

和風キムチの発酵制御における乳酸菌スターターの有用性評価

東 孝憲, 鈴木菖花, 日尾 守

Evaluation of the availability of lactic acid bacteria starters for the control of Japanese-style kimchi fermentation

Takanori Azuma, Ayaka Suzuki, Mamoru Hio

In this study, we investigated the efficacy of lactic acid bacterial starters for the fermentation control of Japanese-style kimchi during refrigerated storage.

We initially evaluated the characteristics of 194 strains of lactic acid bacteria using kimchi model medium and sterilized Japanese-style kimchi. Based on these evaluations, *Lactiplantibacillus plantarum* k109a was selected for its ability to grow at 10°C while producing minimal acid. Japanese-style kimchi inoculated with this strain as a lactic acid bacteria starter was stored at 10°C for 35 days. Throughout the storage period, compared with the uninoculated kimchi, no significant differences were observed in lactic acid bacterial counts, pH, or sensory evaluation. Furthermore, bacterial flora analysis revealed that while the dominant species in uninoculated kimchi fluctuated during storage, no detectable changes occurred in the kimchi inoculated with *L. plantarum* k109a.

Collectively, these findings indicate that the use of *L. plantarum* k109a as a starter could contribute to stabilizing the bacterial flora of Japanese-style kimchi during storage without compromising its quality. Our results suggest that the use of lactic acid bacterial starters is effective for controlling the fermentation of this type of kimchi.

KEY-WORDS : Japanese-style kimchi, fermentation control, lactic acid bacteria starter culture, bacterial flora analysis

キーワード : 和風キムチ, 発酵制御, 乳酸菌スターター, 菌叢解析

国内におけるキムチの生産量は、1997年頃から急速に増加し、近年は野菜・果実漬物全体で、最も多い比率を占め、25%前後の割合で推移している¹⁾。我が国で消費されるキムチは、発酵熟成させたキムチ（以下、本格キムチ）と、発酵熟成を伴わない塩漬した野菜に調味液を混合したキムチ（以下、和風キムチ）の2種類があり、本格キムチはもとより、発酵熟成を伴わない和風キムチにおいても、その製品中に種々の乳酸菌が存在することが報告されている²⁾。このようにキムチ製造には乳酸菌

の存在が欠かせない一方、保存中の和風キムチの乳酸菌は原料に由来するために制御が難しく、酸を多く産生する乳酸菌が増殖することは酸敗などの要因となる³⁾。

発酵食品においては、菌叢を制御し、品質を安定化させる目的でスターターの添加が行われており、本格キムチでは、キムチの製造条件において酸度増加が緩慢な乳酸菌をスターターとして用いることにより、過度の酸味発現を抑制する方法が開発されている。

和風キムチにおいても、当該特性を有する乳酸菌をス

事業名：経常研究

課題名：道産和風キムチの品質安定化に向けた乳酸菌スターターの有用性評価

ターターとして利用することにより酸敗の抑制が期待できると考え、本研究では、和風キムチの製造条件において増殖能に優れ、pH低下の小さい乳酸菌スターターを選抜するとともに、和風キムチの発酵制御における乳酸菌スターターの有用性を評価した。

実験方法

1. キムチ製造条件における乳酸菌株の増殖能評価

(1) 菌液の調整

市販の和風キムチ（69点）および浅漬類（44点）から分離した乳酸菌113株および生乳等の乳原料由来の乳酸菌81株の計194株を評価に用いた。各菌株は、GYP液体培地⁴⁾で30℃、48時間前培養を行い、試験に供した。

(2) GYP液体培地における増殖能評価

2N HClを用いてpH5.0、pH4.5およびpH4.0に調製したGYP液体培地に前培養した各菌株を0.1% (v/v) 接種し、10℃で20日間培養した後、600nmにおける培地の濁度を測定し、OD₆₀₀が0.1以上であった菌株のうち、目視観察においても濁りが確認されたものを増殖能ありと判断し、各pHにおける増殖能の有無を評価した。

