

In Vitro에서 살균제의 딸기 화분발아 억제 효과

남명현* · 김현숙 · 최재현 · 이희덕

충청남도농업기술원 논산딸기시험장

Effects of Fungicides on Inhibition of in Vitro Strawberry Pollen Germination

Myeong Hyeon Nam*, Hyun Sook Kim, Je Hyun Choi, and He Duck Lee

Nonsan Strawberry Experiment Station, Chungcheongnam-do Agricultural Research & Extension Services,
Nonsan 320-862, Korea

Abstract. Fungicide applications are required to prevent the strawberry from Botrytis fruit rot and powdery mildew that infect open strawberry flowers, however, their effects of fungicides on pollen germination of strawberry have been rarely documented, particularly those from recently developed active fungicidal ingredients. In this study we have evaluated the effects of 24 commercial fungicidal formulations and 6 organic materials on pollen germination in 3 strawberry cultivars using in vitro assays. Pollens from strawberry had higher germination rates on agar with sucrose of 18% and 25°C than other tested conditions. Pollen germination rates of cvs. Seolhyang, Maehyang, and Kumhyang at 18% sucrose and 25°C were 15.3, 18.4 and 30.7%, respectively. Pyraclostrobin, azoxystrobin, kresoxim-methyl, dichlofluanid, iminoctadine tris, and sulfur showed the strongest inhibitory efficacy with the germination rates of more than 93.8% compared to the no-fungicide control. Germination was not significantly affected by simeconazole and procymidone. This in vitro germination study may provide information useful for selecting fungicides in flowering stage to strawberry farmers.

Additional key words: azoxystrobin, pyraclostrobin, Seolhyang

서 언

현재 재배되고 있는 딸기(*Fragaria × ananassa* Duch.)는 2011년 국내 재배면적이 5,816ha, 생산량은 206,000톤으로 과채류 재배면적의 10.7%를 차지하는 고소득 작물이다(MFAFF, 2012). 국내 재배되고 있는 딸기 품종은 ‘설향’, ‘매향’, ‘금향’, ‘아끼히메’ 등이 있으며, 이들 품종은 수확기에 흰가루병과 잣빛곰팡이병이 발생하여 문제가 되고 있다. 딸기는 꽃이 연속적으로 개화가 되어 수확기에 이들 병이 발생하면 불가피하게 약제를 처리해야만 한다. 특히, 잣빛곰팡이병은 개화기 살균제나 친환경자재 처리가 병 방제에 효과적이거나(Nam et al., 2011), 개화기 처리는 약제의 성분이나 작용기작에 따라 꽃의 화분이나 암술머리에 해를 미칠 가능성이 있다. 과수의 경우 사과(Church and Williams,

1977)와 배(Kang et al., 2010) 등에서 개화기 살균제 살포는 화분발아, 과실의 착과 및 생산량에 부정적인 영향을 끼친다고 하였다(Holb, 2008). 그러나 딸기로 등록된 살균제 중 개화기에 처리하여도 안전한 약제에 대한 선발이나 화분 발아에 미치는 영향에 대한 연구가 적어 약제 살포에 의한 기형과 발생을 초래하고 있다.

식물체의 화분 발아에 미치는 살균제의 영향은 주로 in vitro 상에서 복숭아(Kargar and Imani, 2011), 아몬드(Yi et al., 2003a, 2003b; Zarrabi and Imani, 2011), 배(Kang et al., 2010), 사과(Church and Williams, 1977; Holb, 2008), 블루베리(Bristow and Windom, 1987), 딸기(Eaton and Chen, 1969) 등에서 연구가 되어졌다. 특히 살균제 captan이 딸기 화분에 미치는 영향은 in vitro와 재배포장 검정 결과 비슷한 발아억제 효과를 보였으며(Eaton and Chen, 1969), 사과의

*Corresponding author: namtel7@korea.kr

※ Received 19 December 2012; Revised 5 June 2013; Accepted 16 June 2013. 본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ90703904)의 지원에 의해 수행되었음.

화분 발아도 실내와 재배포장에서의 시험결과 높은 상관 관계가 있는 것으로 밝혀졌다(Church and Williams, 1977).

따라서 본 연구에서는 개화기 기형과 발생을 줄이기 위해 *in vitro*에서 수확기에 주로 사용되고 있는 살균제와 친환경 자재 등이 딸기 화분 발아에 미치는 영향을 검정하고자 하였다.

