

令和7年度豆類振興事業調査研究 「砂糖無添加製法による 高機能性発酵小豆あんの開発」

山形大学教授 永井 毅

●はじめに

あんは澱粉質の多い豆類を湯煮後、砂糖を添加して練りながら煮詰めたものである。原材料により、小豆を用いた小豆あん、白インゲンマメや白小豆を用いた白あん、青エンドウを用いたうぐいすあんに大別される。また、あんの状態により、原料豆の形を残した粒あん、豆が潰れ表皮が混合したつぶしあん、煮豆から表皮を除去後澱粉質だけにして、砂糖を添加し練り上げたこしあん、豆を茹でて表皮を除去後、乾燥・粉末にしたさらしあんなどがある。あんを用いた和菓子は、わが国の食文化継承において重要である。一方、糖分が多いことや高エネルギーなど、甘味や糖質を連想させる製品の市場規模が減少している。近年では低甘味志向が進み、砂糖を多く含むあんの消費は低迷しており、昨今の消費者の健康志向に対応した新たなあんの製造技術開発が求められている。本報告では、「砂糖無添加」にもかかわらず「発酵技術」を活用し甘味を付与した機能性豊かな「発酵小豆あん」の開発について紹介する。本稿で扱う「発酵小豆あん」は、加熱処理した小豆に米麹の酵素を作用させたものであり、この工程で麹菌、乳酸菌、酵母などの微生物の増殖は伴わない。

●麹菌の選抜

発酵小豆あんの製造に適した麹菌を選抜するために、9種類の麹菌（(株)秋田田野商店製）を用いた米麹（山形県産はえぬき：一等米使用）を調製し、これらの各種酵素活性を第4回改訂国税庁所定分析法注解に基づき測定したところ、白麹3号菌、同雪こまち、同しらかみでは総じて活性が高く、焼酎用こうじ菌では活性が低かった（表1）。

表1 種々の麹菌を用いて調製した米麴の酵素活性 (単位/g麴)

	α -アミラーゼ	グルコアミラーゼ	α -グルコシダーゼ	酸性カルボキシペプチダーゼ
A	733.6±29.0 ^d	0.25±0.03 ^b	0.005±0.001 ^b	3211.6±197.5 ^c
B	1337.6±24.5 ^c	0.18±0.01 ^c	0.001±0.000 ^c	2617.0±312.8 ^d
C	1723.3±22.3 ^a	0.25±0.02 ^b	N.D. ^d	5230.3±137.6 ^a
D	1743.2±16.1 ^a	0.33±0.03 ^a	0.001±0.000 ^c	4077.3±37.5 ^b
E	1492.1±56.2 ^b	0.25±0.01 ^b	0.001±0.000 ^c	3674.9±295.0 ^c
F	1529.3±68.9 ^b	0.05±0.00 ^d	0.003±0.001 ^{bc}	1490.8±81.7 ^c
G	1388.5±18.0 ^c	N.D. ^e	0.007±0.005 ^b	289.1±58.2 ^f
H	232.6±2.6 ^e	N.D. ^e	0.012±0.011 ^a	506.8±108.2 ^f
I	245.7±2.6 ^e	0.01±0.00 ^d	0.001±0.000 ^c	675.2±4.3 ^f

A: 白麴1号菌、B: 白麴2号菌、C: 白麴3号菌、D: 白麴雪こまち、E: 白麴しらかみ、F: 生酒専用 IV-2、G: 特別吟醸用、H: 焼酎用白こうじ菌、I: 焼酎用黒こうじ菌。N.D.: 不検出。危険率5%未満を有意な差とし、異なる符号間で有意差があるものとした。

