

시판 유통 마른 김(*Pyropia tenera*)의 미생물학적 · 화학적 위해요소 분석 및 안전성 평가

김소희^{1,2} · 전은비^{1,2} · 송민규^{1,2} · 김진수^{1,2} · 이정석^{1,2} · 허민수^{2,3} · 박신영^{1,2*}

¹경상국립대학교 해양식품공학과/해양산업연구소, ²경상국립대학교 수산식품산업화 기술지원센터, ³경상국립대학교 식품영양학과

Safety Assessment of Microbiological and Chemical Hazards in Commercial Dried Laver *Pyropia tenera*

So Hee Kim^{1,2}, Eun Bi Jeon^{1,2}, Min Gyu Song^{1,2}, Jin-Soo Kim^{1,2}, Jung-Suck Lee^{1,2}, Min Soo Heu^{2,3} and Shin Young Park^{1,2*}

¹Development of Seafood Science and Technology/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

²Research Center for Industrial Development of Seafood, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

³Department of Food and Nutrition, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

Fifteen samples of dried laver *Pyropia tenera* were collected from markets and processing plants in Korea for an assessment of their microbial and chemical hazards, in accordance with the Korean food code. The contamination levels of total viable bacteria, coliforms, *Escherichia coli*, and nine other pathogenic bacteria (*Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Vibrio parahaemolyticus*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes*, *Enterohemorrhagic Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, *Bacillus cereus*, and *Campylobacter jejuni*) were evaluated. The concentrations of heavy metals (lead, cadmium, total mercury, and total arsenic) and radioactive isotopes (¹³¹I, and ¹³⁴Cs+¹³⁷Cs) in the laver samples were also determined. The total viable count of bacteria was 2.62±0.80 (1.48–4.45) CFU/g. The contamination levels of lead, cadmium, total mercury, and total arsenic were 0.024±0.005 (0.018–0.035), 0.090±0.038 (0.041–0.146), 0.008±0.005 (0.003–0.018) and 1.315±0.372 (0.814–1.930) mg/kg, respectively. All samples tested negative for significant levels of radioactivity, the nine pathogenic bacteria, coliforms, and *E. coli* (<1.00 CFU/g). We assume that ensuring the microbiological and chemical safety of dried laver can increase the demand for its exportation. The present study may serve as a basis for microbiological and chemical hazard assessment of dried lavers.

Keywords: Dried laver, Microbiological safety, Chemical contamination

서 론

김(*Pyropia tenera*)은 홍조류에 속하는 대표적인 식용 해조류로서 세계적으로 140여종이 있으며, 주요 종에는 참김(*P. tenera* Kjellman), 모무늬돌김(*P. seriata* Kjellman), 방사무늬김(*P. yezoensis* Ueda), 잇바디돌김(*P. dentata* Kjellman) 등이 있다(Lee et al., 2017). 김은 칼슘, 마그네슘, 철분, 아연, 비타민 등이 많이 함유되어 있고 각종 미네랄, 식이섬유, 영양의 공급원으로 애용되어 왔다(Choi et al., 2020). 김은 주로 마른김과 조미

김으로 가공되었으나, 최근에는 스낵류, 유아식, 조미료, 증점제, 영양식품 및 건강기능식품 등 다양한 제품들로 개발되고 있다. 김은 미역 및 다시마 등의 해조류와 함께 한국인들의 밥상에 자주 오르는 기호식품으로서, 국내에서 주로 12월-익년 3월에 서남해안에서 양식으로 생산되며, 국내 및 해외 수산물 수출산업에서 효자품목으로 중국, 일본, 미국, 태국 등에 주로 수출되고 있다(Kwon et al., 2018).

김의 생산부터 가공단계까지의 위해요소 관리가 중요하지만, 계속해서 안전성 문제가 대두되고 있다. 김은 육지와 인접한 바

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9149 Fax: +82. 55. 771. 9143

E-mail address: sypark@gnu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0182>

Korean J Fish Aquat Sci 56(2), 182-187, April 2023

Received 11 November 2022; Revised 6 February 2023; Accepted 17 February 2023

저자 직위: 김소희(대학원생), 전은비(대학원생), 송민규(대학원생), 김진수(교수), 이정석(교수), 허민수(교수), 박신영(교수)