재료 및 방법

딸기 화분 발아의 최적 배지 및 배양온도

개화기 ‘설향’, ‘매향’, ‘금향’의 꽃에서 핀셋으로 화분을 채취하여 petri dish에 넣고 parafilm으로 밀봉하여 25°C의 배양기에서 1일간 배양 후, -20°C의 냉동고에 보관하면서 실험에 이용하였다.

화분 발아에 미치는 최적배지 농도를 구명하기 위해 slide glass 위에 10, 18, 25, 35% sucrose와 1% agar를 넣고 화분 발아배지를 만들었다. 농도별 화분 발아배지에 딸기 품종의 화분을 그림용 붓으로 묻혀 치상한 다음 물에 적신 여과지를 깔아 놓은 petri dish에 넣은 후 parafilm으로 밀봉하여 25°C 배양기에서 24시간 발아시킨 후 광학현미경(BX50, Olympus, Japan)하에서 화분 발아율을 조사하였다. 화분관 발아는 화분관이 화분관 직경 이상으로 신장한 것으로 결정하였다(Kang et al., 2010).

화분 발아에 미치는 최적온도 구명은 품종별 화분을 18% sucrose와 1% agar 배지에 치상 후 15, 20, 25, 30, 35, 40°C의 배양기에서 24시간 동안 발아시킨 후 화분발아율을 조사하였다.

살균제 및 친환경자재가 딸기 화분 발아에 미치는 영향

화분 발아에 미치는 살균제와 친환경자재 선발을 위해 딸기에 등록되어 수확기에 주로 사용되고 있는 흰가루병과 잿빛곰팡이병 살균제 pyraclostrobin 등 24종과 친환경자재 유황 등 6종을 시험에 사용하였다(Table 1). 살균제와 친환경자재는 Fungicide resistance action committee(FRAC)의 작용기작에 따른 분류 code를 참고하여 구분하였다(FRAC, 2012). 각 살균제와 친환경자재는 등록된 권장 희석농도로 조제 후 화분을 치상한 slide glass 배지(18% sucrose + 1% agar)에 스프레이어로 직접 분무 살포하였다. 대조로 증류수 살포 처리를 두어 시험을 수행하였으며 처리한 slide glass는 위에서 언급한 방법대로 25°C 배양기에서 24시간 발아시킨 후 화분 발아율을 조사하였다. 살균제와 친환경자재의 화분 발아 억제율(%) = [(무처리 화분발아율 - 살균제처리 화분 발아율)/(무처리 화분발아율)] × 100로 비교하였으며 처리

당 3반복으로 수행하였다.

데이터 분석

Sucrose 농도와 온도에 따른 딸기 화분 발아율 비교는 SAS 통계프로그램(SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA)을 이용해 Duncan multiple range test($P = 0.05$)로 분석하였고, 살균제 처리에 의한 품종별 화분발아율 비교는 CoStat 통계 프로그램(CoHort software, Berkeley, USA)을 이용해 Tukey's HSD($P = 0.05$) 분석으로 실시하였다.

결과 및 고찰

딸기 화분 발아의 최적 배지 및 배양온도

시험에 사용된 3품종 모두 화분 발아에 효과적인 sucrose 농도는 18%였으며, 35% sucrose 농도에서는 3품종의 화분 발아율이 6.5% 이하로 낮은 발아율을 나타냈다(Table 2). ‘설향’, ‘매향’, ‘금향’ 품종의 평균 화분 발아율은 각각 15.3, 18.4, 30.7%로 ‘금향’ 품종이 다른 품종보다 높은 발아율을 보였다.

온도에 따른 화분 발아율은 3품종 모두 25°C 처리가 가장 높은 발아율을 보였으며 15°C와 40°C에서는 화분이 발아하지 않았다(Fig. 1). 특히 20°C에서는 품종간 발아율에 차이가 없었으며 ‘매향’ 품종의 발아율은 온도가 올라갈수록 다른 품종보다 감소하였으나 ‘금향’ 품종은 고온에서도 높은 발아율을 보였다.

화분 발아시험을 위한 sucrose 농도와 배양온도는 작물에 따라 차이를 보이는데 아몬드 12%, 27°C(Yi et al., 2003a)와 15%, 24°C(Zarrabi and Imani, 2011), 사과 15%, 15°C(Church and Williams, 1977), 배 10%, 25°C(Kang et al., 2010), blueberry 18%, 27°C(Bristow and Windom, 1987), 복숭아 15%, 24°C(Kargar and Imani, 2011)였다. 반면 딸기 8%, 23°C(Ledesma and Sugiyama, 2005), 10%, 20-25°C(Voyiatzisi and Paraskevopoulou-Paroussi, 2002), 15%, 25°C(Koyuncu, 2006)에서 시험이 수행되어 연구자에 따라 농도의 차이를 보였다. 본 결과에서 국내 딸기 품종은 blueberry와 비슷한 sucrose 농도를 보였다.

