

유통중인 건미역(*Undaria pinnatifida*)의 미생물학적 · 이화학적 위해요소 분석 및 안전성 평가

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

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

Risk Analysis and Safety Assessment of Microbiological and Chemical Hazards in the Dried Sea Mustard *Undaria pinnatifida* Distributed in Markets

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

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

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

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

For the safety assessment of microbiological and chemical hazards in dried sea mustard, fifteen samples of dried sea mustards *Undaria pinnatifida* were purchased from the supermarkets distributed throughout Korea. The contamination levels of total viable bacteria, coliforms, *Escherichia coli*, and nine pathogenic bacteria [*Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *Vibrio* spp., *Clostridium perfringens*, *Enterohemorrhagic Escherichia coli* (EHEC), *Yersinia enterocolitica* and *Campylobacter jejuni/coli*] were quantitatively or qualitatively assessed. Also, the heavy metals (lead, cadmium, total mercury, and inorganic arsenic), and radioactivity (¹³¹I, ¹³⁴CS+¹³⁷CS) were quantitatively assessed. This microbial and chemical analysis was performed using standard methods in Korean food code. The total viable bacteria ranged from 4.3×10^2 (5.0×10^2 - 1.5×10^3) CFU/g. Coliforms and *E. coli* were not detected in all samples (ND, <1 log₁₀ CFU/g). All nine pathogenic bacteria were qualitatively detected as negative. The contamination levels of lead, cadmium, total mercury, and inorganic arsenic were 0.036 (0.015-0.051), 0.117 (0.088-0.156), 0.030 (0.017-0.048), and 0.058 (0.056-0.064) mg/kg, respectively. Radioactivity was also not detected in any sample. The microbial contamination levels determined in the current study may be potentially used as basis for performing microbial risk assessments of dried sea mustards.

Keywords: Dried sea mustard, Microbiological hazard analysis, Chemical analysis

서론

최근 건강과 웰빙에 대한 관심이 깊어지면서 저칼로리 다이어트 식이의 열풍으로 인해 미역과 같은 해조류의 섭취가 증가하고 있다. 미역을 이용한 대표적인 식품인 미역국은 한국의 고유한 음식으로서 일상의 식사와 출산 후 산모의 회복 및 유즙 분비 촉진을 위하여 주로 섭취되고 있으며 미역냉채, 미역쌈, 미역무침 등과 같이 별도의 열처리 없이 생으로 섭취하기도 한다.

뿐만 아니라 미역 등을 포함한 해조류는 기능성식품, 화장품 및 의약품 원료, 애완동물 사료 등으로 사용되고 있으며 그 활용성이 다양한 분야로 점점 확대·발전되고 있다. 미역(*Undaria pinnatifida*)은 갈조류의 다시마목 미역과에 속하는 해조류로서 우리나라 전 연안에 분포하며, 일본, 중국 및 극동지방 특산의 해조류이다. 미역에는 칼슘을 비롯하여 철, 요오드 등 인체에 필요한 40여종의 무기질과 생리활성 물질인 알긴산이 풍부하다. 알긴산은 콜레스테롤이 체내로 흡수되는 것을 막는 해독작용을

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

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.2021.0904>

Korean J Fish Aquat Sci 54(6), 904-911, December 2021

Received 22 October 2021; Revised 16 December 2021; Accepted 20 December 2021

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

하며, 중금속 및 방사능 물질의 제외배출, 비만 및 변비 방지 효능 등이 있는 것으로 보고되고 있다(Sato et al., 2002; Suetsuna et al., 2004). 국내의 미역생산량은 연도별 차이는 있으나 연간 약 45만톤 이상이 생산되고 있으며, 2021년 생산량은 약 58만톤으로 식용 미역이 약 32만톤, 전복 먹이용이 약 26만톤이었다. 이 중 수출량이 약 4만 9천톤으로 금액으로는 168만 달러에 달하는 것으로 나타났다(KMI, 2021).

국내에서 시판되고 있는 미역은 제조형태에 따라 건미역과 염장미역으로 나뉘고 있다. 그 중 건미역의 경우 미역을 일광 건조하여 장기간 보관이 용이하도록 처리한 제품으로 아무런 가공 공정없이 자연 상태에서 건조하는 경우가 대부분이다(Choi et al., 2008). 이러한 자연 건조 시의 문제점은 미역 표면 특유의 끈끈한 점액물질에 의해서 건조속도가 매우 느리고 이로 인하여 미생물에 오염될 소지가 크다. 또한 생산 및 가공단계에서의 위해요소 관리가 미흡하여 위해요소에 대한 안전성 문제가 대두되고 있다. 미역은 대부분이 육지와 인접한 바다에서 주로 생산되거나 양식되고 있어 인근에 위치한 주거지역, 가축 사육지, 이동 선박 등에서 발생하는 일반세균수, 대장균군, 대장균, 식중독세균 등과 같은 생물학적 오염원에 의하여 위생학적 안전성에 영향을 받기 쉽다. 또한 해조류의 표면은 이온교환 과정을 통해서 비소와 같은 중금속을 빠르게 흡수하여 축적할 수 있으며, 갈파래(*Ulva lactuca*), 다시마(*Laminaria digitata*) 등 다양한 해조류에서 중금속의 축적이 보고되고 있다(Omar, 2008; Ronan et al., 2017). 산업화의 부산물로 발생된 중금속은 식품 중에 함유되어 있으면 인위적으로 조절하는 것이 매우 어려우며, 사람 몸에 들어오게 되면 몸 밖으로 잘 빠져나가지 않아 체내 축적성이 높다. 또한 1974년 FAO/WHO 합동전문가위원회는 감시해야 할 대상인 화학적 오염물질로 중금속, 잔류농약(유기염소계), PCBs 등을 제시하였으며, 특히 대표적인 유해 중금속으로는 납, 카드뮴, 수은, 비소 등이 있다.

