

연구노트

회분식 광펄스 처리에 의한 마른 김의 비가열 살균

김애진 · 신정규^{1,2,*}

샘표식품(주), ¹전주대학교 식품산업연구소, ²전주대학교 한식조리학과

Nonthermal Sterilization of Dried Laver by Intense Pulsed Light with Batch System

Ae-Jin Kim and Jung-Kue Shin^{1,2*}

Sempio Foods Company

¹Food Industry Research Institute, JeonJu University

²Department of Korean Cuisine, JeonJu University

Abstract Intense pulsed light (IPL) is a nonthermal technology emerging as an alternative to conventional thermal treatment. The purpose of this study was to investigate the effect of IPL treatment on the microbial inactivation, color alteration, and temperature change of dried laver to evaluate the commercial feasibility of IPL as a sterilization method. IPL treatment (10 min at 1,000 V and 5 pps) resulted in approximately 1.6 log CFU/g decrease in microbial cell viability. After IPL treatment, the surface temperature of dried laver increased by 1.9°C. The color lightness of dried laver increased with increased treatment time, while redness and yellowness decreased. However, these color differences were not significant.

Keywords: dried laver, intense pulsed light (IPL), microbial inactivation, non-thermal technology

서 론

김(Laver)은 우리나라의 중요한 해조자원의 하나로, 홍조류 보리털과에 속하는 *Porphyra seriata*로 30% 이상의 단백질과 1% 이하의 지방 함량을 가지는 무기질이 풍부한 알칼리 식품으로서 펠루아미노산, 비타민, 식이섬유, 타우린 등이 다량 함유되어 있는 식품이다(1-3). 마른 김은 양식장에서 채취된 물김을 채취하여 위판 및 공장에 하역한 후 세척 및 이물질 제거, 건조, 화입, 포장의 제조 공정을 거치며, 생산된 마른 김은 습기에 의한 품질변화가 크기 때문에 하절기에는 화입김(얼구운김) 형태로 가공되고 동절기에는 생김으로 유통되어 김밥김, 재래김, 식자재 및 조미김의 원료로 가공되고 있다(4). 국내의 김 생산량은 236천톤으로 가정(33%), 식당 및 외식업체(39%), 급식(11%), 김밥 전문점(11%) 등에서 소비가 이루어지고 있다(5). 이러한 마른 김은 외식산업이 발달함에 따라 도시락 및 김밥용 김의 수요가 증가되고 있고, 일본, 중국, 대만, 태국 등 아시아를 중심으로 수출이 이루어지고 있으며, 점차 서구권으로의 수출도 증가하는 추세에 있다. 그러나 최근 선진국들이 수산물이나 수산 가공 식품의 안전성에 대한 수입 규제를 강화하면서 일부 포장 김의 제조 과정 중의 비위생적인 관리와 유통 과정 중의 품질 저하 및 미생물의 오염으로 기존 이상의 미생물을 포함하고 있는 것이 문제가 되고 있

며, 국내에서도 김밥에서의 주된 오염원이 마른 김이라는 보고(6,7)와 함께 김밥과 같은 복합 조리 식품의 섭취로 인한 식중독이 사회적 문제로 대두되고 있어(8), 이에 대한 관리가 필요한 실정이다.

광펄스 기술은 최근 비가열 살균기술의 하나로 주목받고 있는 기술로서 자외선(180 nm)에서 근적외선(1,100 nm)을 포함하는 강한 빛을 짧은 시간 동안 조사하여 식품 표면에 존재하는 미생물을 사멸시킴으로써 식품의 보존 기간을 연장하는 기술로(9,10), 기존의 자외선 살균과는 달리 매우 짧은 처리 시간으로 상당한 미생물을 감소시킬 수 있으며, 적은 에너지의 사용뿐만 아니라 잔류물이 존재하지 않는 장점을 가지고 있다(11). 이러한 광펄스 기술은 intense light pulse, high-intensity broad spectrum pulsed light, pulse light, pulse white light 등 다양한 이름으로 불리고 있으며(12-15), 식품뿐만 아니라 의약품, 의료 기기, 포장재, 생수 등의 살균에 적용되고 있으며, 미국이나 유럽의 일부 국가에서는 실용화를 위한 기초 연구 단계에 있으나(16), 국내에서는 다양한 응용 실험이 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 식품의 표면 살균에 사용되는 광펄스 기술을 이용하여 마른 김에 존재하는 미생물에 대한 살균 효과와 온도 및 색도의 변화를 관찰하여 향후 마른 김의 위생적 처리 기술로서의 광펄스 기술의 가능성을 살펴보고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