처리온도는 딸기 품종에 따라 차이를 보였는데 ‘Chandler’와 ‘Selva’는 30°C에서 가장 높은 화분 발아율을 보인 반면 ‘Elsanta’ ‘Cavendish’, ‘Allstar’, ‘Elvira’ 품종은 25°C 처리가 가장 높은 발아율을 보였다(Koyuncu, 2006). 또한 ‘Toyonoka’ 품종은 30°C 처리보다 23°C 처리 시 화분 발아율이 높게 나타나 국내 딸기 품종과 비슷한 결과를 나타내었다(Ledesma and Sugiyama, 2005). 본 결과에서도 온도에 따라 품종간

화분 발아율에 차이가 있는데 ‘금향’ 품종은 35°C 처리에서 다른 품종보다 높은 발아율을 보여 화분이 고온조건에서도 견디는 능력이 높은 것으로 판단된다. 특히 ‘Toyonoka’ 품종과 ‘Nyoho’ 품종의 화분은 저온조건에서 발아에 미치는

영향은 적지만 고온에서는 ‘Toyonoka’ 품종이 ‘Nyoho’ 품종보다 화분발아 및 발아관 생장이 더 억제되는 경향을 보인다(Ledesma and Sugiyama, 2005). 반면 고온성 작물인 오이의 경우 화분이 저온 조건에서 발아될 때보다

Table 1. Selected fungicides and their recommended fields rate.

FRAC ^z group name (code)	Fungicide and organic material	Formulation ^y	Active ingredient (%)	RFR ^x (per L)
Aryl-phenyl-ketone (U8)	Metrafenone	SC	24.4	0.50
Demethylation inhibitors (DMI, 3)	Difenoconazole	WG	10.0	0.50
	Flusilazole	WG	20.0	0.34
	Hexaconazole	WG	2.0	0.50
	Metconazole	WG	20.0	0.34
	Prochloraz Mn	WP	50.0	0.50
	Simeconazole	WP	20.0	0.25
	Tetraconazole	EC	12.5	0.50
	Triflumizole	WP	30.0	0.25
	Dicarboximide (2)	Iprodione	WP	50.0
Procymidone		WP	50.0	1.00
Guanidines (M7)	Iminoctadine tris	WP	40.0	1.00
Hydroxanilides (17) + Guanidines (M7)	Fenhexamid + iminocadine tris	WP	30.0 + 20.0	1.00
Inorganic (M1)	DBEDC	EC	20.0	2.00
MBC (Methyl benzimidazole carbamates, 1)	Thiophanate-methyl	WP	70.0	0.85
MBC (1) + N-phenyl carbamates (10)	Carbendazim + diethofencarb	WP	25.0 + 25.0	1.00
Phenyl-acetamide (U6) + DMI (3)	Cyflufenamid + hexaconazole	SC	3.5 + 1.0	0.50
	Cyflufenamid + triflumizole	EC	1.5 + 8.0	1.00
Phenylpyrroles (12)	Fludioxonil	SC	20.0	0.50
Succinate dehydrogenase inhibitors (7)	Boscalid	WG	47.0	0.67
Sulfamide (M6)	Dichlofluanid	WP	50.0	1.65
Quinone outside inhibitors (11)	Azoxystrobin	SC	20.0	0.50
	Kresoxim-methyl	WG	47.0	0.25
	Pyraclostrobin	EC	22.0	0.25
	<i>Organic material</i>			
Inorganic (M2)	Sulfur	WP	77.0	2.00
	Sulfur	WP	80.0	1.00
Microbial (44)	<i>Bacillus subtilis</i> QST713	WP	5 × 10 ⁹ cfu/g	2.00
	<i>B. subtilis</i> Y1336	WP	1 × 10 ⁹ cfu/g	1.65
	<i>B. velezensis</i> NSB-1	SL	1 × 10 ⁹ cfu/g	2.00
	<i>Trichoderma harzianum</i> KCTC0722BP	WP	1 × 10 ⁸ spore/g	0.25

^zFungicide Resistance Action Committee.

