総説

水産増養殖における衛生管理

笠井久会*・永田 淳^a

(2020年10月31日受付)

Hygiene Practices for Aquaculture and Hatchery Management

Hisae Kasai* and Jun Nagata^a

*Division of Marine Life Science, Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University,
3-1-1 Minato, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan*

(Received October 31, 2020)

ABSTRACT—Water supplies for seed production and aquaculture may also be pathways for the introduction and spread of infectious diseases. A pathogen free water source is essential for success in aquaculture. Water commonly used in aquaculture comes from coastal waters or rivers and may contain fish pathogens. Such open water supplies should not be used without prior treatment. Disinfection of wastewater before it is discharged is necessary to avoid contamination of the environment with pathogens. Disinfection may be done using ultraviolet (UV), oxidants produced by ozonation of seawater, or hypochlorite produced by electrolyzation of seawater for disinfection of water. Disinfection of eggs can effectively eliminate surface-borne pathogens. Iodophors appear to be the best disinfectant and offer a wide margin of safety to salmonid eggs. For marine fish eggs, ozonated or electrolyzed seawater are used as disinfectants. Moreover, general sanitation measures are standard practice in hatchery management and aquaculture. Methods used to sanitize a rearing unit should take into account chemical toxicity to fish and consequences of prolonged use.

Key words: fish, disease, hygiene, disinfection, UV, ozone, electrolyzation

水産養殖は水生生物を人為的環境下で集約的に効率よく飼育、生産する方法であり、養殖事業の進展につれ、魚類をはじめ水生生物に多岐に渡る疾病被害が報告されている（江草，2004）。特に細菌，ウイルス，原虫などの微生物が関与する感染症は、いったん発生するとその被害は甚大となり、養殖場あるいはふ化場に存在・侵入するこれら病原体の排除につとめる必要がある。養殖場・ふ化場での消毒対象は、飼育用水および排水、飼育用施設、飼育用器具類や作業員の手指・長靴に加え、飼育場の建物や輸送車、搬入物等、養殖施設全体に及ぶ。魚類病原微生物の殺菌に対する抵抗性も様々であることから、防ぐべき疾病に応じて、最適な殺菌・消毒法を選

択する必要がある。さらに、魚類の垂直感染を防止するうえで卵消毒は重要であり、飼育対象種や対象の病原体に応じて消毒条件を最適化する必要があろう。本稿では、飼育用水および排水、種卵、飼育用器具および施設、飼育従事者の手・長靴について、現在実施されている殺菌・消毒法について述べる。

飼育用水の殺菌

水の殺菌法としては古くから加熱殺菌や塩素殺菌が用いられ、魚類飼育用水の殺菌に関しても上水道水のように、塩素による消毒を実施し疾病の発生がほとんど見られない孵化場も外国では知られている（吉水，1981）。これらの殺菌法のほか、高分子濾過膜を使用した濾過除菌法（マリノフォーラム21，1995）も開発されイセエビの種苗生産等に用いられている。しかし低コストで大量の水を必要とする養魚用水の殺菌処理法としてはまだ技

北海道大学大学院水産科学研究院

^a Present address：北海道立総合研究機構網走水産試験場

* Corresponding author

E-mail: hisae@fish.hokudai.ac.jp

術的、経済的に解決しなければならない問題も多く、水そのものの理化学的性質を変えることなく大量の水の殺菌処理を行うには現在のところ紫外線を利用する方法が最も目的になっている。近年、オゾンを用いた殺菌装置も広く普及してきているが、その使用方法および脱オゾン方法により現場での評価は異なっている（笠井・吉水, 2001b）。また最近では海水を電気分解した際に生成する次亜塩素酸により殺菌する方法も検討され、十分な殺菌効果が確認されている（笠井ら, 2000）。本項では、紫外線、オゾンおよび電気分解による飼育用水の殺菌法について紹介する。

