

광 펄스에 의한 젖산균의 비열 살균

조형용* · 신정규¹ · 송영애² · 윤선주³ · 김중만² · 변유량⁴

전주기전여대 식품과학과, ¹(주)제일제당 식품연구소, ²원광대학교 농화학과,
³연세대학교 생물소재공학과, ⁴연세대학교 생명공학과

Nonthermal Pasteurization of *Lactic acid bacteria* by High Intensity Light Pulse

Hyung-Yong Cho*, Jung-Kue Shin¹, Young-Ae Song², Seon-Joo Yoon³,
Joong-Man Kim² and Yu-Ryang Pyun⁴

Department of Food Science & Technology, Chonju Kijeon Women's College

¹Cheiljedang Co., R&D Center of Foods

²Department of Agriculture Chemistry, WonKwang University

³Department of Biomaterials Science and Engineering, Yonsei University

⁴Department of Biotechnology, Yonsei University

Lethality of high intensity light pulse on the pre-determined microbial populations has been investigated. Prior to the treatment, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis*, *Leuconostoc mesenteroides* and *Pediococcus pentosaceus* were cultivated separately onto the surface of *Lactobacilli* MRS agar. Pre-determined microbial populations were applied to the test media and these sample were exposed to high intense light source with an exposure time ranging from 1 to 2500 μ s. Results showed that at least 200 light pulses of 1 μ s duration were required to reduce *L. plantarum* cells by 90% at 25 kV, the greater the number of light pulses, the larger the reduction in viable cell numbers. Viable cells of *L. plantarum* and the others were reduced by more than 5 and 6 log cycles at the upper exposure level of 750 μ s, respectively. These study shows that pulsed light emissions can significantly reduce populations of lactic acid bacteria on exposed surface with exposure times. Killing efficiency for *L. plantarum* significantly increased with decreasing the distance between the lamp and the surface of samples.

Keywords: intense light pulse, nonthermal pasteurization, *lactic acid bacteria*

서 론

소비자들의 건강에 대한 관심이 커지면서 가공식품에 대한 안전성과 위생성이 강조되고 있고, 천연 상태의 품질을 가능한 그대로 유지한 최소 가공 식품(minimally processing foods)에 대한 관심이 높아지고 있으며 그 수요도 증가하고 있다. 현재 식품공업에서 사용되고 있는 보존법은 대부분 가열조작 또는 식품 보존제의 첨가 등에 의한 화학적 조작에 의존하고 있다. 그러나 가열 조작에서는 열에 의한 영양성분의 파괴, 텍스처의 변화, 향기성분의 손실 등 품질 손실을 피할 수 없으며, 인공 보존료를 점차 사용하지 않는 경향이다.

따라서 식품 가공에 기술 개발이 요청되고 있으며 여러 가지 非熱 가공(nonthermal processes) 기술이 개발되고 있다⁽¹⁻⁴⁾.

광펄스 살균 기술은 intense light pulse, pulsed white light (WHL), pulsed UV light 등 여러 가지의 이름으로 불리우며, 전파장의 강한 빛을 아주 짧은 시간안에 가하여 주로 식품의 표면을 살균하는 방법이다^(5,6). 광펄스는 170 nm의 자외선 영역에서 2600 nm의 근적외선 영역의 모든 파장(broad spectrum pulsed light, BSPL)의 광원을 사용하고, 이 때 사용하는 광은 태양광과 유사하다. 400-500 nm에서 peak emission을 가지며, 해수면의 태양광보다는 약 20,000배 정도 강한 것으로 알려져 있고⁽⁷⁻⁹⁾, 대개 수 μ s의 펄스 폭을 가진 광을 수회 내지는 수십회 적용하여 대부분 식품의 표면이나 포장재, 의약품등의 표면에 있는 미생물을 사멸하는데 사용하고 있다^(8,10,11). 일반적으로 무균 공정에서 사용되는 포장 소재는 식품 또는 포장 내에 바람직하지 못한 잔류물이 남을 수 있는 H₂O₂에 의해서 살균되어지나, 광펄스 기술을 이용한 살균은 화학 살균제 또는 보존제의 사용량을 줄이거나 없앨 가

*Corresponding author : Hyung-Yong Cho, Department of Food Science & Technology, Chonju Kijeon Women's College, 177-1 Joong-whasan-dong 1-Ga, Wansan-ku, Chonju, Chonbuk, Korea 560-701
Tel: 82-63-280-5276
Fax: 82-63-231-6413
E-mail: hycho@kijeon.ac.kr

능성이 있을 뿐만 아니라 식품의 품질을 향상시켜 저장기간을 연장시킬 수도 있다⁽¹²⁾.

