

## 비압착 냉동저장 두부의 조직감 변화에 미치는 항냉동제의 효과

정선화 · 최원석 · 손혜숙 · 이철호

고려대학교 생명공학원, 식품가공핵심기술연구센터

### Effects of Cryoprotectants on the Textural Changes of Whole-coagulated Soybean Curd (Tofu) during Frozen Storage

Sun-Hwa Chung, Won-Seok Choi, Hye-Sook Son and Cheri-Ho Lee

Graduate School of Biotechnology, Center for Advanced Food Science and Technology (CAFST),  
Korea University

#### Abstract

Effects of cryoprotectants on protein denaturation of soybean curd, tofu, during frozen storage were examined. A whole-coagulated non-press tofu was prepared by adding 2% of isolated soybean protein to soy milk in order to prevent loss of added cryoprotectants. The cryoprotectants added were glucose, glycerol, sorbitol, propylene glycol, and tripolyphosphate. The texture characteristics of soybean curds before and after frozen storage were measured by sensory evaluation and Texture analyzer, and the results were evaluated by response surface methodology (RSM). Glucose, glycerol, sorbitol, and sodium tripolyphosphate were effective as single cryoprotectant, and the mixtures of glucose and sodium tripolyphosphate, and sorbitol and propylene glycol were also effective in minimizing textural change during freezing. Overall, the mixture of cryoprotectants were more effective than single cryoprotectant. According to the RSM, the maximum effect of cryoprotectants in minimizing textural changes during freezing was obtained with the mixture of 2.1% glucose, 6.7% glycerol, 2.1% sorbitol, 0.4% propylene glycol, and 0.3% sodium tripolyphosphate. However, considering the sensory acceptability, the optimum use of cryoprotectants in frozen tofu was 1% glucose, 2% glycerol, 1% sorbitol, 0.2% propylene glycol, and 0.5% sodium tripolyphosphate.

Key words: soybean curd, frozen tofu, cryoprotectant, whole-coagulated non-press tofu

#### 서 론

두부는 우리 식생활에 유용한 비발효 대두가공품의 하나로서<sup>(1)</sup>, 두유 중의 대두단백질이 산에 의하여 등전점(pH 4.2-4.6)에 도달하거나  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  등의 2가 금속이온에 의하여 응고, 침전하게 되는 성질을 이용하여 제조된 식품이다<sup>(2)</sup>. 두부는 영양적으로 체내의 신진대사와 성장발육에 없어서는 안될 필수아미노산과 필수지방산, 칼슘이 풍부하게 들어있고, 그 소화율이 95%나 된다<sup>(3)</sup>. 그러나 두부는 80% 이상이 수분으로 되어 있어 미생물 번식이 잘 일어나고 지방산패가 용이하여 저장과 유통기간이 제한되고 이에 따른 손실량이 큰 것이 단점이다.

두부의 저장성을 향상시키기 위한 지금까지의 연구는 두유의 열처리 방법<sup>(4,5)</sup>이나 두부 침지액의 처리방법<sup>(6-8)</sup>, 두부의 포장방법<sup>(9)</sup> 등 주로 두부제조 과정 중에 일어나는 변화에 관한 것이며 두부의 저장방법에 대한 종합적인 연구는 아직 미흡한 단계로 이에 대한 보완책이 필요한 실정이다.

저장 방법 중 냉동저장은 두부의 저장기간을 늘리고 즉석 냉동식품과 같은 편의식품으로까지 두부의 이용범위를 확대시킬 수 있는 방법의 하나이나, 두부를 냉동할 경우 두부의 주요 품질특성인 조직감에 바람직하지 않은 변화가 일어나게 된다. 즉, 냉동에 따라 두부 중에 함유되어 있는 수분이 빙결정을 형성하면서 다량의 물분자와 결합되어 있는 콩 단백질이 응집, 변성되어 결국 다공질의 조직을 형성하게 되므로 두부 특유의 부드러운 조직감이 감소되고 견고성, 탄력성 및 씹힘성이 증가되는 조직의 열화(스폰지화)현상이 일어난다<sup>(10)</sup>. 그러나 냉동저장 식품에 항냉동제(cryop-

Corresponding author: Cheri-Ho Lee, Center for Advanced Food Science and Technology (CAFST), Graduate School of Biotechnology, Korea University, 5-1, Anam-dong, Sungbuk-ku, Seoul 136-701, Korea.