(3) キムチモデル培地における低温増殖能および酸産生能評価

pH4.0に調製したGYP液体培地で増殖能ありと評価した乳酸菌株について、白菜キムチの組成を模したキムチモデル培地（表1）を用いて、10℃培養後の増殖能および培養後pHを評価した。キムチモデル培地は、キムチ製造企業に聞き取りを行い、既報の配合⁵⁾を参考に調製した。すなわち、フルクトース30.0g、塩化ナトリウム15.0g、グルタミン酸ナトリウム10.0g、カツオ肉エキス（富士フィルム和光純薬）25.0g、白菜エキス（東海物産）50.0g、酢酸ナトリウム3水和物1.0gおよび酢酸

0.1mLを蒸留水1,000mLに溶解した後、3,000rpmで30分遠心分離し、その上清をオートクレーブで120℃、15分間滅菌してキムチモデル培地として試験に供した。本培地に前培養した各菌株を0.1% (v/v) 接種し、10℃で20日間培養した後、600nmにおける培地の濁度を測定し、OD₆₀₀が0.1以上を増殖能ありとして増殖の有無を評価した。また、当該条件で増殖した菌株については、培養後のpHを測定し、分離源毎に最低1株含むよう培養後のpHが高い菌株を選抜した。

2. 加熱殺菌和風キムチ接種試験による和風キムチ用乳酸菌スターターの選抜

(1) 菌懸濁液の調製

乳酸菌選抜株は、GYP液体培地で30℃、24時間培養後、滅菌生理的食塩水で2回洗浄して乳酸菌懸濁液を調製し、試験に供した。また、酸産生能の高い乳酸菌である *Lactiplantibacillus plantarum* HOKKAIDO（以後HOKKAIDO株）⁶⁾も同様に調製し、試験に供した。

(2) 加熱殺菌和風キムチにおける乳酸菌選抜株の接種試験

市販和風キムチ1,500gをフードカッター（ロボクーブ R5Plus, 株式会社エフ・エム・アイ）を用いて、3,600rpmで1分間細切した後、60gずつ袋詰めし、レトルト殺菌装置（RCS-40RTGN, 株式会社日販製作所）を用いて、120℃で15分間加熱殺菌を行った。この加熱殺菌和風キムチに、調製した乳酸菌懸濁液を約 1.0×10^6 CFU/gとなるよう接種し、10℃で35日間保存した。各試料は、保存35日目に乳酸菌数およびpHを測定した。乳酸菌数は、GYP白亜寒天培地⁴⁾を用いて、30℃で72時間培養後に形成した定型的集落を計数することにより算出した。乳酸菌選抜株のうち、加熱殺菌和風キムチで増殖し、かつ最もpH低下が小さかった乳酸菌株を和風キムチ用の乳酸菌スターターとして選抜した。

3. 和風キムチにおける乳酸菌スターターの有用性評価

(1) 和風キムチにおける乳酸菌スターターの接種試験

製造直後の市販和風キムチを入手し、試験に供した。和風キムチ200gに対して、2. (1)と同様に調製した和風キムチ用乳酸菌スターターおよびHOKKAIDO株を約 1.0×10^6 CFU/g以上となるよう接種し、10℃で35日間保存した。対照として、乳酸菌非接種の和風キムチを10℃で35日間保存した。各試料は、経時的に一般生菌数、大腸菌群数、乳酸菌数およびpHを測定した。一般生菌

表1 キムチモデル培地の組成

組成	
フルクトース	30.0 g
塩化ナトリウム	15.0 g
グルタミン酸ナトリウム	10.0 g
カツオ肉エキス	25.0 g
白菜エキス	50.0 g
酢酸ナトリウム3水和物	1.0 g
酢酸	0.1mL
蒸留水	1000.0mL
pH	5.3±0.1

