

RESEARCH ARTICLE

한국잔디 라이족토니아마름병 방제에서 비이온성 계면활성제의 시너지 효과

김영선^{1,2} · 이창은³ · 이금주^{4*}

¹대구대학교 생명환경학부(원예학전공), ²대구대학교 자연과학연구소, ³주씨앤엘케미컬, ⁴충남대학교 원예학과/스마트농업학과

Synergy Influences of Non-ionic surfactant on Control of Large Patch in Zoysiagrass (*Zoysia japonica*)

Young-Sun Kim^{1,2}, Chang-Eun Lee³, Geung-Joo Lee^{4*}

¹Division of Life & Environmental Science (Horticulture Major), College of Natural and Life Sciences, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

²Institute of Basic Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

³C&L Chemical Co. Ltd., Seoul 03938, Korea

⁴Department of Horticulture and Department of Smart Agriculture Systems, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

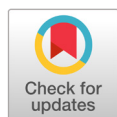
Abstract

This study was conducted to evaluate synergy effects of non-ionic surfactant on control of large patch diseases caused by *Rhizoctonia solani* AG 2-2 (IV) on zoysiagrass with tebuconazole. After applied with surfactant and tebuconazole, control efficacy of large patch in the pot and plot tests was 47.8-52.9% and 94.5-98.8%, respectively. Compared to T treatment, the effects of T+K, T+1/2K, and 1/2T+K treatments on large patch control were not significantly different. These result indicated that the application of tebuconazole fungicide in zoysiagrass was still valid in the control of large patch disease, and the non-ionic surfactant was useful in maintaining the similar disease control effect even with the reduced fungicide application.

Key word: Control efficacy, Large patch, Non-ionic surfactant, Tebuconazole, Zoysiagrass

서 언

Rhizoctonia spp.는 한국잔디(*Zoysia japonica*)에서 라이족토니아마름병, 누른잎마름병(봄마름병), 및 라이족토니아잎마름병을 일으키는 식물병원균이다(Shim et al., 1994). 그 중에서도 *Rhizoctonia solani* AG 2-2 (IV)은 한국잔디에서 라이족토니아마름병을 일으키는 식물병원균이



OPEN ACCESS

*Corresponding Author:

Tel) +82-42-821-5734

Fax)+82-42-821-8888

E-mail) gjlee@cnu.ac.kr

Received: June 03, 2020

Revised: June 27, 2020

Accepted: June 29, 2020

© 2020 The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

며, 주로 잔디의 근권층이나 대취층에 서식한다(Kim et al., 2015; Ryu et al., 2014). 골프장 잔디는 오랫동안 한 곳에서 생육하게 되며, 토양병원균에 오염되는 경우 지속적으로 병이 발생하여 잔디의 품질과 생육을 감소시킨다(Shim and Kim, 1995). 국내에서 라이족토니아마름병은 봄철과 가을철에 주로 발생하며(Shim and Kim, 1995), 갱신작업을 통한 토양 환경 개선 및 작물보호제의 살포를 통해 방제하게 된다(Kim et al., 2010; Kim et al., 2019).

식물의 잎을 통해 살균제를 처리하는 경우 잎의 앞면보다 뒷면에 처리하는 것이 흡수율이 높지만 골프장의 잔디는 예고가 낮고, 단위면적당 밀도가 높아 잎의 뒷면에 약제를 처리하는 것이 어렵다(Ahn et al., 1992). 또한 잔디에 발생하는 병원균이 주로 근권층에 서식하는 경우가 많아 살균제를 엽면으로 처리하는 것보다는 관주처리하여 방제한다(Kim et al., 2018). 라이족토니아마름병 방제에 사용되는 대부분의 작물보호제는 선단이행성 약제로서 뿌리로 흡수되어 물관을 통해 지상부로 이동되며, 부분적으로는 경엽을 통해 흡수되기도 한다(Benelli et al., 2018). 그러므로 잔디 관리에서 농약의 흡수를 촉진시키고, 약효를 증진시키며, 약효 지속 효과를 증진시키기 위해서 작물보호제와 함께 계면활성제를 사용하고 있다(Yu et al., 2002).

