

## 해파리의 식품성분 특성과 이의 유효 이용

임치원 · 김진수<sup>1\*</sup>

국립수산과학원 식품안전과, <sup>1</sup>경상대학교 해양식품공학과

### Food Component Characterization and Efficient Use of Jellyfish

Chi-Won Lim and Jin-Soo Kim<sup>1\*</sup>

Food and Safety Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

<sup>1</sup>Department of Seafood Science and Technology, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

The recent mass appearances of jellyfish in Korea have caused economic and social damage, as they plague swimmers and fishermen. However, jellyfish have high economic and nutritional value, and contain low levels of calories and hydrolysates. Thus, jellyfish are a natural, healthy food that can improve high blood pressure, bronchitis, and a multitude of other diseases. Here, we present research on the ecology, classification, bloom, damage caused, food component characterization, and tissues of jellyfish, with the aim of facilitating further study. Research on use of jellyfish as salted products, and for collagen and chondroitin would also be valuable. A jellyfish body is classified into three parts: the body, termed the umbrella; the oral arm; and the tentacle. Jellyfish are planktonic marine members of a group of invertebrate animals comprising the classes *Schypozoa* (phylum *Cnidaria*) and *Cubozoa*. In Korea in 2012, jellyfish damage resulted in decreases of annual catch and commercial value estimated at 177 and 141 billion won, respectively. Because concentrations of heavy metals are below the safety limits for seafood, dried jellyfish appear to be safe raw materials for food. The proximate compositions of *Nemopilema nomurai* and *Aurelia aurita* were 97.1% and 96.5% moisture, 0.9% and 1.2% crude proteins, undetected and 0.1% crude lipids, and 1.7% and 1.8% ash, respectively. According to their total contents of essential, total, and non-essential amino acids, jellyfish gonads were deemed good-quality protein. Because the major functional components of jellyfish are collagen and chondroitin, jellyfish can be used salted, or these components of healthy diets can be extracted from them. For more effective use of jellyfish, unit costs should be decreased and safety guaranteed. Additionally, dehydrators attached to conveyor belts should be developed. Since jellyfish can be used throughout the year, they should be listed in the Korean Food Standards Codex as a food source.

Key words: Jellyfish, *Nemopilemanomurai*, Collagen, Chondroitin, Hydroextractor

### 서 론

최근 국내 연안은 우리나라의 급속한 산업 발전에 대한 후유증인 기후 이상변화로 수온이 상승하고, 환경오염 및 무분별한 해안선 및 항만개발 등으로 부영양화와 빈산소 수괴가 자주 발생하는 등으로 적조 미생물과 해파리가 서식할 수 있는 우수한 환경조건으로 변화되고 있다(NFRDI, 2013). 한편, 해파리는 이들의 생활환경에 맞는 경우 성체의 유성생식 및 폴립(polyp)의 무성생식에 의하여 기하급수적으로 증가하는 생물학적 특성

을 가지고 있고(Uye and Shimauchi, 2005; Brotz et al., 2012; Chung et al., 2012), 오염된 환경에서도 적응력과 번식력이 강한 것으로 알려져 있다(NFRDI, 2013). 이로 인하여 우리나라 해파리의 대량 출현은 1990년대 후반부터 인천 경기만 및 남해 마산만 등에서 보름달물해파리에 의하여 처음으로 시작되었고, 이후 2000년대에 들어서는 전국적으로 노무라깃해파리(*Nemopilema nomurai*)와 같은 대형 해파리가 매년 발생하고 있다(NFRDI, 2013). 뿐만이 아니라, 현재의 해양 생태환경 및 추세를 고려하여 볼 때, 연안에서 해파리의 발생은 지속적이

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0459>



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.

Kor J Fish Aquat Sci 47(5) 459-473, October 2014

Received 24 September 2014; Revised 22 October 2014; Accepted 24 October 2014

\*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9146 Fax: +82. 55. 772. 9149

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

면서, 대량 발생할 뿐만이 아니라(Richardson et al., 2009; Arai, 2001; Graham, 2001; Purcell et al., 2007), 종의 다양화도 예상되고 있다(Brodeur et al., 2002; Johnson et al., 2005; Parsons and Lalli, 2002).

이와 같은 최근 우리나라에서 해파리의 대량 출현은 치자어에서 소형 표층 어류 등과 같은 다양한 크기의 어류 자원을 포식하여 수산자원 및 해양생태계 파괴에 의한 연근해 어자원의 감소(Feigenbaum and Kelly, 1984; Verity and Smetacek, 1996; Schneider and Behrends, 1998; Jankowski et al., 2005; Uye and Shimauchi, 2005; NFRDI, 2013; Yoon et al., 2012), 저인망, 안강망, 낚시망, 유자망, 정치망 어업 중 이들 그물의 손상 및 해파리 독에 의한 수산상품의 가치 저하에 의한 어업인 소득 감소(Lynam et al., 2005; Masuda et al., 2007; Richardson et al., 2009)는 물론이고, 피서객들의 안전사고(Yasuda, 2004; Tibballs et al., 2011; Kim et al., 2014), 발전소의 발전기 가동 중단(Purcell et al., 2007; Kim, 2012) 등의 국가 기간산업 피해와 같은 사회적, 경제적으로 많은 문제를 야기(Graham, 2003; Kim et al., 2012; Kim et al., 2014; Palmieri et al., 2014) 시키고 있다. 또한, 이러한 해파리의 대량 발생 현상은 우리나라와 인접한 중국 및 일본(Kawahara et al., 2006) 뿐만이 아니라 미국, 호주, 일본, 동남아 및 유럽 등과 같이 전세계적으로 발생하고 있으며(Omori and Nakano, 2001), 특히, 중국에서는 어민이 대형 해파리의 피부접촉에 의하여 사망 사건이 발생하기도 하였다(Fenner, 1997). 이와 같은 해파리의 대량 출현에 의한 수산업의 경제적인 손실은 수백만 달러에 이른다고 추정하고 있다(Graham, 2003).

그러나, 해파리는 단백질과 칼슘, 인, 요오드, 철 및 비타민 등과 같은 무기질이 풍부하고, 주성분이 단백질과 수분이며, 당과 지질, 그리고 콜레스테롤이 흔적량에 불과하여 저칼로리 식품소재라 할 수 있다(Hsieh et al., 2001; Ding et al., 2011). 뿐만이 아니라 해파리는 피로 회복 및 미용 개선 이외에도 관절염, 고혈압, 요통, 궤양, 기관염, 천식, 변비 및 기타 질병에 효과적으로 치료할 수 있는 중요한 의료용 소재로 고려되어진다(Ding et al., 2011).

이와 같은 해파리의 대량 출현에 따른 세계적 추세에 우리 정부에서도 대응 방안을 예전부터 다각적으로 추진하고 있다. 해파리 방제에 대하여 우리 정부에서는 과거의 경우 해파리에 의한 피해 예방의 수단으로 수거사업을 실시하거나 해상에서 그물을 이용하여 절단·분쇄하는 방법을 채택하고, 실시하였으나, 최근의 경우 단순히 폐기하기보다는 유용 식품, 의료용 및 화장품용 자원으로 활용하기 위한 방안을 모색하기 위해 노력하고 있다.

해파리에 관한 연구는 외국의 경우 해파리의 해수욕객에 대한 피부 접촉으로 생성된 알러지에 대한 응급처치방법(Yoshimoto and Yanagihara, 2002), 해파리의 독성물질(Fenner, 1997) 및 형광 단백질(Niwa, 1996) 등과 같은 의학적 연구가 주를 이루

었고, 해파리를 식용으로 하는 중국, 일본 및 한국 등과 같은 동남권 국가에서는 해파리의 특유한 조직과 향미로 인하여 냉채 등과 같이 식용으로 많이 이용됨으로 인하여 식용으로의 이용 및 이의 특성(Yu et al., 2014; Hsieh et al., 2001; Omori and Nakano, 2001; Liu et al., 2012)에 관한 연구가 주를 이루었으며, 콜라겐(Ahn, 2008; Addad et al., 2011; Nagai et al., 1999; 2000; Miura and Kimura, 1985; Morishige et al., 2011; Krishnan and Perumal, 2013; Barzideh et al., 2014; Hoyer et al., 2014; Putra et al., 2012; 2014)과 이의 효소 가수분해물(Ding et al., 2011; Zhuang et al., 2009a; 2009b; 2012a; 2012b; Morinaga et al., 2010), qniumucin (Masuda et al., 2007), polysaccharide (Zhang et al., 2014a) 및 기타 유용물질의 추출(Kawabata et al., 2013), 분리 (Kang et al., 1997), 정제(Moon et al., 2011; Yoon et al., 2011), 특성 및 이용에 관한 연구의 경우 국내 외를 가리지 않고 전세계적으로 이루어지고 있다.

본 논문에서는 해파리의 고도 이용을 위한 일련의 기초 연구로 우리나라 연안에 발생하는 해파리의 구조, 생태, 분류, 발생 및 피해 현황을 살펴보고, 해파리의 식품학적 및 위생학적 성분 특성을 검토하며, 해파리의 효율적 이용 방안과 이를 위한 해결방안에 대하여 조사하고자 한다.

## 해파리의 구조 및 생태

해파리의 구조는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 크게 우산모양의 몸통(umbrella, 이동과 소화의 역할), 구완(oral arm, 먹이를 잡아서 몸 내부로 이동시키는 역할) 및 촉수(tentacle, 먹이를 포획하는 역할)와 같이 3부분으로 분류할 수 있다(Lee et al., 2012). 이와 같은 해파리는 형태에 대한 재생력을 가지고 있어 일부가 절단되어도 먹이나 수질 조건 등과 같은 환경조건이 적절하다면 원래의 형태대로 복원이 가능한 특징을 가지고 있다. 따라서, 해파리의 형태 복원성은 현재 수산업에 피해를 입히는 생물이라는 측면에서의 경우 상당히 골머리를 앓게 하는 생물이지만, 콜라겐과 이의 효소 가수분해물, qniumucin, polysaccharide

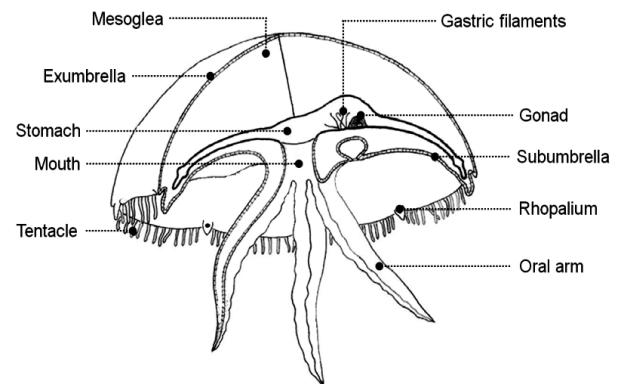


Fig. 1. Tissues in jellyfish.  
Reference: Lee et al. (2012).

및 기타 유용물질의 추출 소재 등과 같은 효율적 이용성을 확보하는 경우 원료 확보 우수성 등으로 강점이 될 수도 있을 것이다.