紫外線殺菌法は、紫外線（波長 250～260 nm）を水に照射することにより、水中に存在する微生物の DNA や RNA に損傷を与え殺菌する方法である（マリノフォーラム21, 1991）。紫外線照射量は通常 $\mu\text{W} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$ として表されるが、これは単位面積当りの紫外線強度 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ に照射時間（秒）を乗じて求められる。代表的な魚類病原細菌、ウイルス、ミズカビの紫外線感受性試験の結果を Fig. 1 に示した。微生物の種類により紫外線感受性は異なるものの、これら魚類病原微生物の紫外線感受性から判断すると、飼育用水中に存在する病原微生物の殺菌には $10^6 \mu\text{W} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$ 程度の照射能力を有する装置の導入が必要となる。一般的な紫外線殺菌装置の紫外線照射量は $10^4 \mu\text{W} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$ 程度であり、この紫外線照射量か

ら判断するとグラム陰性の魚類病原細菌とエンベロープを有する魚類病原ウイルスの不活化は可能である（Fig. 1 のラインより下の微生物）。中圧水銀ランプを用いた高出力の流水式紫外線殺菌装置では、 $2.0 \sim 3.0 \times 10^5 \mu\text{W} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$ 程度の紫外線照射量が得られ、グラム陽性の魚類病原細菌等の殺菌も可能になる。紫外線は水中での透過率が低いため、装置は水深あるいは水層を浅くとり、十分な紫外線量が照射されるように設計する必要がある。紫外線の照射にあたっては処理水を石英管あるいは紫外線透過性の良い光透過性フッ素樹脂管に通し、管外から紫外線を照射する外照式タイプと耐圧性石英二重管の紫外線ランプを直接水中に設置する内照式タイプがある（マリノフォーラム21, 1991）。低コストで大量の水処理が要求される養魚現場では、さまざまな工夫のもとに紫外線ランプを水面上に釣り下げ $10^4 \mu\text{W} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$ 程度の紫外線照射を行い、目的とする病原体の殺菌を行っている所も多い（マリノフォーラム21, 1991）。工夫の具体例を挙げると、長野県水産試験場構内に建設されている濾過殺菌装置では、プラスチック波板を並べた傾斜沈殿槽で用水中の大型懸濁粒子を除去後、小型プラスチック容器を収容したろ過槽を通して浮遊微細粒子を除去し、その後ステンレス製薄槽に用水を導き、市販の紫外線ランプで照射を行っている（吉水ら, 1991）。海水を利用する施設においては、懸濁物の除去に砂ろ過槽が利用されている。

オゾン殺菌は主に高圧放電法により発生した酸化力の強いオゾンを処理槽に吹き込み、飼育水中に存在する微生物を殺菌する方法である（マリノフォーラム21, 1991）。オゾンは強力な殺菌作用がある反面、人体や魚に対しても毒性を示す。そのため曝気あるいは活性炭を通すことにより、オゾンあるいはオゾンとの反応生成物を取り除き飼育用水として用いる必要がある。特に海水中には種々の微量成分、特に臭素イオンが存在し、これらと反応したオゾンはオキシダントとなり長期間残留し魚毒性を示す（マリノフォーラム21, 1991；伊藤ら, 1996）。淡水環境での飼育用水の場合、軟水あるいはリン酸緩衝液中では魚類病原ウイルスの伝染性脾臓壊死症ウイルス（IPNV）や伝染性造血器壊死症ウイルス（IHNV）は 0.01 mg/L、30～60秒で99.9%以上不活化され、寄生虫のセラトミキサやミキソゾーマに対しても 0.3 mg/L で5分間処理することにより感染を防止できるとの報告がある（Clemens, 1986; Baker, 1986）。海水のオゾン殺菌は、オゾンガス気泡の直接作用と共に、この海水をオゾン処理した際に生成されるオキシダントの殺菌作用によるところが大きい（伊藤ら, 1997）。ピブリオ病およびせつそう病原菌をはじめとする4種の魚類病原細菌の生菌数を99.9%以上減少させるに要するオキシダント量は、いずれも 0.5 mg/L で15秒（0.1 mg/L では30～

Fig. 1. U.V. susceptibility of fish pathogens.

