

# 대서양연어(*Salmo salar*)에서 분리한 *Aeromonas salmonicida* subsp. *masoucida*와 *salmonicida*의 특성 분석

김동휘 · 변현지\* · 이승훈\* · 우수지\*\* · 박정준\*\*\* · 주민수†  
국립수산과학원 (박사후인턴 · \*연구원 · \*\*†연구사 · \*\*\*연구관)

## Analysis of the Characteristics of *Aeromonas salmonicida* Subsp. *Masoucida* and *Salmonicida* Strain Isolated from Atlantic Salmon (*Salmo salar*)

Dong-Hwi KIM · Hyun-Ji BYUN\* · Seung-Hun LEE\* · Soo-Ji WOO\*\* · Jung Jun PARK\*\*\* · Min-Soo JOO†

National Institute of Fisheries Science

(postdoctoral intern · \*junior researcher · \*\*†researcher · \*\*\*senior researcher)

### Abstract

A total of 21 strains of *Aeromonas salmonicida* subspecies were isolated from Atlantic salmon. Identification using the *vapA* gene revealed that 11 strains were *A. salmonicida* subsp. *masoucida* while 10 strains were *A. salmonicida* subsp. *salmonicida*. All 21 strains were facultative anaerobes and tested positive for oxidase activity, casein hydrolysis, and hemolysis. Although variations were observed among the strains in API 20E and 20NE test results, all strains were positive for indole production, acetoin production, gelatinase, and nitrate reduction. Additionally, API ZYM test results indicated enzymatic activity for alkaline phosphatase, esterase, esterase lipase, and leucine arylamidase in all strains. The 11 strains of *A. salmonicida* subsp. *masoucida* were susceptible to trimethoprim/sulfadiazine, neomycin, and florfenicol among 19 aquaculture antibiotics tested. In contrast, the 10 strains of *A. salmonicida* subsp. *salmonicida* were susceptible to enrofloxacin, ampicillin, ceftiofur, trimethoprim/sulfadiazine, oxolinic acid, ciprofloxacin, neomycin, gentamicin, and florfenicol. These findings provide a foundation for the development of novel preventive and therapeutic measures for bacterial diseases and establishment of effective disease control strategies, thereby contributing to the sustainable growth of the Atlantic salmon aquaculture industry in Korea.

**Key words** : *Aeromonas salmonicida*, Antibiotic, Atlantic salmon, Biochemical characteristics, *VapA*

### I. 서론

대서양연어(*Salmo salar*)는 세계적으로 가장 인기 있는 양식 어종이며, 다양한 양식장 환경에 유연하게 적응하여, 빠르게 성장하기 때문에 상업적으로 시장가치가 높다(Heen et al., 1993;

Hvas et al., 2021). 이러한 이유로 전 세계 대서양 연어의 양식 생산량은 2000년에 90만 톤에서 2022년에 287만 톤까지 크게 증가하였다(FAO, 2024). 하지만, 대서양연어는 우리나라에 서식하지 않고, 양식 또한 이루어지고 있지 않아 전량 수입에 의존하고 있으며, 수입량은 2016년 27,537

† Corresponding author : 033-660-8607, joomsoo@korea.kr

※이 연구는 국립수산과학원 연어류 예방양식연구(R2024062)의 지원에 의해 진행되었습니다.

톤에서 2023년 43,566톤으로 크게 증가하였다 (OMRC, 2024).

현재 전 세계적으로 대서양연어 양식 기술 개발을 위한 다양한 연구가 수행 중이며, 특히 질병을 극복하기 위한 많은 연구가 보고되고 있다. 하지만 국내 환경에서 대서양연어를 사육할 경우 발생하는 질병의 특성에 관한 연구는 미비한 실정이다. 대서양연어에 주로 발생하는 바이러스성 질병은 전염성연어빈혈증(Infectious salmon anaemia virus, ISA), 연어알파바이러스(Salmon alphavirus, SAV), 전염성조혈기괴사증(Infectious haematopoietic necrosis virus, IHNV), 전염성췌장기괴사증(Infectious pancreas necrosis virus, IPNV) 등이 있으며, 세균성 질병은 피시리케치아증(*Piscirickettsia salmonis*), 냉수성비브리오증(*Aliivibrio salmonicida*), 질창병(*Aeromonas salmonicida*), 세균성 신장병(*Renibacterium salmoninarum*) 등이 있고, 아가미 아메바증(*Neoparamoeba perurans*)과 같은 기생충성 질병, 물곰팡이(*Saprolegnia parasitica*)와 같은 진균성 질병이 있다(Cipriano and Miller, 2003; Cvitanich et al., 1991; Deveney and Scott, 2008; Godoy et al., 2008; Graham et al., 2012; Jee et al., 2007; Nelson et al., 1995; Pettersen et al., 2015; Woo et al., 2022).

다양한 세균성 질병 중에서 *Aeromonas salmonicida*는 19세기 말 독일의 브라운 송어(*Salmo trutta*)에서 처음 보고되었으며, 현재까지 전 세계 양식산업에서 가장 문제가 되는 어류 세균성 질병 중 하나이다(Emmerich and Weibel, 1994; Fajardo et al., 2023; Librán-Pérez et al., 2018; Magariños et al., 2011). *A. salmonicida*는 Proteobacteria문,  $\gamma$ -Proteobacteria강, Aeromonadales 목, Aeromonadaceae과에 속하며, 비운동성 그람음성균으로 알려졌다(Austin and Austin, 2016; Colwell et al., 1986; Figueras, 2005; Zdanowicz et al., 2020). *A. salmonicida*는 출혈성 및 궤양성 질병을 일으키는 질창병의 원인균으로써, 주로 연어과 어류인 대서양연어(*Salmo salar*), 무지개송어

(*Oncorhynchus mykiss*)등을 감염시켜 높은 폐사율을 유발한다(Austin and Austin, 2012; Gulla et al., 2019; Yan et al., 2021).

염기서열의 상동성이 높은 *A. salmonicida*의 아종을 동정하기 위해서는 일반적으로 사용하는 16S rRNA 유전자보다는 *vapA* (A-layer) 유전자를 사용하여 정형과 비정형 균주를 구별한다(Bakiyev et al., 2023; Gulla et al., 2016; Martínez-Murcia, 1999). 또한, 이전 연구에 따르면 생화학적 특성 중에서 indole 생산, esculin 분해, glucose 발효, acetoin 생산 반응 등을 통해 *A. salmonicida*의 정형과 비정형 균주를 구별하면 유용하다고 하였다(Dalsgaard et al., 1998; Wiklund and Dalsgaard, 1998).

