

식물 정유 주요 성분의 어병 세균에 대한 항균활성

Antibacterial Effects of Major Compounds in Essential Oil against Fish Disease Bacteria

이경인^{1,*}, 이근직², 윤영승³, 표병식⁴

Kyoung-In Lee^{1,*}, Geun-Jik Lee², Young-Seung Yoon³, Byoung Sik Pyo⁴

¹책임연구원, 목포수산식품수출센터 품질관리인증팀, 목포, 58621, 대한민국

²센터장, 목포수산식품수출센터, 목포, 58621, 대한민국

³교수, 목포과학대학교 해양수산식품융합과, 목포, 58644, 대한민국

⁴교수, 동신대학교 한약재산업학과, 나주, 58245, 대한민국

^{1,2}Mokpo Seafood Export Center, Mokpo 58621, Korea

³Department of Marine and Seafood Convergence, Mokpo Science University, Mokpo 58644, Korea

⁴Department of Oriental Medicine Materials, Dongshin University, Naju 58245, Korea

(Received 7 Nov 2022, Revised 25 Nov 2022, Accepted 14 Dec 2022)

Abstract In this study, the antibacterial activity of major compounds obtained from domestic plant essential oils was investigated against four species of fish pathogenic bacteria, namely, *Edwardsiella tarda*, *Vibrio harveyi*, *Streptococcus iniae*, and *Streptococcus parauberis*. We observed that α -terpineol and eucalyptol showed high antibacterial activity against *S. iniae*, whereas α -terpineol and β -linalool showed high antibacterial activity against *S. parauberis*. The antibacterial activity of eucalyptol and β -linalool was significantly high against *E. tarda*, and α -terpineol and β -linalool exerted antibacterial activity against *V. harveyi*. All compounds showing significant antibacterial activity also exhibited high solubility in water ($\geq 1,000$ mg/L). In contrast, compounds such as α -limonene and α -pinene with low water solubility showed significantly low antibacterial activity against all bacteria. These findings can be utilized further to estimate the antibacterial activity of compounds isolated from plant essential oils for the prevention of fish disease.

Keywords : Antibacterial effect, Essential oil, Fish disease, Monoterpenoid

서 론

다양한 식물에 존재하는 방향성 물질인 정유(essential oil)는 일반적으로 끓는점이 낮아 공기 중으로 쉽게 휘발되는 성질을 가지며, 식물의 생명유지에 필수적인 2차 대사산물로 알려져 있다[1]. 화학적으로는 모노테르펜(monoterpene) 구조를 가지는

terpenoid 성분이 주를 이루는 것으로 알려져 있으나 원료 식물에 따라 terpenoid 이외의 구조를 가지는 성분도 다양하게 존재한다[2]. 식물 정유에는 항산화 및 스트레스 완화, cholinesterase 억제활성 등 다양한 효과가 있는 것으로 알려져 있어서 관련된 기능성 제품의 개발도 꾸준히 이루어지고 있다[3-5].

* Corresponding author

Phone: ***-****-**** Fax: 061-277-7319

E-mail: python@hanmail.net

This is an open-access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

이와 같은 다양한 생리활성과 함께 정유 성분의 대표적인 활성으로서 다양한 병원성 세균에 대한 항균 활성이 보고되고 있다[6-8]. 또한 구강 질환 원인 세균이나 장내 미생물에 대한 항균활성과 항생제 내성 세균에 대한 항균활성 등이 연구되어 왔다[9-11]. 최근에는 소나무과 식물 정유의 어병 세균에 대한 항균효과도 보고되었으나 식물 정유를 구성하고 있는 개별 정유 성분에 대한 활성은 명확히 확인되지 못했다[12].

국내의 양식 산업이 발달하면서 다양한 어병 세균이 보고되고 있는데, *Edwardsiella tarda*는 Gram 음성 간균, 통성혐기성 장내세균으로 넙치 등 양식 어류에 피해를 일으키는 에드워드병(edwardsiellosis)의 원인균으로 알려져 있다[13-15]. *Vibrio harveyi*는 해수 중에 일반적으로 존재하는 Gram 음성 세균으로 발광성을 지니며, 새우나 전복 등 다양한 해양생물에 피해를 주는 것으로 보고되고 있다[16-18]. *Streptococcus iniae*는 Gram 양성의 연쇄구균으로 넙치, 역돔, 민어 등에 다양한 질병을 일으키는 어류병원균이며[19,20], *S. parauberis*는 운동성이 없는 Gram 양성 구균으로 연쇄구균 중에서 불완전용혈(alpha-hemolytic agent)을 일으키고 조건혐기성 환경에서 자랄 수 있는 특징이 있다[21,22].

