

이산화염소수를 활용한 오이 노균병 친환경방제

Environment-Friendly Control of Cucumber Downy Mildew Using Chlorine Dioxide

***Corresponding author**

Tel: +82-41-635-6113

Fax: +82-41-635-7923

E-mail: brkim@korea.kr

ORCID

<https://orcid.org/0000-0001-5257-184X>김병련^{1*} · 함수상¹ · 권미경¹ · 김윤정¹ · 김운섭¹ · 송정영² · 오상근³ · 주정일¹¹충청남도농업기술원, ²영바이오랩, ³충남대학교 응용생물학과Byung-Ryun Kim^{1*}, Soo-Sang Hahm¹, Mi-Kyung Kwon¹, Yun-Jeong Kim¹,
Woon-Seop Kim¹, Jeong-Young Song², Sang-Keun Oh³, and Jung-Il Ju¹¹Chungnam Agricultural Research and Extension Services, Yesan 32418, Korea²YoungBio Lab., Daejeon 15540, Korea³Department of Applied Biology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

Pseudoperonospora cubensis (downy mildew) is highly virulent to various Cucurbitaceae crops, including cucumber (*Cucumis sativus*). We tested chlorine dioxide application in a plastic greenhouse for environment-friendly control of downy mildew disease. Spraying diluted chlorine dioxide suppressed downy mildew disease with 41.2% control efficacy. Thermal fogging with chlorine dioxide had a high control efficacy of 80.9%, confirming that this approach is useful for environment-friendly downy mildew control. Using thermal fogging to control diseases that are greatly affected by humidity, such as downy mildew, may be more effective compared with conventional dilution spray control methods.

Keywords: Chlorine dioxide, Downy mildew, Environment-friendly control, *Pseudoperonospora cubensis*, Thermal fogging

Received November 15, 2021

Revised December 7, 2021

Accepted December 13, 2021

서 론

우리나라 오이 재배면적은 4,962 ha이며(노지 999, 시설 3,963) 연간 생산량은 366천톤(시설 324,815 t, 노지 41,250 t)으로, 대부분 시설재배로 생산된다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2020). 현재까지 우리나라에 발생하는 오이의 병해는 34종의 병원체가 관여하여 29종이 보고되어 있다(Korean Society of Plant Pathology, 2009). 이 중 전 세계적으로 발생하는 *Pseudoperonospora cubensis*에 의한 노균병은 오이, 멜

론, 참외, 수박, 호박 등 박과(Cucurbitaceae) 작물에서 발생하며(Kim 등, 2003), 잎의 활력 저하 및 조기낙엽을 유도하여 과실의 품질을 떨어뜨리는 매우 심각한 피해를 일으킨다(Lee 등, 2013a). 우리나라 오이의 재배는 주로 시설재배로 시설하우스 내의 환경조건이 병 발생을 좌우하며(Park 등, 1996), 노균병에 걸린 오이는 잎에 다각형의 노란색 병반이 형성되므로 이 병징으로 병 발생을 진단하기는 수월한 점이 있으나 일단 발병하면 수일 내 포장 전체로 급속히 번지기 시작하여 방제가 어려워지므로 병 발생 초기의 방제가 매우 중요하다(Kim 등, 2003). 이러한 이유로 오이 노균병의 방제는 저항성 품종을 이용하거나 화학약제에 의한 방제에 의존해 왔는데(Savory 등, 2011), 일반적으로 농가의 경험에 의한 예방적 관리에 의존하게 되며 이 경우 과도한 약제의 살포를 동반한다. 그 결과 농약잔류의 위험을 피

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

www.online-rpd.org

하기 어렵고, 노균병 방제에 사용된 메타락실, 아족시스트로빈, 크레속심메틸, 피라클로스트로빈 등 화학농약에 대한 저항성 균이 출현하여(Lebeda와 Cohen, 2012; Meng 등, 2017; Urban과 Lebeda, 2006; Zhao 등, 2012) 효과적인 방제가 이루어지지 않는 경우가 많기 때문에 오이 노균병에 대한 친환경적인 방제법 개발이 필요한 실정이다.