다에서 주로 생산되고 양식하기 때문에 인근 주거지역, 가축사육지, 이동 선박 등에 의해서 일반세균, 대장균군, 대장균, 식중독세균 등과 같은 생물학적 오염원에 의해 위생 안전에 영향을 받는다. 실제로 Kwon et al. (2018)은 마른김의 가공공정 경과에 따른 미생물 오염도를 분석한 결과, 공장 가동 시간에 따라 미생물학적 오염도가 6 log CFU/g 이상으로 오염도가 증가하였다고 보고하였다. 또한, 산업이 급속히 발전하면서 생활하수, 산업폐수, 기름 유출 등의 문제로 환경오염이 가속화됨에 따라 다양한 문제가 발생하지만 특히, 자연에서 분해가 어려운 중금속 오염이 문제가 될 수 있다. 해조류는 해수 중의 중금속을 농축하고, 중금속에 대한 높은 흡착력을 나타내어 농축계수가 높은 것으로 보고(Yang et al., 2016)되고 있고 해조류의 중금속 오염도에 대한 연구(Yang et al., 2016; Lee et al., 2019)들도 보고되고 있다. 또한, 1974년 Food and Agriculture Organization/World Health Organization 합동전문가위원회는 관리해야 할 화학적 오염물질로 중금속(납, 카드뮴, 수은, 총비소 등), 잔류농약(유기염소계), PCBs 등을 제시하였다(Jeon et al., 2021). 이와같이 김에 관한 미생물 오염도 및 중금속 분석에 관한 연구는 많이 보고되고 있지만, 아직까지 방사능 분석에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 시중에서 유통중인 마른김을 각 지역별로 구입하여 위생지표세균인 일반세균, 대장균군, 대장균 및 9종의 식중독균[*Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Vibrio parahaemolyticus*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes*, *Enterohemorrhagic Escherichia coli* (EHEC), *Yersinia enterocolitica*, *Bacillus cereus*, *Campylobacter jejuni*]의 미생물학적 오염도와 중금속(납, 카드뮴, 총수은, 총비소) 및 방사능 등과 같은 화학적 오염도를 분석하여 시판 유통중인 마른김의 안전성을 평가하여 마른김의 미생물 오염도 및 화학적 위해요소 분석에 추가적인 자료로 제공하였다.

재료 및 방법

시료 준비

본 연구에서 사용한 마른김(*P. tenera*) 시료 총 15건은 각 지역별로 소재하고 있는 대형마트, 전통시장, 온라인 및 가공공장에서 수거하여 실험에 사용하였습니다. 수거한 지역은 창원, 마산, 사천, 거제, 고성, 여수, 순천, 광양, 고창, 익산, 포항이며, 실험은 식품공전(MFDS, 2022)을 바탕으로 실시하였다. 또한, 시료는 현장에 2차 오염을 방지하기 위해 아이스박스를 동봉하여 저온을 유지하면서 12시간내에 실험실로 운반하여 분석에 사용하였고, 인터넷을 통해 구입한 시료는 도착하자마자 분석하였다.

일반세균, 대장균군 및 대장균 분석

일반세균, 대장균군 및 대장균을 정량적으로 측정하기 위한 시료용액을 제조하기 위해 시료 25 g에 멸균생리식염수 225

mL를 가하였다. 이후 균질기(BagMixer 400; Interscience, Saint-Nomla Breteche Arpents, France)를 이용하여 약 2분간 균질화 하였다. 균질된 시료액 1 mL와 멸균생리식염수를 이용하여 10진 희석법에 따라 희석하여 그 용액을 실험에 사용하였다. 일반세균은 시료액 1 mL와 표준한천평판배지(plate count agar; BD Difco, Sparke, MD, USA) 15–20 mL를 petri dish에 분주한 후 균일하게 혼합하여 35±1°C에서 48±2시간 배양하였다. 대장균군 및 대장균의 정량적 분석을 위해 3M Petrifilm *E. coli*/Coliform Count Plate (3M, St. Paul, MN, USA) 건조필름을 사용하였으며, 희석된 시료액 1 mL를 건조필름에 분주 후 35±1°C에서 24–48시간 배양하였다. 대장균군의 경우 적자색을 띄며 그 주위로 기포가 생성된 집락, 대장균은 청색을 띄며 그 주위로 기포가 생성된 전형적인 집락을 계수하였다. 평판당 15–300개의 집락이 생성된 평판을 택하여 계수하였으며, 미생물 집락의 단위는 colony forming unit (CFU/g)으로 표시하였다.

식중독균의 분석

본 연구에서 마른김의 식중독균에 대한 분석은 식품공전에서 고시한 시험법과 동일하게 진행하였으며(MFDS, 2022), 식중독균으로 *S. aureus*, *Salmonella* spp., *V. parahaemolyticus*, *Cl. perfringens*, *L. monocytogenes*, EHEC, *Y. enterocolitica*, *B. cereus*, *C. jejuni*의 총 9종류를 선정하여 분석하였다.