따라서 본 연구에서는 일반세균수, 대장균군, 대장균 및 9종의 식중독세균(*Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Vibrio parahaemolyticus*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes*, *Enterohemorrhagic Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, *Bacillus cereus*, *Campylobacter jejuni/coli*)의 오염정도를 분석하였다. 아울러 4종의 중금속(납, 카드뮴, 총수은, 무기비소), 방사능 등과 같은 화학적 오염도를 평가하여 건미역의 미생물학적 및 이화학적 안전성을 평가하고자 한다.

재료 및 방법

연구 재료

건미역(*U. pinnatifida*) 시료는 총 15건을 수거하여 사용하였다. 이들 건미역은 창원(1건), 마산(1건), 사천(1건), 거제(1건), 고성(1건), 여수(1건), 순천(1건), 광양(1건), 고창(2건), 익산(1건), 포항(4건)에 소재하고 있는 대형마트, 전통시장, 온라인 쇼

핑몰 및 가공공장에서 수거하되, 그 방법은 식품공전(MFDS, 2021) 제7. 검체의 채취 및 취급방법에 따라 실시하였다. 즉, 시료는 현장에서 2차 오염을 방지하기 위하여 아이스박스로 저온을 유지하면서 12시간 이내에 실험실로 운반하여 분석에 사용하였고, 인터넷을 통하여 구매한 시료는 도착 즉시 분석에 사용하였다.

건미역에 대한 국내외 기준규격 조사

건미역의 국내외 기준규격은 국내의 경우 식품의약품안전처에서 관리하고 있는 식품공전(MFDS, 2021)을, 국외의 경우 미국의 FDA (USA FDA, 2021) 규정 및 기준을, 캐나다의 경우 보건부 검역청(Canada Food Inspection Agency, 2021) 식품안전기준 및 지침을, 중국의 경우 국가위생건강위원회(China National Health and Family Planning Commission, 2021)안전관리 및 기준규격 NHC규격을, 태국의 경우 FDA (Ministry of Public Health Nonthaburi Thailand, 2021) 식품의 기준 및 규격을, 베트남의 경우 보건부 식품안전국(Vietnam Standard and Quality Institute/Food Safety Institute, 2021)식품관리처 기준규격을, EU의 경우 유럽식품안전위원회(European Food Safety Authority, 2021)의 식품 규정 및 지침서의 기준규격을, 그리고 국제식품규격위원회(CODEX Alimentarius International Food Standards, 2021)기준규격을 조사하여 정리하였다.

일반세균수, 대장균군 및 대장균 분석

일반세균수, 대장균군 및 대장균의 분석을 위한 전처리 시료 용액을 제조하기 위해 시료 25 g을 취하여 멸균 생리식염수 225 mL를 가하였다. 이후 균질기(BagMixer 400; Interscience, Saint-Nom la Breteche Arpents, France)를 이용하여 약 2분간 균질화 하였다. 균질된 시료액 1 mL와 멸균생리식염수를 10진 희석법에 따라 희석하여 그 용액을 실험에 사용하였다. 일반세균수는 전처리 시료 1 mL와 표준한천평판배지(plate count agar; BD Difco, Sparks, MD, USA) 15-20 mL를 petri dish에 분주 후 균일하게 혼합하여 35±1°C에서 48±2시간 배양하였다. 대장균군 및 대장균은 3M Petrifilm E. coli/Coliform Count Plate (3M, St. Paul, MN, USA) 건조필름을 사용하였으며, 전처리 시료 1 mL를 대장균군 건조필름 I (Petri film™ CC; 3M Health Care, St. Paul, MN, USA)에 접종 후 35±1°C에서 24±2시간 배양하였다. 대장균군의 경우 적자색과 그 주위로 기포가 생성된 집락, 대장균은 청색과 그 주위로 기포가 생성된 전형적인 집락을 계수하였다. 평판당 15-300개의 집락이 생성된 평판을 택하여 계수하였으며, 미생물 집락의 단위는 시료용액 1 mL당 colony forming unit (CFU/mL)으로 표시하였다.

식중독세균 분석

본 연구에서 건미역의 식중독세균에 대한 분석은 식품공전(MFDS, 2021)에서 고시한 방법에 따라 실시하였으며, 식중독세균은 총 9종류로 *S. aureus*, *Salmonella* spp., *V. parahaemo-*

lyticus, *Cl. perfringens*, *L. monocytogenes*, EHEC, *Y. enterocolitica*, *B. cereus* 및 *C. jejuni/coli*를 선정하여 측정하였다.

*S. aureus*의 정량적 분석을 위해 전처리 시료는 앞에서 언급한 일반세균수 측정용 전처리 시료 1 mL와 멸균 생리식염수를 10진 희석법에 따라 희석하여 실험에 사용하였다. *S. aureus*의 정량을 위한 배지는 baird-parker agar (BD Difco)를 사용하였으며 3장의 배지에 1 mL가 되게 spread 하여 완전히 흡수시킨 후 35-37°C에서 48±3시간 배양하였다. 배양 후 평판당 15-300개의 집락이 생성된 평판을 택하여 투명한 띠로 둘러싸인 광택성의 검정색의 집락을 계수하였다. 계수한 평판에서 5개 이상의 전형적인 집락을 선별하여 보통한천배지에 접종하고 35-37°C에서 18-24시간 배양하여 그람양성 구균, coagulase 응집 무무 등의 확인시험을 실시한 후, 확인동정된 균수의 평균에 희석배수를 곱하여 최종 정량하였다.

