

令和5年度豆類振興事業調査研究 「秋田県在来「てんこ小豆」の新規 栽培方法と加工品開発に関する研究」

秋田県立大学生物資源科学部 教授 櫻井 健二
株式会社 理趣 森合 深雪

●はじめに

秋田県在来の黒ささげ豆は「てんこ小豆」と称され、米と一緒に炊くことで発色がよく、伝統的な赤飯の材料として受け継がれてきた。莢が天に向かって伸びることから「天向小豆」と表記されていることもある。秋田の赤飯文化には欠かせない「てんこ小豆」はあきた伝統野菜として紹介もされている¹⁾。秋田県内の直売所（149店舗）へのアンケート調査結果、回答があった店舗の8割弱の店舗で「てんこ小豆」を販売していることがわかった²⁾。農業全般に言えることであるが、生産者の高齢化により生産人口が減り、生産力が低下している。「てんこ小豆」のような在来野菜は、指定野菜や特定野菜と異なり、販路も限られていることから、減退傾向は顕著である。「てんこ小豆」は、収穫期間が1か月以上にもわたり、一斉収穫をせずに手作業で行われるため大変労力がかかる作物である。そのため、秋田県内での生産量も減り、価格が高騰し、「てんこ小豆」の需要低下を招くという悪循環をもたらしている³⁾。「てんこ小豆」の需要拡大の為に、生産効率を上げることで、豆単価を下げる必要がある。「てんこ小豆」は家庭内での需要をまかなうために、各家庭で少量ずつ生産されていることが多かったことから、効率的な栽培方法の確立や多収量となる条件検討などは行われていなかった。

食品加工技術の一つとして熟成がある。これは食品素材に加水・加温をすることで、食品素材が本来持っている酵素、及び新たに作られる酵素を働かせることで、食味や保存性を向上させることができる。一般的な熟成は、保存性を高めた状態（高塩分、低温など）で、残存する酵素が時間をかけて働くものであるが、加水・加温することで積極的に酵素を働かせる熟成加工技術もある⁴⁾⁵⁾。新たな加工技術によって新規需要への販路を拡大できる可能性が高まる。

そこで、生産効率を上げるための栽培試験、熟成加工技術による「てんこ小豆」の新規需要拡大を行い、我が国の豆類需要拡大を目指す。

圃場での栽培試験

(1) 試験の方法

「てんこ小豆」の栽培試験は秋田県立大学秋田キャンパス実験圃場（秋田市下新城）の黒ボク畑および砂地畑で実施した。「てんこ小豆」の種子は（有）「鈴和商店」（秋田市中通）にて食用に販売されているものを供試した。畝幅80cm、基肥を10aあたり窒素10kg、リン酸13kg、カリウム10kgを施用するマルチ栽培とし、株間35cmの2条植えて、基本的に6月8日に播種し（2～3粒／植え穴）、6月11日に発芽を確認し、6月22日に間引きを行い1本立ちとした。8月22日から収穫する慣行法を基準とした。図1の栽培暦に従って栽培試験を実施し、処理区ごとに20株を栽培した。