이와 같은 병원성 세균의 제어를 위해 여러 가지 항생물질이 사용되고 있으나 내성이나 잔류 문제로 인해 적정 사용량에 대한 평가가 지속적으로 필요하게 된다. 이와 함께 합성 항생제가 아닌 천연물 유래의 항균활성 소재의 활용이 지속적으로 검토되고 있으며, 천연 소재 자체의 항균활성 뿐만 아니라 합성 항생제의 보조제(adjutant)나 증강제(synergistic agent)로서의 가능성이 고려될 수 있다[12,23].

본 연구에서는 기존 연구들에서 항균활성이 다뤄진 국내의 식물 유래 정유를 구성하는 주요 성분 중 8종을 선별하여 *E. tarda* 등 4가지 어병 세균에 대한 항균활성 수준을 탐색하였으며, 활성 성분의 특성에 대한 검토를 실시하였다.

재료 및 방법

1. 시약

Camphor, estragole, eucalyptol, geranyl acetate, α -

limonene, β -linalool, α -pinene, α -terpineol 등 정유 구성 성분 표준품은 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA)에서 구입한 것을 사용하였으며, 각 성분의 구조는 Figure 1과 같다. 대조 항생제인 oxytetracycline과 dimethylsulfoxide(DMSO)는 Sigma-Aldrich에서 구입한 것을 사용하였으며, 어병 세균 배양에 사용된 brain heart infusion(BHI) 배지는 BD(Franklin Lakes, NJ, USA)의 제품을 사용하였다.

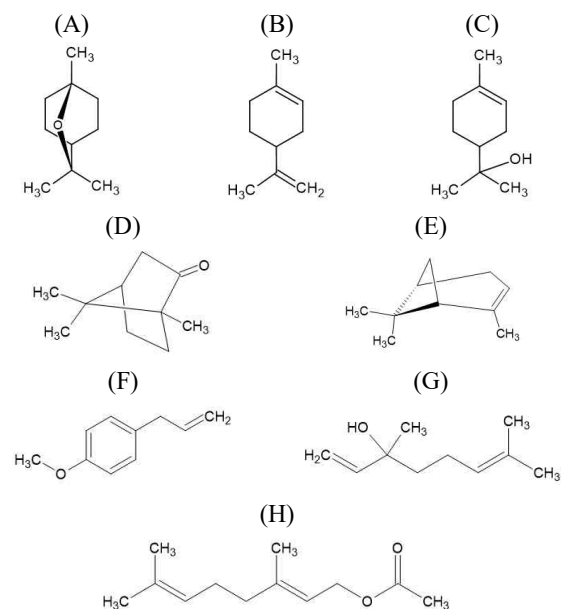


Figure 1. Chemical structures of the major volatile compounds of plant essential oils. (A) Eucalyptol, (B) α -Limonene, (C) α -Terpineol, (D) Camphor, (E) α -Pinene, (F) Estragole, (G) β -Linalool, (H) Geranyl acetate.

2. 균주 및 배양 조건

연구에 사용된 어병 세균은 *E. tarda* (FP 5060), *V. harveyi* (FP 8370), *S. iniae* (FP 5228), *S. parauberis* (FP 3287) 등 4종이며, 국립수산과학원 병리연구과로부터 분양받아 사용하였다. 각 어병 세균별 세부 배양조건은 Table 1과 같이 적용하였다.

3. 농도별 정유 성분 조제

정유 성분별로 α -limonene과 같이 액상 성분은 dimethylsulfoxide(DMSO)와 methanol을 1:1로 혼합한 용매에 20, 10, 5, 2.5, 1.25, 0.625, 0.3125, 0.1563, 0.0781, 0.0391, 0.0195% 농도로 용해 및 희석시켜

준비하였다. Camphor와 같은 고체 성분은 methanol에 최대 용해 가능 농도로 용해시킨 후 DMSO와 methanol 혼합 용매로 각 농도별로 희석하여 액상 성분과 동일하게 준비하였다.