광펄스를 이용한 살균 기술은 1990년대에 들어와서 연구가 시작되었다. 광펄스에 의한 살균도 오랫동안 사용되어온 자외선 살균의 원리와 최근 들어 비열 살균 기술로서 관심을 끌고 있는 고전압 펄스 전기장 살균 기술의 원리를 이용한 것으로서 강한 빛을 발생시키는 전원 발생 장치는 고전압 펄스 발생 장치와 같은 것을 사용하였으며, 미생물의 사멸 기작은 자외선 살균과 비슷한 것으로 알려져 있다. 현재 광펄스 살균 기술은 짧은 연구기간에도 불구하고 가열 살균이 어려운 많은 식품을 살균할 수 있는 대체 기술로서의 적용성 여부가 큰 관심으로 떠오르고 있으며, 분말 스프, 유제품의 표면 처리, 위생 달걀의 생산, 과일의 표면 처리에 의한 저장 기간 연장등 많은 식품에의 응용 실험이 시도되고 있다^(10,12,13). 그러나 우리나라의 경우에는 광펄스 살균 기술에 관한 연구가 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 일반적인 발효 식품에 널리 산재하여 있는 젖산균을 대상으로 하여 광펄스 처리 기술의 기본 영향인자인 광의 세기, 처리 시간, 시료 표면과의 거리 등에 의한 살균 효과를 살펴보고, 세포내 물질의 유출 여부 및 투과 현미경을 통하여 살균 기작의 일부를 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

재료 및 사용균주

실험에 사용한 균주는 *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014, *Lactobacillus brevis* ATCC 8287, *Leuconostoc mesenteroides* ATCC 10830, *Pediococcus pentosaceus* ATCC 10791으로 한국 중균 협회로부터 분양 받았으며, MRS broth를 사용하여 *Lactobacillus plantarum*은 37°C, *Lactobacillus brevis*는 30°C, *Leuconostoc mesenteroides*와 *Pediococcus pentosaceus*는 26°C에서 전배양한 후 100 mL 배지에 1%(v/v) 접종한 후 전술한 온도에서 배양하여 대수 증식기 후반기의 균체를 수거하였다. 수거한 균체 배양액을 5,000 rpm에서 10분간 원심 분리한 후 생리 식염수로 2회 세척한 다음 초기 균수가 10⁸ CFU/mL가 되게 재현탁하였다. 미리 만들어 놓은 MRS agar에 각 균체액 0.1 mL를 도말한 후 살균 실험에 사용하였다. 균체 배양액 시료는 매번 동일 조건에서 새로이 배양하여 사용하였다.

광원(Light source) 및 광펄스 실험 장치

광펄스 처리를 위해 사용한 광원은 59 kPa의 압력으로 xenon을 충전한 quartz 재질의 Heraeus Noblelight XAP series (type NL 4006, Heraeus, UK)를 사용하였다. 광펄스를 발생시키기 위한 전원장치는 Kim 등⁽¹⁴⁾이 사용했던 것과 동일한 장치를 이용하였으며, oscilloscope(Lecroy Digital Oscilloscope, Model 9300, USA)를 이용하여 램프를 통해 공급되는 펄스 전압, 빛의 길이(pulse width)를 측정하였다(Fig. 1). 광펄스 처리는 자체 제작한 처리 용기를 사용하였으며, 이때 사용한 파형은 exponential decay pulse로 펄스폭은 1 μs (Fig. 2)였다. 광펄스 처리 용기는 광펄스의 빛을 외부로부터 차단하기 위하여 불투명 재질의 acetal을 사용하였으며, 시료

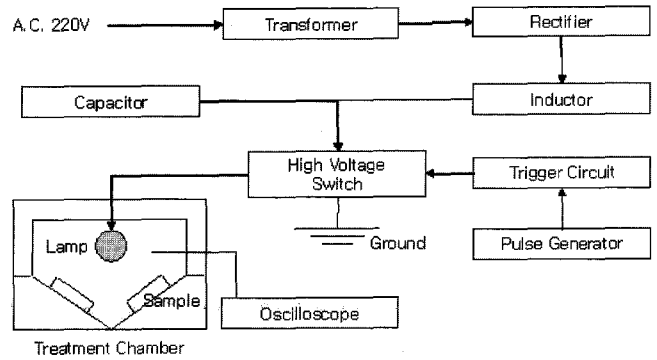


Fig. 1. Schematic diagram of intense light pulse processing system.

