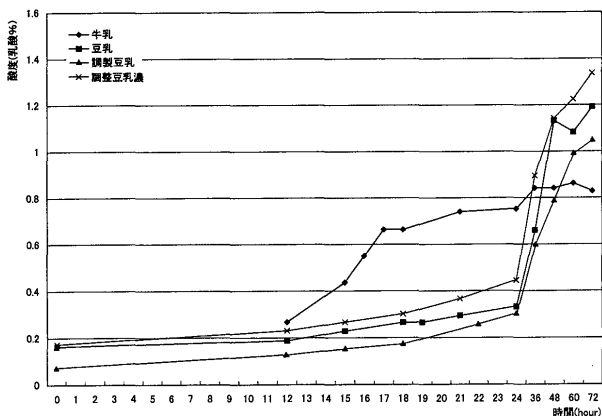


図8. 菌種 B を用いたときの各乳類の酸度の経時変化

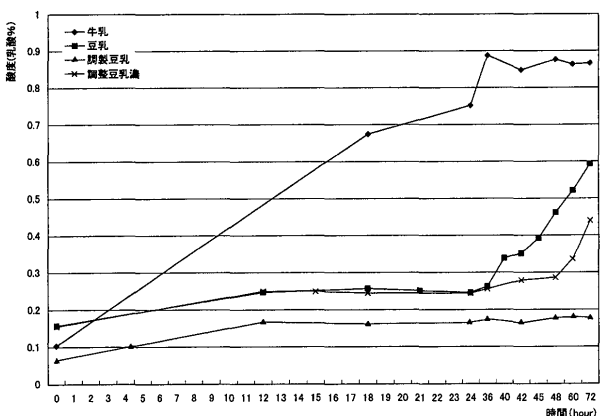


図9. 菌種 C を用いたときの各乳類の酸度の経時変化

考察

市販されている3種類の乳酸菌に対し、4種類の乳類を用いてヨーグルトを作成し、その性状を検討した。破断応力はおおむね高い順に調整豆乳濃、豆乳、牛乳、調整豆乳であった。これは液体中のタンパク質含量の順であり、タンパク質含量の多さによってヨーグルトの硬度が増すと示唆された。3種類の市販乳酸菌において、動物乳類である牛乳は全てカードを形成した。一方、植物乳類では、菌種 A と B は発酵時間が異なるだけで各乳類の破断応力は似たような傾向を示し、カードを形成していた。一方、

菌種 C ではカードを形成しなかった。このことから菌種の植物性乳における向き不向きが示唆された。

近年の日本では食品に対し、より柔らかいものが好まれる傾向があり（ヨーグルトやプリンなど「とろける」「クリーミー」なものが人気である）、それゆえ、今回のような菌種 C の粘性が強く、カードをほとんど形成しないヨーグルトにおいても、好まれる素地があると考えられ、今後「どの程度の凝固（硬さ）が好まれるか」というような官能試験を検討する余地がある。

一方、「酸味」（酸度や pH）については、菌種 B、C の場合は植物性乳よりも動物性乳の方が早く酸度が高まるのに対し、菌種 A の場合は動物性乳の方が酸度の高まりが遅く、菌種によって違いがみられた。植物性乳に関しては、それぞれ酸度の高まる傾向が似ていたが、菌種 C において調整豆乳は最後まで酸度の上昇は見られず、タンパク質含量が少ないことが発酵進行に影響されていると考えられた。これらの酸度は pH の値と挙動が同じであり、乳酸発酵による酸性物質の生成が pH に直接起因していると考えられた。

乳類の違い、また使用した菌種によって発酵時間の差はあるが、測定時間以内では pH は 4 程度でそれ以上低くならないことが認められた。また、これらの菌種を用いたヨーグルトは酸度が上昇してからカードが形成される傾向があった。それゆえなめらか（カード形成なし）で、酸味を有するヨーグルトも、以上のことから可能になると考えられた。

まとめ

本研究では市販の乳酸菌3種類を用いて、動物性乳類である牛乳及び植物性乳類である豆乳3種類を発酵させ、破断応力、pH、酸度をそれぞれ比較検討した。破断応力（カードの硬さ）は、乳中のタンパク質量に依存する傾向が見られた。また、3種類の市販乳酸菌とも牛乳では全てでカードを形成した

が、植物性乳ではカードを作成した菌種とカードを形成しなかった菌種に分かれた。特にタンパク質含量の少ない乳の場合は破断応力が低く、植物性乳に対する菌種の向き不向きが示唆された。また酸度において、乳類の種類と菌種によって発酵時間の違いがみられた。特に菌種 B (48 時間後) において乳中のタンパク質含量が酸度に影響していると示唆された。ヨーグルトに必要なカードの硬さは、酸度の上昇以降に形成されるため、柔らかいカードのまま酸味を有するヨーグルトの形成が可能になった。

参考文献

- 1) 細野明義：ヨーグルトの科学 乳酸菌の贈り物，八坂書房，2004
- 2) 細野明義：乳酸菌とヨーグルトの保健効果，幸書房，2003
- 3) 小崎道雄：乳酸菌 健康をまもる発酵食品の秘密，八坂書房，2002
- 4) 家森幸男：カスピ海ヨーグルトの真実，法研，2002
- 5) 田中智子，達牧子：脱脂粉乳使用によるヨーグルト製造の検討(第 1 報)，神戸女子短期大学論考，46，p53-60，2001
- 6) 渡邊容子，関口正勝，松岡博厚：豆乳・牛乳混合系からの乳酸発酵によるカードの形成とその熟成，日本食品科学工学会誌，47，1，p30-36，2000
- 7) 村上知子，町田由紀子：豆乳のヨーグルトへの利用，New Food Industry，Vol.39，No.12，65-71，1997
- 8) 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，Vol.30，No.2，p142-145，1997
- 9) 湧口浩也，棚井澄雄，岩附慧二，小此木成夫：ヨーグルトの物性に及ぼす発酵速度の影響：日畜会報，60，8，p742-746，1989
- 10) 熱田玲子：豆乳を原料としたヨーグルト状食品に関する研究，山梨学院短期大学研究紀要，3号，p24-30，1982
- 11) 近藤健次郎，石田司郎，永原茂雄：ヨーグルト製造中の pH，酸度，アミノ酸について，兵庫農科大学研究報告，4，1，p21-24，1959
- 12) 寺本貴則，戸田登志也，家森幸男：カスピ海ヨーグルトの応力とその応用，食品と開発，Vol.38，12，p59-61，2003
- 13) 大野信子，古我可一，斉藤進，堀口恵子，吉田企世子：食品加工実習・実験書，p87，2003