*A. salmonicida*는 *salmonicida*, *masoucida*, *acromogenes*, *pectinolytica*, *smithia*의 5개 아종을 가지고 있으며, 생화학적 특징, 표현형 또는 형태학적 특징에 따라 정형, 비정형으로 나뉜다(Austin et al., 1989; Hirvelä and PerttuJisju, 1994; Pradhan et al., 2023). 연어류에서 가장 많이 발견되는 *A. salmonicida* subsp. *salmonicida*는 정형으로 구분되고(Daher et al., 2011; Wang et al., 2020), 패혈증과 급성 폐사를 일으키기도 하며, 만성 형태로 근육조직에 종기가 발현되는 종기증(furunculosis)의 원인균으로 알려져 있다(Austin and Austin, 2012; Daher et al., 2011; Pradhan et al., 2023; Reith et al., 2008; Wang et al., 2020). 비정형인 *A. salmonicida* subsp. *masoucida*, *acromogenes*, *pectinolytica*, *smithia*는 연어류 이외에도 조피볼락(*Sebastes schlegeli*), 붕어(*Carassius carassius*), 강도다리(*Platichthys stellatus*)등 다른 어류도 감염을 일으킨다(Bjarnheidur and Bryndis, 2017; Han et al., 2011; Han et al., 2017). 주요 증상으로는 피부 변색부터 체표 궤양, 근육 괴사 등 다양하게 일어나며, 발병 기전은 정확하게 알려지지 않았다(Noga, 2010; Wang et al., 2020). 세계적으로 대서양연어의 세균성 질병 중에서 가장 큰 피해를 주는 *A. salmonicida* subsp. *salmonicida*

에 초점을 맞춰 연구가 진행되었지만, 최근에는 *A. salmonicida* subsp. *masoucida*로 인한 경제적 피해를 보는 사례가 늘어가고 있다(Du et al., 2015; Du et al., 2018). 국내의 경우 무지개송어, 대서양연어, 침연어, 은연어, 강도다리 등에서 *A. salmonicida* 아종으로 인한 폐사가 보고된 바 있다(Lim et al., 2017; Lim et al., 2023; Woo et al., 2022).

본 연구에서는 2023년부터 현재까지 강원지역에서 사육한 대서양연어의 질병 모니터링 수행 중 분리된 *Aeromonas salmonicida* 21균주의 생화학적 특성 및 수산용 항생제에 대한 내성을 분석하였으며, 이를 통해 국내 연어양식 산업발전에 필수적이라 할 수 있는 백신을 개발하기 위한 기초자료를 확보하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 세균 분리 및 배양

2023년과 2024년에 강원특별자치도에 위치한 사업소(2개소)에서 순환여과시스템으로 사육하는 대서양연어를 제공받아 세균 검사를 진행하였다. 총 67마리의 외부 임상증상을 보이는 대서양연어를 대상으로 질병 검사를 하였고, 그중 41마리(21.61±4.3 cm, 85.2±44.9g)는 13°C의 담수에서 사육 중이었고, 나머지 26마리(17.6±3.4 cm, 46±26.7g)는 스몰트화 진행 중으로 5 psu, 13°C에서 사육 중이었다. 세균성 질병을 확인하기 위해 임상 부위, 신장, 비장을 적출한 후 tryptic soy agar (TSA, Difco, Detroit, MI, USA)에 도말하여 20°C에서 24~48시간 배양하였다. 배양 후 순수

분리하여 세균의 갈색 색소 생성 유무를 확인한 후, DNA를 추출하여 PCR을 수행하였다. 또한 현미경 검경과 분자적 진단을 통해 기생충, 바이러스에 감염되지 않았음을 확인하였다.

### 2. 세균 동정

순수 분리한 세균은 Accuprep® Genomic DNA Extraction Kit (Bioneer, Seoul, Korea)를 이용하여 DNA를 추출하였다. 분리된 세균은 1차로 16S rRNA 유전자의 염기서열 분석을 통해 동정하였으며, 2차로 *vapA* 유전자의 염기서열 분석을 통해 아종을 동정하였다(<Table 1>). PCR을 위해 Accupower® PCR PreMix (Bioneer, Seoul, Korea)를 사용하였으며, forward primer와 reverse primer 각각 1 µL, RNase free water 17 µL, template 1 µL를 혼합하여 총 20 µL가 되도록 수행하였다. 16S rRNA 유전자를 증폭시키기 위한 PCR 조건은 94°C 5분; 94°C 30초, 53°C 30초, 72°C 1분을 40 cycle; 72°C 7분 반응하였다. *vapA* 유전자를 증폭시키기 위한 PCR 조건은 95°C 5분; 95°C 30초, 50°C 30초, 72°C 1분을 30 cycle; 72°C 7분 반응하였다. 증폭된 PCR product는 1.5% agarose gel에서 전기영동하여 밴드를 확인한 후, 시퀀싱을 통해 염기서열을 분석하였다. 분석된 염기서열은 NCBI의 BLAST를 이용하여 동정하였다.

### 3. 생화학적 특성 분석

생화학적 특성 분석을 위해 API 20NE kit, API 20E kit, API ZYM (BioMérieux, Marcy-l'Étoile, France)을 사용하였으며, 제조사의 protocol

<Table 1> PCR primer used in this study

Target	Primer	Sequence (5'-3')	Amplicon size	Reference
16S rRNA	27F	5'-GAGTTTGATCCTGGCTCAG-3'	1,465 bp	Lane 1991
	1492R	5'-GGTTACCTTGTTACGACTT-3'		
<i>vapA</i>	Forward	5'-TCAACGGATAGGTTCAACCC-3'	308 bp	Lund et al., 2003
	Reverse	5'-CAGAGTGAAATCTACCAGCGGTGC-3'		

에 따라 분석하였다. 또한, oxidase, catalase, casein hydrolysis, anaerobic, hemolysis를 통한 특성 분석을 추가로 진행하였다. Oxidase test는 멸균 disc paper에 배양된 균주를 도말하고 1% (w/v) N,N,N,N-tetramethyl-p-phenylenediamine dihydrochloride (Sigma-aldrich, Saint Louis, MO, USA)를 반응시켜 보라색 발색 유무를 확인하는 것으로 수행하였다. Catalase test는 slide glass에 배양된 균주를 도말하고 3% (v/v) hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Millipore, Burlington, MA, USA)를 반응시켜 기포 생성 유무를 확인하는 것으로 수행하였다. Casein hydrolysis를 확인하기 위해 TSA 배지에 Skim milk (MB cell, Seoul, Korea)를 2% 첨가한 배지를 제조하여 균주를 도말하고 20°C에서 48시간 배양한 후 casein 분해능을 관찰하였다. Anaerobic test는 균주를 도말한 TSA배지와 Anaeropack (MGC, Tokyo, Japan)을 Rectangular jar (MGC, Tokyo, Japan) 용기에 담아 혐기상태로 만든 후, 20°C에서 48시간 배양하여 관찰하는 것으로 수행하였다. 용혈능은 혈액배지(Blood agar base plate, MB cell, Seoul, Korea)에 균주를 도말하고 20°C에서 48시간 배양하여 확인하였다.