^yEC, emulsifiable concentrate; SC, suspension concentrate; SL, soluble concentrate; WG, water dispersible granule, WP, wettable powder.

^xRecommended dilution by manufacturer.

Table 2. Rate of pollen germination according to sucrose concentration in vitro.

Concentration of sucrose (%)	Seolhyang	Maehyang	Kumhyang
10	15.1 a ^z	2.5 b	13.5 b
18	15.3 a	18.4 a	30.7 a
25	13.9 a	17.3 a	14.4 b
35	2.4 b	5.8 b	6.4 b

^zMean values within a column followed by the same letter are not significantly different at $P = 0.05$, by Duncan's multiple range test.

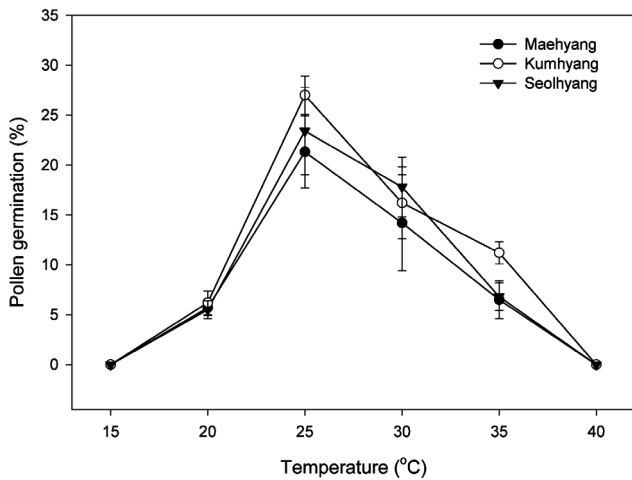


Fig. 1. The effect of temperature on the in vitro germination of the pollen of exposed for 24 h of 'Maehyang', 'Kumhyang', and 'Seolhyang'.

고온 조건에서 발아될 때 더 긴 발아관 형성을 보여 딸기와 다른 양상을 보이는데(Johannsson and Stephenson, 1998) 이런 원인으로 딸기는 겨울과 봄에 재배되는 작물로 최적의 생육을 위해 저온이 요구되지만 오이는 봄과 여름에 재배되는 작물로 딸기보다 더 고온을 요구하기 때문이라고 하였다(Ledesma and Sugiyama, 2005). 본 실험에서도 딸기 화분 발아에 가장 양호한 조건은 25°C 조건이었으나 겨울철 딸기 재배포장에서의 주간 평균온도는 20°C 내외로 화분발아의 최적온도보다는 낮게 관리되고 있지만 화분이 발아된 후 발아관 신장에 미치는 영향은 고온(30°C)에 더 민감하기 때문에 과실 형성에 미치는 영향은 적을 것으로 판단된다.

살균제 및 친환경자재가 딸기 화분 발아에 미치는 영향

살균제 처리에 의한 딸기 품종별 화분 발아율조사에서 pyraclostrobin, azoxystrobin, kresoxim-methyl, dichlofluanid, iminoctadine tris은 무처리 대비 93.8% 이상의 화분 발아억제를 나타내었다(Table 3). 반면, simeconazole, procymidone, metrafenone 살균제는 화분 발아에 미치는 영향이 적게 나타났다. '금향' 품종의 화분 발아는 다른 살균제보다 prochloraz Mn과 cyflufenamid+triflumizole, triflumizole이 강한 억제 효과를 보여 품종에 따라 차이를 보였으며 특히 triflumizole은 다른 demethylation inhibitors(DMI) 계통의 살균제와 다르게 화분 발아 억제효과가 큰 경향을 보였다. 시험에 사용된 살균제를 FRAC group별로 구분하여 딸기 화분의 발아 억제가를 비교 분석한 결과 sulfamide, guanidines, inorganic와 같은 multi-site contact activity(code M)과 pyraclostrobin, azoxystrobin, kresoxim-methyl과 같은 quinone outside inhibitors(QoI, code 11) 계통의 살균제는 딸기 화분 발아 억제에 영

향이 큰 것으로 분석되었다(Table 4).

