

계육 Surimi에 Trehalose와 Oligosaccharide의 냉동변성 방지효과

이성기·민병진

강원대학교 축산가공학과

Effects of Trehalose and Oligosaccharide as Cryoprotectant in Chicken Surimi

S. K. Lee and B. J. Min

Department of Animal Food Science and Technology, Kangwon National University, Chuncheon, Korea, 200-701

ABSTRACT Cryoprotective effects on chicken surimi during storage were investigated. Chicken surimi from mechanically deboned spent layer meat was prepared with 4 volumes of 0.5% NaCl washing, and then blended with or without cryoprotectants(8% trehalose, 8% oligosaccharide) prior to frozen storage at -18°C to 10 weeks. Redness(a) of all surimi decreased during storage. Color stability increased during storage when lightness increased but redness decreased. At this point, surimi maintained a better color quality as followed order; trehalose > oligosaccharide > non-additive. Gel strength such as compressive force, hardness, adhesiveness and gumminess tended to decrease during frozen storage. Cryoprotectants provided significantly better textural properties than non-additive. Surimi with trehalose showed the highest adhesiveness. In conclusion, trehalose and oligosaccharide seemed to be good cryoprotectants of chicken surimi. Especially, trehalose resulted in better cryoprotectant than oligosaccharide because of better color stability, better textural properties, and lower sweet characteristics.

(Key words: chicken surimi, cryoprotectants, trehalose, oligosaccharide)

서론

닭고기 surimi를 냉동저장하면서 육가공 제품의 원료로 이용하려면 냉동중 단백질의 냉동변성이 문제가 된다. 대부분 근원섬유단백질로 구성된 surimi는 냉동저장중 단백질의 변성이 일어나 본래의 기능성이 상실되기 쉬우며, 특히 성형이 요구되는 식육가공 제품에서 gel 형성 능력이 떨어지므로 품질에 치명적인 문제점을 일으킬 수 있다. 따라서 surimi 단백질의 냉동변성을 막아야 고품질의 육가공 제품을 제조할 수 있다. 지금까지 surimi에 있어서 단백질 냉동변성 방지제로 어육 surimi에서 D-sorbitol이나 sucrose와 같은 당류를 많이 이용하여 왔다(Lanier, 1986). 냉동변성방지제로 사용되는 당류는 수분의 표면장력을 증가시키고, 단백질로부터 수분이탈을 막아 결합수를 증가시켜 육단

백질의 변성을 억제시키는 작용을 한다(Lee, 1984).

Oligosaccharides는 기존의 당류보다 감미도가 약하고 인체 건강에 유익한 기능성 식품의 소재로 알려져 있기 때문에 냉동변성 방지제로 사용하면 활용도를 높일 수 있다. 대구 surimi에 수화시킨 oligosaccharides를 사용하였을 때 D-sorbitol이나 sucrose와 유사하게 단백질 변성방지 효과가 있다고 하였고(Miura et al., 1992), 알래스카 대구에서 추출한 actomyosin 용액에 8%의 oligosaccharides 혼합물을 첨가하면 sucrose나 sucrose+sorbitol 혼합물과 비슷하게 냉동변성 방지효과가 있었다고 하여(Auh et al., 1999), 어육 surimi에서 이미 연구를 시도한 바 있다.

Trehalose는 glucose 2개가 연결된 disaccharides으로써 생리환경에서 세포막이나 단백질의 변성을 막아 보호하는 역할을 한다. 특히 건조나 냉동에 따라 단백질이 변성되는

본 논문은 1998년 농림부 농특과제 지원에 의해 이루어진 연구결과의 일부임.

¹ To whom correspondence should be addressed : skilee@kangwon.ac.kr

것을 방지하거나 지연시키는데 효과가 있다. Trehalose는 감미도가 설탕의 45%로 낮고 내열, 내산성이 있으며 비환원성 성질을 가지고 있기 때문에 메일라드 반응이 일어나지 않는 많은 장점이 있으나(Roser, 1991) 이에 관한 연구는 초기 단계에 머물고 있다. 지금까지 건조식품에서 휘발성 향기성분을 포집한 후 재수화시켰을 때 유리시켜 보호해주는 방지제(Roser, 1991), 정액(Storey et al., 1998)이나 미생물의 보존제(De Antoni et al., 1989; Coutinho et al., 1988), 닭의 면역단백질의 안정제(Jaradat and Marquardt, 2000)로 연구가 시도된 바 있다. 식품에서도 일반당을 대체하여 새로운 식품안정제로써의 가능성을 제시하고 있다(Xio and Reid, 1996).