数は標準寒天培地を用いて35℃で48時間、大腸菌群数はXM-G寒天培地を用いて35℃で24時間培養後に計数した。乳酸菌数は2.(2)と同様の方法で測定した。

(2) 菌叢解析

保存0日目、14日目および35日目における和風キムチ乳酸菌スターターまたはHOKKAIDO株を接種した試料および乳酸菌非接種の試料を菌叢解析に用いた。DNAの抽出は、生理食塩水で10倍希釈した各試料からDNeasy PowerFood Microbial Kit (株式会社キアゲン)を用いて行った。DNAライブラリーの調製は、PNAクランプ法を用いたPCR⁷⁾によって、抽出したDNAの16S rDNA V4領域を増幅することにより行った。DNAライブラリーの塩基配列は2×150bpの条件で次世代シーケンサー (iSeq100, イルミナ株式会社) により決定した。得られた塩基配列データをQiime2パイプライン⁸⁾により解析し、各菌種の存在比を算出した。

(3) 官能評価

官能評価は、保存35日目の和風キムチ乳酸菌スターターまたはHOKKAIDO株を接種した和風キムチおよび対照として乳酸菌非接種の和風キムチについて行った。パネルはトレーニングを受けていないセンター職員18名(男性11名, 女性7名)で実施し、酸味, 発酵風味, 嗜好性の評価項目について、5点評点法の絶対評価で行った。なお、試験の実施にあたり、北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部食品加工研究センター人間工学実験倫理委員会の調査・審議に基づき、北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部長の承認を得て実施した(承認No. R5-03)。

4. 統計解析

統計処理を必要とする測定結果についてはKruskal-Wallis検定の後、有意水準を5% ($p < 0.05$) として

Steel-Dwass検定^{9) 10)}を行った。また、すべての統計処理はRおよびRコマンドの機能を拡張した統計ソフトウェアであるEZRを使用した¹¹⁾。

結果および考察

1. キムチ製造条件における乳酸菌株の増殖能評価

キムチ・浅漬類由来および乳原料由来の乳酸菌194株について、各種pHに調整したGYP液体培地における10℃での増殖能を評価した。その結果、pH4.0で増殖した菌株数は、キムチ・浅漬類由来株で99株、乳原料由来株で35株の計134株であった(表2)。

表2 各種pHのGYP液体培地において低温増殖能を有する乳酸菌株の評価

乳酸菌の由来	評価した菌株数	増殖した菌株数 (増殖した菌株の比率(%))		
		pH5.0	pH4.5	pH4.0
キムチ・浅漬け類	113	109 (96)	108 (96)	99 (88)
乳原料	81	59 (73)	50 (62)	35 (43)
計	194	168 (87)	158 (81)	134 (69)

培養は10℃で20日間行った。増殖の有無は、OD₆₀₀が>0.1以上であった菌株のうち、目視観察においても濁りが確認されたものを増殖能ありと判断し評価した。

pH4.0のGYP液体培地で増殖した134株のうち、キムチモデル培地を用いた10℃ 20日間の培養で増殖した128株について、培養後pHを評価した結果、キムチ・浅漬類由来の菌株および乳原料由来の菌株で最も培養後pHが高かった菌株は、各々 k109a株およびm46株であった(図1)。これら2株に加えて、培養後pHが高かったm1株, m4株, m10株およびm73株を選抜株として以後の試験に供した(表3)。

表3 和風キムチ用乳酸菌スターター選抜菌株とキムチモデル培地における培養後pH

菌株	乳酸菌の由来	属種	培養後pH
k109a	キムチ・浅漬け類	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	4.8
m1	乳原料	<i>Lentilactobacillus parabuchneri</i>	5.0
m4	乳原料	<i>Pediococcus pentosaceus</i>	5.1
m10	乳原料	<i>Lentilactobacillus buchneri</i>	5.0
m46	乳原料	<i>Pediococcus pentosaceus</i>	5.2
m73	乳原料	<i>Lentilactobacillus parabuchneri</i>	5.0

