

Changes in microbial and chemical properties of rough rice treated with cold plasma by storage temperatures and periods

Koan Sik Woo¹, Hae In Yong², Cheorun Jo², Seuk Ki Lee¹, Byong Won Lee¹,
Byoungkyu Lee¹, Yu-Young Lee¹, Sea-Kwan Oh¹, Hyun-Joo Kim^{1*}

¹Crop Post-harvest Technology Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 16613, Korea

²Department of Agricultural Biotechnology, Center for Food and Bioconvergence, and Research Institute for Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

저온 플라즈마 처리한 벼의 저장온도 및 기간에 따른 미생물학적 및 이화학적 특성 변화

우관식¹ · 용해인² · 조철훈² · 이석기¹ · 이병원¹ · 이병규¹ · 이유영¹ · 오세관¹ · 김현주^{1*}
¹국립식량과학원 중부작물부 수확후이용과, ²서울대학교 농생명공학부

Abstract

Cold plasma (CP) was applied to examine microbial safety and physicochemical properties of rough rice. CP was generated in a square-shaped plastic container (250 W, 15 kHz, ambient air) and dielectric barrier discharge plasma treatment was applied for periods of 0, 10, and 20 min during 2 weeks at 4 and 25°C. As a result of observing changes in growth of microorganisms, 3.46-3.86 log CFU/g of total aerobic bacteria and 2.27-2.86 log CFU/g of mold were detected in the early stage of storage. The growth of total aerobic bacteria and mold was increased depending on the storage temperature and period, but there was no big difference between cultivars. Microbial analysis after storage showed that microorganisms of plasma-treated group were less grown approximately 1.50 log CFU/g. Moisture content of rough rice was decreased by storage temperature and periods. As for the amylose content, changes in the content by plasma were not observed in Samkwang, Cheongpum and Misomi, whereas Palbangmi showed a tendency to increase. The results of this study indicated that CP treatment improved the microbial quality of rough rice, but further studies should be conducted to reduce the deterioration of sensory quality induced by CP.

Key words : rough rice, cold plasma, storage, quality

서 론

쌀은 주요 식량자원으로서 아시아를 비롯하여 전 세계적으로 주식으로 섭취하고 있으나 연간 소비량의 지속적인 감소 및 최소시장 접근물량(minimum market access, MMA)

으로 인한 수입물량 증가 등으로 쌀 재고량은 증가하고 있는 추세이다(1). 이에 따라 국내 연구진은 쌀 소비 촉진을 위하여 다양한 종류의 즉석밥을 비롯하여 국수, 음료 등과 같은 가공제품을 꾸준히 개발하고 있다(2). 따라서 소비자에게 공급되는 쌀 및 가공품이 고품질로 공급되기 위해서는 수확한 벼의 품질 상태 또한 중요한 요소라고 할 수 있다.

벼는 재배기간이 비교적 긴 반면, 수확기간이 짧기 때문에 소비자에게 안전하게 공급되기 위해서는 건조 및 저장과정이 필수적이다. 하지만 수확 후 관리 방법에 따라 품질변이가 크므로 건조, 도정, 저장, 가공 및 포장기술의 개발 및 개선이 지속적으로 요구되고 있다(1). 벼는 건조 후 사일

*Corresponding author. E-mail : tlrtod@korea.kr
Phone : 82-31-695-0614, Fax : 82-31-695-4085
Received 8 November 2017; Revised 23 November 2017;
Accepted 23 November 2017.
Copyright © The Korean Society of Food Preservation. All rights reserved.

로 또는 창고에서 장기간 정조형태로 저장하게 되는데 이때 저장 중 정조의 품질은 저장기간과 온도, 수분함량 등에 의해 크게 변화하게 된다(3). 한편 식품 및 원료의 저장기간 중 미생물 생육이 품질특성 변화에 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다. Kim 등(4)은 일반적으로 수분함량이 비교적 낮은 쌀에서도 *Bacillus cereus*를 비롯한 미생물의 생육이 가능하며 간헐적으로 식중독이 발생한다고 보고하였다. 그동안 발표된 연구결과들은 저장조건(온도, 포장재 등)에 따른 벼 또는 쌀의 이화학적 품질 특성(5)에 관련한 연구가 발표된 바 있으나, 벼의 저장조건에 따른 미생물 생육변화에 관한 연구는 미진한 실정이다.

최근 농·식품분야에서 살균기술로 플라즈마에 대한 관심이 증가하고 있다. 플라즈마는 기체보다 높은 에너지를 가지게 되었을 때 이온과 전자로 분리되면서 이들이 갖는 에너지가 서로 평형을 이루는 상태를 뜻하며, 하전입자뿐만 아니라 화학적 반응성이 큰 활성 라디칼, 자외선 등이 포함되어 있어 물리화학적 처리가 동시에 가능한 기술이다(6). 최근 다양한 방전 방식의 플라즈마를 적용하여 곡류 및 그 가공품의 미생물 저감을 위한 연구는 시도된 바 있으나(7-9), 벼의 저장성 개선을 위하여 플라즈마 시스템 적용에 관한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 생산된 벼의 저장안전성 확보를 위한 기초기반연구로 저온 플라즈마를 처리한 벼의 저장온도 및 기간에 따른 미생물 생육변화 및 일반성분 변화를 관찰하고자 하였다.