황색포도상구균(*S. aureus*)의 정량적으로 분석하기 위해 시료 25 g에 멸균생리식염수 225 mL를 가하여 균질기를 이용하여 2분간 균질화한 후, 균질화된 시료액 1 mL와 멸균생리식염수를 10진 희석법에 따라 희석하여 실험에 사용하였다. 황포도상구균의 정량용 배지 baired-parker agar (BD Difco)를 사용하였으며, 3장의 배지에 1 mL가 되게 spread하여 완전히 흡수시켜서 35–37°C에서 48±2시간 배양하였다. 배양 후 평판당 15–300개의 집락이 생성된 평판을 택하여 투명한 띠로 둘러싸인 광택을 가지는 검정색의 집락을 계수하였다. 황색포도상구균의 확인시험법을 바탕으로 계수한 평판에서 5개 이상의 전형적인 집락을 선별하여 보통한천배지에 접종하고 35–37°C에서 18–24시간 배양하여 그람양성 구균, coagulase 응집 유무 등을 실시하고, 확인동정된 균수의 평균에 희석배수를 곱하여 최종 정량하였다.

Salmonella spp.를 정성적으로 분석하기 위해 시료 25 g과 펩톤식염완충용액(buffered peptone water; BD Difco) 225 mL를 혼합하고, 36±1°C에서 18–24시간 증균배양 후, 이 시험용액 1 mL를 Tetrathionate broth (Oxoid Ltd, Hampshire, UK)에 접종함과 동시에 RV (rappaport vassilidis broth; Oxoid, Hampshire, UK)배지에 0.1 mL 접종하여 각각 36±1°C 및 41.5±1°C에서 20–24시간 동안 2차 증균배양하였다. 그리고 각각의 증균배양액을 XLD (xylose lysine deoxycholate; BD Difco) agar 및 BG sulfa (brilliant green sulfa; BD Difco)배지에 희석도말

한 후 $36\pm 1^\circ\text{C}$ 에서 20–24시간 배양하였다. 이후 확인시험법을 바탕으로 의심집락을 5개 이상 취하여 TSI (triple sugar iron agar) 배지에 획선도말하고 배양($37\pm 1^\circ\text{C}$, 20–24시간)하였다.

*V. parahaemolyticus*를 정성적으로 분석하기 위해 시료 25 g과 alkaline 펩톤수 225 mL를 혼합하여 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 18–24시간 증균배양한 후 증균배양액을 TCBS (thiosulfate citrate bile salt sucrose agar; BD Difco)에 획선도말하여 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 18–24시간 배양하였다. 배양 후 2–4 mm인 청록색의 서당 비분해 집락을 TSA (tryptic soy agar; BD Difco)에 획선도말하고 배양($35\text{--}37^\circ\text{C}$, 18–24시간)하여 확인시험법을 실시하였다.

*Cl. perfringens*를 정성적으로 분석하기 위해 cooked meat 배지(MBcell, Seoul, Korea) 아랫부분에 일반세균수 측정용 시료액 1 mL를 접종하고 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 18–24시간 혐기배양하였다. 난황 첨가 TSC (tryptose sulfite cycloserine agar) 한천 배지(Oxoid, Hampshire, UK)에 증균배양액을 획선도말한 후 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 18–24시간 혐기조건에서 분리배양하였다. 불투명한 환을 가지는 황회색 집락을 보통한천배지에 획선도말하여 혐기배양 및 호기배양을 동시에 실시하였고, 호기배양은 균의 비발육 확인에 대해 확인시험을 실시하였다.

*L. monocytogenes*를 정성적으로 분석하기 위해 시료 25 g에 listeria enrichment broth (Oxoid, Hampshire, UK) 225 mL를 가하여 30°C 에서 48시간 증균배양 하였으며, 증균배양액을 Oxford 한천배지에 도말한 후 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 24–48시간 배양하였다. 의심집락 확인 시 0.6% yeast extract가 포함된 TSA 한천 배지에 접종하여 30°C 에서 24–48시간 배양하였고, 그람염색 후 양성간균으로 확인 시 확인시험을 진행하여 최종 결과를 판단하였다.

*Y. enterocolitica*를 정성적으로 분석하기 위해 시료 25 g과 PSBB (peptone sorbitol bile broth; MBcell) 225 mL를 가하고, PSBB 배지를 가한 시험용액 10 mL를 취해 ITC (irgasan ticarcillin and potassium chlorate broth; MBcell) 90 mL와 혼합하여 각각의 시험용액을 25°C 에서 48시간 증균배양하였다. 0.1 mL의 증균배양액을 0.5% KOH가 함유된 0.5% 식염수 1 mL와 잘 섞어준 뒤 MacConkey agar (Difco)와 cefsulodin irgasan novobiocin agar (MBcell)에 각각 접종하여 30°C 에서 24±2시간 배양하였다. MacConkey 한천배지에서는 유당을 비분해하는 집락을 CIN 한천배지에서 중심부가 짙은 적색을 보이는 집락을 선별하여 확인시험을 실시하였다.

EHEC를 정성적으로 분석하기 위해 시료 25 g과 mTSB (modified tryptone soya broth; Oxoid, Hampshire, UK) 225 mL를 혼합하고 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 24시간 증균배양 하였으며, TC-SMAC (tellurite cefixime sorbitol macconkey agar; BD Difco)에 획선도말하여 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 18–24시간 배양하였다. Sorbitol을 분해하지 않은 무색집락 5개 이상을 보통한천배지에 획선도말하여 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 18–24시간 배양한 후 확인시험을 실시하였다.