rotectants)가 첨가되면 단백질분자를 코팅하여 표면의 전하를 증가시키므로 단백질분자간의 접근과 가교형성이 방지되므로 단백질 변성을 저지하는 효과가 있는 것으로 이해되고 있다<sup>(10)</sup>. Glucose와 같은 당류나 sorbitol과 같은 당알코올류, glycerol, propylene glycol등의 항냉동제가 surimi나 잉어의 액토마이오신과 같은 단백질의 동결변성억제에 효과가 있으며<sup>(10-14)</sup>, sodium tripolyphosphate도 surimi에 당이나 polydextrose와 같은 물질과 함께 첨가될 경우 동결에 의한 식품조직의 변화를 최소화할 수 있는 것으로 보고되고 있다<sup>(15,16)</sup>.

본 실험에서는 두부의 냉동저장 중에 일어날 수 있는 조직감의 변화를 최소화하기 위하여 두부 제조과정 중에 여러 종류의 항냉동제(glucose, sorbitol, propylene glycol, sodium tripolyphosphate)를 반응표면 실험계획에 따라 첨가하여 두부의 조직감 특성에 대한 각 항냉동제의 단일효과와 항냉동제간의 상호작용을 기계적 측정 방법을 통해 살펴보고, 그 결과를 바탕으로 두부의 조직감 특성뿐 아니라 맛과 향까지 포함하는 기호 조사를 통하여 두부의 항냉동제 첨가 최적배합비를 찾아보고자 하였다.

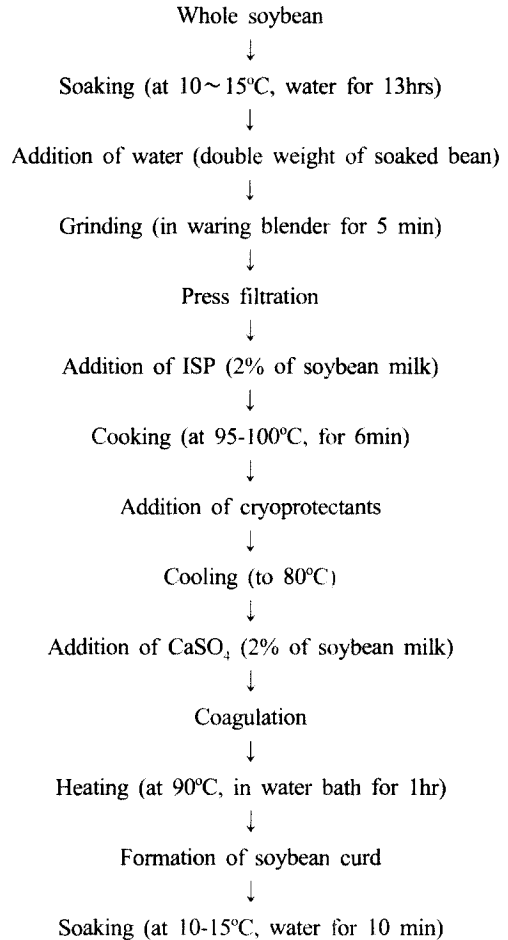
**재료 및 방법**

**실험 재료**

수입대두(Strayer Seed Farms, Inc. USA)와 함께 분리대두단백(ISP; Isolated Soybean Protein, Protein Technologies International, Inc., USA)은 pH범위 6.9-7.3, 단백질 90%, 수분 6.0%, 지방 1.0%, 회분 4.5%(제품 표시값)인 것으로 두유의 단백질농도를 높이기 위하여 사용되었다. 두부 응고제는 황산칼슘(CaSO<sub>4</sub>; Showa Chemicals, Inc., Japan)을 사용하였으며, 항냉동제로 glucose, glycerol, sorbitol, propylene glycol, sodium tripolyphosphate (Showa Chemicals, Inc., Japan)이 사용되었다.