딸기 잣빛곰팡이병과 흰가루병 방제를 위한 살균제는 개화기 처리 시 효과적이거나 개화기 살균제 처리로 인한 기형과 발생이 빈번히 되고 있다. 살균제 처리에 의한 기형과 발생 원인으로 azoxystrobin 처리에 의한 식물체 주두에 분비물질의 축적이 증가되고 주두세포가 붕괴되거나(Wetzstein, 1990; Yi et al., 2003b), 화분의 표면층이나 papillae가 피해를 입는 경우(Cali, 2009), 살균제의 화학적 작용기작(Kang et al., 2010; Yi et al., 2003a)에 의한 화분 발아 억제 등이 보고되어 있다. 특히 최근에 개발되어 사용이 증가하고 있는 QoI 계통의 살균제는 본 결과에서처럼 딸기 화분 발아에 높은 억제효과를 가지고 있다. QoI 계통의 살균제는 mitochondria의 quinol-oxidizing 부위에 전자전달을 방해함으로 cytochrome bc1 complex를 억제하여 호흡을 저해하는 작용기작을 가지고 있는 광범위 살균제이다(Bartlett et al., 2002). QoI 계통의 살균제 중 kresoxim-methyl은 흰가루병균의 포자 발아, 발아관 성장, 균사 성장과 포자 형성을 억제하는 효과가 큰 살균제로 알려져 있어(Ypema and Gold, 1999) 이런 작용기작들이 딸기 화분의 발아 및 발아관 성장에도 영향을 크게 미치는 것으로 추정할 수 있다. 또한 M 계통의 살균제로 sulphamides group의 dichlofluanid, guanidines group의 iminoctadine tris, dithio-carbamates group의 mancozeb, phthalimides group의 captan 등이 있으며 이들 살균제는 병원균과 직접적인 접촉에 의해 포자 발아를 억제하는 작용을 하지만 자세한 생화학적인 작용기작은 알려지지 않고 있는 광범위 살균제이다(FRAC, 2012). 이런 살균제는 Cu 이온이나 sulfhydryl(SH) group을 가진 필수 효소를 억제하는 multi-site 저해제로 병원균에 대한 교차 저항성이 적은 특징을 가진 보호살균제이다. Kresoxim-methyl과 mancozeb 살균제는 '원황'과 '추황배'(Kang et al., 2010), captan과 azoxystrobin은 아몬드(Yi et al., 2003b), captan은 딸기(Eaton and Chen, 1969)의 화분 발아를 강하게 억제한다고 하였는데 이런 살균제(QoI 계통과 M계통)들은 딸기 화분 발아에서도 비슷한 경향을 보였다. 특히 QoI와 M계통은 많은 병원균에 적용되는 광범위 살균제로 병원균뿐만 아니라 딸기의 화분에도 큰 영향이 미치므로 기형과 방지를 위해 딸기 개화기에는 사용을 자제하여야 할 것으로 사료된다.

반면, methyl benzimidazole carbamates계와 triazole계 살균제들은 다른 살균제에 비해 화분발아 억제율이 낮았으며 특히 triazole계 살균제는 살균제 주성분에 따라 큰 차이를 보였다. Hexaconazole은 딸기 3품종 모두에서 화분발아 억제에 영향이 적었지만 triflumizole과 difenoconazole은 화분발아를 크게 억제하였다. 배의 경우 triflumizole은 화분 발아에 큰

Table 3. Germination rates of strawberry pollen in presence of selected fungicides.