#### 4. 항생제 최소억제농도 측정

항생제 최소억제농도 측정을 위해 수산용 항생제를 농도별로 단계 희석한 제품인 KRAQ3, KRAQ4 (TREK Diagnostic System Ltd, East Grinstead, UK) 패널을 이용하였다(<Table 2>). 배양된 균주의 콜로니를 취하여 멸균 생리식염수에 현탁하고 0.5 McFarland로 맞춘다. 현탁액은 CAMHBT (cation adjusted Mueller-Hinton broth with TES, TREK Diagnostic System Ltd, East Grinstead, UK) broth에 5x10<sup>5</sup> CFU/mL가 되도록 희석하였다. 그 후 항생제 감수성 검사 패널에 희석된 균주액 100 μL를 접종한 후, 밀봉하여 28°C에서 24시간 배양한다(CLSI, 2020). 배양 후 Sensititre® Manual Viewer (Thermo Fisher

Scientific, Waltham, MA, USA)로 세균 증식이 억제된 항생제 농도를 최소억제농도(MIC, Minimum inhibition concentrations)로 판독하였다.

<Table 2> Antibiotic susceptibility testing panels (KRAQ3 and KRAQ4); antibiotic types and concentration ranges

Panel	Antibiotics	MIC (μg/mL)
KRAQ3	Amoxicillin (AMOX)	0.06-16
	Amoxicillin/clavulanic acid (AUG2)	0.06/0.03-8/4
	Ampicillin (AMP)	0.25-128
	Ceftiofur (XNL)	0.03-32
	Cephalexin (LEX)	0.25-64
	Clindamycin (CLI)	0.015-16
	Enrofloxacin (ENRO)	0.03-32
	Oxolinic acid (OXO)	0.5-32
	Tetracycline (TET)	0.06-64
	Trimethoprim/sulfadiazine (TBR)	0.12/2.38-16/304
KRAQ4	Ciprofloxacin (CIP)	0.015-64
	Doxycycline (DOX)	0.12-128
	Erythromycin (ERY)	0.03-64
	Florfenicol (FFN)	0.06-64
	Flumequine (FLUQ)	0.12-128
	Gentamicin (GEN)	0.12-32
	Nalidixic acid (NAL)	0.5-64
	Neomycin (NEO)	0.5-64
Oxytetracycline (OXY)	0.12-256	

### III. 연구 결과

#### 1. 분리 세균 동정

총 67마리의 대서양연어에서 분리된 세균을 16S rRNA 유전자로 동정한 결과, 21마리에서 *A. salmonicida*가 분리되었으며, 이들의 외부증상으로는 체색흑화, 안구탈락, 지느러미 발적·괴사·출혈, 다발성 체표 궤양 등이 관찰되었다. 분리된 *A.*

*salmonicida*를 *vapA* 유전자로 동정한 결과, *A. salmonicida* subsp. *masoucida* (ASM)는 11균주, *A. salmonicida* subsp. *salmonicida* (ASS)는 10균주가 분리되었다. TSA 배지에서 20°C, 48시간 배양하였을 때 ASS 균주들만 갈색 색소를 생성하는 것을 확인하였다(<Table 3>).

<Table 3> Results of the analysis of various biochemical properties of *Aeromonas salmonicida* subsp. *masoucida* and *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida*

Tests	ASM	ASS
Brown pigment	-(11/11)	+(10/10)
Hemolysis	+(11/11)	+(10/10)
Anaerobic	facultative anaerobe (11/11)	facultative anaerobe (10/10)
Oxidase	+(11/11)	+(10/10)
Catalase	+(11/11)	-(4/10), +(6/10)
Casein hydrolysis	+(11/11)	+(10/10)

## 2. 생화학적 특성

API 20NE, API 20E, API ZYM, oxidase, catalase, casein hydrolysis, anaerobic, hemolysis를 통한 생화학적 특성 분석 결과, ASM 11균주 모두 통성 혐기성세균으로, oxidase, catalase, casein hydrolysis와 hemolysis에 대하여 모두 양성반응을 보였다. ASS 10균주 모두 통성 혐기성세균으로, oxidase, casein hydrolysis와 hemolysis는 모두 양성반응을, catalase에 대해서는 일부 균주에서만 양성반응을 보였다(<Table 3>).

API 20E의 분석 결과, ASM은 indole, acetoin, gelatinase, mannitol fermentation, saccharose fermentation 항목에서 11균주 모두 양성으로 확인되었고, ASS는 acetoin, gelatinase, mannitol fermentation 항목을 제외하고 모두 음성으로 확인되었다(<Table 4>). API 20NE의 분석 결과, ASM은 NO<sub>3</sub>, indole, β-glucosidase, gelatin 항목에서 11균주 모두 양성으로 확인되었다. ASS는 NO<sub>3</sub>

항목만 양성으로 확인되었다(<Table 5>). API ZYM의 결과 표시는 색의 변화 정도에 따라 0~5까지 표시하지만, 본 연구에서는 + (positive reaction), - (negative reaction), w (weakly positive reaction)로 표시하였다. ASM은 alkaline phosphatase, esterase, esterase lipase, leucine arylamidase, β-glucosidase 항목에서 11균주 모두 효소 활성을 보였다. ASS는 alkaline phosphatase, esterase, esterase lipase, lipase, leucine arylamidase 항목에서 10균주 모두 효소 활성을 보였다(<Table 6>).

<Table 4> Biochemical properties analysis results of *Aeromonas salmonicida* subsp. *masoucida* and *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* (API 20E kit used)

API 20E	ASM	ASS
ONPG	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)
ADH	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)
LDC	-(11/11)	-(10/10)
ODC	-(11/11)	-(10/10)
CIT	-(11/11)	-(10/10)
H <sub>2</sub> S	-(11/11)	-(10/10)
URE	-(11/11)	-(10/10)
TDA	-(11/11)	-(10/10)
IND	+(11/11)	-(10/10)
VP	+(11/11)	-(6/10), +(4/10)
GEL	+(11/11)	-(5/10), +(5/10)
GLU	-(7/11), +(4/11)	-(7/10), +(3/10)
MAN	+(11/11)	-(10/10)
INO	-(11/11)	-(10/10)
SOR	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)
RHA	-(11/11)	-(10/10)
SAC	+(11/11)	-(10/10)
MEL	-(11/11)	-(10/10)
AMY	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)
ARA	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)

OPNG, 2-nitrophenyl-β-D-galactopyranoside; ADH, L-arginine; LDC, L-lysine; ODC, L-ornithine; CIT, trisodium citrate; H<sub>2</sub>S, sodium thiosulfate; URE, urea; TDA, L-tryptophane; IND, L-tryptophane; VP, sodium pyruvate; GEL, gelatin; GLU, D-glucose; MAN, D-mannitol; INO, inositol; SOR, D-sorbitol; RHA, L-rhamnose; SAC, D-sucrose; MEL, D-melibiose; AMY, amygdalin; ARA, L-arabinose; +, positive reaction; -, negative reaction.

