

通電処理技術を利用した豆腐の試作検討

宇津野 典彦 *

1. 目的

通電処理とは食品に直接電気を流しその際生じるジュール熱を利用する処理方法である。特徴としては、食品を直接発熱体にするので迅速に加熱できる、食品を均一に加熱できる等がある。この特徴を利用することで、食品の加熱殺菌や加熱成形に応用させることが可能となる。加熱殺菌については平成13年度にヨモギペーストを用いて実施¹⁾したので、14年度は応用範囲を広げて豆腐の加熱成形にこの通電処理技術を利用し、豆腐の試作試験を行った。

従来、豆腐を作成するには豆乳を絞った後豆乳が冷めないうちにニガリ成分（塩化マグネシウム）を添加するのが一般的であるが、このニガリ成分を入れるタイミングが非常に難しいとされている。しかし、この通電加熱法を利用して冷却豆乳から豆腐を作成することで、誰でも簡単に豆腐を作ることが可能になる。

今回は豆腐を作成するにあたっての諸条件の検討や、官能評価による検討を行ったのでその結果について報告する。

2. 試験

2.1 装置

通電処理装置として（株）フロンティアエンジニアリング社製通電処理装置FJL1-S2Mを使用した。

2.2 方法

通電加熱用バッチ式容器に冷却豆乳500ml（原材料タチナガハ）と凝固剤を入れ、よく混合させた後通電加熱させることで豆乳を加熱成形し豆腐を作成した。豆腐を作成するにあたっての最適電圧の検討及び凝固剤や豆乳brixを変化させてできた豆腐について官能評価を行った。

試験1 最適電圧の検討：豆乳500mlに適量のMgCl₂を入れ、50～250Vに電圧を変化させて最適電圧の検討を行った。

試験2 凝固剤の検討：MgCl₂、CaSO₄、グルコノデルタラクトンの3種類の凝固剤について、最適添加量の検討を行った。また、各凝固剤を混合した物についても検討を行った。

試験3 豆乳Brixの検討：豆乳Brix濃度を変化させ、その影響について検討を行った。

3. 結果

3.1 最適電圧検討結果

印加電圧を50～250Vまで変化させた結果を表1に示す。加熱時間は印加電圧が高いほど短い時間で温度を上

げられることが分かった。しかしあまり印加電圧を高くすると、1分以内で85℃まで到達してしまうため温度をコントロールすることが難しく、また温度上昇に豆腐の凝固が追いつかないこともあるので、2分程度で85℃まで達する150Vを最適電圧とした。なお消費する電力量は、電子レンジ（1200W、加熱時間4分と仮定）と比較して半分以下である。

3.2 凝固剤の検討結果（官能試験結果）

各種凝固剤の最適添加量を検討するため、添加量を変化させて作成した豆腐の官能検査をパネリスト10人程度で行った。また、各種凝固剤を混合した物についても行った。

(1) 塩化マグネシウム（MgCl₂）

MgCl₂の添加量を豆乳1ℓあたり2.0～5.0gまで変化させて、作成した豆腐の官能試験を行った（表2参照）。添加量が2.0gの時は豆乳が凝固せず、2.5gの時は完全には固まらず流動食状にしかならなかった。また4.0g以上添加した時は、形はしっかりして見た目にはきれいな豆腐になるが、ニガリ成分の苦みを感じるために味覚的においしくないと判断する人が多かった。全体的に添加量3.5gの時が一番おいしいという評価が多かったため、これを最適添加量とした。

(2) 硫酸カルシウム（CaSO₄）

CaSO₄の添加量を豆乳1ℓあたり4.0～10.0gまで変化させて、作成した豆腐の官能試験を行った（表3参照）。添加量が4.0gの時は、凝固剤量が足りず流動食状になってしまったが、その他については外観上はそれほど違いがなかった。添加量が7.0gを越えると多少の苦みを感じる人が多かったが、その他の項目を比較してもそれほど大きな違いはないため、MgCl₂と比較すると適量範囲が広く失敗が少ないと考えられる。全体的には添加量が6.0gの時が一番おいしいと感じる人が多かったため、これを最適添加量とした。