재료 및 방법

시료 준비 및 유전격벽방전 플라즈마 처리

본 연구에서 사용한 벼는 농촌진흥청 국립식량과학원에서 육성한 품종으로 밥쌀용으로 개발된 삼광, 청품 및 미소미 품종과 가공용으로 아밀로스 함량이 높고 면류에 많이 사용하고 있는 팔방미 품종을 이용하였다. 메성을 가진 4개의 품종은 경기도 수원 소재의 국립식량과학원 중부작물부(삼광, 청품, 미소미) 및 경상남도 밀양 소재의 국립식량과학원 남부작물부(팔방미) 시험용 포장에서 2016년도에 재배 및 수확한 것을 사용하였다.

저온 플라즈마 처리는 기 개발된 컨테이너형 유전격벽방전 플라즈마 시스템을 활용(10)하여 0, 10 및 20분 처리하였다. 처리가 완료된 시료는 2개월간 4°C 및 25°C에 저장하였으며, 습도는 4°C의 경우 36.2-38.2%, 25°C는 25.3-27.8%였다. 플라즈마 처리한 시료의 저장조건에 따른 미생물 분석을 위해 조곡을 사용하였으며, 그 외 품질 특성 분석을 위해 각각의 시료를 곡류 분쇄기(Hanil Co., Wonju, Korea)를 이용하여 45초 동안 분쇄한 쌀가루를 활용하였다.

미생물 분석

저장온도 및 기간에 따른 플라즈마 처리한 벼의 미생물 생육 변화를 알아보기 위하여 일반미생물 및 곰팡이 수를 측정하였다. 즉 시료 3 g에 멸균된 식염수(0.85% NaCl) 27 mL을 첨가하여 Bag mixer(Model 400, Interscience, St. Nom, France)를 사용하여 120초 동안 혼합한 후 10진 희석법으로 희석한 희석액을 total plate count agar(Difco Laboratories, Detroit, MI, USA) 및 YM agar(Difco Laboratories)를 사용하여 도말하였다. 미생물의 증식은 표준한천배양방법으로 일반호기성 미생물은 35°C에서 48시간, 곰팡이는 25°C에서 5일간 배양한 후 30-300개의 집락을 형성한 배지만 계수하여 log colony forming unit(CFU)/g으로 나타냈다.

일반성분 분석

저장온도 및 기간에 따른 플라즈마 처리한 벼의 일반성분 변화를 분석하기 위하여 수분, 지방, 단백질 함량을 AOAC 방법(11)에 의하여 측정하였다. 수분은 105°C 상압 가열건조법, 지질은 에틸에테르를 용매로 Soxhlet 추출기(Soxtec System HT 1043 extraction unit, Foss Tecator, Hoganas, Sweden)로 분석하였고, 단백질은 kjeldahl법에 근거한 자동 단백질 분석기(Kjeltec 2400 AUT, Foss Tecator, Mulgrave, Australia)로 측정하였다.

아밀로스 함량 분석

아밀로스 함량은 Juliano의 비색정량법(12)에 따라 시료 100 mg에 95% ethanol과 1 N sodium hydroxide를 가하고, 100°C에서 호화시킨 후 냉각시켰다. 호화액에 1 N acetic acid와 2% I₂-KI용액을 첨가하여 정색반응을 시킨 후 분광광도계(UV Spectrophotometer 1601, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)로 620 nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 glucose를 이용한 표준곡선에 대입하여 환산하였다.

통계분석

본 시험에서 얻어진 결과는 SPSS 12.0(Statistical Package for Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) program을 사용하여 각 실험구간의 유의성을 검증한 후 Duncan's multiple range tests에 의해 실험구간의 차이를 5% 유의수준에서 분석하였다.

결과 및 고찰

미생물 분석

플라즈마 처리한 벼의 저장온도 및 기간에 따른 일반호기성미생물 분석결과를 Table 1에 제시하였다. 저장 초기에는 벼 품종에 관계없이 3.46-3.86 log CFU/g이 검출되었다. 저장온도 및 기간에 따라 벼에 있는 일반호기성미생물의

Table 1. Total aerobic bacterial counts (log CFU/g) of rough rice treated with cold plasma by storage temperature and periods