<Table 5> Biochemical properties analysis results of *Aeromonas salmonicida* subsp. *masoucida* and *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* (API 20NE kit used)

API 20NE	ASM	ASS
NO <sub>3</sub>	+(11/11)	+(10/10)
TRP	+(11/11)	-(10/10)
GLU	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)
ADH	-(11/11)	-(10/10)
URE	-(11/11)	-(10/10)
ESC	+(11/11)	-(10/10)
GEL	+(11/11)	-(10/10)
PNPG	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)
GLU	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)
ARA	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)
MNE	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)
MAN	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)
NAG	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)
MAL	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)
GNT	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)
CAP	-(10/11), +(1/11)	-(10/10)
ADI	-(11/11)	-(10/10)
MLT	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)
CIT	-(9/11), +(2/11)	-(10/10)
PAC	-(11/11)	-(10/10)

NO<sub>3</sub>, potassium nitrate; TRP, L-tryptophane; GLU, D-glucose; ADH, L-arginine; URE, urea; ESC, esculin ferric citrate; GEL, gelatin; PNPG, 4-nitrophenyl-β-D-galactopyranoside; GLU, D-glucose; ARA, L-arabinose; MNE, D-mannose; MAN, D-mannitol; NAG, N-acetyl-glucosamine; MAL, D-maltose; GNT, potassium gluconate; CAP, capric acid; ADI, adipic acid; MLT, malic acid; CIT, trisodium citrate; PAC, phenylacetic acid; +, positive reaction; -, negative reaction.

### 3. 항생제 최소억제농도

ASM 11균주와 ASS 10균주를 대상으로 수산용 항생제 19종에 대한 최소억제농도를 측정하였다 (<Table 7, 8>). ASM 11균주 모두 clindamycin (16 μg/mL<), cephalixin (64 μg/mL<), amoxicillin (16 μg/mL<), ampicillin (128 μg/mL<), amoxicillin/ clavulanic acid (8 μg/mL<)에 대하여 내성을 가졌으며, trimethoprim/sulfadiazine (≤

<Table 6> Biochemical properties analysis results of *Aeromonas salmonicida* subsp. *masoucida* and *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* (API 20 ZYM kit used)

API ZYM	ASM	ASS
Alkaline phosphatase	+(11/11)	+(10/10)
Esterase (C4)	+(11/11)	+(10/10)
Esterase Lipase (C8)	+(11/11)	+(10/10)
Lipase (C14)	+(8/11), w(3/11)	+(10/10)
Leucine arylamidase	+(11/11)	+(10/10)
Valine arylamidase	+(7/11), w(4/11)	+(9/10), w(1/10)
Crystine arylamidase	+(3/11), w(8/11)	+(7/10), w(3/10)
Trypsin	+(3/11), w(8/11)	+(7/10), w(3/10)
α-chymotrypsin	-(9/11), +(2/11)	-(8/10), w(2/10)
Acid phosphatase	+(2/11), w(9/11)	+(5/10), w(5/10)
Naphtol-AS-BI-phosphohydrolase	+(7/11), w(4/11)	+(9/10), w(1/10)
α-galactosidase	-(11/11)	-(10/10)
β-glucuronidase	-(9/11), w(2/11)	-(10/10)
β-glucosidase	-(11/11)	-(10/10)
α-glucosidase	-(11/11)	-(10/10)
β-glucosidase	+(11/11)	-(4/10), +(4/10), w(2/10)
N-acetyl-β-glucosaminidase	-(9/11), +(2/11)	-(8/10), w(2/10)
α-mannosidase	-(11/11)	-(10/10)
α-fucosidase	-(11/11)	-(10/10)

+, positive reaction; -, negative reaction; w, weakly positive reaction.

0.12-0.25 μg/mL), neomycin (1-4 μg/mL), florfenicol (0.25-2 μg/mL)에 대하여 감수성을 가졌다. ASS 10균주 모두 clindamycin (8-16 μg/mL<), oxytetracycline (64-128 μg/mL<), doxycycline (16-32 μg/mL<), nalidixic acid (64 μg/mL<)에 대하여 내성을 가졌으며, enrofloxacin (≤0.03-0.12 μg/mL), ampicillin (≤0.25-2 μg/mL<), ceftiofur (0.06-0.5 μg/mL), trimethoprim/sulfadiazine (≤0.12-0.5 μg/mL), oxolinic acid (≤0.5-2 μg/mL), ciprofloxacin (0.06-0.25 μg/mL), neomycin (≤0.5-2 μg/mL),

<Table 7> Minimum inhibitory concentration (MIC) results for *Aeromonas salmonicida* subsp. *masoucida* and *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* using the KRAQ3 aquaculture antibiotic panel

	Antibiotics (KRAQ3)									
	TET	CLI	ENRO	LEX	AMOX	AMP	AUG	XNL	TBR	OXO
ASM-1	0.5	16<	≤0.03	64<	16<	128<	8<	0.25	≤0.12	1
ASM-2	0.25	16<	≤0.03	64<	16<	128<	8<	1	≤0.12	≤0.5
ASM-3	32	16<	1	64<	16<	128<	8<	1	0.25	4
ASM-4	32	16<	1	64<	16<	128<	8<	1	0.25	8
ASM-5	0.5	16<	≤0.03	64<	16<	128<	8<	0.25	≤0.12	≤0.5
ASM-6	0.25	16<	0.25	64<	16<	128<	8<	0.5	≤0.12	4
ASM-7	0.25	16<	0.25	64<	16<	128<	8<	0.25	0.25	2
ASM-8	0.25	16<	0.25	64<	16<	128<	8<	0.25	≤0.12	2
ASM-9	0.25	16<	0.25	64<	16<	128<	8<	0.12	≤0.12	2
ASM-10	0.25	16<	0.25	64<	16<	128<	8<	0.5	≤0.12	2
ASM-11	0.25	16<	0.25	64<	16<	128<	8<	0.25	≤0.12	2
ASS-1	64	16<	0.06	2	0.5	1	0.25	0.25	0.25	1
ASS-2	64	16<	≤0.03	4	0.25	0.5	0.12	0.12	0.25	1
ASS-3	64	16<	0.06	8	0.25	0.5	0.25	0.25	0.25	≤0.5
ASS-4	32	16<	≤0.03	8	0.12	≤0.25	0.25	0.12	0.25	1
ASS-5	64	16<	≤0.03	8	0.25	1	0.12	0.25	0.25	1
ASS-6	64	16<	≤0.03	0.5	0.25	≤0.25	0.5	0.25	0.25	≤0.5
ASS-7	32	16<	0.06	8	0.25	≤0.25	0.25	0.06	0.25	≤0.5
ASS-8	64	8	0.12	16	1	2	1	0.5	0.5	2
ASS-9	64	16<	≤0.03	2	0.25	≤0.25	0.25	0.06	0.25	2
ASS-10	16	16<	0.06	4	0.25	0.5	0.5	0.12	≤0.12	2

TET, tetracycline; CLI, clindamycin; ENRO, enrofloxacin; LEX, cephalexin; AMOX, amoxicillin; AMP, ampicillin; AUG2, amoxicillin/clavulanic acid 2:1 ratio; XNL, ceftiofur; TBR, trimethoprim/sulfadiazine; OXO, oxolinic acid.