¹ Vlasenko, M. I. (1969), ² Hoffman, G. L. (1974),

³ Normandeau, D. A. (1968), IPNV: Infectious pancreatic necrosis virus, CSV: Chum salmon virus, BF-NNV: Barfin flounder nervous necrosis virus, IHNV: Infectious hematopoietic necrosis virus, PFRV: Pike fry rhabdovirus, RSIV: Red seabream iridovirus, SVCV: Spring viremia of carp virus, EVA: Eel virus American, EVEX: Eel virus Europe X, OMV: *Oncorhynchus masou* virus, CCV: Channel catfish virus, HIRRV: Hirame rhabdovirus, LCDV: Lymphocystis disease virus, *H. salmonis*: *Herpesvirus salmonis*, *R. salmoninarum*: *Renibacterium salmoninarum*, *E. seriolicida*: *Enterococcus seriolicida*, *salmonicida*: *Aeromonas salmonicida*, *V. anguillarum*: *Vibrio anguillarum*.

60秒)であった。一方魚類病原ウイルスの感染価を99%以上減少させるに要するオキシダント濃度は、ブリのウイルス性腹水症原因ウイルス、IPNV およびサケレオウイルスでは0.5 mg/Lで60秒、0.1 mg/Lでも60秒であった。ヒラメのラブドウウイルス、サケ科魚類のヘルペスウイルスおよびIHNVではオキシダント濃度0.5 mg/Lで15秒、0.1 mg/Lでは30秒であった。魚類病原寄生虫の場合、絨毛虫のスクーチカを殺すには0.8 mg/Lで30秒を要した。オキシダントは長期間残留し魚毒性を示すことから飼育用水として用いるにはオゾン処理後にオキシダントを除去する必要がある(吉水, 1992; 笠井・吉水, 2001b)。オキシダントの除去にはチオ硫酸ナトリウムなどの還元剤の使用が可能であるが、必要量を連続的に注入することは難しい。現在簡単に入手できる物として活性炭が広く用いられ、オゾン処理海水を用いた種苗の飼育が行われている(吉水, 1992; 伊藤ら, 1996)。

電気分解による殺菌は、海水を電気分解した際に生成される次亜塩素酸の殺菌力を利用して海水を殺菌する方法である(笠井ら, 2000; 笠井・吉水, 2001a)。水族館の水槽や火力・原子力発電所の冷却水系などで、コケや藻類、貝類などの生物付着を防ぐために海水中に微量の次亜塩素酸を発生させる装置としても用いられている。病原微生物の遊離塩素感受性に関しては、多くの報告がある。3%食塩水にビブリオ病およびせつそう病の原因菌、ビルナウイルスおよびラブドウウイルスを懸濁し、電解装置の電極間を通過させた時の殺菌・不活化効果を観察したところ、時間の経過と共に殺菌率が高くなり、有効塩素量が多くなるにつれて殺菌率も上昇した。細菌については、有効塩素濃度0.07~0.14 mg/Lで1分間、ウイルスでも0.45 mg/L、1分間の処理で99.9%以上の殺菌・不活率が得られている(笠井ら, 2000)。電解海水をオゾン処理海水と同様の方法で脱塩素処理することで、飼育用水としての使用が可能となっている。

上記の方法にて飼育排水の消毒も可能であるが、紫外線殺菌は懸濁物が多い場合殺菌効果が低減することに留意し、オゾン殺菌や電気分解による殺菌は残留オキシダントや次亜塩素酸の排出量を可能な限り低く抑える工夫が必要であろう。なお、養殖場からの排水について、現状では水質汚濁防止法の規制対象とはなっていないものの、養殖場からの負荷がそれぞれの水系における寄与度が高い場合は、総量規制制度によって都道府県の知事の指導・助言・勧告を受けることになろう(丸山・鈴木, 1997)。