계면활성제는 농약 용액이 잎의 표면에 쉽게 부착되어 넓게 퍼지게 하는 습전제, 부착된 농약이 물리적 요인에 의해 소실되지 않도록 하는 고착제, 그리고 습전제와 고착제의 역할을 동시에 수행하는 전착제 등을 포함한다(Yu et al., 2002). 계면활성제는 식물 잎의 큐티클층을 통과하여 농약의 엽면 침투 효과를 개선하는 것으로 알려져 있다(Yu et al., 2002). 이 외에도 잔디 관리에서는 토양이 물리적 또는 화학적 원인 때문에 습윤화 되지 않아 건조에 의해 발생한 드라이스팟(localized dry spot)을 방제하기 위해 사용하고 있다(Ahn et al., 1992).

Lee and Lee (1995)는 tebuconazole이 한국잔디에 발생한 라이족토니아마름병의 방제 효과가 우수하다고 보고하였다. Tebuconazole은 트리아졸계 농약으로서 라이족토니아마름병, 누른잎마름병, 라이족토니아잎마름병, 동전마름병, 탄저병 방제에 사용되는 살균제이며(Kim et al., 2010; Kim et al., 2018), 균사의 sterol생합성을 억제하여 생장을 억제하는 선단이행성 침투 살균제다(Zam et al., 2003). 침투성 살균제인 tebuconazole은 보호 살균제인 chlorothalonil보다 강우나 관수 및 예초에 의한 손실이 적기 때문에 잔디의 병 방제에서 긴 약효 지속 기간을 나타낸다(Latin, 2006). Yu et al. (2002)은 계면활성제가 식물에서 침투성 살균제의 흡수를 촉진하여 병방제 효과 및 약효 지속 기간을 증가시킨다고 보고하였다. 또한 농약의 유효성분은 비이온성을 나타내기 때문에 약제 특성을 안정적으로 유지하기 위해 비이온성 계면활성제를 주로 사용하게 된다고 알려져 있다(Yu et al., 2002). 따라서 본 연구는 tebuconazole과 비이온성 계면활성제를 처리한 후 라이족토니아마름병 방제 효과를 조사하였으며, 협력제로 비이온성 계면활성제의 효과를 평가하였다.

재료 및 방법

시험기간 및 공시재료

본 연구는 2013년 10월부터 2014년 9월까지 12개월 동안 대전광역시 소재의 대덕사이언스 골프장의 러프와 H사 연구용 온실에서 수행되었다. 공시 잔디는 1997년 식재되어 약 17년간 러프에서 관리된 들잔디 (*Z. japonica*)를 이용하였다. 공시약제는 *Rhizoctonia* spp. 방제에 사용되는 살균제인 테부코나졸 유제(tebuconazole EC [T], FarmHannong Co., Seoul, Korea)와 limonene으로부터 추출한 천연 비이온성 계면활성제 (non-ionic surfactant [K; TMKICK], Compo Expert Co., Krefeld, Germany)를 사용하였다. 공시병원균은 농촌진흥청 농업미생물은행(Korean Agricultural Culture Collection, KACC)에서 분양 받은 라이족토니아마름병 균주(*Rhizoctonia solani* AG2-2 [IV])를 사용하였다. 공시토양은 USGA규격에 적합한 모래 입경을 갖는 모래를 포트 시험에 이용하였고, 시험포장에서는 골프장 조성 시 이용되었던 모래를 공시토양으로 이용하였다.

포트 시험

공시 모래를 시험용 포트 (diameter 15 cm, depth 15 cm)에 충전한 후 수돗물로 물다짐하여 사용하였다. 대덕사이언스 골프장의 러프에서 수집한 한국잔디를 5 cm 깊이로 절단한 후 시험용 포트에 이식하였다. 잔디가 활착된 포트 조성 4주 후 공시 균주를 접종하였다. 공시 균주 접종을 위해 potato dextrose agar (PDA)에 배양하고, 배양된 균주와 모래를 적절하게 혼합하여 300 g m²의 양으로 배토하였고, 투명한 비닐로 멀칭하여 대기습도가 80% 이상 되도록 관리하였다.