오이 노균병에 대한 생물적 방제연구로는 미생물농약 *Bacillus subtilis* KB-401와 *B. subtilis* DBB-15011를 혼용하여 70% 방제효과를 확인한 결과와(Kim 등, 2011), *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* CC110 균주는 오이 노균병균의 포자낭 변형을 유발하여 발생을 억제한다는 결과가 보고되었다(Lee 등, 2013c). 다른 연구들을 살펴보면 음이온성 계면활성제인 sodium dodecylbenzene sulfonate는 노균병에 대한 예방 효과가 우수하여 병원균 접종 전 처리로 85%의 방제효과를 확인하였다(Choi 등, 2004). 아인산염(phosphorous acid)은 경엽 처리시 오이 노균병을 82% 방제하였으며, 오이의 생육 또한 촉진하는 것으로 확인되었다(Chang 등, 2000). 이 외에도 저항성 품종과 보르도액 등 유기농업자재의 이용(Kim 등, 2018; Lee 등, 2013a), 순지르기와 같은 재배적 방법을 이용한 방제(Park 등, 2016) 등 다양한 연구가 수행되어왔지만 농가에서 실용화된 결과는 많지 않다.

이산화염소수는 식품 및 환경의 표면을 소독하기 위한 기존의 염소소독에 비해 물에 대한 용해성이 10배 높고 산화력도 2.5배 강하여 오염물질에 대한 분해 능력과 살균력이 우수한 것으로 알려져 있다(Ryu, 2007). 우리나라에서도 이러한 살균력으로 인하여 2007년 강산성차아염소산수, 미산성차아염소산수와 함께 이산화염소수가 과실류와 채소류의 살균제로 지정되었으며(Park 등, 2012), 최근에는 작물 병 방제용 유기농업자재로 등록되었다(National Agricultural Products Quality Management Service, 2021). 이산화염소(ClO_2)는 염소와 유사한 살균기작을 갖고 있지만 필요한 농도에 따라 희석 사용할 수 있는 장점이 있으며, 가열살균처리가 불가능한 신선 채소 등의 미생물 제어에 효과적이다(Benarde 등, 1965; Kim 등, 2009). 농산물에 오염되어있는 미생물을 제어하기 위한 이산화염소수 연구 결과로는 피망에 접종된 *Listeria monocytogenes* 균의 억제(Han 등, 2001), 줄기상추의 갈변 및 유통기한 향상을 위한 일반세균 세척(Chen 등, 2010), 대장균 및 *Salmonella* 제어를 위한 청경채 종자 소독(Choi 등, 2016) 등이 있다. 식물병원균에 대한 연구로 이산화염소수는 1.3 mg/l의 농도에서 관개수 중의 무름병균(*Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*) 및 풋마름병균(*Ralstonia solanacearum*)을 100% 불활성화시킨다고 보고되었다(Yao 등, 2010). 또한 이산화염소수는 수확 후

과실의 저장성 증가를 목적으로 사용된다(Mari 등, 2003; Roberts, 1994). Lee 등(2013b)은 오미자 수확 후 이산화염소수의 농도와 처리 시간에 따라 표면의 미생물 저감 효과가 있는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구는 우수한 살균력을 갖고 있으며, 친환경적 병해 관리가 가능한 이산화염소수를 이용하여 오이 노균병을 효과적으로 방제할 수 있는 처리법, 방제효과 등에 대한 검증을 그 목적으로 한다.