**비압착두부의 제조**

항냉동제의 손실을 막기 위하여 비압착식으로 제조된 두부의 제조과정은 Fig. 1과 같다. 이물질을 제거한 대두는 세척 후 15°C로 유지된 지하수에 13시간 동안 침지시킨 다음, 새 세척하고 불린 콩 무게의 2배 량에 상당하는 물을 가하여 blender로 5분간 마쇄한 후 여과포에 넣어 압착하여 두유를 얻었다. 두유에 소포제로 규소수지(한국다우코닝(주))를 소량(1방울 정도) 첨가하여 거품을 제거한 후, 두유량에 대해 2%(g/mL)의 ISP를 첨가하고 거품기로 잘 저어준 뒤 100°C에서 6분간 가열한 다음 항냉동제를 첨가하였다. ISP와 항냉동



**Fig. 1. Preparation of whole-coagulated(non-pressed) soybean curd (tofu) processing.**

제를 첨가한 두유를 80°C까지 냉각시킨 후 두유량에 대하여 2%의 응고제(CaSO<sub>4</sub>)가 들어있는 비이커에 두유를 한꺼번에 붓고 aluminum foil로 덮었다. 90°C로 예열된 water bath에서 1시간 동안 응고반응을 유지시켜 주고 응고가 끝난 두부는 10°C의 흐르는 물에 10분간 침지시킨 후, 3.5×3.5×2.5 cm로 잘라 aluminum foil로 일차 포장하고 polypropylene bag으로 밀봉하여 -20°C 와 -70°C에서 70시간 동안 냉동 저장하였다.

**실험계획**

단일 항냉동제로 glucose, glycerol, sorbitol을 각각 1-2% 첨가하여 비압착두부를 제조한 후 냉동저장온도 -20°C와 -70°C에서 70시간 동안 저장한 후, 실온(18±2°C)과 냉장온도(4°C)에서 해동시킨 다음, 냉동중 조직

감 변화를 항냉동제를 첨가하지 않고 제조한 비압착두부(control)와 비교하였다.

냉동중 두부의 조직감 변화에 미치는 복합 항냉동제의 영향을 종합적으로 살펴보기 위하여 반응표면분석방법(RSM; Response Surface Method)의 중심합성계획(central composite design)<sup>(17)</sup>에 따라 5가지 항냉동제를 설명변수로 중심점(0)을 기준으로 하여 중간점(-1, 1), 양극점(-1.5, 1.5)까지 모두 5 단계로 총 45 개의 처리조합( $n = 2^k + 2k + n_0$ ; 중간점  $2^5 = 32$ 개, 양극점  $2 \times 5 = 10$ 개, 중심점 3개)으로 구성하여 두부시료를 제조하였다. Table 1은  $X_1$ (glucose),  $X_2$ (glycerol),  $X_3$ (sorbitol),  $X_4$ (propylene glycol),  $X_5$ (sodium tripolyphosphate)로 코드화된 항냉동제와 각 실험구간에서의 실제 첨가량을 표시한 것으로 전체 두 유함량에 대하여 glucose와 sorbitol은 0.5-3.5%, glycerol 1-7%, propylene glycol은 0.1-0.7%, sodium tripolyphosphate는 0-0.6%의 범위로 하였다.

예비실험과 기계적 측정결과를 바탕으로 기호도 검사는 Table 2와 같이 glucose, glycerol, sodium tripolyphosphate를 설명변수로 하여 실험점의 범위를 3단계(-1, 0, 1)로 하고 나머지 sorbitol, propylene glycol은 코

드범위를 (-1)로 고정하여 중심점과 함께 9개의 처리 조합으로 구성하였으며<sup>(17)</sup> RSM으로 분석한 항냉동제 첨가 최적배합조합까지 포함하여 총 12개의 처리조합에 대하여 실시하였다.

기계적 조직감 측정

냉동저장 두부조직에 대한 객관적인 평가를 하기 위하여 70시간 동안 냉동저장 후 실온과 냉장온도에서 해동시킨 두부를 다시 2.0 × 2.0 × 1.5 cm로 자르고 Texture analyser(TA-XT2, England)를 이용하여 cutting test를 실시하였다. 사용된 탐침은 두께가 0.4 mm인 칼날형(가로 7 cm, 세로 5 cm의 직사각형)으로 제작하여 사용하였으며, 탐침 이동속도는 3.0 mm/s로, 측정 후 얻은 힘-거리 곡선에서 가장 높은 값을 최대 cutting force( $g_f$ )로 구하였다.

