

초고압처리 및 결합제 첨가가 재구성 돈육의 품질특성에 미치는 효과

최예철¹ · 정경훈¹ · 천지연¹ · 최미정² · 홍근표*

건국대학교 바이오산업공학과, ¹건국대학교 축산식품생물공학과, ²건국대학교 생명자원식품공학과

Effects of High Pressure and Binding Agents on the Quality Characteristics of Restructured Pork

Ye-Chul Choi¹, Kyung-Hun Jung¹, Ji-Yeon Chun¹, Mi-Jung Choi², and Geun-Pyo Hong*

Department of Bio-Industrial Technologies, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

¹Department of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

²Department of Biomaterials and Food Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

Abstract

The objective of this study was to investigate the effect of high pressure treatment and type of binding agents on the quality characteristics of restructured pork. For binding agents, 2% (w/w) isolated soy protein (SP), 0.5% (w/w) wheat flour (WF) and 0.5% (w/w) κ -carrageenan (KC) were incorporated into meat batter with or without 0.5% (w/w) glucono- δ -lactone (GdL). The restructured pork was pressurized at varying pressure levels (0.1-450 MPa) for 3 min under ambient temperature and thermal treated at 75°C for 30 min. As quality parameters of restructured pork, pH, water binding properties, instrumental color and texture profile analysis were determined and compared with control (C, no binder). For type of binders, SP exhibited the best water binding properties, however, the impact on textural properties were lesser than KC and WF. The addition of GdL decreased the pH of restructured pork down to 0.4 unit, while high pressure processing prevented the moisture loss caused from pH decrease by GdL. In particular, meat restructuring efficiency of SP as a binder improved under the presence of GdL. Therefore, the present study demonstrated the potential advantages of low amount of GdL (0.5%, w/w) combined with protein based binder (SP) and high pressure processing in restructuring meat particles.

Key words: high pressure, binders, acidification, restructured pork, quality characteristics

서 론

재구성육 제조과정에서 첨가되는 소금은 식육의 염용성 단백질을 추출시키며 열처리과정 중 염용성 단백질의 3차원 네트워크를 형성시킴으로써 식육입자 간의 결합을 야기하는 데 필수적이다(Tuomilehto *et al.*, 2001). 반면 최근 소금의 과다섭취로 인한 고혈압 및 성인병에 대한 소비자의 관심이 증가하면 고농도의 소금이 첨가된 육제품은 구매가 제한되기 때문에 다양한 결합제의 첨가 및 물리적 처리기법을 활용하여 첨가되는 소금의 함량을 낮추기 위한 연구가 진행되고 있다. 식육의 초고압처리는 단백질의 구조적 변화를 야기하고, 이로 인해 단백질 변성 및 염용

성 단백질의 젤 형성을 촉진시키며, 초고압처리에 의해 형성된 단백질 젤은 열처리에 의한 젤에 비하여 보다 탄력이 있다고 보고되고 있다(Cheftel and Culioli, 1997; Hugas *et al.*, 2002). 따라서 초고압처리기술은 저염에 따른 육제품의 조직감 열화를 효과적으로 억제할 수 있는 기술로 기대된다.

초고압처리는 단백질의 구조에 영향을 미치는 반면, 초고압처리에 의한 단백질 변성기작은 열처리에 의한 변성기작과는 차이를 보인다. 초고압처리에 의한 단백질 변성은 물 분자의 수화에 기인하는 것으로 보고되고 있는데, 압력수준의 증가(< 500 MPa)에 따라 단백질 외부의 물 분자들이 단백질 내부에 침투되며, 그 결과 단백질 내부공간 확장에 의하여 단백질 구조가 일부 풀리는 molten globule 현상을 야기하는 것으로 알려진다(Knorr *et al.*, 2006). 압력수준이 더 증가되면(500-1,000 MPa) 단백질의 비가역적 변성이 야기되어 보수력, 유화력 및 겔 형성능력이 소실

*Corresponding author: Geun-Pyo Hong, Department of Bio-Industrial Technologies, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea. Tel: 82-2-450-3674, Fax: 82-2-455-1044, E-mail: genpro@konkuk.ac.kr

되는 현상이 나타나지만(Boonyaratanakornkit *et al.*, 2002), 일반적으로 200-400 MPa 범위에서의 초고압처리한 식육은 초고압을 처리하지 않은 대조구에 비하여 보수력이 향상되는 장점을 보이며, 따라서 초고압처리를 활용하여 육제품의 품질 향상을 기대할 수 있다(Bajovic *et al.*, 2012).

일반적으로 재구성육 제조시 식육입자들 간의 결합력을 향상시키기 위하여 다양한 결합제를 첨가하는데, 이러한 목적으로 사용되는 결합제로는 젤 형성능력이 있는 다당류가 활용될 수 있다. Hong 등(2008)은 κ -carrageenan(KC)를 첨가한 후 초고압처리한 재구성돈육의 미세구조를 관찰한 결과 KC와 염용성 단백질 간의 네트워크 형성을 통하여 효과적으로 식육입자들을 결합시킬 수 있다고 하였다. 반면 KC는 식품첨가물로서 안전성에 대한 논란이 야기되고 있으며(Cohen and Ito, 2002), 이에 따라 보다 안전성이 확보된 결합제의 선택이 요구되고 있다. 식육입자들 간의 효과적인 결합을 위하여 미생물 유래 transglutaminase 등의 효소 이용이 연구되고 있지만(Kuraish *et al.*, 1997), 이들 효소의 첨가는 보수력의 저하를 야기하는 단점이 있으며(Pietrasik *et al.*, 2007), 효소의 높은 가격으로 재구성육의 대량 생산을 위한 상업적인 활용에 제한이 있다.