처리구는 대조구(control; no fertilizer), tebuconazole 처리구(T; 0.125 a.i. T g m⁻²) 및 tebuconazole과 비이온성 계면활성제 혼합 처리구(T+K, 0.125 a.i. T g m⁻²+0.25 K g m⁻²; T+1/2K, 0.125 a.i. T g m⁻²+0.125 K g m⁻²; 1/2T+K, 0.063 a.i. T g m⁻²+0.25 K g m⁻²)로 구분하였다.

실험 포트의 크기는 1/6000 a였고, 실험구 배치는 완전임의배치법(3반복)으로 배치하였다. 살균제와 비이온성 계면활성제는 각 처리구별 사용량에 준하여 수돗물로 희석한 후 약제 희석액(1 L m⁻²)를 압축분무기(Trigger sprayer 700, Apollo Industrial Co., Siheung, Korea)를 이용하여 처리하였고, 약제의 처리는 3회(6/19, 6/26 및 7/3) 실시하였다. 시험기간 중 위조가 발생하지 않도록 수돗물을 이용하여 공급하였다.

약제 처리 후 한국잔디의 잔디 품질과 방제율을 조사하였다. 잔디 품질은 National Turfgrass Evaluation Program (NTEP)의 평가 방법에 준하여(1=worst, 9=best and 6=acceptable) 4회(6/19, 6/26, 7/3, 7/10) 조사하였고, 병 방제율은 최종 약제 처리 1주 후에 1회 조사하였다.

포장 시험

실험포장은 2014년 봄철에 라이족토니아마름병이 발생하여 회복되었으나 병반 흔적이 남아 있는 지역을 선택하였고, 각 처리구의 발병흔적비율이 50%가 되도록 처리구를 설정하였다(Kim et al., 2019).

라이족토니아마름병 처리구는 포트 시험과 동일하게 설정하였고, 실험 포장의 크기는 0.5 m² (0.5 m × 1 m)였고, 실험구 배치는 난괴법(3반복)으로 하였다. 처리구별 약제의 처리는 압축분무기를 이용하여 포트시험과 동일하게 수행하였고, 약제의 처리는 8월 26일, 9월 2일 및 9월 9일에 3회 실시하였다.

약제 처리 후 한국잔디의 잔디 품질과 방제율은 각각 4회(8/26, 9/2, 9/9, 9/16)와 1회(9/16)에 조사하여 약해 및 약효를 평가하였다(RDA, 2010). 처리구별 라이족토니아마름병의 방제율은 시험 포장의 처리구에 발생한 라이족토니아마름병의 발병 면적을 측정하여 발병 면적율을 조사한 후 아래 식을 이용하여 라이족토니아마름병 방제율을 평가하였다.

$$\text{라이족토니아마름병 방제율(\%)} = (1 - \text{처리구의 발병 면적율 평균} / \text{대조구의 발병 면적율 평균}) \times 100 \quad (1)$$

통계분석

통계처리는 SPSS (ver. 12.1.1, IBM, New York, USA)을 이용하여 Duncan 다중검정을 통해 처리구간 평균값의 유의차를 검정하였다.

결과

포트 시험

R. solani AG2-2 (IV)를 접종하여 라이족토니아마름병이 발생한 포트에 비이온성 계면활성제와 테부코나졸 유제를 처리한 후 한국잔디 생육 변화를 평가하기 위해 시각적 품질을 조사하였다(Table 1). 시험 전 한국잔디의 품질은 5.3-5.7로 통계적 유의차가 나타나지 않아 시험에 적합하였다. 대조구와 비교할 때, T+K처리구는 약제 처리 7일 경과 후부터

잔디의 가시적 품질이 높게 나타났다. 약제 3회 처리 후 7월 10일 조사에서 약제 처리구들의 잔디 품질은 대조구보다 잔디 품질이 높았고, T+K, T+1/2K 및 1/2T+K 처리구들은 T와 통계적 유의차가 나지 않아 계면활성제 K의 처리에 의한 약해(phytotoxicity)는 발생하지 않았다.