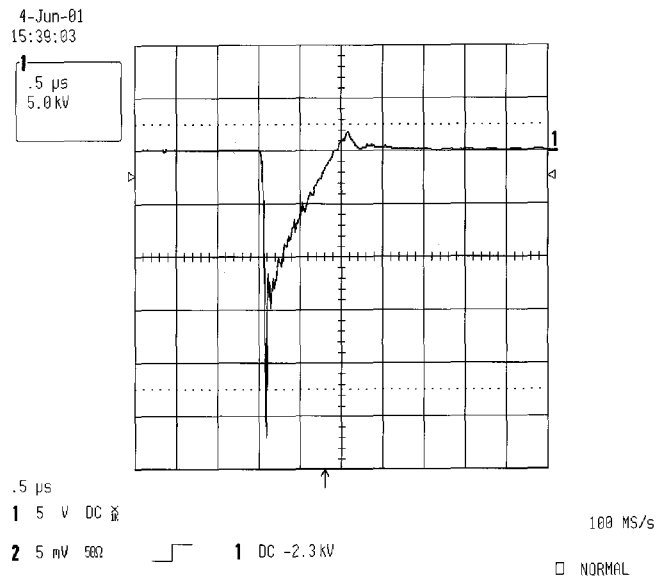


Fig. 2. Waveform of Light source.

와 램프 사이의 거리를 조절할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 균체가 도말된 한천 평판을 시료 받침대에 올려놓고 시료와 램프사이의 거리를 60-135 mm가 되도록 한 후 처리 용기를 밀봉한 후 주파수 1-100 Hz로 하여 총 처리 시간은 200-2500 μs, 펄스 전압은 15-25 kV가 되도록 하여 시료를 처리하였다.

사멸율의 측정

균주 시료가 도말된 한천 평판을 광펄스 처리하여 각 균주의 최적 온도에서 배양, 균락 수(colony)를 계수하여 CFU/mL로 나타내었다. 한천 평판상의 균락수는 30-300개가 나온 것을 계수하였으며, 각 실험구를 3번 반복하여 측정하였다.

시료 표면의 온도 측정

광펄스 처리 전과 처리 후 시료 표면의 온도 상승 정도를 알아보기 위하여 시료 표면과 램프의 거리를 60-135 mm로 하여, 빛의 세기 25 kV, 처리 시간 2500 μs를 처리한 후 temperature indicator label(TIB, Omega, USA)와 digital thermometer를 이용하여 온도를 측정하였다. TIB는 처리 전

시료 표면에 부착하여 처리가 끝난 후 label 상에 나타난 spot의 변화 정도로 온도 변화를 측정하였으며, digital thermometer는 thermocouple의 측정부 말단을 균주가 도말된 평판에 부착한 후 intense light pulse 처리가 끝나자마자 digit된 온도를 측정하였다.

자외선 흡수 물질 측정

광펄스 처리에 의한 미생물 세포막의 손상 또는 투과성 변화에 따른 세포내 물질의 외부 유출을 알아보기 위해 세포 외액에서 자외선 흡수물질을 측정하였다. 본 배양액을 phosphate buffer(pH 7.0)에 1회 세척한 후 현탁하여 시료액을 준비하고, 이를 25 kV에서 2500 μs로 처리한 후 시료액을 4°C에서 4000 rpm, 15분간 원심분리하여 상등액을 취한 다음 spectrophotometer(Hewlett Packard, model 8452A Diode Array spectrophotometer)를 이용하여 220, 260 및 280 nm에서 흡광도를 측정하였다.