<Table 8> Minimum inhibitory concentration (MIC) results for *Aeromonas salmonicida* subsp. *masoucida* and *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* using the KRAQ4 aquaculture antibiotic panel

	Antibiotics (KRAQ4)								
	ERY	OXY	DOX	CIP	NEO	NAL	GEN	FFN	FLUQ
ASM-1	4	0.25	0.5	0.03	1	≤0.5	0.5	0.5	≤0.12
ASM-2	8	0.25	0.25	≤0.015	2	≤0.5	2	0.5	≤0.12
ASM-3	64	64	8	1	2	64<	1	2	4
ASM-4	32	64	8	0.5	4	64<	4	2	8
ASM-5	4	0.25	0.25	≤0.015	1	≤0.5	0.5	0.5	≤0.12
ASM-6	4	0.25	0.25	0.25	1	64	0.5	0.25	4
ASM-7	4	0.25	0.25	0.25	1	64	0.5	0.5	2
ASM-8	4	0.5	0.5	0.25	1	64<	1	0.5	2
ASM-9	4	0.25	0.25	0.25	2	64	0.5	0.25	2
ASM-10	4	0.25	0.25	0.25	2	64	0.5	0.5	2
ASM-11	8	0.25	0.5	0.5	1	64<	1	0.5	2
ASS-1	4	64	16	0.06	≤0.5	64<	≤0.12	1	1
ASS-2	2	128	16	0.06	≤0.5	64<	0.25	1	1
ASS-3	4	64	16	0.06	0.5	64<	0.25	2	2
ASS-4	4	64	32	0.12	2	64<	≤0.12	1	4
ASS-5	4	128	16	0.06	2	64<	0.5	1	32
ASS-6	16	16	16	0.12	≤0.5	64<	≤0.12	1	1
ASS-7	8	64	64	0.12	≤0.5	64<	≤0.12	1	8
ASS-8	8	128	32	0.25	1	64<	0.5	1	4
ASS-9	2	128	16	0.06	0.5	64<	0.25	1	2
ASS-10	4	128	16	0.06	≤0.5	64<	≤0.12	1	4

ERY, erythromycin; OXY, oxytetracycline; DOX, doxycycline; CIP, ciprofloxacin; NEO, neomycin; NAL, nalidixic acid; GEN, gentamicin; FFN, florfenicol; FLUQ, flumequine.



gentamicin ( $\leq 0.12-0.5 \mu\text{g/mL}$ ), florfenicol ( $1-2 \mu\text{g/mL}$ )에 대하여 감수성을 가졌다.

#### IV. 결론

현재 전 세계적으로 양식 어류의 질병을 치료하는 방법으로 항생제를 사용하고 있지만, 항생제에 대한 세균의 내성이 빠르게 발달하고 있는 동시에 어체내에 항생제 축적 문제로 인해 항생제 사용이 매우 제한적이다(Coscelli et al., 2015; Dallaire-Dufersne et al., 2014; Fajardo et al., 2023; Vega-Sánchez et al., 2014). 항생제를 대신하여 세균을 통제하기 위해 백신, probiotics, prebiotics, 면역증강제가 포함된 사료첨가제, 선택적 육종 등 다양한 방법이 연구되었다(Cipriano et al., 2002; Menanteau-Ledouble et al., 2016; Ødegård et al., 2007; Villumsen et al., 2015). 현재 전 세계적으로 다양한 연어류 예방 백신이 상용화되었으며, 백신 사용으로 인해 세균성 질병 억제 및 항생제로 인한 문제가 해결된 바 있다(Bustos et al., 2023; Mondal H and Thomas John, 2022; Piotrowska M and Popowska, 2014). 이에 따라 국내 환경에 맞는 백신을 상용화하기 위해 다양한 병원체 분리과 특성 분석이 필요하다.

ASM이 분리된 대서양연어는 체색흑화, 안구탈락, 배지느러미 발적의 외부증상이 관찰되었다. ASS가 분리된 대서양연어는 꼬리·가슴·복부지느러미 출혈·괴사, 복부 출혈, 체표 궤양, 다발성 체표 궤양의 외부증상이 관찰되었다(data not shown). 이러한 결과로 볼 때, ASM보다 ASS에서 다양한 외부증상이 관찰되었으며, ASM에서는 체표 궤양이 발견되지 않았다.

Al-Mokaddem et al.(2022) 에 따르면 배양학적 특성에서 *A. salmonicida*의 정형과 비정형의 가장 큰 차이가 갈색 색소의 형성 유무라고 하였다. 본 연구에서도 분리된 균주 중에서 ASS만 갈색 색소를 형성하였다(Table 3). 하지만 Lian et al.

(2020)는 노르웨이의 대서양연어와 중국의 양식 붕어에서 분리된 ASS에서 갈색 색소를 형성하지 않는다고 하였다. 하지만 본 연구에서는 아종에 따라 갈색 색소의 형성이 확연히 구분되었으며, 이러한 결과로 *A. salmonicida*의 아종을 분리하는 지역, 어종, 환경 등에 따라 특성이 다른 것으로 사료된다.

기존의 연구에 따르면 비정형 *A. salmonicida*는 esculin을 가수분해한다고 보고되었지만(Godoy et al., 2010; Koski et al., 1994), Dalsgaard et al.(1998)은 대부분의 비정형 *A. salmonicida*는 esculin을 가수분해하지 않는다고 보고하였다. 본 연구에서는 esculin을 가수분해하였고(<Table 5>), glucose의 발효는 일부 균주에서 양성을 보였다. API ZYM의 결과 두 균주 모두  $\alpha$ -galactosidase,  $\beta$ -glucosidase,  $\alpha$ -glucosidase,  $\alpha$ -mannosidase,  $\alpha$ -fucosidase에서만 효소 활성이 없었다. 그에 반해 alkaline phosphatase, esterase, esterase lipase, leucine arylamidase에서 두 균주 모두 효소 활성이 있었다.