기호도 검사

관능검사에 관심이 있는 고려대학교 생명공학원 대학원생 중 10명을 선발하여 두부의 조직감 균기와 씹음성 뿐 아니라 단맛, 이미, 이취를 모두 고려하여 종합적으로 좋아하는 정도를 순위법으로 평가하였다<sup>(18)</sup>. 제공된 두부시료는 기계적 측정시와 동일하게 비압착식으로 제조되고 -20°C에서 냉동저장되고 실온에서 해동된 것으로 크기는 1.0 × 1.0 × 0.5 cm로 항냉동제를 첨가하지 않고 제조된 표준시료(control)와 함께 제시되었다.

통계분석

SAS package<sup>(19)</sup>의 SAS/STAT procedure를 이용하여 분석하였으며, 반응표면도는 SAS/GRAPH procedure를 이용하였다. 반응값이 되는 조건은 1차항, 상호작용항, 2차항중 유의수준 5%에서 유의한 항들로 이루어지는

**Table 1. Actual factor levels(%) corresponding to coded factor levels of the cryoprotectants added to whole-coagulated soybean curd (tofu) for the experiment of Response Surface Methodology**

Factor	Symbol	Coded factor level				
		-1.5	-1	0	1	1.5
Glucose	$X_1$	0.5	1	2	3	3.5
Glycerol	$X_2$	1	2	4	6	7
Sorbitol	$X_3$	0.5	1	2	3	3.5
Propylene glycol	$X_4$	0.1	0.2	0.4	0.6	0.7
Sodium tripolyphosphate	$X_5$	0	0.1	0.3	0.5	0.6

**Table 2. Effects of various cryoprotectants addition on the cutting forces<sup>1)</sup> of thawed whole-coagulated soybean curd (tofu)**

Cryoprotectant	Concentration (%)	Beforefreezing	Room temp thawing		4°C thawing	
			Storage temp(°C)		Storage temp(°C)	
			-20°C	-70°C	-20°C	-70°C
Control	0	329 <sup>a2)</sup>	727 <sup>a(2.21)<sup>3)</sup></sup>	602 <sup>a(1.83)</sup>	892 <sup>a(2.71)</sup>	749 <sup>a(2.28)</sup>
Glucose	1	340 <sup>a</sup>	499 <sup>cd(1.47)</sup>	408 <sup>b(1.20)</sup>	677 <sup>b(1.99)</sup>	442 <sup>b(1.30)</sup>
	2	341 <sup>a</sup>	449 <sup>d(1.32)</sup>	334 <sup>c(0.98)</sup>	513 <sup>cd(1.50)</sup>	375 <sup>c(1.10)</sup>
Glycerol	1	341 <sup>a</sup>	531 <sup>b(1.62)</sup>	407 <sup>b(1.24)</sup>	539 <sup>c(1.64)</sup>	432 <sup>b(1.32)</sup>
	2	337 <sup>a</sup>	504 <sup>bc(1.50)</sup>	369 <sup>c(1.10)</sup>	518 <sup>cd(1.54)</sup>	361 <sup>c(1.07)</sup>
Sorbitol	1	330 <sup>a</sup>	452 <sup>cd(1.37)</sup>	432 <sup>b(1.31)</sup>	554 <sup>c(1.68)</sup>	457 <sup>b(1.38)</sup>
	2	355 <sup>a</sup>	446 <sup>d(1.26)</sup>	415 <sup>b(1.17)</sup>	496 <sup>d(1.40)</sup>	444 <sup>d(1.25)</sup>

<sup>1)</sup> Unit: g.  
<sup>2)</sup> Different letters are significantly different (p<0.05)  
<sup>3)</sup> Changed ratio (=thawing/before freezing).

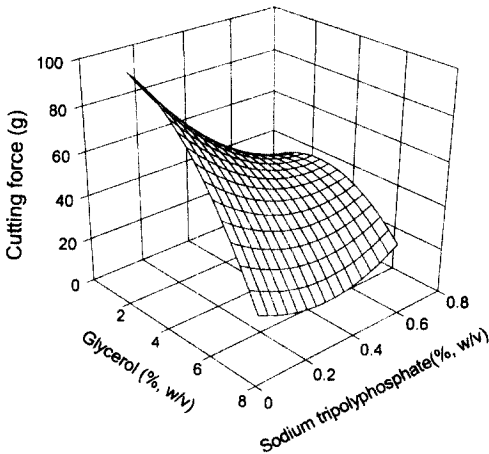


Fig. 2. Three dimensional diagram for cutting force and combination ratio of glycerol and sodium tripolyphosphate.

최적모형을 사용하여 탐색하였다.