재료 및 방법

방제효과 검정. 오이 노균병 방제효과를 검정하기 위하여 충청남도농업기술원 내 시설포장(260 m²) 3개소를 이용하였다. 오이의 품종은 백다다기를 사용하였고, 정식 거리는 120×40 cm로 5월 중순 정식하였다. 시험을 수행한 시설포장은 시험 1년 전부터 오이를 재배하였고, 5월 정식부터 7월 수확, 8월 정식부터 10월 수확 등 2회의 재배기간 중 노균병은 정식 25일 후부터 자연발병하여 방제시험을 수행하기 충분한 발병도를 보였다. 이산화염소수 처리 방법은 희석분무살포와 가열연막처리로 구분하여 정식 20일 후부터 1주 간격으로 4회 처리하였다. 이산화염소수는 산소탄플러스(공시 3-4-031, 유효농도 3,000 ppm, Young Bio Lab, Daejeon, Korea)를, 가열연막처리를 위한 확산제는 하얀님(공시-1-5-087, Ilkwangbio, Nonsan, Korea)을 사용하였는데, 가열연막처리구는 260 m² 면적의 시설에 3,000 ppm 농도의 이산화염소수 200 ml와 확산제 350 ml를 혼합하여 가열연막기(분무량 40 l/hr, 911-Turbo, Ilkwangbio)로 연막 살포하였다. 희석분무살포 처리구는 이산화염소수를 1,000배 희석하여 동력분무기(30 kg/cm²)로 분무살포(0.5 l/m²)하였고, 대조구는 물을 분무살포하였다. 대조 처리구는 물 200 ml와 확산제 350 ml를 혼합하여 처리하였다. 살포된 연막은 시설하우스를 밀폐된 상태로 150분 동안 유지한 후 환기하였다.

처리 방법별 온습도 조사. 노균병 방제를 위한 이산화 염소수의 처리 방법별 환경변화를 조사하기 위하여 희석분무살포 처리구와 연막처리구에 각각 지상 1 m 높이에 온습도측정계(testo 174H, Testo SE & Co., Titisee-Neustadt, Germany)를 설치하여 약제처리 전후의 온습도 변화를 확인하였다. 검출 간격은 10분으로 하였고, 처리 전후 210분 동안의 자료를 비교하였다.

방제효과 조사. 이산화염소수 처리구의 노균병 방제효과 조사는 최종 방제제 처리 7일 후 조사하였다. 조사기준은 국립농업과학원의 농약등록시험 세부지침(National Institute of Agricultural Sciences, 2018)에 따라 발병도로 하였으며, 처리

구당 100엽(구당 10주, 주당 10엽)에 대한 병반면적률을 아래의 기준으로 조사한 후 발병도로 환산하였다.

$$\text{발병도}(\%) = \frac{\sum(\text{발병수} \times \text{계수})}{4N} \times 100$$

- 0: 발병없음
- 1: 병반면적률 1-5%
- 2: 병반면적률 5.1-20%
- 3: 병반면적률 20.1-50%
- 4: 병반면적률 50.1% 이상
- N: 조사엽수

이산화염소수의 처리 방법별 병 발생 정도 비교는 R 프로그램 version 4.1.1 (R Core Team, 2017)을 이용하여 Duncan 다중검정으로 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

오이 노균병은 5월 정식 이후 6월 초부터 발병이 시작된다. 초기에는 소형 황색 반점(Fig. 1A)을 형성하면서 시작되는데, 다각형 병반은 유합되어 확대되고(Fig. 1B) 나중에는 고사되는 병반부위가 잎 전체로 확대된다(Fig. 1C). 오이 노균병에 대한 유기농업자재 이산화염소수의 방제효과를 확인한 결과, 이산화염소수를 희석분무살포한 경우 방제효과는 41.5%로 낮았다(Table 1). 잎에 형성된 노균병의 병징은 병반의 유합 및 확대가 일어났고, 일부 고사 병반도 확인되었다(Fig. 2A). 노균병의 발병에 미치는 온도 범위는 5-28°C로 비교적 넓지만, 최소 2시간 이상의 잎젖음 시간이 발병에 필요(Lee 등, 2013d)하며, 비가 많이 오고 습한 시기에 발병과 전염이 증가(Park 등, 2016)하는 것으로 알려져 있다. 따라서 방제를 위한 희석액의 대량 살포는 제한적인 시설 내의 습도를 상승시켜 효과적인 방제를 저해하는