실험에 사용된 김은 시중에서 유통되고 있는 다섯 종류(서해김, 진도김, 해남김, 파래김, 재래김)를 재래 시장과 대형 유통 매장에서 2차래에 걸쳐 구입하였으며, 모든 실험에 사용된 시료는 -18°C의 냉동실에 보관하면서 사용하였다. 5종류의 김에 존재하

*Corresponding author: Jung-Kue Shin, Department of Korean Cuisine, College of Culture and Tourism, Jeonju University, Jeonju 560-759, Korea

Tel: 82-63-220-3081

Fax: 82-63-220-3264

E-mail: sorilove@jj.ac.kr

Received September 3, 2014; revised November 18, 2014;

accepted November 19, 2014

는 총균수를 측정한 후 가장 많은 균의 분포를 보인 파레짐을 실험의 주시료로 사용하였다(data not shown).

광펄스 처리 장치 및 시료 처리 방법

본 연구에 사용된 광펄스 처리 장치는 Kim 등(17)의 실험에 사용된 장치와 같은 장치를 사용하였다. 광펄스 처리 장치는 전원 공급부, 펄스 발생기, 램프 그리고 처리 용기 등으로 구성되어 있으며, 전원 공급부는 AC 220 V, 50/60 Hz의 단상의 전원을 사용하였고, 출력부는 DC 전원으로 0-1,200 V의 상시 전압을 출력할 수 있도록 하였으며, 전류는 1 A 미만이다. 사용 가능한 주파수(pulse number)는 1-50 pps (pulse/sec)이고, 1회 작동할 수 있는 최대 시간은 60분이다. 사용된 광원은 Xenon XAP series의 flash 램프(NL 4006, Heraeus Noblelight, Cambridge, UK)로 무수 은 xenon 가스로 충전되어 있으며, triggering 최소 전압은 16 kV, 상시 전압은 600-1,200 V로 제작되었다.

마른 김은 가로 10 cm×세로 5 cm의 크기로 절단한 후 전압 1,000 V, 5 pps의 조건에서 1-10분 사이의 입의 시간을 선택하여 처리하였으며, 절단된 김 전체에 빛이 조사될 수 있도록 7.9 cm의 거리에서 실시하였다.

총균수의 측정

시료의 총균수를 측정하기 위하여 plate count agar (PCA, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 사용하였다. 광펄스 처리하지 않은 시료와 처리한 시료를 각각 3 g을 취하여 멸균 생리식염수 (NaCl 0.85%) 27 mL를 넣고 stomacher (Stomacher lab blender 400, Seward Ltd. West Sussex, UK)를 이용하여 약 40초간 중속으로 균질화 시킨 후 멸균 생리식염수를 사용하여 단계적 희석법에 의해 적절한 배수로 희석하였다. 희석한 시료를 PCA 평판 배지에 도말한 후 37°C에서 48-72시간 배양하여 평판배지에 형성된 균락수를 계수하였다. 균락수는 30-300개 사이의 것을 계수하였으며 CFU/g로 나타내었다. 광펄스 처리에 따른 균체의 생존율은 초기균수(N₀)에 대한 처리 후 생존균수(N)의 비율로 표시하였으며, 모든 실험은 각 시료당 3회 반복 실험하여 측정하였다.

색도 및 온도 측정

광펄스 처리 전후의 마른 김의 색도 변화는 색차계(Chroma meter R-400, Konica Minolta Sensing Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였으며, hunter scale에 의한 L (lightness), a (redness) 및 b (yellowness) 값을 측정하고 아래 식을 이용하여 색차(ΔE)를 계산하였다. 이 때 사용한 표준 색판의 값은 L=98.31, a=1.01, b=2.32이었다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

마른 김의 시료 표면 온도는 T-type의 thermocouple을 시료 표면에 부착하고 datalogger (GI 200-UM-851, Graphtec, Santa Ana, CA, USA)를 이용하여 측정하였다.