Table 1. Bacteria culture conditions

Bacterial strains	Media	Temperature (°C)	Time (hr)
<i>Edwardsiella tarda</i>	Brain heart infusion	37	48
<i>Streptococcus iniae</i>	Brain heart infusion	37	24
<i>Streptococcus parauberis</i>	Brain heart infusion	37	24
<i>Vibrio harveyi</i>	Brain heart infusion	30	24

4. 어병 세균에 대한 50% 성장억제농도(IC₅₀) 측정

주요 정유 성분별 항균활성을 측정하기 위해 미생물의 최소저해농도(minimum inhibitory concentration; MIC) 측정에 일반적으로 사용되는 broth dilution assay를 실시하였다. Table 2와 같은 비율 및 농도가 되도록 96-well plate에 농도별 정유 성분 용액 10 µL와 멸균된 BHI 액체배지 180 µL를 혼합하였으며, blank well은 정유 성분 용액 대신 희석에 사용된 용매를 혼합하였다. 이후 사전에 배양된 각 세균 배양액을 BHI 액체배지로 1/100로 희석하여 10 µL씩 각 well에 접종시켰다.

Table 2. Calculation of final sample treatment concentration

Treatment sample concentration(%)	Sample volume (µL)	Media volume (µL)	Final sample concentration in media (%)
20			1
10			0.5
5			0.25
2.5			0.125
1.25			0.0625
0.625	10	190	0.03125
0.3125			0.01563
0.1563			0.00781
0.0781			0.00391
0.0391			0.00195
0.0195			0.00098

Table 1에 제시된 배양조건의 온도와 시간동안 배양을 실시한 후 micro plate reader (PowerWave X340, Bio-Tek, USA)를 사용하여 630 nm에서 각 96-well plate의 흡광도를 측정하였다. Figure 2와 같이 blank의 흡광도를 기준으로 50% 성장 억제 농도(50% inhibition concentration; IC₅₀)를 산출하였다.

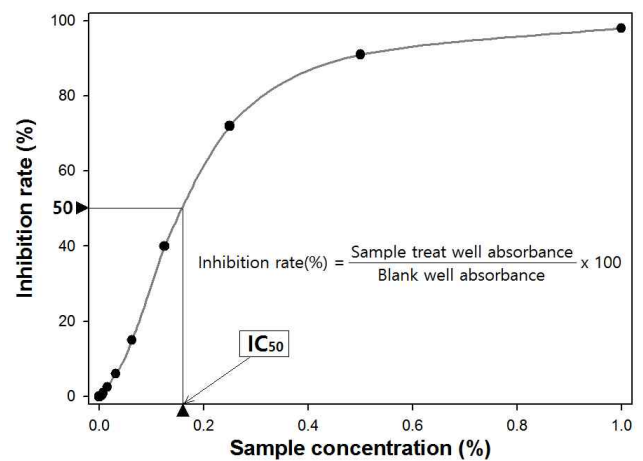


Figure 2. Calculation process of 50% inhibition concentration (IC₅₀) against bacterial strains.

결과 및 고찰

1. Broth dilution assay에 의한 항균활성 측정

일반적으로 식물 추출물과 같은 천연물의 항균활성 측정은 Figure 3과 같이 paper disk를 활용하는 방법(Disk diffusion assay)이나 액체배지에 농도별 시료를 처리하여 활성을 가지는 농도를 확인하는 방법(Broth dilution assay)이 많이 이용된다.

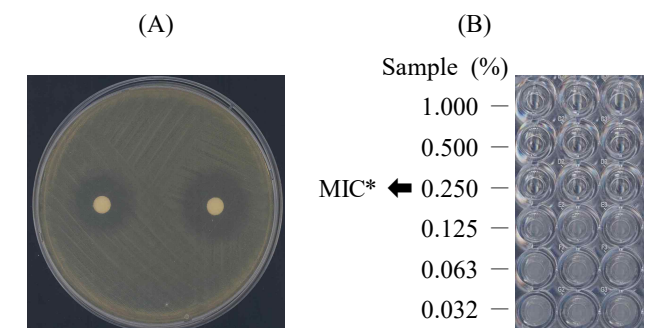


Figure 3. Anti-microbial effect measurement assay. (A) Disk diffusion assay, (B) Broth dilution assay. *MIC is minimum inhibitory concentration.