Cultivars	Temp. (°C)	Time (min)	Storage period (week)				SEM ¹⁾
			0	2	4	8	
Samkwang	4	0	3.76 ^{ab(24)}	3.89 ^{by}	4.19 ^{bx}	4.92 ^{bw}	0.015
		10	3.61 ^{bz}	3.63 ^{dz}	3.77 ^{dy}	4.10 ^{dx}	0.021
		20	3.45 ^{cz}	3.49 ^{cz}	3.56 ^{fy}	3.81 ^{fx}	0.026
	25	0	3.76 ^{az}	4.03 ^{ay}	4.33 ^{ax}	5.34 ^{aw}	0.001
		10	3.61 ^{bz}	3.75 ^{cy}	3.89 ^{cx}	4.40 ^{cw}	0.042
		20	3.45 ^{cz}	3.59 ^{ey}	3.70 ^{ex}	3.96 ^{ew}	0.026
		SEM ¹⁾	0.012	0.018	0.031	0.033	
Cheongpum	4	0	3.77 ^{az}	3.88 ^{by}	4.21 ^{bx}	4.93 ^{bw}	0.015
		10	3.66 ^{bz}	3.67 ^{dz}	3.76 ^{dy}	4.10 ^{dx}	0.016
		20	3.52 ^{cz}	3.53 ^{ez}	3.63 ^{ey}	3.77 ^{fx}	0.033
	25	0	3.77 ^{az}	4.04 ^{ay}	4.37 ^{ax}	5.35 ^{aw}	0.016
		10	3.66 ^{bz}	3.76 ^{cy}	3.89 ^{cx}	4.44 ^{cw}	0.016
		20	3.52 ^{cz}	3.66 ^{dy}	3.75 ^{dx}	3.93 ^{ew}	0.017
		SEM	0.019	0.013	0.015	0.029	
Misomi	4	0	3.78 ^{az}	3.87 ^{by}	4.24 ^{bx}	4.94 ^{bw}	0.018
		10	3.62 ^{bz}	3.63 ^{dz}	3.76 ^{dy}	4.08 ^{dx}	0.017
		20	3.46 ^{cz}	3.47 ^{ez}	3.57 ^{fy}	3.77 ^{fx}	0.025
	25	0	3.78 ^{az}	4.03 ^{ay}	4.39 ^{ax}	5.39 ^{aw}	0.018
		10	3.62 ^{bz}	3.76 ^{cy}	3.91 ^{cx}	4.40 ^{cw}	0.023
		20	3.46 ^{cz}	3.61 ^{dy}	3.66 ^{ey}	3.90 ^{ex}	0.026
		SEM	0.022	0.021	0.020	0.023	
Palbangmi	4	0	3.86 ^{az}	3.97 ^{by}	4.28 ^{bx}	5.05 ^{bw}	0.015
		10	3.65 ^{bz}	3.66 ^{dz}	3.87 ^{dy}	4.12 ^{dx}	0.026
		20	3.46 ^{cz}	3.48 ^{ez}	3.58 ^{fy}	3.79 ^{fx}	0.029
	25	0	3.86 ^{az}	4.07 ^{ay}	4.41 ^{ax}	5.49 ^{aw}	0.010
		10	3.65 ^{bz}	3.76 ^{cy}	3.95 ^{cx}	4.44 ^{cw}	0.024
		20	3.46 ^{cz}	3.59 ^{ey}	3.70 ^{ex}	3.96 ^{ew}	0.031
		SEM	0.031	0.015	0.028	0.018	

¹⁾Standard error of the means (n=18).

²⁾Standard error of the means (n=12).

^{3)a-k}Values with different letters within the same column differ significantly (p<0.05).

^{4)w-z}Values with different letters within the same row differ significantly (p<0.05).

수가 증가하는 경향을 보였으며, 8주동안 저장하였을 때 플라즈마 처리에 의해 벼의 일반호기성미생물이 처리하지 않은 벼에 비해 1.11-1.53 log CFU/g 적게 생육된 것을 확인할 수 있었다. 플라즈마에 의한 벼의 저장온도 및 기간에 따른 곰팡이 생육변화를 분석한 결과 저장 초기에는 품종에 관계없이 2.27-2.86 log CFU/g이 검출되었다(Table 2). 저장 온도 및 기간에 따른 곰팡이 생육은 일반호기성미생물 분석 결과와 유사하였다. 8주 저장한 시료를 기준으로 하였을 때 플라즈마 처리에 의해 벼의 곰팡이가 처리하지 않은

벼에 비해 1.02-1.29 log CFU/g 적게 생육된 것을 확인할 수 있었다.

전리된 가스 상태인 플라즈마에는 전자, 양이온, 음이온, 자유 라디칼 및 자외선 광자 등을 포함한 reactive oxygen species가 존재하고 있다. 특히 reactive oxygen species에는 미생물 세포막을 통해 확산되면서 세포막의 지질과 단백질, 그리고 세포 내의 DNA와 같은 거대분자들과 반응하여 미생물 세포에 영향을 주는 것으로 보고되고 있다(13). 플라즈마에 의한 미생물 저감화 효과에 영향을 주는 요인으로

Table 2. Mold counts (log CFU/g) of rough rice treated with cold plasma by storage temperature and periods