*B. cereus*를 정성적으로 분석하기 위해 시료 25 g과 멸균생 리식염수 225 mL를 혼합하여 MYP (mannitol egg yolk polymyxin agar; BD Difco)에 접종하여 30°C 에서 24시간 배양하였다. 배양 후 혼탁한 환을 가지는 분홍색 집락을 선별하여 보통한천배지에 접종한 후 30°C 에서 24시간 배양하여 확인시험을 실시하였다.

*C. jejuni*를 정성적으로 분석하기 위해 시료 25 g과 Hunt broth (Campylobacter supplement 첨가; MBcell) 또는 Preston broth (MBcell) 100 mL를 넣고 균질화한 후 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 4–5시간 미호기적으로 1차 증균하고, $42\pm 1^\circ\text{C}$ 에서 44±4시간 미호기적으로 2차 증균배양하였다. 증균배양액을 preston agar (MBcell)에 접종하여 42°C 에서 24–48시간 미호기적으로 배양하였다. 배양 후 부드러운 모서리를 가진 불규칙한 원모양 형성 반투명의 흰색집락을 선별하여 혈액한천배지에 신속히 접종하여 42°C 에서 24–48시간 배양하여 확인시험을 실시하였다.

식중독균의 확인시험

분리배양 결과 각 식중독 세균의 전형적인 집락에 대해 VI-TEK (Compact 30; Biomerieux, Marcy-l'Étoile, France)를 사용하여 확인시험을 실시한 후 최종 결과를 확인하였다.

중금속 분석

마른김의 중금속은 납, 카드뮴, 총수은, 총비소 항목에 대하여 분석하였다. 중금속 분석을 위해 시료 전처리하는 Kim et al. (2016)의 연구에서 언급한 방법에 따라 진행하였다. 동결건조한 시료 1 g을 테프론 분해기(teflon bomb)에 넣고, 중금속 분석용 질산 10 mL를 가하고 상온에서 약 150분간 반응시켜 제조하였다. 이어서 시료를 완전 분해하기 위해 테프론 분해기를 밀폐시켜 가열판으로 $150\pm 5^\circ\text{C}$ 에서 노란색을 띄는 맑은 용액이 될 때까지 400분간 가열하였다. 분해 과정 후 테프론 분해기의 압력을 제거하고 뚜껑을 열고 $100\pm 5^\circ\text{C}$ 에서 질산이 1 mL 정도 가 될 때까지 증발시켰다. 그리고 중금속 분석용 질산 10 mL를 다시 가하고 테프론 분해기를 밀폐시키고 가열($150\pm 5^\circ\text{C}$, 400분)하는 과정을 한 번 더 반복하였다. 질산이 1 mL 정도로 거의 증발하였을 때 분해를 종료하고 2% (v/v) 질산으로 재용해하여 여과 및 정용 후(100 mL) 시험용액으로 사용하였다. 이런 과정을 통해 얻은 시험 용액을 이용하여 납, 카드뮴 분석은 유도 결합플라즈마 분석기(inductively coupled plasma spectrophotometer, ICP; ELAN DRC II; PerkinElmer, Santa Clara, CA, USA)를 사용하여 진행하였고, 분석 조건은 식품공전(MFDS, 2022)에 제시된 조건으로 설정하여 실시하였다.

총수은은 식품공전(MFDS, 2022)의 고시된 방법으로 진행하였고, 직접수은분석기(DMA-80; Mile-stone, Milano, Italy)를 사용하여 분석하였다. 총수은은 시료 0.1 g을 취하여 수은분석기에 주입하고, 건조(650°C , 90초), 분해(650°C , 180초) 및 아말감화(amalgamation) (850°C , 12초)하여 실시하였다. 총수은은 표준인증물질(certified reference material)인 DORM-4 (Fish

protein; NRC-CNRC, Ottawa, Ontario, Canada) 및 1566b (Oyster, NIST, Gaithersburg, MD, USA)를 사용하여 분석의 정확성 및 재현성을 확인하였다. 분석조건은 온도 1,000°C, detection은 dual-beam A.A. spectrophotometer, 파장 253.7 nm, 주입량 10–50 mg, absorption cell은 dual cell/thermostat 및 carrier gas는 산소로 설정하여 진행하였다. 모든 결과는 easy-DOC3 프로그램(Easy-DOC3 for DMA, Ver. 3.30, Milestone; GitHub Inc., San Francisco, CA, USA)을 이용하여 산출하였다.