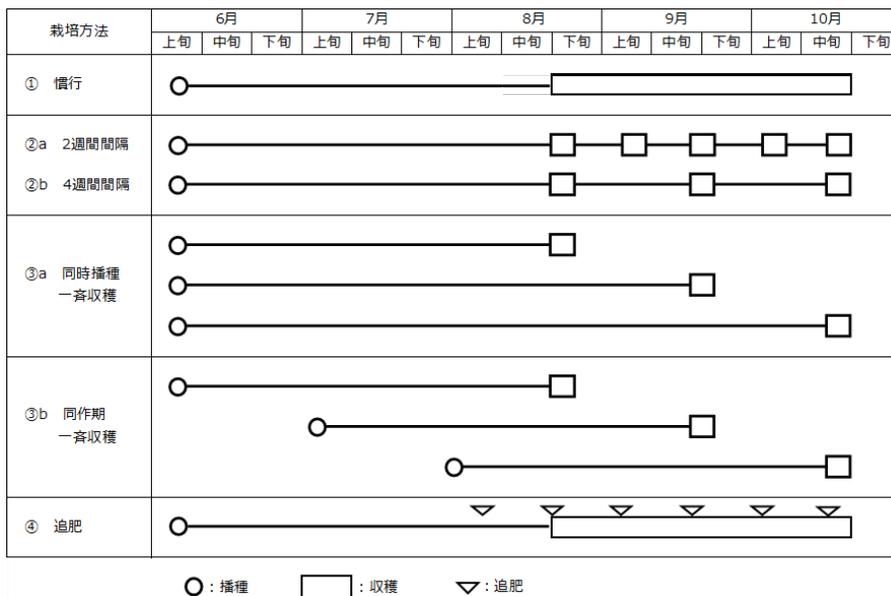


図1 「てんこ小豆」の栽培暦

播種期・収穫方法（成熟したものの順次収穫か一斉収穫か）・追肥の違いにより6種類の方法で栽培・収穫を行った。

- ①慣行法（6月8日に播種し、8月下旬から10月中旬まで2～3日ごとに順次乾燥した莢を収穫した。）
- ②慣行法と同じ時期に播種して2週間及び4週間ごとに完熟した豆を収穫
- ③一斉収穫

- a 慣行法と同じ時期に播種をして、8月22日、9月22日、10月19日に一齐に収穫した。
- b 播種期を慣行法から2週間ずつずらして、6月8日（慣行法と同じ）、7月5日、8月5日に播種をして、同じ栽培期間（約75日）で一齐に収穫した。
- ④追肥法（播種期、収穫期は慣行法と同じ。開花初期の8月8日から2週間ごとに追肥を行い、合計で窒素5kg/10a施用）

収穫した莢数および豆重を測定した。収穫した豆は収穫日および処理区ごとに約10gを80℃の乾熱滅菌器で48時間乾燥させて、乾燥前後の豆重から水分含有率を測定して、水分含有率14%に補正算出して、収穫した豆重を補正した。

(2) 結果および考察

砂地では干ばつの影響で生育不良株が多かったため、黒ボク畑での結果のみで考察する。黒ボク畑で栽培した「てんこ小豆」の合計莢数および補正豆重量を元に、慣行区の値を100とし、各処理区の値を算出した(図2および図3)。

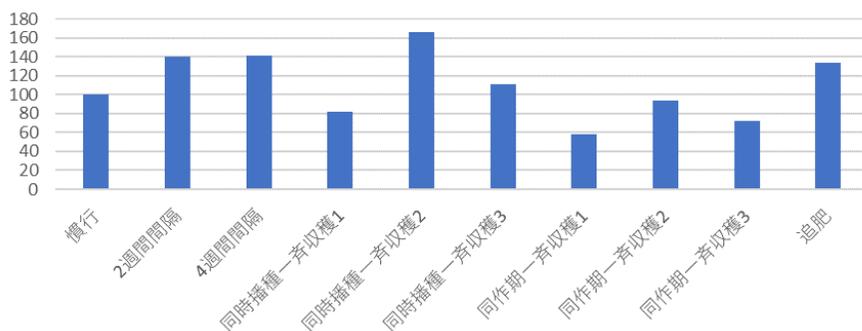


図2 各処理区における合計莢数

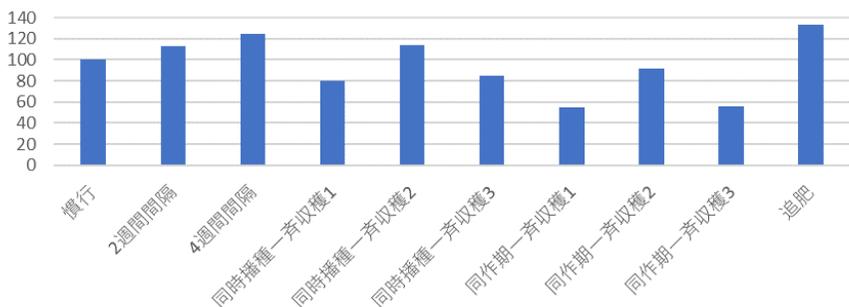


図3 各処理区における補正豆重量

合計莢数および補正豆重量において、処理区間の傾向は同じであったことから、以下は補正豆重量に関して考察する。2週間および4週間ごとに収穫、慣行区と同時期に播種して9月22日に収穫、追肥処理をした区において、慣行区よりも高い値を示した。慣行区（2～3日ごとに収穫）と比較して、2～4週間隔の収穫でも十分な収穫量が確保できることがわかった。また、慣行区と同時期に播種して9月22日に一斉収穫した処理区では、補正豆重量では慣行区よりもわずかに高い値を示したが（慣行区の1.1倍）、合計莢数では約1.7倍の値を示した。これは、一斉収穫によって、未熟な豆が多く含まれていたことになる。一斉収穫日をもう少し延ばすことによって、補正豆重量がさらに高い値を示すことが考えられたことから、収穫最適期を見極めることが出来れば一斉収穫でも収穫量を確保できることが示唆された。さらに、追肥処理によって収穫量は約1.3倍になった。