pH測定は10℃で20日間培養後に実施した。

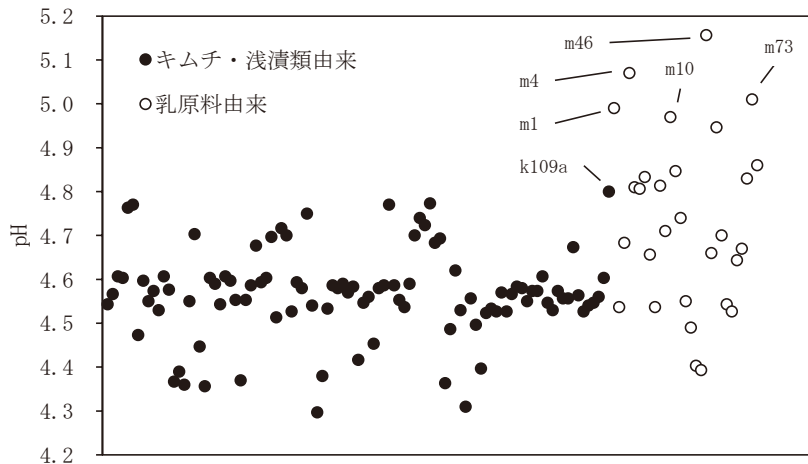


図1 各種乳酸菌株のキムチモデル培地における培養後pH
pH測定は10°Cで20日間培養後に実施した

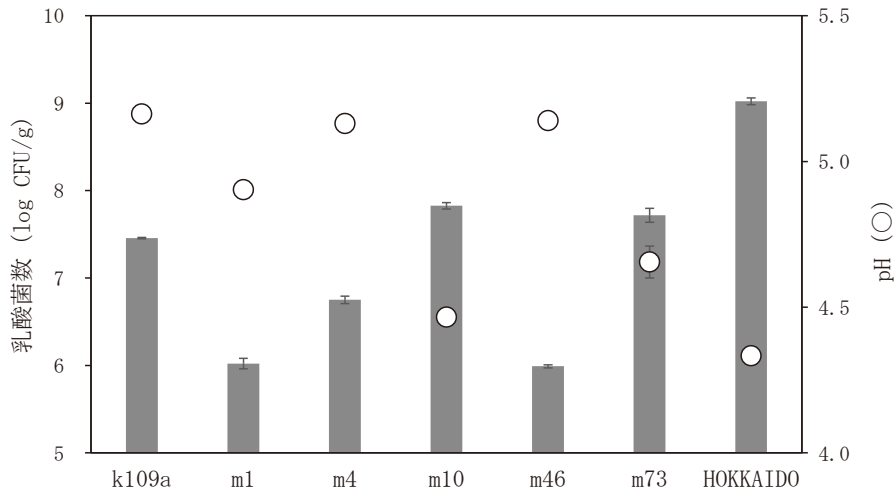


図2 各種乳酸菌株を接種した加熱殺菌和風キムチの10°C保存後の乳酸菌数およびpH
エラーバーは標準誤差を示す。
乳酸菌数およびpHの測定は35日保存後に実施した。

2. 加熱殺菌和風キムチ接種試験による乳酸菌スターターの選抜

選抜した6株およびHOKKAIDO株を殺菌した和風キムチに接種し、10°Cで35日保存後の乳酸菌数およびpHを比較した。その結果、保存後の乳酸菌数が接種した乳酸菌数よりも増加した菌株は、k109a株、m4、m10株、m73株およびHOKKAIDO株であり、培養後のpHは、各々5.2、5.1、4.5、4.7および4.3を示した(図2)。したがって、和風キムチにおいて10°Cで増殖し、最もpH低下の小さいk109a株を和風キムチ用の乳酸菌スターターとして選抜した。

なお本試験に用いた乳酸菌株のうち、m1株およびm46株の35日保存後の乳酸菌数は、各々 1.1×10^6 CFU/g

および 1.0×10^6 CFU/gであり、接種した菌数から増加しなかった(図2)。一般に和風キムチなどの浅漬には、細菌の増殖を抑制する目的で酢酸や酢酸ナトリウムなどが添加されている。大沢らは、市販の浅漬を分析した結果、漬液中の酢酸濃度は0.03~0.07% (w/v)の範囲であったことを報告しており、酢酸濃度によっては保存中の菌数の増加が抑制されることを報告している¹²⁾。本研究で用いた加熱殺菌和風キムチの有機酸量を分析した結果、酢酸濃度は0.70% (w/w)であり(データ非掲載)、既報より高濃度で浸漬液に酢酸や酢酸ナトリウムが添加されていることが推察された。詳細は明らかでないが、m1株およびm46株の有機酸に対する感受性が高いなどにより、保存中の菌数増殖が抑制された可能性が考えられる。

