

高圧処理によって誘起される大豆の特性変化

藤井智幸*

前橋工科大学工学部

High-Pressure Induced Transformation of Soybean

Tomoyuki FUJII

Department of Biotechnology, Maebashi Institute of Technology, Maebashi 371-0816

ABSTRACT

The effect of high-pressure treatment on soybean as a cellular biological material was investigated from the viewpoints of the cell structure, and enzyme reaction system. The cell structure of soybean was evaluated with the dielectric properties. The dielectric properties of soybean were measured at frequencies of 50 Hz-5 MHz. Cole-Cole arc, which indicates the existence of cell structure, was observed in soybean samples, and its radius was decrease depending on high pressure. The result suggested that the structure of soybean was damaged by high-pressure treatment. The production rate of free amino acids in soybean, which swelled in water, during preservation at 25°C was accelerated by high-pressure treatment of 200 MPa, 10 min. The high-pressure treatment also made the enzymatic production of gamma-aminobutyric acid (GABA) in the soybean, which swelled in sodium glutamate solution, increasing. From these results, the high-pressure treatment induced the destruction of cell structure without denaturing enzymes and the accelerated biochemical reaction in soybean. In other words, these events are 'high-pressure induced transformation (Hi-Pit)' of soybean. *Soy Protein Research, Japan* **11**, 56-60, 2008.

Key words : soybean, high-pressure, dielectric properties, free amino acid, gamma-aminobutyric acid

食品分野において高圧処理は、新鮮な食品素材をその素材に内在する栄養特性や嗜好特性を損なうことなく加工あるいは殺菌する技術として注目されている^{1,2)}。約20年前に、殺菌や食品加工への高圧の応用が始まっ

て以来研究が進み、400~600 MPa前後でのたん白質の圧力変性³⁾やデンプンに対する圧力の作用⁴⁾などに関する知見が蓄積された。また、圧力感受性の大きい微生物が⁵⁾、高圧で殺菌可能であることが示され⁶⁾、条件を選ぶことによって選択的に殺菌ができることも明らかにされている⁶⁾。

* 〒371-0816 前橋市上佐鳥町460-1

高压の加工技術としての良さは、圧力の伝播が瞬時であることである。130 Lのタンクに高压をかける場合でもほぼ一瞬にしてタンク内全部が所定圧力に達するため、タンク内の位置による圧力の偏りが少なく、ほぼ均一な質的变化が実現できる。例えば、マグロを解凍あるいは加熱するとき、中心部と外表面との質的变化を均一にしようとするのが困難を伴う。しかし、圧力の場合比較的容易に均一な質的变化を実現できる。「加熱」では殺菌が完了するまでに中心部と表面部に温度差が生じて加工の程度に差が生じてしまうのに対し、「加圧」では圧力は極めて速やかに伝わるため加工の程度にむらがかほとんど生じない。高压処理のこのような特徴は、特に固体食品を対象にした場合には有利である。

高压を利用した食品が製品化されつつある一方で、芽胞菌胞子に対しては圧力単独では殺菌が困難なため、圧力と温度の併用による殺菌や、電気パルス処理との併用による殺菌⁷⁾が試みられている。近年、食品素材である農産物に高压処理を施すと内部組織構造や膜構造が破壊され、結果として内部での物質移動が促進されたり、新たな生化学反応が進行したりする可能性があることが認識されるようになった⁸⁾。例えば、200~400 MPa程度の圧力領域では、生物素材の細胞構造・膜構造は破壊されるが、酵素などの高分子やビタミンなどの低分子の生体成分にはそれほど大きな影響は生じない。従って、二次的効果として内部での物質移動が速くなったり、酵素反応が促進されたりする。例えば、玄米に高压処理を施すことによって発芽させなくとも内在するグルタミン酸脱炭酸酵素の作用によって γ -アミノ酪酸 (GABA) が生成することが明らかにされている⁹⁾。