● 熟成加工による成分分析と官能評価

(1) 豆の熟成方法

「てんこ小豆」は2022年10月に収穫し、冷蔵保存されていたものを用いた（秋田県増田市産）。豆を水で洗浄し、ザルに広げ、恒温器（55℃）で15分乾燥させ、豆の表面の水分を除いた。ビニール袋に豆と、豆重量の0.5倍の水を入れて密封し、恒温器（65℃）で6時間加熱し、熟成加工をした。その後105℃で10分間の加熱殺菌処理をした。対照とする熟成をしていない豆は、同様に洗浄・乾燥した豆と、豆重量の0.5倍の水を入れてビニール袋で密封し、105℃で10分間の加熱殺菌処理をした。

官能評価に用いた試料は、上記の通り65℃で6時間の熟成加工した後、水を生豆重量の0.2倍量を加え、110℃で30分の加熱をした。この場合の対照としては、洗浄・乾燥した豆に、豆重量の0.7倍の水を加えたものをビニール袋に入れ、同様に110℃で30分の加熱をしたものを使用した。試料は使用直前まで冷凍保存し、試験日に105℃で10分間の湿熱加熱をし、室温に冷ましたものを官能評価に用いた。

(2) 《抗酸化能の測定》

ア 試験の方法

熟成および熟成していない「てんこ小豆」を生豆換算にして約5 g 取り、6倍容の溶媒（水またはMeOH）を加え110℃40分加熱し（水溶媒のみ）、ホモジナイズした。8,000rpmで20分間遠心し、上清をろ過した（ろ過は計3回）。水抽出物はロータリーエバポレーターで濃縮したのち、凍結乾燥して溶媒を除いた。MeOH抽出物はロータリーエバポレーターで減圧乾固した。抗酸化能測定は、ORAC法により行った。96wellマイクロプレートを用い、50 μ L抽出液、50 μ Lフルオレセイン溶液を加え、37℃に保ったプレートリーダーを用いて、フルオレセインの蛍光強度（励起波長485nm、測定波長535nm）を測定した。その後、50 μ L AAPH溶液を加えて振とう撹拌後、5分間隔で90分間蛍光強度の経時変化を測定した。記録したグラフの曲線下面積を算出し、素材当たりのTrolox相当量としてORAC値を表示した。

イ 結果および考察

生豆1gあたりの抗酸化能を算出した（図4）。MeOH抽出では、熟成していないものは749.0 μ mol TE/素材g、熟成したものは356.7 μ mol TE/素材gと約52%の減少となった。これは、「てんこ小豆」100 g 当たりのMeOH抽出物量が、熟成なしで15 g、熟成ありで8 g と少なかったことによるものと考えられる（図5）。水抽出物量の「てんこ小豆」100 g 当たりの抽出物量は、熟成なしで23 g、熟成ありでは26 g と大きな差はみられなかった。