해파리의 몸통은 다시 체벽, 중교(mesoglea), 외산(exumbrella), 위(stomach), 입(mouth), 위사(gastric filaments), 생식선(gonad), 내산(subumbrella) 및 평형포(rhopallium) 등으로 이루어져 있다(Lee et al., 2012). 체벽은 외부표피(exumbrella), 내부표피(subumbrella)로 이루어져 있고, 이들 사이를 콜라겐 조직으로 이루어진 중교가 존재하며(Nagai et al, 1999), 평형을 위하여 팽윤할 때 수분함량의 경우 96-97%에 이른다(Hsieh et al, 2001; Lowndes, 1942). 그리고, 몸통 직경의 경우 약 2-4 cm~2 m 정도에 이르기도 한다. 몸통의 가장 자리에 분포하는 평형포는 눈을 대신하여 빛을 감지하고 평형을 유지하는 기능을 하는 중요한 기능이 있다.

해파리의 촉수는 자포라고 하는 독침을 함유하고 있고, 보통 때에는 수중에서 몸통 직경의 몇 배가 넘는 길이로 다니는 종이 대부분이며, 이들은 물리적 자극에 의하여 수축을 한다. 해파리의 촉수 수는 종류에 따라 다르다. 따라서, 독성이 문제가 되는 해파리는 식품 소재로 이용하고자 하는 경우 촉수를 제거하는 방법도 고려할 필요가 있다고 판단된다.

해파리의 생태는 종류에 따라 차이가 있어, 수명의 경우 2-3주 ~ 1년에 이르는 서식수심에 따라 차이가 있다. 즉, 해파리의 수명은 표층산보다 심해산이 더 길다. 해파리는 해류나 바람 등의 영향을 받아 이동하며 자체적으로도 신경조직을 조절하여 이완과 수축을 반복하고, 작은 동물 플랑크톤을 먹지만 일부 독성이 강한 종의 경우 작은 어류나 다른 해파리를 잡아먹기도 한다(Kim et al., 2014).

### 국내 주요 출현 해파리 및 이의 특성

해파리는 강장동물(Coelenterata)에 속하는 수산물로, 몸의 구조나 생식선 등의 위치에 따라 크게 자포동물문(Cnidaria)과 유출동물문(Ctenophora)으로 분류된다. 그리고, 자포동물문은 다시 무성생식(폴립의 생식 단계)과 유성생식(해파리의 생식 단계)의 두 단계를 모두 거치는 히드라충강(Hydrozoa), 크기가 폴립의 경우 작으나, 성체의 경우 큰 해파리강(Scyphozoa) 및 열대 및 아열대에 널리 분포하면서 군체를 만들지 않는 입방해파리강(Cubozoa) 등으로 분류 가능하다. 그리고 유출동물문은 촉수의 유무에 따라 무촉수강(Nuda or Atentaculata)과 유촉수강(Tentaculata)으로 분류가 가능하다. 이상에서 언급한 해파리의 분류를 도식화한 결과는 Fig. 2와 같다.

해파리는 현재 전세계에 약 2,000종이 존재하는 것으로 알려져 있고(Lee et al., 2012), 그 중 우리나라에 출현하는 해파리는 총 42종(자포동물문 37종(히드라충강이 30종, 해파리강이 6종, 입방해파리강이 1종), 유출동물문 5종(무촉수강이 2종, 유촉수강이 3종))이다(Yoon, 2013). 이들 해파리 중 국내에 많이 출현하는 종으로는 보름달물해파리(*Aurelia aurita*), 노무라입깃

해파리(*Nemopilema nomurai*), 유령해파리(*Cyanea nozakii*), 커튼원양해파리(*Dactylometra quinquecirrha*), 야광원양해파리(*Pelagia noctiluca*), 평면해파리(*Aequorea coerulescens*) 등이다. 이들 국내에 많이 출현하는 해파리 중 대량 출현종은 보름달물해파리와 노무라입깃해파리이며, 출현 시기는 보름달물해파리의 경우 주로 5월부터 10월까지이며, 가을에 출현양이 높아지는 경향이 있고, 노무라입깃해파리의 경우 주로 5월부터 10월까지이다(NFRDI, 2013). 한편, 독성 해파리로 주의하여야 할 종에는 작은부레관해파리(*Physalia physalis*), 라스톤입방해파리(*Carybdea rastoni*), 노무라입깃해파리, 커튼원양해파리, 유령해파리 및 야광원양해파리 등이 있다(Lee et al., 2012).

보름달물해파리는 우산의 직경이 약 15 cm, 촉수를 포함한 길이가 약 10 cm로, 4월부터 초겨울까지 우리나라 전 연안에서 가장 흔하게 발견되는 종이나 독성이 매우 약하여 사람들에게 피해를 입히지는 않는다. 보름달물해파리는 전세계적으로 분포하며, 특히 오염이 심한 곳이나 폴립이 부착할 수 있는 암반이나 인공구조물이 많은 곳에서 집중적으로 발생하는 것으로 알려져 있어 새만금, 시화호나 마산만 등에서 대량 출현하고 있다.

노무라입깃해파리는 우산의 직경이 최대 1.5 m, 무게가 최대 200 kg인 대형종으로 독성도 강해 피부접촉 시에는 붉은 발진

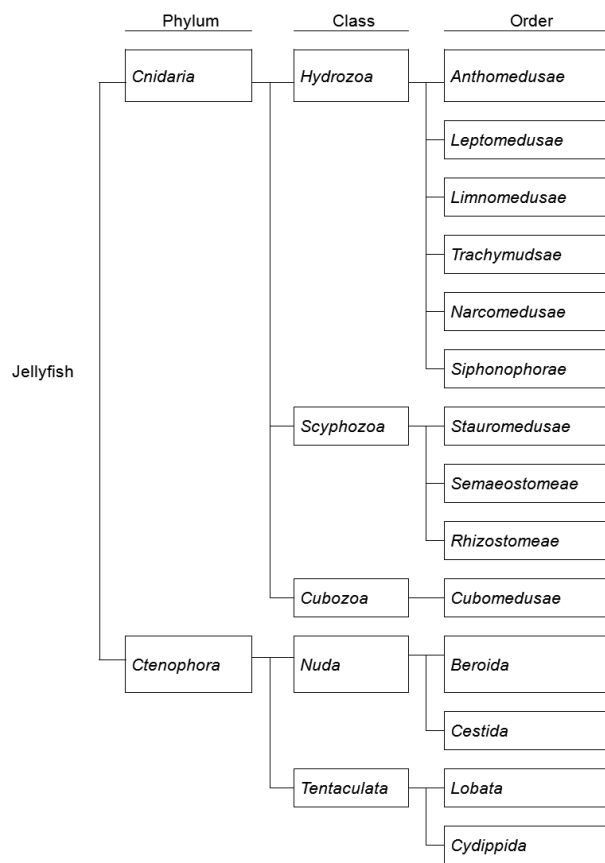


Fig. 2. Classification of jellyfish.

과 함께 채찍모양의 긴 상처가 나며, 어민들에게는 어구파손, 어획물의 신선도 저하, 작업시간 지연 등으로 막대한 피해를 입힌다. 노무라입깃해파리는 4-5월에 중국 양자강하구에서 발생하여 6월말-7월초에 동중국해-황해 경계해역을 지나 우리나라의 전남해역으로 가장 먼저 접근하여 하나는 남해를 거쳐 동해로, 다른 하나는 황해 중앙부로 이동하는 것으로 나타났다. 이 종은 우리나라 연근해에서 2003년에 대량 출현한 이후 최근까지도 대량 발생하고 있고, 최근에는 소량이지만 봄에도 발생하여 보름달물해파리와 같이 연안에서 정착될 것으로 추정된다.

### 해파리 대량 출현으로 인한 국내 피해 형태와 현황

해파리의 대량 발생은 다양한 산업에 피해를 입히고 있고, 이의 피해는 어업분야와 기타 사회 분야로 나눌 수 있다.

해파리의 대량 출현에 의한 어업 분야의 피해는 저인망어업, 안강망어업, 낭장망어업, 정치망어업 및 권현망어업 등에 관계 없이 전어업 분야에 미치고 있다. 이들 분야에서 해파리의 대량 출현으로 인한 피해 형태는 어장으로의 대량 유입에 따라 어획 자원의 다른 지역으로의 이동에 의한 어획량 급감, 어구에 대량 유입에 따른 해파리에 독성에 의한 어획 자원의 상품가치 하락, 어획물과 해파리의 하중에 의한 어구 파손, 해파리 제거로 인한 조업시간 지연 및 어획물의 선도저하 등의 형태로 나타난다.

2010년부터 2012년까지 3년 동안 어획 금액과 해파리의 출현에 의한 어획량 감소 및 상품 가치 하락에 의한 피해액을 추정 한 결과는 Table 1과 같다. 최근 3년동안 어획 금액은 2010년의 경우 20,265억원, 2011년의 경우 22,192억원, 2012년의 경우 20,068억원이었다. 최근 3년동안 해파리의 출현에 의한 어획량 감소 피해액은 2010년의 경우 769억원, 2011년의 경우 321억원, 2012년의 경우 1770억원으로 나타났고, 상품가치 하락에 의한 피해액은 2010년의 경우 688억원, 2011년의 경우 307억원, 2012년의 경우 1412억원으로 나타났다(Kim et al., 2014). 이와 같이 해파리의 출현에 의한 어획량 감소 및 상품가치 하락에 의한 피해액의 차이는 해파리의 출현 농도의 차이 때문으로 판단된다. 한편, NFRDA (2013)에 의하면 해파리의 대량 출현에 의한 어업별 피해는 모든 어구어법에서 발생하는 것으로 보고되고 있다.

한편, 해파리의 대량 발생에 의한 피해 중 어업분야 피해를 제

외한 사회적 분야의 피해는 해수욕장 관련 피해와 발전소 관련 피해를 들 수 있다. 해파리의 대량 출현에 의한 해수욕장 관련 피해로는 해파리 독성에 의한 피서객의 직접적인 피해는 물론이고, 이로 인하여 피서객의 대폭 감소에 의한 인근 상가의 간접적인 피해까지 동반되게 된다. 여름철 피서객들에게 피해를 주는 맹독성 해파리는 작은 부레관해파리, 커튼원양해파리, 입방해파리 등이 있다. 해파리의 대량 출현에 의한 해수욕장 관련 피해를 부산광역시로 한정하여 살펴본 경우는 다음과 같다. 부산광역시에는 7개소의 해수욕장이 소재하고 있고, 방문객의 수는 연간 약 3,400만명에 이른다(Kim et al., 2014). 부산발전연구원 (BDI, 2012)은 부산광역시 소재 해수욕장 중 해운대 해수욕장의 2011년 소비지출 금액을 3,570억원으로 추정(소비지출 총금액 = 방문객수(1,275만명) × 해수욕장 이용객 1인당 평균 지출비용(28,000원))하였고, 이를 토대로 개장 1일 소비지출 금액을 약 111.6억원으로 추정할 바 있다. 따라서, 해파리 대량 출현에 의해 해운대 해수욕장이 1일 폐장하게 되면 111억원 이상의 손실이 발생하게 된다. 따라서, 해파리의 대량 출현에 의한 해수욕장 관련 피해를 전국적으로 환산하는 경우 그 규모가 엄청날 것으로 예측된다.