卵の消毒

病原体による卵表面の汚染は、胚や仔魚の生残率低下に繋がる(Amend, 1976; Arimoto et al., 1996)。このため、卵表面の病原体を殺菌・不活化する卵消毒を適切に

実施することは、胚や仔魚の疾病を防除するために重要である。魚類における卵消毒の歴史は1930年のアクリフラビンを用いた研究に端を発し、1969年にポビドンヨードの消毒が試みられた(戸田, 1981)。ポビドンヨードは、低い魚毒性(Amend, 1974)でありながら、病原体に対する高い殺菌力(Zamora, 1986)を有することから、サケ・マスの卵消毒薬として広く普及するに至っている。

ポビドンヨードはヨウ素とポリビニルピロリドンの複合体であり、緩徐に遊離するヨウ素が強い殺菌作用を持つ(Zamora, 1986)。ポビドンヨードを主成分とする溶液は、サケ科魚類の卵を消毒するための水産用医薬品として認可されており、ムンディファーマ株式会社から水産用イソジン10%として、岩城製薬株式会社から水産用ネオヨジン液として販売されている。その使用方法については、国際獣疫事務局(OIE)が、サケ・マスの発眼卵もしくは受精直後の硬化卵を有効ヨウ素濃度100 ppmのポビドンヨード溶液に10分浸漬することで、卵消毒することを推奨している(<https://www.oie.int/standard-setting/aquatic-code/access-online/>, 2020年10月現在)。加えて、卵とヨード溶液の体積比は1:4以下に抑え、用いるポビドンヨード溶液のpHは6~8とすることも推奨されている。溶液のpHが低い場合は炭酸水素ナトリウム(NaHCO_3)を添加し、pHを調整することも可能である。過去の研究では、低濃度のポビドンヨード液による卵消毒(有効ヨウ素濃度50 ppmで15分の処理, Yoshimizu, 2009)が推奨された。しかし、細菌性腎臓病の原因菌である*Renibacterium salmoninarum*を同条件で不活化することは困難であったため(Yoshimizu, 1996)、OIEは卵消毒に用いるポビドンヨード溶液の濃度、およびその処理時間を現行の条件に設定した。わが国においては、いまだ50 ppm、15分の処理が一般的であるが、OIEの条件に合わせる必要があろう。ところで、ポビドンヨードは溶液中に有機物が存在する場合、その殺菌効果が低下する(Zamora, 1986)。このため、精子・血液および体腔液のような有機物を含む溶液の混入が想定される場合、等張液で卵を洗浄し、有機物を除去した後に卵消毒を実施することが望ましい。なお、ヨード溶液は卵に吸着するため(Chapman and Rogers, 1992)、卵消毒で使用する場合は再利用を控えるべきである。加えて近年、冷水病の卵内感染防除のためのサケ・マス受精卵のポビドンヨードによる吸水前消毒(熊谷, 2015)が実施されるようになった。これは、冷水病菌*Flavobacterium psychrophilum*が体腔液中に高濃度に含まれる場合に菌が卵内に侵入して卵内感染が起こる(Kumagai and Nawata, 2009)ことを防ぐための対策である。等張液による洗卵も、卵に付着した病原体を洗い流す作用があるため、卵内感染リスクの低減が期待される(小原ら, 2010)。

Table 1. Recommended treatments for disinfection of eggs to prevent viral nervous necrosis