이와 같이 기능성 식품소재로 활용되고 있는 oligosaccharide와 최근 새로운 단백질 변성 방지제로 관심을 끌고 있는 trehalose가 계육 surimi 단백질의 동결변성 방지제로써 효과가 있는지 여부를 구명하기 위하여 본 연구를 실시하였다.

재료 및 방법

1. 재 료

원료육은 노계 통닭으로부터 제조된 기계발골계육(mechanically deboned chicken meat, MDCM)을 정우식품(주)에서 구입하였으며, -80°C 에서 저장하면서 3개월 이내의 것을 흐르는 수돗물에 침지해동시켜 시험용으로 사용하였다. 기계발골계육의 일반성분을 보면 수분 69.3%, 조단백질 14.0%, 조지방 16.5%, 조회분 1.28%이었다. Trehalose(건조감량 1.5% 이하, 고행분 대비 98.0% 이상의 trehalose, 조회분 0.05% 이하, 30% 수용액에서 pH 4.5~6.5)는 주식회사 삼양제넥스에서, oligosaccharide(옥수수 전분 100%중에서 올리고당 50% 이상, 무수 이소말토올리고당 15% 이상)는 대상(주)에서 구입하여 사용하였다.

2. 수 세

해동시킨 기계발골계육을 silent cutter(0.75 kw, 1,500~3,000 rpm, OSK 10600 Type A, Ogawa Seiki Co., Ltd)에서 2분간 세절한 다음 세절육과 0.5% 소금(NaCl)물을 1:4 비율로 혼합기(1HP, 1,720rpm, ND-200, 삼일전기)에 넣고 2단계 속도로 8분간 휘저었다. 곧바로 8분간 정치 후 직경 2 mm의 mesh에 육혼합물을 통과시켜 결체조직을 제거시킨 다음 혼합물을 3,000 rpm에서 15분간 원심

분리시켰다. 상등액을 버리고 동일한 방법으로 휘젓기, 정치 및 원심분리 방식을 연속적으로 한번 더 반복한 후 마지막으로 증류수를 넣어 총 3회가 되도록 실시하였다. 다만 결체조직을 제거하기 위해 처음 2 mm에서 2회 수세때 1 mm, 3회때 0.6 mm의 세망을 사용하였다. 이때 surimi의 일반조성을 보면 수분 87.3%, 조단백질 9.9%, 조지방 1.7%, 조회분 0.45%이었다.

3. 냉동변성방지제 첨가 및 Surimi 저장

지금까지 어육 surimi의 냉동변성방지를 위하여 가장 널리 사용되어온 당류(sorbitol과 sucrose)의 혼합제제가 8% 수준에서 첨가되는 것을 모델로 하여, 제조한 surimi에 8% trehalose와 8% oligosaccharide를 각각 혼합기(KitchenAid, Model K5SS, 325W, USA)에 넣고 Speed 6에서 5분간 작동시켰다. 모든 수세 및 혼합작업은 저온실(5°C)에서 실시하였다. 시험용 모든 surimi는 zipperbag(LDPE, 17.8 cm × 20.3 cm, (주) 크린랩)에 넣어 -18°C 에서 10주간 저장하였다.

4. Gel 제조 및 강도 측정

냉동 surimi를 흐르는 수돗물에서 해동시킨 다음 3%의 NaCl을 첨가 후 혼합기(KitchenAid, Model K5SS, 325 W, USA)에서 Speed 6으로 3분간 혼합시켰다. 반죽상태의 혼합물을 시험관(직경 15 mm × 길이 100 mm)에 3/4 정도 채우고 내부기포를 제거하기 위해 원심분리기(C312, Jouan INC, USA)로 2,000 rpm에서 10분간 원심분리를 시켰다. 시험관 입구를 parafilm(American National CanTM)으로 단단히 밀봉하고 25°C 의 항온수조에서 10분간 정치시켰다. 이어서 80°C 수조(Yamato Co, Model BT-25, 14A, Japan)에 옮겨서 육중심 온도가 75°C 에 도달한 후 30분간 가열한 다음 냉각시켰다.

