技術報告

カードランの利用による冷凍加工豆腐及び
凍結乾燥豆腐の調製

中尾行宏*・山口武信*・田口哲也**

Preparations of Freezable Processed Tofu and Freeze-Dried
Tofu by Using Curdlan

Yukihiro NAKAO*, Takenobu YAMAGUCHI* and Tetsuya TAGUCHI**

* Vitamin and Food Research Laboratories, Takeda Chemical Ind., Ltd. 17-85,
2 cho-me, Juso-Honmachi, Yodogawa-ku, Osaka 532** Takasago Plant, Takeda Chemical Ind., Ltd. 1-5, Aioi-machi,
Takasago-cho, Takasago-shi, Hyogo Pref. 676

Traditional tofu is rarely used in frozen processed foods because its texture becomes sponge-like after freezing. Also, most available freeze-dried tofu lacks the desirable smooth and soft texture of traditional tofu. By using new ingredients and preparation methods with curdlan, thermogellable β -1, 3-glucan produced by bacteria, practical preparation methods of freezable processed tofu and freeze-dried tofu were studied. Freezable processed tofu was prepared using an optimal formula of curdlan 1.2% and waxy corn starch 3% with a new preparation method. This freezable processed tofu was used in frozen foods such as Mabo-dofu (a Chinese dish of soybean curd with spicy minced meat), Agedashi dofu (deep-fried tofu in stock) and Miso soup, resulted in the smooth and soft texture like Kinugoshi tofu. Freeze-dried tofu was also prepared by an optimal formula of curdlan 0.5%, waxy corn starch 1% and a controlled freezing condition. The resulting tofu had a smooth and soft texture after reconstitution with hot water.

(Received Jun. 16, 1993)

豆腐は冷凍処理すると、凍り豆腐の例にみられるように組織がスポンジ様になり、豆腐特有のなめらかな食感がなくなる。そのため冷凍食品などにはほとんど使用されていない。また、凍結乾燥豆腐は即席味噌汁などに使用されているが、凍り豆腐に近い食感を呈するものが多く改良が望まれる。冷凍豆腐の調製については、豆乳に種々の添加物を加えるなどの特許出願¹⁾²⁾がみられるが、実用的な冷凍豆腐の調製に関してはほとんど報告されていない。著者らは、カードランを用いてこれらの豆腐の調製について検討した。カードランは *Alcaligenes faecalis* var. *myxogenes* などの微生物が産生する β -1, 3-

-グルコシド結合からなる加熱凝固性の多糖類である。この多糖類はその水懸濁液を 80℃ 以上に加熱すると、熱不可逆性のゲルを形成する³⁾。また、カードランゲルは冷凍耐性を有し⁴⁾⁵⁾、ゲルの離水防止にはでん粉の添加が有効である⁴⁾⁵⁾。

本報では、カードランを利用して、絹ごし豆腐の食感を呈する冷凍耐性のある加工豆腐及び凍結乾燥豆腐の実用的な調製法について検討した結果、その製造法を確立したので報告する。

* 武田薬品工業(株)フード・ビタミン研究所 (〒532 大阪市淀川区十三本町二丁目 17-85)

** 武田薬品工業(株)高砂工場 (〒676 高砂市高砂町相生町 1-5)

試料及び実験方法

1. 試 料

カードランは武田薬品工業(株)より、ワキシコーンスターチは日本食品化工(株)より、化工ワキシコーンスターチ(サームフロ)は王子ナショナル(株)より、化工ワキシコーンスターチ(オルスターチ W-3)はオルガノ(株)より、豆腐用凝固剤(達人 No 5: グルコノデルタラクトン 64%, 塩化マグネシウム 20%, クエン酸ナトリウム 14%, 食品素材 2%)は理研ビタミン(株)より

各々入手した。豆乳は豆腐製造メーカー(大阪市, 沢商店)から豆腐製造用の豆乳(固形分約 13%)を入手した。

2. 冷凍加工豆腐の調製

冷凍加工豆腐の調製法は以下のように行った。本報告の % は重量 % を示す。配合組成はカードラン 0.6~1.4%, 豆乳(固形分 10% に調整) 40~65%, 豆腐用凝固剤 0.4% (対豆乳), でん粉 0~4%, 水 39.2~10.6%, 氷 20% である。水に凝固剤, カードランを加え混合し 30℃ に加温する。これに 80℃ に加温した豆乳を加え混合する(約 60℃ になる)。これに氷とでん粉を加え, 家庭用