●発酵小豆あんの製造

加圧蒸煮した小豆（北海道産きたのおとめ）は放冷後、電動ミートグラインダーで種皮の除去とともにペースト状にした。殺菌済みガラス瓶に、米麴と等量になるようにペースト状小豆を加えて均一に混合した。発酵は55℃-5日間行い、24時間毎に混合した。発酵終了後のあんは70℃-1時間加熱処理後、ミキサーでペースト状にしたものを発酵小豆あんとした。いずれの米麴を用いた場合でも、発酵3日目までは経日的にあんの甘味やしっとり感は増加したが、4日目以降では麴臭が増加し、5日目では臭みの増加が顕著となった。米麴の種類別では、白麴1号菌、同2号菌、同3号菌、清酒用こうじ菌（生酒専用IV-2）ならびに焼酎用こうじ菌では麴臭が強く、甘味が弱かった。一方、白麴雪こまち、同しらかみ、清酒用こうじ菌（特別吟醸用）では臭みが弱く、甘味が強かった。特に、清酒用こうじ菌（特別吟醸用）を用いた場合、強い甘味と弱い臭みのため、発酵小豆あんの製造に最適と考えられた。

次に、清酒用こうじ菌（特別吟醸用）を用いた米麴とペースト状蒸煮小豆の混合比率を検討した。米麴：蒸煮小豆=2:1では発酵力が強く甘味は感じられるが、ざらつきと麴臭が強かった。混合比率を1:2とした場合、発酵力が弱く甘味が弱くなり、小豆による雑味が強かった。一方、混合比率が1:1では甘味が強く麴臭は弱いが、米麴由来のざらつきは軽減できなかった。そこで、予め粉碎した米麴粉を用いて同比率で発酵小豆あんを製造した。粒子径425 μ m以上の米麴粉の場合、ざらつきが強く甘味の弱いあんに、粒子径212-425 μ mの米麴粉では、粒子径425 μ m以上の米麴粉の場合と比較して速

やかに甘味が発現し、甘味の強いあんとなった。発酵小豆あんの製造は、粒子径212-425 μ mの米麴粉：ペースト状蒸煮小豆=1:1に混合し、発酵期間を3日間とすることが最適と考えられた。

●発酵小豆あんの理化学特性

以上のようにして製造した発酵小豆あんの炭水化物量ならびにエネルギーは、市販小豆あん（こしあん）（以下市販あん）①（A社製）および②（B社製）と比較して低かった（表2）。また、発酵小豆あんと市販あんの色彩には大きな差があり、発酵小豆あんは市販あんより彩度や白色度が高く、赤色度や黄色度の高い明るくあざやかな色彩であった。発酵小豆あんの破断強度（硬さ指標）は、市販あん②より高く、①より低かった。付着性評価から、市販あん①はべたつきが強く、②は弱いと考えられたが、発酵小豆あんはこれらの中間的な位置付けにあった。すなわち、市販あんと比較して、発酵小豆あんは適度な硬さと付着性ならびに粘りを有するあんである。

表2 発酵小豆あんと市販小豆あんの理化学特性

	発酵小豆あん	市販小豆あん①	市販小豆あん②
エネルギー (kcal/100g)	206.2 ^b	257 ^{*a}	254 ^{*a}
水分 (g/100 g)	48.5±0.0 ^a	36.4±0.0 ^c	40.4±0.0 ^b
粗たんぱく質 (g/100g)	6.1±0.1 ^a	4.6 ^{*b}	4.7 ^{*b}
粗脂肪 (g/100g)	0.2±0.0 ^a	0.3 ^{*a}	0.4 ^{*a}
炭水化物 (g/100g)	45.0±0.0 ^b	59.5 ^{*a}	57.9 ^{*a}
食塩相当量 (g/100g)	0.03±0.0 ^a	0.004 ^{*b}	0.03 ^{*a}
色彩 L*(明度)	37.92±0.82 ^a	11.21±0.46 ^c	14.29±0.42 ^b
a*(赤色度)	11.54±0.29 ^a	8.76±0.60 ^b	9.67±0.62 ^b
b*(黄色度)	19.46±0.42 ^a	5.45±0.75 ^b	6.58±1.43 ^b
彩度(C*)	22.62 ^a	10.32 ^b	11.70 ^b
白色度(W)	33.93 ^a	10.61 ^c	13.50 ^b
糖度(20℃)	49.3±0.0 ^b	59.1±0.0 ^a	57.5±0.0 ^a
粘度(20℃:Pa·s)	9.41±0.16 ^b	15.16±0.08 ^a	6.03±0.03 ^c
テクスチャー (20℃)			
破断強度(N/m ²)	25806.7±1665.7 ^b	37240.0±2117.0 ^a	13393.3±462.0 ^c
付着性(N/m ²)	4897.8±164.8 ^b	7700.2±110.1 ^a	2928.9±67.9 ^c
凝集性	0.79±0.09 ^b	0.84±0.11 ^{ab}	0.88±0.03 ^a