(3) グルコノデルタラクトン（GDL）

GDLの添加量を豆乳1ℓあたり2.0～5.0gまで変化させて、作成した豆腐の官能試験を行った（表4参照）。添加量が2.0gの時は、凝固剤量が足りず流動食状になってしまった。反対に添加量が4.0gを越えると、外観は非常にしっかりとした豆腐になるが、硬くなり過ぎてぼそぼそしておいしくないと感じる人が多かった。またGDLは、酸になることを利用して豆乳を豆腐にするので、入れすぎてしまうと酸っぱいと感じる人が多いことが分かる。総合点では3.0gの添加量の時が一番高得点であったが、味覚的には添加量2.5gの時が一番おいしいと感じる人が多かったため、形の整った豆腐になる最低限添加量であ

表1 最適電圧測定結果

印加電圧（V）	50V	100V	150V	200V	250V
加熱時間（S）	1400	260	105	52	32
消費電力（W）	108	423	1051	1515	2490
消費電力量（kWs）	152	110	110	79	79

* 加熱時間は85℃到達までの時間 豆乳量500ml 豆乳初期温度：25

る2.5gを最適添加量とした。

(4)混合凝固剤

各種凝固剤の最適添加量は、表6のようになった。この添加量を基準として、各種凝固剤を混合した物についても検討を行った(表5参照)。その結果、MgCl₂のみの時及びMgCl₂とGDLを混合した豆腐については、甘みがあって非常においしいと感じる人が多かった。またCaSO₄とGDLを混合した豆腐は硬めでしっかりとした豆腐であるのに対し、MgCl₂のみで固めた豆腐は、7種類の中で1番柔らかい豆腐であった。GDLを凝固剤として使用すると、全体的に硬めのしっかりとした豆腐が出来ることが分かった。

表6 各凝固剤別最適添加量(豆乳1ℓあたり)

塩化マグネシウム (MgCl ₂)	・・・3.5g
硫酸カルシウム (CaSO ₄)	・・・6.0g
グルコノデルタラクトン (GDL)	・・・2.5g

3.3豆乳Brixの検討結果(官能試験結果)

前述で好評であった2種類の凝固剤(MgCl₂のみ及びMgCl₂とGDLの混合凝固剤)について、豆乳Brixの影響を検討するため、Brix濃度を12.5、10.3、7.8の3段階に変化させて豆腐を作成し官能試験を行った。結果を図1に示す。MgCl₂とGDLの混合凝固剤のBrix10.3を3点にして甘み、苦み、硬さ、おいしさの4項目について5点満点の相対評価で調査したところ、甘みについては凝固剤がMgCl₂のみの時でBrix濃度が12.5と高い時が甘いと感じる人が多く、反対にMgCl₂+GDLのBrixが7.8及びMgCl₂のみでBrixが10.3の時は少し苦みを感じる人が多かった。また硬さについては、Brix濃度が高い時に硬めの豆腐ができ、全体的にはBrix濃度が高い方が濃厚でおいしい豆腐であると感じる人が多かった。なお、MgCl₂のみの時でBrix濃度が7.8については、豆乳濃度が薄すぎたこともあり豆腐としては固まらなかった。