살균제와 비이온성 계면활성제를 3회 처리 후 각 처리구별 방제율을 조사하였다(Fig. 1). 시험 종료 후 살균제와 비이온성 계면활성제의 처리에 의한 갈색퍼짐병 방제율은 T, T+K, T+1/2K 및 1/2T+K 처리구에서 각각 49.3, 49.3, 47.8, 52.9% 씩 나타내어 약 50%의 방제 효과를 나타내었다(Fig. 1). T 처리구와 비교할 때, T+K, T+1/2K 및 1/2T+K 처리구의 방제율은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 선행연구에서 tebuconazole 처리량별 라이족토니아마름병 방제에서 정량처리구는 반량처리구보다 우수한 방제효과를 나타내었으나(자료 미제시) 계면활성제와 살균제를 혼용하여 처리하는 경우 테부코나졸 추천량의 50% 처리구(1/2T+K)에서 테부코나졸 추천량 처리구와 유사한 갈색퍼짐병 방제율을 나타내었다.

Table 1. Visual quality of zoysiagrass inoculated with *R. solani* AG2-2 (IV) after applying surfactant and tebuconazole.

Treatments ^z	Visual quality (1: low-9: high)			
	Jun 19	Jun 26	Jul 3	Jul 10
Control	5.3a	5.8b	6.3b	6.4b
T	5.3a	6.0ab	6.7a	6.8a
T+K	5.7a	6.3a	7.0a	7.0a
T+1/2K	5.7a	6.2ab	6.8a	7.0a
1/2T+K	5.5a	5.9ab	6.4ab	6.6a

^z Treatments were as follows. Control: non-application, tebuconazole (T; 0.125 a.i. T g m⁻²), and mixture treatments of non-ionic surfactant (K) and tebuconazole (T+K, 0.125 a.i. T g m⁻²+0.25 K g m⁻²; T+1/2K, 0.125 a.i. T g m⁻²+0.125 K g m⁻²; 1/2T+K, 0.063 a.i. T g m⁻²+0.25 K g m⁻²). Tebuconazole and mixtures of tebuconazole and non-ionic surfactant were applied three times on June 19, June 26, and July 3.

a, b: Means with the same letters within a column are not significantly different by Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$ level.

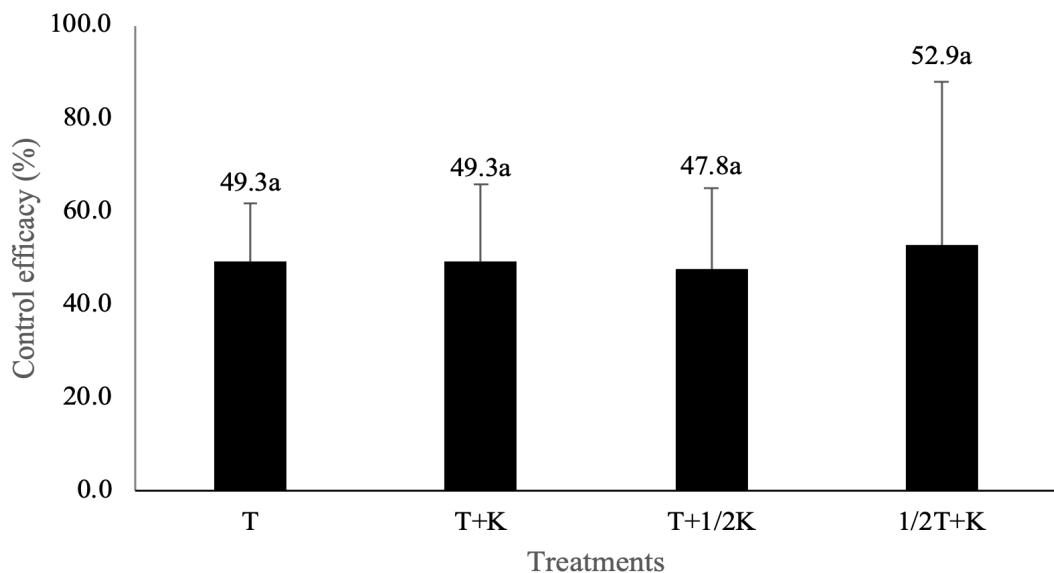


Fig. 1. Control efficacy of large patch in zoysiagrass after applied with non-ionic surfactant or tebuconazole. Error bars indicates standard deviation and different letters indicates significant different at $P < 0.05$ level according to Duncan's multiple range test. Large patch was investigated on July 10. Treatments were as follows. Control: Non-application, tebuconazole (T; 0.125 a.i. T g m⁻²), and mixture treatments of non-ionic surfactant (K) and tebuconazole (T+K, 0.125 a.i. T g m⁻²+0.25 K g m⁻²; T+1/2K, 0.125 a.i. T g m⁻²+0.125 K g m⁻²; 1/2T+K, 0.063 a.i. T g m⁻²+0.25 K g m⁻²). Tebuconazole and mixtures of tebuconazole and non-ionic surfactant were applied three times on June 19, June 26, and July 3.