Table 1. Effect of treatment methods using chlorine dioxide for the control of downy mildew on cucumber in plastic greenhouse

Treatment	Disease severity (%)	Control efficacy (%) ^a
Leaf spraying ^b	22.5±1.2 b ^c	41.5
Thermal fogging ^d	7.4±1.0 c	80.9
Thermal fogging only with diffusing agent	37.5±0.6 a	2.6
Untreated control	38.5±0.8 a	-

$$\text{Control efficacy}(\%) = 1 - \frac{\text{Disease severity of treated plot}}{\text{Disease severity of untreated plot}} \times 100$$

^bSpray with chlorine dioxide solution(3 ppm) on the cucumber leaves 4 times with 7-day intervals.

^cValues designated by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test (P=0.05).

^dGround fogging with a mixture of chlorine dioxide and diffusing agent in the plastic greenhouse 4 times with 7-day intervals.

것으로 판단되었다. 또한 오이 노균병균은 상대습도 90%의 환경에서 몇 개의 포자만으로도 노균병 병반을 형성시킬 수 있으며(Sun 등, 2017), 온도, 강우 등 다양한 환경요인 중에서 상대습도가 노균병 발병에 가장 중요한 요인이라고 보고된 바 있다(Sharma 등, 2003). 실제 본 연구에서도 이산화염소수 희석액을 분무살포한 직후 시설 내의 습도는 급격히 증가하여 약 2시간 동안 상대습도의 상승을 확인할 수 있었다(Fig. 3A). 반면 이산화염소수를 확산제화 혼합하여 가열연막살포한 경우에는 80.9%의 높은 방제효과를 보였다(Table 1). 잎에 형성된 노균병 병징은 초기 병반에서 전혀 진전되지 못하고 정지된 상태를 유지하였다(Fig. 2B). 연막살포는 약액 성분을 고르게 시설 내에 포화시키고, 습도의 상승 또한 없기 때문에 효과적인 방제가



Fig. 1. Symptomatic development of downy mildew on cucumber leaves. Each picture represents early (A), mid- (B), and late (C) stage of disease progress of downy mildew. Pictures were obtained 3, 7, and 15 days post-infection for early, mid-, and late disease symptoms, respectively.