Fish species	Stage of embryos	Type of water	Concentration	Contact time	Reference
Japanese flounder (<i>Paralichthys olivaceus</i>)	Morula stage	Ozonated seawater	Total residual oxidants 0.5 mg/L	5 min	Ohta <i>et al.</i> , 2008
Barfin flounder (<i>Verasper moseri</i>)	Morula stage	Ozonated seawater	Total residual oxidants 0.5 mg/L	5 min	Watanabe <i>et al.</i> , 1998
Longtooth grouper (<i>Epinephelus bruneus</i>)	Embryonic stage	Electrolyzed Seawater	Chlorine 0.3 mg/L	3 min	Watanabe <i>et al.</i> , 2013
Sevenband grouper (<i>Epinephelus septemfasciatus</i>)	Embryonic stage	Electrolyzed Seawater	Chlorine 0.3 mg/L	3 min	Watanabe <i>et al.</i> , 2013
Pacific bluefin tuna (<i>Thunnus orientalis</i>)	From morula stage to the beginning of heart beat	Electrolyzed Seawater	Chlorine 1.0 mg/L	Less than 2 min	Higuchi <i>et al.</i> , 2015
Red tilefish (<i>Branchiostegus japonicus</i>)	Embryonic stage	Ozonated seawater	Total residual oxidants 0.5–0.8 mg/L	1 min	Takeuchi <i>et al.</i> , 2008
Spangled emperor (<i>Lethrinus nebulosus</i>)	From blastula stage to gastrula stage	Ozonated seawater	Total residual oxidants 0.5 mg/L	5 min	Ide <i>et al.</i> , 2004

Table 2. Disinfectants used at fish farms (modified from Hara, 1979)

Objects	Disinfectant	Active ingredient	Concentration used	Replacement frequency	Toxicity to fish	Precautions for use
Hands	Quaternary ammonium salts	Benzalkonium chloride	10%	100-fold dilution	2–3 days, or replace when the disinfectant solution gets dirty	Harmful if concentrate leaks into fish ponds Efficacy is reduced by organic matter. Rinse soap off hands before use to avoid reduction in effectiveness.
Vehicles	Quaternary ammonium salts	Benzalkonium chloride	10%	100-fold dilution	Prepared at time of use	Same as above Spray vehicles thoroughly.
Net, hatching tray, clothes	Quaternary ammonium salts	Benzalkonium chloride	10%	100-fold dilution	Only once	Same as above Wash with water after disinfection
Boots	Phenolics	Heat	100°C, 5 min	Replace when water get dirty	Safe	Soak in boiling water
		Cresol 42–53%	100-fold dilution	replace when the disinfectant solution gets dirty	Harmful if concentrate leaks into fish ponds	Cresol has an odor. Pay attention to drainage regulations. To avoid emission of toxic gases, do not mix with disinfectants containing halogens.
	Halogen-releasing; Ca(ClO) ₂ (powder), NaClO (liquid)	Effective chlorine 60% (Calcium hypochlorite) and 12% (Sodium hypochlorite), respectively	3,000-fold dilution (Ca(ClO) ₂), 600-fold dilution (NaClO)	Every two days (indoor), every day (outdoor)	Very harmful. Harmful even if working solution was diluted 1,000-fold.	Efficacy is reduced by organic matter. Keep away from direct sunlight. Pay attention to bleaching as well as skin inflammation and deterioration induced by effective chlorine.
Hatching tank	Ca(ClO) ₂ , NaClO	Same as above	Same as above	Same as above	Same as above	Spray tank thoroughly. Wash with water after disinfection.
Pond	Ca(ClO) ₂ , NaClO	Same as above	Same as above	Same as above	Same as above	Spray pond thoroughly after complete drainage of pond water. Prevent downstream outflow.
Syringe	Boiling water	Same as above	100°C, 5 min	Same as above	Safe	Soak in boiling water