총비소는 AS₂O₃ 1.32 g을 5% NaOH 20 mL에 녹이고, 질산으로 산성화하고 물을 가하여 1,000 mL로 정용하였다. 그리고 사용할 때는 1% 질산으로 희석하여 시험 용액으로 하였다. 시험 용액과 요오드화칼륨 3 g을 넣고 1시간 방치한 후 1:1 비율의 시험용액과 염산, 0.6–1.0% 수소화붕소나트륨용액, 0.1–0.5% 수산화나트륨용액을 환원기화장치에 주입하고 비소의 흡광도와 발광광도를 측정하였다. 비소 화학종 분석은 HPLC가 결합된 ICP-MS (Nexion 300D; Perkin-Elmer SCIEX, Waltham, MA, USA)로 수행하였다.

방사능 분석

방사능 분석은 식품공전(MFDS, 2022)에 제시된 방법을 바탕으로 실시하였다. 방사능 분석을 위한 시료의 전처리에는 표준체(20 mesh)에 얹어 약 5분간 물기를 제거한 후 분쇄기(HMF-3800SS; Hanilelec, Ulsan, Korea)로 갈아 제조하였다. 이어서 Marinelli 비커에 넣고 약 1 kg을 취한 후 밀봉하여 게르마늄 감마핵종분석기(OCTEC GEM-60195-P; Ortec, Tennessee, TN, USA)로 측정하였다. 측정에너지의 범위는 0–2 MeV로 하였으며, 측정시간은 최소 10,000초, 그리고 분석 핵종은 아이오딘 (¹³¹I)과 세슘(¹³⁴Cs+¹³⁷Cs)으로 하였다.

결과 및 고찰

마른김의 위생지표세균의 오염도

유통중인 마른김 총 15건에 대하여 위생지표세균(일반세균, 대장균군, 대장균)의 오염도 분석결과를 Table 1에 나타내었다. 우리나라의 식품공전(MFDS, 2022)의 현행 기준에서는 마른김의 일반세균, 대장균군 및 대장균의 규격이 제시되어 있지 않다. 마른김의 일반세균수는 평균 2.62 log CFU/g 로 나타났으며, 범위는 최소 1.48 log CFU/g 및 최대 4.45 log CFU/g 이었다. Kwon et al. (2018)의 마른김 가공 공정 중에 따른 미생물 오염도 분석결과 최종 완제품에서 대부분 6 log CFU/g 이상 검출되었으며, Noh et al. (2019)에서는 김의 총호기성균이 6.9±0.87 (4.0–7.7) log CFU/g 검출되었다. 본 연구의 결과가 두 연구보다 다행이도 더 낮게 검출되었다. 또한, Solberg et al. (1990)가 제시한 미생물학적 안전기준치인 일반세균수 6 log CFU/g와 비교시, 본 연구에서는 이 기준치보다 낮은 것으

로 나타났다. 아울러 본 연구에서 대장균군과 대장균은 15개 제품 모두에서 불검출되었다. Kwon et al. (2018)의 연구에서 마른김의 대장균군 및 대장균이 각각 18–160,000 MPN/100 g, 18–7,000 MPN/100 g으로 본 연구의 결과보다 매우 높게 검출되었다. 이는 마른김의 건조 공정으로 인해 발생하는 농축 효과 또는 가공에 사용되는 기구 및 설비 등 가공 공정 중 발생하는 교차 오염으로 인해 높게 나타났다고 보고하였다. 현재 마른김의 일반세균, 대장균군 및 대장균에 대한 국외 기준규격은 중국의 경우 일반세균 n=5, c=2, m=3 × 10⁴ CFU/g, M=10⁵ CFU/g, 대장균군 n=5, c=1, m=20 CFU/g, M=30 CFU/g이고, 태국의 경우 일반세균 n=5, c=2, m=5 × 10⁵, M=5 × 10⁶, 대장균 n=5, c=1, m=10, M=10² CFU/g이며, 캐나다의 경우 대장균 n=5, c=2, m=4 CFU/g, M=40 CFU/g으로 설정하여 관리하고 있다. 본 연구의 결과는 국내 및 국외에서 제시한 기준규격 이하로 검출되어 모두 충족하였으며, 유통과정에서 오염되지 않고 위생적으로 관리되고 있었다. 마른김의 위생학적 안전성 확보를 위해서 무엇보다도 생산과정 중 제품의 미생물 수준을 낮게 유지하도록 노력해야 한다(Noh et al., 2019).

마른김의 식중독세균 오염도

마른김의 식중독세균 오염도 분석 결과는 Table 2에 나타내었다. 마른김 중 식중독 세균(*S. aureus*, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *V. parahaemolyticus*, *Cl. perfringens*)

Table 1. Quantitative contamination levels of sanitary indication bacteria in dried laver *Pyropia tenera*

	Total viable bacteria	Coliform	<i>Escherichia coli</i>
Total	15	15	15
Mean±SD (CFU/g)	2.62±0.8	ND*	ND
(Range)	(1.48-4.45)		

*ND, Not detected (<10 CFU/g). SD, Standard deviation.