결과 및 고찰

단일 향냉동제의 효과

향냉동제를 첨가하지 않고 제조한 비압착 두부(control)와 glucose, glycerol, sorbitol을 각각 1-2% 첨가한 두부를 -20°C 와 -70°C에서 70시간 동안 냉동저장한 후, 4°C와 실온에서 해동시킨 후, Texture analyser로 반복 압착시험을 실시하여 측정된 두부의 굳기는 Table 2와 같다.

전체적으로 glucose, glycerol, sorbitol을 각각 첨가하여 제조한 두부는 향냉동제를 첨가하지 않고 제조한 두부보다 조직감이 부드러움(silky) 특성을 나타내었고, 각 향냉동제 농도 1%보다는 2%를 첨가하였을 때 냉동저장으로 인한 조직감 열화방지에 더욱 효과적이었다. 향냉동제를 첨가하지 않은 대조구는 향냉동제를 첨가하여 제조한 두부보다 냉동저장 후 굳기가 훨씬 증가하였으며, 향냉동제를 첨가한 두부는 냉동저장으로 인한 조직감변화 정도가 훨씬 적었다. Glucose, glycerol, 및 sorbitol간의 첨가효과는 큰 차이를 보이지 않았으나, 이들이 각각 첨가된 양이 많을수록 조직감 변화 억제효과는 크게 나타났다. 향냉동제의 종류에 따라 두부의 맛은, glycerol첨가 두부는 단맛이 전혀 없고 glucose첨가 두부는 단맛의 강도가 sorbitol첨가 두부보다 3배 정도 높았다. 두부는 다

른 맛성분 첨가제를 사용하지 않고 만들어져 왔기 때문에 냉동두부의 단맛은 소비자 기호도 측면에서 바람직하지 않은 것으로 평가되었다.

냉동저장 온도의 영향

비압착 두부를 -20°C와 -70°C에서 냉동저장하였을 때 전체적으로 -20°C 보다는 -70°C에서 저장하였을 때 저장전과 비교하여 조직감의 변화정도가 적었다 (Table 2). 굳기의 변화정도는 실온에서 해동시킨 경우 대조구는 -20°C 저장시에 2.2인 반면 -70°C 저장시에는 1.8을 보였으며, 향냉동제 2%를 첨가한 경우에는 -20°C에서 glucose, glycerol, sorbitol이 각각 변화율 1.3, 1.5, 1.3을 보였으며 -70°C에서는 각각 0.98, 1.1, 1.2의 변화율을 보였다. 이와 같은 결과는 식품을 동결 저장할 때에는 최대 빙결정생성대를 가능한 빨리 통과시키는 것이 동결에 따른 품질저하를 최소화하며 온도가 낮을수록 품질변화의 진행이 늦어진다는 보고<sup>(10)</sup>와 일치한다.

해동온도의 영향

해동온도에 따른 두부의 굳기변화는 Table 2에서 보는 바와 같이 전체적으로 실온에서 해동시켰을 때 냉장온도(4°C)에서 해동시켰을 때보다 두부굳기의 변화율이 낮았다. 대조구의 경우 -20°C에서 저장한 두부를 냉장온도에서 해동시킨 경우 변화율이 2.7인 반면, 실온에서 해동시킨 경우에는 2.2이었다. 향냉동제 2%를 첨가하고 -20°C에서 저장한 후 실온에서 해동시킨 두부의 굳기변화율은 glucose, glycerol, sorbitol을 첨가한 경우 각각 1.3, 1.5, 1.3이었으며, 4°C에서 해동시킨 경우에는 각각 1.5, 1.5, 1.4이었다.

복합 향냉동제 첨가에 따른 두부의 기계적 조직감변화

단일 향냉동제 두부의 냉동저장중 조직감의 열화는 향냉동제의 함량이 많을수록, 저장온도가 낮을수록 억제되는 것으로 나타났으나 실제 산업적 생산에서는 향냉동제의 첨가량이 많으면 이미, 이취가 발생하며, 냉동온도도 일반적으로 -20°C를 사용하는 경우가 많다. 이러한 점을 고려하여 본 실험에서는 각 향냉동제의 첨가량을 Table 1과 같이 달리하고 저장 온도 -20°C, 해동은 실온에서 행한 냉동저장 두부의 조직감 변화를 cutting test를 통하여 살펴보았다. Table 3는 향냉동제의 단일효과뿐 아니라 향냉동제간의 상호작용 효과까지 모두 고려한 2차 다항식 모형(second-order polynomial model)을 적용하여<sup>(20)</sup> 얻