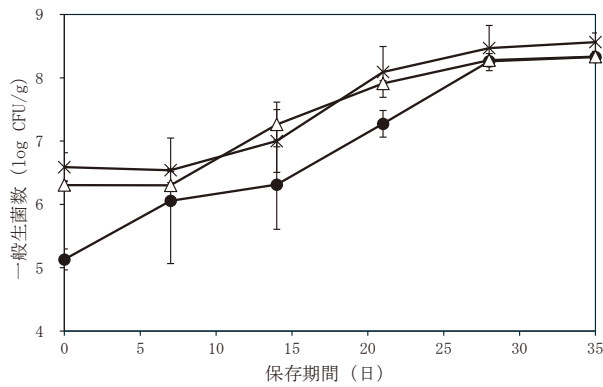


図3 乳酸菌スターターが10°C保存中における和風キムチの一般生菌数の推移に及ぼす影響

●：非接種区
△：k109a株接種区
×：HOKKAIDO株接種区

エラーバーは標準誤差を示す。

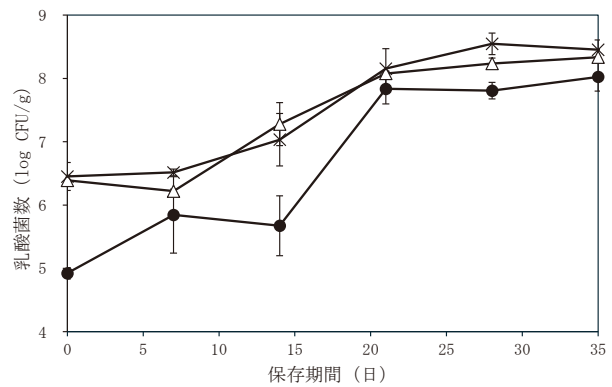


図4 乳酸菌スターターが10°C保存中における和風キムチの乳酸菌数の推移に及ぼす影響

●：非接種区
△：k109a株接種区
×：HOKKAIDO株接種区

エラーバーは標準誤差を示す。

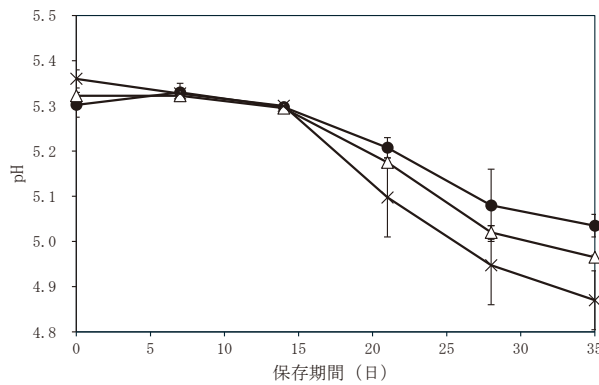


図5 乳酸菌スターターが10°C保存中における和風キムチのpHの推移に及ぼす影響

エラーバーは標準誤差を示す。

●：非接種区
△：k109a株接種区
×：HOKKAIDO株接種区

3. 和風キムチにおける乳酸菌スターターの有用性評価

スターター非接種の和風キムチ（非接種区）、k109a株を接種した和風キムチ（k109a株接種区）およびHOKKAIDO株を接種した和風キムチ（HOKKAIDO株接種区）の10°C保存における一般生菌数、乳酸菌数およびpHの推移を比較した。その結果、保存0日目における非接種区、k109a株接種区およびHOKKAIDO株接種区一般生菌数は、各々 1.4×10^5 CFU/g、 2.0×10^6 CFU/gおよび 3.9×10^6 CFU/gであり、保存7日目以後はいずれも保存期間に伴って漸増し、保存30日目以後には、全ての試験区で 10^8 CFU/g以上を示した（図3）。また、非接種区の14日目における一般生菌数および乳酸菌数は、各々 2.1×10^6 CFU/gおよび 4.7×10^5 CFU/gであり、