결과 및 고찰

마른 김의 살균 효과

광펄스 조사에 의한 마른 김의 표면에 존재하는 미생물의 사멸 효과를 Fig. 1에 나타내었다. 마른 김에 광펄스를 조사한 후 생존균수는 1분 후에는 약 0.6 log CFU/g, 10분 후에는 1.6 log CFU/g의 사멸율을 나타내었다. 광펄스 살균에 있어서 미생물의

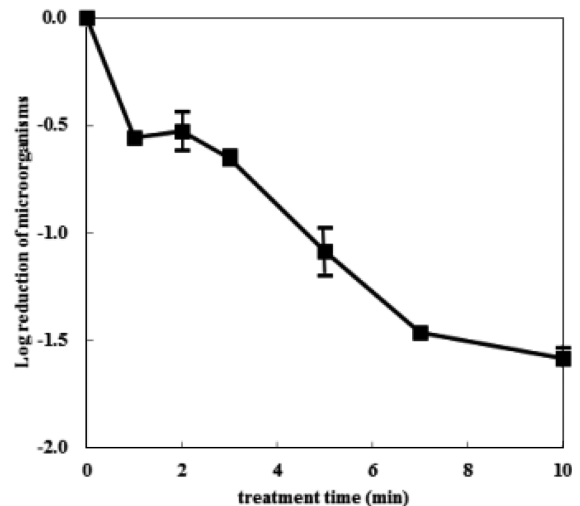


Fig. 1. Inactivation of total microorganisms on dried laver by intense pulsed light treatment in one side. Intense pulsed light treatments were carried out at 1,000 V, 5 pps, and 7.9 cm.

사멸에 영향을 미치는 요인으로는 시료의 투명도, 색, 표면의 거친 정도, 식품 성분 등이며, Gomez-Lopez 등(18)은 한천 배지에 단백질이나 지방이 첨가된 경우 사멸 효과가 감소한다고 보고하였는데, 마른 김은 30% 이상의 단백질이 함유되어있는 식품으로 검붉은 색의 불투명한 표면을 가지고 있다. 또한 Han(19)에 의하면 미생물이 존재하는 색에 따라 사멸 효과가 다르게 나타나는데, 특히 검은색의 경우 광펄스에 의한 사멸 효과가 낮은 것으로 보고하고 있다. 본 실험에서 광펄스 처리에 의한 마른 김의 살균 효과가 낮게 나타나는 것은 김에 함유되어 있는 단백질과 검붉은 색에 의한 사멸 효과의 감소에 의한 것으로 판단된다. 미생물의 사멸율이 낮은 또 다른 이유로는 마른 김의 울퉁불퉁한 표면에 의한 그림자 효과(shadow effect)와 건조과정에서 농축된 미생물의 UV의 투과성 제한으로 인한 것으로 생각된다(20,21).

그러나 자외선을 이용한 마른 김의 살균의 경우 20 W의 자외선을 10분 동안 김의 단면에 조사하였을 경우 약 0.6 log CFU/g의 세균이 감소하였으며, 양면을 조사한 경우 약 1 log CFU/g 감소하고(22), 마른 김에 감마선을 조사한 경우에도 약 1-2 log CFU/g 감소하는 것으로 나타나(6) 광펄스 처리가 다른 살균 방법과 비교하였을 때 동등 이상의 살균력을 갖는 것으로 확인되었다.