**Table 3. Regression coefficients of the second order polynomials<sup>1)</sup> of 5 response variables for the cutting force of whole-coagulated soybean curd**

Independent variable $X_i$		$\beta_i$	Independent variable $X_i$		$\beta_i$
Intercept		47.921	Interaction $X_1, X_2$		-5.859
Linear	$X_1$	-12.262**	$X_1, X_3$		-2.866
	$X_2$	-14.805**	$X_1, X_4$		-0.691
	$X_3$	-8.245*	$X_1, X_5$		0.816
	$X_4$	-0.636	$X_2, X_3$		-4.500
	$X_5$	-9.589**	$X_2, X_4$		-2.922
Quadratic	$X_1^2$	-9.427	$X_2, X_5$		6.897*
	$X_2^2$	-6.773	$X_3, X_4$		-5.978
	$X_3^2$	-3.018	$X_1, X_5$		6.328
	$X_4^2$	1.538	$X_1, X_5$		-2.116
	$X_5^2$	4.516			

\* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.01$

<sup>1)</sup>Model on which  $X_1$  = glucose,  $X_2$  = glycerol,  $X_3$  = sorbitol,  $X_4$  = propylene glycol  $X_5$  = sodium tripolyphosphate  
 $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{44} X_4^2 + \beta_{55} X_5^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{14} X_1 X_4 + \beta_{15} X_1 X_5 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{24} X_2 X_4 + \beta_{25} X_2 X_5 + \beta_{34} X_3 X_4 + \beta_{35} X_3 X_5 + \beta_{45} X_4 X_5$   
 $(R^2 = 0.746)$

은 결과로 전체적인 2차 모형의 결정계수 ( $R^2$ )가 0.746이었으며 총 회귀분석의 유의수준이 0.1% 이내로 나타나 적용된 반응모형이 적합함을 보여 주었다. 2차 다항모형식 각 항의 반응계수중 cutting force에 영향을 미친 요인을 Table 3으로부터 산출하여 식으로 나타내면 다음과 같다.

**Cutting force**

$$= 47.921 - 12.26 \text{ glucose} - 14.81 \text{ glycerol} - 8.25 \text{ sorbitol} - 9.59 \text{ sodium tripolyphosphate} + 6.9 \text{ glycerol} \cdot \text{sodium tripolyphosphate}$$

첨가된 항냉동제 중에서 glucose( $X_1$ ), glycerol( $X_2$ ), sodium tripolyphosphate( $X_5$ )는 각각 일차적으로 1% 유의수준에서, sorbitol( $X_3$ )은 5% 유의수준에서 cutting force에 영향을 미쳤으며, 상호작용에서는 glycerol( $X_2$ )과 sodium tripolyphosphate( $X_5$ )의 상호작용에서 5%의 유의성이 인정되었다. 이 결과에서 두부의 cutting force는 항냉동제간의 상호작용보다는 단일 항냉동제의 영향을 더 크게 받는 것으로 glucose, glycerol, sodium tripolyphosphate, sorbitol 모두가 냉동저장중 두부의 조직감 변화를 억제하는데 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나, 예비실험에서 단일 항냉동제를 각각 첨가하여 제조한 두부보다는 실험계획에 따라 항냉동제를 적절히 혼합하여 첨가한 비압착 냉동저장 두부가 냉동으로

**Table 4. Optimum concentrations of cryoprotectants for frozen tofu as determined by RSM of cutting test**

Cryoprotectants	Symbol	Minimum Response value	Actual concentration (%)
glucose	$X_1$	0.081	2.1
glycerol	$X_2$	1.485	6.9
sorbitol	$X_3$	0.102	2.1
propylene glycol	$X_4$	0.163	0.4
sodiumtripolyphosphate	$X_5$	-0.032	0.3

인한 변화를 최소화하는데 더 효과적인 것으로 나타났는데 이는 첨가된 단일 항냉동제 사이에서의 상호작용으로 인한 상승효과가 컸다기보다는 항냉동제를 혼합하여 첨가함으로써 첨가량이 증가되었기 때문에 나타난 효과로 사료된다. Propylene glycol( $X_4$ )은 통계적 유의성이 인정되지 않아 두부의 cutting force에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 관찰되었다. 두부의 cutting force에 대한 항냉동제간 상호작용의 효과는 Fig. 2와 같이 glycerol의 첨가량을 증가시키면서 sodium tripolyphosphate를 0.3-0.6% 정도 첨가할 때 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