Salmonella spp.의 정성분석을 위해 시료 25 g과 펩톤식염원 충용액(buffered peptone water; BD Difco) 225 mL를 혼합하여 36±1°C에서 18-24시간 증균배양한 후, 이 시험용액 1 mL를 Tetrathionate broth (BD Difco)에 접종함과 동시에 Rappaport vassilidas broth (RV; BD Difco) 배지에 0.1 mL에 접종하여 각각 36±1°C 및 41.5±1°C에서 20-24시간 2차 증균배양 하였다. 이어 각각의 증균배양액을 xylose lysine desoxycholate agar (XLD; Oxoid, Hampshire, UK) 및 brilliant green sulfä (BG Sulfä; Oxoid, Hampshire, UK) agar에 희선도말한 후 36±1°C에서 20-24시간 배양하였다. 그 후 의심집락을 5개 이상 채취하여 triple sugar iron agar (TSI)에 희선 도말하고 배양(37±1°C, 20-24시간)한 후 의심되는 균은 VITEK 2 (bioMerieux, Durham, NC, USA) 확인시험을 통해 확인하였다.

*V. parahaemolyticus*의 정성분석을 위해 시료 25 g과 alkaline peptone water (APW; BD Difco) 225 mL를 혼합하여 30°C에서 48시간 증균배양 하였으며, 이 후 증균배양액을 thiosulfate citrate bile salt sucrose agar (TCBS; BD Difco)에 희선도말하여 35-37°C에서 24-48시간 분리배양하였다. 배양 결과 청록색의 서당 비분해 집락을 tryptic soy agar (TSA)에 희선도말하고 배양(30°C, 24-48시간)한 후 의심되는 균은 VITEK 2 확인시험을 통해 확인하였다.

*C. perfringens*의 정성분석을 위해 전처리 시료는 앞에서 언급한 일반세균수 측정용 전처리 시험용액 1 mL를 10 mL cooked meat medium (cooked meat; MBCell, Seoul, Korea) 배지에 접종하고, 35-37°C에서 18-24시간 동안 혐기배양 하였다. 난황첨가 tryptose sulfite cycloserine agar (TSC; Oxoid, Hampshire, UK)에 증균배양액을 희선도말 한 다음, 이를 35-37°C에서 18-24시간 혐기배양 한 다음, 불투명한 환을 가진 황회색 집락을 보통한천배지에 희선 도말하여 혐기배양 및 호기배양을 동시에 실시하였으며, 호기배양은 균의 비발육 확인에 대해 확인시험을 실시하였다. 그람양성간균으로 판정된 집락은 VITEK 2 확인시험을 통해 확인하였다.

*L. monocytogenes*의 정성분석을 위해 시료 25 g에 listeria enrichment broth (Oxoid, Hampshire, UK) 225 mL를 가하여 30°C에서 48시간 증균배양 하였으며, 증균배양액을 Oxford 한천배지에 도말하여 35-37°C에서 24-48시간 배양하였다. 의심 집락이 확인되면 0.6% yeast extract가 포함된 tryptic soy agar (TSA)에 접종하여 30°C에서 24-48시간 배양하였으며, 그람양성간균으로 판정된 집락은 VITEK 2 확인시험을 통해 확인하였다.

EHEC의 정성분석을 위해 시료 25 g과 modified tryptone soya broth (mTSB; Oxoid, Hampshire, UK) 225 mL를 혼합하여 35-37°C에서 24시간 증균배양 하였으며, tellurite cefixime-sorbitol macconkey agar (TC-SMAC; BD Difco)와 5-bromo-4-chloro-3-indolyl-β-D-glucuronide (BCIG; BD Difco)에 희선도말하여 35-37°C에서 18-24시간 배양하였다. TM-SMAC (sorbitol을 분해하지 않는 무색집락)와 BCIG (청록색 집락)에서 형성한 전형적인 집락은 보통한천배지에 옮겨 배양한 후 verotoxin PCR법에 의해 확인시험을 수행하였다.

*Y. enterocolitica*의 정성분석을 위해 시료 25 g과 225 mL peptone sorbitol bile broth (PSBB; MBCell)에 가함과 동시에 PSBB 배지를 가한 시험용액 10 mL를 취하여 irgasan ticarcillin and potassium chlorate broth (ITC; MBCell) 90 mL에 가한 후 혼합하여 25°C에서 48시간 증균배양 하였다. 증균배양액 0.1 mL를 0.5% KOH가 함유된 0.5% 멸균생리식염수 1 mL와 골고루 혼합하여 macConkey agar (Difco)와 cefsulodin irgasan novobiocin agar (CIN; MBCell)에 각각 접종하였으며 30°C에서 24±2시간 배양한 후, MacConkey agar (유당을 비분해하는 집락), CIN (중심부가 짙은 적색을 보이는 집락) 각각의 전형적인 집락은 VITEK 2 확인시험을 통해 확인하였다.

*B. cereus*의 정성분석을 위해 시료 25 g과 멸균생리식염수 225 mL를 가한 후 mannitol egg yolk polymyxin agar (MYP; BD Difco)에 접종하여 37°C에서 24시간 배양하였다. 배양 후 혼탁한 환을 갖는 분홍색 집락을 선별하여 보통한천배지에 접종하여 30±1°C에서 24시간 배양하였다. 전형적인 집락은 VITEK 2 확인시험을 통해 확인하였다.