해파리의 대량 발생에 의하여 어업 분야 피해와 해수욕장 관련 분야 피해 이외에 발전소 관련 피해도 무시할 수 없을 정도로 파장이 크다. 대부분이 국내 연안에 위치한 발전소는 해파리의 대량 출현에 의하여 큰 피해를 입고 있다. 특히, 근년에 안전 문제로 골머리를 앓고 있는 원자력발전소는 해수를 냉각수로 이용하는 데 해수 취수 중에 함께 들어온 해파리로 인해 출력 감발 등의 피해가 자주 발생한다(KHNP, 2009). 경상북도 울진군에 소재하고 있는 울진원자력발전소의 2개의 발전기에서는 1996년부터 현재까지 출력 감발 및 정지와 같은 사고가 11건이 발생하였고, 이로 인한 피해액은 수십억원에 이른다. 해파리에 의한 원전사고는 경제적 손실 이외에 냉각수가 원활히 유입되지 못하여 가동 중단되는 사태까지 발생하는 경우 여러 가지 안전 문제가 동반되어 전세계적으로 고민거리가 될 수도 있다(Kim et al., 2014; MLTMA, 2009). 따라서, 해파리의 대량 출현에 의한 발전소 관련 피해를 전국적으로 환산하는 경우 경제적 피해 규모가 엄청날 뿐만이 아니라 안전문제도 상당히 고민거리로 대두될 것이다.

### 해파리의 식품 소재로서 안전성

해파리는 오염된 지역에서도 잘 증식을 하여 증금속 등과 식품소재로서 이용하기에는 안전성에서 문제가 될 수도 있다. 이러한 일면에서 노무라입깃해파리의 식품소재로서 위생성을 검토할 목적으로 건물당 총수은, 납, 카드뮴, 크롬 및 구리를 살펴본 결과는 Table 2와 같다. 노무라입깃해파리의 해파리의 건물당 증금속은 총수은의 경우 0.01 mg/kg, 납의 경우 0.35 mg/kg, 카드뮴의 경우 0.30 mg/kg, 크롬의 경우 0.05 mg/kg, 그리고 구리의 경우 0.20 mg/kg이었다.

Table 1. The damages (billion won) from decrease in annual catch and decline in commercial value of fish by the mass appearance of jellyfish

		Year		
		2010	2011	2012
Annual catch of fish		2,027	2,219	2,007
Damage	Annual catch	77 (3.8)	32 (1.4)	177 (8.8)
	Commercial value	69 (3.4)	31 (1.4)	141 (7.1)

Reference: Kim et al. (2014)

현재, 식품의약품안전처(식약처, KFDA)에서는 수산물의 중금속에 대한 기준 규격(Kim, 2014)을 제시하고 있는데, 그 중 총수은은 어류, 두족류, 갑각류, 패류 및 부산물이 모두 0.5 mg/kg, 해조류의 경우 미제시되어 있고, 납은 어류 및 부산물의 경우 0.5 mg/kg, 두족류, 패류 및 내장 꽃게의 경우 2.0 mg/kg, 내장 꽃게를 제외한 갑각류의 경우 1.0 mg/kg, 그리고 해조류의 경우 미제시되어 있으며, 카드뮴의 경우 두족류(내장 낙지(3.0 mg/kg) 제외), 패류 및 부산물의 경우 2.0 mg/kg, 갑각류(내장 꽃게(5.0 mg/kg) 제외)의 경우 1.0 mg/kg, 그리고 해조류의 경우 0.3 mg/kg으로 제시되어 있다.

이와 같은 노무라입깃해파리의 중금속 함량에 대한 결과와 식약처에서 제시한 수산물의 중금속 기준 규격(Kim, 2014)으로부터 노무라입깃해파리의 중금속 데이터가 건물 기준이라는 점과 기준 규격 이하였다는 점으로 미루어 보아 중금속 면에서는 충분히 식품가공 소재로 이용 가능하리라 판단되었다.

### 해파리의 일반적 특성

노무라입깃해파리와 보름달물해파리의 식품소재로서 가능성과 이용 방향을 검토할 목적으로 일반성분, 염도 및 pH를 살펴본 결과는 Table 3과 같다. 노무라입깃해파리와 보름달물해파리의 일반성분 함량은 수분의 경우 각각 97.1% 및 96.5%이었고, 조단백질의 경우 습물 기준이 각각 0.9% 및 1.2% 건물 기준이 각각 31.0% 및 34.2%, 조지방의 경우 습물 기준이 각각 불검출 및 0.1%, 건물 기준이 각각 불검출 및 2.9%이었으며, 회분의 경우 습물 기준이 각각 1.7% 및 1.8%, 건물 기준이 각각 58.6% 및 51.4%이었다. 이와 같은 결과로 미루어 보아 우리나라에 대량으로 출현하는 2종의 해파리의 일반성분 함량은 종류에 관계없이 거의 대부분이 수분으로 이루어져 있었다. 수분을 제외한 이들 해파리들의 고형물은 약 절반이 식염으로 이루어져 있었고, 조단백질은 건물 기준으로 약 1/3로 구성되어 있었으며, 조지방은 미미한 수준이었다.

Table 2. Standards on the heavy metal of fisheries suggested by the KFDA heavy metal contents of frozen-dried jellyfish *Nemopilema nomurai*

	Heavy metal (mg/kg, wet weight basis)				
	Total Hg	Pb	Cd	Cr	Cu
Measured data	0.01±0.00	0.35±0.14	0.30±0.02	0.05±0.04	0.20±0.04
Fish	0.5	0.5	-	-	-
Cephalopod	0.5	2.0	2.0	-	-
Crustacea	0.5	1.0	1.0	-	-
Shellfish	0.5	2.0	2.0	-	-
By-product	0.5	0.5	2.0	-	-
Seaweed	<sup>2</sup>	-	0.3	-	-

<sup>1</sup>These are standards suggested by the KFDA. <sup>2</sup>Not suggested.

한편, Hsieh et al. (2001)은 cannonball jellyfish (*Stomolophus meleagris*)를 식품소재로 활용할 목적으로 일반성분 함량을 검토한 결과 수분의 경우 96.1%, 조단백질의 경우 2.9%, 조지방의 경우 trace, 회분의 경우 1.3%, pH의 경우 6.7이었다고 보고한 바 있다. 그리고, Zhang et al. (2014b)은 중국 황해에서 어획된 유령해파리의 콜라겐 특성을 검토하고자 하는 연구에서 일반성분 함량은 수분의 경우 97.4%, 조단백질의 경우 2.0%, 조지방의 경우 0.2%, 회분의 경우 0.4%이라고 보고한 바 있다. 따라서, 해파리의 일반성분 함량은 노무라입깃해파리와 보름달물해파리가 cannonball jellyfish (*Stomolophus meleagris*)에 비하여 수분의 경우 유사하였고, 조단백질의 경우 낮았으며, 회분의 경우 높았다. 또한, 해파리의 일반성분 함량은 노무라입깃해파리와 보름달물해파리가 유령해파리에 비하여 수분, 조지방의 경우 역시 유사하였고, 조단백질의 경우 낮았으며, 회분의 경우 높았다.

이와 같은 결과로 미루어 보아 우리나라에 대량으로 출현하는 노무라입깃해파리와 보름달물해파리와 같은 2종의 해파리는 체내 함유하고 있는 체내수의 정제수, 식염 및 단백질 소재로 활용할 수 있으리라 판단되었다. 그러나, 이들을 효율적으로 이용하기 위하여는 탈수, 정제 및 탈염 등의 공정이 필요로 한다는 전제 하에서 영리를 추구하는 경제적인 개념 보다는 사회적 부담 요인을 효율적으로 제거하고, 재활용한다는 취지의 사회적 개념으로 접근하여야 할 것으로 판단되었다.

### 해파리의 영양학적 특성

해파리의 영양학적 특성은 총아미노산의 조성구성과 무기질의 함량으로 살펴보았다. 해파리(*Rhopilema esculenta*) 몸통을 구성하고 있는 단백질 조성을 살펴볼 목적으로 몸통(umbrella)과 생식선(gonad)의 총아미노산의 조성을 돼지 껍질의 아미산 조성구성과 비교하여 살펴본 결과는 Table 4와 같다. 해파리 생식선의 필수아미노산 총합량(TCAA)/아미노산 총합량(TAA)과 TEAA/비필수아미노산 총합량(TNEAA)은 각각 0.43과 0.75이었다. 한편, FAO/WHO (1990)는 TEAA/TAA와 TEAA/TNEAA이 각각 약 0.4 및 0.6 이상인 경우 양질의 단백질이라고 보고한 바

Table 3. Proximate composition, salinity and pH of different jellyfish *Nemopilema nomurai* and *Aurelia aurita*

Jellyfish	Proximate composition (%)				Salinity (%)	pH
	Moisture	Crude lipid	Crude protein	Ash		
<i>Nemopilema nomurai</i>	97.1±0.7	0.0±0.0	0.9±0.2 (31.0)	1.7±0.3 (58.6)	1.5±0.3 (51.7)	7.2
<i>Aurelia aurita</i>	96.5±0.9	0.1±0.0 (2.9) <sup>1</sup>	1.2±0.2 (34.2)	1.8±0.3 (51.4)	1.6±0.2 (45.7)	7.6

<sup>1</sup>These are data based on the dry weight.

Table 4. Amino acid composition in umbrella and gonad of jellyfish *Rhopilema esculenta*

Sample	<i>Rhopilema esculenta</i>			
	Porcine	Umbrella	Gonad	
Uesd parts	Skin	Umbrella	Gonad	
Unit	%	%	mg/100 mg	
Amino acid	Aspartic acid	3.87	5.63	4.23
	Threonine	0.00	5.10	2.32
	Serine	3.13	5.04	2.56
	Hydroxyproline	11.66	6.37	-
	Glutamic acid	7.19	9.59	7.43
	Proline	12.98	8.05	1.41
	Glycine	22.71	18.30	4.25
	Alanine	13.27	8.34	2.87
	Cysteine	5.06	8.90	0.00
	Valine	1.14	2.50	2.97
	Isoleucine	0.66	3.74	2.79
	Methionine	0.81	0.81	0.98
	Leucine	2.65	1.33	4.15
	Tyrosine	0.72	2.92	1.85
	Phenylalanine	1.89	2.36	2.73
	Lysine	2.67	2.83	4.65
	Histidine	0.62	1.97	1.14
	Arginine	8.98	6.23	1.68
	Total	100.01	100.01	48.01
Reference	Ha (2010)	Yu et al. (2014)		

있다. 그리고, 수산물의 TEAA/TAA와 TEAA/TNEAA에 대하여 Striker et al. (2007)은 갑각류의 화학적 조성과 열 특성을 검토하는 연구에서 black tiger shrimp의 경우 각각 0.41 및 0.70, white shrimp의 경우 각각 0.40 및 0.67이었다고 보고한 바 있고, Iwasaki and Harada (1985)는 여러 가지 수산물의 알과 근육의 일반성분과 아미노산 조성을 검토하는 연구에서 대다수의 어류의 평균 TEAA/TAA와 TEAA/TNEAA가 각각 0.41 및 0.70이었다고 보고한 바 있다. 이와 같은 결과로 미루어 보아 해파리 생식선의 TEAA/TAA와 TEAA/TNEAA는 갑각류 및 어류의 그것들과 유사한 수준이었다. 따라서, 해파리 생식선은 양질의 단백질의 하나라고 판단되었다.