本研究では、高压処理に伴う大豆の組織構造の損傷・破壊や、内部での酵素反応の特性の変化について実験的に検討した。

方 法

材 料

実験に使用した大豆は、新潟市内で市販されていたものを購入した。

高压処理

高压処理には、ピストン式高压処理装置（神戸製鋼所）を用いた。実験は25℃にて行い、圧力保持時間は設定圧力に達してからの時間とした。

誘電測定

大豆を純水に室温にて22時間浸漬した後、200また

は400 MPaで10分間高压処理を施した。誘電特性は、Ti-Pt電極 (1.0 mm ϕ) を備えたLCRメータ (HIOKI, 3532-50) を用いて測定した。試料のレジスタンス、リアクタンスを50 Hzから5 MHzの周波数範囲で求めた。縦軸にリアクタンスを横軸にレジスタンスをプロットしたグラフ (Cole-Coleプロット) には植物組織の状態に対応した円弧が認められる。

大豆中の遊離アミノ酸の定量

大豆を純水あるいは0.05 g/mLのグルタミン酸ナトリウム水溶液に室温にて22時間浸漬した後、200 MPaで10分間高压処理を施した。大豆試料に迷入する微生物の影響を抑制するために、浸漬液にアジ化ナトリウムを添加した。高压処理後、水分を切って25℃にて最長4日間保存した。

得られた試料を2 g量り取り、乳鉢で軽く破砕し、そこに純水18 mLを加え、粉碎・混合した。得られたペースト状試料を1.5 mLエッペンチューブに入れ15,000 rpmで3分間遠心し、上清を分析用試料とした。遊離アミノ酸分析は、アミノ酸分析キットEZ:faast (Phenomenex, CA, USA) を用いて、GC-FID (島津製作所, GC-14A) にて行った。

結果と考察

組織構造への高压の効果

純水に22時間浸漬した大豆試料について、レジスタンスとリアクタンスを計測した結果 (Cole-Coleプロット) をFig. 1に示す。高压処理を施した大豆試料においても未処理試料においてもCole-Coleの円弧が観

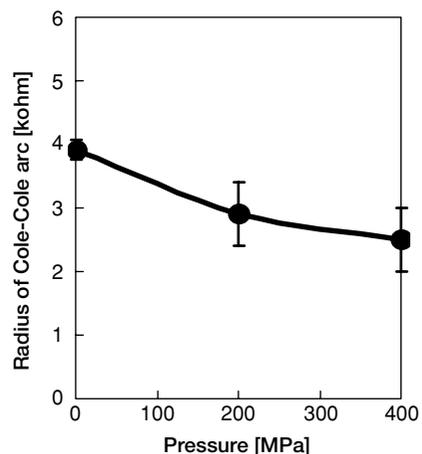


Fig. 1. Effect of high-pressure treatment on radius of Cole-Cole arc of soybean.

測されたが、高圧処理を施した大豆の円弧の方が小さくなり、処理圧力が大きくなるにつれてその半径が小さくなったことから、大豆の組織構造が高圧によって損傷・破壊することが示された。

水浸漬した大豆における内部での酵素反応

生物素材において200~400 MPa程度の高圧処理で細胞や組織構造が破壊された結果、酵素的物質変換作用が生じることが期待される。大豆を純水に浸漬し22時間吸水させた後、200 MPa、10分の高圧処理を施した試料について、高圧処理後25℃で保存して、保存中に生成する遊離アミノ酸を調べた。

未処理試料および高圧処理試料における主要なアミノ酸の生成挙動をそれぞれFig. 2およびFig. 3に示す。25℃で保存する間に大豆中のたん白質が分解され遊離アミノ酸が生成していることが示された。AlaとLeu, Ileは4日に渡りほぼ一定の速度で増加する傾向が認められたことから、この間酵素活性が保持されていることが示唆された。一方、GluとCysはほとんど変化しなかった。水浸漬大豆試料においては、GABA濃度はそれほど高くはないが、高圧処理によって生成速度が増