熟成によりMeOH抽出物量が大きく減少し、さらにMeOH抽出の抽出物あ

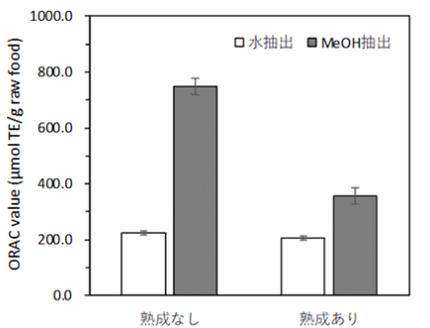


図4 生豆1gあたりの抗酸化能

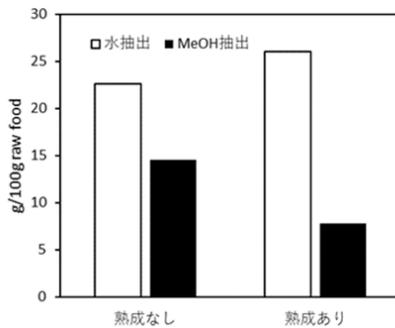


図5 調整した抽出物の収量

たりのORAC値も減少していることから、熟成により抗酸化能を示す抽出物の全体的組成が変わり、全体量も減少したと考えられた。吸水と加熱を工程

とする熟成により、豆の子葉部分にMeOH抽出各分が強固に結合し、MeOH抽出時にも抽出されることがなかったという可能性も考えられた。また既報において、80%エタノール抽出のみでは十分なポリフェノールを抽出できず、70%アセトンの連続二段階抽出を行いポリフェノールを抽出しており、今回の抽出方法では十分な抗酸化性物質を抽出できなかった可能性がある⁸⁾。同様に水抽出においてもホモジナイズにより、抽出される物質の組成が異なることが示唆された。ホモジナイズによる抗酸化物質の子葉への吸着を考慮に入れて、溶媒の種類や回数を検討する必要がある。

(3) 脂肪酸の測定

ア 試験の方法

BlighとDyerの方法により「てんこ小豆」から脂質の抽出を行った。熟成および熟成していない「てんこ小豆」のホモジネート400 μ Lに内部標準として20 μ Lの3mg/mLヘプタデカン酸(17:0)を添加し、1mL MeOH、0.5mLクロロホルムを加え、2分間攪拌し、さらに0.5mL 1M KCl、0.5mLクロロホルムを加え2分間攪拌した。2,000rpmで5分間遠心した後、下層を抽出した。さらに残った上層に1mLクロロホルムを加え、2分間攪拌後、5分間遠心して下層を抽出した(抽出は計3回)。抽出した脂質を窒素乾固し、1mLの5% HCl-MeOHを加え、100°Cで1時間加熱して、脂肪酸をメチルエステル誘導体に変換した。室温に戻した後、1mL水、2mL石油エーテルを加え、2分間攪拌した後、2,000rpmで5分間遠心し、上層を抽出した。さらに残った下層に2mL石油エーテルを加え、2分間攪拌後、5分間遠心して上層を抽出した(抽出は計3回)。抽出したものを窒素乾固し、硫酸ナトリウムで脱水した石油エーテルで溶解し、脂肪酸メチルをガスクロマトグラフィーで分析した。

イ 結果および考察

総脂肪酸量は、熟成なしで16.56mg/g、熟成ありで18.46mg/gであった(図6)。熟成による脂肪酸組成においても大きく変化することは無かった(表1)。

表1.「てんこ小豆」の脂肪酸組成
(% of total fatty acids)

脂肪酸 (Fatty acid)	略号	熟成なし	熟成あり
ミリスチン酸	14:0	ND	ND
パルミチン酸	16:0	30.65	26.83
パルミトレイン酸	16:1	ND	ND
ステアリン酸	18:0	2.54	2.58
オレイン酸	18:1	4.94	4.64
リノール酸	18:2n-6	39.93	40.62
α -リノレン酸	18:3n-6	22.09	23.07
アラキジン酸	20:0	ND	ND
エイコセン酸	20:1	0.59	0.53
ペヘン酸	22:0	1.55	1.72
エルカ酸	22:1	ND	ND
飽和脂肪酸料 (%)	SFA	32.46	31.13
一価不飽和脂肪酸量 (%)	MUFA	5.53	5.18
n-6系列脂肪酸 (%)	n-6 PUFA	39.93	40.62
n-3系列脂肪酸 (%)	n-3 PUFA	22.09	23.07
n-6/n-3 ratio		1.807	1.760

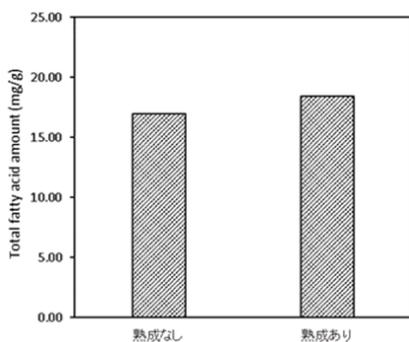


図6 生豆1gあたりの総脂肪酸含有量

ND, not detected (検出されず)

