

令和 4 年 5 月 27 日現在

機関番号：32663

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14006

研究課題名(和文) 貯蔵豆の新しい調理・加工法および機能特性を有する新食材としての有効活用化の検討

研究課題名(英文) Examination of effective utilization of stored beans as a new cooking / processing method and new foodstuff with functional characteristics

研究代表者

郡山 貴子 (Koriyama, Takako)

東洋大学・食環境科学部・講師

研究者番号：20825369

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：高温高湿下で貯蔵した豆はいくら加熱しても軟らかくなりにくく、嗜好性が低下する。この現象は豆の硬化と呼ばれるが、本研究ではそのメカニズムおよび硬化に対応した調理方法について検討した。豆の調理において必ず行う「浸漬」の影響に焦点をあて、貯蔵豆の吸水速度および軟化速度を解析し、得られた値から、適度な軟らかさになるまでの最適加熱時間の予測および硬化現象の発現を回避する調理方法を決定した。また、高温高湿下で貯蔵した豆には種皮だけでなく子葉部分の成分や組織にも大きな変化がみられるが、このことが豆の機能性にも影響を及ぼすことが示唆された。これらのことから、今後貯蔵豆を有効的に活用するための有用な知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

貯蔵により硬化した豆は、有効な活用方法が確立されておらず、未利用のまま廃棄されてしまうことが多いため、食品ロスの観点から国内外で大きな問題となっている。豆類はわが国において食文化および伝統的な調理・加工品において欠かせない食材であり、これらの問題を解決するためには、貯蔵後の硬化した豆に新たな価値を付加し、食品素材としての用途を確立することは不可欠である。本研究の結果より、貯蔵後の豆はそのままでは利用価値が低下しているが、適切な調理法を用いることで機能性食品としての付加価値を与える可能性が期待できることが明らかとなった。今後貯蔵豆を有効的に活用するための有用な知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：Beans stored under high temperature and high humidity do not tend to soften no matter how much they are heated, and their palatability decreases. This phenomenon is called hardening of beans. In this study, its mechanism and the cooking method corresponding to the harden beans were investigated. Focusing on the effect of "soaking" that is always performed in bean cooking, the water absorption rate and softening rate of harden beans were analyzed. From the obtained values, a cooking method was determined to avoid the occurrence of the curing phenomenon and predicted the optimum cooking time until the beans reached to the appropriate softness. In addition, stored beans showed significant changes not only in the seed coat but also in the composition and tissue of the cotyledon, which suggested that this also affected the functionality of the beans. From these facts, we obtained useful knowledge for effective utilization of stored beans in the future.

研究分野：調理科学

キーワード：豆 貯蔵 硬化 調理 速度論的解析

## 1. 研究開始当初の背景

豆類は良質なたんぱく質、でんぷん、ビタミンおよびミネラルなどを豊富に含み、栄養素やエネルギーの供給源となる重要な食物である。近年では、健康志向の高まりから、食物繊維やポリフェノールなどの機能性成分も含有する優れた食材としてその価値が再認識されつつある。しかし、農水省の統計によると、豆類の消費量は加工品として摂取されることが多い大豆を除いては低下しており、中でも20~40代の年齢層に大幅な低下がみられる。このような状況、すなわち若い世代を中心とした豆類の調理品離れや嗜好低下に対処するためには、幼少期からの食育など食習慣の改善とともに、大豆だけでなく種々の豆類の調理・加工を通じた魅力的な食品や利用法の創出が求められる。

乾燥豆類は水分含量が10~15%であり保存性に優れているが、貯蔵の温度や湿度によっては調理・加工適性に大きな影響を及ぼすことが知られている。特に高温・高湿条件で貯蔵した豆は加熱調理による煮熟性が低下する“硬化”または“Hard-to-Cook (HTC)”と呼ばれる現象が起こり、調理に長時間を要するためエネルギーコストが増加するだけでなく、テクスチャー、食味、色、および栄養成分が損失するため、食用としての利用性が著しく低下してしまう。豆の貯蔵には低温が適していることは知られているものの、すでに硬化した豆については有効的な活用方法が確立されておらず、未利用のまま廃棄されることが多いため食品ロスの観点から国内外で大きな問題となっている。豆類はわが国において食文化および伝統的な調理・加工品において欠かせない食材であり、これらの問題を解決するためには、貯蔵後の硬化した豆についての新たな調理・加工方法、嗜好性の改善、および有効活用法の提案が不可欠である。

