



Xanthomonas campestris pv. *vesicatoria*에 대한 geraniol, thymol, *o*-vanillin의 항균 시너지 효과

김진성 · 김광민 · 강상우 · 김주연¹ · 김정윤¹ · 김진호*

경상국립대학교 농업생명과학연구원(IALS) 응용생명과학부 환경생명화학과

¹경상국립대학교 농업생명과학연구원(IALS) 제약공학과

Synergistic Antibacterial Effect of Geraniol, Thymol and *o*-vanillin Against *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*

Jin-Seong Kim, Kwang-Min Kim, Sang-Woo Kang, Ju-Yeon Kim¹, Jeong-Yoon Kim¹, Jin-Hyo Kim*

Department of Agricultural Chemistry, Division of Applied Biological Science, IALS, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

¹Department of Pharmaceutical Engineering, IALS, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Republic of Korea

(Received on October 17, 2023. Revised on November 13, 2023. Accepted on November 14, 2023)

Abstract *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* causes black rot in crop tissues, and the limited antibiotics are available for bacterial disease protection. In this study, 15 commercially available natural compounds were screened for their antibiotic activity against *X. campestris*, and identified the potent antibiotic activity of geraniol (MIC = 250 µg mL⁻¹), thymol (MIC = 125 µg mL⁻¹), and *o*-vanillin (MIC = 250 µg mL⁻¹). Geraniol, thymol, and *o*-vanillin were major components in palmarosa oil, thyme oil, and *Helichrysum oligocephalum* oil, respectively. The synergistic effect of the three antibiotic compounds was measured with the fractional inhibitory concentration (FIC) index, and the FIC values of the combination of thymol and geraniol, or thymol and *o*-vanillin were 0.75 as an additive effect. However, adding geraniol in the mixture of thymol and *o*-vanillin was not positively affected to express a synergistic antibacterial effect on *X. campestris*.

Key words *Xanthomonas campestris*, antibacterial, geraniol, thymol, *o*-vanillin, synergist

Introduction

*Xanthomonas campestris*는 Gram-negative 균으로 다양한 작물에서 세균점무늬병 및 검은썩음병의 원인균이 되며, 종자, 식물, 토양 등을 통한 전염성이 높아 작물 생산성에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2020; Kim et al., 2023). *X. campestris*는 일반적으로 잎의 수공을 통해 침투하여 물관에서 발병하며, 이병 종자에서는 3년, 토양에서는 하절기에 20일, 동절기에는 40일 가량 생존할 수 있는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2020). 검은썩음병 방제에는 무균종자 재배, 길항미생물 활용 및 병저항성 작물 등 생물

학적 방제와 항생제 계통의 농약을 사용하는 화학적 방제가 활용되고 있다(Park et al., 2022; Bae et al., 2023; Lee et al., 2023). 2023년 현재 콜라비, 브로콜리, 양배추, 방울다다기양배추에 발생하는 검은썩음병 방제에는 streptomycin, oxolinic acid, oxytetracycline, validamycin A, kasugamycin 등을 유효성분으로 하는 항생제 계통 품목들이 사용되고 있으나(KCPA 2023), 제한된 항생제 계통 약제의 반복적 사용으로 인한 약제저항성 균주발현과 이로 인한 방제가 감소가 종종 보고되고 있다(Sundin & Wang, 2018; Rodríguez et al., 1997; Herbert et al., 2022). 이러한 저항성 문제를 극복하기 위해서는 다양한 항생제 대체소재가 필요하며, 이를 위해 천연물을 중심으로 한 연구가 이루어지고 있으나, *X. campestris*에 대한 항균물질 연구는 상대적으로 부족하다(Mageshwaran et al., 2011; Mageshwaran et al., 2012; Delisle-

*Corresponding author
E-mail: jhkim75@gnu.ac.kr

Houde et al., 2021; Sreelatha et al., 2021; Kim et al., 2022; Varympopi et al., 2022; Kim JY et al., 2023).