Cultivars	Temp. (°C)	Time (min)	Storage period (week)				SEM ²⁾
			0	2	4	8	
Samkwang	4	0	2.73 ^{ab(24)}	3.12 ^{by}	3.54 ^{ax}	3.69 ^{bw}	0.026
		10	2.51 ^{bz}	2.59 ^{dy}	2.77 ^{dx}	2.88 ^{dw}	0.019
		20	2.27 ^{cz}	2.41 ^{fy}	2.53 ^{fx}	2.58 ^{fx}	0.045
	25	0	2.73 ^{az}	3.17 ^{ay}	3.32 ^{bx}	3.76 ^{aw}	0.021
		10	2.51 ^{bz}	2.76 ^{cy}	2.91 ^{cx}	2.98 ^{cw}	0.017
		20	2.27 ^{cz}	2.54 ^{ey}	2.68 ^{ex}	2.74 ^{ex}	0.051
		SEM ¹⁾	0.051	0.016	0.030	0.025	
Cheongpum	4	0	2.81 ^{az}	3.16 ^{by}	3.58 ^{ax}	3.70 ^{bw}	0.021
		10	2.54 ^{bz}	2.60 ^{dy}	2.83 ^{dx}	2.96 ^{dw}	0.019
		20	2.35 ^{cz}	2.43 ^{fy}	2.61 ^{ex}	2.68 ^{fw}	0.026
	25	0	2.81 ^{az}	3.25 ^{ay}	3.41 ^{bx}	4.04 ^{aw}	0.017
		10	2.54 ^{bz}	2.72 ^{cy}	2.92 ^{cx}	3.06 ^{cw}	0.024
		20	2.35 ^{cz}	2.52 ^{ey}	2.66 ^{ex}	2.75 ^{ew}	0.028
		SEM	0.024	0.020	0.022	0.024	
Misomi	4	0	2.80 ^{az}	3.20 ^{by}	3.53 ^{ax}	3.66 ^{bw}	0.026
		10	2.53 ^{bz}	2.62 ^{dy}	2.83 ^{dx}	2.90 ^{cw}	0.029
		20	2.35 ^{cz}	2.43 ^{fy}	2.56 ^{fx}	2.59 ^{fy}	0.042
	25	0	2.80 ^{az}	3.27 ^{ay}	3.42 ^{bx}	4.02 ^{aw}	0.019
		10	2.53 ^{bz}	2.72 ^{cy}	2.93 ^{cx}	2.98 ^{cx}	0.025
		20	2.35 ^{cz}	2.52 ^{ey}	2.64 ^{ex}	2.77 ^{dw}	0.026
		SEM	0.031	0.022	0.021	0.038	
Palbangmi	4	0	2.86 ^{az}	3.22 ^{by}	3.75 ^{ax}	3.93 ^{bw}	0.024
		10	2.64 ^{bz}	2.65 ^{cz}	2.85 ^{dy}	2.89 ^{dy}	0.027
		20	2.49 ^{cz}	2.58 ^{dy}	2.62 ^{fy}	2.67 ^{cx}	0.035
	25	0	2.86 ^{az}	3.27 ^{ay}	3.50 ^{bx}	4.12 ^{aw}	0.021
		10	2.64 ^{bz}	2.83 ^{by}	2.96 ^{cx}	3.12 ^{cw}	0.016
		20	2.49 ^{cz}	2.62 ^{dy}	2.77 ^{ex}	2.89 ^{dw}	0.034
		SEM	0.018	0.029	0.031	0.029	

¹⁾Standard error of the means (n=18).

²⁾Standard error of the means (n=12).

^{3)a-k}Values with different letters within the same column differ significantly (p<0.05).

^{4)w-z}Values with different letters within the same row differ significantly (p<0.05).

플라즈마 방전 가스, 에너지 수준, 처리 시간 등을 포함한 플라즈마 처리공정 요인과 미생물 종류, 식품 조성 및 표면 상태 등이 있다(14).

위의 결과를 종합하여 볼 때 벼의 저장온도 및 기간에 따라 미생물의 생육이 변화하는 것을 확인하였으며, 벼의 미생물학적 품질 개선을 위한 플라즈마 기술의 최적 적용 조건을 확립해야 한다고 판단된다.

Table 3. Moisture contents of rough rice treated with cold plasma by storage temperature and periods

Cultivars	Temp. (°C)	Time (min)	Storage period (week)				SEM ²⁾
			0	2	4	8	
Samkwang	4	0	10.16 ^{b3)z4)}	10.70 ^{yz}	11.57 ^{ax}	11.19 ^{xy}	0.274
		10	10.36 ^{dz}	10.66 ^y	10.63 ^{dy}	10.85 ^{by}	0.107
		20	10.29 ^{yz}	10.60 ^z	10.93 ^{cy}	11.07 ^{xy}	0.145
	25	0	10.16 ^{bz}	10.56 ^y	11.16 ^{bx}	10.47 ^{zy}	0.071
		10	10.36 ^{yz}	10.47 ^{yz}	10.51 ^{ey}	10.35 ^{cz}	0.061
		20	10.29 ^{yz}	10.60 ^y	10.91 ^{cx}	10.40 ^{cz}	0.050
	SEM ¹⁾	0.043	0.269	0.041	0.600		
Cheongpum	4	0	10.77 ^{by}	10.43 ^{zy}	11.16 ^{ax}	10.28 ^{yz}	0.149
		10	10.91 ^{xy}	10.25 ^{abz}	11.22 ^{ax}	10.15 ^{bz}	0.068
		20	10.87 ^{bx}	10.08 ^{by}	10.83 ^{bx}	9.81 ^{cz}	0.042
	25	0	10.77 ^{bx}	10.40 ^{aby}	11.18 ^{ax}	9.87 ^{cz}	0.039
		10	10.91 ^{xy}	10.25 ^{aby}	10.69 ^{cx}	9.83 ^{cz}	0.041
		20	10.87 ^{bx}	10.18 ^{aby}	10.78 ^{bx}	9.41 ^{dz}	0.051
	SEM	0.020	0.134	0.058	0.035		
Misomi	4	0	11.11 ^x	10.34 ^{yz}	10.81 ^{cy}	10.36 ^{xy}	0.252
		10	10.73 ^y	9.90 ^{bz}	10.95 ^{bx}	9.95 ^{bz}	0.065
		20	10.87 ^x	8.82 ^{dz}	10.88 ^{bcx}	9.45 ^{cy}	0.019
	25	0	11.11 ^y	9.90 ^{bz}	11.30 ^{xy}	9.48 ^{cz}	0.249
		10	10.73 ^w	8.31 ^{ez}	10.43 ^{dx}	9.37 ^{cy}	0.045
		20	10.87 ^x	8.99 ^{cz}	10.92 ^{bx}	9.12 ^{dz}	0.037
	SEM	0.285	0.048	0.031	0.069		
Palbangmi	4	0	11.83 ^{cx}	12.03 ^{bx}	11.32 ^{xy}	10.40 ^{yz}	0.177
		10	11.90 ^{bx}	12.02 ^{bw}	10.73 ^{by}	10.37 ^{yz}	0.038
		20	12.05 ^{xy}	12.08 ^{xy}	10.66 ^{bz}	10.51 ^{yz}	0.087
	25	0	11.83 ^{cx}	11.87 ^{cx}	9.66 ^{dy}	9.43 ^{cz}	0.238
		10	11.90 ^{by}	11.86 ^{cy}	9.89 ^{cz}	9.88 ^{bz}	0.065
		20	12.05 ^{aw}	11.83 ^{cx}	8.51 ^{cz}	9.77 ^{by}	0.080
	SEM	0.089	0.022	0.043	0.155		