*データは製品ラベルから引用。危険率5%未満を有意な差とし、異なる符号間で有意差があるものとした。

発酵小豆あんの糖組成は市販あんのそれらとは全く異なり、そのほとんどがD-グルコース (Glc) であり、少量の未消化マルトース (Mal) も検出された

(図1)。一方、市販あんでは多量のスクロース (Suc) が検出された。糖組成はあんの呈味性に大きく寄与するが、Glcの甘味度はSucの約6割程度であり弱い。砂糖を多量に用いる市販あんと比べて発酵小豆あんの甘味は弱いと考えられた。官能試験の結果から、発酵小豆あんは「甘味が弱い」、「酸味を感じる」、「麴臭が感じられる」などの課題が明らかとなったが、発酵小豆あんは乳酸菌の検出が認められず、その酸味は麴菌の発酵により生じたアミノ酸によるものと考えられた。

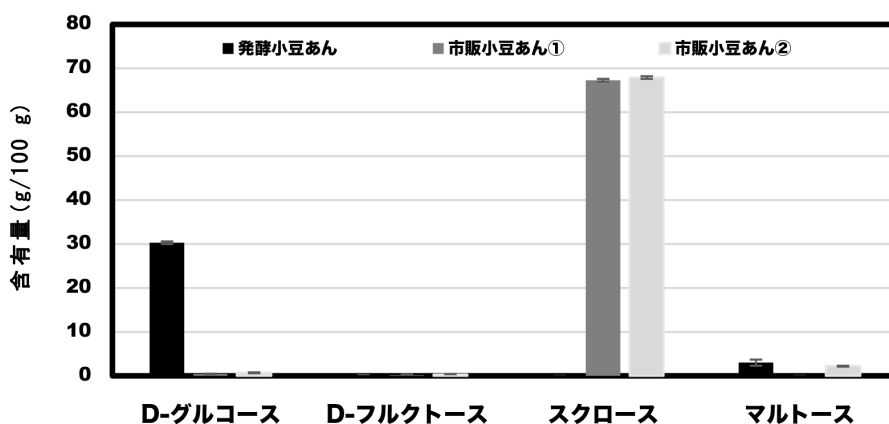


図1 発酵小豆あんと市販小豆あんの糖組成

● 食品用酵素を用いた発酵小豆あんの品質改良 ●

食品産業では、食品用酵素は食品や食品素材の加工ならびに改質などの高品質化を目的として利用されている。発酵小豆あんの「甘味強化」と「麴臭抑制」を目的として、「米麴由来酵素と食品用酵素の併用」により発酵小豆あんの品質改良を試みた。食品用酵素として、1% Amylase AG 300L (グルコアミラーゼ) または1% Amylase AG 300Lと1% GODO AGI-EG (グルコースイソメラーゼ) を原料に添加・混合し、同様に発酵させた。粒子径212-425 μ mの米麴粉では添加酵素の種類にかかわらず発酵が早く進行し、発酵1日目では麴臭や納豆様臭などの不快臭が生じた。2、3日目では不快臭と苦味が生じ、7日目ではその傾向が強くなった。発酵進行を緩やかにするために、粒子径425 μ m以上の米麴粉を用いたところ、発酵3日目までは不快臭はなく、4日目では若干臭みが生じ、それ以降は発酵日数の経過に伴い不快臭は強くなった。酸味は3日目までは感じられないが、4日目以降強くなった。一方、甘味は3日目ま