Han et al.(2011)에 따르면 같은 균주여도 분리원이 다르면 생화학적 특성이 다르다고 설명하였으며, 생화학적 특성의 결과만으로는 정확한 균주 동정이 어렵다고 하였다. 본 연구에 사용된 균주 또한 같은 종의 균주임에도 분리된 장소, 시기에 따라 생화학적 특성이 다른 것을 확인하였다. 그러므로 분리된 균주의 특성을 파악하기 위해서는 다양한 생화학적 특성 분석이 필요하다고 생각된다.

육상 동물, 인간에게 질병을 일으키는 세균성 질병에 대한 항생제의 감수성과 내성을 판단할 수 있는 기준에 관한 연구가 많이 이루어졌지만, 어류 질병세균에 관한 항생제 내성 기준이나 판단에 대한 정확한 기준이 모호한 실정이다(Kim et al., 2020). Kim et al.(2020)에 따르면 국제 프로토콜인 CLSI (clinical and laboratory standards institute) 가이드라인 중에서 어류 질병세균용으로 마련된 국제표준 방법인 VET03/VER04-S2에조차

*A. salmonicida*만 항생제에 대한 해석기준이 작성되어 있다고 한다(CLSI, 2014). 이러한 이유로 다양한 어류 질병세균에 대한 특성 및 항생제 관련 연구가 필요하다. 본 연구에서는 ASM은 penicillin계 항생제에 내성을 많이 가졌고, ASS는 tetracycline계 항생제에 내성을 많이 가졌다 (<Table 7, 8>). McIntosh et al.(2008)은 *A. salmonicida* 아종이 항생제에 대하여 내성을 가지는 일은 흔하며, 이는 항생제 내성 유전자를 운반하는 플라스미드에 의한 것이라고 설명하였다. *A. salmonicida* 아종이 tetracycline계 항생제에 대한 내성 연구와 감수성 연구가 보고되었지만 (Fernández-Álvarez et al., 2016; Pradhan et al., 2023), 다양한 수산용 항생제에 대한 연구는 미비하다. 이러한 이유로 세균의 치료를 위해 백신과 천연물을 이용한 치료제에 대한 연구가 필요하다.

현재 국내 대서양연어 양식 기술 개발이 진행되고 있는 가운데, 이번 연구는 대서양연어에서 분리한 *A. salmonicida* subsp. *masoucida*와 *salmonicida*에 대하여 생화학적 특성과 수산용 항생제에 대한 내성 분석을 진행함으로써, 백신 개발에 기초가 되는 자료를 확보하였다. 추후 국내 맞춤형 백신 개발을 위해 추가적인 병원체 수집과 특성 분석이 수행되어야 할 것으로 생각된다.

## References

- Al-Mokaddem AK, Abdel-moneam DA, Ibrahim RA, Saleh M and Shaalan M(2022). Molecular identification, histopathological analysis and immunohistochemical characterization of non-pigmented *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* in *Mugil carinatus* (Valenciennes, 1836). *Aquac Rep*, 24, 101103.  
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101103>
- Austin B and Austin DA(2012). *Aeromonas* representative (*Aeromonas salmonicida*). In: Bacterial fish pathogens: Disease of farmed and wild fish. Austin B and Austin DA, 5th ed. Springer International publishing, London, UK, 147~228.
- Austin B and Austin DA(2016). *Aeromonadaceae* representative (*Aeromonas salmonicida*). In: Bacterial fish pathogens: Disease of farmed and wild fish. Austin B and Austin DA, 6th ed. Springer International publishing, New York, NY, USA, 732.
- Austin DA, McIntosh D and Austin B(1989). Taxonomy of fish associated *Aeromonas* spp., with the description of *Aeromonas salmonicida* subsp. *smithia* subsp. nov. *Syst Appl Microbiol*, 11(3), 277~290.  
[https://doi.org/10.1016/S0723-2020\(89\)](https://doi.org/10.1016/S0723-2020(89))
- Bakiyev S, Smekenov I, Zharkova I, Kobegenova S, Sergaliyev N, Abstirov G and Bissenbaev A(2023). Characterization of atypical pathogenic *Aeromonas salmonicida* isolated from a diseased Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). *Heliyon*, 9(7), e17775.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17775>
- Bjarnheidur KG and Bryndis B(2017). *Aeromonas salmonicida* and *A. hydrophila*. In: Fish viruses and bacteria: Pathobiology and protection. Woo PT and Cipriano RC, ed. CABI, Wallingford, UK, 173~189.
- Bustos P, Figueroa C, Cádiz B, Santander T, Dixon B, Gallardo JA and Conejeros P(2023). Immune response induced by coinfection of the sea louse *Caligus rogercresseyi* and the intracellular bacteria *Piscirickettsia salmonis* in vaccinated Atlantic salmon. *J Fish Dis*, 46(12), 1337~1342.  
<https://doi.org/10.1111/jfd.13851>
- Cipriano RC, Marchant D, Jones TE and Schachte JH(2002). Practical application of disease resistance: a brook trout fishery selected for resistance to furunculosis. *Aquaculture*, 206(1-2), 1~17.  
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00863-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00863-8)
- Cipriano RC and Miller O(2003). Infectious salmon anaemia: the current state of our knowledge. In: Proceedings of a symposium International response to infectious salmon anaemia: prevention, control and eradication. Cipriano RC and Miller O, eds. New Orleans, USA, 1~12.
- CLSI(Clinical and Laboratory Standards Institute) (2014). Performance standards for antimicrobial susceptibility testing of bacteria isolated from

