

急告・国家試験

冷凍保安責任者試験 11月28日に実施

昭和57年度冷凍保安責任者試験の実施は、昭和57年11月28日(日)に決まりました。
受験願書の提出先は次のとおりです。

(1) 第一種冷凍機械は、受験希望地の下記の通商産業局高圧ガス担当課へ。

願書受付期間：昭和57年9月22日(水)～9月30日(木)

試験地	受験の申込先			
	名称	郵便番号	所在地	電話番号
札幌市	札幌通商産業局 商工部公害保安課	060	札幌市中央区北三条西4丁目 札幌第一合同庁舎	011(231)1151(代)
仙台市	仙台通商産業局 商工部公害保安課	980	仙台市本町3の3の1 仙台合同庁舎	0222(63)1111(代)
東京都	東京通商産業局 総務部公害保安課	100	東京都千代田区大手町1の3の3 第三合同庁舎	03(216)5641(代)
名古屋市	名古屋通商産業局 商工部公害保安課	460	名古屋市中区三の丸 2の5の2	052(951)2551(代)
大阪市	大阪通商産業局 商工部公害保安課	540	大阪市東区大手前之町 第一合同庁舎	06(941)9251(代)
広島市	広島通商産業局 商工部公害保安課	730	広島市中区上八丁堀6の30 広島合同庁舎二号館	082(228)5251(代)
高松市	四国通商産業局 商工部公害保安課	760	高松市番町1の10の6	0878(31)3141(代)
福岡市	福岡通商産業局 商工部公害保安課	812	福岡市博多区博多駅東2の11の1 福岡合同庁舎	092(431)1301(代)
那覇市	沖縄開発庁沖縄総合事務局 通商産業部商工課	900	那覇市前島2の21の5 松屋産業ビル	0988(66)0031(代)

(2) 第二種冷凍機械、第三種冷凍機械は、居住地の各都道府県高圧ガス担当課へ。
地域により受付期間など多少の相違がある場合がありますので、詳細については早目にそれぞれの提出先へおたずね下さい。

研究論文

氷餅の製造法について

Development of the Processing Method of "Korimochi",
A Freeze-dried Product of Waxy Rice.

大日方 洋*
Hiroshi OH-HINATA
村松 信之*
Nobuyuki MURAMATSU
松橋 鉄治郎*
Tetsujiro MATSUHASHI

Summary

The "Korimochi" is a traditional Japanese frozen and dried waxy rice food-stuff which is made out of door in winter. The production has been limited almost in our Nagano district in this century. In the present time, the product is little commercialized and mostly used in the rural area, but is expected to have wider potential uses in future.

In our previous works, we had developed a series of the processes which adopts the mechanical freeze-drying method. It had been found, however, that the quality of the mechanically dried products had not necessarily been reproducible as in the case of the conventional products by the weather freezing and drying method.

The purpose of the present study was the establishment of the processing method. For the 16 selected processing factors, through rice-cooking to final freeze-drying, the optimal conditions of the individual factors were analyzed, step by step, by means of the factorial analyses.

Such processing conditions as soaking of the unfrozen rice cake in water for 24 hr, and thawing of the frozen material in water for 3 hr accompanied with refreezing process were found to be effective to the desirable reproducibility of the freeze-dried "korimochi" with hot water. The dried product could turn to the similar original state of gelatinized soft rice cake, in a very few minutes.

The possibly enlarged ice crystals accerated with the increased amount of water taken into the intermediate products presumably contributed to make a kind of the finely cracked layer structures in the dried products, which would promote the prompt penetration of hot water.

The possible retrogradation of the waxy rice starch was discussed in relation to the characteristic phenomenon of this product.

Thus, the new drying process of the cooked waxy rice cake using the mechanical freezing and freeze-drying method was established by the present researches.

A proposed flow chart was illustrated in Figure 11.

緒言

さきに著者らの一人、松橋は、「氷餅*に関する調査研究の概要」の中で、長野県産の氷餅について紹介した¹⁾。産物として現存する氷餅は、自然の気象環境を巧みに利用した一つの伝統食品と言えよう。松橋はさらに、現存する氷餅の生産方式を、より能率化・機械

化するための基礎的データの集積と、新しいタイプの氷餅の試作を目指して、真空凍結乾燥を応用した氷餅の製造法の概要を解説した。その解説では、いくつかの製造条件が氷餅の理化学的性状に大きな影響を与え

*長野県食品工業試験場
Nagano State Laboratory of Food Technology
原稿受理 昭和56年11月2日

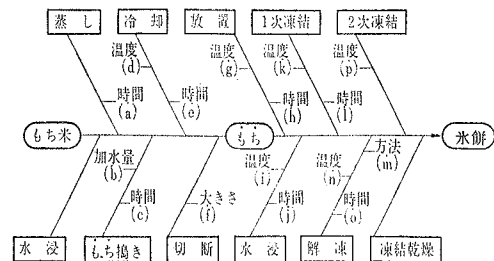


図1 氷餅の製造工程と検討した因子(a~p)