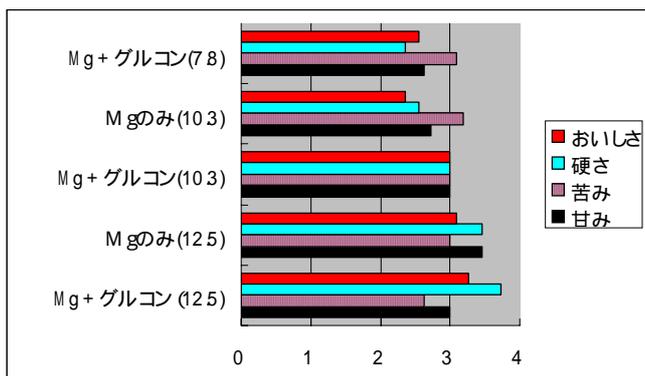


図1 豆乳Brix検討結果

4 まとめ

本研究により通電加熱を利用することで、簡単に豆腐を作成できることが分かった。特に本ニガリ(塩化マグネシウム)のみで豆腐を作ることが出来るので、味の点でも本来の本ニガリ豆腐と同等以上の物を作ることが可能となる。実際に何人かのパネリストからは、通電による豆腐の方が味が濃厚でおいしいという感想を頂く事ができた。また豆乳濃度を事前に決めることができ、冷却

豆乳のうちであれば様々な加工ができるので、様々な応用が可能である。例えば図2のような10ℓもの大容量豆腐や、図3のような様々な物を混ぜ合わせたお好み豆腐をこの通電加熱による加熱法を利用することで簡単に作ることが可能となる。

今回の豆腐試作ではバッチ方式のため1つつしか豆腐ができないので、自動化したラインを作ることで大量生産、及び豆腐に様々な物を添加することによる新しい製品開発について今後検討していく予定である。

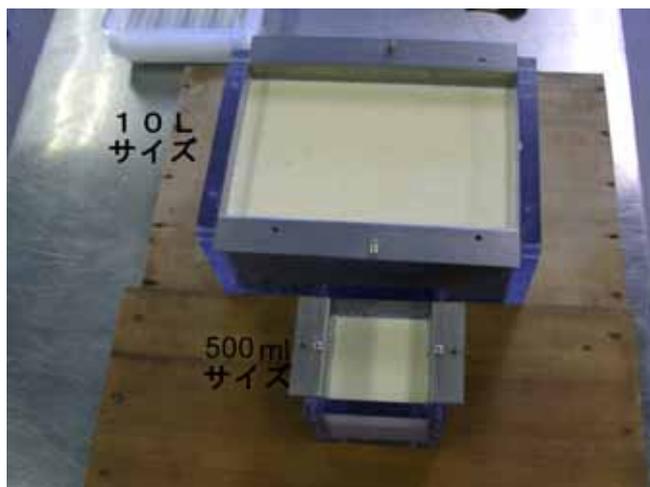


図2 大容量豆腐写真



図3 お好み豆腐例

参考文献

1) 宇津野典彦：通電処理技術を利用したヨモギの連続大量殺菌処理，茨城県工業技術センター研究報告第30号，39～41(2002)

表2 MgCl₂添加量検討結果

MgCl ₂ ^{*1} 添加量	達温時間 ^{*2} (秒)	破断強度 (g/cm ²)	官能評価 ^{*3}							
			外観	香り	甘み	苦み	硬さ	食感	味	総合点 ^{*4}
2.0g	220	-	1.5	2.5	2.7	3.2	1.0	1.8	2.2	1.3
2.5g	191	26	2.0	3.3	3.0	2.8	2.0	2.8	3.3	3.3
3.0g	182	34	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.3
3.5g	181	53	3.3	3.2	3.2	3.0	3.0	3.7	3.8	4.8
4.0g	176	84	4.3	2.8	2.7	3.3	3.8	3.0	2.8	4.5
5.0g	145	82	4.0	2.5	2.5	3.8	4.0	2.0	1.8	2.7

*1 MgCl₂添加量：豆乳1?あたりの塩化マグネシウム添加量

*2 達温時間：85 到達までにかかった時間

*3 官能評価：外観・甘み・食感・味の4項目については添加量3.0gを基準とした5点満点の相対評価
平均(悪い：1点~良い：5点) 苦み(苦くない：1~苦い：5) 硬さ(柔：1~硬5)

*4 総合点：好きな順に順位付けした物を点数化した値(1位：6点~6位：1点)