마른 김의 표면 온도 변화

마른 김을 광펄스를 조사하는 동안 마른 김의 표면 온도의 변화를 측정된 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 특정한 가공 공정 중 시료의 온도 변화는 식품 중 영양 성분의 손실, 색, 향미 등의 품질에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요인이다. Mertens & Knorr (23)에 의하면 높은 에너지를 갖는 광펄스의 빛은 순간적으로 시료의 표면 온도를 상승시켜 식품 내 미생물, 효소, 바이러스 등을 불활성화시킨다고 보고하였으며, 반면에 Barbosa-Canovas 등 (10)은 광펄스에 의한 식품의 온도 상승은 표면층에서만 국한되고, 열처리 공정에서 필요한 열에 비하여 아주 적은 열이라고 보고하였다. 마른 김에 광펄스를 1,000 V, 5 pps의 조건으로 7.9 cm의 거리에서 10분 동안 조사하면서 마른 김의 표면 온도를 측정하였다. 광펄스 처리 전 마른 김의 표면 온도는 21°C이었으며, 10분 처리 후에는 22.9°C로 나타나 1.9°C의 온도 상승을 보였다. 마른 김 표면의 온도 상승은 마른 김에 존재하는 색소 성분인

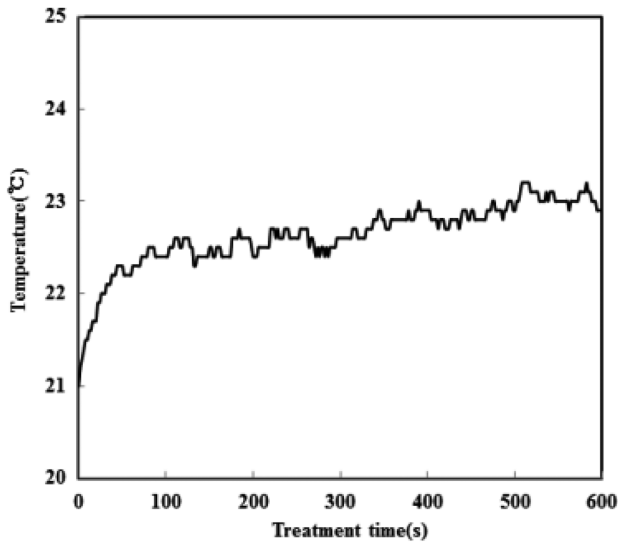


Fig. 2. Temperature profile on surfaces of dried laver during intense pulsed light treatment at 1,000 V, 5 pps, and 7.9 cm.

phycobilin, chlorophyll 등이 빛을 흡수하여 일어나는 것으로 추측된다. 하지만 마른 김 표면의 온도 상승 정도는 매우 낮아 김의 품질 변화나 미생물의 사멸을 일으킬 정도는 아닌 것으로 판단된다.

마른 김의 색도 변화

광펄스 처리 시간, 그리고 빛의 세기(전압)에 따른 마른 김의 표면의 색도 변화를 Table 1, 2에 나타내었다. 마른 김에는 녹색의 chlorophyll과 황색의 carotenoid 및 phycobilin 등의 세 가지 색소가 혼합되어 홍자색을 나타낸다. 이 색소 중 phycobilin은 홍자색의 색소인 phycoerythrin이라는 색소와 청색 색소 및 chlorophyll이 포함되어 있는 phycocyan을 총칭한다. 이 phycobilin 성분을 가열하게 되면 붉은 색의 phycoerythrin이 청색인 phycocyan으로

로 변하여 적자색이 손실됨과 동시에 chlorophyll의 선명한 색이 나타나 녹색을 띠게 되는데 김을 햇빛에 쪼이면 이러한 변화가 짧은 시간에 일어나고 이 때 습기가 존재하면 더욱 빠른 속도로 진행된다(3,24).

본 실험에서는 햇빛과 비슷한 파장을 가지고 있는 광펄스 처리가 마른 김의 색도에 미치는 영향을 살펴 본 결과 광 펄스 처리 후 명도(L)는 증가하였고, 적색도(a)와 황색도(b)는 감소하였으며, 처리 시간이 길어질수록 전체적인 색도의 차이(ΔE)가 크게 나타났다(Table 1). 또한 빛의 세기에 따른 마른 김의 색도는 빛의 세기가 증가함에 따라 명도는 증가하는 경향을 보였으며, 적색도는 감소하는 경향을 나타내었다(Table 2).

광펄스 처리에 의한 마른 김의 색의 변화는 phycoerythrin이 청색인 phycocyan으로 변하여 적자색이 손실됨과 동시에 chlorophyll의 선명한 색이 나타나 녹색을 띠어 명도의 증가와 함께 적색도가 감소하는 경향을 보이는 것으로 판단되며, 또한 chlorophyll과 carotenoid의 빛에 의한 산화 또는 변색도 색도의 변화에 영향을 미치는 것으로 보인다(24). 그러나 이러한 변화는 기계적 수치상으로 나타나는 변화이며 육안으로는 그 차이 정도를 확인할 수 있는 변화를 보이지는 않았다.