ることが示されたが、これが、定量的にとらえられるまでには至らなかった。

そこで我々は、この研究をさらに発展させ、氷餅の品質性状を評価するためのいくつかの指標を検索するとともに、氷餅の製造工程の各要因が、これらの指標に与える影響について、実験計画法に基づいて検討を進めた。その結果、機械凍結及び真空凍結乾燥を主軸とする著者らの氷餅製造方法において、熱水還元性の優れた簡便食品としての氷餅の製造が可能となった。
*ここで言う「氷餅」とは、凍結法によって脱水・乾燥された「乾燥もち」を意味する¹⁾。

実験方法

1. 製造工程因子の検討と解析

松橋がさきに示した製造工程¹⁾に従い、この工程の操作条件の中から、氷餅の品質性状に大きな影響を与えるであろうと考えられる16因子(図1)を選び出した。

表1 工程因子と水準(実験1)

要 因	水 準	
	1	2
・b: 加水量 (ml/kg 原料米)	0	250
・h: 放置時間 (h)	0	16
・j: 水浸時間 (h)	0	24
・k: 1次凍結温度 (°C)	-6	-15
・o: 解凍時間 (h)	0	3
・p: 2次凍結温度 (°C)	-6	-15
その他の条件	蒸し 30 min もち搗き 20 min 冷却 5°C, 4h 切断 3×3×2 cm 大 放置 5°C 水浸 5°C 1次凍結 >4h 解凍 5°C 水浸	

表2 工程因子と水準(実験2)

要 因	水 準	
	1	2
・a: 蒸し時間 (min)	30	90
・c: もち搗き時間 (min)	20	50
・o: 解凍時間 (h)	1	3
その他の条件	もち搗き 200ml/kg 原料米・加水 冷却 5°C, 4h 切断 3×3×2 cm 大 放置 0h 水浸 5°C, 24h 1次凍結 -5°C, 18h 解凍 5°C, 水浸 2次凍結 -5°C	

表3 工程因子と水準(実験3)

要 因	水 準	
	1	2
・i: 水浸温度 (°C)	5	15
・l: 1次凍結時間 (d)	1	7
・m: 解凍方法	空気	水
・n: 解凍温度 (°C)	5	20
その他の条件	蒸し 30 min もち搗き 20 min 200ml/kg 原料米・加水 冷却 5°C, 4h 切断 3×3×2 cm 大 放置 5°C, 18h 水浸 5°C, 24h 1次凍結 -5°C 解凍 空気 (5°C, 5h)(20°C, 1h) 水 (5°C, 1.5h)(20°C, 0.3h) 2次凍結 -6°C	

実験にあたっては、因子数が多いので、5ブロックの実験区分けて要因分析を行った。まず、実験1では、表1のような要因を選び、L₁₆(2¹⁵)型直交表²⁾に割り付けた。この実験では、操作条件の可能な範囲を求めることを目的としたので、できるだけ広い水準巾を採った。次に、実験2, 3, 4では、L₈(2⁷)型直交表に割り付け、表2~4のような要因及び水準で実験を行った。

以上の実験の結果、有意となった要因を中心に、実験5では、製造工程全般の中で、それらの要因が氷餅の特性向上に果たす役割を総合的に検討した。すなわち、表5のような要因及び水準を設定し、L₁₆の2回の直和実験²⁾により要因分析を行った。

表4 工程因子と水準(実験4)

要 因	水 準	
	1	2
・e: 冷却時間 (h)	4	24
・f: もちの大きさ (cm 角)	2	5
・g: 放置温度 (°C)	5	20
・h: 放置時間 (h)	18	42
その他の条件	蒸し 30 min もち搗き 30 min 200ml/kg 原料米・加水 冷却 5°C 水浸 5°C, 24h 1次凍結 -6°C, 24h 解凍 5°C, 3h 水浸 2次凍結 -6°C	

表5 工程因子と水準(実験5)

要 因	水 準		
	1	2	3
・b: 加水量 (ml/kg 原料米)	50	125	200
・c: もち搗き時間 (min)	30	60	...
・d: 冷却温度 (°C)	5	15	...
・f: もちの大きさ (cm 角)	2	3	4
・h: 放置時間 (h)	0	18	...
・i: 水浸温度 (°C)	5	15	...
・j: 水浸時間 (h)	24	48	72
・k: 1次凍結温度 (°C)	-2	-5	-8
・n: 解凍温度 (°C)	5	15	...
・o: 解凍時間 (h)	0	3	6
その他の条件	蒸し 45 min 冷却 18h 放置 5°C 1次凍結 24h 2次凍結 -6°C		