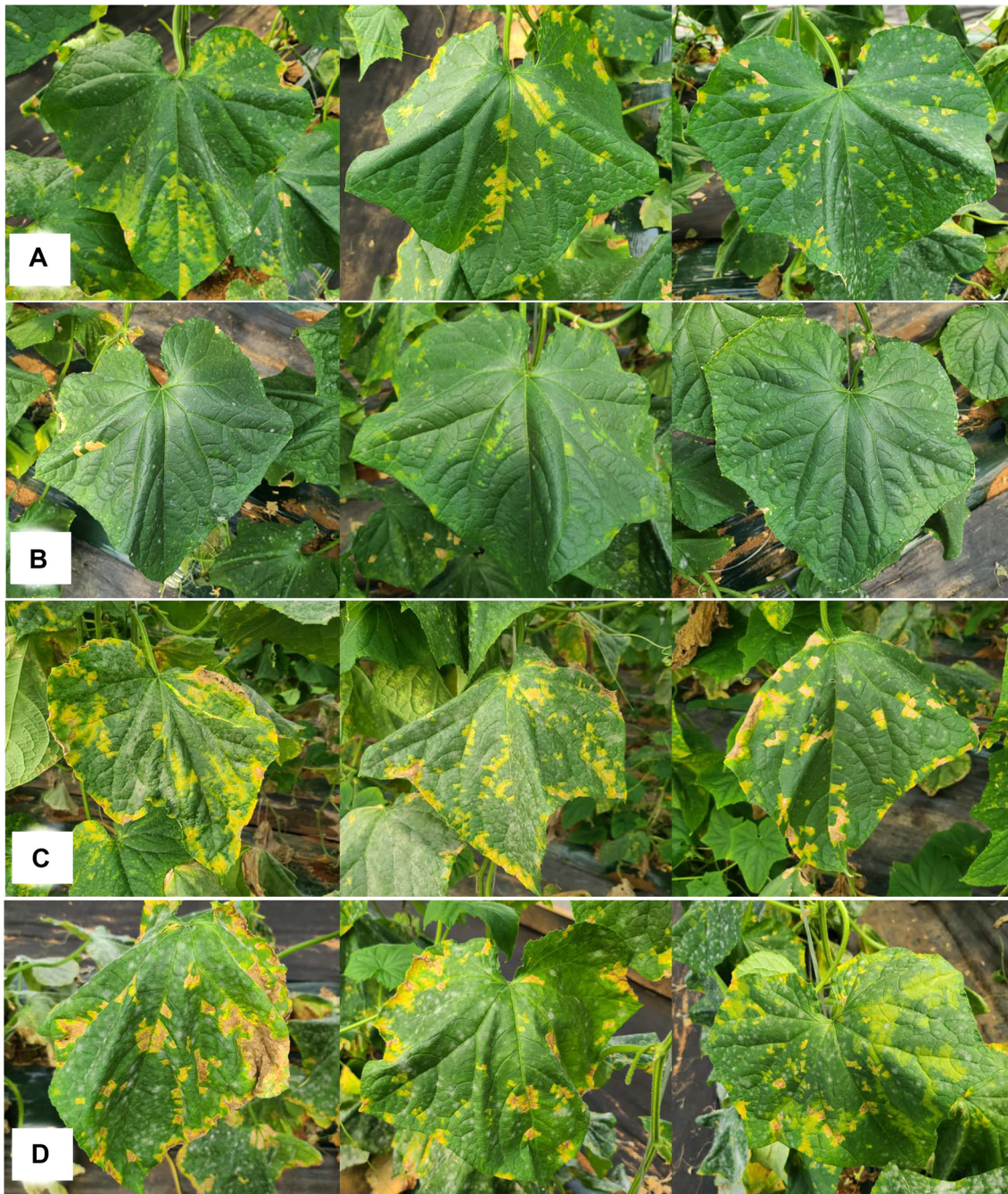


Fig. 2. Suppression of downy mildew disease by the treatment methods of chlorine dioxide in plastic greenhouse test. Pictures for disease symptoms of downy mildew were taken at 28 days post-infection: leaf spraying (A), thermal fogging (B), thermal fogging only with diffusig agent (C), and untreated control (D).

능하였고, 연막을 가두기 위하여 밀폐시킨 시설의 온도상승 범위는 3°C 이내였다(Fig. 3B). 특히 연막방제의 시작 시간을 일몰 이후 실시하면 온도변화에 대한 부담을 최소화할 수 있가 때문에 효과적인 방제가 가능할 것으로 판단되었다.

가열연막 방제 시 확산제와 물을 혼합하여 처리한 경우 방제 효과는 무처리와 유의적인 차이가 없었고(Table 1), 병징의 형태

또한 무처리의 병징과 차이 없이 잎의 전체적인 고사가 시작되었다(Fig. 2C). 따라서 이산화염소수의 연막방제에서 나타난 높은 방제효과에 확산제의 영향은 없는 것을 알 수 있었다.

농산물의 세척 및 소독제로 사용되고 있는 이산화염소는 식물 병원균의 제어를 목적으로 사용되었는데, 이산화염소 가스를 이용하여 블루베리 과실 표면의 탄저병균 포자를 100배 이