加する傾向が認められた。

高圧効果の評価法

一般に200 MPaの高圧処理は、細胞組織や膜構造には損傷が起こるが酵素はそれほど失活しない圧力条件である。しかし、酵素群の中には圧力に弱いものもある可能性がある。遊離アミノ酸の消長には、たん白質分解反応とアミノ酸代謝反応の関与が考えられるため、それぞれの反応系に及ぼす高圧の効果を評価する手法について検討した。

遊離アミノ酸は、たん白質分解反応によって供給され、アミノ酸代謝反応によって減少すると考えることができる。アミノ酸プールとして維持される濃度がアミノ酸の種類によって異なる場合もあるため、反応によって変化した分に注目することとした。高圧処理試料と未処理試料のそれぞれについてアミノ酸分析を行い、その変化速度を算出し、各アミノ酸について高圧処理試料での変化速度を縦軸に、未処理試料での変化速度を横軸にプロットした。結果をFig. 4に示す。ほとんどのアミノ酸のデータが直線的に分布し、その傾きはおよそ1.8となった。もしも酵素反応への高圧処

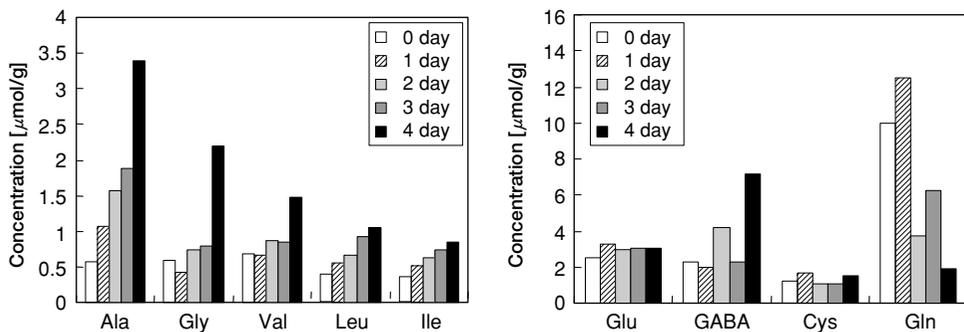


Fig. 2. Change of concentration of free amino acids in the untreated soybean, which swelled in water, during preservation.

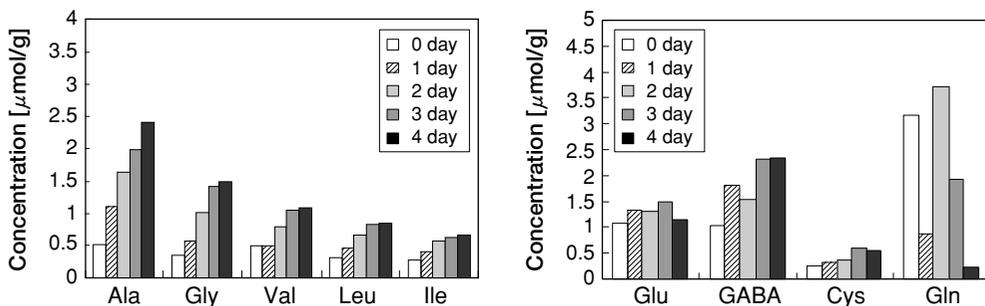


Fig. 3. Change of concentration of free amino acids in the pressurized soybean, which swelled in water, during preservation.

理の影響が無ければ、未処理試料と高圧処理試料の変化速度が等しいので、傾き1の直線上に分布することになる。データの直線的な分布の傾きが1よりも大きいと、高圧処理によって変化速度が増大したと考える

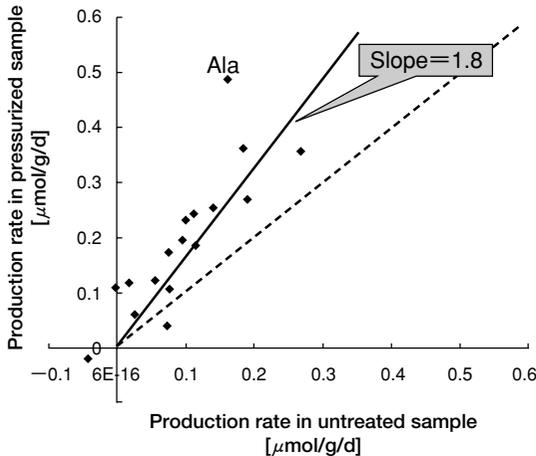


Fig. 4. Effect of high-pressure treatment on the production of free amino acids in soybean, which swelled in water, during preservation.