2. 氷餅の製造

- 1) 原料米: 市販(主にリンドウ米)のもち米を用いた。
- 2) 蒸し: 1夜水浸した米を30分水切りし、家庭用セイロ(直径27cm, アルミニウム製)を用い、ガスコンロ上で所定の時間(30分又は90分)蒸した。
- 3) もち搗き: 家庭用回転式もち搗機(1.4kg用, 東芝AFC-188型)で所定の時間(20min. ~60min.)もち搗を行った。加水を行う場合は、搗き始めてから5分経過後、所定量(50~250ml/kg 原料米)の熱水を少量づつ加えることとし、加水終了後、少なくとも

5分間は回転を続けることとした。

4) 凝固・切断: アルミニウム製バット(深さ20mm)にポリ塩化ビニルフィルムを敷き、その上にもちを載せてのした。次に所定条件(5又は15°C, 4又は18h)で放冷後、庖丁で小型のもち切れ状に切断した。

5) 水浸: ボールに3lの水を入れ、恒温室で設定温度(5又は15°C)とした後、切断したもちを入れ、所定の時間(24~72h)浸漬した。

6) 凍結: 水浸後のもちをポリエチレン袋に入れ凍結した。凍結には、低温恒温恒湿器(田葉井 PL-2A, PR-2型)、あるいはウォークイン型冷凍室を用いた。なお、この冷凍室での凍結速度(Plankの定義³⁾による)は、0.1cm/hであった。

7) 解凍: 設定した方法に従って、恒温恒湿器を用い、あるいは恒温室において(5~20°C)で解凍した。

8) 凍結乾燥: 真空凍結乾燥機(共和真空, RL-50NAS型)にて、1~2日を要して乾燥した。棚加熱は、上限30°Cとした。また、到達真空度は、0.05~0.08mb(5~8Pa)であった。

3. 氷餅の品質性状の評価

氷餅の品質性状は、主にその熱水還元性に着目して、官能的に評価した。また、官能評価に代わる理化学的指標として、含水率、見かけ密度、吸水度を採りあげ、特性値としての適用について検討した。

1) 2次凍結もちの含水率: 氷餅の熱水還元性は、製造過程でのもち生地の水分の増減と関係が深いと考えられたので、凍結乾燥前の2次凍結もちの含水率を測定した。

$$\text{含水率} = \frac{W - W_{\infty}}{W_{\infty}} \times 100$$

ただし、W: 凍結乾燥前の2次凍結もちの重量
W_∞: 後の氷餅の重量

2) 氷餅の見かけ密度: 松橋はさきの解説の中で、熱水還元性を示す氷餅の一つの目安として、見かけ密度がおおよそ0.6g/cm³以下であることをあげている。ここでは、さらに詳しく検討することにした。

$$\text{見かけ密度} = \frac{w \times l \times t}{W_{\infty}}$$

ここで、w, l, tは、氷餅の辺々の長さ(cm)を示す。

3) 氷餅の吸水度: 200ml容のピーカーに熱水100mlをとり、この中に乾燥氷餅を入れ10分間放置(最終水温は58~63°C)するという熱水処理試験を行い、熱水処理試験前後における重量変化から吸水度を求め

た。

$$\text{吸水度} = \frac{W_1 - W_0}{W_0}$$

ただし、 W_0 ：熱水処理試験前の氷餅の重量

W_1 ： 〃 後 〃

4) 氷餅の官能評価：熱水処理試験後の氷餅の復元状態を以下の基準に従って官能的に評価した。

(評価点) (復元状態)

- 1・全く復元しない。
- 2・表層部のみ復元する。
- 3・中心部に芯(未復元部)が残る。
- 4・ほぼ復元する。
- 5・完全に復元する。

結果及び考察

実験1 表1の要因及び水準で実験した結果を分散分析により解析し、各指標ごとに有意差の認められたものについて母平均推定を行い、その結果を図2～5に示した。ただし、図中の数字は寄与率を示している(以下、図6～9についても同様)。

まず、官能評価とその他の指標との関係について検討してみた。

二次凍結もちの含水率については、1因子(水浸工程前のもち放置時間)以外は、含水率が高いほど官能評価が良くなる傾向にあった。したがって、乾燥の前段階でも含水率の測定によって氷餅の熱水復元性の良否を大まかに予測することは可能と思われた。

氷餅の見かけ密度を小さくするように作用する因子は、必ずしも官能評価点を大きくしなかった。したがって、見かけ密度は、氷餅の熱水復元性の一つの目安ではあるが、これだけで復元性を評価することは困難と思われた。

次に、氷餅の吸水度については、吸水度が大きいほど、官能評価点も大きいことが示された。吸水度に及ぼす各因子の寄与率は、官能評価に対するそれと同様の傾向にあり、各因子の2水準間の母平均推定値も、官能評価点との間に高い相関が認められた。なおまた吸水度の測定値は官能評価点より誤差が小さく、測定値の再現性も高いことが明らかとなった。そこで、今後の実験を解析するにあたっては、吸水度を氷餅の品質性状の主要指標として用いることとした。