Gel화 시킨 surimi를 15mm×20mm 크기로 절단하여 식품물성측정기(Food texture analyser, TA-XT2i, Stable Micro Systems Ltd. UK)를 이용하여 조직감을 측정하였다. 경도(hardness), 부착성(adhesiveness), 껌성(gumminess)은 texture profile analysis(TPA) 방법으로 직경 5 mm인 cylinder probe (P/5)를 이용하여 측정하였다. 기계적 측정조건은 probes/attachments: cylinder probe, code: 5 mmØ(P/5), mode: TPA, pretest speed: 5 mm/s, test speed: 2 mm/s, posttest speed: 5 mm/s, distance: 10 mm, trigger type: auto, trigger force: 5g으로 하였다. 압착력은 직경 35mm(P/35)의

cylinder probe를 사용하였고, probe가 시료표면에 닿아 저항하는 힘이 걸리다가 더 이상 형태를 유지하지 못하고 순간적으로 파괴될 때 최초 지점의 힘(g)과 이때까지 이동된 거리(cm)를 곱한 것을 압착력(compressive force)으로 계산하였다. 측정조건은 probes/attachments: cylinder probe, code: 35mmØ(P/35), mode: measure force in compress, option: return to start, pretest speed: 5 mm/s, test speed: 0.5 mm/s, posttest speed: 5 mm/s, distance: 65%, trigger type: auto, trigger force: 5g으로 하였다.

5. 선택, pH, 보수력, TBARS

일반성분 분석은 AOAC(1990)법, 보수력은 Jauregui et al(1981)의 방법, TBARS(Thiobarbituric acid and reactive substance)는 Sinnhuber and Yu(1977)의 방법을 약간 수정하여 실시하였다. pH는 세절육 10g에 증류수 100 ml를 넣고 균질기(Ace homogenizer, AM-7, Japan)로 10,000 rpm에서 1분 30초간 균질시킨 다음 pH meter(Horiba, F-12, Japan)로 측정하였다. Surimi의 색깔은 색차계(CR-310, Minolta Co, Japan)를 사용하여 CIE L*a*b*, chroma value, Hue-angle을 측정하였다. Hue-angle(色相色)은 $h_0 = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ 로 계산하였다. TBARS의 측정은 시험관내에 시료 0.4g을 정확히 정량하여 항산화제 용액(propylene glycol + warm Tween + BHT + BHA), TBA용액 3mL, TCA-HCL 17mL를 넣고 vortex에서 2~3초간 혼합한 후 시험관의 뚜껑을 닫고 100

℃이상의 물에서 30분간 가열 한 후에 냉각하였다. 이 후 5mL의 반응액을 취하여 여기에 chloroform 2mL를 넣고 3,000rpm에서 15분간 원심분리시켜 상등액을 532nm에서 흡광도를 측정하였다. 최종 TBARS의 계산은 시료 kg당 malonaldehyde mg으로 계산하였다.

6. 통계 분석

유의성 검정에 대한 통계적 분석은 SAS(1989)의 PROC ANOVA를 이용하였으며 처리 평균간 비교는 Duncan 검정으로 실시하였다.

결과 및 고찰

냉동기간동안 각 첨가구별 surimi의 색깔변화를 보면 Table 1과 같다. 모든 surimi의 적색도(CIE a*)와 chroma(c)값은 저장중 감소하였고, hue angle(h°)은 증가하는 경향을 보였다. 계육 surimi는 원료자체에 육색소 함량이 많고 수세용액의 이온강도가 높을수록 탈색이 잘 되기 때문에 어육 surimi에 비해 a*값이 높은 편이다(Lin and Chen, 1989). 냉동기간중에 적색도의 감소정도는 첨가구별로 각각 달랐다. 냉동 1일에 비해 10주에 있어서 적색도 감소를 보면 무첨가가 14.8%, trehalose구가 18.0%, oligosaccharides구가 21.7%이었다. 따라서 냉동변성방지제로써 이들 당류를 첨가하면 냉동에 의해 붉은 색깔이 더 많이 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같이 계육 surimi 색깔의