海産魚では、ウイルス性神経壊死症 (VNN) の対策として、卵消毒が実施される。ポビドンヨード溶液を用いた卵消毒では、VNN 原因ウイルス (ベータノダウイルス) の不活化が困難であるため (渡辺, 2000), VNN に対して高い不活化作用を持つオゾン処理海水や電解海水が用いられる。オゾン処理海水を用いた場合、ベータノダウイルスはオキシダント濃度 $0.1 \mu\text{g/mL}$ で2.5分以上、 $0.5 \mu\text{g/mL}$ で0.5分 (30秒) 以上処理することで不活化される (Arimoto *et al.*, 1996)。電解海水では、有効塩素濃度 $0.3 \sim 1.0 \text{ mg/L}$ で3分以上、 $1.5 \text{ mg/L} \sim 2.5 \text{ mg/L}$ で1分以上処理することにより不活化される (渡辺ら, 2013)。オゾン処理海水や電解海水は、魚毒性を示すことが知られているが、対象魚種および胚の発達ステージによって、その耐性は大きく異なる。このため、魚種に関わらず横断的に適用できる卵消毒条件は今のところ存在しておらず、それぞれの魚種に適した処理条件が検討されている。過去の報告で推奨された卵消毒条件を Table 1 に示す。オゾン処理海水および電解海水を用いた卵消毒の報告例がない魚種に対して卵消毒を行う場合は、事前に予備試験を行い、卵に影響が少ない処理条件を検討する必要がある。加えて、オゾン処理水・電解海水も有機物の混入で殺菌効果が低下するため、卵消毒前に卵洗浄 (有元, 1996; 樋口ら, 2011) を実施することが望ましい。

飼育器具・機材および施設の殺菌・消毒

養魚場における消毒法について Table 2 に示した。屋外の水槽や飼育池、生け簀網などは水を切り、天日でよく乾燥すると同時に高度さらし粉 (有効塩素濃度60%以上) を直接散布するか、もしくは3,000倍液 (有効塩素濃度 200 mg/L) (Amend, 1976) を散布する。次亜塩素酸ナトリウム液の場合、原液の濃度を確認し、 200 mg/L となるよう希釈して用いる。屋外の場合も同様であるが、金属製の構造物への散布は不適切であり、代わりに100倍希釈塩化ベンザルコニウム液を散布する (Fig. 2A)。使用後の消毒薬は、塩素の場合は2, 3日放置し、オスバン液の場合は排水路に集め地面に吸収させる。その後、ともに大量の水で洗い流す。短時間で塩素を中和する場合は、チオ硫酸ナトリウム溶液を添加する。建物への出入り口には踏み込み槽を設置し、晒し粉や次亜塩素酸ナトリウム液、塩化ベンザルコニウム液あるいはクレゾール石鹼液を入れ、長靴などの消毒に使用する。踏み込み槽の消毒液は有機物の混入等により消毒効果が低下するため、毎日交換する。手指の消毒はまず水道水での手洗い後、塩化ベンザルコニウム液 (100倍液) あるいはクレゾール石鹼液でよく消毒し、洗い流す。70%程度のエタノールやイソプロピルアルコール液の利用も効果的である。タモ網やブラシ、ザル、バケツなどの器具類は、高度さらし粉 (3,000倍液) もしくは次亜塩素酸ナトリウ

Fig. 2. Hygiene and sanitation at hatchery. Workspace (A) and equipment (B) were disinfected and dried.

ム液の希釈液 (有効塩素濃度 100 mg/L 以上) を入れた容器に数分間浸漬後、十分水洗いし乾燥させておく (Fig. 2B)。熱湯消毒 (100°C , 5分間) も有効である。種卵および種苗などの輸送車の消毒には、施設への入り口でまず十分水洗し、100倍希釈塩化ベンザルコニウム液を噴霧する。水槽内は種苗を取り出した後、十分水洗し、高度さらし粉 (3,000倍液) あるいは次亜塩素酸ナトリウム液の希釈液 (有効塩素濃度 200 mg/L) を用いて洗浄後、再度十分水洗する。ワクチン投与に用いる連続注射器は煮沸消毒を行う。以上に挙げたもの以外の消毒薬を使用する際は、製造会社や販売店に有効成分と事後処置、気を付けるべき点について確認し、水産試験場等の指導を受けて使用すべきである。

残された課題

飼育排水の殺菌は病原体の排出を防ぐうえで重要であるが、コストの問題で普及には至っていない。安価に大量の淡水あるいは海水を消毒する手法の確立が引き続き求められる。種苗期やワクチンが利用できない疾病に対しては、飼育用水の殺菌や飼育器具・機材および施設の殺菌・消毒に加え、病原体を保有しない親魚の選別 (Watanabe *et al.*, 2000) など、取り得る手段を活用し疾病の発生を未然に防ぐことが肝要であろう。