최근에는 항생제를 대체하기 위한 수단으로 항균성 천연 물질 혹은 천연추출물을 활용한 생물농약이 적극적으로 연구되고 있으며, 이들 중 식물의 정유(essential oil)와 정유에 다량 함유되어 있는 monoterpenoid와 phenolic 물질은 다양한 병원성 미생물에 대한 항세균활성이 보고되고 있다(Kotan et al., 2007; Lee et al., 2021; Hakalová et al., 2022; Choi et al., 2023). 특히, 최근에는 단일물질에 의한 항세균활성 뿐만 아니라, 여러 성분에 의한 약효 상승효과를 평가하고, 이를 활용한 항균성 물질 복합제제 개발을 통하여 약제 저항성 발생을 억제할 수 있는 신규 소재 연구에 관심이 집중되고 있다(Xue et al., 2022; Zhang et al., 2022; Zhao et al., 2022; Kim et al., 2023; Satria et al., 2023; Tao et al., 2023). 이에 따라, 본 연구에서는 식물정유에 다량 함유되어 있으며, 다양한 용도로 활용되고 있는 monoterpenoid 성분과 저분자성 phenol 성분인 thymol 등 15종의 식물정유 성분을 대상으로 *X. campestris*에 대한 항세균활성을 평가하고, 이들 중 항균력이 우수한 성분을 대상으로 항균성 synergistic effect를 평가하였다.

Materials and Methods

표준품 및 시약

시험에 사용한 acacetin, apigenin, 3-carene, coumestrol, linalool, thymol은 TCI (Tokyo Chemical Industry Co., Ltd., Japan)에서 구매하였고 capsaicin, gallic acid, geranyl acetate, luteolin, nicotinamide, o-vanillin, sinapic acid, stigmasterol, tropine, dimethylsulfoxide (DMSO)는 Sigma-Aldrich (Sigma-Aldrich, Inc., St. Louis, MO, USA)에서 구매하였으며, geraniol은 Alfa Aesar (Alfa Aesar Co., Inc, USA) 제품을 사용하였다. 정유 분석에 사용한 acetone은 Burdick & Jackson™ (Honeywell International Inc, Morris Plains, NJ, USA)의 high-performance liquid chromatography (HPLC) grade를 사용하였다.

GC-MS 기기분석 조건

식물정유 중 주성분 분석은 Kim et al. (2023)의 방법에 따라 수행되었고, total ion chromatogram (TIC) 검출법을 통해 물질의 정성확인을 거친 후 selected ion mode (SIM) 검출을 통해 0.1% 이상 함유성분에 대해 정량 분석하였다.

균주 배양

시험에 사용한 균주인 *X. campestris* pv. *vesicatoria*는 전남바이오산업진흥원 친환경농생명연구센터(JBF, Jeollanam-do, Korea)로부터 분양 받아 사용하였다. 시험균주는 Luria-

Bertani (LB) broth (Difco™ LB Broth, Miller, BD, Franklin Lakes, NJ, USA)에 접종하고 30°C에서 48시간 동안 진탕배양기에서 배양하며, 항세균활성 시험균주의 농도는 약 1×10^8 cfu mL⁻¹이었다.

최소저해농도

시험에 사용된 15종의 monoterpenoid 및 phenolics는 DMSO로 2배씩 점진적으로 희석하였다. 96 well-plate에 균주배양액 10 µL를 185 µL의 멸균 LB 배지에 접종하고, DMSO에 녹여진 15종의 천연물질을 각각 5 µL를 첨가한 후, 시료가 처리된 배양액을 30°C에서 48시간 incubator에서 배양하였다. *X. campestris*가 성장하지 않은 처리구를 최소저해농도(minimum inhibition concentration, MIC)로 측정하였다.