工程因子の影響としては、もち搗きの際加水すること(b)、切断後もちの放置時間をとること(h)、放置後もちを水浸すること(j)、高温で凍結すること(k)、及び解凍すること(o)が氷餅の熱水復元に効果的に作用することがわかった。

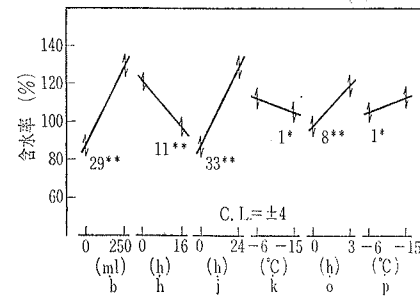


図2 含水率に及ぼす6因子の影響(実験1)
b:加水量 k:1次凍結温度 h:放置時間
o:解凍時間 j:水浸時間 p:2次凍結温度
**は1%, *は5%の危険率で有意差のあることを示す。

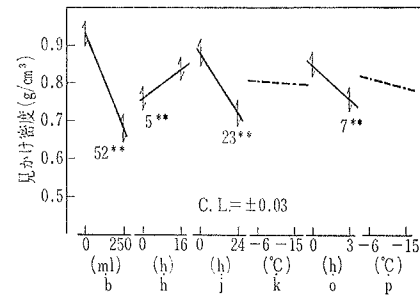


図3 見かけ密度に及ぼす6因子の影響(実験1)

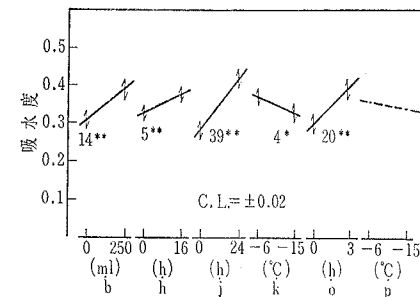


図4 吸水度に及ぼす6因子の影響(実験1)

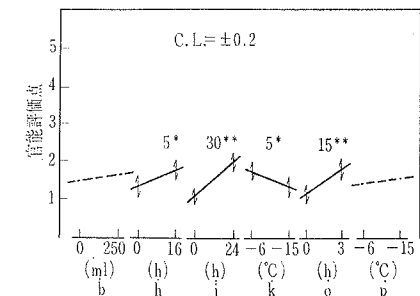


図5 官能評価点に及ぼす6因子の影響(実験1)

実験2 吸水度に及ぼす、蒸し時間(d)、もち搗き時間(c)、解凍時間(o)の3因子の影響についてそれぞれの母平均推定を行い、これを図6に示した。吸水度に対しては、第1にもち搗き時間の(c)影響が大きく、短時間でつく方が、氷餅の熱水復元に有効なことがわかった。第2に解凍時間(o)も、1時間と3時間の2水準で有意差が認められ、長時間解凍の方が吸水度は高くなった。蒸し時間(a)については、30分と90分の2水準で有意差は認められなかった。

実験3 吸水度に及ぼす、水浸温度(i)、1次凍結時間(l)、解凍方法(m)、解凍温度(n)の4因子の影響について、それぞれの母平均推定を行い、これを図7に示した。ここでは、解凍方法(m)の違いが吸水度に大きな影響を与えることが明らかとなり、水浸解凍は、空気解凍に比べ吸水度を大きく増加させた。もちの水浸温度(i)は、5℃よりも15℃の方が吸水度を大きくした。解凍温度(n)と1次凍結時間(l)については、今回の水準間では有意差は認められなかった。しかし、解凍温度については、各条件で、凍結もちが完全に解凍するまでの時間をとったために有意差が認められなかったと考えられる。

実験4 もち生地冷却時間(e)、もちの大きさ(f)、もち放置温度(g)、もち放置時間(h)の4因子が吸水度に及ぼす因子効果の母平均推定を行い、これを図8に示した。この実験では、もちの大きさ(f)が吸水度に著しい影響を与え、小さなものほど吸水度は大きくなった。しかし、今回の実験条件では、5cm角の形状のものも、吸水度の絶対値は大きく、官能的には充分復元していると認められるものもあった。もち生地冷却時間(e)と、もち放置温度(g)も有意差は認められたが、その寄与率は小さかった。また、もち放置時間(h)は、18時間と42時間の2水準で有意差は認められなかった。

実験5 以上4つの実験を基に、表5の要因及び水準を設定した。因子の選定にあたっては、これまでの実験で主効果として有意差の認められなかった、蒸し時間(a)、1次凍結時間(k)、2次凍結温度(p)の3因子は棄却した。次に、有意差の認められた因子の中で、明らかに母平均差の認められた解凍方法(m)は水浸解凍法に固定した。また、もち生地冷却時間(e)と、もちの放置温度(g)は、作業上の都合により、それぞれ18時間と5℃に固定し、これらは、実験5の検討要因とはしなかった。いっぽう、これまでの実験で未検討であったもち生地冷却温度(d)