では徐々に強くなり、3-4日目にかけて顕著に強くなった。4日目以降は酵素の種類にかかわらず甘味は緩やかに増加した。しっとり感は、あんの発酵日数の経過に伴い増加した。食品用酵素を用いて発酵小豆あんを製造する場合、粒子径425 μ m以上の米麴粉を用いて、発酵期間を3日または4日間とすることが最適であった。

●食品用酵素を用いて製造した発酵小豆あんの理化学特性

改良前と比較して、改良後の発酵小豆あんの炭水化物量は低く、エネルギーの低いあんである（表3）。発酵4日目の改良発酵小豆あんは、改良前ならびに他の改良発酵小豆あんと比較して褐変進行により赤色度と黄色度が高く、あざやかな色彩を示した。改良後の発酵小豆あんの破断強度はいずれも食品用酵素作用による糖の生成促進により低くなり、付着性ならびに凝集性も低いことから、やわらかく、べたつきが弱く、纏まりが良い。

表3 食品用酵素を用いて製造した発酵小豆あんの理化学特性

	1%Amylase AG 300L 発酵3日間	1%Amylase AG 300L 1%GODO AGI-EG 発酵3日間	1%Amylase AG 300L 発酵4日間	1%Amylase AG 300L 1%GODO AGI-EG 発酵4日間	改良前発酵小豆あん* (食品用酵素添加なし)
エネルギー(kcal/100g)	175.1 ^b	179.1 ^b	159.3 ^c	160.6 ^c	206.2 ^a
水分(g/100g)	55.7 \pm 0.5 ^a	54.9 \pm 0.3 ^a	59.7 \pm 0.3 ^a	59.4 \pm 0.4 ^a	48.5 \pm 0.0 ^b
粗たんぱく質(g/100g)	6.5 \pm 0.1 ^a	6.3 \pm 0.2 ^a	6.5 \pm 0.1 ^a	6.0 \pm 0.1 ^a	6.1 \pm 0.1 ^a
粗脂肪(g/100g)	0.1 \pm 0.0 ^a	0.1 \pm 0.0 ^a	0.1 \pm 0.0 ^a	0.1 \pm 0.0 ^a	0.2 \pm 0.0 ^a
炭水化物(g/100g)	36.4 \pm 0.0 ^b	38.2 \pm 0.0 ^b	33.1 \pm 0.0 ^c	33.9 \pm 0.0 ^c	45.0 \pm 0.0 ^a
食塩相当量(g/100g)	0.03 \pm 0.00 ^a	0.04 \pm 0.00 ^a	0.02 \pm 0.00 ^a	0.03 \pm 0.00 ^a	0.03 \pm 0.00 ^a
色彩 L*(明度)	33.09 \pm 0.46 ^{ab}	30.71 \pm 0.41 ^b	35.64 \pm 1.76 ^a	35.26 \pm 0.31 ^a	37.92 \pm 0.82 ^a
a*(赤色度)	11.45 \pm 0.67 ^b	12.47 \pm 0.29 ^b	15.65 \pm 0.70 ^a	15.95 \pm 0.29 ^a	11.54 \pm 0.29 ^b
b*(黄色度)	18.06 \pm 0.58 ^b	15.34 \pm 0.65 ^c	25.06 \pm 1.03 ^a	24.78 \pm 0.55 ^a	19.46 \pm 0.42 ^b
彩度(C*)	21.38 ^b	19.77 ^b	29.55 ^a	29.47 ^a	22.62 ^b
白色度(W)	29.76 ^b	27.94 ^b	29.18 ^b	28.87 ^b	33.93 ^a
糖度(20°C)	53.6 \pm 0.1 ^a	49.1 \pm 0.2 ^b	55.3 \pm 0.3 ^a	52.3 \pm 0.3 ^a	49.3 \pm 0.0 ^b
粘度(20°C : Pa·s)	12.02 \pm 0.29 ^a	10.37 \pm 0.17 ^b	11.43 \pm 0.29 ^a	11.30 \pm 0.08 ^a	9.41 \pm 0.16 ^b
テクスチャー (20°C)					
破断強度(N/m ²)	20270 \pm 393.4 ^b	17370 \pm 1288 ^c	16010 \pm 1222 ^c	20910 \pm 462.0 ^b	25810 \pm 1666 ^a
付着性(N/m ²)	3177 \pm 86.7 ^b	2091 \pm 122.4 ^d	2516 \pm 166.5 ^c	3267 \pm 461.7 ^b	4898 \pm 164.8 ^a
凝集性	0.55 \pm 0.02 ^b	0.67 \pm 0.08 ^b	0.73 \pm 0.02 ^a	0.54 \pm 0.02 ^b	0.79 \pm 0.09 ^a