항세균 시너지 효과

*X. campestris*에 대한 항세균활성이 확인된 물질간의 synergistic effect는 Kim 등(2023)의 방법에 따라, 분할저해농도(fractional inhibitory concentration, FIC) 지수로 평가하였다. 각 물질의 농도가 MIC 이하가 되도록 혼합한 후 균주배양액(약 1×10^8 cfu mL⁻¹)에 처리하고, 균이 성장하지 않는 처리구를 대상으로 FIC index를 아래의 식에 따라 산출하였다.

$$\text{FIC index} = \sum (\text{FIC}_A + \text{FIC}_B + \text{FIC}_C \dots)$$

$$\text{FIC}_A = \text{MIC}_{A+B+C\dots} / \text{MIC}_A, \text{ FIC}_B = \text{MIC}_{A+B+C\dots} / \text{MIC}_B, \text{ FIC}_C = \text{MIC}_{A+B+C\dots} / \text{MIC}_C$$

FIC index는 Kim 등(2023)이 구분한 방법에 따라, synergistic effect (FIC index ≤ 0.5), additive effect (0.5 ≤ FIC index ≤ 1), indifferent effect (1 ≤ FIC index ≤ 4), antagonistic effect (FIC index ≥ 4)로 구분하였다.

Results and Discussion

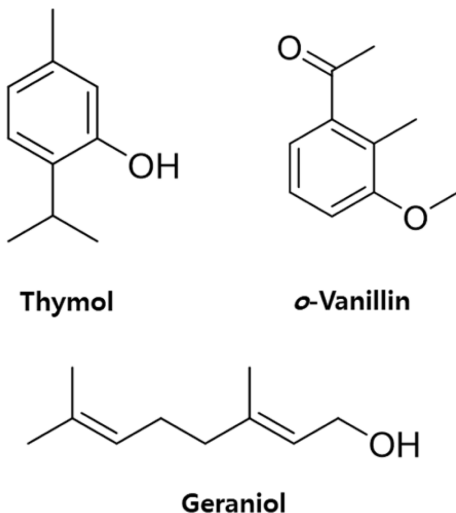
*X. campestris*에 대한 천연 휘발성 화합물의 항세균활성

식물정유의 주성분으로 알려진 15종의 terpenes 및 phenolics를 대상으로 *X. campestris*에 대한 항세균활성을 평가하였으며, 그 중 thymol, geraniol, o-vanillin에서 최소저해농도(minimal inhibition concentration, MIC)가 각각 125 µg mL⁻¹, 250 µg mL⁻¹ 와 250 µg mL⁻¹로 우수한 항세균활성을 확인할 수 있었다(Table 1).

Geraniol, thymol, o-vanillin은 palmarosa oil, thyme oil 그리고, *Helichrysum oligocephalum*정유의 주성분으로 알려져 있으며(Fig. 1), 정유의 주요성분은 Table 2에서 나타난 바와 같았다. 정유의 주성분에 대한 항세균활성은 다양한 균에서 보고되었으나(Kim et al., 2014; Vujic et al., 2020;

Table 1. MICs of natural compounds against *X. campestris* pv. *vesicatoria*

Components	^a MIC ($\mu\text{g mL}^{-1}$)
Thymol	125
Geraniol	250
<i>o</i> -Vanillin	250
Tropine	>1000
Apigenin	>1000
Capsaicin	>1000
Coumestrol	>1000
Gallic acid	>1000
Luteolin	>1000
Sinapic acid	>1000
3-Carene	>1000
Linalool	>1000
Stigmasterol	>1000
Acacetin	>1000
Nicotinamide	>1000

**Fig. 1.** Structure of geraniol, thymol, and *o*-vanillin.

Bezек et al., 2022; Kumar et al., 2022), 식물 병원균인 *X. campestris*에 대해서는 thyme oil의 주성분으로 알려진 thymol ($\text{MIC} = 195 \mu\text{g mL}^{-1}$)에 대해서만 보고되었다(Hakalová et al., 2022). 문헌자료에 따르면, geraniol을 주성분으로 하는 palmarosa oil은 다양한 균주에 대해 MIC가 80-10,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이었고, *o*-vanillin을 주성분으로 함유한 *Helichrysum oligocephalum* 정유는 $>150 \mu\text{g mL}^{-1}$ 수준으로 보고되었다(Vujic et al., 2020; Bezек et al., 2022; Kumar et al., 2022). 따라서, thymol, geraniol, *o*-vanillin 등을 주성분으로 하는 식물정유 또한 *X. campestris*에 대한 항세균활성을 기대해 볼 수 있었으며, 이들 중 손쉽게 확보 가능한 thyme oil과 palmarosa oil을 대상으로 *X. campestris*에 대한 MIC를 측정된 결과 각각 $125 \mu\text{g mL}^{-1}$ 에서 확인되었다. 하지만, thyme oil과 palmarosa oil은 $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ 미만에서 배추 등 식물 종자의 발아와 유근생장 억제 등 phytotoxicity 보고가 있었기 때문에(de Almeida et al., 2010; Choi et al., 2015), 이들 식물정유를 직접 병 방제에 활용하기는 어렵다고 판단하였다.