ささげ豆の総脂質量の割合は、全体の2%ほどに対し、例えばコーヒー生豆の総脂質量の割合は17-18%と9倍の差がある⁹⁾¹⁰⁾。「てんこ小豆」にとって、種子にエネルギーを保管する目的で脂質を蓄えているわけではないと考えられる。したがって、コーヒー生豆のように熟成によるエネルギー消費の為に脂質を分解するという事はなかったと考えられる。「てんこ小豆」エネルギー貯蓄のメインとして、タンパク質 (23.9%) と炭水化物 (55.0%) が考えられ、この二点における変化を注視するべきと考える。また抗酸化能測定におけるMeOH抽出では、抽出物量が熟成により大きく減少したが、BlighとDyerの方法による抽出では、抽出できた脂肪酸総量に大きな差はなかった。前項の通り、抽出物の作製方法を検討する必要が考えられた。

(4) てんこ小豆の官能評価

ア 試験の方法

評価は2点提示型採点法を用いた⁶⁾。2点提示型採点法の項目は見た目の良さ、色の濃さ、香りの良さ、甘味の強さ、うま味の強さ、コクの強さ、渋みの強さ、好ましき、美味しさの9項目とし、-3から+3の7段階で評価をしてもらった。また評点が等しい場合は、どちらの試料がより評点が高いかを判断し、その試料記号を選択してもらった。パネルは秋田県立大学学生および教員17名とした。二試料の項目の平均値、標準偏差を求め、さらに二者択一に

よる二試料の差異を評価した。パネルは二試料のうち熟成していない「てんこ小豆」を先に食べる群と、熟成した「てんこ小豆」を先に食べる群に分けた。まず、ビニール袋を開封し、香りをかいてもらい、次に白い紙皿に試料を移し、外観（見た目、色）を評価してもらった。パネルには試料を口に入れてから20回噛むことを伝え、噛み始めてから30秒後の味で食感（甘み、うま味、コク、渋み）と嗜好（好ましさ、美味しさ）を評価してもらった。風味は開封時の香りと、食べたときの香りを総合的に判断してもらった。また最初の試料の評価を終えたら、水で口をゆすいでから次の試料の評価へ進んでもらった。

イ 結果及び考察

熟成の有無による「てんこ小豆」の二者択一による官能評価では、外観の見た目では有意差があり、熟成することで評価が下がった（表2）。熟成していない「てんこ小豆」は、熟成したものと比べて、色、甘味、うま味、好ましさ、美味しさの点で平均値が高くなったものの、有意差はなかった。

表2 熟成の有無による「てんこ小豆」の二者択一による官能評価

	評価項目									
	外観		風味	食感				総合		
	見た目	色	香り	甘味	うま味	コク	渋味	好ましさ	美味しさ	
熟成なし	13	10	7	12	11	6	4	11	11	
熟成あり	3	6	9	4	5	10	12	5	5	
検定	*	-	-	-	-	-	-	-	-	

二項検定（両側検定）
*：有意水準5%優位
-：有意差なし

今回の評価はパネル個人の経験によるものを基準として評価してもらったため、評価点数のバラつきが大きくなった。より正確な評価を行うためには、基準となる試料の評点を固定し、その基準との差を評価点数として示す方法がより精度の高い評価となるだろう。ガスクロマトグラフィーによる脂肪酸総量がほぼ同等であり、コクもほぼ同じ評点であったことから、脂肪酸の変化はほぼ無かったと推測できる。また黒ササゲ豆は、炭水化物を主体とする種子であり、甘味を感じる糖も含まれており、熟成により糖が代謝されたと考えられる。熟成により渋みの平均値も高くなっていたが、これはタンニンに代表されるように、渋みはタンパク質へ吸着し、収れん作用をもたらすものであることが多く、薬理作用を持つものも多く存在する⁹⁾ことが原因であ