*データは表2「発酵小豆あん」から引用。危険率5%未満を有意な差とし、異なる符号間で有意差があるものとした。

改良後の発酵小豆あんの糖組成はいずれもGlcが最も多く含まれており、GODO AGI-EGを併用したあんでは、D-フルクトース (Fru) とSucを含有した(図2)。グルコースイソメラーゼは、澱粉を液化させて生じたGlcを異性化

しFruの生成に寄与する（図3）。Amylase AG 300LとGODO AGI-EGを併用したあんでは、MalのGlcへの変換と同時に、生じたGlcをグルコースイソメラーゼ作用によりGlcとFruへ変換し、高いFru量を有するあんが製造できた。一般に、天然に存在する糖のなかではFruは最も高い甘味度を示す。さらに、両酵素を併用したあんはSucを含むためにさらに甘味度が高くなり、甘味を強化したあんである。

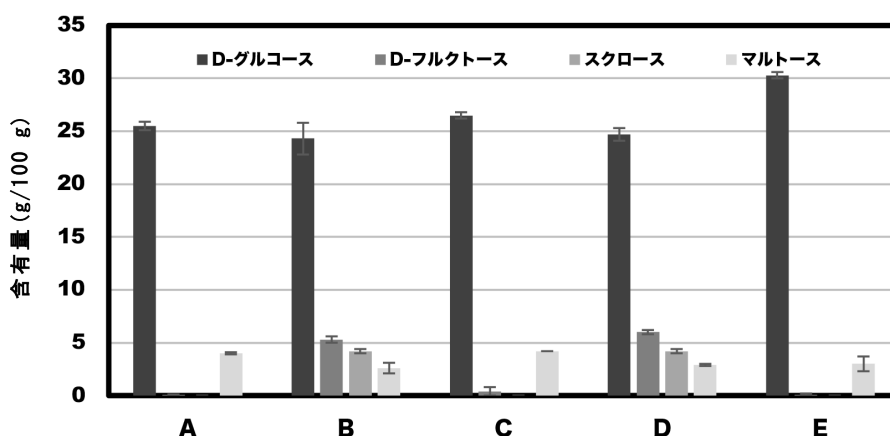


図2 食品用酵素を用いて製造した発酵小豆あんの糖組成

A:1%AmylaseAG300L-発酵3日間,B:1%AmylaseAG300L,1%GODOAGI-EG-発酵3日間,C:1%Amylase AG 300L-発酵4日間,D:1%AmylaseAG300L,1%GODOAGI-EG-発酵4日間,E:改良前発酵小豆あん(食品用酵素添加なし)(図1より引用)