Table 1. CIE L*, a*, b*, c and h° values of chicken surimi during storage at -18℃

Treatments ¹	Storage period	L*	a*	b*	c	h°
Non	1 day	66.8±0.3 ^b	8.8±0.1 ^a	11.0±0.1 ^a	14.1±0.1 ^b	51.5±0.2 ^a
	5 wks	67.7±0.2 ^B	7.8±0.2 ^A	11.4±0.1 ^A	13.8±0.2 ^A	55.6±0.6 ^A
	10 wks	66.5±0.1 ^{a*}	7.5±0.1 ^{a*}	11.1±0.1 ^{a*}	13.4±0.1 ^{a*}	55.8±0.6 ^{a*}
Trehalose	1 day	67.8±0.3 ^a	8.9±0.1 ^a	10.9±0.1 ^a	14.1±0.1 ^b	51.0±0.2 ^{ab}
	5 wks	69.1±0.4 ^A	7.9±0.3 ^A	10.8±0.2 ^B	13.3±0.3 ^A	53.9±0.5 ^B
	10 wks	66.8±0.1 ^{a*}	7.3±0.1 ^{a*}	10.9±0.1 ^{ab*}	13.2±0.1 ^{a*}	56.3±0.2 ^{a*}
Oligo	1 day	66.7±0.1 ^b	9.2±0.1 ^b	11.1±0.1 ^a	14.4±0.1 ^a	50.3±0.5 ^b
	5 wks	67.6±0.2 ^B	8.2±0.2 ^A	10.5±0.1 ^B	13.3±0.1 ^A	52.2±0.8 ^C
	10 wks	66.7±0.2 ^{a*}	7.2±0.3 ^{a*}	10.8±0.1 ^{b*}	13.0±0.3 ^{a*}	56.5±0.8 ^{a*}

ab, ABC, a*b* Means within a column with different superscripts are significantly different(p<0.05).

¹ Surimi with 8% trehalose(Trehalose), 8% oligosaccharide(Oligo) or without cryoprotectant(Non).

밝기는 변화가 없었으나 붉은 정도는 저장기간에 따라 점점 감소하였다.

각 첨가구별 색깔의 차이를 보면 trehalose구가 명도에 있어서 저장 1일과 5주까지 타 처리구에 비해 유의적으로 높았다($P<0.05$). 적색도(a^*)는 저장 1일에 oligosaccharide구가 유의적으로 높았으나($P<0.05$) 그 이후로 차이가 없었다. 품질에 중요한 항목으로 생각되는 황색도(b)와 h^* 도 첨가구와 저장기간동안 명확한 차이는 없었으나, 대체로 당류첨가구가 무첨가구에 비해 낮은 경향을 보였다. 이와 같이 surimi에 당류를 첨가하면 냉동중 무첨가구에 비해 색깔이 좋아지는 것으로 나타났다. 또한 당류중에서도 trehalose가 oligosaccharide보다 색깔 품질면에서 조금 더 우수한 것으로 평가할 수 있다.

단백질 냉동변성방지제의 첨가에 따른 보수력을 보면 Table 2와 같이 trehalose구가 냉동 1일에 48.2%, 5주에 46.5%로 기타 처리구에 비해 높았다($P<0.05$). 이와 같이 trehalose 첨가구는 저장 초기에 높은 보수력을 나타내다가 저장 10주에 감소하는 경향을 보였다. 반면 oligosaccha-

Table 2. Water holding capacity(WHC) of chicken surimi during storage at -18°C

Treatments ¹	Storage periods		
	1 day	5 weeks	10 weeks
Non	40.4±1.2 ^{ba}	40.6±0.3 ^{ba}	42.7±1.7 ^{aA}
Trehalose	47.8±0.7 ^{aA}	45.7±1.1 ^{aA}	43.4±1.0 ^{aB}
Oligo	43.1±1.3 ^{ba}	40.0±1.0 ^{bb}	43.3±1.0 ^{aA}

^{ab} Means within a column with different superscripts are significantly different ($p<0.05$).