## 2. 研究の目的

近年、急速に成長している食品業界は新たな食材を求めている。市場性が低下した貯蔵豆は低価格であるため、粉末化することで食品製造における補助的なたんぱく源として、現在市場で入手可能なたんぱく質粉末と競合することができると考えられる。また、硬化現象の発生により種子中に新たな成分や機能が発現されれば、種々の豆類に応じた健康機能が期待される食品素材として、利用可能となる。さらに、貯蔵中の酵素反応を制御することができれば、有用成分を増加させることも可能となると考える。これらのことは、貯蔵豆に機能性をもつ食品素材としての新たな価値を付加する可能性を示唆している。本研究では、硬化現象のメカニズム解明とは異なるアプローチで貯蔵豆の問題解決に寄与し、需要の低下した豆に新たな価値を付加し、食品素材としての用途を確立することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 貯蔵豆における硬化の程度（調理性の低下）の定量的評価

成分組成の異なる8種類の豆：大豆、金時豆、小豆、黒豆、手亡、とら豆、ひよこ豆、および八升豆を用い、37°C/75% RH貯蔵を硬化豆、新鮮豆（4°C冷蔵）を対照として、試料豆の調理後の物性および組織成分の変化を測定した。また、調理中の硬さの変化について速度論的に解析するため、10°Cから99.5°Cにわたる広い温度範囲で加熱し、硬さの測定値から軟化率 $x$ を求め、その対数値を加熱時間に対し一次反応プロットして各豆の軟化の速度定数 $k$ を求めた。このとき、豆の調理における「吸水による軟化( $k_w$ )」と「加熱による軟化( $k_s$ )」はそれぞれ段階的に起こる現象として捉え速度論的解析を行った。

### (2) 貯蔵豆の調理・加工特性、嗜好性、機能性の改善が可能であるか明らかにする

貯蔵豆の物性に及ぼす子葉動態の走査型電子顕微鏡観察

種々の豆（大豆、金時豆、小豆、黒豆、手亡、とら豆、ひよこ豆、および八升豆）における生豆、浸漬後および煮豆の子葉内部の状態、ならびにアルカリ処理にて除たんぱく質した豆粉末（でんぷん粒）を走査型電子顕微鏡で観察した。各豆のそれぞれの状態について貯蔵豆と新鮮豆を比較した。試料豆は凍結乾燥し5mm角に切り出し、豆試料および粉末試料はいずれもオスミウムで被覆した後、SEMを用いて加速電圧5kvにて観察、撮影した。

貯蔵豆の抗酸化性評価

種々の豆における生豆、貯蔵後、焙煎後などのさまざまな処理後の抗酸化能の変化を評価した。各処理後の豆を粉碎し80%エタノールで抽出した抽出液を試料とし、DPPHラジカル消去活性法およびORAC法にて抗酸化能を評価した。DPPHラジカル消去活性およびORAC値はいずれも乾重量1g当たりのTrolox当量( $\mu\text{mol Trolox eq/g dwb}$ )として表した。また、80%メタノール抽出液を試料としてフォーリン・チオカルト法にて総フェノール量を評価した。

## 4. 研究成果

(1) 速度定数 $k_w$ 、 $k_s$ をアレニウス・プロットし温度依存性を検討し、アレニウス・プロットの直線の傾きからみかけの活性化エネルギー $E_a$ および頻度因子 $A$ を求めて99.5°Cにおける $k$ の値を

算出することで、豆ごとの適度なかたさに達するまでの最適調理加熱時間の予測が可能となった。さらに、これによって貯蔵条件の異なる豆の評価として軟化の速度定数や必要調理時間を用いて定量的に比較することも可能となった。また、豆の調理で行う「浸漬操作」に焦点をあてて速度論的に解析した結果、貯蔵豆における硬化現象の発現は、貯蔵条件だけでなく調理過程での浸漬温度や浸漬時間の影響にもよることが大きいことが明らかとなった。すなわち、一般の古くなった豆を調理する際、浸漬時間を通常以上に長くしてしまいがちであるが、本研究の結果より、貯蔵の影響を受けた豆ではむしろ長時間の浸漬は硬化を引き起こすために避けた方がよいことがわかった。この場合、浸漬操作を行わずに直接煮熟することで適度に軟化する。