*C. jejuni/coli*의 정성분석을 위해 시료 25 g를 100 mL의 Hunt broth (Campylobacter supplement 첨가; MBCell) 또는 Preston broth (MBCell)에 혼합하여 35-37°C에서 4-5시간 미호기적 1차 증균배양 후 42±1°C에서 44±4시간 미호기적으로 2차 증균배양 하였다. 증균배양액을 preston agar (MBCell)에 도말하여 42°C에서 24-48시간 미호기적 암소에서 배양하였으며, 전형적인 집락을 항생제를 넣지 않은 Abeyta-Hunt Blood에 접종하여 42°C에서 24-48시간 배양하였다. 반투명의 흰색 집락에 대해 VITEK 2 확인시험을 통해 확인하였다.

중금속 분석

건미역 중 중금속 분석은 납, 카드뮴, 총수은, 무기비소 항목에

대하여 분석하였다. 중금속 분석을 위한 시료의 전처리에는 Kim et al. (2016)의 연구에서 언급한 방법에 따라 진행하였다. 동결 건조한 시료 1 g을 취하여 테프론 분해기(Teflon bomb)에 넣고, 여기에 중금속 분석용 고순도 질산 10 mL를 가한 후 상온에서 약 150분간 반응시켜 제조하였다. 이어서 시료의 완전 분해를 위하여 테프론 분해기를 밀폐시켜 가열판으로 150±5°C에서 400분간 가열 후 노란색을 띠는 맑은 용액이 될 때까지 실시하였다. 분해 과정 후 테프론 분해기의 코크를 열어 압력을 제거하고 뚜껑을 열고 100±5°C에서 질산이 1 mL 정도가 되도록 증발시켰다. 그리고 테프론 분해기에 중금속 분석용 고순도 질산 10 mL를 다시 가하고 시료의 완전 분해를 위한 테프론 분해기의 밀폐, 가열(150±5°C, 400분)하는 과정을 한 번 더 반복하였다. 테프론 분해기의 질산이 1 mL 정도로 거의 증발하였을 때 분해를 종료하고 2% (v/v) 질산으로 재 용해하여 여과 및 정용 후(100 mL) 시험용액으로 사용하였다. 납, 카드뮴의 분석은 시험용액을 이용하여 유도결합플라즈마 분석기(inductively coupled plasma spectrophotometer, ICP; ELAN DRC II; PerkinElmer, Santa Clara, CA, USA)를 사용하여 진행하였고, 분석조건은 식품공전(MFDS, 2021)에 제시된 조건으로 설정하여 실시하였다.

총수은은 식품공전(MFDS, 2021)의 방법에 따라 균질화된 시료 0.1 g을 취하여 직접 수은분석기(DMA-80; Milestone, Milano, Italy)로 분석하였다. 총수은 분석은 수은분석기에 시료를 주입하고, 건조(650°C, 90초), 분해(650°C, 180초) 및 amalgamation(850°C, 12초)하여 실시하였다. 총수은 분석에 대한 모든 결과는 easy-DOC3 프로그램(Easy-DOC3 for DMA, Ver. 3.30, Milestone; GitHub, Inc., San Francisco, CA, USA)을 이용하여 산출하였다. 총수은 분석의 정확성 및 재현성 확인은 표준인증물질(certified reference material)인 DORM-4 (Fish protein; NRC-CNRC, Ottawa, Ontario, Canada) 및 1566b (dried sea mustard; NIST, Gaithersburg, MD, USA)을 사용하여 실시하였다. 이때 수은분석기의 분석조건은 온도를 1,000°C, detection을 dual-beam A.A. spectrophotometer, 파장을 253.7 nm, 주입량을 10-50 mg, absorption cell을 dual cell/thermostat로 carrier gas를 산소로 하였다.

무기비소는 균질화한 시료 1 g을 취하여 용기에 넣고 1% 질산 용액 5 mL를 가하여 90°C에서 90분간 열탕 추출하였다. 이때 초기 30분 동안 시료와 1% 질산용액이 충분히 섞이도록 5-10분 간격으로 격렬히 흔들며 주었다. 추출 후 여기에 물을 넣어 25 mL가 되게 한 후 잘 혼합하고 10분간 원심분리(3,000 g)하였다. 원심분리 후 상층액을 적당히 취하여 다시 10분간 원심분리(3,000 g)하고 그 상층액을 0.45 µm membrane filter (Whatman International, Maidstone, Kent, UK)로 여과하여 시험용액으로 사용하였다. 비소 화학종 분석은 HPLC가 결합된 ICP-MS (Nexion 300D; Perkin-Elmer SCIEX, Waltham, MA, USA)로 수행하였다. 이동상은 0.05% (v/v) 메탄올

(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA), 10 mM sodium 1-butane sulfonate (Sigma-Aldrich Co.), 4 mM malonic acid (Sigma-Aldrich Co.), 4 mM tetramethyl ammonium hydroxide (TMAH) (Sigma-Aldrich Co.)를 혼합하여 10% 질산용액(1.8 mL/L)으로 pH 2.7에 맞추어 조절된 것을 사용하였고, 분석용 컬럼은 C18 MG (4.6 mm×250 mm, 5 µm; Shiseido, Tokyo, Japan)를 이용하였으며, 컬럼 온도는 25°C, 주입량은 10-50 µL로 사용하였다.