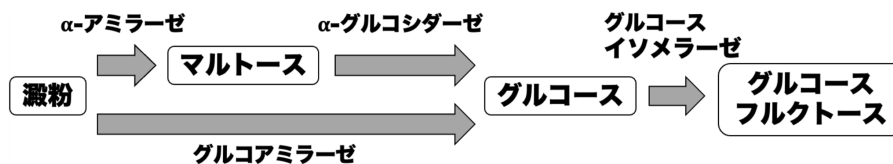


図3 発酵小豆あんならびに食品用酵素を用いて製造した発酵小豆あんの甘味強化メカニズム

改良後の発酵小豆あんの遊離アミノ酸組成は、あんの種類によるわずかな差異はみられるが、改良前のおんと同様に甘味アミノ酸や酸味アミノ酸の占める割合が高く、うま味アミノ酸の割合が低かった（表4）。酵素添加の有無、用いる酵素の種類ならびに発酵期間にかかわらず、発酵小豆あんの呈味性は遊離アミノ酸組成よりも糖含量や糖組成が大きく影響すると考えられた。

表4 食品用酵素を用いて製造した改良後の発酵小豆あんの総遊離アミノ酸含量
ならびに各呈味アミノ酸含量 (mg/100 g)

	1%Amylase AG 300L 発酵3日間	1%Amylase AG 300L 1%GODO AGI-EG 発酵3日間	1%Amylase AG 300L 発酵4日間	1%Amylase AG 300L 1%GODO AGI-EG 発酵4日間	改良前発酵小豆あん (食品用酵素添加なし)
総量	603.0 ^a	623.0 ^a	585.5 ^a	493.8 ^b	563.7 ^{ab}
うま味アミノ酸	107.9 ^{ab} (-17.9)	108.5 ^{ab} (-17.4)	122.2 ^a (-20.9)	98.1 ^b (-19.9)	112.6 ^{ab} (-20.0)
甘味アミノ酸	204.3 ^a (-33.9)	209.7 ^a (-33.7)	203.6 ^a (-34.8)	170.8 ^b (-34.6)	199.2 ^{ab} (-35.3)
酸味アミノ酸	161.4 ^a (-26.8)	164.2 ^a (-26.4)	177.4 ^a (-29.4)	141.6 ^b (-28.7)	155.6 ^b (-27.6)
苦味アミノ酸	270.5 ^a (-44.9)	281.0 ^a (-45.1)	243.8 ^{ab} (-41.6)	215.7 ^b (-43.7)	247.6 ^{ab} (-43.9)

うま味アミノ酸 (グルタミン酸)、甘味アミノ酸 (アラニン、プロリン、バリン、セリン、トレオニン、グリシン)、酸味アミノ酸 (グルタミン酸、アスパラギン酸)、苦味アミノ酸 (ロイシン、プロリン、バリン、フェニルアラニン、イソロイシン、アルギニン、リシン、メチオニン、ヒスチジン、トリプトファン)。括弧内の数字は、総量に占める割合。危険率5%未満を有意な差とし、異なる符号間で有意差があるものとした。

改良後の発酵小豆あんを官能評価したところ、全てのあんにおいて麴臭は弱かった (図4)。甘味スコアは高く、ほのかな甘味があり、口溶けがさっぱりしており美味と評価された。これは糖組成に起因しており、単糖類のGlcやFruは二糖類のSucと比較して低粘度であり、甘味をシャープに感じることができる。さらに、甘味は速やかに消失するため、口腔内に残留せず、べたつきが少なく後味良好である。