포장 시험

라이족토니아마름병이 발생한 한국잔디포장에 비이온성 계면활성제와 테부코나졸 유제의 처리에 의한 한국잔디의 생육의 변화를 평가하기 위해 시각적 품질을 조사하였다(Table 2). 시험 전 한국잔디의 품질은 7.0-7.1로 통계적 유의차가 나타나지 않아 시험에 적합하였다. 대조구와 비교할 때, T, T+K, T+1/2K 및 1/2T+K 처리구들은 약제 처리 7일 경과 후부터 잔디의 가시적 품질이 높았다. 약제 3회 처리 후 9월 16일 조사에서 약제 처리구들의 잔디 품질은 대조구보다 잔디 품질이 높았고, T+K, T+1/2K 및 1/2T+K 처리구들은 T와 통계적 유의차가 나지 않아 계면활성제 K의 처리에 의한 잔디의 약해는 발생하지 않았다.

살균제와 비이온성 계면활성제를 3회 처리 후 한국잔디 포장의 각 처리구별 방제율을 조사하였다(Fig. 2). 시험 종료 후 처리구별 살균제와 비이온성 계면활성제의 처리에 의한 라이족토니아마름병 방제율은 T, T+K, T+1/2K 및 1/2T+K 처리구에서 각각 94.5, 98.8, 97.0, 97.0%씩 나타내어 약 95% 이상의 방제 효과를 나타내었다. T 처리구와 비교할 때, T+K, T+1/2K 및 1/2T+K 처리구의 방제율은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이를 통해 계면활성제와 살균제를 혼용하여 처리하는 경우 테부코나졸 추천량의 50% 처리구에서 테부코나졸 추천량 처리구와 유사한 라이족토니아마름병 방제 효과를 나타내었다.

Table 2. Visual quality of large patch in zoysiagrass caused by *R. solani* AG2-2 (IV) after applying surfactant and tebuconazole.

Treatments ^z	Visual quality (1: low-9: high)			
	Aug. 26	Sep. 2	Sep. 9	Sep. 16
Control	7.0a	6.9b	6.8b	6.5b
T	7.0a	7.2a	7.1a	6.7a
T+K	7.0a	7.1a	7.1a	6.8a
T+1/2K	7.1a	7.1a	7.0a	6.8a
1/2T+K	7.1a	7.1a	7.1a	6.8a

^z Treatments were as follows. Control: Non-application, tebuconazole (T; 0.125 a.i. T g m⁻²), and mixture treatments of non-ionic surfactant (K) and tebuconazole (T+K, 0.125 a.i. T g m⁻²+0.25 K g m⁻²; T+1/2K, 0.125 a.i. T g m⁻²+0.125 K g m⁻²; 1/2T+K, 0.063 a.i. T g m⁻²+0.25 K g m⁻²). Tebuconazole and mixtures of tebuconazole and non-ionic surfactant were applied three times on August 26, September 2, and September 9.

a, b: Means with the same letters within a column are not significantly different by Duncan's multiple range test at P≤0.05 level.

