＜令和２年度助成＞

トウガラシの新規生体機能性の探索及び発酵食品への応用

高橋　あずさ
（北海道教育大学札幌校 生活創造教育専攻 家庭科教育分野）

トウガラシ（*Capsicum annum*）は、ナス科の植物で香辛料に利用されている辛味品種と野菜として食されている非辛味品種があり、世界各国で利用されている食材である。トウガラシには、辛み成分のカプサイシンの他に複数の同族体が存在し、カプサイシノイドと総称されている[1)]。カプサイシノイドには、抗肥満作用や体熱産生作用などの機能性があることが知られている。また、筆者らは、カプサイシノイドがアントシアニンの腸管からの吸収を促進させせることを明らかにしており[2)]、カプサイシノイドと機能性成分を組み合わせることで健康機能性が増大する可能性が示唆される。

トウガラシを使用した代表的な食品にキムチがある。キムチは、白菜や大根、キュウリなどの野菜に唐辛子、魚の調味料、ニンニク、ショウガ、ネギ、リンゴなどを合わせた調味料を一緒に発酵させた食品である。キムチの健康効果は、抗酸化性や抗肥満効果[3)]、抗腫瘍効果[4)]などが報告されている。しかし、現在までに大根やキュウリ、キャベツ以外の野菜でキムチを製造し、その機能性について焦点を当てた研究はほとんどない。

一方、赤ビート（*Beta vulgaris* L.）はヒユ科の野菜であり、地中海沿岸が原産で日本では北海道で多く栽培されている。欧米諸国で赤ビートは、スープやサラダ、ピクルスなどに用いられている主要な食材であり、特にウクライナやロシアの伝統料理であるボルシチに使用される野菜として知られている。日本では最近、サラダやピクルス、ジュース等加工食品として用いられることも徐々に多くなってきてはいるが、赤ビートには土壌臭のゲオスミンが含まれるため、日本人にとっては食べにくい野菜でもある。なお、赤ビートは果肉が鮮やかな赤紫色を呈しているが、この赤紫色素はベタシアニンと呼ばれる水溶性の含窒素色素でナデシコ目植物にしか存在しない。また、ベタシアニンと同様、ナデシコ目植物に含まれる黄色～橙色色素は、ベタキサンチンと呼ばれる非フェノール性の含窒素色素であり、赤ビートにも含有している。

ベタレイン（ベタシアニンとベタキサンチンの総称）の生理作用に関する研究において、筆者らは、ベタシアニンが小腸から急速に吸収されることを報告している[5)]。その他、老化マウスにおいて脳の神経毒性に対しての保護効果[6)]等が報告され、体内でのフリーラジカルや活性酸素の除去作用が期待されている。また、近年では赤ビートがアルツハイマー病の原因となるアミロイドβの凝集を抑制すること[7)]やベタレインが脳神経の保護に効果があることが報告されており[8)]、ますます赤ビートの健康機能効果が注目されている。

本研究では、トウガラシの新規機能性を探索するため、アルツハイマー病モデルマウスを用いて、カプサイシンと赤ビートを同時に摂取させたときの認知機能の改善効果について検討を行った。さらに、カプサイシンと赤ビートを同時に摂取できる食品として、赤ビートを使用したキムチを開発し、そのキムチの抗酸化性、総ポリフェノール量、自動 rRNA 多型解析（ARISA）による微生物叢の特徴、そして食味について一般的なキムチである大根を使用したキムチと比較した。

材料と方法

（1）ベタレイン色素の調製

実験試料のベタレイン色素は、赤ビート（デトロイトダークレッド種）から抽出・精製したものを凍結乾燥して調製した。

（2）動物実験

実験動物はSAMRとSAMP8雄性マウス（12週齢）を三協ラボサービス株式会社から購入し、実験に使用した。市販飼料で1週間の環境馴化の後、8週間の実験期間を設け、実験試料を投与した。実験群は、正常老化マウスのSAMRマウスをネガティブコントロール（N）とし、アルツハイマー型認知症モデルのSAMP8をコントロール（C）、カプサイシン（CAP、0.021％投与）、ベタレイン（B、0.5％投与）、カプサイシン+ベタレイン（CPB、カプサイシン0.021％+ベタレイン0.5％投与）群に分け、全5群で行った。認知機能への影響はY字迷路による短期記憶を測定した。