Curdlan (%)	Starch (%)				Starch (%)				Starch (%)			
	0	2	3	4	0	2	3	4	0	2	3	4
0.6	— 33 x	53 13 △	42 4.5 △	41 0.2 △-x	— 28 x	55 11 △	46 3.5 △	45 0 △-x	— 24 x	57 8.3 x	48 2.2 △-x	56 0 △-x
0.8	— 28 x	75 12 △	73 4.0 ○	60 0 △-x	— 23 x	79 9.4 △	74 3.0 ○	70 0 △-x	66 19 x	84 6.8 △	71 1.9 △	78 0 △-x
1.0	175 23 x	112 8.5 ○-△	100 3.8 ○	90 0.5 △-x	160 20 x	110 7.8 ○-△	100 2.8 ○	93 0 △-x	152 16 x	110 6.0 △	99 1.6 ○-△	95 0 △-x
(Soy milk 40%)				(Soy milk 50%)				(Soy milk 65%)				

Fig. 1 Effects of curdlan and starch on the properties of freezable processed tofu

¹⁾ Gel strength (g/cm²) ²⁾ Syneresis (%)

³⁾ Texture : ◎, smooth, Kinugoshi tofu-like ; ○, soft-Momen tofu-like ; △, slightly different from tofu ; ×, completely different from tofu

Bold line indicates the range of samples with acceptable texture.

Table 1 Effects of the variety of starch and curdlan on the properties of freezable processed tofu

Variety of starch	Curdlan	Gel strength (g/cm ²)	Syneresis (%)	Texture (served cold)	Texture (served hot)
Modified corn starch (Thermo FLO)	0.8	98	5.2	soft-Momen tofu-like	soft, fairly sticky
	1.0	120	4.8	Momen tofu-like slightly too elastic	Momen tofu-like slightly sticky
	1.2	148	4.6	too elastic, gel-like	Momen tofu-like slightly sticky
Modified corn starch (OL starch W-3)	0.8	98	9.0	Momen tofu-like	soft, fairly sticky
Waxy corn starch	0.8	90	3.0	smooth, Kinugoshi tofu-like	soft, fairly sticky
	1.0	128	4.0	Kinugoshi tofu-like slightly too elastic	Kinugoshi tofu-like slightly sticky
	1.2	150	4.6	too elastic, gel-like	smooth, Kinugoshi tofu-like

Tofu ingredients : Soy milk (solid content 10%) 50%, starch 3%, coagulant 0.2%, water and ice remainder.

ミキサー（日立 VA-W 26）で約 3 分間 40℃ 以下で均質化する。この懸濁液を真空下で脱気した後、直径 3 cm のケーシングチューブ又はステンレスのトレイ（縦 25 cm、横 17 cm、高さ 1 cm）に充填し、30 分間蒸煮した。冷却後急速冷凍機（高橋工業製 TBY-10 R 型、バッチ式フリーザー）を用いて、-35℃ で冷凍した後、-18℃ のフリーザーで 7 日間冷凍保存した。

3. 凍結乾燥豆腐の調製

冷凍豆腐の調製法に準じて豆腐を調製する。但し、充填容器はステンレス製トレイ（17×25×1 cm）を用いた。得られた豆腐をトレイ内で、縦横 1 cm 角に切断し、-20℃ で予備凍結後、FREEZE DRYER FD-1（東京理科機械）により凍結乾燥した。

4. 豆腐のゲル強度の測定

冷凍加工豆腐を解凍した後、約 20℃ に保持する。豆腐は高さ 2 cm、直径 3 cm に切断したものを試料とし、レオメーター CR-200 D（サン科学）を用い、直径 1 cm の円柱プランジャー、架台スピード 1 cm/sec で破断強度を測定し、単位面積当たりの強度をゲル強度（g/cm²）とした。

5. 豆腐の離水率の測定

冷凍加工豆腐を解凍した後、ケーシングチューブから全量を取り出して秤量し、そこからゲルを引き上げて除いた残量を離水量とした。離水率（%）は全重量に対する離水量の百分率で表示した。