^{AB} Means within a row with different superscripts are significantly different ($p<0.05$).

¹ Surimi with 8% trehalose(Trehalose), 8% oligosaccharide(Oligo) or without cryoprotectant(Non).

ride구와 무첨가구는 처음부터 저장기간동안 보수력이 변하지 않았다. 따라서 trehalose는 냉동 계육 surimi의 보수력을 증가시키는데 영향을 미치는 당류임이 밝혀졌다.

Table 3에서와 같이 모든 surimi의 pH는 냉동 5주까지 변화가 없다가 10주에 이르러 약간 증가하는 경향을 보였다. pH는 surimi의 색깔, 보수력, 조직감, 지방산화와 밀접한 관련이 있다(Park et al, 1988; Lee, 1984). 냉동 1일에 무첨가구와 trehalose구가, 냉동 5주에 trehalose구가 기타 처리구에 비해 pH가 약 0.1 만큼 높았으나 유의적인 차이는 없었다. 지방산화도 저장기간동안 뚜렷한 경향은 보이지 않았으나 5주에 약간 증가하다가 10주에 다시 감소하는 경향을 보였다. 이와 같이 본 시험에 첨가한 trehalose와 oligosaccharide는 pH에 특별한 영향을 끼치지 않았기 때문에 surimi의 냉동변성 방지효과는 pH보다는 당 첨가제의 고유성질로부터 영향을 받은 것으로 판단된다.

냉동변성방지제로서 당류 첨가가 계육 surimi를 해동시켜 가열에 의한 gel 형성능력을 압착력과 TPA 시험에 의한 경도, 부착성, 껌성으로 나타내었다(Fig. 1). 모든 gel 항목의 강도는 냉동저장기간에 따라 감소하는 경향을 보였다. 그러나 당류를 첨가하면 무첨가구에 비해 감소되는 정도를 훨씬 지연시킬 수가 있었다. 각 저장기간에 모든 gel 강도의 물성 항목이 무첨가구보다 유의적으로 높았다($P<0.05$). 단백질 변성방지제를 첨가한 냉동 surimi의 gel 형성효과에 대해 아직 논란이 많다. 변성방지제(sucrose:sorbitol, 1:1)를 어육 surimi에 9%까지 첨가해도 냉동 저장기간동안 gel 형성에 큰 변화는 없었고, 냉장 surimi와 비교하여 경도(hardness)로 대별되는 shear stress는 큰 차이가 없었으나 탄성으로 대별되는 shear strain은 1/3으로 줄어들었다고 한다(Pipatsattayanuwong et al., 1995). 그러나 Sych et al(1990)에 의하면 어육 surimi에 여러 종류의 변성방지제중에서 8% sorbitol, glucose syrup, sucrose/sorbitol 혼합물이 단백질추출율과 열변성 그래피(DSC)의 결

Table 3. pH and thiobarbituric acid reactive substance(TBARS) of chicken surimi during storage at -18°C

Treatments ¹	pH			TBARS(mg/kg)		
	1 day	5 weeks	10 weeks	1 day	5 weeks	10 weeks
Non	7.1±0.1	7.1±0.1	7.3±0.1	0.28±0.02 ^a	0.94±0.08 ^a	0.60±0.03 ^b
Trehalose	7.1±0.1	7.2±0.1	7.3±0.1	0.23±0.02 ^b	0.81±0.09 ^b	0.62±0.04 ^b
Oligo	7.0±0.1	7.1±0.1	7.3±0.1	0.31±0.01 ^a	0.95±0.07 ^a	0.71±0.04 ^a

^{ab} Means within a column with different superscripts are significantly different ($p<0.05$).

¹ Surimi with 8% trehalose(Trehalose), 8% oligosaccharide(Oligo) or without cryoprotectant (Non).