전자 현미경 관찰

투과 전자 현미경(Transmission electron microscope, JEM-1200EXII, JEOL, Japan)을 이용하여 광펄스 처리 후 세포의 형태학적 변화를 관찰하였다. 25 kV, 2500 μs 처리를 한 세포 현탁액과 무처리 시료를 고정액(2.5% glutaraldehyde)에서 overnight한 후에 0.1 M PBS액으로 세척을 하였다. 후고정액으로 2% OsO₄액을 사용하였으며, 1-2시간 고정하여 다시 0.1 M PBS에서 세척하였다. 탈수 용매제 ethanol 50, 70, 80, 90%에 각각 10분동안 탈수시킨 후, 마지막으로 100% ethanol로 10, 10, 15분으로 나누어서 탈수시킨 후, propylene oxide에 15분간 치환(infiltration)하였다. 이를 epon mixture와 propylene oxide를 1:1로 혼합하여 60분, 1:2로 혼합하여 overnight, 0:1로 혼합하여 2시간동안 포매(embeding)하였다. Ultramicon으로 sample을 1 μm로 semi-section하고, 이 절편을 1% toluidin blue로 stain하여 광학 현미경으로 관찰한 다음 전자 현미경으로 관찰하고자 하는 부위를 정하여 retrimming한 후 60 nm 두께로 thin section을 하고, 완성된 section을 uranyl acetate액에 30분 동안 전자 염색을 하였다. 염색이 끝난 후 증류수로 washing을 하여 건조하고, 다시 lead citrate에서 10분 동안 염색한 후 건조시켜 투과 전자 현미경으로 관찰하였다.

통계분석

생균수 및 각 실험의 data는 3번씩 반복 실험을 한 후 anova 분석을 하여 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

광 세기의 영향

일반적으로 광 펄스 처리에 의하여 미생물을 불활성화시킬 때 영향을 주는 인자는 광원의 특성에 따라 파장대, 광의 세기(펄스 전압), 처리 시간, 시료와 광원 사이의 거리, 처리할 식품의 종류, 포장재, 미생물의 특성, 액체 시료의 경우 투과도와 색택으로 알려져 있으며⁶⁾, 특히 이 중에서 광의 세기(펄스 전압)가 가장 큰 영향을 미치는 것을 알려져 있다.

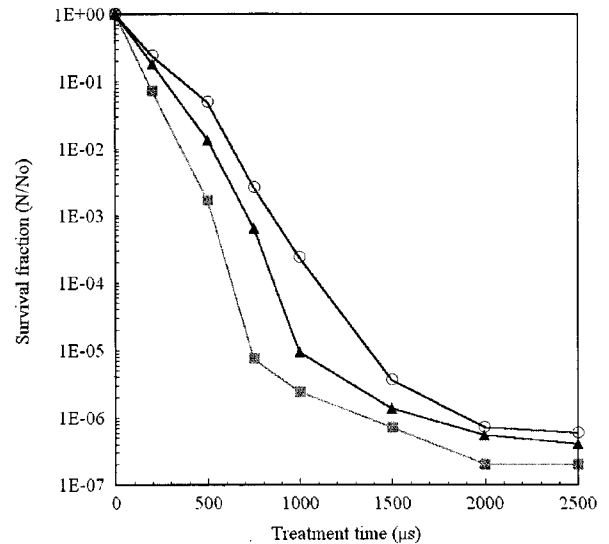


Fig. 3. Effect of treatment time (μs) on inactivation of *L. plantarum* by intense light pulse (1 μs pulse width) treatment at room temperature.

○ ; 15 kV, ▲ ; 20 kV, ■ ; 25 kV.

이는 높은 펄스 전압을 사용하게 되면 발생하는 빛의 에너지 밀도가 높아져 조사되는 빛의 양이 많아지게 되어 사멸에 큰 영향을 미치는 것으로 보인다. 광의 세기를 표현하는 방법으로는 광원으로부터 나오는 광이 표면에 도달할 때 전달되는 에너지를 표현하는 방법 (J/m²)과 실제 광원에 인가하는 전압의 세기(kV)로서 나타낼 수 있다. 본 실험의 결과에서는 광원의 세기를 광원(lamp)에 직접 인가되는 전압의 세기로 표기하였다.