본 연구에서는 정유 성분이 기본적으로 가지고 있는 휘발성과 대상 미생물의 생육 환경 등을 고려하여 broth dilution assay를 활용하였으며, 정확한 항균 활성 비교를 위해 최소저해농도(minimum inhibitory concentration; MIC)가 아닌 성장 억제 농도(50% inhibition concentration; IC₅₀)를 산출하였다. 이와 같은 측정 방법은 해수나 담수에서 활동하는 어병 세균에 대한 항균활성 측정에 보다 적합한 방법으로 판단된다.

2. Gram 양성 세균에 대한 항균활성

*S. parauberis*에 대한 항균활성은 α-terpineol이 0.0018%의 IC₅₀ 값으로 가장 높은 것으로 나타났다. 다음으로 β-linalool과 geranyl acetate가 각각 0.0059%와 0.0065%의 IC₅₀ 값으로 다른 성분들에 비해 우수한 것으로 확인되었다(Table 3). 반면, estragole과 α-limonene은 1% 이상의 IC₅₀ 값으로 실험이 실시된 농도범위 내에서 항균활성을 나타내지 못한 것으로 나타났으며, α-pinene도 0.0765%로 낮은 항균활성을 보였다.

Table 3. Anti-bacterial effects of the major volatile compounds of plant essential oils against Gram positive bacterial strains

Compounds	IC ₅₀ (%)	
	<i>S. parauberis</i>	<i>S. iniae</i>
Eucalyptol	0.0251 ± 0.004 ¹⁾	0.0022 ± 0.000
Camphor	0.0161 ± 0.003	0.0035 ± 0.000
α-Terpineol	0.0018 ± 0.000	0.0019 ± 0.000
β-Linalool	0.0059 ± 0.001	0.0078 ± 0.001
Geranyl acetate	0.0065 ± 0.001	0.0086 ± 0.001
Estragole	> 1	0.8919 ± 0.052
α-Limonene	> 1	> 1
α-Pinene	0.0765 ± 0.005	0.0684 ± 0.007
OTC ²⁾	0.00001 ³⁾	0.00019

¹⁾Values are mean ± standard deviation(n=3). ²⁾OTC; oxytetracycline (positive control). ³⁾Value of OTC is mean(n=3).

*S. iniae*에 대한 항균활성은 *S. parauberis*에 대한 결과와 마찬가지로 α-terpineol이 0.0019%의 IC₅₀ 값으로 가장 높은 것으로 나타났다(Table 3). 다음으로 eucalyptol과 camphor가 각각 0.0022%와 0.0035%의

IC₅₀ 값으로 다른 성분들에 비해 우수한 것으로 확인되었다. 반면, α-limonene은 1% 이상의 IC₅₀ 값으로 실험이 실시된 농도범위 내에서 항균활성을 나타내지 못한 것으로 나타났으며, estragole과 α-pinene도 각각 0.8919%와 0.0684%로 낮은 항균활성을 보였다.

상용 항생제인 oxytetracycline(OTC)의 IC₅₀ 값은 *S. parauberis*와 *S. iniae*에 대해 각각 0.00001%와 0.00019% 수준으로 나타났으며, 두 세균에 대해 가장 활성이 높게 나타난 α-terpineol의 항균활성은 OTC에 비해 각각 0.56%와 10.15% 수준이었다. *S. iniae*에 대한 항균활성에서 α-terpineol뿐만 아니라 eucalyptol과 camphor의 활성도 OTC의 8.62%와 5.51% 수준임을 확인하였다.

3. Gram 음성 세균에 대한 항균활성

*E. tarda*에 대한 항균활성은 eucalyptol과 β-linalool이 0.0242%의 IC₅₀ 값으로 다른 성분들에 비해 높은 것으로 나타났다. 다음으로 geranyl acetate가 0.0266%의 IC₅₀ 값으로 *E. tarda*에 대한 우수한 항균력을 보여주었다(Table 4). 반면, α-limonene은 1% 이상의 IC₅₀ 값으로 실험이 실시된 농도범위 내에서 항균활성을 나타내지 못했으며, α-pinene도 0.5099%로 IC₅₀ 값으로 낮은 항균활성을 나타냈다.