（3）赤ビートキムチの調製と各種分析

赤ビートキムチは、韓国のレシピを参考に調製し、発酵直後（0日目）、発酵3日目、7日目、14日目の発酵期間を設定した。また、大根キムチも同様の方法で調製した。各キムチの抗酸化性はDPPHラジカル補足活性を測定し、総ポリフェノール量は、Folin-Dnis法で測定した。各キムチ中の微生物叢解

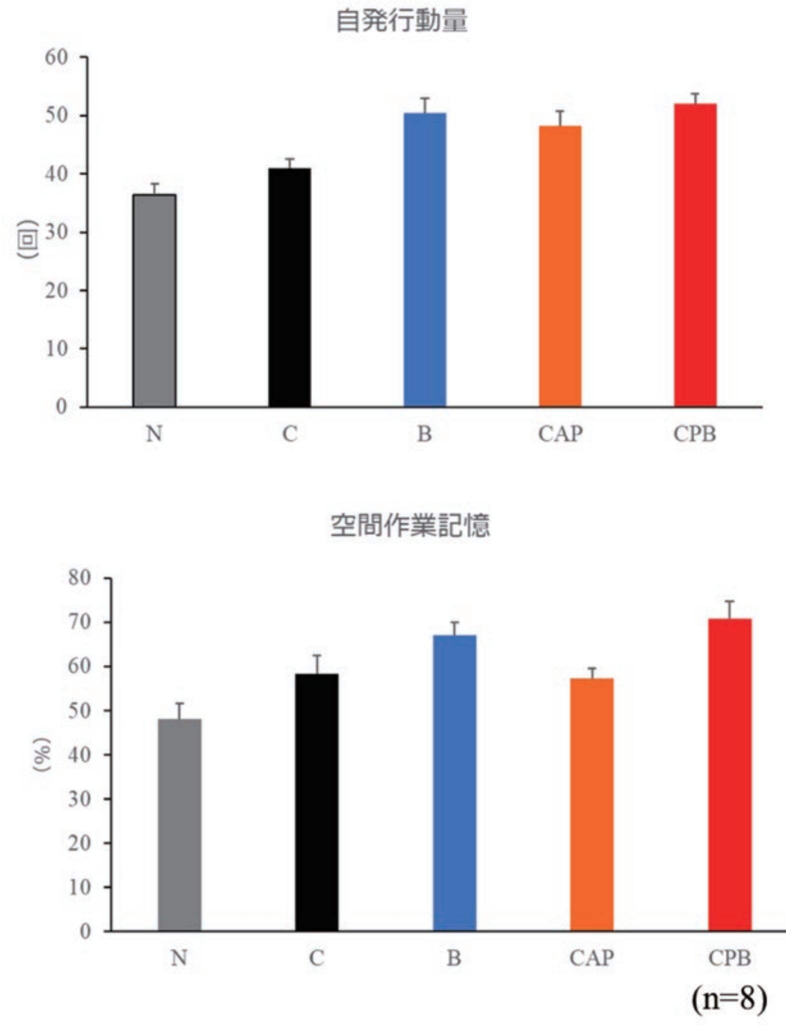

図1　各飼料を摂取させたマウスの自発行動量と空間作業記憶

析は、ARISAで行った。さらに、赤ビートキムチの官能評価は、新潟県立大学の学生と教職員（30名）を対象に行った。また、赤ビートキムチに含まれる土壌臭の原因物質であるジェオスミン量の測定も行った。