또한, 개별성분으로서 thymol은 최근 Sreelatha 등(2021)의 연구에서 *X. campestris*의 cell membrane disruption에 의한 biofilm생성억제가 주요 항균 작용기작으로 보고되었으며, *o*-vanillin은 진균류인 *Cryptococcus neoformans* 균에 대한 mitochondria ROS 유도기작이 주요 항진균 작용기작으로 보고된 바 있으나, 세균에 대한 작용기작은 아직 알려진 것이 없다(Kim et al., 2014).

Geraniol, thymol, *o*-vanillin의 항세균 시너지 효과

항세균활성이 나타난 3종의 저분자성 천연물질의 혼합에 의한 synergistic effect를 평가하고자 MIC를 기준으로 단계별로 희석한 혼합용액을 사용하여 checkboard analysis를 통해 확인한 FIC index를 Table 3과 같이 산출하였다.

Thymol과 geraniol 혹은 thymol과 *o*-vanillin을 사용한 경우 FIC index가 0.75까지 낮아지며 additive effect가 확인되

Table 2. The composition of the essential oils containing thymol, geraniol and *o*-vanillin (%)

	Thyme oil (<i>Thymus vulgaris</i>)	Palmarosa oil (<i>Cymbopogon martini</i>)	<i>Helichrysum oligocephalum</i> oil
Thymol	23.0 - 74.5	-	-
Geraniol	-	65.0 - 83.6	-
<i>o</i> -Vanillin	-	-	51.0
Carvacrol	2.0 - 8.0	-	16.0
Geranyl acetate	-	2.2 - 20.0	-
γ -Terpinene	5.5 - 50.0	-	-
p-Cymene	7.5 - 8.4	-	-
Reference	Borugă et al., 2014, Satyal et al., 2016, Mahboubi et al., 2017	Prashar et al., 2003, Raina et al., 2003 This study	Esmaeili et al., 2013

Table 3. FIC indexes for synergistic effect of thymol, geraniol, and *o*-vanillin on *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*

Combination of samples	Thymol	Geraniol	<i>o</i> -Vanillin	FIC index
	μg mL ⁻¹			
Thymol + Geraniol	62.5	62.5		0.75
Geraniol + <i>o</i> -Vanillin		125	125	1
Thymol + <i>o</i> -Vanillin	62.5		62.5	0.75
Thymol + Geraniol + <i>o</i> -Vanillin	62.5	25	62.5	0.85
Thymol + Geraniol + <i>o</i> -Vanillin	62.5	62.5	62.5	1

었으나, geraniol과 *o*-vanillin의 경우에는 특별한 synergistic effect가 확인되지 않았다. 특히, additive effect가 확인된 thymol과 *o*-vanillin 용액에 geraniol의 첨가량이 증가할수록 FIC index 또한 상승하는 것이 확인되어 geraniol을 thymol과 *o*-vanillin 용액에 첨가하는 것은 synergistic effect와 무관함을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통해 상업적 유통이 많으며, 가격이 저렴한 천연물질인 thymol, geraniol, *o*-vanillin의 *X. campestris*에 대한 항세균활성을 확인할 수 있었고, 특히 thymol과 geraniol 혹은 thymol과 *o*-vanillin의 혼합이 약효상승효과가 있음을 확인하였으며, 이를 활용한 검은썩음병 방제제 활용 가능성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 “2022년도 농촌진흥청 공동연구사업(RS-2021-RD009903)”의 지원을 받아 수행되었습니다.

Conflict of interest

The authors have no conflicts of interest.

Author Information and Contributions

JS Kim performed antibacterial tests and data collection, Ju-Yeon Kim and Jeong-Yoon Kim, and KM Kim performed antibacterial tests, SW Kang performed instrumental analysis and JH Kim supervised this study and wrote the manuscript.