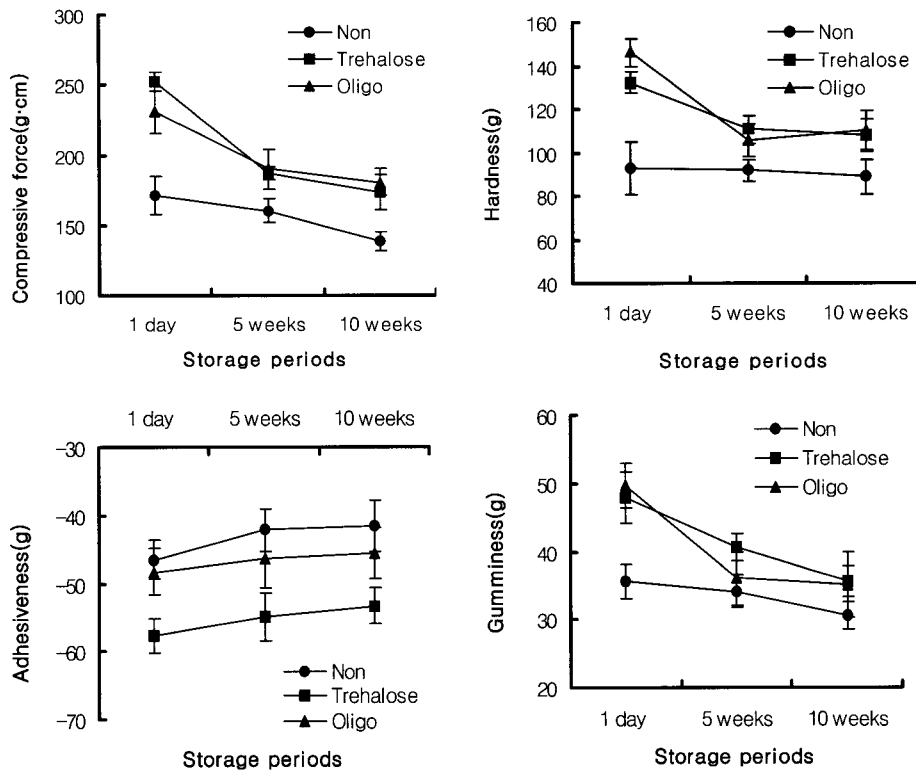


Fig. 1. Changes in compressive force, hardness, adhesiveness and gumminess of chicken surimi during storage at -18°C.

과에서 좋은 효과를 가져왔다고 보고를 하였다. 본 시험과 동일한 원료육인 노계육으로 제조한 surimi에서 복합 냉동 변성방지제(4% sucrose + 4% sorbitol + 0.2% Na-tri-polyphosphate)를 첨가하면 냉장상태에서는 변성방지 효과가 있었으나 -20°C에서 4주간 저장하였을 때 물성품질(겔 강도, 파괴강도, 변형률)에서 효과가 거의 없었다고 하였다(Nowsad et al., 2000). 이와 같이 여러 상반된 결과에 비해 본 시험에서 사용한 trehalose와 oligosaccharide는 계육 surimi의 냉동변성을 지연시켜 gel 형성능력을 향상시키는 것으로 나타났다.

압착력은 외부 기계적인 힘에 의해 주어진 일정한 크기의 시료가 외형을 유지할 때까지 견디는 힘으로 나타내기 때문에 surimi의 gel 강도를 나타내는 좋은 품질지표로 생각된다. Fig. 1에서와 같이 압착력은 당류 첨가구가 대조구에 비해 현저히 높았고($P < 0.05$), trehalose구가 oligosaccharide구보다 높은 경향을 보였다. 조직의 단단한 정도를 나타내는 경도나 씹성도 압착력과 비슷한 경향을 보였으며, 특히 부착성인 경우는 trehalose구가 oligosaccharide보다 유의적으로 높았다($P < 0.05$). 이와 같이 본 시험에 사용된 당류

는 계육 surimi의 물성유지에 효과가 있었으며, trehalose가 oligosaccharide보다 더 우수한 것으로 나타났다.