結果及び考察

カプサイシンとベタレインの認知機能への影響を明らかにするため、Y字迷路による自発行動量と空間作業記録を測定した。その結果、自発行動量はCAP、B及びCPBがCと比べ増加傾向を示した（**図1**）。また、空間作業記憶ではB及びCPBがCと比べて増加傾向を示した（**図1**）。アルツハイマー病発症の要因の一つに運動不足が挙げられ、運動によりAβを分解する酵素（ネプリライシン等）が活性化され、Aβの蓄積が妨げられるとの報告がある[9]。従って、本実験においてカプサイシンとベタレインの相乗効果により、高齢化による自発行動量の低下を抑制し、空間作業記憶を増加させせることにより認知症を抑制する可能性があることが示唆された。

トウガラシのカプサイシンと赤ビートのベタレインの両方を摂取できる食品の開発を目的として赤ビートのキムチを作製し、機能性及び官能評価を大根キムチと比較した。赤ビートキムチ及び大根キムチ（作製0日目、3日目、7日目、14日目）のARISA微生物叢解析を行った結果、細菌では、植物性発酵食品に見られる*Leuconostoc mesenteroides*や*Lelliottia amnigena*、*Latilactobacillus sakei*、乳酸発酵に優れた*Enterococcus mundtii*など7種が同定され、真菌では、*Candida lustianiae*など5種が同定され、両キムチの微生物叢に有意差は認められなかった（**表1**）。しかし、両キムチの特徴としては、大根キムチではキシロース資化性乳酸菌として知られる*Enterococcus mundtii*の存在割合が、赤ビートキムチにおいては、多くの漬物の主要な乳酸発酵を

表1　ARISA微生物叢解析により同定された両キムチの微生物種[10]

Species	Japanese radish kimchi		Red beet kimchi	
	No. of Colony	Fragment size (bp)	No. of Colony	Fragment size (bp)
Bacteria				
Dermacoccus nishinomiyaensis	1	452.56		
Enterococcus mundtii			1	311.63
Latilactobacillus sakei			1	308.32
*Leuconostoc citreum**	1	455.52		
Leuconostoc mesenteroides			1	458.25
Leilliottia amnigena	1	471.55	1	471.55
Limosilactobacillus buchneri / para	1	303.96	1	303.96
Pantoea agglomerans	1	455.62, 473.38		
Pediococcus pentosaceus	1	311.29	1	311.29
*Rothia kristinae**	1	497.91		
Staphylococcus epidermidis			1	346.23
Staphylococcus warneri	1	422.10		
Fungi				
Alternaria alternata	1	553.38		
*Candida lusitaniae**			1	367.68
*Cryptococcus liquefaciens**			1	604.93
*Cyphellophora europaea**			1	590.92
*Rhodotorula mucilaginosa**			1	367.68
*Tausonia pullulans**			1	603.50

司ることが知られているL. sakeiがそれぞれ発酵7～14日の主要菌種となっている点が挙げられる（**図2**）。これは、最終主要乳酸菌種の違いがキムチの最終的な風味にも影響しているものと示唆される。

赤ビート及び大根キムチのDPPHラジカル補足活性と総ポリフェノール量を測定した結果、DPPHラジカル補足活性は全ての発酵期間において赤ビートキムチが大根キムチに比べ有意に高い値を示した