Jin-Seong Kim, Department of Agricultural Chemistry, Division of Applied Biological Science, IALS, Gyeongsang National University, Master course, orcid.org/0000-0001-5154-2561

Kwang-Min Kim, Department of Agricultural Chemistry, Division of Applied Biological Science, IALS, Gyeongsang National University, Student, orcid.org/0009-0009-9891-0048

Ju-Yeon Kim, Department of Pharmaceutical Engineering, IALS, Gyeongsang National University, Master course

Jeong-Yoon Kim, Department of Pharmaceutical Engineering, IALS, Gyeongsang National University, Professor, <https://orcid.org/0000-0002-1943-6467>

Sang-Woo Kang, Department of Agricultural Chemistry, Division of Applied Biological Science, IALS, Gyeongsang National University, Master course, orcid.org/0000-0001-8965-8340

Jin-Hyo Kim, Department of Agricultural Chemistry, Division of Applied Biological Science, IALS, Gyeongsang National University, Professor, orcid.org/0000-0002-0341-7085

Literature cited

Bae JY, Lee DY, Oh KY, Jeong DK, Lee DY, et al., 2023. Photochemical advanced oxidative process treatment effect on the pesticide residues reduction and quality changes in dried red peppers. *Sci. Rep.* 13:4444. DOI 10.1038/s41598-023-31650-4.

Bezek K, Kramberger K, Barlic-Maganja D, 2022. Antioxidant and antimicrobial properties of *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don Hydrosol. *Antibiotics* (Basel) 11(8):1017. DOI 10.3390/antibiotics11081017

Boruga O, Jianu C, Misca C, Golet I, Gruia AT, et al., 2014. *Thymus vulgaris* essential oil: chemical composition and antimicrobial activity. *J. Med. Life.* 7(3):56-60.

Choi HJ, Sowndhararajan K, Cho NG, Hwang KH, Koo SJ, et al., 2015. Evaluation of herbicidal potential of essential oils and their components under In vitro and greenhouse experiments. *Weed Turf. Sci.* 4(4):321-329 (In Korean)

Choi JH, Son SH, Kim HR, 2023. Effect of structural variation of medium chain fatty acids on antibacterial activities against pathogenic bacteria. *J. Appl. Bio. Chem.* 66:73-80. (In Korean)

De Almeida LFR, Frei F, Mancini E, De Martino L, De Feo V, 2010. Phytotoxic activities of mediterranean essential oils.