Table 2. Quantitative or qualitative contamination levels of 9 food-borne pathogenic bacteria in dried laver *Pyropia tenera*

	Food-borne bacteria	Total	Results
Quantitative	<i>Staphylococcus aureus</i>	15	ND*
	<i>Salmonella</i> spp.	15	Negative
Qualitative	<i>Listeria monocytogenes</i>	15	Negative
	<i>Bacillus cereus</i>	15	Negative
	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	15	Negative
	<i>Clostridium perfringens</i>	15	Negative
	EHEC	15	Negative
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	15	Negative
	<i>Campylobacter jejuni</i>	15	Negative

*ND, Not detected (<10 CFU/g). SD, Standard deviation. EHEC, Enterohemorrhagic *Escherichia coli*.

gens, EHEC, *Y. enterocolitica*, *C. jejuni*) 9종에 대한 실험결과 *S. aureus*는 불검출이었으며, 나머지 8종은 음성으로 나타났다. Lee et al. (2017)의 연구에서는 시판 건조 김 중 *B. cereus*가 2.10×10^2 CFU/g로 나타났고, *S. aureus* 및 *V. parahaemolyticus*는 불검출되었다. Son et al. (2014)은 시중에 유통되고 있는 마른김 총 4건에서 *B. cereus*, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *Salmonella* spp., *V. parahaemolyticus*이 검출되지 않았다고 보고하였다. 국내 식품공전에는 마른김의 식중독세균에 대한 기준규격이 없지만, 캐나다의 경우 *S. aureus* n=5, c=1, m=10³ CFU/g, M=10⁴ CFU/g, *Salmonella* spp. 음성이고, 태국의 경우 *S. aureus* n=5, c=1, m=10 CFU/g, M=10² CFU/g, *Salmonella* spp. 음성으로 기준규격을 제시하고 있다. 본 연구에서 분석한 마른김 15건의 경우 모두 국내외 식중독세균에 대한 기준규격을 초과하지 않았기 때문에 위생적으로 안전하다고 판단되었다. 마른김의 제조·가공 공정 중 미생물을 사멸시키는 단계가 많지 않으며, 별도의 조리 없이도 섭취가 가능하기 때문에 식중독균이 검출되어서는 안된다. 따라서 원료가 되는 원초의 세척단계부터 체계적인 위생 관리가 필요하다(Park et al., 2014).

마른김의 중금속 오염도

마른김의 중금속(납, 카드뮴, 총수은 및 총비소)오염도에 대한 조사 결과를 Table 3에 나타내었다. 마른김 시료 15건에 대한 납의 평균함량값은 0.024 (0.018–0.035) mg/kg, 카드뮴은 0.090 (0.041–0.146) mg/kg, 총수은은 0.008 (0.003–0.018) mg/kg, 총비소는 1.315 (0.814–1.930) mg/kg로 검출되었다. Kwon et al. (2018)의 연구에서 마른김에서 납 함량이 0.35–0.54 mg/kg, 카드뮴은 0.76–1.67 mg/kg로 분석되었지만, 마른김은 건조공정으로 인해 10배 이상 농축되기 때문에 수분함량을 고려하여 적용하였을 때 기준을 초과하는 시료는 없었다고 보고하였다. 또한, Son et al. (2012)에서는 마른김 시료 45건에 대한 수은, 납 및 카드뮴 평균함량이 각각 0.006 mg/kg, 0.196 mg/kg 및 0.894 mg/kg로 검출되었다. 본 연구의 결과와 비교하였을 때,

본 연구보다 수은이 더 낮게 검출되었지만, 납과 카드뮴의 경우 더 높게 검출되었다. Yang et al. (2016)의 연구에서는 김에 대한 수은, 납, 카드뮴, 비소의 평균함량이 각각 0.006 mg/kg, 0.24 mg/kg, 1.55 mg/kg, 21.5 mg/kg로 본 연구의 결과와 유사하게 비소의 평균함량이 가장 높게 나타났다.

중금속은 공기, 물, 토양 및 식품 등에 포함되어 자연환경 중에 일정 농도로 존재하여 인간에게 노출되고 있으며, 더욱이 현대 사회의 급속한 산업발전과 다양한 인간의 활동으로 인해 각종 생활오수, 산업폐수 등에 의해 하천, 연안해역 및 육상 등이 중금속 및 다른 환경물질들에 의해 오염이 가속화되고 있다(Son et al., 2012; Yang et al., 2016). 이러한 물질들은 퇴적물에 축적되거나 수중으로 재용해되어 해양 생물에 축적되게 된다. 해조류는 서식환경인 해수 중의 중금속을 농축하고, 중금속에 대한 높은 흡착력을 나타내기 때문에 농축계수가 높은 것으로 알려져 있다(Kuyucak and Volesky, 1989; Yang et al., 2016). 이러한 농축으로 인해 김과 같은 해조류에 축적된 중금속은 최종적으로 인간의 인체에도 축적되어 건강상 해로운 영향을 미칠 가능성이 있으므로, 지속적인 관리가 필요하다.