따라서 저가의 비용으로 이용할 수 있는 결합제로 대두 단백질 등 식물성 단백질원을 활용할 수 있다. 반면 이들 단백질들은 주로 globulin으로 구성되어 있으며, 이들은 식염의 존재 하에서 매우 높은 구조적 안정성을 가지기 때문에 식육 간의 결합을 저해할 수 있다(Damodaran and Kinsella, 1982). 반면 Ngapo 등(1996)은 glucono- δ -lactone(GdL) 처리에 의하여 단백질 젤이 형성된다고 보고하였다. GdL은 가수분해에 의하여 느리게 pH를 저하시키는 효과가 있으며, 이러한 느린 pH 저하는 다양한 단백질을 젤화시킬 수 있음이 보고되고 있다(Ngapo *et al.*, 1996). 따라서 GdL을 단백질 결합제와 함께 사용함으로써 pH 저하에 따른 보수력 저하의 단점을 보완하며, 단백질의 젤화를 야기함으로써 식육가공품의 결합 효과를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다(Pearson and Gillett, 1996).

따라서 본 연구에서는 결합제의 종류, 초고압처리 수준 및 GdL 첨가 유무가 재구성돈육의 품질특성에 미치는 효

과를 규명하고자 수행되었다.

재료 및 방법

공시재료 및 재구성육 제조

돈육등심(*M. longissimusdorsi*) 부위는 도살된 지 24시간 이내의 냉동하지 않은 것을 화양동 소재 정육점에서 구입하여 사용하였다. 구입된 돈육은 결체조직을 제거한 후 3 mm 직경의 민서기(M-12S, Hankook Fujee Industries Co. Ltd., Korea)로 분쇄한 후 0.5%(w/w) NaCl과 0.3%(w/w) sodium tripolyphosphate를 첨가하여 10분간 혼합하였다. 결합제로는 대조구(결착제 무첨가, C), 0.5%(w/w) κ -carrageenan(KC), 2%(w/w) 탈지대두단백질(soy protein isolate, SP) 및 0.5%(w/w) 밀가루(wheat flour, WF)를 첨가하였다. 또한 모든 처리구는 이분되어 한편에는 0.5%(w/w) glucono- δ -lactone(GdL)를 첨가하였다. 모든 처리구는 직경 4.5 cm의 fibrous 케이싱에 약 150 g을 충전하였고 polyethylene bag으로 진공포장하여 4°C 냉장고에 30시간 저장하였다(Table 1).

초고압 및 열처리

가압처리는 상업용 초고압장비(SQF-215L, AVURE-Technologies, Sweden)를 이용하여 수행하였다. 가압장비는 pressure vessel, 압력증폭기 및 온도/압력계측기로 구성되었고, 가압유체로는 물이 사용되었으며 가압처리는 0.1 MPa(대기압), 300 MPa, 400 MPa 및 450 MPa에서 3분 간 수행되었다. 이후 모든 재구성돈육은 75°C 항온수조에서 30분간 가열처리를 실시하였으며, 냉수에서 30분간 냉각한 후 분석에 사용되었다.

보수력

보수력은 Pietrasik와 Shand(2004)의 방법을 일부 변형하여 3회 반복 측정되었다. 약 1 g의 시료(W_1)를 건조된 거즈를 넣어둔 원심분리관에 넣고 4°C로 조절된 원심분리기(1736R, LABOGENE, Korea)를 이용하여 1,500 g에서 10분간 원심분리하였다. 원심분리 후, 시료를 제거한 후 원심분

Table 1. Formulation and experimental design of the study

Ingredient ^a (g/150 g)	GdL (-)				GdL (+)			
	C	KC	WF	SP	C	KC	WF	SP
Pork loin	145	145	145	145	145	145	145	145
Added water	3.80	3.05	3.05	0.80	3.05	2.30	2.30	0.05
NaCl	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
STPP	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
GdL	-	-	-	-	0.75	0.75	0.75	0.75
KC	-	0.75	-	-	-	0.75	-	-
WF	-	-	0.75	-	-	-	0.75	-
SP	-	-	-	3.00	-	-	-	3

^aSTPP, sodium tripolyphosphate; GdL, glucono- δ -lactone; KC, κ -carrageenan; WF, wheat flour; SP, soy protein.

리관의 건조 전(W_2)과 후(W_3)의 무게를 측정하여 다음의 공식으로 나타내었다.

pH 측정

시료 5 g에 증류수 20 mL를 혼합하여 균질기(SMT process Homogenizer, SMT Co.Ltd., Japan)를 사용하여 14,000 rpm에서 1분 간 균질 후 pH-meter(pH 440, UK)로 측정하였다.

색도측정

시료를 1 cm 높이의 원통형으로 절단한 후 color reader (CR-10, Korea Minolta Sensing Inc., Japan)를 사용하여 명도(lightness)를 나타내는 CIE L*-값, 적색도(redness)를 나타내는 CIE a*-값과 황색도(yellowness)를 나타내는 CIE b*-값을 3회 반복 측정하였다. 이때 표준색은 CIE L*-값이 77.1, CIE a*-값이 +2.2, CIE b*-값이 +2.2인 calibration plate를 표준으로 사용하였다.

조직감

제조된 재구성육을 직경이 4.5 cm 및 높이 2 cm로 성형한 후 Texture analyzer(CT3 Texture Analyzer, BROOK-FIFLD, USA)를 사용하여 조직감을 측정하였다. Probe로는 TA43 sphere 25.4 mm D(BROOKFIFLD, USA)를 장착하여 사용하였고 target value 10 mm, trigger Load 20 g, test speed 0.50 mm/s, target type은 distance로 2 cycle로 측정하였다. 처리구당 3회 반복 측정하였다.