- aquatic animals; Second informational supplement. CLSI document VET03/VET04-S2. CLSI, Wayne, PA, USA.
- Colwell RR, MacDonell MT and De Ley J(1986). Proposal to recognize the family Aeromonadaceae fam. nov. Int J Syst Evol Microbiol, 36(3), 473~477.  
<https://doi.org/10.1099/00207713-36-3-473>
- Coscelli GA, Bermúdez R, Losada AP, Santos Y and Quiroga MI(2015). Vaccination against *Aeromonas salmonicida* in turbot (*Scophthalmus maximus* L.): study of the efficacy, morphological changes and antigen distribution. Aquaculture, 445, 22~32.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.04.011>
- Cvitanich JD, Garate ON and Smith CE(1991). The isolation of a rickettsia like organism causing disease and mortality in Chilean salmonids and its confirmation by Koch's postulate. J Fish Dis, 14(2), 121~145.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1991.tb00584.x>
- Daher RK, Filion G, Tan SGE, Dallaire-Dufresne S, Paquet VE and Charette SJ(2011). Alteration of virulence factors and rearrangement of pAsa5 plasmid caused by the growth of *Aeromonas salmonicida* in stressful condition. Vet Microbiol, 152(3-4), 353~360.  
<https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2011.04.034>
- Dallaire-Dufresne S, Tanaka KH, Trudel MV, Lafaille A and Charette SJ. Virulence, genomic features, and plasticity of *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida*, the causative agent of fish furunculosis. Vet Microbiol, 169(1-2), 1~7.  
<https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2013.06.025>
- Dalsgaard I, Gudmundsdóttir BK, Helgason S, Hoie S, Thoresen OF, Wichardt UP and Wiklund T(1998). Identification of atypical *Aeromonas salmonicida*: inter-laboratory evaluation and harmonization of methods. J Appl Microbiol, 84(6), 999~1006.  
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.1998.00435.x>
- Deveney MR and Scott KJ(2008). Simulated aquatic animal disease outbreaks: a tool for improving responses to emergencies. Rev Sci Tech Off Int Epiz, 27(1), 147~159.
- Du Y, Liu P, Meng L, Sharawy Z and Liu Y(2018). Colonization of *Aeromonas salmonicida* subsp. *masoucida* strains in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) during infection. Aquac Res, 49(5), 1826~1833.  
<https://doi.org/10.1111/are.13637>
- Du Y, Yi M, Xiao P, Meng L, Li X, Sun G and Liu Y(2015). The impact of *Aeromonas salmonicida* infection on innate immune parameters of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Fish Shellfish Immunol, 44(1), 30~35.  
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.02.029>
- Emmerich R and Weibel E(1894). Ber Üeine durch Bakterien erzeugte Seuche unter den Forellen. Arch Hyg Bakteriol, 21, 1~21.
- Fajardo C, Santos P, Passos R, Vaz M, Azeredo R, Machado M, Fernández-Boo S, Baptista T and Costas B(2023). Early molecular immune responses of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) following infection with *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida*. Int J Mol Sci, 24(16), 12944.  
<https://doi.org/10.3390/ijms241612944>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)(2024). *Salmo salar* Linnaeus, 1758. In: Fisheries and aquaculture. Retrieved from June 11. 2024.  
<https://www.fao.org/fishery/en/aqspecies/2929/en>
- Fernández-Álvarez C, Gijón D, Álvarez M and Santos Y(2016). First isolation of *Aeromonas salmonicida* subspecies *salmonicida* from diseased sea bass, *Dicentrarchus labrax* (L.), cultured in Spain. Aquac Rep, 4, 36~41.  
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2016.05.006>
- Figueras MJ(2005). Clinical relevance of *Aeromonas*. Rev Med Microbiol, 16(4), 145~153.  
<https://doi.org/10.1097/10.1097/01.revmedmi.0000184410.98677.8a>
- Godoy M, Aedo A, Kibenge M, Groman D, Yason C, Grothusen H, Lisperguer A, Calbucura M, Avendano F, Imilan M, Jarpa M and Kibenge F(2008). First detection, isolation and molecular characterization of infectious salmon anaemia virus associated with clinical disease in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Chile. BMC Vet Res, 4, 1~13.  
<https://doi.org/10.1186/1746-6148-4-28>
- Godoy M, Gherardelli V, Heisinger A, Fernández J, Olmos P, Ovalle L, Ilardi P and Avendaño-Herrera R(2010). First description of atypical furunculosis

- in freshwater farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Chile. J Fish Dis, 33(5), 441~449.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2010.01142.x>
- Graham DA, Fringuelli E, Rowley HM, Cockerill D, Cox DI, Turnbull T, Rodger H, Morris D and McLoughlin MF(2012). Geographical distribution of salmonid alphavirus subtypes in marine farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Scotland and Ireland. J Fish Dis, 35(10), 755~765.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.212.01401.x>
- Gulla S, Bayliss S, Björnsdóttir B, Dalsgaard I, Haenen O, Jansson E, McCarthy U, Scholz F, Vercauteren M, Verner-Jeffreys D, Welch T, Wiklund T and Colquhoun DJ(2019). Biogeography of the fish pathogen *Aeromonas salmonicida* inferred by *vapA* genotyping. FEMS Microbiol Lett, 366(7), fnz074.  
<https://doi.org/10.1093/femsle/fnz074>
- Gulla S, Lund V, Kristoffersen AB, Sørum H and Colquhoun DJ(2016). *vapA* (A-layer) typing differentiates *Aeromonas salmonicida* subspecies and identifies a number of previously undescribed subtypes. J Fish Dis, 39(3), 329~342.  
<https://doi.org/10.1111/jfd.12367>
- Han HJ, Kim DY, Kim WS, Kim CS, Jung SJ, Oh MJ and Kim DH(2011). Atypical *Aeromonas salmonicida* infection in the black rockfish, *Sebastes schlegeli* Hilgendorf, in Korea. J Fish Dis, 34(1), 47-55.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2010.01217.x>
- Han Z, Sun J, Lv A, Sung Y, Shi H, Hu X and Xing K(2017). Isolation, identification and characterization of *Shewanella algae* from tongue sole, *Cynoglossus semilaevis* Günther. Aquaculture, 468(1), 356~362.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.10.038>
- Heen K, Monahan RL and Utter F(1993). Salmon Aquaculture. Fishing News Book. Wiley-Blackwell, Halstead Press, Oxford, UK, 10~58.
- Hirvelä-Koski V, Koski P and Niiranen H(1994). Biochemical properties and drug resistance of *Aeromonas salmonicida* in Finland. Dis Aquat Org, 20, 191-196.
- Hvas M, Folkedal O and Oppedal F(2021). Fish welfare in offshore salmon aquaculture. Rev Aquac, 13(2), 836~852.  
<https://doi.org/10.1111/raq.12501>
- Jee BY, Lee DC, Kim NY, Jung SH and Park SI(2007). Identification and chemotherapeutic effects of the fungi from three salmonid species and their eggs. J Fish Pathol, 20(2), 147-160.
- Kim YJ, Jun LJ, Kang MR, Lee DW, Woo SJ, Kim MS and Jeong JB(2020). Establishing of optimal culture conditions for MIC panels for MIC determination of fish bacterial pathogens. Korean J Fish Aquat Sci, 53(3), 443~450.  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0443>
- Lane DJ(1991). 16S/23S rRNA sequencing. In: Stackebrandt E. Nucleic acid techniques in bacterial systematics. Goodfellow M ed. Wiley, New York, USA, 115~175.
- Lian Z, Bai J, Hu X, Lü A, Sun J, Guo Y and Song Y(2020). Detection and characterization of *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* in crucian carp *Carassius auratus*. Vet Res Commun, 44, 61~72.  
<https://doi.org/10.1007/s11259-020-09773-0>
- Librán-Pérez M, Costa MM, Figueras A and Novoa B(2018).  $\beta$ -glucan administration induces metabolic changes and differential survival rates after bacterial or viral infection in turbot (*Scophthalmus maximus*). Fish Shellfish Immunol, 82, 173~182.  
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.08.005>
- Lim JW, Koo BH, Kim KI, Jeong HD and Hong SH(2017). Genetic identification of *Aeromonas* species using a housekeeping gene, *rpoD*, in culture salmonid dishes in Gangwon-Do. J Fish Pathol, 30(2), 79~88.  
<https://doi.org/10.7847/jfp.2017.30.2.079>
- Lim JW, Ko SJ, Park YJ, Ahn DI and Hong SH(2023). Characterization of typical *Aeromonas salmonicida* isolated from Sea-Chum salmon (*Oncorhynchus keta*). J Fish Pathol, 36(2), 263~275.  
<https://doi.org/10.7847/jfp.2023.36.2.263>
- Lund V, Espelid S and Mikkelsen H(2003). Vaccine efficacy in spotted wolffish *Anarhichas minor*: relationship to molecular variation in A-layer protein of atypical *Aeromonas salmonicida*. Dis Aquat Org, 56(1), 31~42.  
<https://doi.org/10.3354/dao056031>
- Magariños B, Devesa S, González A, Castro N and