Table 4. Anti-bacterial effects of the major volatile compounds of plant essential oils against Gram negative bacterial strains

Compounds	IC ₅₀ (%)	
	<i>E. tarda</i>	<i>V. harveyi</i>
Eucalyptol	0.0242 ± 0.002 ¹⁾	0.0493 ± 0.003
Camphor	0.0562 ± 0.008	0.0504 ± 0.008
α-Terpineol	0.0448 ± 0.006	0.0279 ± 0.002
β-Linalool	0.0242 ± 0.003	0.0347 ± 0.005
Geranyl acetate	0.0266 ± 0.004	0.0381 ± 0.007
Estragole	0.1930 ± 0.012	> 1
α-Limonene	> 1	> 1
α-Pinene	0.5099 ± 0.039	0.4218 ± 0.027
OTC ²⁾	0.00003 ³⁾	0.00001

¹⁾Values are mean ± standard deviation(n=3). ²⁾OTC; oxytetracycline (positive control). ³⁾Value of OTC is mean(n=3).

*V. harveyi*에 대한 항균활성 측정 결과에서는 α

-terpineol이 0.0279%의 IC₅₀ 값으로 가장 높은 항균력을 나타냈다(Table 4). 다음으로 β-linalool과 geranyl acetate가 각각 0.0347%와 0.0381%의 IC₅₀ 값으로 다른 성분들에 비해 우수한 것으로 확인되었다. 반면, estragole과 α-limonene은 1% 이상의 IC₅₀ 값으로 실험이 실시된 농도범위에서 항균활성을 나타내지 못했으며, α-pinene도 0.4218%로 낮은 항균활성을 보였다.

대조군으로 사용된 OTC의 IC₅₀ 값은 *E. tarda*와 *V. harveyi*에 대해 각각 0.00003%와 0.00001%로 나타났다. *E. tarda*에 대해 항균활성이 높게 나타난 eucalyptol과 β-linalool의 활성은 OTC 활성의 0.12% 수준이었으며, *V. harveyi*에 대해 항균활성이 높게 나타난 α-terpineol의 활성은 OTC의 0.04% 수준이었다.

전반적으로 Gram 양성인 *S. parauberis* 와 *S. iniae*에 대한 주요 정유 성분의 항균활성이 Gram 음성인 *E. tarda*와 *V. harveyi*에 대한 항균활성보다 높게 나타났다. 일반적으로 Gram 양성 세균은 세포막의 구조에서 상대적으로 두꺼운 peptidoglycan 층을 가지지만 lipopolysaccharide가 존재하지 않으며, Gram 음성 세균의 세포막 구조에서는 상대적으로 얇은 peptidoglycan 층과 함께 lipopolysaccharide가 포함된 외막이 존재하는 차이를 가진다. 이러한 세포막의 구조적 차이는 항균활성을 가지는 물질의 투과도에 영향을 미치게 되며, 본 연구에서 사용된 정유 성분은 Gram 양성 세균에 대해 음성 세균보다 효과적인 것으로 나타났다.

4. 정유 성분의 물 용해도에 따른 항균활성

어병 세균의 활동 환경이 되는 해양 또는 수산 생태계는 기본적으로 물에 둘러싸인 특성이 있다. 반면, 식물 정유의 주요 성분들은 기본적으로 물에 대한 친화력이 낮은 지용성 성분으로 분류되는 성분이 차지하는 비율이 높다. 따라서 어병 세균에 대한 항균활성을 나타내기 위해서는 일정 수준 이상의 물에 대한 용해도가 필요하게 된다.

Table 5에 제시한 것과 같이 연구 대상 정유 성분 중 α-terpineol이 7,100 mg/L의 물에 대한 용해도로 가장 수용성이 높은 것으로 나타났으며, eucalyptol, camphor, β-linalool, geranyl acetate가 1,000 mg/L 이상의 물에 대한 용해도를 가지는 성분으로 확인되었다. 반면, 어병 세균에 대한 항균활성이 낮은 것으로

확인된 estragole과 α-limonene, α-pinene 등은 상대적으로 낮은 용해도를 나타냄에 따라 항균활성에 영향을 미치는 요인으로서 작용한 것으로 판단되었다.