謝 辞

消毒薬の使用について資料を提供いただいた小原昌和博士ならびに大分県大分県農林水産研究指導センター福田 穰博士に感謝する。

文 献

- Amend, D. (1974): Comparative toxicity of two iodophors to rainbow trout eggs. *Trans. Am. Fish Soc.*, **103**, 73–78.
- Amend, D. (1976): Prevention and control of viral diseases of salmonids. *J. Fish Res. Bd. Can.*, **33**, 1059–1066.
- 有元 操 (1996): シマアジのウイルス性神経壊死症に関する研究. 特別研究報告10号, 社団法人日本栽培漁業協会, 東

- 京, pp. 33–37.
- Arimoto, M., J. Sato, K. Maruyama, G. Mimura and I. Furusawa (1996): Effect of chemical and physical treatments on the inactivation of striped jack nervous necrosis virus (SJNNV). *Aquaculture*, **143**, 15–22.
- Baker, B. (1986): Ozonation of hatchery water supply at Coleman National Fish Hatchery, Proceedings of North West Fish Culture Conference Springfield, OR, pp. Fish Pathology-24-29.
- Chapman, P. F. and R. W. Rogers (1992): Decline in iodine concentration of iodophor during water hardening of salmonid eggs and methods to reduce this effect. *Prog. Fish-Cult.*, **54**, 81–87.
- Clemens, K. (1986): Water supply disease problems and ozonation. Proceedings North West Fish Culture Conference, Springfield, OR, pp. Fish Pathology-22-23.
- 江草周三 (2004): 魚介類の感染症・寄生虫病. 恒星社厚生閣, 東京, 424 p.
- 原 武史 (1979): 10. ニジマス. 「特用水産養殖ハンドブック」. 地球社, 東京, pp. 295–311.
- 樋口健太郎・江場岳史・田中庸介・久門一紀・西 明文・二階堂英城・塩澤 聡 (2011): クロマグロ種苗生産におけるウイルス性神経壊死症防除のためのハマフエフキ受精卵の大量消毒法. 水産技術, **4**, 15–20.
- 樋口健太郎・小西淳平・高志利宣・田中庸介・鈴木絢子・辻田明子・澤口小有美・玄 浩一郎・岡 雅一・虫明敬一 (2015): 電解海水がクロマグロ *Thunnus orientalis* 受精卵のふ化に及ぼす影響. 水産増殖, **63**, 333–341.
- Hoffman, G. L. (1974): Disinfection of contaminated water by ultraviolet irradiation, with emphasis on wirling disease (*Myxosoma cerebralis*) and its effect on fish. *Trans. Ammer. Fish. Soc.*, **19**, 541–550.
- 井手健太郎・手塚信弘・二階堂英城・武部孝行・升間主計 (2004): オキシダント海水がハマフエフキ卵のふ化に及ぼす影響. 栽培漁業センター技報, **2**, 100–103.
- 伊藤慎悟・吉水 守・呉 明柱・日向進一・渡辺研一・早川豊・絵面良男 (1996): 海水のオゾン処理による飼育水の殺菌効果とヒラメ (*Paralichthys olivaceus*) およびマツカワ (*Verasper moseri*) の生存率に及ぼす影響. 水産増殖, **44**, 457–463.
- 伊藤慎悟・吉水 守・絵面良男 (1997): 人工海水中における低濃度オキシダントの魚類病原微生物に対する殺菌・不活化効果. 日水誌, **63**, 97–102.
- 笠井久会・吉水 守 (2001a): 海水電解装置による魚類飼育用水と排水の殺菌. アクアネット, **4**, 52–55.
- 笠井久会・吉水 守 (2001b): オゾンによる養魚用水の殺菌法—特に海水への応用—. 日本医療・環境オゾン研究会報, **8**, 2–6.
- 笠井久会・石川麻美・堀 友花・渡辺研一・吉水 守 (2000): 流水式海水電解装置の魚類病原細菌およびウイルスに対する殺菌効果. 日水誌, **66**, 1020–1025.