Fungicide and organic material	Seolhyang		Maehyang		Kumhyang	
	GR ^z	GIE ^y	GR	GIE	GR	GIE
No-fungicide control	14.5 a ^x	-	7.1 abc	-	65.1 a	
<i>Bacillus velezensis</i> NSB-1	14.3 a	1.4	9.2 a	-29.6	41.3 abcdef	36.6
Boscalid	14.1 a	2.8	3.9 bcdefg	45.1	27.3 defghi	58.1
Procymidone	14.0 ab	3.4	5.4 abcdef	23.9	43.4 abcdef	33.3
Simeconazole	12.8 abc	11.7	7.0 abc	1.4	41.2 abcdef	36.7
<i>B. subtilis</i> QST713	11.2 abcd	22.8	4.3 bcdefg	39.4	47.6 abcde	26.9
Hexaconazole	10.0 abcde	31.0	2.9 cdefg	59.2	32.1 bcdefg	50.7
Fludioxonil	9.5 abcde	34.5	2.9 cdefg	59.2	62.4 a	4.1
Cyflufenamid + hexaconazole	9.4 abcdef	35.2	4.4 bcdefg	38.0	64.1 a	1.5
Carbendazim + diethofencarb	9.2 abcdef	36.6	4.6 bcdefg	35.2	43.5 abcdef	33.2
Metconazole	9.0 abcdef	37.9	6.7 abcde	5.2	23.6 efghij	63.7
Tetraconazole	8.9 abcdef	38.6	3.6 bcdefg	49.3	11.0 ghij	83.1
<i>Trichoderma harzianum</i> KCTC0722BP	8.4 abcdef	42.0	7.8 ab	-9.9	21.0 fghij	67.7
Metrafenone	7.4 abcdefg	49.0	6.4 abcde	9.9	50.2 abcd	22.9
Thiophanate-methyl	6.6 bcdefgh	54.5	6.9 abcd	2.8	54.7 ab	16.0
Iprodione	5.6 cdefgh	61.4	4.4 bcdef	38.0	15.2 ghij	76.7
Fenhexamid + iminoctadine tris	5.4 defgh	62.8	1.7 fg	76.1	7.7 ghij	88.2
Cyflufenamid + triflumizole	5.0 defgh	65.5	5.0 abcdef	29.6	1.5 j	97.7
Prochloraz Mn	4.6 defgh	68.3	4.1 bcdefg	42.3	4.7 ij	92.8
Flusilazole	3.5 efgh	75.9	3.7 bcdefg	47.9	29.6 cdefgh	54.5
<i>B. subtilis</i> Y1336	3.5 efgh	75.9	2.5 cdefg	64.8	52.5 abc	19.4
Triflumizole	3.2 efgh	77.9	2.1 efg	70.4	6.6 hij	89.9
Difenoconazole	3.1 efgh	78.6	5.0 abcdef	29.6	22.1 fghij	66.1
DBEDC	2.0 fgh	86.2	2.3 defg	67.6	0.2 j	99.7
Iminoctadine tris	0.9 gh	93.8	0.0 g	100	0.0 j	100
Sulfur	0.4 gh	97.2	0.0 g	100	12.2 ghij	81.3
Azoxystrobin	0.3 gh	97.9	0.0 g	100	1.0 j	98.5
Kresoxim-methyl	0.0 h	100	0.0 g	100	0.3 j	99.5
Pyraclostrobin	0.0 h	100	0.0 g	100	0.0 j	100
Dichlofluanid	0.0 h	100	0.0 g	100	0.0 j	100
Sulfur (Kumurus)	0.0 h	100	0.0 g	100	0.0 j	100

^zPollen germination rate.

^yPollen germination inhibitory efficacy = [(pollen germination on non-treated control - pollen germination on fungicide)/(pollen germination on non-treated control)] × 100.

^xMean values within a column followed by the same letter are not significantly different at *P* = 0.05, by Tukey's HSD test.

영향을 미치지 않지만(Mayer and Lunden, 1986) difenoconazole 은 영향이 적다고 보고되어 있어(Kang et al., 2010) triazole 계 살균제의 주성분에 따라 작물별 화분발아에 미치는 영향도 다른 경향을 보였다. Methyl benzimidazole carbamates 계는 곰팡이의 감수분열 시 tubulin 합성을 저해하고 triazole 계 살균제들은 곰팡이의 sterol 생합성을 저해하는 작용기작을 가지며, 병원균의 포자발아 억제보다는 발아한 병원균의 침입과 균사 성장을 억제하는 효과가 우수하고 잣빛곰팡이병이나 흰가루병과 같은 병원균 방제에 사용되고 있다(FRAC,

2012). Triazole계 살균제는 spider lily의 화분에 비정상적인 발아관 형성과 cytoskeletal distribution을 유도하여 발아를 억제하는 작용기작이 밝혀져(He et al., 1995) 화분이나 병원균의 발아 억제 기작은 비슷한 경향을 보였다. 또한 같은 성분의 살균제 경우 액상수화제가 수화제보다 화분발아 억제에 대한 영향이 있다고 보고되어(Bristow and Windom, 1987) 추후 살균제에 포함되어 있는 보조제도 화분발아에 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 연구도 진행되어야 할 것이다.

Table 4. Germination inhibitory efficacy^z of strawberry pollen by fungicides group.