¹⁾Standard error of the means (n=18).

²⁾Standard error of the means (n=12).

^{3)a-d}Values with different letters within the same column differ significantly (p<0.05).

^{4)w-z}Values with different letters within the same row differ significantly (p<0.05).

일반성분 분석

플라즈마 처리한 벼의 저장온도 및 기간에 따른 수분,

지방, 단백질 및 아밀로스 함량을 분석하였다. 플라즈마 처리에 의한 벼의 수분함량을 측정할 결과 저장조건에 따른 변화는 일관되지는 않았으나 팔방미를 제외한 나머지 품종의 수분함량이 감소하는 경향을 보였다(Table 3). 그리고 전체적으로 25°C에 저장한 시료가 4°C에 저장하였을 때 보다 수분함량이 적게 나타났다. 플라즈마 처리한 벼의 저장조건에 따른 지방함량 변화는 Table 4에 제시하였다. 팔방미의 경우 플라즈마 및 저장조건에 따른 지방함량 변화는 관찰되지 않았으나, 다른 품종은 플라즈마 처리에 의해 지

Table 4. Lipid contents of rough rice treated with cold plasma by storage temperature and periods

Cultivars	Temp. (°C)	Time (min)	Storage period (week)				SEM ²⁾
			0	2	4	8	
Samkwang	4	0	2.10 ^{a3)}	2.10 ^a	2.11 ^a	2.11 ^a	0.085
		10	2.11 ^a	2.14 ^a	2.11 ^a	2.11 ^a	0.081
		20	1.97 ^b	1.99 ^{ab}	1.94 ^b	1.90 ^b	0.065
	25	0	2.10 ^a	2.06 ^{ab}	2.12 ^a	2.12 ^a	0.041
		10	2.11 ^a	2.11 ^a	2.12 ^a	2.12 ^a	0.018
		20	1.97 ^{b3)4)}	1.91 ^{bz}	1.91 ^{bz}	1.95 ^{bzy}	0.026
	SEM ¹⁾	0.033	0.080	0.059	0.054		
Cheongpum	4	0	1.89 ^a	1.90 ^a	1.95 ^a	1.95 ^a	0.036
		10	1.58 ^b	1.59 ^b	1.63 ^{bc}	1.63 ^c	0.036
		20	1.71 ^b	1.71 ^{ab}	1.72 ^b	1.77 ^b	0.120
	25	0	1.89 ^a	1.89 ^a	1.90 ^a	1.94 ^a	0.041
		10	1.58 ^b	1.59 ^b	1.58 ^c	1.66 ^c	0.050
		20	1.71 ^b	1.71 ^{ab}	1.72 ^b	1.66 ^c	0.047
	SEM	0.057	0.097	0.040	0.036		
Misomi	4	0	2.21 ^a	2.26 ^a	2.22 ^a	2.27 ^a	0.044
		10	2.13 ^b	2.13 ^b	2.12 ^a	2.17 ^a	0.069
		20	1.83 ^{cz}	1.83 ^{cz}	1.81 ^{bz}	1.89 ^{by}	0.020
	25	0	2.21 ^a	2.23 ^a	2.20 ^a	2.21 ^a	0.076
		10	2.13 ^b	2.13 ^b	2.11 ^a	2.17 ^a	0.043
		20	1.83 ^{cz}	1.83 ^{cz}	1.82 ^{bz}	1.90 ^{by}	0.026
	SEM	0.032	0.043	0.050	0.070		
Palbangmi	4	0	1.81	1.85	1.84	1.83	0.093
		10	1.85	1.85	1.85	1.87	0.021
		20	1.83	1.83	1.82	1.82	0.047
	25	0	1.81	1.84	1.85	1.85	0.088
		10	1.85	1.85	1.84	1.87	0.022
		20	1.83	1.85	1.81	1.83	0.040
	SEM	0.098	0.048	0.018	0.043		

¹⁾Standard error of the means (n=18).