방사능 분석

방사능 분석은 식품공전(MFDS, 2021)의 방법을 참고하여 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 비이커에 넣고 약 1 kg을 취한 후 밀봉하여 고순도 게르마늄 감마핵종분석기(OCTEC GEM-60195-P; Ortec, Tennessee, TN, USA)로 측정하였다. 측정에너지의 범위는 0-2 MeV로 하였으며, 측정시간은 최소 10,000초, 그리고 분석 대상 핵종은 요오드(¹³¹I)와 세슘(¹³⁴Cs+¹³⁷Cs)으로 하였다.

결과 및 고찰

건미역의 위생지표세균 분석

건미역에 존재하는 위생지표세균(일반세균수, 대장균군, 대장균)에 대한 분석결과는 Table 1에서 나타낸 바와 같다. 우리나라 식품공전의 현행 기준에서 건미역의 일반세균수, 대장균군 및 대장균 규격은 제시되어 있지 않다. 다만, Solberg et al. (1990)이 제시한 미생물적 안전기준치인 일반세균수 6 log CFU/g, 대장균군 기준 3 log CFU/g 이하 기준과 비교했을 때 본 연구결과는 일반세균수의 경우 평균 4.3×10² CFU/g으로 검출되었으며, 최대값인 1.5×10³ CFU/g도 역시 기준 이하로 검출되었다. 대장균군과 대장균은 불검출(검출한계 <10 CFU/g)로 나타나 Solberg et al. (1990)이 제시한 기준치를 충족하고 있어 위생적으로 안전하게 관리되었다고 판단되었다. Yoo et al. (2000)의 연구에 의하면 건미역의 경우 일반세균수는 1.0×10³-4.0×10³ CFU/g, 대장균은 불검출로 본 실험결과와 비슷한 수준을 나타내었으며, Bark et al. (2014)의 연구에서는 건미역의 경우 일

Table 1. Results of sanitary indicative bacteria in dried sea mustard *Undaria pinnatifida*

Microbiological property	Total	Mean (Range), CFU/g
Viable cell count	15	4.3×10 ² (5.0×10-1.5×10 ³)
Coliform group	15	ND
<i>Escherichia coli</i>	15	ND

ND (not detected) at <10 CFU/g. Data represent means±standard deviations of three measurements.

반세균수는 4.40 log CFU/g까지의 값을 나타내어 본 연구결과보다 건미역 오염도가 높은 것으로 확인되었지만 위해 정도는 높지 않은 것으로 나타났다. 현재 건미역의 일반세균수, 대장균군 및 대장균에 대한 국외 기준규격은 캐나다의 경우 대장균 n=5, c=2, m=4 CFU/g, M=40 CFU/g, 중국의 경우 일반세균수 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/g이며, 태국의 경우 일반세균수 n=5, c=2, m=5 × 10⁵ CFU/g, M=5 × 10⁶ CFU/g, 대장균 n=5, c=1, m=10 CFU/g, M=10² CFU/g으로 제시되어 있고, 미국, CODEX, 베트남, EU의 경우 모두 제시되어 있지 않다.

본 연구결과는 국내 및 국외에서 제시한 기준규격을 충족하였으며, 이상의 본 연구에서 검체로 사용한 건미역 15건에 대한 위생지표세균의 결과로 미루어 보아 국내의 기준규격 내에 있어 미생물학적 문제점은 없는 것으로 사료된다.

건미역의 식중독세균 분석

일반세균수, 대장균군 및 대장균 등의 위생지표세균을 검사하는 목적은 식품 신선도와 식품 위생·안전성 등 직간접적으로 판단할 수 있으나 식품안전성의 여부는 이들 위생지표세균 측정만으로는 정확한 판단이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 위생지표세균 측정과 더불어 세균성식중독을 일으킬 수 있는 9종의 주요식중독세균의 오염여부를 측정하여 식품의 미생물학적 안전성을 판단하고자 하였다. 건미역에 대한 주요 식중독 세균 (*S. aureus*, *Salmonella* spp., *V. parahaemolyticus*, *Cl. perfringens*, *L. monocytogenes*, EHEC, *Y. enterocolitica*, *B. cereus*, *C. jejuni/coli*) 총 9종에 대한 분석결과는 모두 음성으로 나타났다(Table 2). Kim et al. (2006)의 연구에 의하면 *B. cereus*의 경우 김, 다시마, 미역에서 각각 10 CFU/g수준으로 검출되었으며, *Cl. perfringens*는 모두 불검출 되었다고 보고하였다. 건미역의 국내의 식중독세균에 대한 기준규격은 캐나다의 경우 *S. au-*

Table 2. Results of 9 food-borne pathogenic bacteria in dried sea mustard *Undaria pinnatifida*

Food-borne pathogenic bacteria	Total	
<i>Staphylococcus aureus</i>	15	ND
<i>Salmonella</i> spp.	15	Negative
<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/coli</i>	15	Negative

EHEC, Enterohemorrhagic *Escherichia coli*; *S. aureus*, qualitative analysis. ND (not detected) at <10 CFU/g. Data represent means±standard deviations of three measurements.

reus n=5, c=1, m=10³ CFU/g, M=10⁴ CFU/g, *Salmonella* spp. 음성, 태국의 경우 *S. aureus* n=5, c=2, m=10² CFU/g, M=10³ CFU/g, *Salmonella* spp. 음성으로 제시되어 있으며, 미국, 중국, CODEX, 베트남 및 EU의 경우 모두 제시되어 있지 않다.