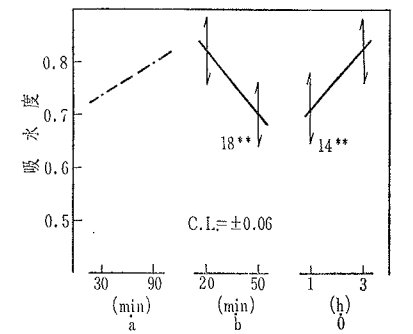


図6 吸水度に及ぼす3因子の影響(実験2)
a:蒸し時間 c:もち搗き時間 o:解凍時間

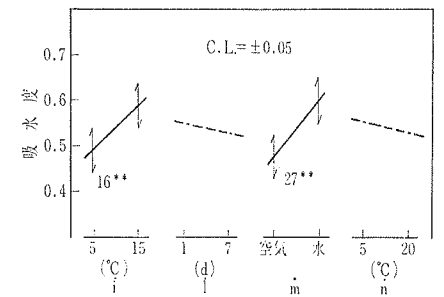


図7 吸水度に及ぼす4因子の影響(実験3)
i:水浸温度 l:1次凍結時間
m:解凍方法 n:解凍温度

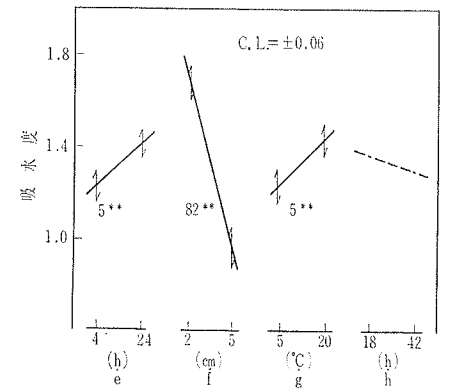


図8 吸水度に及ぼす4因子の影響(実験4)
e:冷却時間 f:もちの大きさ
g:放置温度 h:放置時間

を、この実験5の検討因子の一つに加え、最終的には、表5に示す10因子を選定した。

吸水度に対する各因子の因子効果の母平均推定を行い、これを図9に示し、寄与率の値から製造工程全体中に占める各因子の影響度を推定した。吸水度に対しては、解凍時間(o)の影響が最も大きく、以下、加水量(b)、解凍温度(n)、もち搗き時間(c)、もち

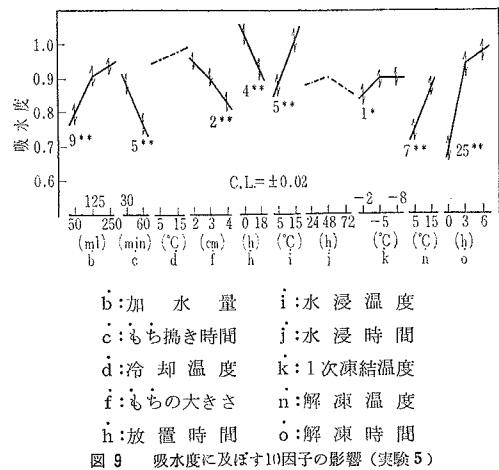


図9 吸水度に及ぼす10因子の影響(実験5)

の水浸温度 (i), もちの放置時間 (h) の順に影響を与えていることがわかった。

以上の実験結果(1~5)を、製造工程順にまとめて考察を行った。

①蒸し: 蒸し時間 (a) は、30分と90分の2水準で吸水度に対して有意な差を与えなかった。今回の蒸し条件では、30分でもち米のα化がある程度まで進行しており、これ以上の蒸しは必要ないと思われた。

②もち搦き: もち搦き時の加水 (b) は、氷餅の熱水復元に効果的に作用することが確かとなった。もち搦き時間 (c) の影響は、短時間でつくことが、氷餅の熱水復元を良くすることが示された。齋藤らは、餅米菓について、もち搦き条件によってもち生地の組織の均一性が変化することを示し、組織が均一なほど生地は軟らかく、焼上げ時の膨張性が良くなることを報告している⁹⁾。餅米菓の場合、焼上げ時のもち生地の膨化は、水分の蒸発ともち生地物性の相互関係によって支配されており、もち生地の物性が直接的に焼米菓の品質に影響するとみられている。これとは別に、堀内も白玉もちの生地物性は、生地中の気泡と関連が深いと報告している⁹⁾。氷餅の場合もち搦き時間によってもち生地の物性が変化し、これが氷餅の熱水復元に何らかの影響を与えたと思われる。短時間のもち搦きの方が吸水度は大きかったことから、もち生地としては、ある程度粗く不均一な組織でよいことになる。

③冷却(凝固): 冷却時間 (d) は長い方が吸水度は高くなった。切断工程でも、5°C 18時間経過後が作業しやすかった。冷却温度 (e) は5°Cと15°C、で有意差が認められなかった。ちなみに、齋藤らは、