²⁾Standard error of the means (n=12).

^{3)a-c}Values with different letters within the same column differ significantly (p<0.05).

^{4)w-z}Values with different letters within the same row differ significantly (p<0.05).

방합량이 감소하는 경향을 보였다. 단백질 함량을 측정된 결과 4품종 모두 플라즈마 및 저장조건에 따른 변화는 일관적으로 나타나지는 않았다(Table 5). 플라즈마 처리한 벼의 저장조건에 따른 아밀로스 함량 변화를 측정된 결과(Table 6) 삼광의 경우는 유의적으로 차이는 없었으나 팔방미의 경우는 플라즈마 처리에 의해 아밀로스 함량이 증가하는 경향을 보였다. 플라즈마에 의해 벼 또는 쌀에 함유된 지방 및 아밀로스 함량 변화에 관한 연구는 전무한 실정으로서 이를 구명하기 위한 후속연구가 필요하다고 판단된다.

Table 5. Protein contents of rough rice treated with cold plasma by storage temperature and periods

Cultivars	Temp. (°C)	Time (min)	Storage period (week)				SEM ²⁾	
			0	2	4	8		
Samkwang	4	0	6.26 ^{a3)(x4)}	6.26 ^{ax}	5.79 ^{cz}	5.95 ^{cy}	0.020	
		10	6.29 ^{ax}	6.29 ^{ax}	5.95 ^{az}	6.05 ^{dy}	0.023	
		20	6.08 ^{by}	6.08 ^{cy}	5.91 ^{az}	6.14 ^{cy}	0.031	
	25	0	6.26 ^{ax}	6.10 ^{bcy}	5.93 ^{az}	6.32 ^{bw}	0.014	
		10	6.29 ^{ax}	6.14 ^{by}	5.85 ^{bz}	6.37 ^{aw}	0.020	
		20	6.08 ^{by}	6.04 ^{cy}	5.71 ^{dz}	6.36 ^{ax}	0.033	
	SEM ¹⁾		0.030	0.027	0.024	0.016		
	Cheongpum	4	0	6.81 ^{ax}	6.81 ^{ax}	6.28 ^{dz}	6.51 ^{cy}	0.021
			10	6.56 ^{cy}	6.56 ^{cy}	6.35 ^{cz}	6.31 ^{dz}	0.025
20			6.67 ^{bx}	6.67 ^{bx}	6.42 ^{bz}	6.53 ^{cy}	0.024	
25		0	6.81 ^{ax}	6.38 ^{dy}	6.28 ^{dz}	6.87 ^{aw}	0.019	
		10	6.56 ^{cx}	6.39 ^{dz}	6.49 ^{ay}	6.90 ^{aw}	0.017	
		20	6.67 ^{bx}	6.58 ^{cy}	6.18 ^{ez}	6.74 ^{bw}	0.026	
SEM			0.023	0.018	0.028	0.018		
Misomi		4	0	5.94 ^{by}	5.94 ^{cy}	5.84 ^{bz}	6.09 ^{cx}	0.018
			10	6.06 ^{ax}	6.26 ^{aw}	5.81 ^{bz}	5.87 ^{dy}	0.014
	20		5.99 ^{bx}	5.97 ^{cx}	5.85 ^{bz}	5.90 ^{dy}	0.020	
	25	0	5.94 ^{by}	6.23 ^{aw}	5.61 ^{cz}	6.13 ^{bx}	0.026	
		10	6.06 ^{ay}	6.17 ^{bx}	5.83 ^{bz}	6.33 ^{aw}	0.018	
		20	5.99 ^{bz}	5.96 ^{cz}	5.98 ^{az}	6.15 ^{by}	0.028	
	SEM		0.022	0.018	0.027	0.015		
	Palbangmi	4	0	7.18 ^{ay}	7.19 ^{by}	7.22 ^{ay}	7.04 ^{ez}	0.017
			10	7.13 ^{bz}	7.13 ^{bz}	7.17 ^{az}	7.30 ^{ay}	0.026
20			7.08 ^{cy}	7.08 ^{cy}	6.98 ^{bz}	7.09 ^{dy}	0.010	
25		0	7.18 ^{ay}	7.19 ^{by}	7.02 ^{bz}	7.17 ^{bcy}	0.020	
		10	7.13 ^{by}	7.23 ^{bx}	6.90 ^{cz}	7.21 ^{bxy}	0.037	
		20	7.08 ^{cz}	7.35 ^{ay}	7.17 ^{az}	7.13 ^{cz}	0.040	
SEM			0.018	0.040	0.026	0.017		

¹⁾Standard error of the means (n=18).
²⁾Standard error of the means (n=12).
^{3)a-c}Values with different letters within the same column differ significantly (p<0.05).
^{4)w-z}Values with different letters within the same row differ significantly (p<0.05).