따라서 건미역의 국내의 식중독세균에 대한 기준규격은 초과하지 않았다. 그러나 건미역의 경우 별도의 조리없이 미역무침 등과 같은 생식품으로의 섭취가 가능하고 생산 과정에서 미생물을 사멸시키는 단계가 많지 않기 때문에 병원성 미생물은 불검출로 관리되어야 하며 위생적 안전한 최종제품 생산으로 이어져야 하기에 병원성 미생물에 대한 체계적인 관리가 필요하다고 생각된다. 뿐만 아니라 추후 건미역과 관련한 각 식중독세균에 대한 정량적 위해평가를 위한 과학적 근거마련의 초석인 미생물 모니터링 연구는 지속적으로 행해져야 하며 이를 바탕으로 한 정량규격 설정 역시 요구된다.

건미역의 이화학적 위해요소 분석

본 연구에서는 건미역의 이화학적 위해요소 분석을 위하여 이들의 중금속(납, 카드뮴, 총수은, 무기비소) 및 방사능(¹³¹I 및 ¹³⁴Cs+¹³⁷Cs)의 농도는 Table 3과 같이 나타내었다. 일반적으로 해조류는 일정한 농축계수로 해수 중의 중금속을 체내조직에 축적시키는 것으로 알려져 있으며, 중금속 화합물의 해로움은 그 양이 매우 미량일지라도 오랜 기간 인체 내 축적이 되면 급성, 또는 만성 중독 현상이 건강상 중요한 문제로 나타날 수 있다. 흡수량은 개인의 건강상태나 섭취한 식품의 종류 등에 따라 달라지는 것으로 알려져 있으며(Kim et al., 2003), 대표적인 것으로는 납, 카드뮴 및 수은 등이 있다. 납은 체내에 흡수되면 대사되지 않고 대부분이 배출되지만 배출되지 않은 납의 약 90% 이상이 뼈와 치아 등에 축적되고 적은 양만이 소변을 통해 배출된다(Marsden and Rainbow, 2004). 카드뮴은 적은 양에도 만성적으로 노출되면 영양분, 비타민, 미네랄의 재흡수를 방해받게 되며, 신장독성 및 뼈 손상 등을 일으킨다(Chung et al., 2000). 수은은 다른 중금속과 마찬가지로 한번 몸 안에 들어오면 빠져나가지 않고 계속 축적되며 총 수은량이 30 mg/kg 이상이 되면 운동 및 언어장애, 난청 등의 수은중독을 일으키게 된

Table 3. Results on the chemical sanitation properties of dried sea mustard *Undaria pinnatifida*

Chemical property	Total	Mean (Range)
Heavy metal (mg/kg)	Pb	15 0.036±0.010 (0.015-0.051)
	Cd	15 0.117±0.023 (0.088-0.156)
	Total Hg	15 0.030±0.010 (0.017-0.048)
	Inorganic As	15 0.058±0.004 (0.056-0.064)
Radioactivity (Bq/kg)	¹³¹ I	15 ND
	¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs	15 ND

ND, not detected. Data represent means±standard deviations of three measurements.

다(Kim et al., 2003).

본 연구에서 검체로 사용한 건미역의 중금속별 평균함량은 납 0.036 ± 0.010 mg/kg, 카드뮴 0.117 ± 0.023 mg/kg, 총수은 0.030 ± 0.010 mg/kg으로 카드뮴>납>총수은 순으로 높았으며 납 0.171 ± 0.198 mg/kg, 카드뮴 0.238 ± 0.069 mg/kg, 수은 0.004 ± 0.0029 mg/kg의 결과를 보인 Lee et al. (2019)의 연구와는 대체로 비슷한 농도로 검출되었다. 반면에 Hwang et al. (2007)의 미역 중금속 함량은 납 0.163 ± 0.289 mg/kg, 카드뮴 0.714 ± 0.495 mg/kg, 총수은 0.015 ± 0.012 mg/kg이었으며, Kim et al. (2005)의 연구에서도 수은 0.01 ± 0.02 mg/kg, 납 0.93 ± 1.02 mg/kg, 카드뮴 0.60 ± 0.46 mg/kg으로 본 결과보다는 높게 검출되는 경향을 나타내었다. 위와 같은 미역의 중금속 함량 차이는 시료의 채취시기 및 채취지역에서 방출되는 중금속량의 변화 또는 수증생태계 내에서의 생물학적 활성도 변화 등의 차이에 기인하는 것으로 추측할 수 있으나 정확한 판단을 위해서는 채취시기와 동일 지역의 중금속 함량조사 및 해수 중 중금속 자연농도에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다. 특히나 미역의 경우에는 엽체, 줄기 및 포자엽으로 구분되는데 대체로 줄기가 포자엽이나 엽체에 비하여 수은, 카드뮴, 크롬 등의 중금속 함량이 낮게 나타났다는 연구결과에 의하면(Mok et al., 2005), 부위에 따라 농축되는 중금속의 종류가 서로 다를 수 추정할 수 있었다. 현재 건미역의 국내의 중금속 허용기준은 우리나라의 경우 납 0.5 mg/kg, 카드뮴 0.3 mg/kg으로 설정되어 있으며(MFDS, 2021), 중국의 경우 납 1.0 mg/kg, 태국의 경우 납 1.0 mg/kg, 카드뮴 0.3 mg/kg, 총수은 0.5 mg/kg, 베트남의 경우 카드뮴 3.0 mg/kg, 총수은 0.5 mg/kg, EU의 경우 납 0.1 mg/kg, 카드뮴 0.05 mg/kg, 미국, 캐나다 및 CODEX의 경우 어떤 것도 제시되어 있지 않다.

따라서 건미역의 중금속 잔류 허용량 범위와 비교할 때 납, 카드뮴 및 총수은과 같은 중금속 함량은 국내의 기준규격보다 비교적 안전한 수준으로 관리되고 있는 것으로 판단되었다.