해파리 몸통과 생식선의 아미노산 조성으로부터 미루어 보아 이를 구성하는 주요 아미노산(몸통의 경우 8% 이상, 생식선의 경우 4.0 mg/100 mg 이상)은 몸통의 경우 glutamic acid (9.59%), proline (8.05%), glycine (18.30%), alanine (8.34%) 및 cysteine (8.90%) 등과 같은 6종이었고, 생식선의 경우 aspartic acid (4.23 mg/100 mg), glutamic acid (7.43 mg/100 mg), glycine (4.25 mg/100 mg), leucine (4.15 mg/100 g) 및 lysine (4.65 mg/100 mg) 등과 같은 5종으로 부위에 따른 차이

는 확연히 인정되었다. 이는 일반적으로 해파리는 몸통의 외배엽과 내배엽이 콜라겐으로 충전되어 있기 때문이다. 한편, 콜라겐 추출 소재로 많이 이용되고 있는 돼지 껍질의 아미노산 조성도 hydroxyproline (11.66%), proline (12.98%), glycine (22.71%), alanine (13.27%) 및 arginine (8.90%) 등과 같은 5종이었다. 이와 같이 돼지 껍질과 해파리 몸통 간에 아미노산 조성의 차이는 해파리 몸통에는 주성분인 콜라겐 이외의 다수의 단백질이 존재하고 있을 뿐만 아니라, 콜라겐 간에도 육상동물 유래의 것과 수산물 유래의 것 간에 차이가 있기 때문이다.

일반적으로, 콜라겐은 glycine-proline or hydroxyproline-기타 아미노산으로 이루어져 있어, glycine이 전체 단백질의 약 1/3로 이루어져 있고, proline과 hydroxyproline과 같은 imino acid를 주로 하는 기타 아미노산이 2/3로 구성되어 있으며, cysteine, methionine, isoleucine, tyrosine, phenylalanine 및 histidine 등은 전혀 존재하지 않거나, 20 잔기 이하로 존재하는 것으로 알려져 있다(Kim and Park, 2004). 뿐만 아니라, 육상동물 유래 콜라겐과 수산물 유래 콜라겐 간에는 다른 아미노산 조성도 차이가 있으나 특히, imino acid의 조성비가 훨씬 낮다(Park et al., 2007). 이와 같은 결과는 해파리 유래 콜라겐의 경우 물리적 특성이 낮아 물리적 특성을 필요로 하는 콜라겐 소재로는 이용에 다소 제한이 있으리라 추정된다(Kim et al., 2009).

이상의 해파리의 아미노산 조성에 대한 결과와 콜라겐 아미노산 조성의 특성으로 미루어 보아 해파리의 단백질에는 콜라겐 이외에도 약간의 다른 단백질이 함유되어 있다고 판단되었다.

해파리의 무기질 조성은 칼슘, 칼륨, 마그네슘, 철 및 아연으로 살펴보고, 그 결과는 Table 5와 같다. 해파리의 몸통(umbrella), 구완(oral arm) 및 생식선(gonad)과 같은 부위에 따른 무기질 조성은 칼슘의 경우 각각 251 mg/kg, 188 mg/kg 및 258 mg/kg, 칼륨의 경우 각각 599 mg/kg, 507 mg/kg 및 597 mg/kg, 마그네슘의 경우 각각 881 mg/kg, 756 mg/kg 및 783 mg/kg, 철의 경우 각각 0.06 mg/kg, 0.07 mg/kg 및 0.83 mg/kg, 그리고, 아연의 경우 각각 0.61 mg/kg, 1.04 mg/kg 및 1.57 mg/kg이었다. 해파리의 부위에 따른 다량 무기질 조성은 칼슘과 칼륨의 경우 몸통과 생식선이 유사하였고, 이들은 구완보다 높은 수준이었으며, 마그네슘의 경우 몸통>생식선>구완의 순이었다. 이에 반하여 해파리의 부위에 따른 미량 무기질 조성은 철의 경우 몸통과 구완이 유사한 수준이었고, 이들은 생식선에 비하여 완연히 낮았으며, 아연의 경우 생식선>구완>몸통의 순이었다. 이들 해파리의 무기질 함량은 다소 낮은 편이나, 이들이 수분 함량이 대부분인 생체 상태이어서 가공을 위하여 탈수가 이루어지는 경우 상당히 농축되어 의미가 있는 농도가 되리라 추정되었다.

일반적으로 인체 내에서 칼슘은 뼈와 근육에 주로 존재하면서 신체 지지기능, 세포 및 효소의 활성화에 의한 근육의 수축 및 이완, 신경의 흥분과 자극전달, 혈액의 응고 및 여러 가지 심혈관계 질환의 예방에 관여하고(Kim et al., 2012), 또한, 우리나라를 위시한 동양권 식이 패턴에서 부족되기 쉬운 영양소(The

Table 5. Mineral content (mg/kg) in various parts of jellyfish *Rhopilema esculenta*

Used parts	Mineral (mg/kg, wet basis)				
	Ca	K	Mg	Fe	Zn
Umbrella	251	599	881	0.06	0.61
Oral arm	188	507	756	0.07	1.04
Gonad	258	597	783	0.83	1.57

Reference: Liu et al. (2012)

Korean Nutrition Society, 2000)로 알려져 있으며, 칼륨은 대부분이 근육 세포 내에 존재하면서 삼투압 및 pH의 조절, 신경 근육의 흥분성 유지, 뇨 중의 나트륨 이온의 배설을 증가시킴으로 인한 고혈압과 동맥경화증 예방에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Yoshimura et al., 1991). 그리고, 마그네슘은 뼈, 세포 내외액에 주로 존재하면서 근육의 긴장 및 이완, 호기적 및 혐기적 에너지 대사작용, 효소의 활성화 등에 기여하는 것으로 알려져 있다(The Korean Nutrition Society, 2000). 미량 무기질인 철은 산소의 운반 및 저장, 에너지를 생산하는 효소의 촉매 작용, 면역계에 대한 작용(Jo et al., 2013)을 하는 것으로 알려져 있고, 아연은 체내에서 유해 중금속을 배출하는 단백질을 활성화하고, 인슐린과 필수효소 구성 요소이면서 성장호르몬 및 성호르몬 등을 촉진시키며, 면역기능을 수행하는 등과 같은 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Fukushi et al., 2005).

### 해파리의 염장해파리 소재로서 이용

해파리는 하절기에 국내 연안지역에서 대량으로 발생하여 어업분야와 해수욕장 관련 분야 및 발전기 분야와 같은 기타 사회분야에서 많은 피해를 발생시키고 있다. 현재, 국내에서 해파리의 식용으로서의 이용은 단지 염장 해파리에 불과하다. 이러한 일면에서 이들 해파리를 국내 식품산업에서 염장 해파리와 같이 보다 효율적으로 이용할 수 있으면 그 의미는 클 것으로 판단되어, 여기에서는 염장해파리의 이용에 관한 여러 가지 자료에 대하여 살펴보고자 한다.

현재 염장 해파리 소재로 이용되고 있는 대부분의 식용 해파리는 주로 인도양, 북서태평양 및 서중양태평양과 접하고 있는 태국, 인도네시아, 말레이시아, 필리핀 및 중국 등과 같은 국가의 하구에서 어획된 것을 사용하고 있고(Huang, 1988; Hsieh et al., 2001), 조직이 단단하고 크기가 큰 Rhizostomeae 속의 것이 주로 이용된다(Omori, 1981; Morikawa, 1984). 이들 염장 해파리 소재들 중 아시아 해파리 산업에서 가장 중요하고, 많이 이용되고 있는 좋은 *Rhopilema esculenta*이며, 보름달물 해파리와 같은 몸통이 연약하고, 작으며 부서지기 쉬운 종류는 사용하기 어렵다고 알려져 있다(Sloan and Gunn, 1985; Ozer, 1994). 원료 해파리에서 몸통의 평균 수율은 60-65% 범위이고, 구완 부위는 시장에서 크기나 형태가 좋지 않아 몸통의 절반 가격으로 유통이 이루어진다. 중국인들은 구완 부위의 식감이 몸

통 부위의 식감보다 좋아 이 부위를 보다 더 선호하는데 반하여, 국내에서는 몸통 부분을 더 선호하여 몸통 만이 유통되고 있다.

염장 해파리의 가공을 위하여는 해파리 이외에도 반드시 식염과 명반을 사용한다. 염장 해파리의 가공 시에 사용하는 식염의 첨가 목적은 수분함량의 감소에 의한 최종 제품의 탄력과 저장성을 부여하고, 자포독소를 감소시키기 위한 것이다. 그리고, 염장 해파리의 가공 시에 명반의 첨가 목적은 pH를 저하시키고, 단백질을 침전시켜 경도를 강화시키며, 응고제로서 뿐만 아니라 보존제로서도 작용한다. 염장 해파리의 염지를 위해 식염이나 명반을 단독으로 사용하는 경우 시판 염장 해파리의 특성을 가진 제품을 생산하기 어렵다. 즉, 이들 첨가물이 부재한 염장 해파리는 명반 부재의 경우 불쾌취가 발생되기 쉽고, 반면, 식염 부재의 경우 조직의 액화를 일으킨다.

염장 해파리의 가공 중 가장 주요한 공정은 식염과 명반을 이용한 염지공정이라 할 수 있다. 염장 해파리의 염지를 위한 첨가물의 적절한 비율은 식염의 경우 약 30-35% 범위이고, 명반의 경우 1.5-3.0% 범위이며, 이들의 첨가 비율은 제조국가별, 업체별 및 품종별에 따라 약간씩 차이가 있고, 제품의 품질에 있어서도 차이가 있다. 염장 해파리의 염지공정은 보통 4단계 정도로 실시하는데 짧게는 20일에서, 길게는 40일 정도가 소요된다(Krishnan, 1984; Govindan, 1984; Sloan and Gunn, 1985).

프리미엄 A급의 염장 해파리는 직경이 18 인치이어야 하고, 백색이어야 하며, 딱딱하고 부서지기 쉬운 조직감을 가져야 하고, 부드러운야 한다. 이 프리미엄 A급의 염장 해파리의 가격은 아시아에서 10-12 (달러/파운드) 범위이다.

염장 해파리의 shelf-life는 상온에서 1년 이상이고, 냉장을 하는 경우 2년 이상까지 가능하다. 하지만, 염장 해파리의 shelf-life는 냉동하는 경우 오히려 저하함으로 주의하여야 한다.

염장 해파리의 가격은 크기(크기가 클수록 상승함)와 제품의 조건에 따라 달라지고, 소재는 몸통 부위로 만든 것이 구완 부위로 만든 것에 비하여 고가인데, 이는 구완 부위로 제조한 것은 일정한 형을 가지기 어렵기 때문이다(Hsieh et al., 2001).

한국, 태국, 중국 및 인도네시아와 같은 여러 나라에서 생산한 시판 염장 해파리의 일반성분, pH 및 염도를 비교하여 살펴본 결과는 Table 6과 같다. 염장 해파리의 일반성분 함량은 수분의 경우 63.5-73.8% 범위(최고, 태국산 구완 부위; 최저, 국내산), 조단백질의 경우 2.0-4.5% 범위(최고, 인도네시아산; 최저, 중국산), 조지방의 경우 0.1-0.3% 범위 및 회분의 경우 19.0-29.4% 범위(최고, 인도네시아산; 최저, 태국산 구완 부위)로, 대체로 함량이 낮은 조지방을 제외한다면 나머지 일반성분의 경우 생산한 국가에 따라 차이가 있었다. 시판 염장 해파리의 pH는 4.06-4.26 범위(최고, 국내산; 최저 인도네시아산)이었고, 염도는 20.0-23.6% 범위(최고, 중국산; 최저, 태국산 구완 부위)로, 생산 국가에 따른 차이가 다소 인정되었다. 이와 같이 염장 해파리의 낮은 수분함량과 pH, 그리고, 높은 염도로 미루어 보아 염장 해파리의 저장성은 다소 인정되었고, 이와 같

Table 6. Comparison on the proximate composition, pH and salt content of salted jellyfishes *Nemopilema nomurai* produced in different countries

Production countries		Korea	Thailand	China	Indonesia	
Used parts		Umbrella	Umbrella	Oral arm	Umbrella	
Proximate composition (g/100 g)	Moisture	63.5±0.5	70.8±0.2	73.8±0.4	71.7±0.1	68.8±0.4
	Crude protein	-	3.7±0.1	3.6±0.1	2.0±0.1	4.5±0.1
	Crude lipid	-	0.3±0.1	0.1±0.0	0.2±0.0	0.1±0.0
	Ash	-	24.9±0.6	19.0±3.2	25.4±2.0	29.4±2.9
pH		4.26	4.10	4.10	4.16	4.06
Salt (g/100 g)		23.0±0.1	22.5±0.7	20.0±0.2	23.6±0.2	22.7±0.1

은 결과는 염지공정 중에 사용한 식염과 명반에 의한 영향이라고 판단되었다.