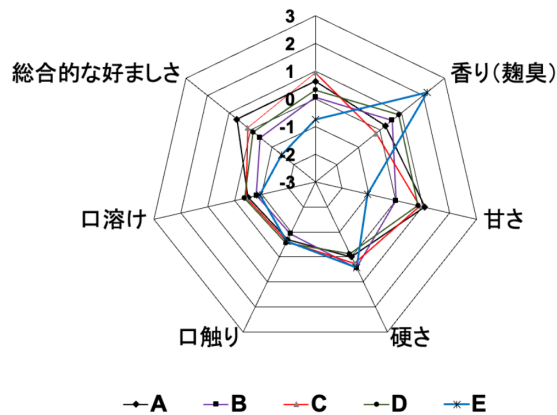


図4 改良後の発酵小豆あんの官能評価結果
A-Eは図2参照

γ -アミノ酪酸 (GABA) は特定保健用食品の関与成分のひとつであり、血圧上昇抑制、疲労感軽減、ストレス緩和、睡眠の質の改善などさまざまな機能性を示す。精白米ならびに蒸煮小豆のGABA含量はいずれも低く、それぞれ7.79mg/100g、4.24 mg/100gであった。一方、米麴のそれは顕著に高く78.1mg/100gである。米を製麴することにより高い含量のGABAが産生されたと考えられる。また、発酵前に比べて発酵後のあんのGABA含量は高く

49.7mg/100gであり、米麴と蒸煮小豆のGABAに加えて、あんの発酵によりGABAが産生され、発酵小豆あんには高含量のGABAが検出されたと考えられた（表5）。なお、発酵小豆あんのGABA含量は市販小豆あんの約8-17倍高かった。GABA生成にはグルタミン酸脱炭酸酵素（GAD）が関与すると考えられている。発酵前の米麴粉とペースト状加圧蒸煮小豆混合物と比較して発酵小豆あんのGAD活性は高く、結果として発酵小豆あんは高いGABA含量を示すことを明らかとしている。なお、発酵小豆あんのGABA含量とGAD活性は高い正の相関が認められ（表5）、発酵小豆あんのGABA含量はそのGAD活性に依存することを示唆した。さらに、*in vitro*（試験管内）試験では、発酵小豆あんは高い活性酸素消去活性、アンギオテンシン変換酵素ならびにヒアルロニダーゼ阻害活性を検出しており、GABAの機能性に加えて抗酸化、抗炎症・抗アレルギーなどの機能性を有することが示唆された。

表5 食品用酵素を用いて製造した発酵小豆あんのGABA含量とGAD活性

	GABA含量(mg/100g)	GAD活性(単位/g)
1%Amylase AG 300L(発酵3日間)	24.4±0.18 ^c	462±14.2 ^c
1%Amylase AG 300L, 1%GODO AGI-EG(発酵3日間)	43.4±0.66 ^b	527±20.8 ^b
1%Amylase AG 300L(発酵4日間)	40.2±0.09 ^b	518±17.4 ^b
1%Amylase AG 300L, 1%GODO AGI-EG(発酵4日間)	29.3±0.60 ^c	486±15.0 ^c
改良前発酵小豆あん(食品用酵素添加なし)	49.7±0.25 ^a	555±21.9 ^a

GAD：グルタミン酸脱炭酸酵素。危険率5%未満を有意な差とし、異なる符号間で有意差があるものとした。

●おわりに

健康に対する消費者の懸念と連動して、低エネルギー食品、低糖質・無糖食品などの健康を意識した食品の需要増加が顕著となっている。特に、多量の糖質摂取は糖尿病などのいくつかの深刻な健康障害に関連していることから、今後も健康路線の製品開発が加速すると考えられる。本研究では、食品用酵素の活用と発酵期間の調整により、麴臭の大幅抑制、甘味強化ならびに口溶け良好な発酵小豆あんが製造可能となった（図5）。昨今の低甘味・低エネルギー・健康志



図5 発酵小豆あん

向の消費者ニーズに適した栄養性ならびに機能性を有する新たな価値のある小豆あんである。古来より親しまれた「発酵技術」を活かした健康増進に寄与する新しいあんとして、消費者ならびに実需者における利活用が大いに期待される。

● 謝辞

本研究の一部は、令和7年度（公財）日本豆類協会豆類振興事業（調査研究）の助成によるものである。ここに記して謝意を表します。