Table 5. Solubilities in water of the major volatile compounds of plant essential oils

Compounds	Class	Solubility in water (mg/L)
Eucalyptol	monoterpenoid	3,500
Camphor	monoterpenoid	1,600
α-Terpineol	monoterpenoid	7,100
β-Linalool	monoterpenoid	1,590
Geranyl acetate	monoterpenoid	> 1,000
Estragole	phenylpropenoid	178
α-Limonene	monoterpene	7.6
α-Pinene	monoterpene	2.5

Eucalyptol은 유칼립투스(eucalyptus)나 로즈마리(rosemary)와 같은 허브식물 유래 정유의 주성분으로 알려져 있으며, 다양한 항균활성을 포함한 다양한 생리활성을 나타내며, 국내에 자생하는 식물 중에는 쑥이나 감국 등의 정유의 주요 성분으로 보고되고 있다[2,24,25]. Camphor는 국내 식물 중에서 감국이나 구절초 등 국화과 식물의 정유에 많이 함유되어 있는 것으로 알려져 있으며, 항생제 내성균에 대한 항균활성을 나타낼 정도로 항균력이 우수한 성분으로 보고되고 있다[2,26,27]. α-Terpineol은 타임(thyme) 또는 백리향과 같은 *Thymus*속 허브 식물 정유의 주요 성분으로서 대장균이 효모, 곰팡이 등 다양한 미생물에 대해 항균력을 나타내는 것으로 보고되고 있다[28,29]. β-Linalool은 라벤더(lavender) 정유 성분의 주요 성분으로서 감귤이나 오렌지와 같은 *Citrus* 속 식물 정유에 광범위하게 존재하며, 여러 가지 미생물에 대한 항균활성이 연구되고 있다[29-31]. Geranyl acetate은 레몬그라스(lemongrass)와 같은 식물 정유에 함유되어 있는 성분이며, 피부 관련 병원성 세균에 대한 항균활성 등이 보고되고 있다[32].

결과적으로 Figure 1에 제시된 각 성분의 분자 구조와 같이 친수성을 가지게 하는 hydroxyl group(-OH)이나 acetate group을 포함하는 경우에 정

유 성분의 항균활성이 보다 효과적일 수 있으며, eucalyptol처럼 bicyclic ether 구조인 경우에도 일반적인 monoterpene 구조보다는 활성이 우수한 것으로 판단된다. 소나무과 잎 정유 성분에 대한 기존 연구에서 neryl acetate, borneol, carveol 등 3종의 정유 성분이 Gram 음성 어병 세균인 *E. tarda*와 *Photobacterium damsela*에 대하여 강한 성장 억제 효과를 나타낸 것으로 보고한 것도 정유 성분의 이러한 구조적 특성과 관련된 것으로 판단된다[12]. 특히 *E. tarda*에 대한 항균활성을 나타낸 것으로 보고한 neryl acetate와 borneol은 본 연구의 대상 성분과 동일하지는 않지만 geranyl acetate와 α -terpineol과 구조적인 유사성을 가지는 성분들이다.

결론

국내의 식물 자원에서 추출된 정유의 어병 관련 항균활성 연구는 아직까지 많이 부족한 실정이다. 이는 수산 자원의 생육 환경이 담수나 해수라는 물에 둘러싸인 조건이며, 식물 정유의 화학적 특성으로 인해 이러한 수중 환경에 균일하게 분산되어 활성을 나타내기 어렵기 때문이다. 본 연구의 대상 정유 성분 중 α -terpineol이나 eucalyptol 등 상대적으로 항균활성이 우수한 것으로 확인된 성분들은 다른 성분에 비해 물에 대한 용해도가 상대적으로 높은 성분으로 확인되었으며, α -limonene, α -pinene과 같이 물에 대한 용해도가 낮은 성분은 항균활성이 현저히 낮은 것으로 나타났다. 따라서 일정 수준 이상의 물에 대한 용해도는 정유 성분이 어병 세균에 대한 항균활성을 나타내기 위해 필요한 특성임을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 다양한 식물 정유 관련 연구에서 기기분석적인 자료를 검토하여 사전에 구성 성분에 대한 활성을 추정해 볼 수 있는 요소로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 이와 함께 어병 제어 연구 필요성이 높은 양식 산업과 관련하여 순수한 물에 대한 용해도와 함께 각종 염류를 포함하는 해수를 대상으로 한 항균활성 성분의 용해도 검토가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