염장 해파리는 중국에서 수천년 이상 동안 식용하여 온 전통 수산식품이었고, 이로 인하여 전세계에서 중국의 시장이 가장 활성화되어 있다. 그러나, 중국에서 이들 염장 해파리 산업이 상업화된 것은 최근이고(Morikawa, 1984), 현재 가공공정은 노동 집약적으로 구성되어 있어, 경제 및 위생적인 면에서 이의 현대화가 절실히 필요하다. 현재 중국에서 염장 해파리 산업의 경제성은 수백만 달러에 이르고, 앞으로 더욱 성장하리라 예측된다(Omori and Nakano, 2001).

#### 해파리의 고도 이용을 위한 새로운 도전

현재, 국내에서 해파리의 효율적 이용은 단지 염장 해파리에 불과하다. 그러나, 해파리는 몸통의 외피조직과 내피조직의 사이에 콜라겐이 다량 존재하고 있고, 일부 조직에는 뮤신 계통의 당단백질(glycoprotein)이 존재하고 있어, 이의 추출에 의한 유효 이용이 가능하리라 판단된다. 이러한 일면에서 여기에서는 해파리의 유효 이용을 위한 일련의 조사로 콜라겐과 당단백질의 특성과 여러 가지 시도에 대하여 살펴보고자 한다.

콜라겐은 육상동물의 결합조직은 물론이고 해양동물 결합 조직의 주성분이고, 뼈와 피부에 주로 있지만, 관절, 각 장기의 막, 머리카락 등 우리 몸 전체에 분포되어 있는 주요 성분이다. 따라서, 콜라겐은 동물의 껍질 및 뼈로부터 추출하여 식품용(젤리 및 제과 등의 안정제, 소시지의 가식용 필름, 고혈압 저해제, 항산화제 등의 효능을 가진 건강기능성 식품 및 육가공품 안정제를 제조하기 위한 소재), 의약품용(미생물 배지, 약캡슐 용 및 수술용실 등), 공업용(샴프 및 린스의 안정제, 풀, 사진 필름 등의 소재) 등의 목적으로 다양하게 이용되고 있고, 이들의 대부분은 육상동물로부터 추출되고 있다. 그러나, 현재 육상동물은 광우병, 돼지 콜레라, 조류 독감 등과 같은 여러 가지 질병의 근원이어서, 건강을 우려하는 소비자들의 경우 이의 섭취를 꺼려하고 있고 또한, 일부 종교의 경우 특정 동물의 섭취를 꺼려하고 있어, 콜라겐 추출자원의 새로운 검색이 절실한 실정이다(Kim and Park, 2004). 이러한 일면에서 우리나라 연안에 자주 출현하는 노무라입깃해파리와 보름달물해파리의 콜라겐 추

출 소재로서 검토는 수산분야의 활성화에 상당히 의미가 있다고 판단된다.

해파리 단백질의 주성분은 콜라겐이어서 해파리 단백질의 이용은 주로 콜라겐을 이용하고자 하는 부분에 초점이 맞추어 있다. 이로 인하여 해파리 단백질을 이용하는 패턴은 해파리 그 자체를 전처리 없이 그대로 이용하는 방법과 해파리로부터 콜라겐을 추출하여 이용하는 방법이 있다. 전자는 전처리 없이 사용하기에 간편한 면은 있으나, 동결을 위한 대량의 시설이 필요하고, 정제되지 않은 상태에서 사용하기에 최종물질의 예측이 어렵다. 반면에 후자는 전처리 비용이 소요되나, 동결을 위한 대량의 시설이 필요가 없고, 가수분해 시설 용량이 적으면서, 최종물질의 예측이 용이하다는 특징이 있다.

해파리로부터 콜라겐의 추출은 일반적으로 다음과 같은 공정으로 실시한다. 해파리는 수분이 95-97% 범위로 다량 함유되어 있어 탈수를 위하여 염지 등의 공정을 거치지 않는 경우 몇 시간 내에 부패하여 콜라겐 추출 원료로 사용하기 어렵다. 따라서, 콜라겐 추출을 위한 소재로 활용하기 위하여는 최우선적으로 선상에서 식염과 명반 등을 사용하여 염지를 실시하고 이송한다. 이어서 콜라겐의 추출을 위한 염지 해파리의 탈염은 염지해파리를 세절한 다음 염도가 1% 이하가 되도록 찬물로 수세한다. 해파리 조각에 0.5 M 아세트산을 가하고 분쇄한 다음, 0.1% (w/v) 펩신을 가하고, 60시간 동안 분해한 후 원심분리한다. 그리고, 얻어진 원심분리물에 최종농도가 2.5 M이 되도록 넣어 12시간 동안 염색시켜 콜라겐을 석출시키고, 이를 원심분리한 다음 다시 0.5 M 아세트산에서 재용해시킨다. 이어서 콜라겐은 재용해시킨 콜라겐을 0.1 M 아세트산과 증류수에 대하여 3일 동안 투석 및 동결건조시켜 제조한다. 이와 같은 모든 공정은 4°C에서 실시하여야 한다.

여러 가지 해파리로부터 추출한 콜라겐을 전기영동한 결과는 Table 7과 같다. 여러 가지 해파리로부터 추출한 콜라겐을 전기영동한 결과 유령해파리(*Cyanea nozakii*) (Tang et al., 2008; Zhang et al., 2014b), ribbon jellyfish (*Chrysaora* sp.) (Barzideh et al., 2014), cannonball jellyfish (Hsieh, 2005) 및 *Rhopilema esculenta* (Zhuang et al., 2009a)의 경우( $\alpha 1$ )<sub>3</sub>로 구성되어 있고, *Stomolophus nomurai* (Kimura et al., 1983), *Rho-*



Table 7. Subunit patterns of collagens from different jellyfishes

Subunit	Jellyfish	Reference
$(\alpha 1)_3$	- <i>Cyanea nozakii</i>	Tang et al. (2008), Zhang et al. (2014)
	- ribbon jellyfish ( <i>Chrysaora</i> sp.)	Barzideh et al. (2014)
	- cannonball jellyfish	Hsieh (2005)
	- <i>Rhopilema esculenta</i>	Zhuang et al. (2009)
$(\alpha 1)_2\alpha 2$	- <i>Stomolophus nomurai</i>	Kimura et al. (1983)
	- <i>Rhopilema asamushi</i>	Nagai et al. (2000)
$\alpha 1\alpha 2\alpha 2$	- <i>Rhopilema hispidium</i>	Ahn (2008)
	- <i>Stomolophus meleagris</i>	Nagai et al. (1999)
	- <i>Stomolophus nomurai</i>	Miura and Kimura (1985)

*pilema asamushi* (Nagai et al., 2000) 및 *Rhopilema hispidium* (Ahn, 2008)의 경우  $(\alpha 1)_2\alpha 2$ 로 구성되어 있으며, *Stomolophus meleagris* (Nagai et al., 1999) 및 *Stomolophus nomurai* (Miura and Kimura, 1985)의 경우  $\alpha 1\alpha 2\alpha 3$ 로 구성되어 있어 해파리의 종에 따라 상당히 차이가 있었다. 일반적으로 무척추동물로부터 추출한 콜라겐의 subunit는  $(\alpha 1)_3$ 로 구성되어 있다고 알려져 있다(Nordwig et al., 1973). 이와 같은 결과로 미루어 보아 해파리의 종류에 따라 콜라겐의 종류가 다르고, 이로 인하여 특성도 달라 이에 대한 검토가 철저히 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

위에서 검토한 9종의 해파리 콜라겐 중 5종의 아미노산 조성을 살펴본 다음 이를 소껍질 콜라겐의 조성비와 비교 검토한 결과는 Table 8과 같다. 일반적으로 콜라겐은 3선 나선구조를 하고 있고, 이들 3선 나선구조를 이루고 있는 1겹의 사슬은 약 1,000 잔기의 아미노산으로 구성되어 있다. 이로 인하여 이들 해파리 콜라겐과 소 껍질 콜라겐의 아미노산 조성은 모두 1,000 잔기당 구성하고 있는 잔기로 표현하여 나타내었다.

해파리 콜라겐의 아미노산 조성으로 미루어 보아, 해파리 콜라겐의 주요 아미노산(90잔기 이상)은 glutamic acid (92-101 잔기 범위) 및 glycine (304-344잔기 범위)과 같은 2종으로 종류의 경우 차이는 없었으나 잔기(residues) 수에서는 다소 차이가 있었다. 한편, 소껍질로부터 추출한 콜라겐의 주요 아미노산은 hydroxyproline (94잔기), glycine (330잔기), alanine (119잔기) 및 proline (121잔기) 등과 같은 4종이었다. 따라서, 수산생물인 해파리 콜라겐과 육상동물인 소껍질 콜라겐 간에는 확연한 차이가 있었다. 이와 같이 해파리 5종과 소껍질의 콜라겐들 모두가 glycine의 조성비가 높은 것은 콜라겐의 경우 glycine-proline or hydroxyproline-기타 아미노산이 연속적으로 이루어져 있어, glycine이 전체 단백질의 약 1/3로 이루어져 있기 때문이다. 한편, 해파리 5종과 소 껍질의 콜라겐들 모두가 cysteine, methionine, isoleucine, tyrosine 및 histidine 등의 조

성비가 아주 낮았는데, 이는 콜라겐의 경우 이들 아미노산이 전혀 존재하지 않거나, 20 잔기 이하로 존재하는 것으로 알려져 있다(Kim and Park, 2004). 한편, imino acid의 조성비는 해파리 콜라겐의 경우 118-149 잔기 범위로 소 껍질 유래 콜라겐의 215 잔기에 비하여 31-45%가 낮아 차이가 있었다. 한편 콜라겐의 imino acid 잔기는 녹는점(melting point)과 응고점(gelling point)에 밀접한 영향을 미쳐, 잔기수가 많을수록 이들의 온도는 높아 다방면에 이용할 수 있다고 보고되고 있다(Kim et al., 2009). 콜라겐의 imino acid 조성비로 미루어 보아 해파리 콜라겐은 일반 수산물 콜라겐과 같이 육상동물 콜라겐에 비하여 물리적 특성이 낮아 콜라겐 소재로는 이용에 다소 제한이 있으리라 추정된다(Park et al., 2007). 따라서, 해파리 콜라겐은 물리적 특성을 필요로 하는 캡슐, 소시지 등의 가식용 필름, 육가공품 안정제 및 샴푸 등의 안정제로 이용하기 보다는 물리적 특성을 필요로 하지 않으면서 건강기능성을 필요로 하는 소재나 이를 효소로 가수분해하여 건강기능성 소재 등으로 시도하는 것이 적절하리라 판단된다.