중금속 중에서도 납, 카드뮴, 수은은 축적성이 강하기 때문에 만성중독을 일으킬 수 있으며, 비소는 발암성 원소로 알려져 있다. 현재 우리나라에서 마른김의 중금속 허용기준은 납 0.5 mg/kg, 카드뮴 0.3 mg/kg으로 설정하여 위생관리하고 있다. 뿐만 아니라 중금속의 해로운 영향으로 인해 세계 각국의 기관에서는 마른김의 중금속 기준규격을 설정하여 관리하고 있으며, 중국의 경우 납 1.0 mg/kg, 태국의 경우 납 1.0 mg/kg, 카드뮴 0.3 mg/kg, 총수은 0.5 mg/kg, 무기비소 2.0 mg/kg, 베트남은 카드뮴 3.0 mg/kg, 총수은 0.5 mg/kg, EU의 경우 납 0.1 mg/kg, 카드뮴 0.05 mg/kg으로 제시되어 있다. 따라서 우리나라의 중금속 잔류 허용량범위에서는 안전한 것으로 판단되지만, EU의 경우 카드뮴이 초과되었다. 이는 EU에서 비교적 더 안전한 수준으로 관리되고 있는 것으로 판단되어진다.

마른김의 방사능 오염도

마른김의 방사능 분석결과는 Table 3에 제시하였으며, ¹³¹I과 ¹³⁴Cs+¹³⁷Cs의 함량을 측정된 결과 방사능 중 측정 항목 모두 불검출로 나타났다. Lee et al. (2021)의 연구에서는 마른김 중 방사능에 대해 ¹³¹I <0.11–0.24, ¹³⁴Cs <0.10–<0.19, ¹³⁷Cs <0.11–<0.24로 확인되었으며, 이는 식품공전에서 제시한 기준 이하였다고 보고하였다. 현재 우리나라의 식품공전에서 방사능 기준규격은 ¹³¹I 100 Bq/kg, ¹³⁴Cs+¹³⁷Cs 100 Bq/kg로 제시되어 있으며, 미국의 경우 ¹³¹I 170 Bq/kg, ¹³⁴Cs+¹³⁷Cs 1200 Bq/kg, 캐나다의 경우 ¹³¹I 1000 Bq/kg, ¹³⁴Cs+¹³⁷Cs 1000 Bq/kg, CODEX의 경우 ¹³¹I 100 Bq/kg, ¹³⁴Cs+¹³⁷Cs 1000 Bq/kg, 중국은 ¹³¹I 190 Bq/kg, ¹³⁴Cs+¹³⁷Cs 260 Bq/kg, 태국은 ¹³¹I 100 Bq/kg, ¹³⁴Cs+¹³⁷Cs 500 Bq/kg, EU의 경우 ¹³¹I 2000 Bq/kg, ¹³⁴Cs+¹³⁷Cs 1250 Bq/kg로 제시하여 관리하고 있다. 따라서 본

Table 3. Quantitative contamination levels of heavy metal and radioactivity in dried laver *Pyropia tenera*

Chemistry property	Total	Mean±SD (Range)
Heavy metal (mg/kg)	Pb (Lead)	15 0.024±0.005 (0.018-0.035)
	Cd (Cadium)	15 0.090±0.038 (0.041-0.146)
	Total Hg (Mercury)	15 0.008±0.005 (0.003-0.018)
	Total As (Arsenic)	15 1.315±0.372 (0.814-1.930)
Radioactivity (µg/kg)	¹³¹ I	15 ND*
	¹³⁴ CS+ ¹³⁷ CS	15 ND

*ND, Not detected. SD, Standard deviation.

연구에서의 마른김은 방사능에 대해서 안전한 것으로 확인되었지만, 식품 중 특히 수산물에서 방사능 오염에 대한 우려가 크기 때문에 방사능에 대한 주의가 필요하며, 검사 또한 지속적으로 필요한 것으로 판단된다.

2011년 3월 대지진으로 인한 일본의 후쿠시마 원전 사고 이후 소비자가 식품을 살 때 가장 우려하는 점이 방사능 오염이었으며, 다음으로 중금속, 환경호르몬, 잔류농약 순으로 나타났다. 국내에서도 위에서 언급한 기준으로 설정하여 관리하고 있으며, 각 국의 방사능 기준규격과 비교하였을 때, 매우 엄격하게 관리되고 있지만, 일본의 원전 오염수의 해양 방류로 인해 수산물에 대한 방사능 오염 우려가 높을 것으로 예상된다.