ると考えられる。この渋みにも機能性のある物質である可能性が考えられた。

(5) てんこ小豆赤飯の官能評価

ア 試験の方法

赤飯のレシピは、秋田の郷土料理についての書籍に基づき一部を改変して行った⁷⁾。赤飯の味を的確に捉えるために、調味料（塩・酒）を添加せずに作製した。450gの糯米を水道水で3回洗い、675mLの水を入れて、冷蔵庫で一晩浸水させ、ザルにあげ1時間水切りをした。小鍋に「てんこ小豆」（熟成なし・熟成あり）25gと水200mLを入れ中火にかけ、沸騰してから弱火にし、15分間煮た。これを糯米に30分浸し、ザルで水気を10分切った。蒸し器に蒸し布を広げ、その上に糯米を入れて、平らにならし、20分間蒸したら、バットに空け煮汁100mLを合わせてよく混ぜ、さらに20分間蒸した。金網に蒸し布ごとあげ、粗熱が取れてから固く絞った布をかけて常温まで冷まし、白色トレーに20gずつ分けたものを試料とした。

評価は「てんこ小豆」と同様に2点提示型採点法を用いた⁶⁾。パネルは秋田県立大学学生および教員12名とした。二試料の項目の平均値、標準偏差を求め、さらに二者択一による二試料の差異を評価した。パネルは二試料のうち熟成していない「てんこ小豆」を使用した赤飯を先に食べる群と、熟成した「てんこ小豆」を使用した赤飯を先に食べる群に分けた。パネルには試料を口に入れてから20回噛むことを伝え、噛み始めてから30秒後の味を評価してもらった。風味は開封時の香りと、食べたときの香りを総合的に判断してもらった。

さらに、赤飯の色彩を評価するため、市販の小豆使用の赤飯、「てんこ小豆」（熟成なし、熟成1および熟成2）の赤飯の色彩を測定した。熟成1および熟成2は、「てんこ小豆」の熟成方法において加水の後65℃の加熱をそれぞれ3時間または6時間行ったものである。市販の小豆赤飯として、3種類の包装米飯を用意した。ガラスセルに豆を除いた各試料を乳鉢で潰し均一にしてセルに詰め、分光色差計（日本電色工業製 SA4000）で30mmレンズを用いて、L*値、a*値、b*値の測定を行った。各試料を3回測定し平均値を求めた。また、彩度として $C^*(C^* = (a^2 + b^2)^{1/2})$ を計算し求めた。結果は平均値±標準偏差で示した。

イ 結果および考察

熟成の有無による赤飯の二者択一官能評価では、外観の色で有意水準0.1%で有意差あり、食感の甘味と渋味で有意水準5%で有意差があり、熟成をすると、見た目の色が薄くなり、甘味およびうま味が下がり、渋味が上がった(表3)。

表3 熟成の有無による赤飯の二者択一による官能評価

	評価項目									
	外観	風味		風味	食感				総合	
	見た目	色	艶	香り	甘味	うま味	コク	渋味	好ましさ	美味しさ
熟成なし	6	12	9	8	10	6	3	2	9	8
熟成あり	6	0	3	4	2	6	9	10	3	4
検定	-	***	-	-	*	-	-	*	-	-

二項検定 (両側検定)

***: 有意水準0.1%

** : 有意水準1%

* : 有意水準5%

- : 有意差なし

色彩測定に用いた試料を図7に示した。市販品AとBではご飯の色が似通っているが、市販品Cは他の市販品よりも赤みが強かった。また市販品は、小豆の腹割れが一部で見られた。てんこ豆赤飯・熟成なしは、濃い紫色であり、てんこ豆赤飯・熟成1および熟成2は熟成なしに比べて紫色が薄くなった。てんこ豆赤飯はいずれの試料も豆の腹割れは見られなかった。



図7 色彩測定に用いた赤飯
上段左から、市販品A、B、C、
下段左から、「てんこ小豆」赤飯・熟成なし、熟成あり1、2

赤飯の色彩を表4に示した。明度を示すL*は、市販品に対して、「てんこ小豆」赤飯・熟成なしが低い値となり、「てんこ小豆」赤飯・熟成2は市販品と近い値となった。「てんこ小豆」赤飯・熟成1のL*は、市販品と「てんこ小豆」赤飯・熟成なしとの中間程の値であった。赤味度を示すa*は、市販品Cの値が他の試料に比べ高くなったが、市販品C以外の試料では同等であった。黄味度を示すb*は、「てんこ小豆」赤飯が市販品に比べて値が低く、「てんこ小豆」赤飯・熟成なしが最も低い値であり、次いで「てんこ小豆」赤飯・熟成1、「てんこ小豆」赤飯・熟成2の順に数値が上がった。彩度を示すC*は、「てんこ小豆」赤飯が市販品に比べて低い傾向にあり、低い順に「てんこ小豆」赤飯・熟成なし、「てんこ小豆」赤飯・熟成1、「てんこ小豆」赤飯・熟成2となった。「てんこ小豆」赤飯・熟成なしは、市販赤飯と比べてL*値とb*値に差があるが、熟成をすることで、L*値とb*値が変化し、市販品の色彩に近づくことが分かった。