냉동저장 두부의 조직감 열화현상을 최소화하기 위한 복합 항냉동제의 최적배합비를 반응표면분석법을 통하여 계산한 결과는 Table 4와 같다. 즉 코드화된 각 항냉동제의 수준을 실제값으로 계산하면 glucose 2.1%, glycerol 6.9%, sorbitol 2.1%, propylene glycol 0.4%, sodium tripolyphosphate 0.3%로 나타났다. 이들 설명변수들의 변화는 안장점(saddle point)을 나타내었기 때문에 능선분석(ridge analysis)을 통하여 분석되었다.

**기호도 검사**

전반적으로 항냉동제를 첨가한 비압착 냉동저장두부는 단맛이 강하고 후미에 떫은맛과 아린맛이 있으며 이취는 없는 것으로 평가되었다. 맛과 향 그리고 조직감을 모두 고려하여 패널요원에 의하여 선택된 최적의 항냉동제 첨가 조합은 Table 5와 같다. 기호도가 가장 높은 항냉동제 조합은 glucose 1%, glycerol 2%, sorbitol 1%, propylene glycol 0.2%, sodium tripolyphosphate 0.5%이었으며 항냉동제 농도가 높을수록 기호도는 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 항냉동제에서 오는 단맛과 이미, 후미가 기호도에 부정적인 영향을 미친 때문이다. 조직감 변화만을 고려한 기계적 측정 결과에서 얻은 Table 4의 최적조합은 종합적인 관능시험에서 기호도가 낮게 나타났다. propylene glycol과 sodium tripolyphosphate를 단독으로 첨가할 경우 두부의 단맛특성은 이들이 실제 첨가되는 양

**Table 5. Optimum concentrations of cryoprotectants for frozen tofu as determined by preference test**

X <sub>i</sub>	Cryoprotectants	Ranking of preference		
		1	2	3
X <sub>1</sub>	glucose	1 <sup>1)</sup>	2	2.1
X <sub>2</sub>	glycerol	2	4	6.7
X <sub>3</sub>	sorbitol	1	2	2.1
X <sub>4</sub>	propylene glycol	0.2	0.4	0.4
X <sub>5</sub>	sodium tripolyphosphate	0.5	0.3	0.3

<sup>1)</sup>Concentration of cryoprotectants.

이 매우 미량이므로 대조구와 거의 차이가 없었다.

두부의 조직감 변화정도는 항냉동제의 첨가량을 증가시킬수록 감소하여 신선한 두부와 유사해지기 때문에 항냉동제의 첨가량을 증가시켜 제조한 비압착 냉동 저장 두부가 가장 선호될 것으로 생각하였으나, 실제 기호도에서는 두부의 조직감과 함께 맛과 향까지 모두 고려하여 종합적으로 평가되므로 냉동저장으로 인한 두부의 조직감 열화가 최소화되면서 풍미특성이 좋은, 즉, 단맛이 가장 약한 두부를 먼저 선택하는 경향을 보였다. 또한 기계적 측정 결과 반응표면분석을 통해 계산된 항냉동제 첨가량의 최적조합이 12개의 처리조합 중 기호도 순위 3위를 차지한 것으로 나타나 항냉동제의 최적 첨가량은 기계적 측정과 관능검사 결과를 종합하여 결정되어야 함을 알 수 있다.

## 요 약

두부의 냉동저장중에 일어나는 단백질 변성과 이로 인하여 일어나는 조직감 열화현상을 완화하기 위하여 항냉동제 첨가 두부의 제조 공정을 개발하고 항냉동제 최적 배합비율과 첨가량을 조사하였다. 여러 가지 항냉동제를 첨가하여 비압착 두부를 제조하여 냉동저장한 후 다시 해동한 냉동저장 두부의 조직감 변화를 반응표면분석법(RSM)으로 분석하고 관능검사 결과와 비교하였다. 냉동으로 인한 두부의 조직감 변화를 최소화하는 데는 glucose, glycerol, sorbitol, sodium tripolyphosphate가 단일 항냉동제로서 효과가 있었으며, glycerol과 sodium tripolyphosphate 사이에서는 상호작용도 있는 것으로 나타났다. 결론적으로 냉동두부에 항냉동제를 단독으로 첨가하는 것보다는 여러 가지를 혼합하여 첨가하는 것이 두부조직의 열화방지에 더 효과적인 것으로 나타났다. 조직감 변화만을 고려한 절단시험의 RSM을 통하여 계산된 냉동두부의 항냉동제 최적 첨가량은 glucose 2.1%, glycerol 6.9%, sorbitol 2.1%, propylene glycol 0.4%, sodium tripolyphosphate 0.3% 이었으며, 조직감과 함께