ことができる。Fig. 4中のプロットから、高圧処理により遊離アミノ酸の生成が速くなったことが示された。これは、高圧処理により細胞構造が損傷し、たんぱく質分解反応が容易に進行するようになったことによるものと考えられた。

また、Alaの変化速度が高圧処理によって大きく促進されたことから、高圧処理によって部分的にアミノ酸代謝が影響を受けることが示唆された。

グルタミン酸水溶液に浸漬した大豆中の酵素反応に及ぼす高圧の効果

さらに、大豆をグルタミン酸水溶液に浸漬して前駆体としてのグルタミン酸を供給することによってGABA生成量を増加させることが可能かどうか、実験的に検討した。浸漬するグルタミン酸水溶液の濃度を0.05 g/mLとし、200 MPa、10分の高圧処理後25℃で0～4日保存した大豆試料の遊離アミノ酸およびGABA濃度を測定した結果をFig. 5およびFig. 6に示す。水浸漬の大豆の場合と同様に、4日間の保存中で酵素活性が維持されて遊離アミノ酸が生成していることが示された。高圧処理を施した大豆における遊離アミノ酸の生成速度は、未処理試料のそれと比べて大き

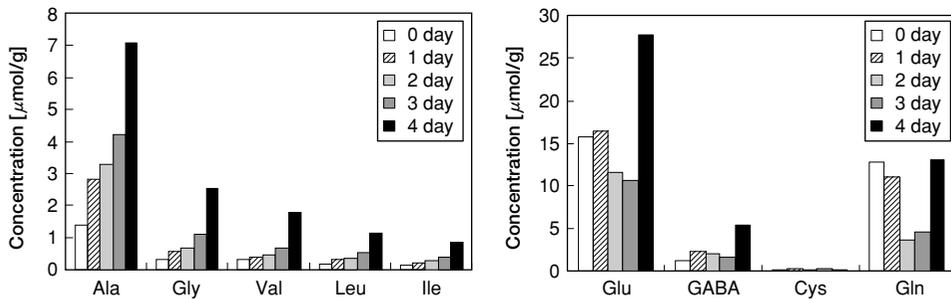


Fig. 5. Change of concentration of free amino acids in the untreated soybean, which swelled in sodium glutamate solution, during preservation.

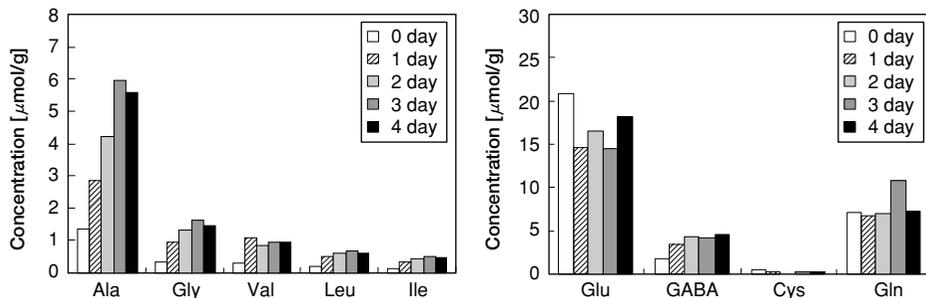


Fig. 6. Change of concentration of free amino acids in the pressurized soybean, which swelled in sodium glutamate solution, during preservation.