통계분석

본 실험은 압력증가와 결합제 및 GdL이 병행하여 첨가되거나 처리되었을 때 재구성육의 결합 강도에 미치는 효과를 규명하고자 실시되었다. 각 측정치의 결과 분석은 SAS(Statistics Analytical System, USA) 프로그램(Ver. 9.3)을 사용하여 Duncan의 Multiple range test에 의하여 평균

치 간의 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

pH

초고압수준 및 결합제의 종류가 재구성 돈육의 pH에 미치는 효과를 Table 2에 나타내었다. 결합제의 첨가는 재구성돈육의 pH를 유의적으로 증가시키는 결과를 나타내었고, 특히 WF 처리구에서 가장 높은 pH 증가를 보인 반면, KC 처리구는 결합제 처리구 가운데 pH 증가 수준이 가장 낮았다($p < 0.05$). 결합제의 종류에 따른 pH의 변화는 결합제 자체의 pH에 기인한 것으로 판단되며, 따라서 결합제 첨가에 의한 재구성돈육의 pH 변화는 GdL 첨가 후에도 동일한 경향을 유지하였다. 모든 처리구는 GdL 첨가에 의하여 pH가 약 0.4 unit 감소하는 결과를 보였다($p < 0.05$). 이는 이전 연구문헌에서도 유사하게 관찰되는데, GdL의 가수분해에 의해 형성된 gluconic acid에 기인한 것으로 보고되고 있다(Ngapo *et al.*, 1996). 초고압수준이 재구성돈육의 pH에 미치는 효과는 GdL 첨가 여부에 따라 다소 상이한 결과를 야기하였다. GdL을 첨가하지 않은 재구성돈육에서는 일반적으로 압력 수준의 증가에 따라 pH가 상승하는 경향을 보인 반면, GdL이 첨가된 재구성돈육에서는 300 MPa 이상으로 압력 수준을 증가시킨 경우 pH가 다소 감소하는 경향을 보였다. 일반적으로 초고압처리되는 단백질의 구조적 변화를 야기시키며, 이에 따라 일부 염기그룹의 노출을 야기함으로써 pH를 다소 증가시키는 것으로 보고되고 있다(Knorr *et al.*, 2006). 반면 GdL 첨가구에 있어서 가압 수준의 증가에 따른 pH 감소는 가압수준에 따른 온도변화 및 GdL의 가수분해 정도에 기인한 것으로 사료된다. 본 연구에서 초고압처리는 11°C의 물을 이용하여 처리되었고, 가압과정에서 발생하는 단열생성에 따라 최대온도 증가는 300, 400 및 450 MPa에서 각각 17°C, 21°C 및 24°C로 관찰되었다. 따라서 높은 처리

Table 2. Effect of pressure levels on the pH of restructured pork prepared with carrageenan (KC), wheat flour (WF) and soy protein (SP) with and without glucono- δ -lactone (GdL)

Pressure (MPa)	C	Binders			
		KC	WF	SP	
GdL (-)	0.1	6.25±0.01 ^{D,b}	6.31±0.03 ^{C,c}	6.44±0.03 ^{A,b}	6.39±0.02 ^{B,c}
	300	6.20±0.01 ^{D,d}	6.36±0.02 ^{B,a}	6.48±0.02 ^{C,a}	6.35±0.01 ^{A,d}
	400	6.24±0.02 ^{C,c}	6.36±0.01 ^{B,a}	6.45±0.01 ^{A,b}	6.45±0.02 ^{A,a}
	450	6.30±0.02 ^{D,a}	6.33±0.01 ^{C,b}	6.45±0.02 ^{A,b}	6.43±0.01 ^{B,b}
GdL (+)	0.1	5.84±0.01 ^{D,f}	5.95±0.02 ^{C,e}	6.05±0.00 ^{A,e}	5.99±0.02 ^{B,i}
	300	5.86±0.02 ^{D,e}	5.98±0.02 ^{D,d}	6.15±0.02 ^{A,c}	6.10±0.01 ^{B,e}
	400	5.86±0.01 ^{C,e}	5.86±0.01 ^{C,f}	6.09±0.01 ^{A,d}	6.04±0.02 ^{B,g}
	450	5.86±0.02 ^{C,e}	5.84±0.02 ^{D,g}	6.04±0.01 ^{B,e}	6.09±0.00 ^{A,f}

Mean±standard deviation (n=3 of each duplicated determinations).

^{A-D}Means with different superscripts within same row are significantly different ($p < 0.05$).

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

온도는 GdL 가수분해 속도에 영향을 미칠 수 있으며 또한 Schwertfeger와 Buchheim(1999)은 초고압처리 하에서 GdL의 가수분해 경향을 비교한 결과 압력의 수준이 증가할수록 GdL이 현저하게 가수분해되어 낮은 최종 pH를 야기한다고 하였다. 이상의 결과에 의하면 300 MPa의 초고압처리하는 식육의 pH 증가에 따른 GdL 첨가구의 pH를 다소 증가시킨 반면, 압력수준을 더 높임에 따른 온도 증가 및 GdL의 가수분해 능력에 따라 300 MPa 이상에서는 pH가 감소하는 경향을 보인 것으로 판단되었다.