- Molecules. 15(6):4309-4323. DOI 10.3390/molecules15064309
- Delisle-Houde M, Blais M, Tweddell RJ, Rioux D, 2021. Antibacterial activity of geraniin from sugar maple leaves: an ultrastructural study with the phytopathogen *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*. J. Plant Pathol. 103(2):461-471.
- Esmaili A, 2013. Biological activities and chemical composition of the stems and roots of *Helichrysum oligocephalum* DC grown in Iran. Pak. J. Pharm. Sci. 26(3):599-604 (Abstr.).
- Hakalova E, Cechova J, Tekielska DA, Eichmeier A, Pothier JF, 2022. Combined effect of thyme and clove phenolic compounds on *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* and biocontrol of black rot disease on cabbage seeds. Front. Microbiol. 13:1007988. DOI 10.3389/fmicb.2022.1007988
- Herbert A, Hancock CN, Cox B, Schnabel G, Moreno D, et al., 2022. Oxytetracycline and streptomycin resistance genes in *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni*, the causal agent of bacterial spot in peach. Front. Microbiol. 13:821808. DOI 10.3389/fmicb.2022.821808
- KCPA. 2023. Pesticide User Manual, Korea Crop Protection Association (KCPA). Website available: <https://new.koreacpa.org/ko/use-book/search/> (Accessed on October 13, 2023)
- Kim JH, Lee HO, Cho YJ, Kim JM, Chun JS, et al., 2014. A vanillin derivative causes mitochondrial dysfunction and triggers oxidative stress in *Cryptococcus neoformans*. PLoS one 9(2):e89122. DOI 10.1371/journal.pone.0089122
- Kim JY, Kim JY, Seo SJ, Seo MK, Kim JS, et al., 2022. Selective antibacterial activity of quercetin against *Xanthomonas campestris*. J. Appl. Biol. Chem. 65(2):101-105 (In Korean)
- Kim JY, Kim JY, Park JY, Kim JS, Seo MK, et al., 2023. Synergistic bactericidal effects of carvone and β -lactams against *Xanthomonas campestris* pv. *Vesicatoria*. Appl. Biol. Chem. 66:44. DOI 10.1186/s13765-023-00803-4
- Kotan R, Kordali S, Cakir A, 2007. Screening of antibacterial activities of twenty-one oxygenated monoterpenes. Z. Naturforsch C. J. Biosci. 62(7-8):507-513.
- Kumar CB, Kumar A, Rathore G, 2022. Antibacterial activity of palmarosa oil significantly varies between *Aeromonas veronii* and *Aeromonas caviae* and exhibits selective action on tetracycline and sulfonamide resistant *A. caviae*. J. Appl. Microbiol. 132(6):4321-4329.
- Lee HJ, Lee SI, Kwak YS, 2023. Evaluation of streptomycetes sensitivity of monilinia fructicola strain causing brown rot disease. Korean J. Pestic. Sci. 27(2):110-119. (In Korean)
- Lee SI, Kim WJ, Kim DR, Kwak YS, 2021. Evaluation of antibacterial and synergistic effect of lichen extracts with antibiotics against fire blight pathogen, *Erwinia amylovora*. Korean J. Pestic. Sci. 25(1):55-62. (In Korean)
- Lee SM, Choi YH, Kim HT, Choi GJ, 2020. Development of an efficient screening method for resistance of chinese cabbage cultivars to black rot disease caused by *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. Hortic. Sci. Technol. 38(4):547-558. (In Korean)
- Mageshwaran V, Walia S, Annapurna K, 2012. Isolation and partial characterization of antibacterial lipopeptide produced by *Paenibacillus polymyxa* HKA-15 against phytopathogen *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* M-5. World J. Microbiol. Biotechnol. 28(3):909-917.
- Mageshwaran V, Walia S, Govindasamy V, Annapurna K, 2011. Antibacterial activity of metabolite produced by *Paenibacillus polymyxa* strain HKA-15 against *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*. Indian J. Exp. Biol. 49(3):229-233.
- Mahboubi M, Heidarytabar R, Mahdizadeh E, Hosseini H, 2017. Antimicrobial activity and chemical composition of *Thymus* species and *Zataria multiflora* essential oils. Agric. Nat. Resour. 51(5):395-401.
- Park EJ, Kim YH, Park JY, Park CS, Kim YH, et al., 2022. Antibacterial activity of *Bacillus* sp. B19-108 against phytopathogen *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. Korean J. Pestic. Sci. 26(1):1-8. (In Korean)
- Prashar A, Hili P, Veness RG, Evans CS, 2003. Antimicrobial action of palmarosa oil (*Cymbopogon martinii*) on *Saccharomyces cerevisiae*. Phytochemistry 63(5):569-575.
- Raina VK, Srivastava SK, Aggarwal KK, Syamasundar KV, Khanuja SPS, 2003. Essential oil composition of *Cymbopogon martinii* from different places in India. Flavour Fragr. J. 18(4):312-315.
- Rodríguez H, Aguilar L, LaO M, 1997. Variations in xanthan production by antibiotic-resistant mutants of *Xanthomonas campestris*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 48(5):626-629.
- Satria D, Harahap U, Dalimunthe A, Septama AW, Hertiani T, et al., 2023. Synergistic antibacterial effect of ethyl acetate fraction of *Vernonia amygdalina* delile leaves with tetracycline against clinical isolate methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) and *Pseudomonas aeruginosa*. Adv. Pharmacol. Pharm. Sci. 2023:2259534. DOI 10.1155/2023/2259534
- Saty P, Murray BL, McFeeters RL, Setzer WN, 2016. Essential oil characterization of *Thymus vulgaris* from various geographical locations. Foods 5(4):70 DOI 10.3390/foods5040070
- Sreelatha S, Kumar N, Yin TS, Rajani S, 2022. Evaluating the antibacterial activity and mode of action of thymol-loaded chitosan nanoparticles against plant bacterial pathogen *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. Front. Microbiol. 12:792737. DOI 10.3389/fmicb.2021.792737
- Sundin GW, Wang N, 2018. Antibiotic resistance in plant-pathogenic bacteria. Annu. Rev. Phytopathol. 56:161-180. DOI 10.1146/annurev-phyto-080417-045946
- Tao Z, Geng D, Tao J, Wang J, Liu S, et al., 2023. Synergistic antibacterial effect and mechanism of allicin and an *Enterobacter cloacae* bacteriophage. Microbiol. Spectr. 11(1):e0315522. DOI 10.1128/spectrum.03155-22
- Varympopi A, Dimopoulou A, Papafotis D, Avramidis P, Sarris