6. 走査型電子顕微鏡による観察

凍結乾燥豆腐を液体窒素で凍結して、切断して試料の断面を観察した。白金・パラジウムでコーティングした後、日立 FESEM S-800 走査型電子顕微鏡で観察した。

7. 官能評価

トレイに充填して調製した冷凍加工豆腐を解凍した後 3 cm 角に切り、冷時に、又は沸騰水中で 5 分間加熱して温時に、オープンパネル法で外観、風味、食感を評価した。また、豆腐入り冷凍食品は加熱した後、同様に評価した。

8. 豆腐使用冷凍食品の調製

調製した冷凍前の加工豆腐を使用し、常法通り麻婆豆腐、揚げだし豆腐、豆腐とアスパラガス入りスープ、味噌汁、おでん、牛丼の具などをつくり、袋詰後-35℃ で冷凍して、-18℃ のフリーザーで保存した。

実験結果および考察

1. 冷凍加工豆腐の品質に及ぼす豆乳、カードラン、でん粉の影響

冷凍加工豆腐の品質に及ぼす豆乳、カードラン、でん粉の影響を検討した。豆乳（固形分 10% に調整）含量 40%、50%、65% について、カードラン含量 0.6%、0.8%、1.0%、でん粉（サームフロ）含量 0%、2%、3%、4% をかえ、それぞれ冷凍加工豆腐を調製した。冷凍加工豆腐を解凍して評価した結果を Fig. 1 に示す。でん粉含量が多いほど豆腐の離水が減少し、カードラン含量が多いほど豆腐のゲル強度が高くなる。豆腐の離水が少なく、食感の良い範囲を求めると、太線の範囲になる。豆乳含量 40% と 50% ではほぼ同じ結果であるが、豆乳 40% の方が豆腐の風味が弱く、豆乳 65% の場合には食感の適性範囲が狭くなる。これらの結果より、暫定組成として豆乳 50%、カードラン 0.8~1.0%、でん粉 2~3% の配合をきめた。

2. 冷凍加工豆腐の品質に及ぼすでん粉の種類、カードランの影響

冷凍加工豆腐の品質に及ぼすでん粉の種類及びカードラン含量の影響を Table 1 に示す。豆腐のゲル強度はでん粉の種類により差がないが、離水は若干差があった。これらのでん粉の中では、ワキシコーンスターチは豆腐の離水が少なく、食感が良好であった。カードラン含量は冷凍加工豆腐の解凍品の食感から判断すると 0.8% であるが、冷凍加工豆腐は調理食品に利用した場合、通常加熱して温かい状態で食べることになるので、加熱品の食感の評価を重視すればカードランは 1.2% が適当となる。以上の結果より、冷凍加工豆腐の標準組成は豆乳（固形分 10% に調整）50%、ワキシコーンスターチ 3%、カードラン 1.2%、豆腐用凝固剤 0.2%、水 25.6%、氷 20% が適当である。

また、加工豆腐の凝固性に及ぼすカードラン含量の影響及び冷凍前後の物性を市販豆腐も含めて Table 2 に示す。加工豆腐の凝固はカードランによること、冷凍・解凍後の豆腐の物性は、従来の市販品ではスポンジ様になるが、本加工豆腐では冷凍前とほとんど同じであることが確認された。

冷凍加工豆腐の調製は豆乳をカードランで豆腐状に固めて、カードランゲルの離水防止にでん粉を使用する。カードランゲルは冷凍耐性があるので、加工豆腐を冷凍しても物性の変化は少ないものと推察される。

3. 豆腐使用冷凍食品

加工豆腐を使用した麻婆豆腐、揚げだし豆腐、豆腐とアスパラガス入りスープ、味噌汁、おでん、牛丼の具の冷凍食品を加熱して官能評価した。おでん、牛丼の具のような比較的大きな形状の豆腐では、冷凍していない現

Table 2 Effects of curdlan on the coagulation and freezing-thawing of processed tofu

Curdlan ¹⁾ (%)	Before freezing		
	Gel strength (g/cm ²)	Breaking strain (mm)	Texture
0	not gelled (paste)		
0.4	23	6.0	too soft, sticky
0.8	53	6.0	Kinugoshi tofu-like, slightly soft
1.2	101	5.8	Kinugoshi tofu-like, slightly hard
traditional Kinugoshi tofu ²⁾	70	8.4	Kinugoshi tofu-like
traditional Momen tofu ²⁾	125	10.2	Momen tofu-like

¹⁾ Tofu ingredients : Soy milk (solid content 10%) 50%, waxy corn starch 3%, coagulant 0.2%, water and

²⁾ Manufactured by Sanyo Food Co. (Nara Pref.).