焼上げ米菓について、もち生地を急速に冷却させることが、米菓の品質向上につながると報告している⁹⁾。もち生地の冷却の仕方は、もち米澱粉の老化現象に何らかの影響を及ぼすとは考えられるが、この問題については、今後の検討課題としたい。

④切断: 氷餅の大きさ (f) は2cm角程度の小さなものの方が吸水度は大きくなったが、もちとしては、いわゆるボリューム感に欠けると思われた。3cm角程度の氷餅は、熱水復元性も良く、食感も適当と思われた。

⑤放置: 切断後から水浸前までのもちの放置時間 (h) は、もち搦き後から切断までの冷却時間 (d) が短い(4時間)場合は、16時間が吸水度を大きくするのに効果的であった。しかし、それ以上長時間放置しても効果は増大しなかった。また、冷却時間 (d) が長い(18時間)場合には、放置時間 (h) は短くてよかった。したがって、もち搦き後から水浸前までの全放冷時間として18~20時間の放冷が、氷餅の熱水復元に最も効果的であることがわかった。

放置温度 (g) は、5°Cよりも20°Cの方が吸水度は大きかった。

⑥水浸: 水浸温度 (i) は5°Cより15°Cの方が吸水度は大きかった。水浸時間 (j) は、24時間で氷餅の熱水復元性を高める効果を認めたが、これ以上長時間水浸しても効果は増大しなかった。24時間の水浸は、もち生地の含水率を高めるのに有効であったと考える。

⑦1次凍結: 凍結温度 (k) は、-5~-8°Cが吸水度を大きくするのに有効であった。この温度帯は、氷結晶を成長させるのに適した温度帯で、氷餅の層状構造の形成に有効であったと思われる。また、-2°Cでは、もち生地が完全に凍結せず、-5°Cよりもかえって吸水度が小さくなってしまったと思われる。一般に凍結乾燥は、鮮度保持、テクスチャー維持等の観点から、急速凍結によって氷結晶を小さくした方が良くとされている⁷⁾⁹⁾。しかし、氷餅の場合には、その製品特性上、緩慢凍結、あるいは、急速凍結後の高温冷蔵による氷結晶の粗大化をはかることが必要と考えられる。

凍結時間 (l) は、1日と7日で有意差が認められず、1週間冷蔵しても氷餅の品質に影響はないと思われる。スポンジ構造をもつ食品として代表的な凍り豆腐は、製造工程中の冷蔵過程において、タンパク質の凍結変性がおこり、これがスポンジ形成に大きな役割をはたしていることが知られている⁹⁾¹⁰⁾。いっぽう、

村松らは、「凍り豆腐の工程短縮化に関する研究」の中で凍結温度や包装状態などもスポンジ形成に影響のあることを報告している¹¹⁾¹²⁾。氷餅の場合、タンパク質が少ないためか、凍結変性による影響は認められなかった。

⑧解凍: 解凍方法 (m) は、水浸解凍法が優れていた。これは、凍結もちが単に解凍されるだけでなく、解凍時にもち生地中に水が導入されたためと考える。⑥の水浸工程ではもち生地の中心部までは水が浸透しないが、水浸解凍時には、中心部まで水が浸透していた。これは、1次凍結により破壊された組織部分から、さらに新たな水がもち生地内部に浸透したことを示している。このようにして、もち生地の含水率は増加し、再凍結によって氷餅の層状構造が形成されたと考えられる。

解凍温度 (n) は、同一時間では5°Cより15°Cの方が吸水度は高くなり、解凍時間 (o) は、同一温度では、長時間の方が吸水度は大きかった。実験1, 2, 5の結果をまとめると、15°C, 3時間の水浸解凍が最も効果的であった。

⑨2次凍結: 2次凍結温度 (p) は、1次凍結と異なり、-6°Cと-15°Cで有意差は認められなかった。したがって、氷餅の熱水復元に寄与するもち生地の主な構造変化は、解凍段階までにほぼ完成されると思われる。

総合的考察: 澱粉糊が凍結、解凍されることによってスポンジ化することは、19世紀に見い出されている。近年に至り、この現象の応用技術を研究したRosemanは60%以上水分を含んだ米粒(米粉)は、一度糊化させた後、凍結、乾燥することによってスポンジ化し水に浸漬するだけで容易に復水することを報告している¹³⁾。

氷餅の場合も原理的には同様の製造技術を応用しているといえる。氷餅の熱水復元性を良くするためにはもち生地ですできるだけ多くの水を導入し、隙間構造を大きくするよう操作することが必要である。工程的には、原料米の浸漬、蒸し、もち搦きの加水、もち生地の水浸漬などによりもち生地中の水分を増加させ、高温凍結により氷結晶を粗大化させ、さらに、水浸解凍、再凍結によってもち生地中に一種の組織破壊を進めることが、氷餅の熱水復元には有効である。なお、氷餅製造工程中の加工材料(もち)の水分変化を、一例として実験1の操作をとり上げて、図10に示した。