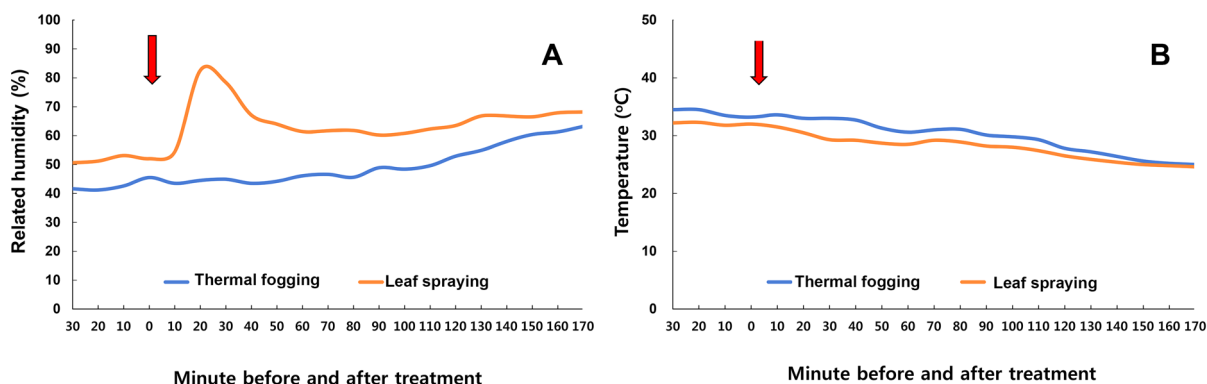


Fig. 3. Changes in humidity (A) and temperature (B) in plastic greenhouses before and after treatment with chlorine dioxide by thermal fogging and leaf spraying. The arrow indicates when chlorine dioxide was treated.

상 감소시키거나(Sun 등, 2014), 토마토에 상처를 주고 *E. carotovora* subsp. *carotovora*를 접종한 후 99 mg의 이산화염소 가스에 노출시키면 무름병 발병을 완벽하게 억제(Mahovic 등, 2007)하는 보고가 있어 식물 병 방제제로서의 활용에 가능성을 보여주었다.

본 연구에서도 이산화염소수는 오이 노균병의 발병을 억제하는 데 충분한 효과가 있었다. 이번 연구의 결과는 오이 노균병의 친환경 방제 방법을 제시하고, 가열연막을 이용한 방제는 발병에 습도의 영향이 큰 여러 작물 병해에 대하여 발병환경을 억제함으로써 방제 효과를 더욱 높일 수 있을 것으로 기대되며, 현재 화학농약만으로 형성된 오이 노균병 방제제 시장을 유기농업자재로 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

*Pseudoperonospora cubensis*는 오이를 포함한 박과작물에 강한 병원성을 나타낸다. 이러한 노균병의 친환경 방제를 위하여 이산화염소수를 적용하였는데, 희석 분무살포하는 경우에 41.2%의 방제효과가 있었지만, 가열연막살포한 경우에는 80.9%의 높은 방제효과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과로 노균병과 같이 습도에 큰 영향을 받는 병해의 친환경 방제 시 연막 방제는 기존의 희석살포 방제법보다 더욱 효과적으로 적용 가능한 것을 확인할 수 있었다.

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgments

This work was carried out with the support of Cooperative Research Program for Development of Industrialization Technology to Crop Viruses and Pests(Project No. 120086052HD030), Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry, Korea.

References

- Benarde, M. A., Israel, B. M., Olivieri, V. P. and Granstrom, M. L. 1965. Efficiency of chlorine dioxide as a bactericide. *Appl. Microbiol.* 13: 776-780.
- Chang, T. H., Lim, T. H., Kim, I. Y., Choi, G. J., Kim, J.-C., Kim, H. T. et al. 2000. Effect of phosphorous acid on control of phytophthora blight of red-pepper and tomato, and downy mildew of cucumber in the greenhouse. *Korean J. Pestic. Sci.* 4: 64-70. (In Korean)
- Chen, Z., Zhu, C., Zhang, Y., Niu, D. and Du, J. 2010. Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on enzymatic browning and shelf-life of fresh-cut asparagus lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Post-harvest Biol. Technol.* 58: 232-238.
- Choi, G.-J., Yu, J.-H., Jang, K.-S., Kim, H.-T., Kim, J.-C. and Cho, K.-Y. 2004. *In vivo* antifungal activities of surfactants against tomato late blight, red pepper blight, and cucumber downy mildew. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 47: 339-343. (In Korean)
- Choi, S., Beuchat, L. R., Kim, H. and Ryu, J. H. 2016. Viability of sprout seeds as affected by treatment with aqueous chlorine dioxide and dry heat, and reduction of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* on pak choi seeds by sequential treatment with chlorine dioxide, drying, and dry heat. *Food Microbiol.* 54: 127-132.
- Han, Y., Linton, R. H., Nielsen, S. S. and Nelson, P. E. 2001. Reduction of *Listeria monocytogenes* on green peppers (*Capsicum annuum* L.) by gaseous and aqueous chlorine dioxide and water