表3 CaSO₄添加量検討結果

CaSO ₄ ^{*1} 添加量	達温時間 ^{*2} (秒)	破断強度 (g/cm ²)	官能評価 ^{*3}							
			外観	香り	甘み	苦み	硬さ	食感	味	総合点 ^{*4}
4.0g	200	40	1.5	2.9	2.9	2.5	1.4	3.0	2.4	2.1
5.0g	185	97	3.0	3.0	3.3	2.8	2.8	3.3	2.6	4.3
6.0g	175	94	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	5.1
7.0g	168	78	3.1	3.1	2.9	3.5	3.3	3.0	2.9	3.3
8.0g	170	104	3.0	2.8	2.8	3.5	3.4	2.8	2.5	3.5
10.0g	160	95	3.0	3.0	2.9	3.4	3.0	2.7	2.5	2.8

*1 CaSO₄添加量：豆乳1?あたりの硫酸カルシウム添加量

*2 達温時間：85 到達までにかかった時間

*3 官能評価：外観・甘み・食感・味の4項目については添加量6.0gを基準とした5点満点の相対評価
平均(悪い：1点~良い：5点) 苦み(苦くない：1~苦い：5) 硬さ(柔：1~硬5)

*4 総合点：好きな順に順位付けした物を点数化した値(1位：6点~6位：1点)

表4 グルコノデルタラクトン(GDL)添加量検討結果

GDL ^{*1} 添加量	達温時間 ^{*2} (秒)	破断強度 (g/cm ²)	官能評価 ^{*3}							
			外観	香り	甘み	酸味	硬さ	食感	味	総合点 ^{*4}
2.0g	262	45	1.7	3.5	3.5	2.2	1.2	2.7	2.7	2.7
2.5g	261	72	3.0	3.3	3.3	2.3	2.3	3.3	3.7	4.8
3.0g	257	95	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	5.2
3.5g	255	118	4.0	3.0	2.8	2.8	3.3	2.8	2.5	4.0
4.0g	247	128	3.3	3.0	2.2	3.8	3.7	2.2	1.8	2.2
5.0g	250	132	4.2	2.5	1.8	4.2	4.0	2.2	1.3	2.2

*1 GDL添加量：豆乳1?あたりのグルコノデルタラクトン添加量

*2 達温時間：95 到達までにかかった時間

*3 官能評価：外観・甘み・食感・味の4項目については添加量3.0gを基準とした5点満点の相対評価
平均(悪い：1点~良い：5点) 酸味(酸っぱくない：1~酸っぱい：5) 硬さ(柔：1~硬5)

*4 総合点：好きな順に順位付けした物を点数化した値(1位：6点~6位：1点)

表5 混合凝固剤検討結果

混合凝固剤の種類 ^{*1}	達温時間 ^{*2} (秒)	破断強度 (g/cm ²)	官能評価 ^{*3}								
			外観	香り	甘み	苦み	酸味	硬さ	食感	味	総合点 ^{*4}
Mgのみ	153	57	3.8	3.3	4.0	2.2	2.5	1.9	3.0	3.6	5.4
Caのみ	195	70	3.4	2.8	2.6	3.4	3.1	2.9	2.9	2.4	2.4
GDLのみ	250	91	2.5	2.8	2.9	2.5	3.0	2.9	3.1	2.4	2.4
Mg+Ca	167	63	3.1	2.9	3.0	3.1	3.2	2.8	3.3	2.9	4.2
Mg+GDL	198	72	2.9	3.0	3.5	2.7	3.0	2.3	3.0	3.8	5.9
Ca+GDL	230	106	3.5	3.1	2.9	2.9	3.2	3.5	3.3	3.0	3.6
3種混合	215	84	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.2

*1 混合凝固剤の種類：Mg...MgCl₂ Ca...CaSO₄ GDL...グルコノデルタラクトン

*2 達温時間：85 到達までにかかった時間 GDLを含む物については95 到達までにかかった時間

*3 官能評価：3種混合凝固剤を基準とした5点満点の相対評価 採点方式については上記表と同様

*4 総合点：好きな順に順位付けした物を点数化した値(1位：7点~7位：1点)