- Toranzo AE(2011). Furunculosis in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) cultured in a recirculation system. *Vet Rec*, 168(16), 431.  
<https://doi.org/10.1136/vr.c6754>
- Martínez-Murcia AJ, Antón AI and Rodríguez-Valera F(1999). Patterns of sequence variation in two regions of the 16S rRNA multigene family of *Escherichia coli*. *Int J Syst Bacteriol*, 49(2), 601~61.  
<https://doi.org/10.1099/00207713-49-22-601>
- Mananteau-Ledouble S, Kumar G, Saleh M and El-Matbouli M(2016). *Aeromonas salmonicida*: updates on an old acquaintance. *Dis Aquat Org*, 120(1), 49~68.  
<https://doi.org/10.3354/dao03006>
- McIntosh D, Cunningham M, Ji B, Fekete FA, Parry EM, Clark SE, Zalinger ZB, Gilg IC, Danner GR, Johnson KA and Beattie M(2008). Transferable, multiple antibiotic and mercury resistance in Atlantic Ganadian isoalted *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* is associated with carriage of an IncA/C plasmid similar to the *salmonella enterica* plasmid pSN254. *J Antimicrob Chemother*, 61(6), 1221~1228.  
<http://doi.org/10.1093/jac/dkn123>
- Mondal H and Thomas John(2022). A review on the recent advances and application of vaccines against fish pathogens in aquaculture. *Aquac Int*, 30, 1971~2000.  
<http://doi.org/10.1007/s10499-022-00884-w>
- Nelson RT, McLoughlin MF, Rowley HM, Platten MA and McCormick JI(1995). Isolation of a toga-like virus from farmed Atlantic salmon *Salmo salar* with pancreas disease. *Dis Aquat Organisms*, 22(1), 25~32.  
<https://doi.org/10.3354/dao022025>
- Noga EJ(2010). *Aeromonas salmonicida* infection (Furunculosis, ulcer diseases, goldfish ulcer diseases, carp erythrodermatitis [CE]). In: *Fish disease: Diagnosis and treatment, part problem list*, Noga EJ, 2nd ed. Wiley-Blackwell, Mosby, Iowa, IA, USA, 186-190.
- Ødegård J, Olesen I, Gjerde B and Klemetsdal G(2007). Positive genetic correlation between resistance to bacterial (furunculosis) and viral (infectious salmon anaemia) diseases in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 271(1-4), 173~177.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.06.006>
- OMRC (Overseas Market Research Center)(2024). Seafood trade statistics. Retrieved from June 13, 2024.  
<http://kfishinfo.co.kr/kor/view.do?no=626#none>
- Petterson JM, Osmundsen TO, Aunsmo A, Mardones FO and Rich KM(2015). Controlling emerging infectious diseases in salmon aquaculture. *Rev Sci Tech*, 34(3), 923~938.  
<https://doi.org/10.20506/rst.34.3.2406>
- Piotrowska M, Popowska M(2014). The prevalence of antibiotic resistance genes among *Aeromonas* species in aquatic environments. *Ann Microbiol*, 64, 921~934.  
<http://doi.org/10.1007/s13213-014-0911-2>
- Pradhan SK, Devi R, Khan MIR, Kamilya D, Choudhury TG and Parhi J(2023). Isolation of *Aeromonas salmonicida* subspecies *salmonicida* from aquaculture environment in India: Polyphasic identification, virulence characterization, and antibiotic susceptibility. *Microb Pathog*, 179, 106100.  
<https://doi.org/10.1016/j.micpath.2023.106100>
- Reith ME, Singh RK, Curtis B, Boyd JM, Bouevitch A, Kimball J and Brown LL(2008). The genome of *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* A449: insights into the evolution of a fish pathogen. *BMC Genome data*, 9, 5293~5302.  
<https://doi.org/10.1128/AEM.65.12.5293-5302.1999>
- Vega-Sánchez V, Acosta-Dibarrat J, Vega-Castillo F, Castro-Escarpulli G, Aguilera-Arreola MG and Soriano-Vargas E(2014). Phenotypical characteristics, genetic identification, and antimicrobial sensitivity of *Aeromonas* species isolated from farmed rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*) in Mexico. *Acta Trop*, 130, 76~79.  
<https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2013.10.021>
- Villumsen KR, Koppang EO and Raida MK(2015). Adverse and long-term protective effects following oil-adjuvanted vaccination against *Aeromonas salmonicida* in rainbow trout. *Fish Shellfish Immunol*, 42(1), 193~203.  
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2014.09.024>
- Wang P, Li J, He TT, Li N, Mo ZL, Nie P and

- Xie HX(2020). Pathogenic characterization of *Aeromonas salmonicida* subsp. *masoucida* turbot isolate from China. J Fish Dis, 43(10), 1145~1154. <https://doi.org/10.1111/jfd.13224>
- Wiklund T and Dalsgaard I(1998). Occurrence and significance of atypical *Aeromonas salmonicida* in non-salmonid and salmonid fish species: a review. Dis Aquat Organ, 32(1), 49~69. <https://doi.org/10.3354/dao032049>
- Woo SJ, Lee SH, Kim SS, Byun SG, Song JY and Hwang SD(2022). Disease monitoring of cultured rainbow trout and coho salmon in Gangwon province in 2021. J Fish Pathol, 35(2), 215~223. <https://doi.org/10.7847/jfp.2022.35.2.215>
- Yan Y, Liu Y, Mo Z, Li J, Liu S, Gao Y, Li G and Li j(2021). Development of *Aeromonas salmonicida* subsp. *masoucida* vaccine in turbot and evaluation of protection efficacy under field conditions. Aquaculture, 544, 737035. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737035>
- Zdanowicz M, Mudryk ZJ and Perliński P(2020). Abundance and antibiotic resistance of *Aeromonas* isolated from the water of three carp ponds. Vet Res commun, 44(1), 9~18. <https://doi.org/10.1007/s11259-020-09768-x>
- 
- Received : 15 October, 2024
  - Revised : 01 November, 2024
  - Accepted : 07 November, 2024