- washing and its growth at 7°C. *J. Food Prot.* 64: 1730-1738.
- Kim, G. H., Park, J. Y., Cha, J. H., Jeon, C. S., Hong, S. J., Kim, Y. H., et al. 2011. Control effect of major fungal diseases of cucumber by mixing of biofungicides registered for control of powdery mildew with other control agents. *Korean J. Pestic. Sci.* 15: 323-328. (In Korean)
- Kim, M.-H., Kim, Y.-J., Kim, K.-S., Song, Y.-B., Seo, W.-J., and Song, K. B., 2009. Microbial changes in hot peppers, ginger, and carrots treated with aqueous chlorine dioxide or fumaric acid. *Korean J. Food Preserv.* 16: 1013-1017. (In Korean)
- Kim, Y.-K., Ryu, J.-D., Ryu, J.-G., Lee, S. Y. and Shim, H.-S. 2003. Control of downy mildew occurred on cucumber cultivated under plastic film house condition by optimal application of chemical and installation of ventilation fan. *Korean J. Pestic. Sci.* 7: 223-227. (In Korean)
- Kim, Y.-K. Park, S.-H., Um, D.-O., Hong, S.-J., Cho, J.-L., Ahn, N.-H. et al. 2018. Control of cucumber downy mildew using resistant cultivars and organic materials. *Res. Plant Dis.* 24: 153-161. (In Korean)
- Korean Society of Plant Pathology. 2009. List of Plant Disease in Korea. 5th ed. The Korean Society of Plant Pathology, Suwon, Korea. 853 pp.
- Lebeda, A. and Cohen, Y. 2012. Fungicide resistance in *Pseudoperonospora cubensis*, the causal pathogen of cucurbit downy mildew. In: Fungicide Resistance in Crop Protection: Risk and Management, ed, by T. S. Thind, pp. 44-63. CABI, Wallingford, UK.
- Lee, J.-S., Han, K.-S., Lee, S.-C. and Soh, J.-W. 2013a. Screening for resistance to downy mildew among major commercial cucumber varieties. *Res. Plant Dis.* 19: 188-195. (In Korean)
- Lee, S. Moon, H.-K., Lee, S.-W., Moon, J.-N., Lee, S.-H. and Kim, J.-K. 2013b. Enhanced antimicrobial effectiveness of Omija (*Schizandra chinensis* Baillon) by ClO₂ (chlorine dioxide) treatment. *Korean J. Food Preserv.* 20: 871-876. (In Korean)
- Lee, S. Y., Weon, H. Y., Kim, J. J. and Han, J. H. 2013c. Cultural characteristics and mechanism of *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* CC110 for biological control of cucumber downy mildew. *Korean J. Pestic. Sci.* 17: 428-434. (In Korean)
- Lee, S. Y., Weon, H. Y., Kim, J. J. and Han, J. H. 2013d. Selection of *Bacillus amyloliquefaciens* CC110 for biological control of cucumber downy mildew caused by *Pseudoperonospora cubensis*. *Korean J. Mycol.* 41: 261-267. (In Korean)
- Mahovic, M. J., Tenney, J. D. and Bartz, J. A. 2007. Applications of chlorine dioxide gas for control of bacterial soft rot in tomatoes. *Plant Dis.* 91: 1316-1320.
- Mari, M., Bertolini, P. and Pratella, G. C. 2003. Non-conventional methods for the control of post-harvest pear diseases. *J. Appl. Microbiol.* 94: 761-766.
- Meng, R., Han, X. Y., Wu, J., Zhao, J. J., Lu, F. and Wang, W. Q. 2017. Resistance dynamics of *Pseudoperonospora cubensis* to metalaxyl and azoxystrobin and control efficacy of seven fungicides against cucumber downy mildew in Hebei Province. *J. Plant Prot.* 44: 849-855.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2020. The Numerical Statement of Agriculture. Food and Rural Affairs, Sejong, Korea, pp. 98-99.