一般生菌数は乳酸菌数の4.4倍の菌数となり、乳酸菌以外の増殖が見られたのに対し、k109a株接種区およびHOKKAIDO株接種区においては、保存期間中の一般生菌数は、0.8倍から1.4倍の範囲にあり、ほぼ同値で推移した（図3、4）。本結果から、k109a株接種区およびHOKKAIDO株接種区は、接種したスターターの乳酸菌株がいずれの保存期間においても優占した菌叢となり、これらが保存中に増殖した一方、非接種区は、保存期間中に菌叢変化が起こったことが推察された。また、保存中のpHの推移を比較した結果、いずれの試験区も保存14日目以後に急激に減少し、保存35日目におけるpHは、非接種区で最も高く、HOKKAIDO株接種区は最も低い値を示した（図5）。

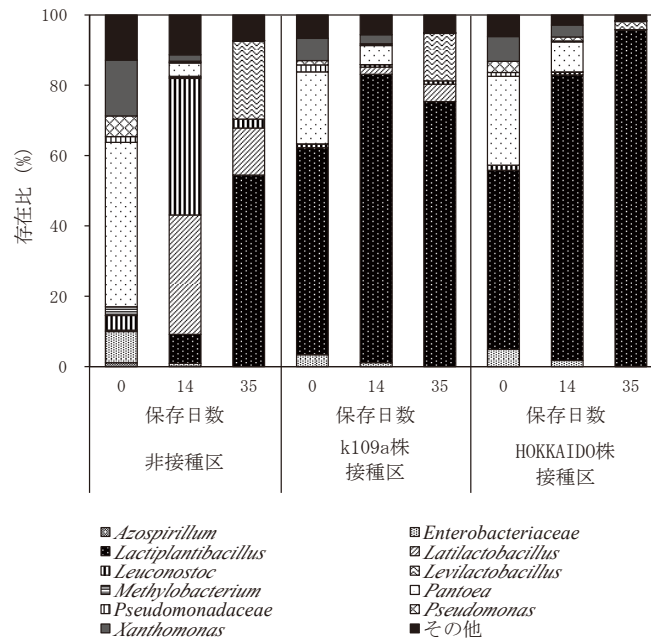


図6 乳酸菌スターターが10°C保存中における和風キムチの菌叢の推移に及ぼす影響

保存中の菌叢の推移を明らかにするため、保存0日目、14日目および35日目の各試験区の菌叢を解析した。その結果、非接種区の優占菌種は、保存0日目、14日目および35日目で、各々*Pantoea*属、*Leuconostoc*属および*Lactiplantibacillus*属となった(図6)。一方、k109a株接種区およびHOKKAIDO株接種区は、いずれもスターターの菌種である*Lactiplantibacillus*属が保存期間を通じて優占菌種となっており、菌叢が安定していた(図6)。

一般に漬物の製造直後の菌叢は、野菜由来のグラム陰性細菌が多く占め、保存に伴って乳酸菌の存在比率が増加する¹³⁾。また、乳酸菌の増殖初期には、*Streptococcus*属、*Pediococcus*属細菌などが比較的多く存在するが、増殖による酸濃度の上昇によって、これらの比較的耐酸性の低い乳酸球菌は減少し、*Lactobacillus*属細菌など耐酸性の高い乳酸桿菌が優占細菌となることが報告されている¹⁴⁾。本研究においても、非接種区の保存期間における優占細菌は、グラム陰性桿菌、乳酸球菌、乳酸桿菌の順に変化し、既報の結果と一致した。また、保存14日目以後のpHの急激な減少は、乳酸菌の増殖に伴う酸産生に起因すると推察される。酸産生量は乳酸菌の菌種によって異なり、*L. plantarum*が酸産生量の多い菌種であることが知られている¹⁵⁾。本研究で用いたk109a株およびHOKKAIDO株はいずれも*L. plantarum*である。しかし、k109a株は、加熱殺菌キムチを用いた接種試験において、他の乳酸菌種よりもpH低下が小さかった。また、k109a