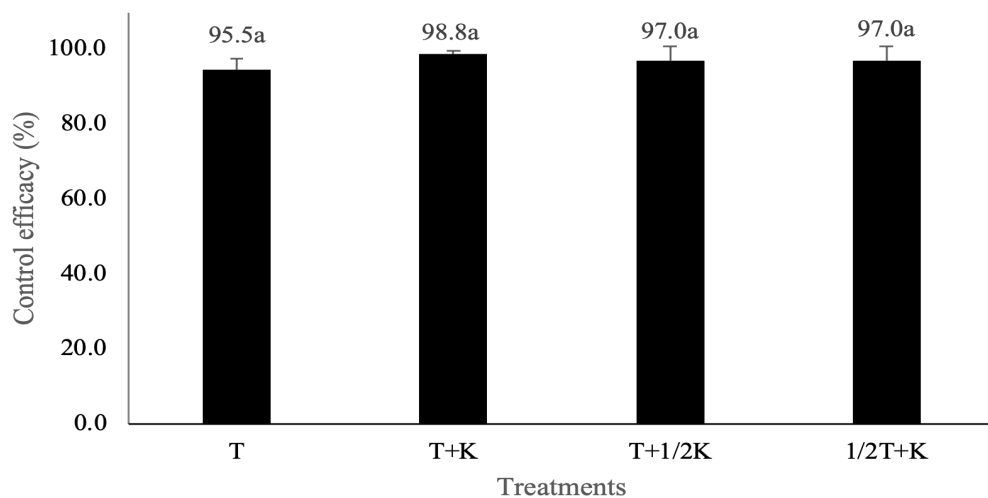


Fig. 2. Control efficacy of large patch in zoysiagrass plot after applied with non-ionic surfactant or tebuconazole. Error bars indicates standard deviation and different letters indicates significant different at P<0.05 level according to Duncan's multiple range test. Large patch was investigate on July 10. Treatments were as follows. Control: Non-application, tebuconazole (T; 0.125 a.i. T g m⁻²), and mixture treatments of non-ionic surfactant (K) and tebuconazole (T+K, 0.125 a.i. T g m⁻²+0.25 K g m⁻²; T+1/2K, 0.125 a.i. T g m⁻²+0.125 K g m⁻²; 1/2T+K, 0.063 a.i. T g m⁻²+0.25 K g m⁻²). Tebuconazole and mixtures of tebuconazole and non-ionic surfactant were applied three times on August 26, September 2, and September 9.

고찰

계면활성제란 친수성 작용기와 소수성 작용기를 갖고 있는 미셀화합물로서 습윤, 분산, 유화, 가용화, 세정 등의 다양한 특성을 갖고 있으며(Choi et al., 2004), 유기합성농약의 제형화에 이용하고 있다(Watanabe, 1982). 계면활성제는 직접적인 방제 효과는 나타나지 않지만 농약과의 협력 작용에 의해 방제 효과를 상승시키며(Yu et al., 2002), 특성에 따라 이온성 계면활성제, 비이온성, 계면활성제 및 양이온성 계면활성제 등으로 구분한다(Tomlinson and Faithfull, 1980). 일부 계면활성제의 경우 식물병원균에 대해 살균력을 나타내지만(Choi et al., 2004), *Phytophthora parasitica*의 세포막으로만 구성된 유주자 시기에 살균 효과를 나타내어 (Stanghellini and Tomlinson, 1987) 살균제로서 사용하기에는 사용 방법에 많은 제약을 나타낸다(Choi et al., 2004).

잔디병해관리 시 계면활성제는 약효 증진제로서 농약의 부착, 지속적 잔류, 침투, 이행 등에 영향을 주어 농약의 약효를 증진시킨다(Yu et al., 2002). Tebuconazole과 같은 선단이행성 살균제가 약효를 나타내기 위해서는 식물체의 경엽과 뿌리로 흡수되며, 뿌리로 흡수되는 경우 감염된 부위로 이동하여야 하므로 약제가 흡수되도록 근권까지 이동하여야 한다(Benelli et al., 2018). 따라서 tebuconazole이 한국잔디에서 라이족토니아마름병 방제 효과를 높이기 위해서는 계면활성제를 활용한 근권 내 약제의 이동과 침투성을 개선하는 것이 필요하다(Ahn et al., 1992; Lee and Lee, 1995). 라이족토니아마름병은 토양병원균인 *R. solani* AG 2-2 (IV)가 토양에 묻혀있는 한잔디의 지제부줄기를 감염시켜 발생하기 때문에 지하경 및 근권부의 기능이 약화되고, 농약의 뿌리 흡수가 제한적일 수 있다. 따라서 잔디의 잎을 통해 침투되도록 하는 것이 필요하며, 계면활성제의 혼용으로 농약의 약효를 증진시킬 수 있다(Yu et al., 2002).