- 小原昌和・小川 滋・笠井久会・吉水 守 (2010): 養殖サケ科魚類の人工採卵における等調液洗卵法の除菌効果. 水産増殖, **58**, 37–43.
- 熊谷 明 (2015): 冷水病菌の卵内感染防除のための新しいサケマス卵消毒法 (後編). 月間養殖ビジネス, **52**, 22–25.
- Kumagai, A. and A. Nawata (2010): Mode of the intra-ovum infection of *Flavobacterium psychrophilum* in salmonid eggs. *Fish Pathol.*, **45**, 31–36.
- マリノフォーラム21 (1991): 海水殺菌装置評価基準. マリノフォーラム21, 東京, 220 p.
- マリノフォーラム21 (1995): 中空糸膜精密ろ過装置 (水産用) 評価基準. マリノフォーラム21, 東京, 120 p.
- 丸山俊朗・鈴木祥広 (1998): 養魚排水の現状と水域への負荷—クロズド化への展望. 日水誌, **64**, 216–226.
- Noormandeau, D. A. (1968): Progress report, Project F-14-R-3.
- 太田健吾・有瀧真人・渡辺研一 (2008): オキシダント海水およびポビドンヨード剤がヒラメ *Paralichthys olivaceus* 卵のふ化率に及ぼす影響. 日水誌, **74**, 653–659.
- 竹内宏行・升間主計・渡辺 税・中川 亨・町田雅春 (2008): オキシダント海水がアカアマダイ卵に及ぼす影響. 栽培センター技報, **8**, 5–8.
- 戸田 実 (1981): 魚病の本—養殖生産の安定を目指して—. 地球社, 東京, 59 p.
- Vlasenko, M. I. (1969): Ultraviolet rays as a method for the control of disease of fish eggs and young fishes. *Problems of Ichthyol.*, **9**, 697–705.
- 渡辺研一 (2000): マツカワに発生したウイルス性神経壊死症の防除対策に関する研究. 特別研究報告15号, 社団法人日本栽培漁業協会, 東京, pp. 45–48.
- Watanabe, K., S. Suzuki, T. Nishizawa, K. Suzuki, M. Yoshimizu and Y. Ezura (1998): Control strategy for viral nervous necrosis of barfin flounder. *Fish Pathol.*, **33**, 445–446.
- Watanabe, K., T. Nishizawa and M. Yoshimizu (2000): Selection of brood stock candidates of barfin flounder using an ELISA system with recombinant protein of barfin flounder nervous necrosis virus. *Dis. Aquat. Org.*, **41**, 219–223.
- 渡辺研一・井手健太郎・岩崎隆志・佐藤 純・森 広一郎・米加田 徹 (2013): ウイルス性神経壊死症の防除を目的とした電解海水によるクエおよびマハタ受精卵の消毒条件の検討. 魚病研究, **48**, 5–8.
- 吉水 守 (1981): 紫外線による養魚用水の殺菌. 養殖, **18**, 150–156.
- 吉水 守 (1992): 魚類養殖および栽培漁業でのオゾンの利用. オゾン年鑑93–94年度版, リアライズ社, 東京, pp. 401–409.
- Yoshimizu, M. (1996): Disease problems of salmonid fish in Japan caused by international trade. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, **15**, 533–549.
- Yoshimizu, M. (2009): Control strategy for viral diseases of salmonid fish, flounders and shrimp at hatchery and seed production facility in Japan. *Fish Pathol.*, **44**, 9–13.
- 吉水 守・佐見 学・小原昌和・山崎隆義・木村喬久 (1991): 限外濾過濃縮法による飼育水中 IHNV の検出および紫外線の IHNV 不活化効果について. 日水誌, **57**, 555–560.
- Zamora, J. L. (1986): Chemical and microbiologic characteristics and toxicity of povidone-iodine solutions. *Am. J. Surg.*, **151**, 400–406.