요 약

비가열 살균 기술의 하나인 광펄스 기술을 이용하여 마른 김에 존재하는 미생물에 대한 살균 효과와 품질 변화에 대하여 알아보았다. 마른 김에 1,000 V, 5 pps의 조건하에서 7.9 cm의 거리에서 광펄스 조사를 하였을 때 처리 1분 후에는 0.6 log CFU/g, 처리 10분 후에는 1.6 log CFU/g의 사멸 효과를 보였다. 같은 조건에서 광펄스 조사 후 마른 김의 표면 온도는 약 1.9°C의 상승을 나타냈으며, 색도에 있어서는 명도가 증가하고, 적색도 및 황색도는 감소하는 경향을 보였으며, 처리 시간이 길어질수록 전체적인 색도의 차이가 크게 나타나는 결과를 보였으나 육안으로는 차이 정도를 확인할 수 없었다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 광

Table 1. Changes in color of treated samples as treatment time of intense pulsed light

Treatment time (min)	L		a		b		ΔE
	Untreated	Treated	Untreated	Treated	Untreated	Treated	
1	27.71±2.25 ¹⁾	27.82±1.92	1.25±0.74	1.21±0.75	4.01±0.52	3.78±0.73	0.26±0.28
2	28.46±2.07	28.63±1.71	1.31±0.46	1.23±0.41	3.62±0.83	3.28±0.84	0.39±0.28
3	28.62±1.64	29.35±1.95	1.74±0.58	1.71±0.52	3.97±1.34	3.51±1.00	0.86±0.60
5	26.82±2.76	27.81±1.61	1.64±1.11	1.58±1.01	3.82±1.21	3.60±0.74	1.01±0.40
7	27.37±3.45	28.79±2.62	1.05±1.09	0.95±1.14	4.29±1.18	4.18±1.24	1.42±1.00
10	27.02±1.54	28.95±0.53	2.03±0.10	1.96±0.19	4.36±0.77	4.35±0.80	1.93±1.18

Treatment condition: 1,000 V, 5 Hz, 7.9 cm

¹⁾Mean±SD (standard deviation)

Table 2. Changes in color of treated samples as a function of light intensity by intense pulsed light

Light intensity (Voltage)	L		a		b		ΔE
	Untreated	Treated	Untreated	Treated	Untreated	Treated	
500	31.62±1.29 ¹⁾	31.49±2.36	4.21±1.14	4.31±0.97	3.20±1.16	3.37±1.43	0.24±0.53
650	28.06±2.80	28.51±2.12	1.06±1.43	1.15±1.36	5.36±0.63	4.86±0.41	0.67±0.33
800	26.85±3.51	27.54±2.68	0.89±0.74	0.99±0.48	5.63±0.91	5.59±0.62	0.70±0.45
1,000	27.02±1.54	28.95±0.53	2.03±0.10	1.96±0.19	4.36±0.77	4.35±0.80	1.93±1.18

Treatment condition: 5 Hz, 7.9 cm, 10 min

¹⁾Mean±SD (standard deviation)