보수력

GdL을 첨가하지 않은 재구성육은 결합제를 첨가하였을 때 대조구에 비하여 pH값이 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었고($p < 0.05$), SP 처리구에서 가장 높은 보수력을 보였다(Table 3). 이상의 결과는 첨가된 결합제의 함량 차이에서 기인한 것으로 판단되는데, SP 처리구는 KC나 WF 처리구에 비하여 높은 함량이 첨가되었고 따라서 SP 처리구의 보수력이 가장 높은 것으로 사료된다. 초고압처리 수준에 따른 재구성육의 보수력 변화는 대기압 처리구(0.1 MPa)와 유의적인 차이가 관찰되지 않았다. 이상의 결과는 기존의 연구문헌과는 다소 차이를 보이는데, Macfarlane(1985)에 의하면 초고압처리에 의한 electrostriction은 단백질 내부 혹은 단백질 간의 정전기적 인력을 억제시키며, 이는 압력의 방출에 따라 인력을 재형성할 수 있는 가능성을 감소시킴으로써 식육의 보수력을 향상시킨다고 하였다. 반면에 초고압처리에 의한 단백질의 기능성 향상은 단백질 내부로의 수화현상과 밀접한 관련이 있는데, 압력수준이 높은 경우 수화현상은 단백질의 비가역적 unfolding을 야기함으로써 기능성을 상실시키는 것으로 보고되고 있다(Boonyaratanakornkit *et al.*, 2002).

GdL 첨가는 재구성돈육의 보수력에 영향을 미치지 않았으며, 압력수준의 증가에 따라 큰 변화도를 보이지 않았다. Hong 등(2006)은 재구성돈육 제조 시 소량의 NaCl 존재 하에서 0.5% GdL 첨가는 pH를 유의적으로 감소시킨 반면

보수력 감소는 관찰되지 않는다고 하여 본 연구와 일치함을 보였다. GdL 첨가에 의한 pH 저하는 재구성돈육의 보수력에 악영향을 미칠 것으로 예상되었지만, 느린 pH 저하에 따른 효과적인 근원섬유 단백질 젤이 형성됨으로써 수분손실을 억제하는 것으로 판단되었다(Ngapo *et al.*, 1996). 이러한 보수력 저하 억제효과는 초고압처리 하에서도 유지됨으로써 GdL을 첨가하여 제조한 재구성돈육은 압력의 증가와 더불어 pH 감소를 보였지만 보수력에서는 큰 변화가 관찰되지 않은 것으로 사료되었다. 이상의 결과에 의하면 소량의 GdL 첨가는 재구성돈육의 보수력 저하에 영향을 미치지 않으며, 또한 초고압처리에 의하여 제품 내부에 형성된 단백질 3차원 네트워크는 처리과정에서 발생하는 육즙 또는 수분손실을 효과적으로 억제할 수 있으리라 기대된다.

육색

재구성 돈육의 밝기는 KC와 WF 처리구에서 대조구보다 높았으며, SP 처리구는 낮았다($p < 0.05$) (Table 4). KC와 WF는 SP에 비하여 용해성이 좋으며, 따라서 효과적으로 물에 용해됨으로써 고기 입자들과 혼합이 용이하게 이루어졌고, 그 결과 밝은 색도를 띤 것으로 판단된다. 또한 SP는 자체의 색도가 재구성육에 영향을 미친 것으로 사료되었다. 모든 처리구의 명도는 압력수준의 증가와 더불어 증가하는 경향을 보였으며, 특히 압력수준 증가에 따른 SP 처리구의 명도 증가가 매우 현저하게 관찰되었다($p < 0.05$). GdL 첨가 또한 처리구의 명도를 유의적으로 증가시킨 반면($p < 0.05$), 300 MPa 이상의 초고압처리에서는 GdL에 의한 유의적인 색도 변화가 관찰되지 않았다. 일반적으로 식육제품의 명도는 근원섬유 단백질과 myoglobin의 물리화학적 상태가 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Young and West, 2005). 초고압처리에 의한 육색변화에 있어서 300 MPa 이상의 압력수준에서는 이들 단백질이 비가역적 변성을 야기하며, 그 결과 식육의 명도는 크게 상승하는 반면, 그 이상의 압력수준에서는 명도의 증가가 현저하지 않은 것으로 보고되

Table 3. Effect of pressure levels on the water holding capacity of restructured pork prepared with carrageenan (KC), wheat flour (WF) and soy protein (SP) with and without glucono- δ -lactone (GdL)

Pressure(MPa)	C	Binders			
		KC	WF	SP	
GdL (-)	0.1	79.6 \pm 6.40 ^C	84.4 \pm 1.60 ^{AB}	82.9 \pm 1.15 ^{AB}	86.0 \pm 3.29 ^A
	300	83.1 \pm 3.22 ^C	87.3 \pm 4.33 ^A	81.2 \pm 3.94 ^B	82.5 \pm 3.51 ^{AB}
	400	78.5 \pm 0.73 ^C	85.4 \pm 2.61 ^A	82.9 \pm 2.48 ^{AB}	81.2 \pm 3.39 ^{AB}
	450	81.9 \pm 1.53 ^C	84.1 \pm 2.68 ^A	81.5 \pm 1.41 ^{AB}	86.1 \pm 2.4 ^A
GdL (+)	0.1	82.7 \pm 3.10 ^C	81.5 \pm 4.05 ^B	80.3 \pm 2.01 ^B	82.4 \pm 2.49 ^{AB}
	300	82.2 \pm 1.25 ^C	80.7 \pm 3.41 ^B	80.7 \pm 2.89 ^B	80.5 \pm 3.60 ^B
	400	80.1 \pm 1.78 ^C	79.7 \pm 2.79 ^B	84.2 \pm 1.55 ^{AB}	81.1 \pm 4.46 ^{AB}
	450	81.2 \pm 1.53 ^C	82.6 \pm 0.61 ^A	82.6 \pm 2.92 ^A	76.7 \pm 5.32 ^B

Mean \pm standard deviation (n=3 of each triplicated determinations).