광의 세기가 각 균주의 불활성화에 미치는 효과를 검토하기 위하여, 처리 시간은 200-2500 μs로 하고 광의 세기를 공급되는 펄스 전압으로 변화시키면서 *L. plantarum*을 대상으로 실험하여 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 광의 세기가 증가함에 따라 살균 효과는 지수적으로 증가하였으며, 25 kV의 펄스 전압에서 2000 μs 처리 후 7 log 정도의 사멸 정도를 나타내었다. 전압의 세기와 상관없이 모든 사멸 곡선은 5-6 log 사멸까지와 6 log 이상의 사멸시 그 기울기가 서로 다른 biphasic 형태를 나타내었으며 약간의 tailing 현상이 나타났다. 이러한 사멸 형태는 모든 광의 세기에서, 그리고 균의 종류와 관계없이 같은 결과를 보였다.

Fig. 4에는 균의 종류에 따른 광펄스의 살균 효과를 나타내었다. 200 μs 처리 후에는 모두 약 1 log의 사멸을 보였으며, 750 μs에서는 *Lactobacillus* 균주들은 2-3 log 정도의 비슷한 사멸율을 나타내었으나, *Pseudomonas pentosaceus*는 5 log 정도 사멸하여 다른 균주에 비해 높은 사멸율을 나타내어 광펄스 처리에 민감한 경향을 나타내었다. 그러나 균의 종류와 상관없이 약 1500 μs 처리시까지는 광의 세기에 따라 사멸의 차이가 나타났으나, 1500 μs 처리 이후에는 광의 세기에 상관없이 거의 같은 사멸율을 보였다.

광원과 시료 사이의 거리 차이에 따른 살균 효과

고전압 광 펄스 처리에 따른 미생물의 불활성화에 영향을

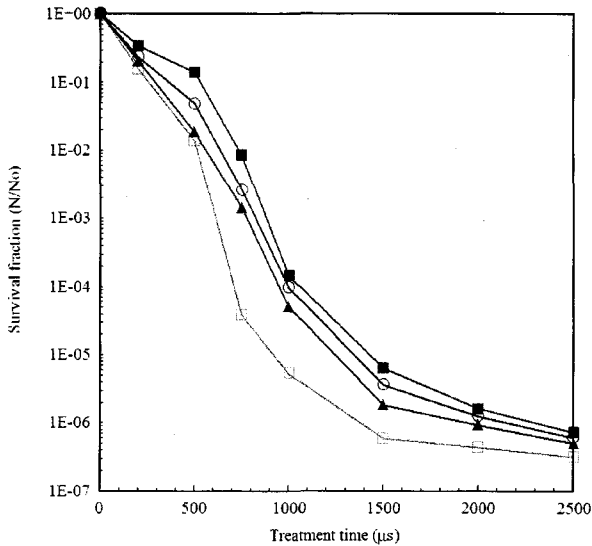


Fig. 4. Susceptibility of *Lactobacillus*, *Leuconostoc* and *Pediococcus* exposure to intense light pulse. Intense light pulse treatments were carried out at 15 kV and room temperature. ■ ; *Leuconostoc mesenteroides*, ○ ; *Lactobacillus plantarum*, ▲ ; *Lactobacillus brevis*; □ , *Pediococcus pentosaceus*.

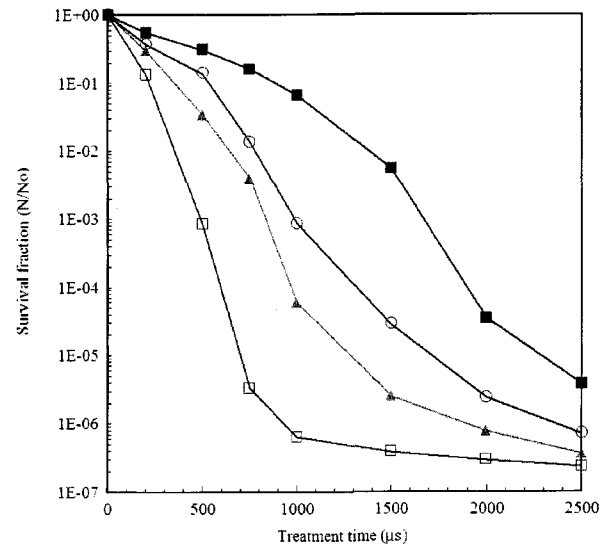


Fig. 5. Effect of the distance between the lamp and the surface of sample on inactivation of *L. plantarum* by intense light pulse. Intense light pulse treatments were carried out at 25 kV and room temperature. □ ; 60 mm, ▲ ; 80 mm, ○ ; 110 mm, ■ , 135 mm.