Table 6. Amylose contents of rough rice treated with cold plasma by storage temperature and periods

Cultivars	Temp. (°C)	Time (min)	Storage period (week)				SEM ²⁾	
			0	2	4	8		
Samkwang	4	0	16.25	16.12	16.51	16.53	0.313	
		10	16.40	16.22	16.48	16.32	0.210	
		20	16.38	16.25	16.48	16.27	0.154	
	25	0	16.25	16.09	16.53	16.22	0.235	
		10	16.40	16.14	16.61	16.22	0.196	
		20	16.38	16.17	16.56	16.61	0.194	
	SEM ¹⁾		0.326	0.198	0.132	0.186		
	Cheongpum	4	0	15.85 ^{a3)}	15.70	15.83 ^{ab}	15.72 ^b	0.218
			10	15.17 ^{cz4)}	15.57 ^y	15.77 ^{aby}	15.88 ^{aby}	0.133
20			15.43 ^{bz}	15.67 ^{yz}	15.75 ^{abyz}	15.96 ^{aby}	0.204	
25		0	15.85 ^a	15.67	15.75 ^{ab}	15.72 ^b	0.186	
		10	15.17 ^{cz}	15.59 ^y	15.57 ^{by}	15.83 ^{aby}	0.139	
		20	15.43 ^{bz}	15.59 ^{yz}	15.91 ^{axy}	16.06 ^{ax}	0.187	
SEM			0.281	0.113	0.140	0.137		
Misomi		4	0	15.59	15.72	15.91 ^{bc}	15.93 ^b	0.342
			10	15.96	15.75	16.09 ^{abc}	16.01 ^b	0.234
	20		15.54 ^z	15.62 ^z	15.83 ^{cyz}	16.09 ^{by}	0.150	
	25	0	15.59 ^z	15.98 ^{yz}	16.25 ^{abyz}	16.53 ^{ay}	0.343	
		10	15.96 ^z	15.98 ^z	16.25 ^{abz}	16.59 ^{ay}	0.128	
		20	15.54 ^z	15.88 ^y	16.27 ^{ax}	16.74 ^w	0.103	
	SEM		0.377	0.208	0.153	0.130		
	Palbangmi	4	0	19.86 ^b	19.23 ^b	19.65 ^b	20.10 ^b	0.452
			10	21.64 ^a	21.88 ^a	21.90 ^a	21.93 ^a	0.323
20			21.22 ^a	21.80 ^a	21.96 ^a	22.04 ^a	0.489	
25		0	19.86 ^b	19.50 ^b	20.18 ^b	20.18 ^b	0.287	
		10	21.64 ^a	21.88 ^a	21.85 ^a	21.85 ^a	0.273	
		20	21.22 ^z	21.98 ^{yz}	21.83 ^{xyz}	22.09 ^y	0.346	
SEM			0.284	0.470	0.373	0.331		

¹⁾Standard error of the means (n=18).
²⁾Standard error of the means (n=12).
^{3)a-c}Values with different letters within the same column differ significantly (p<0.05).
^{4)w-z}Values with different letters within the same row differ significantly (p<0.05).

쌀은 저장에 따라 표면의 수분이 증발하면서 그 함량이 점차 감소되는 것으로 알려져 있어 상온 저장보다는 저온에서 저장하는 것이 품질 유지가 오래된다고 알려져 있다(15). 또한 쌀은 저장과정 중의 호흡에 의하여 지방이 분해되어 유리지방산이 증가하고, 유리지방산은 배유의 아밀로스와 결합하여 취반시 전분립의 팽윤을 억제시키며 자체가 산화되어 이취가 나는 기화성 카보닐 화합물을 만든다(16). 그리고 단백질은 저장과정 중 산화되면서 만들어진 화합물이 작용하여 전분의 미셀결합의 강도 증가와 함께 취반시 전분

립의 팽윤을 억제하고 밥의 조직감에 영향을 주는 것으로 알려지고 있다(17). 따라서 플라즈마 및 저장조건에 따른 벼의 주요 성분 변화 분석은 매우 중요한 요소라고 할 수 있다.

플라즈마 처리한 벼의 저장기간 및 온도에 따른 성분 분석결과를 종합하여 볼 때 플라즈마 처리에 의한 각각의 성분 변화는 품종간의 차이는 있었으나 저장온도가 높을 경우 수분함량이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. Kim 등(1)의 보고에 따르면 저장기간 동안 벼의 함수율은 조직감 및 지방산도와 유의적인 상관관계를 보였으며, 이에 따라 쌀의 품질 유지를 위해 벼의 수분함량이 매우 중요하다고 하였다. 또한 수분이 함유된 벼는 20°C에서도 상당 수준 호흡열을 발산하기 때문에 곡온이 올라가서 에틸렌 생성 및 효소활성 증대와 곰팡이 발생 등으로 급격히 쌀 품질 및 식미가 저하된다는 연구결과(18)를 볼 때, 고품질 벼를 사용하기 위해서는 저온저장이 효과적이라고 판단된다.