이러한 일면에서 여러 연구자들에 의하여 해파리 콜라겐을 효소 가수분해하여 항피로(Ding et al., 2011), 항산화(Ding et al., 2011; Zhuang et al., 2009b), 자외선 손상 방지(Zhuang et al., 2009a), 고혈압 저해능(Zhuang et al., 2012a; 2012b; Morinaga et al., 2010), 멜라닌 형성 억제능(Zhuang et al., 2009b)을 가진 물질을 찾고자 노력한 바 있다.

건강 기능성 해파리 콜라겐 가수분해물의 제조는 다음과 같이 제조한다. 즉, 해파리(*Rhopilema esculenta*) 콜라겐을 원충액(Protamex의 경우 pH 7.0, properase E의 경우 pH 8.0, trypsin의 경우 pH 7.5, Alcalase의 경우 pH 8.63)에 현탁한 다음 각 기능성을 가진 가수분해물의 제조를 위한 전처리 물질로 사용한다. 이 전처리 물질을 사용하여 항피로 및 항산화 가수분해물(Ding et al., 2011)의 경우 2% (w/v) Protamex로 50℃에서 8시간 가수분해하여, 자외선 손상 방지 가수분해물(Zhuang et al., 2009a)의 경우 properase E [단백질 기질:효소(50:1, w/w)]로 50℃에서 3시간 동안 1차 가수분해하고, 이어서 trypsin [단백질 기질:효소(100:1, w/w)]로 45℃에서 3시간 동안 2차 가수분해하여, 항산화 및 멜라닌 형성 억제 가수분해물(Zhuang et al., 2009b)의 경우 trypsin [단백질 기질:효소(100:1, w/w)]로 45℃에서 3시간 동안 1차 가수분해하고, properase E [단백질 기질:효소(50:1, w/w)]로 50℃에서 3시간 동안 2차 가수분해하여, 고혈압 저해활성을 가진 가수분해물(Zhuang et al., 2012a)의 경우 3.46% Alcalase [단백질 기질:효소(100:1, w/w)]로 52.7℃에서 4시간 동안 가수분해하고, 이어서, 한외여과처리(MWCO 3 kDa), 이온교환처리(SP Sephadex C-25 ion-exchange column (16×300 mm))와 겔여과처리(Sephadex G-15 gel filtration column (16×500 mm))를 연속적으로 실시한다. 이어서 이들 효소 가수분해물에 함유되어 있는 효소를 불활성화(100℃에서 10분)한 후 원심분리(10분 동안 4,000 rpm)

Table 8. Amino acid (AA) composition (residues/1,000 residues) of collagens from different jellyfishes and calf skin

Jellyfish	Ribbon jellyfish	<i>Stomolophus nomurai</i>	<i>Stomolophus meleagris</i>	<i>Rhopilema esculenta</i>	<i>Cyanea nozakii</i>	Calf
Used part	Umbrella	Mesogloea	Exumbrella	UD <sup>1</sup>	Umbrella	Skin
Hyp	70	57	40	38	42	94
Asp	76	71	79	79	79	45
Ser	44	45	45	46	48	33
Glu	101	94	98	92	98	75
Gly	320	344	309	308	304	330
His	ND <sup>2</sup>	1	2	6	3	5
Arg	58	57	52	53	54	50
Thr	34	28	35	33	32	18
Ala	87	77	82	83	89	119
Pro	79	79	82	80	79	121
Cys	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tyr	10	5	6	7	9	3
Val	22	24	35	36	60	21
Met	16	8	4	5	11	6
Lys	17	24	38	36	27	26
Ile	23	16	22	23	22	11
Leu	31	27	34	36	31	23
Phe	14	8	10	12	11	3
Total	1000	1000	1000	973	999	1000
Imino acid	149	136	122	118	121	215
Reference	Barzideh et al. (2014)	Kimura et al. (1983)	Nagai et al. (1999)	Zhuang et al. (2009a)	Zhang et al. (2014b)	Giraud-Guille et al. (2000)

<sup>1</sup>UD, undescribed. <sup>2</sup>ND, not detected.

및 동결건조하여 제조한다.

한편, 여러 연구자들은 해파리로부터 콜라겐을 추출하여 이를 활용하는 연구 이외에 해파리 그 자체로부터 추출물을 제조하여 면역개선제(Morishige et al., 2011; Putra et al., 2012; 2014)로 사용을 검토하거나, 또는, 이를 분리 및 정제하거나, 효소분해하여 항균활성제(Moon et al., 2011) 및 고혈압 개선제(Yoon et al., 2011)로 검토한 바 있다.

건강 기능성 해파리 추출물 또는 이의 효소 가수분해물의 제조는 다음과 같다. 즉, 면역개선 효과(Morishige et al., 2011)를 가진 노무라입깃해파리 추출물은 exumbrella를 일정한 크기로 자른 다음, 묽은 염산(pH 3.0)으로 12시간 동안 추출 및 121°C에서 20분 동안 열처리한 후 원심분리에 의하여 산가용성 획분(fraction)을 모은 다음 이를 10 mM 인산염 완충액(pH 7.4)에 대하여 투석과 동결건조하여 제조한다. 항균활성(Moon et al., 2011)을 가진 노무라입깃해파리 추출물은 동결된 whole body에 4배량의 1% 아세트산을 첨가, 가열(자가소화효소를 불활성화를 위하여 100°C에서 5분), 냉각 및 파쇄한 다음 저온 원심분

리하여 상층으로 조제하고, 이의 효과 개선을 위하여 C18 역상 칼럼(Capcell-Pak C18 column (4.6×250 mm, Shisedo, Japan))과 양이온교환 칼럼(TSK-gel SP-5PW column (7.5×75 mm, Tosoh, Japan))등을 장착한 HPLC로 연속적 분획에 의하여 제조한다. 고혈압 저해능(Yoon et al., 2011)을 가진 노무라입깃해파리 추출물은 증류수에 동결건조한 해파리가 10%, papain이 1% (해파리 단백질 기준)가 되도록 가하고, 반응(pH 6.0, 1시간)을 시킨 다음, 불활성화(90°C에서 15분) 및 원심분리하여 상층으로 조제하고, 이의 효과 개선을 위하여 한외여과장치를 사용하여 한외여과물을 제조(3-5 kDa)하며, 이를 다시 reverse phase HPLC로 분취하여 제조한다.

Masuda et al. (2007)은 5종의 해파리(*Nemopilema nomurai*, *Aurelia aurita*, *Chrysaora melanaster*, *Rhopilema esculenta* 및 *Chiropsalmus quadrigatus*)로부터 뮤신(mucin, 동식물이 분비하는 점성물질로 알칼리에 용해되나, 물과 산에 불용해되는 당단백질임)계의 새로운 당단백질인 qniumucin을 간단한 추출과 정제로 얻은 바 있다. 이와 같은 뮤신은 현재 생체 내 세균이

나 바이러스, 특히 위암발병 원인균으로 지목을 받고 있는 *Helicobacter pylori*에 대하여 항균작용을 가지고 있고, 보습효과도 있어 의약품, 건강식품 및 화장품 소재로도 주목을 받고 있는 성분이다.

위에서 언급한 5종의 해파리로부터 qniumucin의 추출물을 얻기 위하여 해파리의 몸통은 작은 조각으로 자르고, 여기에 0.2% NaCl을 가한 다음 4℃에서 24시간 동안 교반한 후 원심분리에 의하여 겔상 침전물을 얻고, 다시 여기에 3배의 에탄올을 가하여 4℃에서 하룻밤 정치한다. 이어서 분리된 침전물은 다시 물에 용해한 후 염 제거를 위하여 투석을 실시한다. 최종적으로 얻어진 용액을 동결건조하여 조 qniumucin을 제조한다. 정제 qniumucin은 A TSKgel DEAE-5PW 칼럼(7.5 mm I.d. × 75 mm)을 이용한 이온교환크로마토그래피법으로 얻을 수 있다. 이와 같은 공정에 의하여 얻어진 5종의 해파리 (*Nemopilema nomurai*, *Aurelia aurita*, *Chrysaora melanaster*, *Rhopilema esculenta* 및 *Chiropsalmus quadrigatus*)의 여러 가지 부위(전체, 구완, 생식선 및 mesoglea)로부터 추출 및 정제되어진 qniumucin의 수율은 Table 9와 같다. 5종의 해파리의 전체, 구완, 생식선 및 mesoglea로부터 추출 및 정제되어진 qniumucin의 수율은 습물당 0.035-0.108% 범위이고, 건물당 1-3% 범위이다.

해파리의 고도 이용을 위한 과제

국내 연안에서 대량 출현하는 노무라입깃해파리와 보름달물해파리와 같은 여러 가지 해파리의 이용은 주로 염장해파리와 같이 단순가공 제품이나 콜라겐과 이의 효소 가수분해물, 새로운 당단백질인 qniumucin, polysaccharide 및 기타 유용물질의 추출에 의한 건강기능성 소재에 초점이 맞추어져 있다. 그러나 이들 해파리를 산업성 있는 식품가공소재로 고도 이용하기 위하여는 반드시 경제성 문제, 이의 전처리를 위한 대량 탈수시설의 확보, 시료의 연중 확보, 식약처에 식품소재로서 등재 및 안전성 문제 등과 같은 산적한 문제가 많다. 따라서, 여기에서는 해파리의 식품소재로서 고도 이용을 위한 여러 가지 문제에 대하여 살펴보고자 한다.

현재, 국내에서 해파리를 이용한 산업화는 대부분이 수입 염장해파리 정도이고, 나머지 부분은 일부 연구에 불과하다. 이와 같은 해파리 산업 구조의 가장 큰 문제점은 해파리를 이용한 산

업에서 경제성이 낮다는 것이다. 즉, 해파리는 수분이 95-97% 범위에 이르고, 고형분이 3-5% 범위밖에 되지 않아 유용성분의 농도가 낮고, 선상으로 이송할 기계와 탈수를 위한 기계들이 필요하며, 원료의 보관을 위한 큰 시설도 필요로 한다. 따라서 해파리 관련 제품의 단가는 위와 같은 단가 상승의 요인 이외에도 실제 해파리 관련 제품의 수율은 아주 낮아 경쟁력이 없다. 그러나, 근년에 국내 연근해에 대량 출현하여 어업분야(Lynam et al., 2005; Masuda et al., 2007; Richardson et al., 2009)의 피해는 물론이고, 해수욕장 관련(Yasuda, 2004; Tibballs et al., 2011; Kim et al., 2014) 및 발전기 관련 피해(Purcell et al., 2007; Kim, 2012)와 같은 기타 사회분야에 피해를 입히는 노무라입깃해파리와 보름달물해파리의 제거작업을 보다 적극적이고 효율적으로 해결하기 위하여 정부 및 지자체 주도하에 수매작업을 하는 경우 신속한 제거작업이 가능할 것이다. 따라서, 해파리 관련 제품은 경제적인 개념보다는 사회적인 문제를 보다 효율적으로 해결한다는 차원에서 접근하여야 하고, 이를 위하여는 국가 및 지자체에서 일부 지원하는 사업으로 진행하여야 할 것으로 판단된다.