크게 미치는 인자로는 앞서 언급된 것처럼 펄스 전압의 세기, 즉 빛의 세기와 처리 시간이다. 그리고 이 두 인자 이외에도 광원과 시료 사이의 거리가 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 광펄스 처리는 광원에서 발생하는 광 에너지가 시료 표면에 전달되고 이 에너지가 순간적인 열로 전환되어 이 열에 의해 미생물이 사멸되는 것으로 추측된다. 따라서 광원과 시료 표면사이의 거리는 실제 식품이나 시료 표면에 도달하는 에너지 밀도에 큰 영향을 미치기 때문에 광원과 시료와의 거리는 사멸율에 크게 영향을 미치게 된다. Fig. 5는 시료 표면과 광원 사이의 거리를 달리하여 *L. plantarum*의 사멸율에 미치는 영향을 살펴보았다. 시료 표면과 거리에 따른 사멸율을 보면 이 사이의 거리가 가까울수록 사멸율은 높게 나타났다. 특히 거리에 따른 사멸율의 차이는 전압에 따른 사멸율의 차이보다 더욱 크게 나타나 광원의 세기보다 시료와 광원과의 거리가 더욱 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 시료 표면에 도달하는 에너지 밀도의 차이는 인가하는 전압의 크기에 의해서 보다는 광원과 시료사이의 거리에 의해 더 크게 나타나는 것으로 보인다.

광펄스 처리에 의한 표면 온도 변화

높은 에너지를 갖는 광펄스 형태의 광은 순간적으로 시료의 표면 온도를 상승시켜 미생물, 효소, 바이러스 등을 불활성화시키기에 충분하다고 보고되었다⁽¹⁾. 한 예로서 *Pseudomonas* spp. 균주를 접종한 치즈에 16 J/cm²의 에너지를 갖는 광펄스를 2회 처리한 후 미생물의 수가 약 1.5 log 감소하였으며, 표면의 온도는 5°C가 상승하였다고 보고하였으며⁽⁸⁾, 다른 보고에 의하면 광 펄스의 빛이 갖는 열은 10 μm 두께의 시료 표면 온도를 50-100°C 상승시킬 수 있다고 하였다.

본 연구에서는 temperature indicator dot turn black label (TIB)을 이용하여 광펄스 처리 표면의 온도 상승 정도를 알

아보기 위하여 광의 세기 25 kV, 처리시간 2500 μs에서 시료 표면과 램프 사이의 거리에 변화를 주어가면서 실험한 결과 시료 표면에서의 급격한 온도 상승은 관찰되지 않았다. 실험에 사용된 시료 표면의 초기온도는 약 20°C 전후였으며, TIB의 온도 측정 범위는 40-82°C로서 광펄스에서 전달된 에너지가 시료 표면의 온도를 40°C까지는 상승시키지 못함을 알 수 있었다. Digital thermometer를 이용하여 광 펄스 처리 전·후의 온도 변화를 측정 한 결과 시료 표면의 온도는 거리에 따라 약 1.2°C에서 3.7°C정도 상승하여 5°C 미만의 온도 상승만을 보였다. 따라서 광 펄스 처리시 시료 표면의 온도 상승 없이 미생물만을 효과적으로 처리할 수 있음을 알 수 있었다.

자외선 흡수 물질의 변화

광펄스 처리로 인한 젯산균 세포의 세포막 손상 정도를 확인하기 위해 처리 전과 광의 세기 25 kV에서 2000 μs 처리 후 흡광도를 측정 한 결과를 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 처리하지 않은 세포 외액의 흡광도보다 처리 후 세포 외액의 흡광도가 다소 높게 나타나는 것으로 보아 광펄스 처리 역시 기존에 알려진 DNA의 손상이외에도 일부 세포막의 손상을 일으켜 세포내 물질이 다소 외

Table 1. Leakage of UV absorbing materials from *L. plantarum* cells at 220, 260 and 280 nm by intense light pulse. Intense light pulse treatments were carried out at 25 kV, 2500 μs and room temperature

	220 nm	260 nm	280 nm
untreated	0.7553 ± 0.0082	0.3253 ± 0.0033	0.2135 ± 0.0015
treated	0.8052 ± 0.0101	0.3661 ± 0.087	0.2258 ± 0.024
Δabs	0.0499	0.0408	0.0123

