

## 論文要旨

学位論文題目 豆の調理における硬化・軟化の解析と硬さの制御

氏名 郡山貴子

乾燥豆を調理または加工する際にはあらかじめ浸漬・吸水させてから加熱する 경우가多い。豆において浸漬操作を行う主な目的はその後の加熱時間の短縮や均等に組織を軟化するためにあるとされる。一般に吸水速度は浸漬温度に依存し、室温より高い温度で浸漬すると吸水を促進させる効果があるが、植物性食品においては 60°C 付近での予備浸漬はその後の加熱中の硬化を引き起こす。さらに浸漬条件として温度や時間だけでなく金属イオンなどの添加物質も加熱中の軟化に影響する。また、乾燥豆は保存性に優れた食材であるが、高温高湿で貯蔵した豆では加熱しても軟らかくなくなりにくくなるという硬化現象が起こる。すなわち、乾燥豆の調理における加熱時間は貯蔵条件や浸漬操作によって大きく変わりうるといえる。食品の中でも乾物である豆の調理中の軟化過程は複雑であり、これまで、豆の調理における“吸水”と“軟化”という異なる反応を同時に扱い、浸漬操作や加熱操作によって乾燥豆から可食に適した軟らかさに達するまでの連続的な軟化挙動を定量的に把握するという試みは行われていない。そこで本研究では、乾燥豆の状態から適度な可食状態の軟らかさに達するまでの硬さの変化を“吸水による軟化”と“加熱による軟化”に分けて捉え速度論的に解析し、調理時間の予測法を確立することを目的とし、貯蔵や種々の浸漬操作が豆の調理時間に及ぼす影響を定量的に比較検討した。試料豆には成分組成の異なる豆としてたんぱく質を多く含む大豆と、でんぷん性の金時豆を主として用いた。

はじめに貯蔵および浸漬による硬化現象を把握した上で、貯蔵豆の成分分析や組織観察などによる機構の解明を行った。その結果、貯蔵中に起こるたんぱく質の変性をはじめとする組織内の変化は浸漬の間にさらに進行し、加熱中の軟化抑制に大きな影響を及ぼすことが示唆された。

そこで豆の調理過程における浸漬操作がその後の加熱時間に及ぼす影響を定量的に把握するため、調理中の“吸水による軟化”と“加熱による軟化”を分けて捉え速度論的に解析した。本研究では吸水と軟化を同時に扱うために予め浸漬を行わず、10–99.5°C に至る広い温度範囲で吸水速度および軟化速度を測定し、対照として浸漬処理後に加熱した試料の軟化速度と比較検討した。その結果、一次反応プロットの直線の傾きより、乾燥豆の状態から最適な可食状態になるまでの軟化過程を“吸水による軟化”と“加熱による軟化”を含む最大3段階の反応として捉えることが可能となり、新たな豆の軟化モデルを考案した。さらに、広い温度範囲での軟化の速度定数を求めたことによって、水温の変化を伴う調理についても乾燥豆の状態から最適な可食状態の軟らかさに至るまで硬さの変化を予測することが可能となり、

調理時間を算出することができた。また、高温高湿で貯蔵した豆では、浸漬処理の間に硬化がより明瞭となり、浸漬時間が長いほどその後の加熱による軟化が抑制されることが定量的に明らかとなった。

次に、硬さの制御という観点から浸漬液中に存在する金属イオンが加熱中の軟化に及ぼす影響について検討した。一価、二価の金属イオンを含む種々の塩溶液 (NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>) に浸漬し、加熱中の軟化の起こりやすさを軟化の速度定数で比較した結果、貯蔵後の金時豆では浸漬時あるいは加熱時に食塩を添加すると軟化の促進作用により硬化を緩和できるが、貯蔵後の大豆では食塩添加による軟化の促進作用は小さく、予備浸漬を行わないで調理する方がコントロールと同程度の加熱時間であった。また、EDTA と EGTA を用いて内在性の二価の金属イオンが加熱後の硬さに及ぼす影響を検討した結果から、貯蔵による硬化には金属イオン以外の要因が大きいことが示唆された。

さらに点火を断続的に行い消火時の余熱を利用する間欠加熱という簡単で且つエネルギーコスト的にも優れた豆の調理法を提案した。加熱による軟化の速度定数の温度依存性を明らかにしたことで、間欠加熱において軟化に関わる 80°C以上での豆の硬さの変化を予測することが可能となった。間欠加熱の実際の点火時間は大豆では約 20 分、金時豆では 10 分程度であり、通常調理での加熱時間に比べ大豆では約 35%、金時豆では約 42%と大幅に短縮した。最後に、種々の豆についても貯蔵と浸漬が調理時間に及ぼす影響を軟化の速度定数から検討した。その結果、経験的に行われている調理法の通り、特に吸水が遅く浸漬効果が小さいとされる小豆は浸漬せずに、また黒豆、手亡、とら豆、ひよこ豆、および八升豆では予備浸漬を行ってから加熱する方が加熱時間が短いことが軟化の速度定数から示された。一方、貯蔵後の豆では、小豆以外のすべての豆で予備浸漬を行うとむしろその後の加熱中の軟化が著しく抑制され、予備浸漬中に硬化が引き起こされることが明らかとなった。このことから、貯蔵豆の場合では通常の豆の調理とは違って予備浸漬なしで加熱することが望ましいことがわかった。

以上のように、乾燥豆の調理中の軟化過程において“吸水による軟化”と“加熱による軟化”を段階的に捉えた軟化モデルを考案・適用して軟化の速度定数を求めたことにより、貯蔵の影響、金属イオンの影響、種々の豆など異なる条件の豆の調理性について定量的な比較検討が可能となった。その結果、通常の調理においては予備浸漬を行った方が加熱時間が短くてよいといわれている乾燥豆では、高温高湿で貯蔵後はむしろ浸漬処理を行うことで硬化がより明瞭になり、浸漬時間が長い程ほどその後の加熱による軟化が抑制されることが明らかとなった。ここで提出した軟化モデルの考え方は、乾燥豆の調理加工において調理時間の予測と制御、および省エネルギー問題に資する有用な知見を与えるものと考えられる。