	冷蔵豆			貯蔵豆			
	$E_a$ (kJ/mol)	$A$ (min <sup>-1</sup> )	$k_{99.5^\circ\text{C}}$	$E_a$ (kJ/mol)	$A$ (min <sup>-1</sup> )	$k_{99.5^\circ\text{C}}$	
浸漬なしで調理	$k_w$	11	2.6	<b>0.088</b>	22	$1.3 \times 10^2$	<b>0.117</b>
	$k_s$	76	$1.4 \times 10^9$	<b>0.037</b>	126	$9.1 \times 10^{15}$	<b>0.019</b>
浸漬した後に調理	$k_s$	122	$9.8 \times 10^{15}$	<b>0.083</b>	89	$6.0 \times 10^{10}$	<b>0.023</b>

図1 . 貯蔵後の大豆の軟化の速度定数に及ぼす浸漬操作の影響

(2) SEM による状態観察の結果、生豆においては、冷蔵豆は細胞間の境界が明瞭で細胞内部にはでんぷんの周りを小さな顆粒状のプロテインボディが覆っているのが確認できたが、貯蔵豆は細胞間隙に部分的な網目構造が形成されており、プロテインボディ同士も密着していた。調理後の豆においては、冷蔵豆はでんぷんが膨潤・糊化している様子が確認できたが、貯蔵豆はでんぷんが糊化している様子はみられなかった。また、除たんぱく後のでんぷん粒は冷蔵豆ではでんぷん粒が明瞭であるのに対し、貯蔵豆ではでんぷん周囲を覆う物質が多く残存していた。これらのことから、貯蔵豆の硬化は細胞壁成分中のペクチンの変化だけでなく、子葉部分のでんぷんを取り巻くたんぱく質の変化も大きく関与していることが示唆された。また、生の状態では貯蔵豆の構造的変化は目立たないが、調理過程における長時間の浸漬操作の間にたんぱく質の変性や細胞壁の構造変化が引き起こされやすくなることが視覚的に示された。

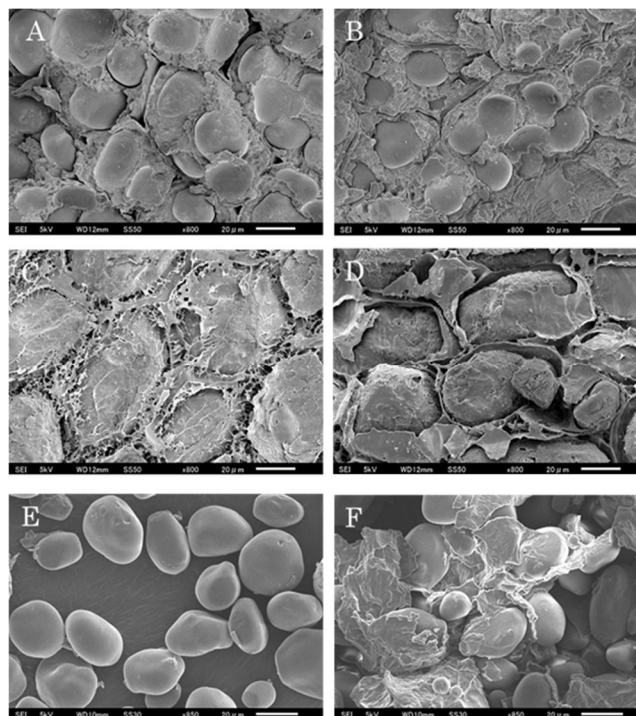


図2 . ムクナ豆における冷蔵豆および貯蔵豆の SEM 像

- A : 冷蔵・生豆、 B : 貯蔵・生豆、
- C : 冷蔵・調理後の豆、 D : 貯蔵・調理後の豆、
- E : 冷蔵・除たんぱく後の豆粉末、 F : 貯蔵・除たんぱく後の豆粉末

これまでの結果より、貯蔵中の豆では子葉部分に成分変化や酵素反応が生じていることが示唆されたことから、機能性にも影響を及ぼしている可能性が期待される。抗酸化能について検討