FRAC ^y group (code)	Seolhyang	Maehyang	Kumhyang	Average
Sulfamide (M6)	100	100	100	100
Quinone outside inhibitors (11)	99.3	100	99.5	99.6
Inorganic (M2)	98.6	100	96.4	98.3
Guanidines (M7)	93.8	100	97.9	97.2
Inorganic (M1)	86.2	67.6	84.5	79.4
Hydroxylanilides (17)+guanidines (M7)	62.8	76.1	75.7	71.5
Demethylation inhibitors (3)	52.5	38.2	52.6	47.8
Phynyl-acetamide (U6)+ demethylation inhibitors (3)	50.4	33.8	44.6	42.9
Phynylpyrroles (12)	34.5	59.2	32.6	42.1
Methyl benzimidazole carbamates (1)+N-phenyl carbamates (10)	36.6	35.2	35.0	35.6
Dicarboximide (2)	32.4	31.0	39.5	34.3
Aryl-phenyl-ketone (U8)	49.0	9.9	27.3	28.7
Succinate dehydrogenase inhibitors (7)	2.8	45.1	35.3	27.7
Methyl benzimidazole carbamates (1)	54.5	2.8	24.4	27.2
Microbial (44)	35.5	16.2	29.8	27.2

^zPollen germination inhibitory efficacy = [(pollen germination on non-treated control - pollen germination on fungicide)/(pollen germination on non-treated control)] × 100.

^yFungicide Resistance Action Committee.

친환경자재 처리에 의한 딸기 품종별 화분 발아율 조사에서 미생물제제는 화분발아에 미치는 영향이 적었으나, 유향제는 높은 화분 발아 억제율을 보였다(Tables 3 and 4). 딸기 잣빛곰팡이병과 흰가루병 방제에 이용되고 있는 길항미생물은 주로 *Bacillus* spp.과 *Trichoderma* spp.균으로 *Bacillus* spp.균은 병원균 세포막을 붕괴하며, *Trichoderma* spp.은 병원균 균사에 기생하여 억제하는 작용기작을 가지고 있다 (FRAC, 2012). 따라서 이들 길항미생물은 병원균에 특이적인 작용기작을 가지고 있어 딸기의 화분 발아에 영향은 적을 것으로 사료된다. 반면 친환경자재로 이용되고 있는 유향은 QoI계통이나 M계통의 살균제와 비슷하게 딸기 화분발아 억제에 큰 영향을 미쳤다. 사과와 경우도 유향을 개화 후 24시간 안에 살포할 경우 화분발아 억제에 영향을 줄 뿐 아니라 잎의 광합성율도 억제되지만 48시간 후 처리시에는 화분발아 억제에 영향은 없다고 하였다(Yoder et al., 2009). 따라서 딸기의 경우 유향제는 in vitro 상에서 화분발아 억제효과가 크지만 재배포장에서는 처리시기에 따라 화분발아에 미치는 영향이 다를 수 있으므로 추후 개화시기에 따른 화분발아율 조사가 필요할 것이다. 또한 살균제와 친환경자재의 화분발아 억제 원인으로 화학적인 작용기작 외 화분의 표면에 미치는 형태적인 영향 등도 추후 검토되어야 할 것이다.

위의 결과로 딸기 화분 발아에 미치는 살균제 선발 시 in vitro 검정은 개화기 주의해야 할 살균제 선발에 효과적인 방법으로 개화기 살균제 살포에 따른 기형과 발생을 줄일 수 있는 정보를 딸기재배 농가에 제공할 수 있을 것이다.

초 록

딸기의 잣빛곰팡이병과 흰가루병을 방제하기 위해 개화기에 살균제 처리가 요구된다. 최근에 딸기에 등록된 살균제들이 딸기 화분 발아에 미치는 영향은 거의 알려지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 in vitro 상에서 딸기 3품종의 화분에 대한 24종의 살균제와 6종의 친환경자재에 대해 발아에 미치는 영향을 조사하였다. 딸기의 화분은 18% sucrose agar 배지에서 25°C로 처리되었을 때 쉽게 발아되었으며, ‘설향’, ‘매향’, ‘금향’의 평균 화분 발아율은 각각 15.3, 18.4, 30.7%을 보였다. Pyraclostrobin, azoxystrobin, kresoxim-methyl, dichlofluanid, iminoctadine tris, sulfur는 무처리구 대비 93.8% 이상의 화분 발아 억제를 나타내었다. 반면, simeconazole 과 procymidone 살균제의 화분 발아율은 영향이 가장 적었다. 이 in vitro 검정 결과는 딸기 재배농가의 개화기 살균제 선정에 대한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