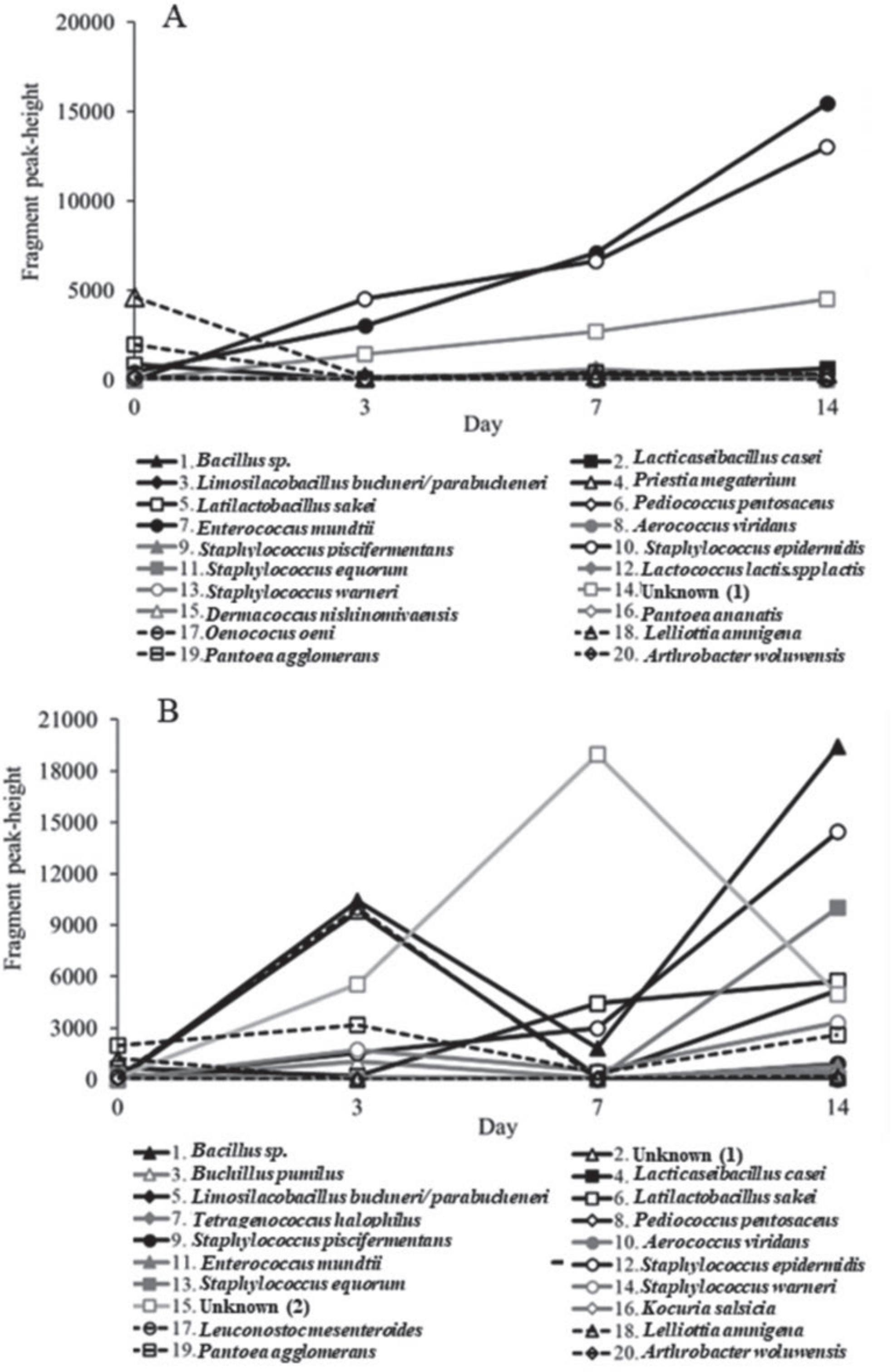

図2　ARISA微生物叢解析による両キムチの微生物叢の経時的変化
A：大根キムチ、B：赤ビートキムチ

(**図3**)。また、総ポリフェノール量は、赤ビートキムチが0日目と発酵14日目で大根キムチに比べ有意に高い値を示し、その他の発酵期間においても赤ビートキムチが増加傾向を示した(**図3**)。赤ビートに含まれるベタレイン色素は高い抗酸化性を有していることが報告されている[5]。本結果においても赤ビートキムチが大根よりも抗酸化性及び総ポリフェノール量が高い値を示したことは、ベタレイン色素によるものと考えられる。キムチにブラックラズベリージュース粉末を添加すると抗酸化性が上昇し、肝硬変モデルラットの肝機能を改善することが報告されていることから[11]、抗酸化性が期待できる食材をキムチに加工することでより一層抗酸化性や健康機能性が向上することが考えられる。