した結果、貯蔵前後で豆の抗酸化能を比較すると、大豆では低下し、ひよこ豆では変化はみられず、金時豆ではやや増加するという、豆によって異なる傾向が示された。貯蔵豆を焙煎処理すると、大豆では 170°C以上の焙煎で DPPH ラジカル消去活性及び ORAC 値ともに焙煎前より上昇した。ひよこ豆でも 190°C以上の高温での焙煎により DPPH ラジカル消去活性及び ORAC 値ともに向上した。しかし、金時豆では焙煎すると抗酸化能および総フェノール量ともに低下し、温度による一定傾向はみられなかった。このように、豆によっては貯蔵により抗酸化能が低下するものの、焙煎処理によって向上させることが可能であることがわかった。以上のことから、硬化した貯蔵豆はそのままでは食材としての利用価値が低下しているが、煮熟以外の調理・加工方法(例えば焙煎など)を施すことで嗜好性や機能性の改善が可能であることがわかり、貯蔵豆を有効的に活用するための有用な知見を得た。

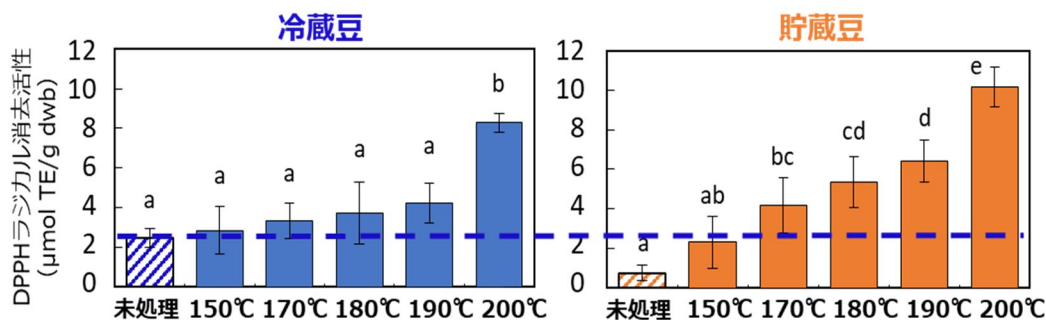


図 3 . 貯蔵前後の大豆の抗酸化能に及ぼす焙煎処理の影響

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 飯島 久美子、郡山 貴子、香西 みどり	4. 巻 71
2. 論文標題 ムクナ豆の歴史と色の特徴	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本家政学会誌	6. 最初と最後の頁 280～288
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11428/jhej.71.280	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 郡山 貴子、飯島 久美子、江原 瑞樹、小西 史子、香西 みどり	4. 巻 71
2. 論文標題 ムクナ豆を用いた調理品のL-DOPAの消長に及ぼす重曹添加の影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本家政学会誌	6. 最初と最後の頁 392～400
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11428/jhej.71.392	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 郡山 貴子、小川 歩実、大田原 美保、大石 恭子、香西 みどり	4. 巻 72
2. 論文標題 新規食材としての野菜ゲルの加熱調理特性と冷凍および凍結乾燥耐性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本家政学会誌	6. 最初と最後の頁 74～85
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11428/jhej.72.74	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Koriyama Takako、Kasai Midori	4. 巻 25
2. 論文標題 Effect of Pre-soaking Treatment on Softening and Hardening during Cooking of Stored Beans	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Food Science and Technology Research	6. 最初と最後の頁 425～434
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3136/fstr.25.425	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 郡山 貴子、香西 みどり	4. 巻 70
2. 論文標題 種々の貯蔵豆における加熱中の軟化速度に及ぼす浸漬操作の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本家政学会誌	6. 最初と最後の頁 239 ~ 249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11428/jhej.70.239	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 郡山 貴子	4. 巻 52
2. 論文標題 豆の調理における硬化・軟化の解析と浸漬操作の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本調理科学会誌	6. 最初と最後の頁 129 ~ 137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11402/cookeryscience.52.129	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 郡山 貴子、飯島 久美子、香西 みどり	4. 巻 52
2. 論文標題 ムクナ豆のL-DOPA含量および組織の変化に及ぼす貯蔵の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本調理科学会誌	6. 最初と最後の頁 240 ~ 248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11402/cookeryscience.52.240	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 郡山貴子, 中澤美波, 森下裕太, 飯島久美子
2. 発表標題 ひよこ豆茹で汁の起泡性の検討と菓子への応用
3. 学会等名 日本家政学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯島久美子, 廣田成美, 岩井あすか, 郡山貴子
2. 発表標題 ムクナ豆餡の最適な調製方法と和菓子への利用
3. 学会等名 日本調理科学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関