추가 주요어 : azoxystrobin, pyraclostrobin, 설향

인용문헌

- Bartlett, D.W., J.M. Clough, J.R. Godwin, A.A. Hall, M. Hamer, and B. Parr-Dobrzanski. 2002. The strobilurin fungicides. Pest Manage. Sci. 58:649-662.
- Bristow, P.R. and G.E. Windom. 1987. Effects of selected fungicides, insecticides, and adjuvants on in vitro germination of highbush

- blueberry pollen. *Plant Dis.* 71:326-328.
- Cali, I.O. 2009. The effect of fungicide application on pollen structure in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plant. *J. Appl. Biological Sci.* 3:37-40.
- Church, R.M. and R.R. Williams. 1977. The toxicity to apple pollen of several fungicides, as demonstrated by in vivo and in vitro techniques. *J. Hort. Sci.* 52:429-436.
- Eaton, G.W. and L.I. Chen. 1969. The effect of captan on strawberry pollen germination. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94:558-560.
- Fungicide Resistance Action Committee (FRAC). 2012. FRAC code list 2012: Fungicide sorted by mode of action (including RFAC code numbering). [Http://www.frac.info](http://www.frac.info).
- He, Y., H.Y. Wetzstein, and B.A. Palevitz. 1995. The effects of a triazole fungicide, propiconazole, on pollen germination, tube growth and cytoskeletal distribution in *Tradescantia virginiana*. *Sex Plant Reprod.* 8:210-216.
- Holb, I.J. 2008. Influence of pesticide use on flower formation and fertility of some fruit species. *Intl. J. Hort. Sci.* 14:103-106.
- Johannsson, M.H. and A.G. Stephenson. 1998. Effects of temperature during microsporogenesis on pollon performance in *Cucurbita pepo* L. (Cucurbitaceae). *Intl. J. Plant Sci.* 159:616-626.
- Kang, S.S., Y.K. Kim, S.B. Jeong, K.S. Cho, J.J. Choi, J.W. Han, and H.J. Lee. 2010. Effects of pesticides on pear pollen germination and pollen tube elongation. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28:209-215.
- Kargar, M.H. and A. Imani. 2011. Effects of fungicides on pollen germination peach and nectarine in vitro. *Afr. J. Plant Sci.* 5:643-647.
- Koyuncu, F. 2006. Response of in vitro pollen germination and pollen tube growth of strawberry cultivars to temperature. *Europ. J. Hort. Sci.* 71:125-128.
- Ledesma, N. and N. Sugiyama. 2005. Pollen quality and performance in strawberry plants exposed to high-temperature stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130:341-347.
- Mayer, D.F. and J.D. Lunden. 1986. Toxicity of fungicides and an acaricide to honey bees (Hymenopteta: Apidae) and their effects on bee foraging behavior and pollen viability on blooming apples and pears. *Environ. Entomol.* 15:1047-1049.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MFAFF). 2012. 2011 production amount and index of agriculture and forestry. <http://www.maf.go.kr>.
- Nam, M.H., H.S. Kim, W.K. Lee, M.L. Gleason, and H.G. Kim. 2011. Control efficacy of gray mold on strawberry fruits by timing of chemical and microbial fungicide applications. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29:151-155.
- Voyiatzisi, D.G. and G. Paraskevopoulou-Paroussi. 2002. Factors affecting the quality and in vitro germination capacity of strawberry pollen. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 77:200-203.
- Wetzstein, H.Y. 1990. Stigmatic surface degeneration and inhibition of pollen germination with selected pesticidal sprays during receptivity in pecan. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:656-661.
- Yi, W., S.E. Law, and H.Y. Wetzstein. 2003a. An in vitro study of fungicide effects on pollen germination and tube growth in almond. *HortScience* 38:1086-1088.
- Yi, W., S.E. Law, and H.Y. Wetzstein. 2003b. Fungicide sprays can injure the stigmatic surface during receptivity in almond flowers. *Ann. Bot.* 91:335-341.
- Yoder, K., R. Yuan, L. Combs, R. Byers, J. McFerson, and T. Schmidt. 2009. Effects of temperature and the combination of liquid lime sulfur and fish oil on pollen germination, pollen tube growth, and fruit set in apples. *HortScience* 44:1277-1283.
- Ypema, H.L. and R.E. Gold. 1999. Kresoxim-methyl: Modification of a naturally occurring compound to produce a new fungicide. *Plant Dis.* 83:4-19.
- Zarrabi, A. and A. Imani. 2011. Effects of fungicides on in-vitro pollen germination, tube growth and morphology of almond (*Prunus dulcis*). *Afr. J. Agri. Res.* 6:5645-5649.