비소는 결합 형태에 따라 유기비소와 무기비소로 나누어지며, 다른 독성도를 가지고 있기 때문에 총비소 함량으로는 그 독성을 직접적으로 판단하기가 어렵다(Shimoda et al., 2010). 또한 해조류에서는 $10\text{--}60$ mg/kg 정도로 비교적 높은 농도의 비소가 존재하고 있지만 대부분이 독성이 거의 없는 유기비소로 존재하기 때문에 안전하다고 보고되고 있다(Kim, 2007). 그러나 톳(*Sargassum fusiforme*)과 같이 모자반과에 속하는 해조류의 종류에 따라서 비소가 무기비소 형태로 존재한다고 연구되어 있다. Karthikeyan and Hirata (2004)의 연구에 의하면 모자반의 총비소 함량 181 ± 4 mg/kg 중에서 무기비소의 함량이 133 ± 7 mg/kg으로 약 74% 존재한다고 보고하였으며, Wondimu et al. (2007)은 모자반과의 해조류 대부분이 약 50%의 무기비소 함량을 보인다고 하였다. 따라서 건미역의 총비소를 분석한 결과 2.882 ± 0.435 mg/kg으로 나타났지만(data not shown), 국내외 식품 중 무기비소 기준설정 현황에 의하여 총비소 시험결과 기

준 초과 검출 시 무기비소로 시험하여 기준을 적용함으로써 총비소가 초과된 건미역에 한해서 무기비소를 분석하였다. 이에 총비소 함량을 초과한 상위 3건의 건미역에 대한 무기비소 결과는 0.058 ± 0.004 으로 나타났다. 현재 건미역의 무기비소에 대한 국내의 기준규격은 국내(식품공전)의 경우 제시되어 있지 않으며, 미국, 캐나다, CODEX, 중국, 베트남 및 EU의 경우에도 제시되어 있지 않지만 태국의 경우 2.0 mg/kg으로 제시되어 있어 본 연구결과는 태국의 무기비소 기준에 충족하는 것으로 나타났다. 이상의 건미역에 대한 분석결과를 국내의 기준규격에 적용하였을 때 이를 초과하는 것이 없어 중금속의 위생학적 측면에서 안전하다고 판단되었지만, 지속적인 모니터링 및 관리가 필요할 것으로 사료된다.

후쿠시마 원자력발전소 사고 발생 이후 국내에서는 각종 식품의 방사성 물질 오염에 대한 불안감이 야기되었다. 특히 후쿠시마 사고는 대량의 방사성 오염수가 바다로 누출됐다는 점에서 주변국들이 수산물에 대한 방사능 관리를 강화하는 계기가 되었다. 이에 따라 건미역 시료에 대한 방사능을 측정된 결과, 모두 불검출로 나타났다. 건미역의 방사능에 대한 국내의 기준규격은 우리나라는 ^{134}Cs 와 ^{137}Cs 와 ^{131}I 가 모두 100 Bq/kg, 미국의 경우 각각 $1,200$ Bq/kg 및 170 Bq/kg, 중국의 경우 각각 260 Bq/kg 및 190 Bq/kg, 베트남과 CODEX의 경우 각각 $1,000$ Bq/kg 및 100 Bq/kg으로 설정 되어있고, EU의 경우 각각 $1,250$ Bq/kg 및 $2,000$ Bq/kg, 캐나다의 경우 모두 $1,000$ Bq/kg이었다. 방사능 농도가 최소검출가능농도(minimum detectable activity, MDA) 이하의 결과를 나타내어 안전한 수준인 것으로 판단되나, 수산물에서 방사능 오염에 대한 국민의 우려가 크기 때문에 방사능 검사는 지속적으로 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 건미역의 국내 식품안전 확보와 기준규격에 준하여 품질관리된 식품을 수출하기 위해 위생지표세균인 일반세균수, 대장균군, 대장균, 식중독세균 9종과 중금속 및 방사능 등과 같은 이화학적 위해요소를 분석하였다. 건미역의 미생물학적 및 이화학적 위해요소는 국내뿐만 아니라 국외에서 제시된 기준규격에 대해서도 초과하지 않았다. 그러나 건미역의 경우 별도의 조리없이 미역무침 등과 같은 생식품으로의 섭취가 가능하고 생산 과정에서 미생물을 사멸시키는 단계가 많지 않기 때문에 이들 식품의 미생물학적 및 이화학적 안전성을 확보하기 위해서 보다 더 철저한 생산유통관리가 요망되며 위생적 안전한 최종제품 생산으로 이어져야 하기에 체계적인 관리가 필요하다고 생각된다.

사 사

이 논문은 2021년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(대일 검사강화조치 대응 수출시장 다변화 수산물식품 개발).