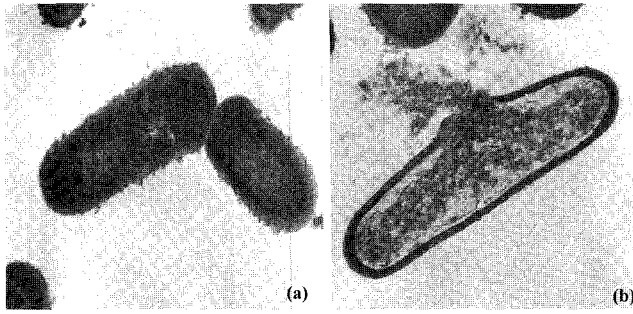


Fig. 6. Transmission electron micrographs of *L. plantarum* cells without (a) and with (b) intense light pulse treatment at 25 kV, 2500 μ s and room temperature.

부로 유출되어 지는 것으로 추측할 수 있었다. 광펄스 처리에 의한 미생물의 사멸이 어떠한 기작에 의해 이루어지는지는 아직 명확하지 않으나, 지금까지의 연구 결과에 의하면 세포의 nucleic acid에 손상을 주는 동시에 세포내의 protein, membrane, cellular materials 등에 손상을 주어 사멸을 일으키는 것으로 추측되어진다⁽¹⁵⁻¹⁸⁾. 그러나 광펄스에 의해 미생물이 사멸되는 원인을 한가지라고 단언하기에는 어려우며 이는 여러 가지 요인이 작용하기 때문이다⁽¹⁹⁾. 광 펄스 처리에는 전 파장대의 광이 이용되는데 특히, UV 영역은 미생물의 nucleic acid와 세포내 물질에 손상을 주며, 순간적인 열로 인해서 세포벽의 파괴가 일어난다고 하였으며^(20,21), 전파장의 광펄스에 포함되어 있는 UV 영역에서도 200-320 nm인 단파장대는 장파장대보다 미생물을 불활성화시키는데 효과적인 것으로 보고되고 있다⁽²²⁾. 일반적으로 미생물은 자외선에 노출되면 DNA가 손상을 받아 불활성화되며, 다시 가시광선을 조사하면 광회복 요소의 활성화로 미생물은 회복된다. 그러나 광펄스 처리는 broad-spectrum light로 DNA, proteins, macromolecules에 결정적인 손상을 주어 실패되며, 고 에너지와 강한 광으로 인해 손상된 DNA는 복구되지 않는다고 보고하였다⁽⁶⁾.

투과전자현미경 관찰

광펄스 처리 전과 처리 후 젓산균 세포의 형태적인 변화를 관찰하기 위해 광의 세기 25 kV에서 2000 μ s 처리 후에 세포의 형태를 투과 전자 현미경(TEM)으로 관찰하였다. Fig. 6에서 보듯이 광펄스 처리하지 않은 세포는 세포 내 구성 물질이 고르게 존재하였으나, 광 펄스 처리를 받은 세포는 세포벽과 세포질막 사이의 구분이 불분명해졌으며, 세포 내 물질도 상당 부분 유실된 것을 볼 수 있었다. 또한 세포막 부분이 터져 외부로 유출되는 모습도 보였다. 이는 기존에 알려져 있는 광펄스 기작인 세포내 물질에의 손상 이외에도 세포막의 손상에 의해 세포 내 물질이 유출되어 사멸되어지는 것을 알 수 있었다.

요 약

Lactobacillus plantarum, *Lactobacillus brevis*, *Leuconostoc mesenteroids*, *Pediococcus pentosaceus*를 대상으로 하여 광

펄스 처리에 따른 미생물의 영향에 대하여 검토하였다. 광원에 인가하는 전압의 세기를 15-25 kV로 하고 2500 μ s 이내의 처리시간으로 젓산균 세포를 광 펄스 처리하였을 경우 빛의 세기가 증가할수록 사멸 속도와 사멸율이 증가하였으며, 1500 μ s 처리후에는 빛의 세기에 상관없이 7 log 정도의 동일한 사멸율을 나타내었다. 빛의 세기 25 kV에서 광원과 시료 표면의 거리를 60, 85, 110, 135 mm으로 변화를 주어 처리한 결과 광원과 시료 표면과의 거리가 가까울수록 높은 살균율을 나타내었다. 광펄스 처리시 시료 표면의 온도 상승은 5°C 미만으로 거의 나타나지 않았다. 광펄스 처리후 투과 전자 현미경으로 형태적인 변화를 관찰한 결과 광펄스 처리한 세포는 처리하지 않은 세포에 비해 세포내 물질이 상당 부분 손실되었으며, 일부 세포막과 세포벽에 손상이 일어났음을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2000년도 한국 학술진흥재단의 지원 (KRF-2000-041-G00102) 에 의한 연구 결과로 이에 감사드립니다.