株接種区およびHOKKAIDO株接種区における和風キムチの保存35日目の乳酸量を測定した結果、各々0.5%(w/w)および0.7%(w/w)であり(データ非掲載)、k109a株接種区はHOKKAIDO株接種区よりも低い値を示したことから、乳酸菌の酸産生量は、菌種だけでなく、菌株による差異が大きいことが示唆された。

次に、乳酸菌スターターの接種が和風キムチの風味に及ぼす影響を評価するため、保存35日目の各和風キムチの酸味、発酵風味および嗜好性を採点法により官能評価した。その結果、各試験区間において5%水準で有意な差が認められた評価項目は酸味であり、HOKKAIDO株接種区は非接種区よりも有意差に酸味が強いという評価であったのに対し、k109a株接種区は非接種区と有意な差は認められなかった(表4)。

表4 各種乳酸菌スターターによる和風キムチの官能評価

試験区	酸味	発酵風味	嗜好性
非接種区	2.9±0.2 ^a	3.1±0.2	2.6±0.2
k109a株接種区	3.4±0.2 ^{ab}	3.4±0.2	2.6±0.2
HOKKAIDO株接種区	3.8±0.2 ^b	3.5±0.2	3.1±0.3

各種試料は、10°Cで35日間保存したものをを用いた。酸味、発酵風味：強い(5点)～弱い(1点)、嗜好性：好ましい(5点)～好ましくない(1点)とし、絶対評価で評点した。数値は平均値±標準誤差を示す。同一項目で異なるアルファベット間には5%水準で有意差があることを示す。

市販の和風キムチ製品の賞味期限は長いものでも製造後24日程度である。賞味期限を設定するときに考慮される安全係数を0.7とした場合に、製品の賞味期限を24日間担保するためには、35日間品質が保持される必要がある。保存35日目におけるk109a株接種区と非接種区の官能評価に有意な差が認められなかったことから、k109a株をスターターとした場合においても非接種区と官能評価に影響がないことが示唆された。

本格キムチにおいては、過度な酸味を抑制する乳酸菌スターターの検討が行われており、マンニトール産生能を有する*Leuconostoc mesenteroides*や*L. fallax*を活用した製造方法が特許化されている^{5) 16)}。これらのうち、*L. fallax* A-1株を乳酸菌スターターとして接種したキムチは、発酵後のpHがpH4.8程度に留まり、官能評価においても鋭い酸味がなく良好な品質であったことが報告されており⁵⁾、本研究で選抜したk109a株をスターターに用いた和風キムチにおいても同様の結果が得られた。一方、k109a株はマンニトール産生能を有しておらず（データ非掲載）、和風キムチの酸味抑制における作用機序はマンニトール産生には起因しないことが推察された。また、k109a株を接種後10°Cで42日間保存した加熱殺菌和風キムチのアミノ酸量を分析した結果、保存前に比べてγ-アミノ酪酸(GABA)が1.8倍に増加した（データ非掲載）。本結果から、k109a株は、乳酸などの酸産生による代謝経路以外にGABAを産生するグルタミン酸脱炭酸反応による代謝経路によりエネルギーを獲得していることが推察された。本代謝経路は、乳酸菌の耐酸性機構の一つであり、グルタミン酸脱炭酸反応で消費された細胞内のプロトンがH⁺-ATPaseにより細胞外から取り込むことが知られている¹⁷⁾。上野らは、GABA高産生乳酸菌*Lactobacillus sp.* L13株を初発pH5.0に調整したグルタミン酸ナトリウム加GYP液体培地で培養した結果、GABA産生に伴い、培地pHが上昇したことを報告している¹⁸⁾。詳細は明らかでないが、本菌株においてもk109a株のグルタミン酸脱炭酸反応が発酵中のpH低下の抑制に寄与した可能性が考えられる。

以上から、*L. plantarum* k109aを和風キムチの乳酸菌スターターに用いることにより、発酵中の菌叢を安定させること、保存中の酸敗を抑制するという当初の目的を達成するとともに、和風キムチの製造において乳酸菌スターターによる発酵制御が有用であることを明らかにした。