요 약

국내에서 생산되는 벼의 저장안전성 확보를 위한 기초기반 연구로 플라즈마 기술을 이용하여 벼의 저장기간 및 온도에 따른 미생물 생육 및 성분 변화를 관찰하였다. 플라즈마 시스템은 컨테이너형 유전격벽 플라즈마로 공기방전방식을 이용하여 삼광, 청품, 미소미, 팔방미 품종을 0, 10 및 20분간 처리하여 4°C, 25°C에서 2달간 저장하여 실험하였다. 미생물 생육 변화를 관찰한 결과 저장 초기에는 일반호기성 미생물은 3.46-3.86 log CFU/g, 곰팡이는 2.27-2.86 log CFU/g가 검출되었다. 저장온도 및 기간에 따라 일반호기성 미생물 및 곰팡이의 생육은 증가하였으며, 품종간의 큰 차이는 없었다. 저장한 후의 미생물 분석 결과 플라즈마 처리군의 미생물이 약 1.50 log CFU/g 적게 생육되었다. 플라즈마 처리한 벼의 수분함량을 측정한 결과 플라즈마 처리에 의한 큰 차이는 관찰되지 않았으나, 저장온도가 올라가면 수분함량이 감소하는 것을 확인하였다. 지방은 플라즈마에 의해 감소하는 경향을 보였으나, 단백질 함량은 플라즈마 및 저장조건에 따른 일관적인 변화는 관찰되지 않았다. 아밀로스 함량의 경우 삼광, 청품, 미소미 품종은 플라즈마에 의한 함량 변화는 관찰되지 않았으나 팔방미는 증가하는 경향을 보였다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 플라즈마에 의해 벼의 저장안전성을 개선할 수 있으며 품질 변화의 최소화를 위하여 저온저장이 효과적이라고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 AGENDA 연구사업(과제번호:

PJ01255601)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

1. Kim JJ, Baek MK, Kim KS, Yoon MR, Kim GY, Lee JH (2014) Changes of physicochemical properties and fatty acid compositions of rough rice stored at different storage temperatures and periods. *Korean J Crop Sci*, 59, 413-426
2. Shin DS, Choi YJ, Sim EY, Oh SK, Kim SJ, Lee SK, Woo KS, Kim HJ, Park HY (2016) Comparison of the hydration, gelatinization and saccharification properties of processing type rice for beverage development. *Korean J Food Nutr*, 29, 618-627
3. Zhou Z, Robards K, Helliwell S, Blanchard C (2001) Ageing of stored rice: Changes in chemical and physical attributes. *J Cereal Sci*, 33, 1-15
4. Kim MJ, Kim BH, Park SS, Park SH, Kim DH, Kim KS (2011) Quantitative analysis of microbiological profiles of retailed white rice. *J Food Hyg Saf*, 26, 198-202
5. Choi YH, Choung JI, Cheong YK, Kim YD, Ha KY, Ko JK, Kim CK (2005) Storage period of milled rice by packaging materials and storage temperature. *Korean J Food Preserv*, 12, 310-316
6. Lee SJ, Song YS, Park YR, Ryu SM, Jeon HW, Eom SH (2017) Sterilization of food-borne pathogenic bacteria by atmospheric pressure dielectric barrier discharge plasma. *J Food Hyg Saf*, 32, 222-227
7. Kim HJ, Woo KS, Jo C, Lee SK, Park HY, Sim EY, Won YJ, Lee SB, Oh SK (2016) Effect of atmospheric pressure plasma on the quality of commercially available Sunsik. *J Food Hyg Saf*, 31, 375-379
8. Lee KH, Kim HJ, Woo KS, Jo C, Kim JK, Kim SH, Park HY, Oh SK, Kim WH (2016) Evaluation of cold plasma treatments for improved microbial and physicochemical qualities of brown rice. *LWT-Food Sci Technol*, 74, 442-447
9. Youn GA, Mok CK (2015) Microbial inactivation of grains used in Saengshik by corona discharge plasma jet. *Korean J Food Sci Technol*, 47, 70-74
10. Kim HJ, Yong HI, Park S, Kim K, Choe W, Jo C (2015) Microbial safety and quality attributes of milk following treatment with atmospheric pressure encapsulated dielectric barrier discharge plasma. *Food Control*, 47, 451-456

11. AOAC (2000) Official methods of analysis. 17th ed. Method 991.43. Association of Official Analytical Communities, Washington DC, USA
12. Juliano BO (1985) Polysaccharide, proteins, and lipids of rice. In Rice Chemistry and Technology. The American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, MN, USA, p 59-120
13. Kim B, Yun H, Jung S, Jung Y, Jung H, Choe W, Jo C (2009) Effect of atmospheric pressure plasma on inactivation of pathogens inoculated onto bacon using two different gas compositions. Food Microbiol, 28, 9-13
14. Niemira BA (2012) Cold plasma decontamination of foods. Annu Rev Food Sci Technol, 3, 125-142
15. Kim OW, Kim H, Han JW, Lee HJ (2014) Storage characteristics of milled rice according to milling system types. Korean J Food Preserv, 21, 308-314
16. Choi YH, Kim SL, Jeong EG, Song J, Kim JT, Kim JH, Lee CG (2008) Effects of low-temperature storage of brown rice on rice and cooked rice quality. Korean J Crop Sci, 53, 179-186
17. Lee IK, Kim KH, Choi HC (1993) Changes in physicochemical properties of rice grain during long-term storage. Korean J Crop Sci, 38, 524-530
18. Choi YH, Jeong EG, Choung JI, Kim DS, Kim SL, Kim JT, Lee CG, Son JR (2014) Effects of moisture contents of rough rice and storage temperatures on rice grain quality. Korean J Crop Sci, 51, 12-20