본 연구에서는 시중 유통중인 마른김의 일반세균, 대장균, 대장균, 식중독세균 9종과 중금속 및 방사능에 대해 분석하였다. 마른김은 미생물학적 및 화학적 분석항목에 대해 국내의 기준규격 모두에 준하는 안전성이 검증된 제품이 유통되고 있음이 확인되었고, 뿐만 아니라 각 나라의 기준규격에도 적합하여 수출제품으로서 적합한 것으로 판단된다. 그러나 마른김은 생산과정 및 유통과정중 교차오염의 가능성이 있기 때문에 철저한 위생관리를 하여 미생물 수준을 낮게 유지해야하며, 중금속 및 방사능은 김의 채취시기부터 지속적으로 모니터링하여 위생적으로 안전한 최종제품으로 생산하도록 관리하여야 한다. 더불어 본 연구결과는 마른김을 활용한 수산가공식품의 제조와 유통과정 중 위생학적으로 관리 기준을 설정하는데 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2021년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(PJT201277, 대일 검사강화 조치 대응 수출시장 다변화 수산식품 개발).

References

- Choi MS, Kim JY, Jeon EB and Park SY. 2020. Predictive growth models of *Bacillus cereus* on dried laver *Pyropia pseudolinearis* as function of storage temperature. Korean J Fish Aquat Sci 53, 699-706. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0699>.
- Jeon EB, Kim JY, Song MG, Kim JS, Heu MS, Lee JS and Park SY. 2021. Risk analysis and safety assessment of microbiological and chemical hazards in the dried sea mustard *Undaria pinnatifida* distributed in markets. Korean J Fish Aquat Sci 54, 904-911. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0904>.
- Kim YJ, Oh HS, Kim MJ, Kim JH, Goh JB, Choi IY and Park MK. 2016. Identification of electron beam-resistant bacteria in the microbial reduction of dried laver (*Porphyra tenera*) subjected to electron beam treatment. Korean J Food Preserv 23, 139-143. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2016.23.1.139>.
- KMI (Korea Maritime Institute). 2022. Observation of Seaweed Statistics. Retrieved from <https://www.foc.re.kr> on Apr 04, 2022.
- Kuyucak N and Volesky B. 1989. Accumulation of cobalt by marine alga. Biotechnol Bioeng 33, 809-814. <https://doi.org/10.1002/bit.260330703>.
- Kwon KO, Ryu DG, Jeong MC, Kang EH, Jang YM, Kwon JY, Kim JM, Shin IS and Kim YM. 2018. Analysis of microbial contaminants and microbial changes during dried laver *Pyropia* spp. processing. Korean J Fish Aquat Sci 51, 8-14. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0008>.
- Lee EJ, Kim GR, Lee HJ and Kwon JH. 2017. Monitoring microbiological contamination, pre-decontamination, and irradiation status of commercial dried laver (*Porphyra* sp.) products. Korean J Food Sci Technol 49, 20-27. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2017.49.1.20>.
- Lee JY, Jeong JA, Jeon JS, Lee SB, Kwon HJ, Kim JE, Lee BH, Mo AR and Choi OK. 2021. Monitoring of radioactivity and heavy metal contamination of dried processed fishery products. J Food Hyg Saf 36, 248-256. <https://doi.org/10.13103/JFHS.2021.36.3.248>.
- Lee JY, Lee MJ, Jeong IH, Cho YS, Sung JH, Baek EJ, Lee EB, Kim HJ and Yoon MH. 2019. A study on heavy metal contamination and risk assessment of seaweed and seaweed products. J Food Hyg Saf 34, 447-453. <https://doi.org/10.13103/JFHS.2019.34.5.447>.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2022. Food Code. Retrieved from http://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FC_2 on Jun 13, 2022.
- Noh BY, Hwang SH and Cho YS. 2019. Microbial contamination levels in *Porphyra* sp. distributed in Korea. Korean J Fish Aquat Sci 52, 180-184. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0180>.
- Park SY, Song HH and Ha SD. 2014. Synergistic effects of NaOCl and ultrasound combination on the reduction of *Escherichia coli* and *Bacillus cereus* in raw laver. Foodborne Pathog Dis 11, 373-378. <https://doi.org/10.1089/fpd.2013.1665>.
- Son KT, Kwon JY, Jo MR, Choi WS, Kang SR, Ha NY, Shin JW, Park KBW and Kim JH. 2012. Heavy metals (Hg, Pb, Cd) content and risk assessment of commercial dried laver *Porphyra* sp., Korean J Fish Aquat Sci 45, 454-459. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2012.0454>.
- Son KT, Thea Lach, Jung Y, Kang SK, Eom SH, Lee DS, Lee MS and Kim YM. 2014. Food hazard analysis during dried-laver processing. Fish Aquat Sci 17, 197-201. <https://doi.org/10.5657/FAS.2014.0197>.
- Yang WH, Lee HJ, Lee SY, Kim SG and Kim GB. 2016. Heavy metal contents and food safety assessment of processed seaweeds and cultures lavers. J Korean Soc Mar Environ Energy 19, 203-210. <https://doi.org/10.7846/JKOS-MEE.2016.19.3.203>.