Table 3 Effects of curdlan and starch on the properties of freeze-dried tofu

Ingredients of tofu ¹⁾ (%)		Properties of freeze-dried tofu ²⁾	
Curdlan	Waxy corn starch	Reconstitution	Texture
1.2	3.0	slow	not completely reconstituted
0.8	3.5	slow	not completely reconstituted
1.0	1.0	considerably slow	not completely reconstituted
0.8	2.0	fairly slow	not completely reconstituted
0.8	1.0	fairly slow	slightly grainy
0.5	2.0	fairly slow	starchy
0.5	1.0	fast (good)	considerably smooth
0.5	0.5	fast (good)	grainy
0.5	1.5	slightly slow	slightly starchy

¹⁾ Soy milk (solid content 10%) 50%, coagulant 0.2%, water and ice remainder.

²⁾ Evaluated by sensory test after standing for 3 min in the addition of boiled water to freeze-dried tofu.

行豆腐と比較すると劣る。しかし、麻婆豆腐、豆腐とアスパラガス入りスープ、味噌汁など小さな形状で使用する豆腐や揚げだし豆腐のような豆腐を加工する場合には、冷凍後でも絹ごし豆腐様の食感を呈し冷凍食品として利用できる品質である。

4. 凍結乾燥豆腐の品質に及ぼす豆腐の組成の影響

冷凍加工豆腐の組成と凍結乾燥豆腐の品質を Table 3 に示す。予備凍結は -20℃ である。冷凍加工豆腐として食感が良好な組成では、凍結乾燥豆腐の組織が緻密になり、湯もどしによる復元が困難であった。そこで、湯もどりの速い製品を調製するために、若干冷凍変性する組成で多孔質の乾燥品をつくり、湯もどした時点で滑らかな食感になる組成の検討をおこなった。カードラン、ワキシーコーンスターチの配合を減少させて検討した結

果、豆乳 50%、カードラン 0.5%、ワキシーコーンスターチ 1.0% の系で湯もどりが容易で、食感の滑らかな凍結乾燥豆腐が得られた。なお、この組成の豆腐を -5℃ で 60 分間予備凍結して凍結乾燥した場合には、湯もどりは非常に速くなるが、凍り豆腐様の食感になり好ましくない。したがって、冷凍条件と組成は組み合わせて考える必要がある。

5. 凍結乾燥豆腐の品質に及ぼす冷凍条件の影響

豆乳 50%、カードラン 0.5%、ワキシーコーンスターチ 1% 配合の豆腐の組成で、ステンレストレーに成型し、冷凍能力 6000 cal/hr の急速冷凍機で設定温度を -5 ~ -35℃ に変化させて冷凍した後、凍結乾燥した。結果を Table 4 に示す。-5℃ の冷凍では、製品の表面が荒れてポーラスになる。したがって、湯もどりは非常に速

After freezing-thawing			
Gel strength (g/cm ²)	Breaking strain (mm)	Syneresis (%)	Texture
21	6.0	trace	too soft, sticky
51	6.0	2.5	Kinugoshi tofu-like, slightly soft
100	6.0	2.6	Kinugoshi tofu-like, slightly hard
265	14.6	24.2	sponge-like
415	26.2	19.2	sponge-like

ice remainder.

Table 4 Effects of the freezing condition on the properties of freeze-dried tofu

Freezing condition	Time to be frozen (min)	Appearance (dry)	Time to be reconstituted with hot water	Texture (rehydrated)
-5°C	60	rough surface, porous	instantaneous	grainy, slightly Kori-dofu-like
-10°C	45	fairly rough surface, fairly porous	about 0.5 min	slightly grainy
-20°C	30	slightly rough surface, slightly porous	1	smooth
-30°C	15	smooth surface	2	smoother
-35°C	13	smooth surface	2	smoother

Tofu ingredients : Soy milk (solid content 10%) 50%, curdlan 0.5%, waxy corn starch 1%, coagulant 0.2%, water and ice 48.3%.