국내에서 해파리의 대량 출현에 의한 어업 분야 및 기타 사회분야 피해는 주로 여름에 한시적으로 발생하고 있고, 해파리의 성분은 수분이 95-97% 범위로 함유되어 있어 저장성이 아주 낮다는 특징을 가지고 있다(Hsigh et al., 2001). 따라서, 이들 해파리 산업의 연중 활성화를 위하여는 원료의 저장 및 가공 부피를 줄이고, 저장성을 개선하며, 가공 기계의 면적도 줄일 수 있는 탈수처리와 같은 대량 전처리 시설의 개발이 필요하다. 이때 해파리 생체의 수분을 탈수하기 위한 탈수처리 장치는 생체 내의 수분을 탈수기와 같이 원심력을 이용하여 탈수하는 방법으로는 탈수효율이 떨어져 원심력, 삼투압, 온도 및 속도구배 등과 같은 다양한 기술의 접목이 필요하고, 작업 효율성 부여를 위하여 컨베이어 벨트 등이 연결되어 연속식으로 진행되어야 할 것이다.

현재 국내에 유통되고 있는 염장 해파리는 전량 수입되고 있어, 이들에 사용되고 있는 원료 해파리의 종류는 불분명하다. 일반적으로, 아시아에서 유통되는 해파리는 총 11종으로 알려져 있으나(Omori, 1981), 국내에 유통되고 있는 종류는 대략 3-4 종류에 불과한 것으로 추정된다. 현재 식약처에서 식용으로 허용되고 있는 해파리의 종류는 보름달물해파리와 *Rhopilema esculenta*와 같은 2종에 불과하다. 따라서 노무라입깃해파리를 이용한 염장품을 가공하고, 유통하기 위해서는 식품소재로서 반드시 등재를 하여야 한다. 해파리의 식품소재로서 등재하기 위하여는 반드시 섭취에 관한 역사적 문헌이나 사료 등과 같은 활자화된 근거가 있거나 또는 위해물질 및 독성평가를 통해서 식용 소재로 인정받을 수 있다.

한편, 여러 연구자들은 해파리로부터 유래된 콜라겐과 qniumucin 및 이들의 관련물질을 추출, 정제하여 의약품, 건강기능식품 및 화장품의 소재로 활용하고자 시도하고 있고, 현재 좋은 결과들을 도출하고 있다. 하지만, 이들 해파리 유래 유용물질들

Table 9. Yield of qniumucin obtained from various jellyfish species

Jellyfish	Used part	Yield (wet weight)
<i>Nemopilema nomurai</i>	Oral arm	0.06
	Gonard	0.11
<i>Aurelia aurita</i>	Whole	0.05
<i>Chrysaora melanaster</i>	Whole	0.07
<i>Chiropsalmus quadrigatus</i>	Mesoglea	0.04
<i>Rhopilema esculenta</i>	Whole	0.04

Reference, Masuda et al. (2007).

은 그 기능성에 초점을 맞추고 있고, 이들의 안전성 등에 대한 검토는 없어, 실용화를 위하여는 반드시 안전성을 포함한 다양한 사전 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 사 사

본 논문은 2014년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행한 연구(해파리 대량처리 장치개발 및 이용 방안 연구)의 일부이며, 이에 감사드립니다.

## References

- Addad S. 2011. Isolation, characterization and biological evaluation of jellyfish collagen for use in biomedical applications. *Mar Drug* 9, 967-983. <http://dx.doi.org/10.3390/md9060967>.
- Ahn JR. 2008. Processing optimization and physicochemical characteristics of collagen from jellyfish (*Rhopilema hispidum*). MSci thesis. Pukyong National University, Busan, Korea.
- Arai MN. 2001. Pelagic coelenterates and eutrophication: a review. *Hydrobiologia* 451 69-87.
- Barzideh Z, Latiff AA, Gan CY, Benjakul S and Karim AA. 2014. Isolation and characterisation of collagen from the ribbon jellyfish (*Chrysaora* sp.). *International J Food Sci Technol* 49, 1490-1499. <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.12464>.
- BDI (Busan Development Institute). 2012. Maximization plan of beach open period, *BDI Focus* 4, 4-8.
- Brodeur RD, Sugisaki H and Hunt GL. 2002. Increases in jellyfish biomass in the Bering Sea: implications for the ecosystem. *Mar Ecol Prog Ser* 233, 89-103.
- Brotz L, Cheung WWL, Kleisner K, Pakhomov E and Pauly D. 2012. Increasing jellyfish populations: trends in large marine ecosystems. *Hydrobiologia* 690, 3-20. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-012-1039-7>.
- Budiawan A, Putra N, Nishi K, Shiraiishi R, Doi M and Sugahara T. 2014. Jellyfish collagen stimulates production of TNF- $\alpha$  and IL-6 by J774.1 cells through activation of NF- $\kappa$ B and JNK via TLR4 signaling pathway. *Mol Immunol* 58, 32-37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molimm.2013.11.003>.
- Chung MH, Yoon SH and Yoon WD. 2012. Research trends of the jellyfish blooms. *J Korean Soc Ocean* 17, 25-31. <http://dx.doi.org/10.7850/jkso.2012.17.1.025>.
- Ding JF, Li YY, Xu JJ, Su XR, Gao X and Yue FP. 2011. Study on effect of jellyfish collagen hydrolysate on anti-fatigue and anti-oxidation. *Food Hydrocolloids* 25, 1350-1353. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.12.013>.
- FAO/WHO. 1990. Report of joint FAO/WHO Consultation. Protein quality evaluation, 51, 10-25.
- Feigenbaum D and Kelly M. 1984. Changes in the lower Chesapeake Bay food chain in the presence of the sea nettle *Chrysaora quinquecirrha* (Scyphomedusa). *Mar Ecol Prog Ser* 19, 39-47.
- Fenner PJ. 1997. The Global problem of cnidarian (jellyfish) sting. MSci thesis. University of London, London, England, 205.
- Fukushi K, Tsujimoto J and Yokota K. 2005. Determination of mineral composition and heavy metal content of some nutraceutically valued plant products. *Food Analytical Methods* 3, 181-187. <http://dx.doi.org/10.1007/s12161-009-9107-y>.
- Giraud-Guille MM, Besseau L, Chopin C, Durand P and Herbage D. 2000. Structural aspects of fish skin collagen which forms ordered arrays via liquid crystalline states. *Biomaterials* 21, 899-906. [http://dx.doi.org/10.1016/S0142-9612\(99\)00244-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0142-9612(99)00244-6).
- Govindan TK. 1984. A novel marine animal with much export potential. *Infomarketing Digesting* 1, 9-11.
- Graham WM. 2001. Numerical increase and distribution shifts of *Chrysaora quinquecirrha* (Desor) and *Aurelia aurita* (Linne) (Cnidaria:Scyphozoa) in the northern Gulf of Mexico. *Hydrobiologia* 451, 97-111. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1011844208119>.
- Graham WM, Martin DL, Felder DL, Asper VL and Perry HM. 2003. Ecological and economic implications of a tropical jellyfish invader in the Gulf of Mexico. *Biological Invasions* 5, 53-69. <http://dx.doi.org/10.1023/A:102406707234>.
- Ha YG. 2010. Development and evaluation of functional ingredient using jellyfish (*Rhopilema esculenta*). MSci thesis. Andong National University, Andong, Korea.
- Hoyer B, Bernhardt A, Lode A, Heinemann S, Sewing J, Klinger M, Notbohm H and Gelinsky M. 2014. Jellyfish collagen scaffolds for cartilage tissue engineering. *Acta Biomaterialia* 10, 883-892. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2013.10.022>.
- Hsieh YHP. 2005. Use of jellyfish collagen (type II) in the treatment of rheumatoid arthritis. USA Patent: US6894029-B1.
- Hsieh YHP, Leong FM and Rudloe J. 2001. Jellyfish as food. *Hydrobiologia* 451, 11-17. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1011875720415>.
- Huang YW. 1988. Cannonball jellyfish (*Stomophus meleagris*) as a food resource. *J. Food Sci.* 53, 341-343. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb07701.x>
- Iwasaki M and Harada R. 1985. Proximate and amino acid composition of the roe and muscle of selected marine species. *J Food Sci* 50, 1585-1587. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb10539.x>.
- Jankowski T, Strauss T and Ratte HT. 2005. Trophic interactions of the freshwater jellyfish *Craspedacusta sowerbii*. *J Plankton Research* 27, 811-823. <http://dx.doi.org/10.1093/plankt/fbi055>.
- Jo HS, Kim KH, Kim MJ, Kim HJ, Kwon DH, Im YJ, Heu MS and Kim JS, 2013. A comparison of the taste and nutritional properties of domestic mottled skate *Beringraia pulchra* according to the area caught, sex and weight. *Kor*