협력제(synergist)로서의 계면활성제 처리효과는 약효 · 약해 시험을 통해 이뤄지고 있다(Baur et al., 1999; Yu et al., 2002). 본 연구에서도 계면활성제와 tebuconazole을 혼용한 약효 · 약해 시험에서 계면활성제의 처리에 의한 약해는 나타나지 않았다(Table 1 and Table 2).

Kim et al. (2018)은 동전마름병 방제에서 tebuconazole의 처리량에 따라 방제효과가 감소한다고 보고하였고, 선행연구에서 tebuconazole의 처리량에 따른 라이족토니아마름병 방제에서 차이를 나타내었다(자료 미제시). 그러나 본 연구에서는 계면활성제와 혼용 처리 시 1/2T+K 처리구는 T 처리구와 유사한 라이족토니아마름병 방제 효과를 나타내었다(Fig. 1 and Fig. 2). 또한, 포트 시험에서 약제 1회 처리 후 T+K처리구의 라이족토니아마름병 방제율은 T처리구 보다 우수하였고, T+1/2K 처리구는 T처리구와 통계적 유의차를 나타내지 않았다(자료 미제시). 따라서 tebuconazole을 이용한 한국잔디의 라이족토니아마름병 방제 시 계면활성제의 처리에 따른 상승효과를 나타내는 것으로 보인다. 이는 계면활성제의 처리가 대취층에서 수분반발력을 감소시켜 수분의 이동을 용이(Dekker et al., 2005)하게 할 뿐 아니라 농약의 침투를 개선(Yu et al., 2002)는 협력제로 작용하기 때문으로 판단된다. 향후 계면활성제를 통한 살균제의 라이족토니아마름병 방제 상승효과와 그 원인에 대한 보완 연구가 필요한 것으로 생각된다.

요약

본 연구는 tebuconazole과 비이온성 계면활성제를 처리한 후 라이족토니아마름병 방제 효과를 조사하여 협력제로 비이온성 계면활성제의 효과를 평가하였다. 포장시험에서 계면활성제와 살균제의 혼용 처리에 의해 한국잔디의 잔디 품질은 대조구보다 모두 증가하여 계면활성제 처리에 의한 약해는 발생하지 않았다. 라이족토니아마름병의 방제율은 포트 시험과 포장 시험에서 각각 47.8-52.9%과 94.5-98.8% 정도 나타내었고, T+K, T+1/2K 및 1/2T+K 처리구는 T처리구와 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이들 결과를 종합할 때, 테부코나졸의 처리는 라이족토니아마름병의 방제에 유효하다는 것을 나타내었고, 비이온성 계면활성제와 혼합하여 사용하는 경우 50% 감소된 살균제 처리에도 비슷한 병방제 효과를 나타내어 잔디 병해 관리에 유용할 것으로 기대되었다.

주요어: 라이족토니아마름병, 방제율, 비이온성 계면활성제, 테부코나졸, 한국잔디

Authors Information

Young-Sun Kim, Division of Life & Environmental Science (Horticulture Major), College of Natural and Life Sciences, Daegu University, Professor

Young-Sun Kim, Institute of Natural Sciences, Daegu University, Researcher

Chang-Eun Lee, C&L Chemical Co. Ltd., CEO

Geung-Joo Lee, Department of Horticulture and Department of Smart Agriculture Systems, Chungnam National University, Professor