적 요

계육 surimi에서 trehalose와 oligosaccharide의 단백질 냉동변성 방지효과를 구명하기 위하여 본 실험을 실시하였다. 기계발골노계육에 0.5% 소금물(고기:용액, 1:4)로 2회, 증류수로 1회 수세하여 surimi를 제조하였다. Trehalose와 oligosaccharide를 각각 8%씩 혼합한 후 -18°C에서 10주간 냉동저장하였다. 모든 surimi의 적색도(a*)는 냉동기간동안 감소하였다. 냉동기간중에 trehalose, oligosaccharide, 무첨가 순으로 명도가 높고 적색도와 황색도가 낮아 색택 안정성이 있는 것으로 나타났다. 냉동기간중 surimi의 gel 강도(압착력, 경도, 탄성, 점착성)는 감소하였지만, trehalose와 oligosaccharide 첨가가 무첨가구에 비해 유의적으로 높은 수준을 유지하였다. 냉동기간중에 부착성은 trehalose 첨가가 가장 높았다. 따라서 이들 당류가 계육

surimi에 단백질 냉동변성방지제로 효과가 인정되었으며, trehalose는 감미도가 기존 설탕보다 낮고 색깔 및 물성에 서 oligosaccharide보다 더 우수한 것으로 판단되었다.

사 사

본 논문은 1998년 농림부 농특과제 지원에 의해 이루어진 연구결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

인용문헌

- AOAC 1990 Official Methods of Analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC USA p931.
- Auh JH, Lee HG, Kim JW, Kim JC, Yoon HS, Park KH 1999 Highly concentrated branched oligosaccharides as cryoprotectant for surimi. *J Food Sci* 64:418-422.
- Coutinho C, Bernardes E, Panek AD 1988 Trehalose as cryoprotectant for preservation of yeast strains. *J Biotechnol* 7:23-32.
- De Antoni GL, Perez P, Abraham A, Anon MC 1989 Trehalose, a cryoprotectant for *Lactobacillus bulgaricus*. *Cryobiology* 26:149-153.
- Jaradat ZW, Marquardt RR 2000 Studies on the stability of chicken IgY in different sugars, complex carbohydrates and food materials. *Food Agric Immunol* 12:263-272.
- Jauregui CA, Regestein JM, Baker RC 1981 A simple centrifugal method for measuring expressible moisture, water-binding property of muscle foods. *J Food Sci* 46:1271-1273.
- Lanier TC 1986 Functional properties of surimi. *Food Technol* 40:107-114.
- Lee CM 1984 Surimi process technology. *Food Technol* 38:69-80.
- Lin SW, Chen TC 1989 Yields, color and compositions of washed, kneaded and heated mechanically deboned poultry meat. *J Food Sci* 54:561-563.
- Miura M, Takayanagi T, Nishimura A 1992 Cryoprotective effects of hydrogenated linear oligosaccharides on walleye pollack-surimi proteins during frozen storage. *Nippon Suisan Gakkaishi/Bull Jap Soc Sci Fish* 58:1163-1169.
- Nowsad AA, Kanoh S, Niwa E 2000 Thermal gelation properties of spent hen mince and surimi. *Poultry Sci* 79:117-125.
- Park JW, Lanier TC, Green DP 1988 Cryoprotective effects of sugar, polyols, and/or phosphates on alaska pollack surimi. *J Food Sci* 53:1-3.
- Pipatsattayanuwong S, Park JW, Morrissey MT 1995 Functional properties and shelf life of fresh surimi from pacific whiting. *J Food Sci* 60:1241-1244.
- Roser B 1991 Trehalose, a new approach to premium dried foods. *Trends in Food Science & Technology*, Elsevier Science Publishers Ltd UK, p166-169.
- SAS 1989 SAS/STAT Software for PC. User's guide. version 6.12. SAS Institute, Cary, NC, U.S.A.
- Sinnhuber RO, Yu TC 1977 The 2-thiobarbituric acid reaction, an objective measure of the oxidative deterioration occurring in fats and oils. *J Jap Soc Fish Sci* 26:259-267.
- Storey BT, Noiles BT, Thompson KA 1998 Comparison of glycerol, other polyols, trehalose, and raffinose to provide a defined cryoprotectant medium for mouse sperm cryopreservation. *Cryobiology* 37:46-58.
- Sych J, Lacroix C, Adambouniou LT, Castaigne F 1990 Cryoprotective effects of some materials on cod-surimi proteins during frozen storage. *J Food Sci* 55:1222-1227, 1263.
- Xio O, Reid DS 1996 Is trehalose a better food stabilizer than other common sugar? Annual Meeting Exposition Institute Food Technologists, New Orleans, LA(USA), 22-26 June, No 962 0199.