References

- Bark SW, Kim KBWR, Kim MJ, Kang BK, Park WM, Kim BR, Ahn NK, Choi YU, Lee JW, Kim JH, Byun MW and Ahn DH. 2014. Effect of packaging and electron beam irradiation on the microbial safety and quality of dried *Undaria pinnatifida*. Korean J Fish Aquat Sci 47, 489-494. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0489>.
- Canada Food Inspection Agency. 2021. Bacteriological guidelines for fish and fish products (end product). Retrieved from <http://www.canada.ca/en/health-canada.html> on Feb 8, 2021.
- China National Health and Family Planning Commission. 2021. NHC standards search. Retrieved from http://www.gbstandards.org/index/GB_Search.asp?word=GB on Feb 13, 2021.
- Choi JS, Bae HJ, Kim YC, Park NH, Kim TB, Choi YJ, Choi EY, Park SM and Choi IS. 2008. Nutritional composition and biological activities of the methanol extracts of sea mustard *Undaria pinnatifida* in market. J Life Sci 18, 387-394. <https://doi.org/10.5352/JLS.2008.18.3.387>
- Chung AH, Kim D J, Jang M R, Yoon YT, Kim JG and Kim MH. 2000. Contents of the trace metals in the grain and beans. Report of Seoul Institute of Health Environ 35, 159-166.
- CODEX Alimentarius International Food Standards. 2021. Codex text (standards). Retrieved from <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en/> on Feb 13, 2021.
- European Food Safety Authority. 2021. EU law. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02005R2073-20200101> on Feb 13, 2021.
- Hwang Young Ok, Kim Mu Sang, Park Seog Gee and Kim Su Jeong. 2007. Contents of lead, mercury, and cadmium in seaweeds collected in coastal area of Korea. Anal Sci Technol 20, 227-236.
- Karthikeyan S and Hirata S. 2004. Ion chromatography-inductively coupled marines maples. Appl Organomet Chem 18, 323-330. <https://doi.org/10.1002/aoc.642>.
- Kim KH, Kim YJ, Heu MS and Kim JS. 2016. Contamination and risk assessment of lead and cadmium in commonly consumed fishes as affected by habitat. Korean J Fish Aquat Sci 49, 541-555. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0541>.
- Kim KS. 2007. Development of analysis method on arsenic chemicals in sea food. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea.
- Kim SH, Kim JS, Choi JP and Park JH. 2006. Prevalence and frequency of food-borne pathogens on unprocessed agricultural and marine products. Korean J Food Sci Technol 38, 594-598.
- Kim SY, Sidharthan M, Yoo YH, Lim CY, Joo JH, Yoo JS and Shin HW. 2003. Accumulation of heavy metals in Korean marine seaweeds. Algae 18, 349-354. <https://doi.org/10.4490/ALGAE.2003.18.4.349>.
- KMI (Korea Maritime Institute). 2021. Observation of seaweed statistics. Retrieved from <http://www.foc.re.kr> on Nov 20, 2021.
- 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>.
- Marsden ID and Rainbow PS. 2004. Does the accumulation of trace metals in crustaceans affect their ecology - the amphipod example. J Exp Mar Ecol 300, 373-408. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2003.12.009>.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2021. Food code. Retrieved from https://www.mfds.go.kr/brd/m_207/view.do?seq=13810&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=2 on Feb 8, 2021.
- Ministry of Public Health Nonthaburi Thailand. 2021. MOPH (Ministry of Public Health). Retrieved from https://www.fda.moph.go.th/sites/fda_en/Pages/Main.aspx on Feb 7, 2021.
- Mok JS, Park HY and Kim JH. 2005. Trace metal contents and safety evaluation of major edible seaweeds from Korean Coast. J Korean Soc Food Sci Nutr 34, 1464-1471. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2005.34.9.1464>.
- Omar HH. 2008. Biosorption of copper, nickel and manganese using non-living biomass of marine alga, *Ulva lactuca*. Pak J Biol Sci 11, 964-973. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.964.973>.
- Ronan JM, DB Stengel, A Raab, J Feldmann, L O'Hea, E Bralatei and E McGovern. 2017. High proportions of inorganic arsenic in *Laminaria digitata* but not in *Ascophyllum nodosum* samples from Ireland. Chemosphere 186, 17-23. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.076>.
- Sato M, Hosokawa T, Yamaguchi T, Nakano T, Muramoto K and Kahara T. 2002. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides derived from wakame *Undaria pinnatifida* and their antihypertensive effect in spontaneously hypersensitive rats. J Agric Food Chem 50, 6245-6252. <https://doi.org/10.1021/jf020482t>.
- Shimoda Y, Suzuki Y, Endo Y, Kato K, Tachikawa M, Endo G and Yamanaka K. 2010. Speciation analysis of arsenic in commercial Hijiki by high performance liquid chromatography-tandem-mass spectrometry and high-performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry. J Health Sci 56, 47-56. <https://doi.org/10.1248/jhs.56.47>.
- Solberg M, Buckalew JJ, Chen CM, Schaffner DW, O'Neill K, McDowell J, Post LS and Boderck M. 1990. Microbiological safety assurance system for food service facilities. Food Technol 44, 68-73.

- Suetsuna K, Kaekawa K and Chen JR. 2004. Antihypertensive effects of *Undaria pinnatifida* wakame peptide on blood pressure in spontaneously hypersensitive rats. *J Nutr Biochem* 15, 267-272. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2003.11.004>.
- USA FDA (United States Food and Drug Administration). 2021. Mercury levels in commercial fish and shellfish. Retrieved from <https://www.fda.gov/food/foodborneillnesscontaminants/metals/ucm115644.htm> on Feb 7, 2021.
- Vietnam Standard and Quality Institute/Food Safety Institute. 2021. Food standard. Retrieved from <https://ahadocument.com/tieu-chuan-qui-chuan-c13.html> on Jun 3, 2021.
- Wondimu T, Ueno A, Kanamaru I, Yamaguchi Y, McCrindle R, and Hanaoka K. 2007. Temperature dependent extraction of trace elements in edible brown alga hijiki, *Hizikia fusiforme*. *Food Chem* 104, 542-550. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.002>.
- Yoo WC, Park HK and Kim KL. 2000. Microbiological hazard analysis for prepared foods and raw materials of foodservice operations. *Korean J Diet Cul* 15, 123-137.