一方、両キムチの官能評価を行った結果、赤ビートキムチは辛味、うま味、風味食感、総合評価において大根キムチと同程度の評価を得た(**図4**)。この結果から、赤ビートキムチは大根キムチと近い食味を持つことが考えられる。さらに、赤ビートキムチは大根キムチに比べ甘みの評価が高く、酸味の評価が低かったことから、キムチの酸味を苦手とする人でも食べやすいという利点があり、より多くの人に好まれる可能性が示唆された。

また、生の赤ビートと赤ビートキムチの官能評価も行った結果、赤ビートキムチは、生の赤ビートよりも風味及び食べやすさの評価が高かったことから(**図4**)、生の赤ビート及び赤ビートキムチ中のジェオスミン量の測定を行った。その結果、ジェオスミン量は生の赤ビー生の赤ビートが最も多く、キムチに加工することで減少することが明らかとなった(**図5**)。この結果から、官能評価で生の赤ビートよりも赤ビートキムチの評価が高かったことは、キム

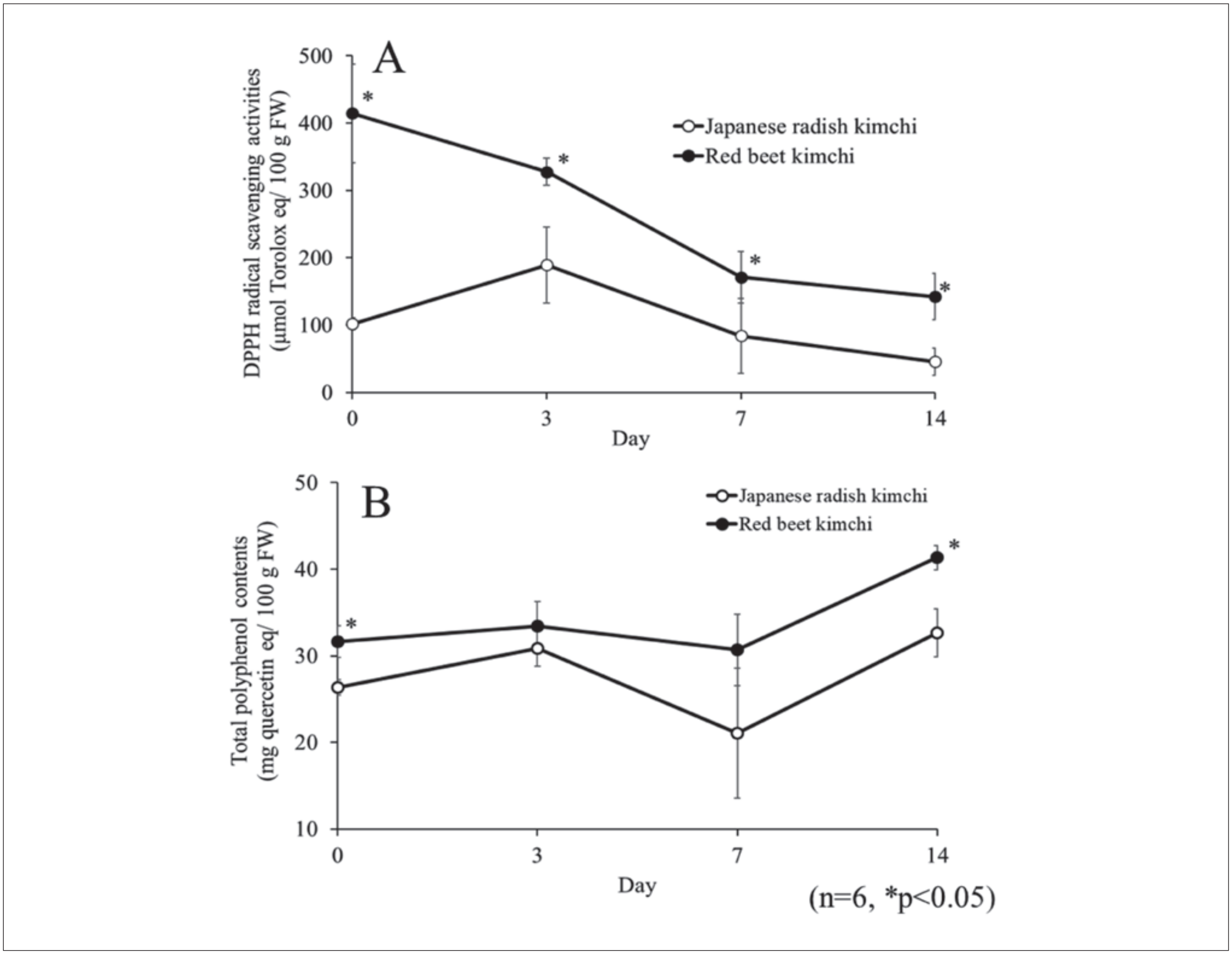

図3　両キムチの抗酸化性と総ポリフェノール量の経時的変化
A：DPPH ラジカル補足活性、B：総ポリフェノール量

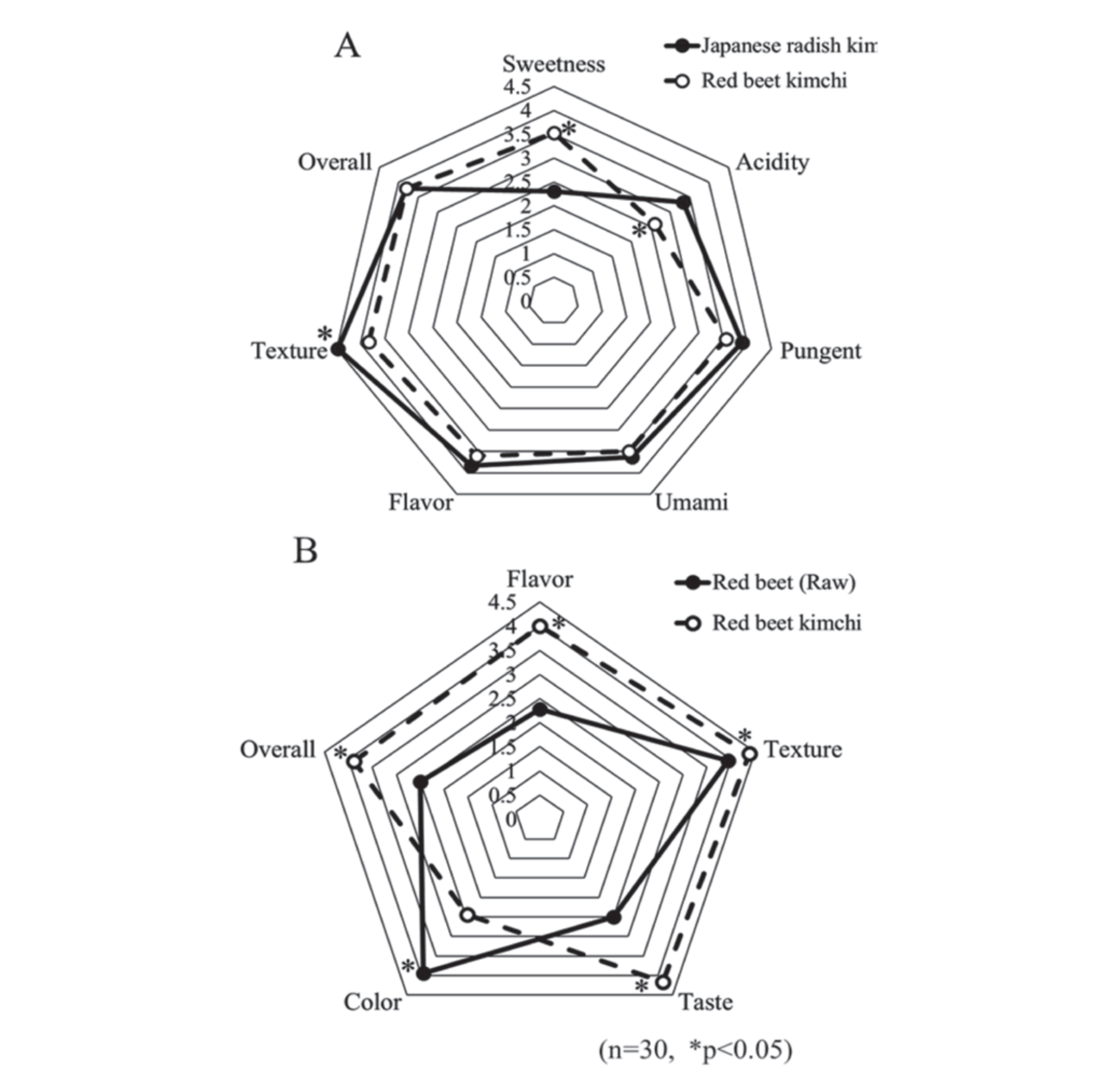

図４ 官能評価 [12)]
A：大根キムチと赤ビートキムチの官能評価、B：生の赤ビートと赤ビートキムチの官能評価

チ中のジェオスミン量が低く、特有の土壌臭を感じにくかったことが要因の１つであると考えられる。

本研究の結果、カプサイシンとベタレインを併用することでアルツハイマー型認知症の予防に効果がある可能性が示唆された。また、認知症の予防としてカプサイシンとベタレインの両方を一緒に摂取できる食品として赤ビートキムチを開発した。赤ビートキムチは大根キムチと同じような食味を有し、抗酸化性や総ポリフェノール量は、大根キムチを上回ることが明らかとなった。