^{A-C}Means with different superscripts within same row are significantly different ($p < 0.05$).

Table 4. Effect of pressure levels on the CIE color values of restructured pork prepared with carrageenan (KC), wheat flour (WF) and soy protein (SP) with and without glucono- δ -lactone (GdL)

Pressure (MPa)	C	Binders			
		KC	WF	SP	
<i>L*</i> -value					
GdL (-)	0.1	50.5±1.27 ^{B,e}	58.8±0.3 ^{A,bc}	57.5±1.56 ^{AB,d}	46.1±0.55 ^{C,f}
	300	56.6±0.67 ^{C,cd}	57.9±0.38 ^{B,c}	59.5±0.50 ^{A,cd}	54.0±0.92 ^{D,d}
	400	57.6±0.40 ^{B,bc}	61.9±3.87 ^{A,a}	58.2±0.78 ^{AB,d}	57.8±0.68 ^{B,c}
	450	58.8±1.93 ^{B,ab}	61.4±0.86 ^{A,a}	59.9±0.23 ^{AB,bcd}	60.1±1.25 ^{AB,b}
GdL (+)	0.1	54.8±0.91 ^{B,b}	58.1±0.30 ^{A,c}	57.2±0.53 ^{A,d}	51.7±0.26 ^{C,e}
	300	59.0±0.15 ^{B,ab}	59.4±0.36 ^{B,bc}	61.4±1.36 ^{A,abc}	54.7±0.45 ^{C,d}
	400	59.0±0.38 ^{B,ab}	60.4±0.92 ^{B,bc}	62.4±1.19 ^{A,ab}	62.0±0.40 ^{A,a}
	450	60.0±1.61 ^{B,a}	60.6±0.15 ^{B,bc}	62.7±0.95 ^{A,a}	60.4±0.21 ^{B,b}
<i>a*</i> -value					
GdL (-)	0.1	12.9±0.72 ^{A,abc}	11.5±0.35 ^{B,de}	13.1±0.55 ^{A,abc}	12.2±0.40 ^{AB,de}
	300	13.1±0.32 ^{B,a}	12.2±0.10 ^{C,bc}	13.9±0.21 ^{A,a}	14.2±0.55 ^{A,a}
	400	12.9±0.53 ^{A,ab}	11.9±0.21 ^{BC,bcde}	13.0±0.10 ^{A,bc}	13.6±0.60 ^{A,ab}
	450	12.0±0.35 ^{BC,de}	12.1±0.55 ^{B,bcd}	12.1±0.10 ^{B,de}	13.2±0.21 ^{A,bc}
GdL (+)	0.1	12.3±0.30 ^{B,bcde}	13.7±0.40 ^{A,a}	13.4±0.66 ^{A,ab}	13.9±0.15 ^{A,abc}
	300	12.6±0.15 ^{bcde}	12.4±0.50 ^b	12.5±0.17 ^{cd}	13.0±0.20 ^{C,cd}
	400	12.1±0.06 ^{cde}	11.3±0.69 ^e	12.0±0.36 ^{de}	11.7±0.06 ^{cde}
	450	11.7±0.35 ^e	11.5±0.15 ^{cde}	11.5±0.26 ^e	11.3±0.15 ^{de}
<i>b*</i> -value					
GdL (-)	0.1	13.7±0.38 ^{BC,d}	14.5±0.46 ^{AB,bc}	14.9±0.21 ^{A,bc}	13.0±0.81 ^{C,c}
	300	15.1±0.15 ^c	14.2±0.10 ^c	15.2±0.26 ^{abc}	14.7±1.29 ^a
	400	16.1±0.31 ^{A,ab}	15.5±0.49 ^{A,ba}	14.7±0.15 ^{B,c}	15.3±0.45 ^{AB,a}
	450	15.6±0.70 ^{A,bc}	15.4±0.60 ^{A,a}	14.0±0.10 ^{B,d}	15.2±0.40 ^{A,a}
GdL (+)	0.1	14.3±0.25 ^{B,d}	14.9±0.30 ^{A,ab}	15.3±0.26 ^{A,abc}	13.4±0.12 ^{C,bc}
	300	15.7±0.21 ^{A,abc}	15.2±0.30 ^{A,a}	15.6±0.26 ^{A,ab}	14.3±0.46 ^{B,ab}
	400	16.3±0.10 ^{A,a}	14.5±0.26 ^{C,bc}	15.7±0.70 ^{AB,a}	15.1±0.31 ^{BC,a}
	450	15.9±0.45 ^{A,ab}	15.0±0.10 ^{B,ab}	15.6±0.12 ^{A,ab}	15.0±0.00 ^{B,a}

Mean±standard deviation (n=3 of each determined four times).

^{A-D}Means with different superscripts within same row are significantly different ($p<0.05$).

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

고 있다(Cheftel and Culioli, 1997). 반면 본 연구에서 모든 재구성돈육은 열처리를 실시하였으며, 따라서 열처리 후 관찰되는 처리구간의 명도 차이는 열처리 자체가 완전한 단백질 변성을 야기하지 못함으로써 야기되는 차이인 것으로 판단되며, 그외적으로 결착제 자체의 색도 및 이들에 의한 보수력 등이 영향을 미친 것으로 사료된다.