References

- Ahn, Y.T., Kim, S.T., Kim, I.S., Kim, J.W., Kim, H.J., et al. 1992. Standard and practice for management in golf course. KTRI, Seongnam, Korea. (In Korean)
- Baur, P., Schönherr, J. and Grayson, B.T. 1999. Polydiprese ethoxylated fatty alcohol surfactants as accelerators of cuticular penetration. 2. Separation of effects on driving force and mobility and reversibility of surfactant action. Pestic. Sci. 55:831-842.
- Benelli, J.J., Horbath, B.J., Womac, A.R., Ownely, B.H., Windham, A.S. and Sortochan, J.C. 2018. Large patch (*Rhizoctonia solani* AG2-2LP) serverity on Japanese lawngrass (*Zoysia japonica*) Influenced by fungicide and application target site. Crop Protec. 106:23-28.
- Choi, G.J., Yu, J.H., Jang, K.S., Kim, H.T., Kim, J.C., et al. 2004. *In vivo* antifungal activities of surfactants against tomato late blight, redpepper blight, and cucumber downy mildew. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 47(3):339-343. (In Korean)
- Dekker, L.W., Oostindie, K., Kostka, S.J. and Ritsema, C.J. 2005. Effects of surfactant treatment on the wettability of a water repellent grass-covered dune sand. Aus. J. Soi. Res. 43:383-395.
- Kim, J.H., Choi, H.Y., Shim, G.Y. and Kim, Y.H. 2010. Chemical resistance and control of dollor spot caused by *Sclerotinia homoeocarpa* on turfgrass of golf courses in Korea. Kor. Turfgrass Sci. 24(2):170-175. (In Korean)
- Kim, Y.S., Lee, J.P., Chang, S.W. and Lee, G.J. 2019. Synergistic suppression of bio-sulfur of pencycuron on large patch disease caused by *Rhizoctonia solani* AG 2-2 (V) in *Zoysia japonica*. Weed Turf. Sci. 8(4):355-364. (In Korean)
- Kim, Y.S., Lim, H.J., Ham, S.K., Lee, K.S. and Lee, G.J. 2018. Suppression of dollor spot caused by *Sclerotinia homoeocarpa* on creeping bentgrass (*Agrostis palustris* Huds.) after applying tebuconazole, chlorothalonil and their mixture. Weed Turf. Sci. 7(2):158-165. (In Korean)
- Kim, Y.S., Ma, K.Y. and Lee, G.J. 2015. Antagonistic mechanisms and culture conditions of isolated microbes applied for controlling large patch disease in zoysiagrass. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 33(4):492-500. (In Korean)
- Latin, R. 2006. Residual efficacy of fungicides for control of dollar spot on creeping bentgrass. Plant Disease 90:571-575.

- Lee, J.H. and Lee, D.H. 1995. Influence of cultivated conditions and fungicides on development of *Rhizoctonia* diseases of zoysiagrass and bentgrass. *Kor. Turfgrass Sci.* 9(3):199-206. (In Korean)
- RDA (Rural Development Administration). 2010. Registration standard of pesticide. RDA, Jeonju, Korea.
- Ryu, J.H., Shim, G.Y. and Kim, K.S. 2014. Inhibition of in vitro growth of three soil-borne turfgrass diseases by antagonistic bacteria from composted liquid manure. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 32(6):879-886. (In Korean)
- Shim, G.Y. and Kim, H.G. 1995. Identification and pathogenicity of *Rhizoctonia* spp. isolated from turfgrasses in golf course in Korea. *Kor. Turfgrass Sci.* 9(3):235-252. (In Korean)
- Shim, G.Y., Kim, J.W. and Kim, H.G. 1994. Occurrence of *Rhizoctonia* blight of zoysiagrass in golf course in Korean. *Kor. J. Plant Pathol.* 10(1):54-60. (In Korean)
- Stanghellini, M.E. and Tomlinson, J.A. 1987. Inhibitory and lytic effects of a nonionic surfactant on various asexual stages in the life cycle of *Pythium* and *Phytophthora* species. *Phytopathology* 77:112-114.
- Tomlinson, J.A. and Faithfull, E.M. 1980. Effects of fungicides and surfactants on the zoospores of *Olpidium brassicae*. *Ann. Appl. Biol.* 93:13-19.
- Yu, J.H., Cho, K.Y. and Kim, J.H. 2002. Review of the study on the surfactant-induced foliar uptake of pesticide. *Kor. J. Pestic. Sci.* 6(1):16-24. (In Korean)
- Watanabe, T. 1982. Surfactants for pesticide formulation. *J. Pesticide Sci.* 7:203-210.
- Zarn, J.A., Bruschiweiler, B.J. and Schlatter, J.R. 2003. Azole fungicides affect mammalian steroidogenesis by inhibiting sterol 14 α -demethylase and aromatase. *Environ. Health Perspec.* 111(3):225-261.