さらに、ARISA による微生物叢解析を行った結果、多くの植物性乳酸菌の中で赤ビートキムチに含まれる *Latilactobacillus sakei* が大根キムチよりも豊富に含まれていることが明らかとなった。現在までに大根やキュウリ、キャベツ以外の野菜でキムチを製造し、その機能性について焦点を当てた研究はほとんどないため、赤ビートを用いたキムチの機能性については、本研究により初めて明らかにした知見である。

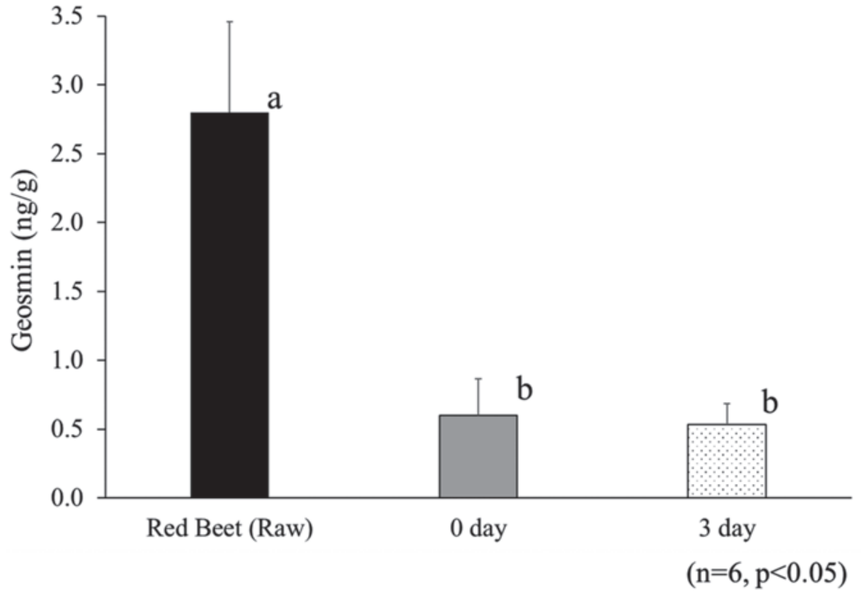

図５　生の赤ビート及び赤ビートキムチに含まれるジェオスミン量

謝　辞

本研究の遂行にあたり、研究助成を賜りました公益財団法人 浦上食品・食文化振興財団に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