References

1. Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Idaomar, M. 2008. Biological effects of essential oils—a review. Food Chem. Toxicol. 46, 446-475.
2. Oh, K. Y., Goo, Y. M., Jeong, W. M., Sin, S. M., Kil, Y. S., Ko, K. H., Yang, K. J., Kim, J. H., Lee, D. Y. 2018. Comparative analysis of the flavor compounds in cultivated *Chrysanthemum indicum* L. J. Life Sci. 28, 1523-1528.
3. Choi, J. H., Park, J. H., Cho, Y. J. 2021. Development of functional products using *Chamaecyparis obtusa* heartwood essential oil. J. Converg. Inf. Technol. 11, 211-218.
4. Hyun, J. M., Kim, J. E., Yeum, H. S., Song, J. M., Kim, M. R., Lee, N. H. 2016. Chemical composition and biological activities of essential oil from “Setoka” branches. J. Soc. Cosmet. Sci. Korea. 42, 227 - 233.
5. Choi, J. S., Song, B. M., Park, H. J. 2016. Gas chromatographic analysis and cholinesterase activity of the essential oil from Korean *Agastache rugosa*. Kor. J. Pharmacogn. 47, 192-196.
6. Park, S. N., Kang, Y. J. 2020. The effect of essential oils on antimicrobial activity. J. Converg. Inf. Technol. 10, 104 - 114.
7. Choi, S. A., Lee, H. S. 2019. Acaricidal and antibacterial toxicities of *Valeriana officinalis* oils obtained by steam distillation extraction. J. Appl. Biol. Chem. 62, 19-23.
8. Kim, H. E., Kim, Y. S. 2021. Inhibitory effects of cinnamon, clove and lemongrass essential oils against biofilm formation by food poisoning bacteria. J. Food Hyg. Saf. 36, 430-439.
9. Hwang, H. J., Yu, J. S., Lee, H. Y., Kwon, D. J., Han, W., Heo, S. I., Kim, S. Y. 2014. Evaluations on deodorization effect and anti-oral microbial activity of essential oil from *Pinus koraiensis*. Korean J. Plant Res. 27, 1 - 10.
10. Lee, M. J., Kim, H. J., Jeong, A. H., Lee, H. S. 2018. Acaricidal and antimicrobial toxicities of *Cyanachum paniculatum* root oils and these components against *Haemaphysalis longicornis* and human intestinal bacteria. J. Appl. Biol. Chem. 61, 423-428.
11. Yoo, Y. W., Lee, H. J., Kim, S., Bae, M. S., Lee, M. J., Shim, J. H., Cho, S. S. 2014. Chemical composition and in vitro antimicrobial and antioxidant activities of commercially available essential oils against multidrug