くなるが、食感はやや凍り豆腐様になり好ましくない。また、-30°C以下の冷凍条件では冷凍変性が小さく、緻密な組織になり、湯もどりがやや遅く好ましくない。最適冷凍条件は約30分で凍結が完了する-20°C設定であり、湯もどりが速く、食感も滑らかな製品が得られた。以上の結果より、標準製造法は豆乳50%、カードラン0.5%、ワキシーコーンスターチ1%、豆腐用凝固剤0.2%、水28.3%、氷20%の組成で、-20°Cで急速冷凍して凍結乾燥するのが適当である。なお、別途検討した結果では、同じ予備凍結条件であれば、カードラン含量0.5~0.7%、ワキシーコーンスターチ0.8~1.2%の範囲で殆ど同じ品質の製品が得られた。凍結乾燥豆腐の冷凍曲線をFig. 2に示す。最大氷結晶の成長領域である0°C~-5°Cの領域を通過する時間は-35°Cの冷凍では約10分、-20°Cでは約20分、-5°Cでは約50分かかっている。したがって、それぞれ氷結晶の成長が異なり、乾燥したとき組織の密度に違いが生じることが推察される。

-5°C、-20°C、-35°Cでそれぞれ冷凍した凍結乾燥豆腐の電子顕微鏡写真をFig. 3に示す。各冷凍温度によ

り組織の違いがはっきりし、穴の大きいものほど湯もどりが容易であるが、ざらつきとなって食感に現れる。

Fig. 2 Internal temperature of freeze-dried tofu on the freezing

Tofu for freeze-drying : 17×25×1 cm (stuffed into stainless mold). Freezer : Air blast (Takahashi Ind., Ltd. type TBY-10 R).

Fig. 3 Scanning electron micrographs of freeze-dried tofu ($\times 50$)

A, -35°C freezing ; B, -20°C freezing ; C, -5°C freezing

Fig. 4 Scanning electron micrographs of freeze-dried tofu ($\times 50$)

A, conventional freeze-dried tofu ; B, freeze-dried tofu with curdlan

カードラン利用凍結乾燥豆腐と市販凍結乾燥豆腐（1例）の電子顕微鏡写真を Fig.4 に示す。市販品は層状の組織で、厚い膜をしている。この厚い膜が食感のざらつきとして現れることが推察される。一方、カードラン利用凍結乾燥豆腐は膜厚が薄く均一な組織をしているため、滑らかな食感になることが推察される。

要 約

カードランを利用して、絹ごし豆腐様の食感を呈する冷凍耐性のある加工豆腐及び凍結乾燥豆腐の実用的な調

製法について検討した。

(1) 冷凍加工豆腐はカードラン 1.2%、ワキシーコーンスターチ 3% を用いた最適配合組成で、カードランに適した調製法により調製できた。

(2) 冷凍加工豆腐は麻婆豆腐、揚げだし豆腐、味噌汁、スープなどの冷凍食品に使用すると、絹ごし豆腐様の滑らかな、やわらかい食感を呈し利用できた。

(3) 凍結乾燥豆腐はカードラン 0.5%、ワキシーコーンスターチ 1% を用いた配合組成で、冷凍条件を選択することにより、製造法を確立した。

文 献

- 1) 荒田勇二・高垣康雄：公開特許公報 平1-179659.
- 2) 藤村牧範：公開特許公報 平4-88959.
- 3) MAEDA, I., SAITO, H., MASADA, M., MISAKI, A. and HARADA, T.: *Agric. Biol. Chem.*, **31**, 1184 (1967).
- 4) 高橋 央・原田篤也：家政学雑誌, **37**, 251 (1986).
- 5) NAKAO, Y., KONNO, A., TAGUCHI, T., TAWADA, T., KASAI, H., TODA, J. and TERASAKI, M.: *J. Food Sci.*, **56**, 769 (1991).

(平成5年6月16日受理)