맛과 향까지 고려한 전체 기호도 조사에 의한 항냉동제 최적 첨가량은 glucose 1%, glycerol 2%, sorbitol 1%, propylene glycol 0.2%, sodium tripolyphosphate 0.5% 이었다.

## 문 헌

- Jang, J.H. Studies on cooks of foods using soybean cultivated in Korea and development in the processing step. p.12 (1993)
- Yoon Y.M. Effect of fat on the structural and textural properties of soybean curd. M.S. thesis, Yonsei University, Seoul, Korea (1985)
- Lee, C.H. The wholesomeness and functionality of soy-sauce product. International symposium on the physiological function of traditional, fermented soybean products. M.S. thesis, Konkuk University, Seoul, Korea (1996)
- Nagasawa, T., Titakawa, H., Mizuguchi, K., Kato, R., Shimamura, S., Kawahara, K., Kawashima, T. and Okonogi, S. Effect of heat treatment of soy milk on color, consistency and particularly keeping quality of Tofu. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi 31(2): 92-97 (1984)
- Miskovsky, A. and Stene, M.B. Effect of chemical preservatives on storage and nutrient composition of soybean curd. J. Food Sci. 52(6): 1535-1537 (1987)
- Pontecorvo, A.J. and Bourne, M. Simple methods for extending the shelf life of soy curd in tropical areas. J. Food Sci. 43: 969-975 (1978)
- Lee, H.W. Studies on the shelf-life and texture of soybean curd. M.S. thesis, Seoul Women's University, Seoul, Korea (1984)
- Miskovsky, A. and Stone, M.B. Effects of chemical preservatives on storage and nutrient composition of soybean curd. J. Food Sci. 42: 1448-1457 (1977)
- Wu, M.T. and Salunkhe, D.K. Extending shelf-life of fresh soybean curds by in package microwave treatments. J. Food Sci. 42: 418-422 (1977)
- National Federation of Fisheries Cooperatives: Application and Theory of Freezed Foods. Yurim Publishing Co. (1994)
- Fennema, O.R., Powrie, W.D. and Marth, E.H. Freezing injury and cryoprotectants. Chap. 10., In: Low-temperature Preservation of Foods and Living Matter. Marcel Dekker, Inc., New York (1973)
- Tseng, Y.L., Nury, E.S. and Chang, Y.S. Calcium and phosphorus contents and ratios in Tofu as affected by the coagulants used. J. Home Economic Res. 6(2): 171-179 (1977)
- Noguchi, S. The control of denaturation of fish muscle proteins during frozen storage. Ph.D. thesis, Sophia University, Tokyo, Japan (1974)
- Craig, C.L. and Powrie, W.D. Rheological properties of fresh and frozen chum salmon eggs with and without

- treatment by cryoprotectants. *J. Food Sci.* 53(3): 684-689 (1988)
15. Park, J.W., Lanier, T.C. and Green, D.P. Cryoprotective effects of sugar, polyols, and/or phosphates on alaska pollack surimi. *J. Food Sci.* 53(1): 235-238 (1988)
  16. Desrosier N.W. *The Technology of Preservation*. AVI Pub. Co., New York, USA (1963)
  17. Montgomery, C.D. *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA (1991)
  18. Lee, C.H., Lee, J.K. and Chai, S.K. *Quality Control in Food Industry*. Yurim Publishing Co., Seoul, Korea (1982)
  19. SAS Institute Inc.: *SAS/STAT user's guide*, release 6.04. SAS Institute, Inc., Cary, N.C., USA (1990)
  20. Montgomery, C.D. *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA (1991)
  21. Ku, K.H. Development of optimal preparation conditions, and stored stability of uncompressed ISP tofu. Ph. D. thesis, Sejong University, Seoul, Korea (1993)
- 
- (1998년 11월 3일 접수)