재구성돈육의 KC 처리구에서 대조구보다 유의적으로 낮은 적색도를 보인 반면($p<0.05$), WF와 SP 처리구는 대조구와 유의적인 차이를 보이지 않았다. 각 처리구별 적색도는 300 MPa에서 가장 값을 보였고, 이후 압력수준의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다($p<0.05$). 이러한 경향은 GdL이 첨가된 재구성돈육에서도 유사하게 관찰되었지만, 0.1 MPa과 300 MPa 처리구간의 적색도는 유의적인 차이가 인정되지 않았다. Jung 등(2003)은 환원 활성의 증가에 따라 350 MPa의 가압처리는 식육의 적색도를 향상시키는 반면, 그 이상의 압력수준에서는 식육 단백질 변성에 기인하여 적색도가 감소한다고 하였다. 이러한 경향은

열처리 후에도 일부 유사한 결과를 보이는 것으로 보고되었는데, 이는 열처리에 의해 일부 단백질(특히 myoglobin)은 일부 변성하지 않은 상태로 존재하며, 이들의 화학적 상태가 제품의 적색도에 영향을 미치지 때문인 것으로 판단된다(Osborn *et al.*, 2003).

재구성돈육의 황색도는 KC 및 WF 처리구에서 대조구보다 높게 관찰되었고($p<0.05$), SP 처리구는 대조구와 유의적인 차이를 보이지 않았다. 반면 초고압수준 및 GdL 첨가 여부에 따른 처리구간의 황색도 차이는 인정되지 않았다. 이는 열처리에 의하여 대부분의 처리구간의 황색도 차이가 상쇄된 데 기인한 것으로 판단된다.

조직감

결착제의 종류, 초고압수준 및 GdL 첨가가 재구성돈육의 조직감에 미치는 효과를 Table 5에 나타내었다. 경도(hardness)에 있어서 결착제의 첨가는 제품의 경도를 유의적으로 증가시켰으며($p<0.05$), 특히 WF 처리구의 경도가

Table 5. Effect of pressure levels on the texture profiles of restructured pork prepared with carrageenan (KC), wheat flour (WF) and soy protein (SP) with and without glucono- δ -lactone (GdL)

Pressure (MPa)	C	Binders			
		KC	WF	SP	
<i>Hardness (kg)</i>					
GdL (-)	0.1	2.55±0.10 ^{B,de}	3.62±0.77 ^{B,d}	6.18±0.62 ^{A,a}	3.45±0.32 ^{B,e}
	300	2.25±0.31 ^{C,e}	7.03±0.69 ^{A,ab}	5.44±0.74 ^{BC,a}	2.38±0.19 ^{C,g}
	400	4.52±0.13 ^{C,abc}	6.04±0.48 ^{A,bc}	5.42±0.43 ^{A,ba}	4.87±0.11 ^{B,d}
	450	3.77±0.62 ^{C,bc}	6.82±0.38 ^{A,ab}	5.92±0.89 ^{A,ba}	5.59±0.19 ^{B,c}
GdL (+)	0.1	3.47±0.27 ^{B,cd}	5.61±0.59 ^{A,c}	3.31±0.26 ^{BC,b}	2.94±0.11 ^{C,f}
	300	4.58±0.79 ^{B,abc}	5.65±0.13 ^{A,c}	6.14±0.38 ^{A,a}	3.37±0.56 ^{C,e}
	400	4.91.33±0.88 ^{B,ab}	7.38±0.56 ^{A,a}	6.45±0.38 ^{A,a}	6.80±0.31 ^{A,b}
	450	5.07.33±0.63 ^{C,a}	6.92±0.31 ^{B,ab}	5.64±0.15 ^{C,a}	7.91±0.11 ^{A,a}
<i>Cohesiveness</i>					
GdL (-)	0.1	0.31±0.36 ^B	0.57±0.01 ^{A,ab}	0.57±0.02 ^{A,abc}	0.64±0.03 ^{A,ab}
	300	0.53±0.01 ^C	0.57±0.02 ^{B,ab}	0.58±0.01 ^{B,ab}	0.69±0.02 ^{A,a}
	400	0.52±0.00	0.55±0.02 ^{bc}	0.53±0.02 ^{bc}	0.57±0.03 ^c
	450	0.51±0.08 ^B	0.52±0.02 ^{B,cb}	0.55±0.03 ^{AB,bc}	0.64±0.07 ^{A,ab}
GdL (+)	0.1	0.52±0.02 ^C	0.58±0.01 ^{B,a}	0.54±0.02 ^{C,bc}	0.69±0.03 ^{A,a}
	300	0.55±0.01 ^{CD,a}	0.56±0.01 ^{CD,ab}	0.51±0.02 ^{E,c}	0.64±0.02 ^{B,ab}
	400	0.49±0.00 ^B	0.51±0.02 ^{B,d}	0.61±0.08 ^{A,a}	0.63±0.04 ^{A,abc}
	450	0.52±0.01 ^C	0.56±0.01 ^{B,ab}	0.53±0.00 ^{CB,bc}	0.59±0.03 ^{A,bc}
<i>Springiness (mm)</i>					
GdL (-)	0.1	6.76±0.08 ^{B,a}	6.79±0.18 ^{B,b}	7.42±0.33 ^{A,a}	7.65±0.08 ^A
	300	6.03±0.40 ^c	7.64±0.29 ^a	7.50±0.40 ^a	5.53±4.13
	400	6.56±0.0 ^{C,ab}	7.59±0.22 ^{A,a}	7.10±0.10 ^{B,a}	7.45±0.22 ^{AB}
	450	6.80±0.08 ^{B,a}	7.20±0.42 ^{B,ab}	7.16±0.20 ^{B,a}	7.89±0.43 ^A
GdL (+)	0.1	6.19±0.12 ^{D,bc}	7.60±0.13 ^{B,a}	6.57±0.13 ^{C,b}	7.82±0.06 ^A
	300	6.27±0.29 ^{B,bc}	7.28±0.39 ^{A,b}	6.59±0.06 ^{B,b}	7.27±0.19 ^A
	400	6.32±0.22 ^{D,bc}	6.77±0.09 ^{C,b}	7.26±0.21 ^{B,a}	7.59±0.11 ^A
	450	6.26±0.16 ^{C,bc}	7.52±0.21 ^{A,a}	7.19±0.02 ^{B,a}	7.53±0.19 ^A

Mean±standard deviation (n=3 of each determined four times)

^{A-D}Means with different superscripts within same row are significantly different ($p<0.05$).