くなった。GABAの生成量はGluの添加によって増加し、保存2日目には $4.2\mu\text{mol/g}$ となった。

Fig. 7に、水浸漬した大豆試料と同様のプロットを行った結果を示す。ほとんどのアミノ酸の変化速度のデータが直線的に分布し、その傾きはおよそ1.6となった。また、GABAの変化速度は高圧処理によって大きく促進された。

以上の結果から、高圧処理によって大豆内部でのアミノ酸生成反応あるいはグルタミン酸脱炭酸酵素の反応が促進されることが明らかとなった。高圧処理によって組織破壊が生じて大豆内部での酵素や基質の移動が容易となり、みかけ上反応が速くなったものと考えられた。

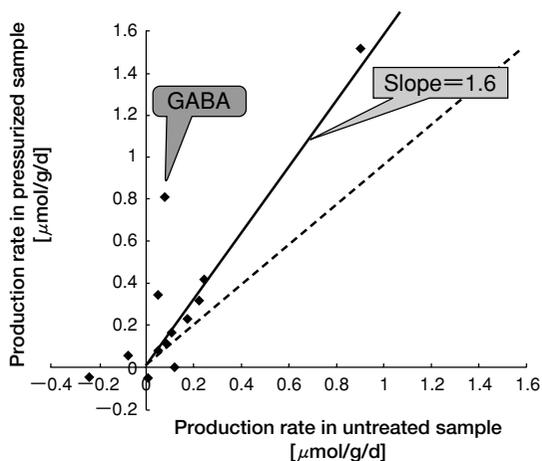


Fig. 7. Effect of high-pressure treatment on the production of free amino acids in soybean, which swelled in sodium glutamate solution, during preservation.

要 約

高圧処理に伴う大豆の組織構造の損傷・破壊や、内部での物質移動の挙動、酵素反応の特性などの変化について実験的に検討した。100~200 MPaで10分の高圧処理によって大豆の組織構造が損傷・破壊することが示された。高圧処理後の保存中に遊離アミノ酸およびGABAの生成が認められ、高圧処理によって大豆内部での酵素反応が促進されることが示された。以上の結果から、大豆を加工する際に高圧処理を前処理に応用すると、組織構造が損傷し、酵素反応の促進などの変化が生じることが明らかとなった。このような高圧処理による改質を、High-Pressure Induced Transformation (Hi-Pit)と行うことができるであろう。

文 献

- 1) 林 力丸 (1989): 高圧下現象の食品分野への利用。食品への高圧利用。さんえい出版, pp. 1-30.
- 2) Guerrero-Beltran JA, Barbosa-Canovas GV and Swanson BG (2005): High hydrostatic pressure processing of fruit and vegetable products. *Food Rev Int*, **21**, 411-425.
- 3) Iametti S, Donnizzaelli E, Pittia PP, Rovere PP, Squarcina N and Bonomi F (1999): Characterization of high-pressure-treatment egg albumin. *J Agric Food Chem*, **47**, 3611-3636.
- 4) Yamazaki A (2005): Application of high pressure and its effects on rice grain and rice starch. *Foods and Food Ingrid J Japan*, **210**, 29-36.
- 5) Yen GC and Lin HT (1996): Comparison of high pressure treatment and thermal pasteurization effects on the quality and shelf life of guava puree. *Int J Food Sci Technol*, **31**, 205-213.
- 6) 笹川秋彦, 星野 純, 小林 篤, 西海理之, 鈴木敦士, 藤井智幸, 小西徹也, 山崎 彬, 山田明文 (2006): 圧力処理によるキムチの発酵制御とその特徴。高圧力の科学と技術 (日本高圧力学会誌), **16(2)**, 167-178.
- 7) Sasagawa A, Yamazaki A, Kobayashi A, Hoshino J, Ohshima T, Sato M, Fujii T and Yamada A (2006): Inactivation of *Bacillus subtilis* Spores by Combination of Hydrostatic High Pressure Treatment and Pulsed Electric Field Treatment. 高圧力の科学と技術 (日本高圧力学会誌), **16(1)**, 45-53.
- 8) 藤井智幸 (2007): 食品・農産物へのユニークな高圧の効果。食品工業, **50(10)**, 23-29.
- 9) 杵淵美倭子, 関谷美由紀, 山崎 彬, 山元皓二 (1999): 高圧処理を利用した玄米中への γ -アミノ酪酸 (GABA) の蓄積。日本食品科学工学会誌, **46**, 323-328.