펄스 살균 기술은 품질 변화없이 마른 김에 존재하는 위해 미생물을 효과적으로 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농림축산기술개발사업(고부가가치 식품기술개발사업)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- Lee SK. Effect of packaging on storage stability and chlorophyll contents of dried, roasted and roasted-seasoned laver during storage. *J. Fd. Hyg. Safety* 14: 134-139 (1999)
- Lee HK, Song SH, Jeong IH. Quality changes of dried lavers during processing and storage. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 20: 408-418 (1987)
- Park CK, Kang TK, Shin SU. The relationship between health and laver. *Bull. Fish. Sci. Inst. Yosu Nat'l. Univ.* 10: 79-84 (2001)
- Cho SM, Kim BM, Han KU, Seo HY, Han YN, Yang EH, Kim DS. Current status of the domestic processed laver market and manufacturers. *Food Sci. Ind.* 42: 57-70 (2009)
- Ock YS. Some schemes for the sustainable development of Korean laver industry. *J. Fish. Bus. Adm.* 41: 25-44 (2010)
- Lee NY, Jo CU, Chung HJ, Kang HJ, Kim JK, Kim HJ, Byun MW. The prediction of the origin of microbial contamination in *kimbab* and improvement of microbiological safety by gamma irradiation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37: 279-286 (2005)
- Lee HJ, Byun HS, Kim JH, Park HY, Jung KJ, Lee TS. Bacterial contamination of dried laver products. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Ins.* 57: 221-226 (1999)
- Kang SG, Park SH, Kim HJ, Ham KS. Chitosan treatment during the preparation of dried laver affects microbial growth and quality. *J. Chitin Chitosan* 6: 150-154 (2001)
- Dunn JE, Clark RW, Asmus JF, Pearlman JS, Boyerr K, Painchaud F, Hofmann GA. Methods for preservation of foodstuffs. U.S. Patent 4,871,559 (1989)
- Barbosa-Canovas GV, Swanson BG, Pothakamury UR, Palou E. Application of light pulses in the sterilization of foods and packaging materials. pp 139-160. In: *Nonthermal Preservation of Foods*. Marcel Dekker Inc., New York, NY, USA (1998)
- Oms-Oliu G, Agui-Aguayo I, Martn-Belloso O, Soliva-Fortuny S. Effects of pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of fresh-cut mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biol. Tec.* 56: 216-222 (2010)
- Gmez-Lpez VM, Devlieghere F, Bonduelle V, Debevere J. Factors affecting the inactivation of microorganisms by intense light pulses. *J. Appl. Microbiol.* 99: 460-470 (2005)
- Roverts P, Hope A. Virus inactivation by high intensity broad spectrum pulsed light. *J. Virol. Methods* 110: 61-65 (2003)
- Rowan NJ, MacGregor SJ, Anderson JG, Fouracre RA, McIlvane L, Farish O. Pulsed-light inactivation of food-related microorganisms. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 1312-1315 (1999)
- Marguenie D, Geeraerd AH, Lammertyn J, Soonthjens C, Van Impe JF, Michiels CW, Nicola BM. Combinations of pulsed white light and UV-C or mild heat treatment to inactivate conidia of *Botrytis cinerea* and *Monilia fructigena*. *Int. J. Food Microbiol.* 85: 185-196 (2003)
- Elmnasser N, Ritz M, Leroi F, Orange N, Bakhrouf A, Federighi M. Bacterial inactivation using pulsed light. *Acta Aliment. Hung.* 36: 401-408 (2007)
- Kim BR, Kim AJ, Hong HJ, Shin JK. Sterilization of yeast isolated from *makgeolli* by intense pulsed light treatment in batch system. *Food Eng. Prog.* 17: 159-164 (2013)
- Gomez-Lopez VM, Devlieghere F, Bonduelle V, Debevere J. Intense light pulses decontamination of minimally processed vegetables and their shelf-life. *Int. J. Food Microbiol.* 103: 79-89 (2005)
- Han KH. Nonthermal sterilization against food-borne pathogens by high intensity pulsed light. MS thesis, Hoseo University, Asan, Korea (2009)
- Gomez-Lopez V, Ragaert P, Debevere J, Devlieghere F. Pulsed light for food decontamination: a review. *Trends Food Sci. Tech.* 18: 464-473 (2007)
- Yaun BR, Summer SS, Eifert JD, Marcy JE. Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy. *Int. J. Food Microbiol.* 90: 1-8 (2004)
- Lee TS, Lee HJ, Byun HS, Kim JH, Park MJ, Jung KJ. Effect of heat treatment in dried lavers and modified processing. *J. Korean Fish. Soc.* 33: 529-532 (2000)
- Mertens B, Deplace G. Development of nonthermal process for food preservation. *Food Technol.* 46: 124-133 (1993)
- Kim YD, Kim DS, Kim YM, Shin DH. Changes in the quality characteristics of dried laver (*Porphyra yezoensis* Ueda) during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.* 19: 206-211 (1987)