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

6.2 kg으로 가장 높은 경도를 보였다(Fig. 3A). WF를 제외한 모든 처리구는 압력수준의 증가와 더불어 경도가 증가하는 경향을 보였으며($p<0.05$), 특히 KC 처리구에서 300 MPa 초고압처리 후 7.4 kg의 가장 높은 경도값이 관찰되었다. KC 첨가 및 초고압처리에 의한 비열처리 재구성돈육의 조직 형성은 선행연구에서도 동일하게 관찰되고 있는데, KC는 초고압처리 하에서 식육의 결착을 향상시킬 수 있는 효과적인 결착제로 평가되고 있다(Hong *et al.*, 2008). 반면 WF 처리구는 압력수준에 따른 경도 변화를 보이지 않았다. 따라서 압력수준의 증가에 따른 대조구의 경도 증가와 비교할 때, WF의 첨가는 재구성돈육의 결착을 다소 저해하는 효과가 있는 것으로 사료되었다. 대조구와 SP 처리구에서 GdL 첨가에 따른 경도변화는 관찰되지 않은 반면, KC 처리구는 GdL 첨가에 의하여 경도가 유의적으로 증가한 데 반하여, WF 처리구에서는 큰 감소를 야기하였다($p<0.05$). 반면에 압력수준의 증가와 더불어 GdL을 첨가한 모든 재구성돈육의 경도는 유의적인 증가를 보

였다($p<0.05$). GdL과 KC의 첨가에 따른 재구성돈육의 결착력 증가는 이전 연구문헌에서도 동일하게 관찰되는데, 이는 GdL에 의한 근원섬유 단백질이 KC와 3차원 네트워크를 형성하는 데 기인하는 것으로 보고되고 있다(Hong *et al.*, 2008). 반면 GdL 첨가에 의한 WF 처리구의 결착력 저하는 WF에 의한 근원섬유 단백질의 젤화 방해기작에 기인한 것으로 판단된다. 일반적으로 WF는 탄수화물(~72%), 특히 전분으로 구성되어 있으며, Simonin 등(2011)은 초고압처리에 의하여 전분호화가 야기될 수 있는 압력수준은 500 MPa이라고 보고하였다. 따라서 본 연구에서 적용한 압력수준은(~450 MPa, 3 min)에서는 전분호화에 충분하지 않은 데 기인한 것으로 판단된다. 또한 WF 구성 단백질인 glutelin과 gliadin은 전체 조성의 약 11%를 차지하며, 이들은 물에 녹지 않는 특성에 기인하여 전반적으로 초고압처리에 따른 식육입자들 간의 결착에 참여하지 못하고 일부 방해효과를 야기한 것으로 사료된다(Micard and Guilbert, 2000). 반면에 GdL에 의한 pH 저하는 WF를 구성하는 단

백질의 용해도를 증가시킬 뿐 아니라 초고압 하에서 전분의 호화를 효과적으로 야기함으로써 KC와 유사한 결합능력을 보인 것으로 판단된다(Micard and Guilbert, 2000; Simonin *et al.*, 2011).

재구성돈육의 응집성(cohesiveness)은 결합제 처리구에서 대조구보다 유의적으로 높았지만, GdL 첨가에 의한 응집성의 증가는 대조구에서 현저하게 관찰되었고, SP 처리구에서는 일부 증가하는 경향을 보인 반면($p < 0.05$), KC와 WF 처리구에서는 GdL 첨가에 따른 응집성 변화가 관찰되지 않았다. 가압처리에 있어서 재구성돈육의 응집성은 대조구의 경우 300 MPa 이상에서 유의적으로 증가한 데 비하여($p < 0.05$), 전반적으로 결합제 처리구는 압력수준에 따른 응집력의 차이를 보이지 않았고, 이러한 경향은 GdL 첨가 후에도 유사하였다.

재구성돈육의 탄력성(springiness)은 WF 및 SP 처리구에서 대조구보다 유의적으로 높았고($p < 0.05$), KC 처리구에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 압력수준을 증가시켰을 때, 대조구와 KC 처리구의 탄력성은 유의적인 증가를 보인 반면($p < 0.05$), WF와 SP 처리구는 압력수준에 따른 탄력성의 차이를 보이지 않았다. 반면 GdL 첨가는 대조구와 WF 처리구의 탄력성을 저하시킨 반면, KC와 SP 처리구에서는 탄력성의 증가를 보였다. 이들 GdL 첨가구는 모든 처리구에서 압력수준의 증가에 따라 탄력성이 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$).

따라서 본 연구결과, 단백질 계열의 SP를 식육결착제로 이용하는 경우 제품의 물성학적 특성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대되며, 이러한 물성학적 특성을 향상시키기 위하여 GdL 및 초고압처리의 이용은 향후 재구성식육 제품을 제조하는 데 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대되었다.