- National Agricultural Products Quality Management Service. 2021. List of Organic Materials. National Agricultural Products Quality Management Service, Gimcheon, Korea.
- National Institute of Agricultural Sciences. 2018. Pesticide Registration Test: Pesticide Efficacy and Crop Safety Guidelines, Fungicide Section. National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, Korea, pp. 423-425.
- Park, J.-W., Kim, Y.-K., Park, S.-H., Hong, S.-J., Shim, C.-K., Kim, M.-J. et al. 2016. Effect of organic materials and the removal of apical shoot on controlling cucumber downy mildew. *Korean J. Org. Agric.* 24: 919-929. (In Korean)
- Park, S.-D., Kwon, T. Y., Lim, Y.-S., Jung, K. C. and Choi, B.-S. 1996. Disease survey in melon, watermelon, and cucumber with different successive cropping periods under vinylhouse conditions. *Korean J. Plant Pathol.* 12: 428-431. (In Korean)
- Park, S. S., Sung, J. M., Jeong, J. W., Park, K. J. and Lim, J. H. 2012. Efficacy of electrolyzed water and aqueous chlorine dioxide for reducing pathogenic microorganism on Chinese cabbage. *Korean J. Food Sci. Technol.* 44: 240-246.
- Roberts, R. G. 1994. Integrating biological control into postharvest disease management strategies. *Hortic. Sci.* 29: 758-762.
- R Core Team. 2017. R foundation for statistical computing ver. 3.4.0. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ryu, S.-H. 2007. Effects of aqueous chlorine dioxide against *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* on broccoli served in foodservice institutions. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 36: 1622-1627. (In Korean)
- Savory, E. A., Granke, L. L., Quesada-Ocampo, L. M., Varbanova, M., Hausbeck, M. K. and Day, B. 2011. The cucurbit downy mildew pathogen *Pseudoperonospora cubensis*. *Mol. Plant Pathol.* 12: 217-226.
- Sharma, D. R., Gupta, S. K. and Shyam, K. R. 2003. Studies on downy mildew of cucumber caused by *Pseudoperonospora cubensis* and its management. *J. Mycol. Plant Pathol.* 33: 246-251.
- Sun, S., Lian, S., Feng, S., Dong, X., Wang, C., Li, B. et al. 2017. Effects of temperature and moisture on sporulation and infection by *Pseudoperonospora cubensis*. *Plant Dis.* 101: 562-567.
- Sun, X., Bai, J., Ference, C., Wang, Z., Zhang, Y., Narciso, J. et al. 2014. Antimicrobial activity of controlled-release chlorine dioxide gas on fresh blueberries. *J. Food Prot.* 77: 1127-1132.
- Urban, J. and Lebeda, A. 2006. Fungicide resistance in cucurbit downy mildew: methodological, biological and population aspects. *Ann. Appl. Biol.* 149: 63-75.
- Yao, K.-S., Hsieh, Y.-H., Chang, Y.-J., Chang, C.-Y., Cheng, T.-C. and Liao, H.-L. 2010. Inactivation effect of chlorine dioxide on phytopathogenic bacteria in irrigation water. *J. Environ. Eng. Manage.* 20: 157-160.
- Zhao, X., Ren, L., Yin, H., Zhou, J., Han, J. and Luo, Y. 2012. Sensitivity of *Pseudoperonospora cubensis* to dimethomorph, metalaxyl and fosetyl-aluminium in Shanxi of China. *Crop Prot.* 43: 38-44.