- I, et al., 2022. Antibacterial activity of copper nanoparticles against *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* in Tomato Plants. *Int. J. Mol. Sci.* 23(8):4080. DOI 10.3390/ijms23084080
- Vujić B, Vidaković V, Jadranin M, Novaković I, Trifunović S, et al., 2020. Composition, antioxidant potential, and antimicrobial activity of *helichrysum plicatum* DC. Various Extracts. *Plants (Basel)* 9(3):337. DOI 10.3390/plants9030337
- Xue R, Chu X, Yang F, Liu Z, Yin L, et al., 2022. Imidazolium-Based polypeptide coating with a synergistic antibacterial effect and a biofilm-responsive property. *ACS. Macro. Lett.* 11(3):387-393.
- Zhang L, Zhang M, Ju R, Mujumdar AS, Liu K, 2022. Synergistic antibacterial mechanism of different essential oils and their effect on quality attributes of ready-to-eat pakchoi (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis*). *Int. J. Food Microbiol.* 379:109845. DOI 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109845
- Zhao X, Cui X, Yang Y, Zhu L, Li L, et al., 2022. Synergistic effect of quercetin on antibacterial activity of florfenicol against *Aeromonas hydrophila* In Vitro and In Vivo. *Antibiotics (Basel)* 11(7):929. DOI 10.3390/antibiotics11070929

Xanthomonas campestris pv. *vesicatoria*에 대한 geraniol, thymol, o-vanillin의 항균 시너지 효과

김진성 · 김광민 · 강상우 · 김주연¹ · 김정윤¹ · 김진호*

경상국립대학교 농업생명과학연구원(IALS) 응용생명과학부 환경생명화학과

¹경상국립대학교 농업생명과학연구원(IALS) 제약공학과

요약 배추 검은썩음병의 원인균인 *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*의 방제에는 항생체계통 약제가 사용되고 있으나, 최근 저항성 균주 발생의 우려로 대체 약제에 대한 연구의 필요성이 증대되고 있다. 본 연구에서는 15종의 천연물질을 대상으로 *X. campestris*에 대한 항세균활성을 평가하여, geraniol (MIC = 250 µg mL⁻¹), thymol (MIC = 125 µg mL⁻¹), o-vanillin (MIC = 250 µg mL⁻¹)에서 항균성을 확인하였다. 이들 성분은 문헌조사와 시료분석 결과 팔마로사, 타임, 국화과 식물인 *Helichrysum oligocephalum*의 식물정유의 주성분으로 알려져 있으며, 이들 물질이 갖는 *X. campestris*에 대한 항균성 synergistic effect를 분할저해농도지수 (fractional inhibitory concentration index, FIC index)를 산출하여 측정하였다. Thymol과 geraniol, 혹은 thymol과 o-vanillin 조합에서 FIC index값이 0.75로 additive effect가 확인되었으나, geraniol과 o-vanillin 조합에서 약효상승효과가 관찰되지 않았기에 o-vanillin이 포함된 제제에 geraniol을 첨가하는 것은 약효상승효과 발현에는 큰 도움이 되지 않음을 확인할 수 있었다.

색인어 *Xanthomonas campestris*, 항균, 제라니올, 티몰, o-바닐린, 약효상승