このようにしてできた氷餅は、粗い層状構造となっており、この構造こそが、氷餅の熱水復元に有効な要

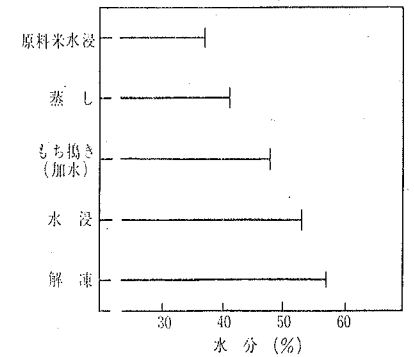


図10 製造工程順での水分変化の一例(工程条件は、実験1のとおり)

素と考えられる。つまり、氷餅を熱水に入れたときにこの構造的な空隙から熱水が氷餅の中心部まで速やかに浸透し、氷餅を完全に復水膨潤せしめると考える。氷餅澱粉の糊化開始温度は、ピスコグラフの測定結果、41~45°Cであることを我々は認めている¹⁾。このように比較的低温で糊化が始まるため、氷餅の表層部だけが先に糊化してしまうと、それによって中心部への熱水浸透が妨げられて、氷餅が完全に復元することができなくなってしまうからであろう。

氷餅の熱水復元性については、これまでその組織構造面から考えてきた。しかし、もち搦き後から水浸前までの放冷の効果のように、もち澱粉の老化も氷餅の熱水復元性に関係があると思われたので、この点についても重要な要因と考え、現在さらに検討を進めている。

以上の結果を総合し、作業性も考慮に入れて氷餅の製造工程例を考えた。図11のような操作を行った場

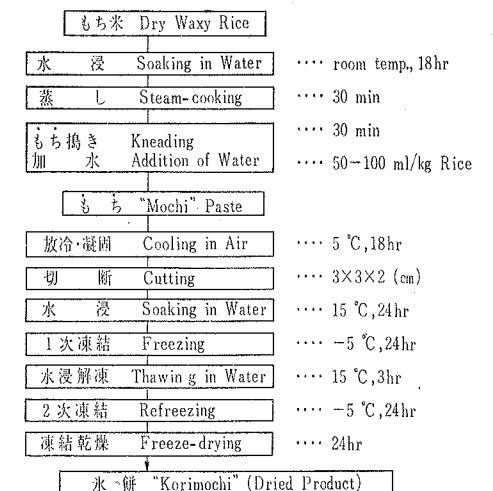


図11 A proposed flowchart of "korimochi", a freeze-dried waxy rice paste, processing.

合、熱水復元性に優れた氷餅が得られ、この製品は、熱水中3分程度でやわらかなもち状に復元した。なお、図11は操作の一例であり、製品の仕上がりにまで7日間は必要となる。

食品の凍結乾燥に関する佐原の試算方式¹⁴⁾に習って、氷餅の全製造原価を単純に概算すると、1t/バッチの脱水能力を持つ凍結乾燥機を使用し、乾燥時間22時間、乾燥歩留35%とすると、製品1kg当たり約2,000円であった。凍結乾燥食品の欠点として、乾燥経費が高いという評価を受ける場合が多い。しかし、原料取得から喫食までの総エネルギー量では、必ずしもエネルギー消費が大きいたとは言えないという報告¹⁵⁾もある。付加価値の高い製品であれば凍結乾燥の経費は十分に賄えると思われる。

要 約

熱水復元性の良い氷餅を得るために、製造工程から16因子を選び出し、実験計画法に基づいて、氷餅製造に適した工程条件を検討した。

その結果、乾燥前のもち生地含水量をなるべく大きくするよう操作すること、特に、24時間程度もち生地を水浸する工程、及び凍結もちを約3時間水浸解凍する工程をとることが、氷餅の熱水復元に効果的であることがわかった。また、このように水分含量の増加したもち生地を緩慢凍結により凍結し、その氷結晶を粗大化させ、凍結乾燥することによって、粗い層状構造をもった氷餅が得られることが明らかとなった。この層状構造は、熱水復元の際、熱水が氷餅の中心部にまで浸透するのに効果的であると考えられた。また、もち澱粉の老化状態も、氷餅の熱水復元に何らかの寄与があることが示唆された。

これらのことから、機械凍結及び真空凍結乾燥を主軸とする氷餅の製造技術が樹立され、熱水復元性の優れた簡便食品としての氷餅の製造が可能となった。

謝 辞

この研究は、昭和55年度技術開発研究費補助事業(中小企業庁)の一貫として行われたものである。研究の遂行上、ご指導を賜った、微生物工業技術研究所 福岡誠一応用技術部長に深謝します。