- J Fish Aquat Sci 46, 129-138. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.20130245>.
- Johnson DR, Perry HM and Graham WM. 2005. Using nowcast model currents to explore transport of non-indigenous jellyfish into the Gulf of Mexico. *Mar Ecol Prog Ser* 305, 139-146. <http://dx.doi.org/10.3354/meps305139>.
- Kang MS, Lim SS and Lee JH. 1997. A study on the chemical composition and hypocholesterolaemic effect of *Nostoc commune*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26, 468-474.
- Kawabata T, Lindsay DJ, Kitamura M, Konishi S, Nishikawa J, Nishida S, Kamio M and Nagai H. 2013. Evaluation of the bioactivities of water-soluble extracts from twelve deep-sea jellyfish species. *Fish Sci* 79, 487-494. <http://dx.doi.org/10.1007/s12562-013-0612-y>.
- Kawahara M, Uye S, Ohtsu K and Iizumi H. 2006. Unusual population explosion of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa:Rhizostomeae) in East Asian waters. *Mar Ecol Prog Ser* 307, 161-173. <http://dx.doi.org/10.3354/meps307161>
- KHNP (Korea Hydro and Nuclear Power). 2009. Verification of the high speed screens for prevention of bio-impingement against power plant intake. Report of Korea Hydro and Nuclear Power, Seoul, Korea, 7-11.
- Kim DY, Lee JS and Kim DH. 2014. A study on direction of industrial utilization for jellyfish in Korea. *J Fish Mar Sci Edu* 26, 587-596. <http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2014.26.3.587>.
- Kim HJ, Jee SJ, Yoon MS, Yoon MH, Kang KT, Lee DH, Heu MS and Kim JS. 2009. Characterization of acid- and pepsin-soluble collagens from rockfish *Sebastes schlegeli* skin. *J Fish Sci Technol* 12, 6-15.
- Kim HJ, Kim MJ, Kim KH, Ji SJ, Lim KH, Park KH, Shin JH, Heu MS and Kim JS. 2012. Comparison of food components in various parts of white muscle from cooked skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* as a source of diet foods. *Kor J Fish Aquat Sci* 45, 307-316. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0307>.
- Kim JS and Park JW. 2004. Characterization of acid-soluble collagen from Pacific whiting surimi processing by-products. *J Food Sci* 69, C637-C642.
- Kim KH. 2014. Concentration and risk assessment of heavy metal in mainly consumed fishes. MSci thesis, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea. 23-58.
- Kim TW. 2012. Structural improvement of a travelling water screen installed in seawater intake of a power plant. MSci thesis, Hanyang University, Seoul, Korea.
- Kimura S, Miura S and Park YH. 1983. Collagen as the major edible component of jellyfish *Stomolophus nomurai*. *J Food Sci* 48, 1758-1760. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb05078.x>
- Kirshnan GS. 1984. Diversification of products and markets-salted jellyfish – A potential diversified product for Japan/Hong Kong markets. *Seafood Exp J* 16, 23-26.
- Krishnan S and Perumal P. 2013. Preparation and biomedical characterization of jellyfish (*Chrysaora quinquecirrha*) collagen from Southeast Coast of India. *Int J Pharm Pharm Sci* 5, 698-701.
- Lee HE, Han CH and Yoon WD. 2012. Method for laboratory incubation of *Aurelia aurita*. National Fisheries Research & Development Institute, Hangeul Graphics Co., Busan, Korea, 35.
- Liu X, Guo L, Yu H and Li P. 2012. Mineral composition of fresh and cured jellyfish. *Food Anal Methods* 5, 301-305. <http://dx.doi.org/10.1007/s12161-011-9241-1>.
- Lowndes AG. 1942. Percentage of water in jellyfish. *Nature* 150, 234-235. <http://dx.doi.org/10.1038/150234b0>.
- Lynam CP, Heath MR, Hay SJ and Brierley AS. 2005. Evidence for impacts by jellyfish on North Sea herring recruitment. *Mar Ecol Prog Ser* 298, 157-167. <http://10.3354/meps298157>.
- Masuda A, Baba T, Dohmae N, Yamamura M, Wada H and Ushida K. 2007. Mucin (qniiumucin), a glycoprotein from jellyfish, and determination of its main chain structure. *J Nat Prod* 70, 1089-1092. <http://dx.doi.org/10.1021/np060341b>.
- MLTMA (Ministry of Land Transport and Maritime Affairs). 2009. Study report of preventing jellyfish damage. Report of Ministry of Land Transport and Maritime Affairs, Sejong, Korea, 16-32.
- Miura S and Kimura S. 1985. Jellyfish mesogloea collagen. *J Biologic Chem* 260, 15352-15356.
- Moon HS, Kim YK, Lee MH, Yoon NY, Lee DS, Yoon HD, Seo JK and Park NG. 2011. Isolation and purification of an antimicrobial material from the jellyfish *Nemopilema nomurai*. *Kor J Fish Aquat Sci* 44, 478-483. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2011.0478>.
- Morikawa T. 1984. Jellyfish. *Infofish Marketing Digest* 1, 37-39.
- Morinaga Y, Iwai K, Tomita H, Takaya Y, Naraoka T and Matsue H. 2010. Chemical nature of a new antihypertensive peptide derived from jellyfish. *Food Sci Technol Res* 16, 333-340. <http://dx.doi.org/10.3136/fstr.16.333>.
- Morishige H, Sugahara T, Nishimoto S, Muranaka A, Ohno F, Shiraishi R and Doi M. 2011. Immunostimulatory effects of collagen from jellyfish in vivo. *Cytotechnology* 63, 481-492. <http://dx.doi.org/10.1007/s10616-011-9371-8>.
- Nagai T, Ogawa T, Nakamura T, Ito T, Nakagawa H, Hujiki K, Nakao M and Yano T. 1999. Collagen of edible jellyfish exumbrella. *J Sci Food Agric* 79, 855-858. [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(19990501\)79:63.0.CO;2-N](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(19990501)79:63.0.CO;2-N).
- Nagai T, Worawattanamateekul W, Suzuki N, Nakamura T, Ito T, Fujiki K, Nakao M and Yano T. 2000. Isolation and characterization of collagen from rhizostomous jellyfish (*Rhopilema asamushi*). *Food Chem* 70, 205-208. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00081-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00081-9).

- NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute). 2013. Study on the causes and countermeasure against jellyfish bloom. Report of National Fisheries Research & Development Institute. NFRDI, TR-2012-ME-008, Busan, Korea, 142.
- Niwa H, Inouye S, Hirano T, Matsuno T, Kujima S, Kubota M, Ohashi M and Tsuji FI. 1996. Chemical natures of the light emitter of the *Aequorea* green fluorescent protein. Proc Natl Acad Sci 93, 13617-13622.
- Nordwig A, Nowack H and Hieber-rogall E. 1973. Sea anemone collagen: Further evidence for the existence of only one  $\alpha$ -chain type. J Molecular Evolution 2, 175-180. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01653997>.
- Omori M. 1981. Edible jellyfish (*Scyphomedusae: Rhizostomeae*) in the far East Waters: A brief review of the biology and fishery. Bull Plankton Soc Japan 28, 1-11.
- Omori M and Nakano E. 2001. Jellyfish fisheries in south-east Asia. Hydrobiologia 451, 19-26. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1011879821323>.
- Ozer NP. 1994. Comparisons of handling and processing methods of jellyfish *Rhizostoma pulmo* (Macri, 1778). PhD Thesis. University of Karadeniz Teknik, Trabzon, Turkey.
- Palmieri MG, Barausse A, Luisetti T and Turner K. 2014. Jellyfish blooms in the Northern Adriatic Sea: Fishermen's perceptions and economic impacts on fisheries. Fisheries Research 155, 51-58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2014.02.021>.
- Park CH, Lee JH, Kang KT, Park JW and Kim JS. 2007. Characterization of acid-soluble collagen from Alaska pollock surimi processing by-products (refiner discharge). Food Sci Biotechnol 16, 549-556.
- Parsons TR and Lalli CM. 2002. Jellyfish population explosions: revisiting a hypothesis of possible causes. La Mer 40, 111-121.
- Purcell JE, Uye SI and Lo WT. 2007. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for human: a review. Mar Ecol Prog Ser 350, 153-175. <http://dx.doi.org/10.3354/meps07093>.
- Putra ABN, Morishige H, Nishimoto S, Nishi K, Shiraishi R, Doi M and Sugahara T. 2012. Effect of collagens from jellyfish and bovine Achilles tendon on the activity of J774.1 and mouse peritoneal macrophage cells. J Functional Foods 4, 504-512. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2012.02.011>.
- Putra ABN, Nishi K, Shiraishi R, Doi M and Sugahara T. 2014. Jellyfish collagens stimulates production of TNF- $\alpha$  and IL-6 by J774.1 cells through activation of NF- $\kappa$ B and JNK via TLR4 signaling pathway. Mole Immunol 58, 32-37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molimm.2013.11.003>.
- Richardson AJ, Bakun A, Hays GC and Gibbons MJ. 2009. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. Trends Ecol Evol 24, 312-322. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2009.01.010>.
- Schneider G and Behrends G. 1998. Top - down control in a neritic plankton system by *Aurelia aurita* medusae-a summary. Ophelia 48, 71-82. <http://dx.doi.org/10.1080/00785236.1998.10428677>.
- Sloan NA and Gunn CR. 1985. Fishing, processing and marketing of the jellyfish, (*Aurelia aurita* L.), from southern British Columbia, Canadian Industry. Report of Fisheries and Aquatic Science 157, 1-28.
- Striker P, Benjakul S, Visessanguan W and Kijroongrojana K. 2007. Comparative studies on chemical composition and thermal properties of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) meats. Food Chem 103, 1199-1207. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.039>.
- Tang L, Zhang B, Zhang W and Jiang R. 2008. A class II type collagen extracted from *Cyanea nozaki* Kishinouye for treating arthritis, commonly known as jellyfish, refers to fishery products of *Cyanea nozaki* Kishinouye, China patent: CN101200497-A.
- Tibballs J, Yanagihara AA, Turner HC and Winkel K. 2011. Immunological and toxinological responses to jellyfish stings. NIH Public Access 10, 438-446.
- The Korean Nutrition Society. 2000. Recommended Dietary Allowances for Koreans (7th ed.), Chungang Publishing Co., Seoul, Korea, 43-56, 157-218.
- Uye S and Shimauchi H. 2005. Population biomass, feeding, respiration and growth rates, and carbon budget of the scyphomedusa *Aurelia aurita* in the Inland Sea of Japan. J Plankton Research 27, 237-248.
- Verity PG and Smetacek V. 1996. Organism life cycle, predation, and the structure of marine pelagic ecosystems. Mar Ecol Prog Ser 130, 277-293. <http://dx.doi.org/10.3354/meps130277>.
- Yasuda T. 2004. Massive blooms of the giant medusa *Nemopilema nomurai* Kishinouye in Japanese waters from late summer to winter in 2002 (Note). Bull Plank Soc Japan 51, 34-37.
- Yoon EA. 2013. Acoustic characteristics of jellyfish (Scyphozoa) appeared in the Korean Peninsula. MSci thesis. Chungnam National University, Yeosu, Korea.
- Yoon EA, Cha CP, Hwang DJ, Yoon YH, Shin HH, Gwak DS. 2012. Inter-annual occurrence variation of the large jellyfish *Nemopilema nomurai* due to the changing marine environment in the East China Sea. J Kor Fish Tech 48, 242-255.
- Yoon HD, Kim YK, Lim CW, Yeun SM, Lee MH, Moon HS, Yoon NY, Park HY and Lee DS. 2011. ACE-inhibitory properties of proteolytic hydrolysates from giant jellyfish *Nemopilema nomurai*. Fish Aquat Sci 14, 174-178. <http://dx.doi.org/10.5657/FAS.2011.0174>.
- Yoshimoto CM and Yanagihara AA. 2002. Cnidarian (coelenterate) envenomations in Hawai'i improve following heat application. Transactions Royal Soc Tropical Med Hyg 96,

- 300-303. [http://dx.doi.org/10.1016/S0035-9203\(02\)90105-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0035-9203(02)90105-7).
- Yoshimura M, Takahashi H and Nakanishi T. 1991. Role of sodium, potassium, calcium, magnesium on blood pressure regulation and antihypertensive dietary therapy. *Japan J Nutr* 49, 53-62.
- Yu H, Li R, Liu S, Xing R, Chen X and Li P. 2014. Amino acid composition and nutritional quality of gonad from jellyfish *Rhopilema esculenta*. *Biomedicine Preventive Nutrition*. in press. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bionut.2014.04.0007>.
- Zhang HL, Cui SH, Zha XQ, Bansal V, Xue L, Li XL, Hao R, Pan LH and Luo JP. 2014a. Jellyfish skin polysaccharides: extraction and inhibitory activity on macrophage-derived foam cell formation. *Carbohydrate Polymer* 106, 393-402. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01041>.
- Zhang J, Duan R, Huang L, Song Y and Regenstein JM. 2014b. Characterisation of acid-soluble and pepsin-solubilised collagen from jellyfish (*Cyanea nozakii* Kishinouye). *Food Chem* 150, 22-26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.116>.
- Zhuang Y, Hou H, Zhao X, Zhang Z and Li B. 2009a. Effects of collagen and collagen hydrolysate from jellyfish (*Rhopilema esculenta*) on mice skin photoaging induced by UV irradiation. *J Food Sci* 74, H183-H188. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01236.x>.
- Zhuang Y, Sun L and Li B. 2012a. Production of angiotensin- I - converting enzyme (ACE)-inhibitory peptide from hydrolysates of jellyfish (*Rhopilema esculenta*) collagen. *Food Bioprocess Technol* 5, 1622-1629. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-010-0439-9>.
- Zhuang Y, Sun L, Zhang Y and Liu G. 2012b. Antihypertensive effect of long-term oral administration of jellyfish (*Rhopilema esculenta*) collagen peptides on renovascular hypertension. *Mar Drugs* 10, 417-426. <http://dx.doi.org/10.3390/md10020417>.
- Zhuang Y, Sun L, Zhao X, Wang J, Hou H and Li Bafang. 2009b. Antioxidant and melanogenesis-inhibitory activities of collagen peptide from jellyfish (*Rhopilema esculenta*). *J Sci Food Agric* 89, 1722-1727. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.3645>.