- resistant bacteria. J. Life Sci. 24, 266 - 273.
12. Ham, Y., Yang, J., Choi, W. S., Ahn, B. J., Park, M. J. 2020. Antibacterial activity of essential oils from Pinaceae leaves against fish pathogens. J. Korean Wood Sci. Technol. 48, 527-547.
 13. Li, Y., Wang, L., Lu, S., Wang, S., Zhang, H., Yang, Y., Li, M., Chen, S. 2020. Heritability of disease resistance to *Edwardsiella tarda* in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture. 519, 734-750.
 14. Park, S. B., Aoki, T., Jung, T. S. 2012. Pathogenesis of and strategies for preventing *Edwardsiella tarda* infection in fish. Vet. Res. 43, 1.
 15. Park, S. B., Nho, S. S., Jang, H. B., Cha, I. S., Lee, J. H., Aoki, T., Jung, T. S. 2017. Phenotypic and genotypic analysis of *Edwardsiella tarda* isolated from olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) and Japanese eel (*Anguilla japonica*). Aquaculture. 473, 449-455.
 16. Austin, B., Zhang, X. H. 2006. *Vibrio harveyi*: a significant pathogen of marine vertebrates and invertebrates. Lett. Appl. Microbiol. 43, 119-124.
 17. Jiang, Q., Shi, L., Ke, C., You, W., Zhao, J. 2013. Identification and characterization of *Vibrio harveyi* associated with diseased abalone *Haliotis diversicolor*. Dis. Aquat. Org. 103, 133-139.
 18. Sawabe, T., Inoue, S., Fukui, Y., Yoshie, K., Nishihara, Y., Miura, H. 2007. Mass mortality of Japanese abalone *Haliotis discus hannai* caused by *Vibrio harveyi* infection. Microbes Environ. 22, 300-308.
 19. Agnew, W., Barnes, A. C. 2007. *Streptococcus iniae*: an aquatic pathogen of global veterinary significance and a challenging candidate for reliable vaccination. Vet. Microbiol. 122, 1-15.
 20. Hernandez, E., Figueroa, J., Iregui, C. 2009. Streptococcosis on a red tilapia, *Oreochromis sp.*, farm: a case study. J. Fish. Dis. 32, 247-252.
 21. Toranzo, A. E., Devesa, S., Heinen, P., Riaza, A., Nunez, S., Barja, J. L. 1994. Streptococcosis in cultured turbot caused by an Enterococcus-like bacterium. Bull. Eur. Ass. Fish Pathol. 14, 19-19.
 22. Nho, S. W., Hikima, J. I., Cha, I. S., Park, S. B., Jang, H. B., del Castillo, C. S., Kondo, H., Hirono, I., Aoki, T., Jung, T. S. 2011. Complete genome sequence and immunoproteomic analyses of the fish bacterial pathogen *Streptococcus parauberis*. J. Bacteriol. 193, 3356-3366.
 23. Lee, K. I., Choi, C. H., Kim, S. M., Pyo, B. S. 2010. Antibacterial activity and enhancing antibiotic effect of extract and fractions from *Curcuma longa* against MRS A strain. Kor. J. Pharmacog. 41, 38-42.
 24. Lee, H. J., Kim, Y. R. 2007. 1,8-cineole from eucalyptus oil inhibits inflammatory reaction through suppression of prostaglandin generation via inhibition of cPLA2 expression. J. Kor. Soc. Cosmetol. 13, 381-389.
 25. Kim, C. H. 2011. Analyses of essential oil components and contents in *Artemisia* sp according to heat treatment s. Korean J. Food Cook Sci. 17, 273-284.
 26. Jeon, D. H., Moon, J. Y., Hyun, H. B., Kim, S. M. 2013. Composition analysis and antioxidant activities of the essential oil and the hydrosol extracted from *Rosmarinus officinalis* L. and *Lavandula angustifolia* Mill. produced in Jeju. J. Appl. Biol. Chem. 56, 141-146.
 27. Byun, Y. H., Shin, S. W. 2008. Analysis of composition and activity of essential oil from *Chrysanthemum zawadskii* var. latilobum and *C. indicum* against antibiotic-resistant pathogenic bacteria. Nat. Prod. Sci. 14, 138-142.
 28. Pinto, E., Goncalves, M. J., Oliveira, P., Coelho, J., Cavaleiro, C., Salgueiro, L. 2014. Activity of *Thymus caespitosus* essential oil and α -terpineol against yeasts and filamentous fungi. Ind. Crops Prod. 62, 107-112.
 29. Choi, I. Y., Song, Y. J., Lee, W. H. 2010. DPPH radical scavenging effect and antimicrobial activities of some herbal extracts. Korean J. Hortic. Sci. Technol. 28, 871-876.
 30. Woo, J. H., Mok, M. G., Park, K. W. 2010. Aroma components and antioxidant activities of pure lavender essential oil goods in different produced countries. Korean J. Hortic. Sci. Technol. 28, 138 - 143.
 31. Lee, S. Y., Lee, D. S., Cho, S. M., Kim, J. C., Park, M. J., Choi, I. G. 2021. Antioxidant properties of 7 domestic essential oils and identification of physiologically active components of essential oils against *Candida albicans*. J. Korean Wood Sci. Technol. 49, 23-43.
 32. Jeong, J. E., Yuk, Y. S., Kim, J. K. 2022. Comparison of antibacterial activity of 10 essential oils and oxacillin against *Staphylococcus epidermidis*. J. Converg. Inf. Technol. 12, 192-197.