文 献

- 1) 松橋鉄治郎：氷餅に関する調査研究の概要，冷凍，56(1981)，673.
- 2) 田口玄一：「実験計画法」，上巻，78ページ，丸善，(1969).
- 3) 加藤舜郎：「食品冷凍の理論と応用」改訂新版，334ページ，光琳書院，(1966).
- 4) 斎藤昭三：米菓の量産化，日本食品工業学会第17回大会シンポジウム要旨集，(1970)，50.
- 5) Hisaya HORIUCHI：Specific Volume and Free Space Relating to Mechanical Properties of Waxy Rice Cake, Agric. Biol. Chem., 44-6(1980)，1231.
- 6) 斎藤昭三ほか：食品における澱粉の糊化老化に関する研究(第4報)，新潟食研報，11(1970)，39.
- 7) 日本冷凍協会(編)：「冷凍空調便覧」第4版，951ページ，日本冷凍協会，(1981).
- 8) 佐久間利男：たん白系食品の凍結乾燥と利用，食品工業，22-14(1979)，34.
- 9) 橋詰和宗ほか：大豆蛋白質の低温処理による性状変化-3，日食工誌，16(1969)，10.
- 10) 渡辺鷹二ほか：大豆蛋白質の低温処理について(Ⅲ)，冷凍，46(1971)，929.
- 11) 村松信之，松橋鉄治郎：凍り豆腐製造における冷凍工程の短縮化に関する研究，冷凍，53(1978)403.
- 12) 村松信之，松橋鉄治郎：凍り豆腐の物性変化に及ぼす冷凍工程諸因子とくに包装の影響，冷凍，54(1979)，567.
- 13) Arnold S. Roseman：The Effect of Freezing on the Hydration Characteristics of Rice, Food Technol. 12-9(1958)，464.
- 14) 佐原幸雄：凍結乾燥コストの研究 [I]，食品工業，23-20(1980)，48.
- 15) James M. Flink：A Simplified Cost Comparison of a Freeze-Dried Food With Its Canned and Frozen Counterparts, Food Technol. 31-4(1977)，50.

研究論文

水平冷却管群を通過する 湿り空気の凝縮を伴う熱伝達

(続報：碁盤目配列管群)

Condensation of Water Vapor and Heat Transfer from
Humid Air to Horizontal Tubes in a Bank
(2nd Report : In-Line Arrangement)

藤 井 哲*
Tetsu FUJII
長 田 孝 志**
Takashi NAGATA
新 里 寛 英***
Kan-ei SHINZATO

Summary

This paper describes condensation of water vapor and heat transfer from humid air to horizontal tubes and local pressure drop in a bank. The bank used consists of fifteen rows of seven bare tubes of 15.6 mm o. d. and 350 mm length, which are arranged in in-line with pitches 1.6 of the tube diameter in both transverse and longitudinal directions against the air flow. The cooling tests with and without condensation of humid air are performed in the range $Re=1500-24000$, and the results are compared with the previous report for the staggered bank. Average values of Sherwood number of mass transfer in condensation Sh and Nusselt number of convective heat transfer excluding condensation heat transfer Nus are correlated independently as

$$Sh/Sc^{0.36}=0.24 Re^{0.63}-4.0 \text{ and } Nus/Pr^{0.36}=0.29 Re^{0.63}-4.0$$

and combination of these equations predicts the heat transfer rate for any given conditions of humidity and temperatures. The former agrees with that predicted from the analogy between the mass transfer in condensation and the heat transfer without condensation, i. e. single phase heat transfer, and the latter takes nearly 20 per cent higher value than that for the case without condensation. The functional form of these equations is different from that of the staggered bank, i. e. the relations between Sh , Nu and Re are not linear in a graph of logarithmic scale. These characteristics are explained by the variation of local characteristics for successive rows in the bank.

The pressure drop in the bank is divided into three regions according to its characteristics, i. e. the entrance, core and exit regions. Correlations of the pressure drop coefficient for each region with respect to Re are presented graphically. The pressure drop is not affected by the presence of condensation as well as for the staggered bank, and the coefficients for the entrance and exit regions are common in both tube arrangements. It is shown that the sum of local pressure drops for three regions predicts well the overall pressure drop for a tube bank with different number of tube rows.

Unsteady and unsymmetrical features for flow pattern and pressure distributions around tubes are presented. These features have never observed in the staggered bank, and they cause the difference in heat and mass transfer characteristics between the tube arrangements. The distributions of velocity and turbulence intensity in the maximum free cross sections in the bank are also presented graphically.

*九州大学生産科学研究所 Research Institute of Industrial Science, Kyushu Univ.
**琉球大学短大部機械工学科 Mech. Engg. Dept. Junior College, Univ. of the Ryukyus.
***琉球大学工学部機械工学科 Mech. Engg. Dept. Faculty of Engineering, Univ. of the Ryukyus.
原稿受理 昭和56年11月12日