문 헌

- Mertens, B. and Knorr, D. Development of nonthermal processes for food preservation. *Food Technol.* 46: 124-133 (1992)
- Ray, B. Control by new nonthermal methods. In: *Fundamental Food Microbiology*, CRC Press, New York, USA (1996)
- Barbosa-Canovas, G.V. New technologies for the preservation of foods. *First International Congress Biochemical Engineering*, Mexico City, Mexico (1994)
- Shin, J.K. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* by high voltage pulsed electric field. M.S. thesis, Yonsei University, Seoul (2000)
- Dunn, J., Clark, R.W., Asmus, J., Pearlman, J., Boyer, K., Painchaud, F. and Hoffmann, G. Methods for preservation of food-stuffs. U.S. Patent 4,871,559 (1989)
- Barbosa-Canovas, G.V., Schaffner, D., Pierson, M.D. and Howard Zhang, Q. Pulsed light technology. *J. Food Sci. Special Supplement* (2000)
- Bushnell, A., Clark, W., Dunn, J. and Salisbury, K. Pulsed light sterilization of products packaged by blow-fill-seal technology. *Pharmaceutical Engineering*, 17: 74-84 (1997)
- Dunn, J., Clark, R.W., Asmus, J., Pearlman, J., Boyer, K., Painchaud, F. and Hoffmann, G. Methods for preservation of food-stuffs. U.S. Patent 5,034,235 (1991)
- Dunn, J. Pulsed light and pulsed electric field for foods and eggs. *Poultry Sci.* 75: 1133-1136 (1996)
- Dunn, J., Ott, T. and Clark, W. Pulsed light treatment of food and packaging. *Food Technol.* 49: 95-98 (1995)
- McDonald, K., Curry, R., Clevenger, T., Brazos, B. and Unklesbay, K. The development of photosensitized pulsed and continuous ultraviolet decontamination techniques for surface and solutions. *IEEE Transaction on Plasma Sci.* 28: 1448-1488 (1999)
- Barbosa-Canovas, G.V., Palou, E., Pothakamury, U.R. and Swanson, B.G. Application of light pulses in the sterilization of foods and packaging material. pp. 139-161. In: *Nonthermal Preservation of Foods*. Marcel Dekker, New York, USA (1997)
- Dunn, J., Bushnell, A., Ott, T. and Clark, W. Pulsed white light food processing. *Cereal Foods World* 42: 510-515 (1997)
- Kim, N.H. Shin, J.K. Cho, H.Y. and Pyun, Y.R. Effects of high voltage pulsed electric fields on the extraction of carotenoid from *Phaffia rhodozyma*. *Korean J. of Food Sci.* 31: 720-726 (1999)

15. Koller, L. Ultraviolet Radiation, John Wiley and Sons, Inc., New York, USA (1965)
16. Jagger, J. Ultraviolet Photobiology, Prentice-Hall, Inc., New York, USA (1967)
17. Smith, K. The Science of Photobiology, Plenum Press, New York, USA (1977)
18. Jay, J.J. Modern Food Microbiology, Chapman Hall, New York, USA (1992)
19. Pelczer, M.J., Chan, E.C.S. and Krieg, N.R. Microbiology, McGraw-Hill Inc., USA (1986)
20. Wekhof, A. Pharma+Food, January, Huttig Verlag, Heidelberg, Germany (2000)
21. Dunn, J. Private communication with W.J. Kowalski / unpublished test results (2000)
22. Farkas, J. Physical methods of food preservation. In: Food Microbiology, Fundamentals and Frontiers. Dolye, M.P. Beauchat, L.R. T.J. Montville (eds.). D.C. ASM Press, Washington, USA 497-519 (1997)

(2002년 4월 4일 접수; 2002년 5월 27일 채택)