요 약

본 연구에서는 식육의 재구성에 첨가되는 식염의 함량을 줄인 저염 재구성육 제품을 제조하기 위하여 다양한 결합제의 활용, GdL 첨가 및 초고압처리 수준에 따른 재구성돈육의 품질 특성을 조사하였다. 본 연구에서 첨가된 0.5% GdL 수준은 제품의 pH를 유의적으로 감소시키며, GdL 자체 혹은 초고압처리에 의한 식육단백질의 젤 형성에 기인하여 효과적으로 pH 저하에 따른 보수력 감소를 억제할 수 있었다. 또한 첨가된 결합제에 의한 부가적인 보수력 및 조직감 향상을 얻을 수 있었다. 따라서 본 연구결과 초고압처리 및 GdL을 조합 사용함으로써 식육 재구성에 요구되는 식염의 함량을 0.5%까지 저감시킬 수 있었으며, 다양한 식물성 단백질을 활용한 식육 재구성이 가능할 것으로 기대되었다.

감사의 글

이 논문은 건국대학교 SMART 연구전임 프로그램에 의해 수행된 과제이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Bajovic, B., Bolmar, T., and Heinz, V. (2012) Quality considerations with high pressure processing of fresh and value added meat products. *Meat Sci.* **92**, 280-289.
- Boonyaratanakornkit, B. B., Park, C. B., and Clark, D. S. (2002) Pressure effects on intra- and intermolecular interactions within proteins. *Biochim. Biophys. Acta* **1595**, 235-249.
- Cheftel, J. C., and Culioli, J. (1997). Effects of high pressure on meat: A review. *Meat Sci.* **46**, 211-236.
- Cohen, S. M. and Ito, N. (2002) A critical review of the toxicological effects of carrageenan and processed eucheuma seaweed on the gastrointestinal tract. *Crit. Rev. Toxicol.* **32**, 413-444.
- Damodaran, S. and Kinsella, J. E. (1982) Effect of conglycinin on the thermal aggregation of glycinin. *J. Agric. Food Chem.* **30**, 812-817.
- Hong, G. P., Min, S. G., Ko, S. H., and Choi, M. J. (2008) Effect of high pressure treatments combined with various levels of κ -carrageenan on cold-set binding in restructured pork. *Int. J. Food Sci. Technol.* **43**, 1484-1491.
- Hong, G. P., Park, S. H., Kim, J. Y., Ko, S. H., and Min, S. G. (2006) Effects of salt, glucono- δ -lactone and high pressure treatment on physico-chemical properties of restructured pork. *Korean J. Food Sci. An.* **26**, 204-211.
- Hugas, M., Garriga, M., and Monfort, J. M. (2002) New mild technologies in meat processing; High pressure as a model technology. *Meat Sci.* **62**, 359-371.
- Jung, S., Choul, M., and de Lamballerie-Anton, M. (2003) Influence of high pressure on the color and microbial quality of beef meat. *LWT - Food Sci. Technol.* **36**, 215-220.
- Knorr, D., Heinz, V., and Buckow, R. (2006) High pressure application for food biopolymers. *Biochim. Biophys. Acta* **1764**, 619-631.
- Kuraish, C., Sakamoto, J., Yamazaki, K., Susa, Y., Kuhara, C., and Soeda, T. (1997) Production of restructured meat using microbial transglutaminase without salt or cooking. *J. Food Sci.* **62**, 488-490.
- Macfarlane, J. J. (1985) High pressure technology and meat quality. In: *Developments in meat science*. Lawrie, R. (ed) Elsevier, NY, Vol. 3, pp. 155-184.
- Micard, V. and Guilbert, S. (2000) Thermal behavior of native and hydrophobized wheat gluten, gliadin and glutenin-rich fractions by modulated DSC. *Int. J. Biol. Macromol.* **27**, 229-236.
- Ngapo, T. M., Wilkinson, B. H. P., and Chong, R. (1996) 1,5-Glucono- δ -lactone-induced gelation of myofibrillar protein at chilled temperatures. *Meat Sci.* **42**, 3-13.
- Osborn, H. M., Brown, H., Adams, J. B., and Ledward, D. A. (2003) High temperature reduction of metmyoglobin in aque-

- ous muscle extracts. *Meat Sci.* **65**, 631-637.
16. Pearson, A. M. and Gillett, T. A. (1996) Sausage formulations. In: *Processed meats*, 3rd ed., An Aspen publication, Maryland, pp. 242-290.
 17. Pietrasik, Z., Jarmoluk, A., and Shand, P. J. (2007) Effect of non-meat proteins on hydration and textural properties of pork meat gels enhanced with microbial transglutaminase. *Lebensm. Wiss. U. Technol.* **40**, 915-920.
 18. Pietrasik, Z. and Shand, P. J. (2004) Effect of blade tenderization and tumbling time on the processing characteristics and tenderness of injected cooked roast beef. *Meat Sci.* **66**, 871-879.
 19. Schwertfeger, M. and Buchheim, W. (1999) Coagulation of skim milk under high hydrostatic pressure with acidification by glucono- δ -lactone. *Int. Dairy J.* **9**, 487-492.
 20. Simonin, H., Guyon, C., Orłowska, M., de Lamballerie, M., and Le-Bail, A. (2011) Gelatinization of waxy starches under high pressure as influenced by pH and osmolarity: Gelatinization kinetics, final structure and pasting properties. *LWT Food Sci. Technol.* **44**, 779-786.
 21. Tuomilehto J., Jousilahti, P., Rastenyte, D., Moltchanov, V., Tanskanen, A., Pietinen, P., and Nissinen, A. (2001) Urinary sodium excretion and cardiovascular mortality in Finland: A prospective study. *Lancet* **357**, 848-851.
 22. Young, O. A. and West, J. (2005) Meat color. In: *Meat science and applications*. Hui, Y. H., Nip, W. K., Rogers, R. W., and Young, O. A. (eds) Marcel Dekker, Inc., NY, pp. 39-69.

(Received 2013.6.20/Revised 2013.9.9/Accepted 2013.10.11)