要 約

キムチ・浅漬類由来および乳原料由来の乳酸菌から、和風キムチで良好に増殖し、最もpH低下の小さい*L. plantarum* k109aを乳酸菌スターターとして選抜し、和風キムチ製造試験を実施した。その結果、当該スターターは和風キムチの過度な酸味の発現を抑制し、菌叢を安定化したことから、乳酸菌スターターは和風キムチの発酵制御に活用可能であることが示唆された。

文 献

- 1) 農林水産省 (2024). 食品産業動態調査：加工食品の生産量等調査・分析業務.
- 2) 西岡輝美, 谷本秀夫, 橋田浩二, 古川 真 (2011). 国内産および韓国産ハクサイキムチ中の乳酸菌叢の解析. 近畿中国四国農業研究, **18**, 85-88.
- 3) 内藤茂三 (2020). 漬物の微生物変敗と制御, 「食品変敗の科学」初版, 幸書房, 東京, pp.260-294.
- 4) 内村泰, 岡田早苗 (1992). 「乳酸菌実験マニュアル」初版, 小崎道雄監修, 朝倉書店, 東京.
- 5) 大橋篤 (2020). 酸味発現抑制性の乳酸菌及びそれを用いた発酵漬物製造法. 特許6723427号, 6月25日
- 6) 中川良二 (2018). 乳酸菌HOKKAIDO株を用いた機能性を有する食品等の開発と技術普及. 食品科学工学会, **65**, 283-289.
- 7) Kawasaki, A. and Ryan, P. R. (2021). Peptide nucleic acid (PNA) clamps to reduce co-amplification of plant DNA during PCR amplification of 16S rRNA genes from endophytic bacteria, In “The plant microbiome: methods and protocols.” ed. by Carvalhais, L. C. and Dennis, P. G. Springer US, New York, NY, pp123-134.
- 8) Bolyen, E., Rideout, J. R., Dillon, M. R., Bokulich, N. A., Abnet, C. C., Al-Ghalith, G. A. and Caporaso, J. G. (2019). Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science with QIIME 2. *Nature Biotechnology*, **37**, 852-858.
- 9) Steel, R. G. D. (1959). A multiple comparison sign test: treatments versus control. *The Annals of Mathematical Statistics*, **30**, 565-578.

- 10) Dwass, M. (1960). Modified randomization tests for non-parametric hypotheses. *The Annals of Mathematical Statistics*, **31**, 1109-1118.
- 11) Kanda Y. (2013). Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics, *Bone Marrow Transplant.*, **48**, 452-458.
- 12) 大沢純也, 佐藤久仁子, 山本忠, 斉藤博之, 関村照吉, 北館忠, 飯野久栄 (1988). 微生物制御による浅漬類の品質保持技術(第IV報)有機酸添加の効果について. 岩手県醸造食品試験場報告, **22**, 7-12.
- 13) 今井正武, 平野進, 饗場美恵子 (1983). 糠床の熟成に関する研究—熟成中の菌叢および糠床成分の変化—. 日本農芸化学会誌, **57**, 1105-1112.
- 14) 宮尾茂雄 (1987). 漬物の微生物学の進歩(その1). 日本醸造協会雑誌, **82**, 41-47.
- 15) 宮尾茂雄 (2017). 発酵漬物における乳酸菌のはたらき. 日本醸造協会誌, **112**, 386-396.
- 16) オチヨン, ヤンシヨン, クォンミンス, オチヨン, イチンヒョク, ハンキョンホ, コウイチァン (2011). マンニトール生成能が優れた耐酸性ロイコノストックメセンテロイデス及びそれを利用したキムチの製造方法. 特許4672776号, 1月28日.
- 17) 上野義栄, 平賀和三, 森義治, 小田耕平 (2007). 漬物から γ -アミノ酪酸(GABA)高生産性乳酸菌の分離とその応用. 生物工学会誌, **85**, 109-114.
- 18) Higuchi, T., Hayashi, H. and Abe, K. (1997). Exchange of glutamate and γ -aminobutyrate in a *Lactobacillus* strain, *J. Bacteriol.*, **179**, 3362-3364 (1997).