1) 田中義行　トウガラシにおける新規カプサイシン類似物質・カプシコニノイドの含量．岡山大学農学部学術報告　vol. 103, p 37-43 (2014)
2) Takahashi, A., Sakaguchi, H., et al. Intestinal absorption of black chokeberry cyanidin 3-glycosides is promoted by capsaicin and capsiate in a rat ligated small intestinal loop model. Food Chemistry vol. 277, p 323-326 (2019)
3) Parl. J.A., Tirupathi Pichiah, P.B., et al. Anti-obesity effect of kimchi fermented with weissella koreensis OK1-6 as starter in high-fat diet-induced obese C57BL/6J mice. J Appl Microbiol. 113, p 1507-1516 (2012)
4) Park, K.Y., Jeong, J.K., et al. Health benefits of kimchi (Korean fermented vegetables) as probiotic food. J Med Food. 17, p 6-20 (2014)
5) 髙橋あずさ，奥村純子ら．テーブルビートおよびカクタスペア果汁中の含窒素色素ベタレインの抗酸化性と吸収動態．日本食品科学工学会誌．64, p 51-58 (2017)
6) Wang, C.Q., Yang, G.Q. Betacyanins from *Portulac oleracea* L. ameliorate condition deficits and attenuate oxidative damage induced by D-galactose in the brains of senescent mice. Phytomedicine. 17, p 527-532 (2010)
7) Imamura, T., Isozumi, N., et al. Bed-beet betalain pigments inhibit amyloid-β aggregation and toxicity in amyloid-β expressing Caenorhaditis elegans. Plant Foods Hum Nutr. 77, p 90-97 (2022)
8) Di, S.,Yu, M., et al. Neuroprotective effect of betalain against AlCl3-induced Alzheimer's disease in Sprague Dawley rats via putative modulation of oxidative stress and muclear factor kappa B (NF-κB) signaling pathway. Biomed Pharmacother. 137 (2021)
9) Lazarov, O., Robinson, J., et al. Environmental enrichment reduces Abeta levels and amyloid deposition in transgenic mice. Cell 120, p 701-713 (2005)
10) Takahashi, A., Yamaguchi, A., et al. Red beet kimchi reduces off-flavor of geosmin and provides unique changes of lactic acid bacteria and fungal microflora during fermentation. Food and Humanity, 4 (2025)
11) Ryu, E.H., Yang, J.S., et al. Antioxidant effects of kimuchi supplemented with black raspberry during fermentation protect against liver cirrhosis-induced oxidative stress in rats. Nutr Res Pract. 13, p 87-94 (2019)
12) 髙橋あずさ，山口昭弘ら．北海道産赤ビート（*Beta vulgaris* L.）の速成キムチにおける抗酸化活性および風味特性．日本食品科学工学会誌．72, p 487-494 (2025)

Exploration of novel functional properties and application to fermented foods of capsaicin and betalain

Azusa TAKAHASHI
Department of Home Economics, Sapporo Campus,
Hokkaido University of Education

We investigated the effects of capsaicin and betalain (a pigment from red beet (*Beta vulgaris var. rubra*)) on Alzheimer's disease in SAMP8 mice. In addition, the functionality and taste of red beet kimchi were investigated. Treatment with capsaicin and betalain show increasing trends in spontaneous action volume and spatial working-memory compared to control mice in the Y-maze. The results suggested that dementia may have been inhibited in both the capsaicin + betalain group and the betalain group through suppression of the decrease in spontaneous action volume and increasing spatial working memory.

The antioxidant properties of red beet kimchi were significantly higher than those of radish kimchi during all fermentation periods (0, 3, 7, and 14 days). The total polyphenol content of red beet kimchi was significantly higher than that of radish kimchi at days 0 and 14, and also showed an increasing trend during the other fermentation periods. The results of an ARISA microflora analysis indicated that the bacteria and fungi in red beet kimchi were more diverse than those in radish kimchi. In addition, the results of sensory evaluations of both types of kimchi indicated that red beet kimchi was significantly sweeter and less acidic than radish kimchi.

These results indicate that the combination of capsaicin and betalain may prevent Alzheimer's disease. In addition, red beet kimchi was found to have higher functionality and greater bacterial diversity than radish kimchi.