表4 赤飯の色彩結果

	明度 (L*)	赤味度 (a*)	黄味度 (b*)	彩度 (C*)
市販品A	57.57±0.08	6.18±0.01	14.17±0.01	15.46±0.01
市販品B	54.56±0.13	6.74±0.04	12.34±0.01	14.06±0.02
市販品C	47.11±0.18	9.86±0.03	11.61±0.03	15.23±0.04
てんこ豆赤飯・熟成なし	37.35±0.16	7.35±0.03	2.51±0.02	7.77±0.02
てんこ豆赤飯・熟成あり1	42.27±0.13	7.80±0.03	5.81±0.05	9.73±0.01
てんこ豆赤飯・熟成あり2	50.40±0.08	6.93±0.01	8.19±0.03	10.73±0.02

赤飯の色は、「てんこ小豆」を煮たときに流出した色素が米に吸収され色付けされたものであり、熟成により赤飯の色が変化しているが、抗酸化能測定における水抽出物量は熟成の有無により大きく変わらない。つまり熟成により、水抽出物の組成に変化が起きていると推測できる。嗜好の好ましさは熟成をしていない「てんこ小豆」を使った赤飯を選ぶ人が多いが、赤飯の色彩だけを見ると、熟成をした赤飯のほうが全国的な赤飯の色味に近い。秋田県では、「てんこ小豆」の濃い紫色をした赤飯が一般的であり、より慣れ親しんだ色を好む傾向があったとも考えられる。「てんこ小豆」のみの官能評価と同様に熟成により渋みが強くなり、これが嗜好の低評価に繋がったと考えられる。熟成の温度や時間を検討し、渋みの軽減を図ることが必要である。

(6) まとめ

以上の結果により、今回の熟成条件では機能性、及び食味性の向上は見られなかった。今後は、熟成条件や抽出方法の再検討を行い、食味と機能性の向上を目指す。

参考文献

- 1) 杉山彰 (2016)マンガあきた伝統野菜、無明舎出版。
<https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/9964>
- 2) 吉澤結子, 椿信一, 石川匡子, 高橋秀和, 吉田康徳, 神田啓臣, 櫻井健二 (2016) 秋田県伝統野菜に関する研究-秋田県内での栽培と販売の現状について-. 秋田県立大学ウェブジャーナルB. Vol.3:183-188.
- 3) 鈴木晶幸 (2013) 秋田県産てんこ小豆の取り組みについて. 豆類時報. No.73:19-22.
- 4) 池本 敦, 高橋文柄, 森合深雪 (2022) 高い抗酸化性を持つ, 風味良好的なグリーンコーヒー, 特願2022-83413.
- 5) 森合深雪,&池本敦.(2024).熟成によるコーヒーの機能性と嗜好性の向上.秋田大学教育文化学部研究紀要 自然科学,79:1-7.
- 6) 古川秀子 (2012) 「続おいしさを測る-食品開発と官能評価」、幸書房
- 7) 秋田県農山漁村生活研究グループ (2015) 「改訂 あきた郷味風土記」、秋田活版印刷株式会社
- 8) 齋藤優介,西繁典,小疇浩,弘中和憲,&小嶋道之. (2007) .豆類ポリフェノールの抗酸化活性ならびに α -アミラーゼおよび α -グルコシダーゼ阻害活性.日本食品科学工学会誌,54 (12) ,563-567.
- 9) 食品成分データベース、文部科学省<https://fooddb.mext.go.jp/index>.
- 10) 堀口俊英,谷岡由梨,米澤加代,小島加代子,小暮更紗,山内淳,&古庄律. (2019) .有機酸と脂質の含有量および脂質の酸価はスペシャルティコーヒーの品質に影響を及ぼす.日本食品保蔵学会誌,45 (2) :55-61.