



ORIGINAL ARTICLES

사과 주요 병해 효율적인 방제를 위한 살균제 살포프로그램 개발

백창기^{1†} · 이승열^{2,3†} · 금진호² · 정희영^{2,3*}¹단국대학교 바이오융합대학, ²경북대학교 식물의학과, ³경북대학교 식물의학연구소

Development of Fungicide Spray Programs for the Efficient Control for Major Apple Diseases

Chang-Gi Back^{1†}, Seung-Yeol Lee^{2,3†}, Jinho Keum², and Hee-Young Jung^{2,3*}¹College of Bio-convergence, Dankook University, Cheonan 31116, Korea²Department of Plant Medicine, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea³Institute of Plant Medicine, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

(Received on June 12, 2025. Revised on June 24, 2025. Accepted on June 25, 2025)

Abstract A fungicide spray program consisting of 11 applications was developed to control four major apple diseases; *Alternaria* leaf spot, apple blotch, bitter rot, and white rot. The developed fungicide spray program was applied in apple orchards from 2014 to 2018 to monitor disease incidence. As a result, the developed fungicide spray program effectively controlled *Alternaria* leaf spot and apple blotch on leaves, with disease incidence rates of 0.6% and 0.21%, respectively. Furthermore, the incidence rates of bitter rot and white rot on fruits were reduced to below 1%, demonstrating that effectively controlled compared to untreated trees. Therefore, the developed fungicide spray program can lead to contribute to the efficient management of major apple diseases, reduced fungicide use, and lower production costs.

Key words Apple, Apple blotch, Bitter rot, Fungicide spray program, White rot

서론

사과는 국내 재배되는 주요 온대 과수 중 하나로, 재배 면적은 34.4천ha에 달하며, 약 516천톤의 과일이 생산되고 있다(KERI, 2023a). 국내 사과 생산량을 감소시키는 원인 중 하나인 병해충 피해는 과실, 잎, 줄기 등에 발생하여 피해를 끼치고 있으며, 이로 인한 과실 생산량 감소 및 품질하락의 원인이 되고 있다(Cho et al., 2023). 현재, 국내에서 발생하는 사과의 병해는 약 60여 종 이상 알려져 있으며, 곰팡이에 의한 병해가 46종, 세균에 의한 병해가 4종, 바이러스에 의한 병해가 13종으로 보고되고 있다(KSP, 2024). 이 중 사과 재배 및 안정적인 수확을 위해 살균제 등을 이용한 방제 대상이 되는 병해는 탄저병(*Colletotrichum acutatum*, *C. aenigma*

C. gloeosporioides, *C. fructicola*, *C. siamense*) 겹무늬썩음병(*Botryosphaeria dothidea*, *B. sinensis*), 갈색무늬병(*Diplocarpon coronariae*), 부란병(*Cytospora mali*), 점무늬낙엽병(*Alternaria mali*) 등의 곰팡이병이 있다(Lee et al., 2008; Lee et al., 2011; Back et al., 2014; KSPP, 2024). 이러한 병해를 방제하기 위해 사과 재배농가에서는 연간 14~16회 혹은 그 이상의 살균제를 살포하고 있는 실정이다(Uhm, 1998). 국내에서 사과에 발생하는 주요 병해를 방제하기 위한 살균제 살포프로그램 개발에 관한 연구를 살펴보면 사과 겹무늬썩음병의 효과적인 방제를 위한 병원균의 비산시기 조사 및 11종의 약제에 대한 방제효과 검증(Jeong et al., 1994) 연구와 미국 수출용 사과 재배를 위한 16회 방제 살균제 살포프로그램 개발(Uhm et al., 1995)이 있다. 또한, 사과 겹무늬썩음병 방제를 위한 9회 살포프로그램 및 방제용 살균제별 살포프로그램의 기여도 평가(Lee et al., 2006) 연구가 수행되었다. 해외에서는 각 국가별로 연구소, 대학교, 기업체 등에서 사과 살균제 살포프로그램 또는 spray schedule, spray guide를

†The authors contributed equally to this work

*Corresponding author

E-mail: heeyoung@knu.ac.kr

제공하고 있다. 미국, 인도, 그리스 등에서는 국내와는 달리 사과 검은별무늬병(apple scab)을 대상으로 살균제 살포프로그램을 개발 및 활용하고 있다(Chatzidimopoulos et al., 2020; Prasad et al., 2020). 최근에는 사과 갈색무늬병균에 대한 살균제 기내 효과 검정 및 현장연구를 통해 방제효과를 검정하고 있다(Dang et al., 2017; Khodadadi et al., 2022).

전 세계적인 기온상승, 집중호우, 가뭄 등의 이상기상 현상이 나타나고 있으며, 우리나라 역시 집중호우 또는 연속적인 강우, 고온 등의 기상환경의 변화가 나타나고 있다. 특히, 우리나라는 장마철이라는 특수한 기상상황을 가지고 있어, 과수를 재배하는 농업인에게 특히 불리하게 작용하고 있다. 이러한 환경적 변화로 인해 과수 재배농가에서는 병해충의 발생 및 이상증상이 증가하는 추세를 보이고 있고, 이로 인해 병해충 방제 방제횟수에도 영향을 미칠 것으로 예상하고 있다(Back et al., 2015; Cho et al., 2023). 실제로 1990년부터 2010년까지 살균제 살포프로그램 연구(Uhm et al., 1995; Lee et al., 2006)를 통해 사과 주요 병 방제를 위해 연간 살균제 살포횟수를 16회에서 9회까지 획기적으로 줄였다. 하지만 최근 경남 일부 사과 재배농가를 대상으로 한 조사에 따르면 평균 살균제 살포횟수가 18.4회로 다시 증가하는 것을 알 수 있다(GNARES, 2024). 이에 본 연구에서는 2014년부터 2023년까지 사과 주요 병해 방제용 살균제 살포프로그램을 개발하여 농가현장에 적용하고, 주요 병해에 대한 방제효과를 검정하였다. 각 연도별로 전년도 연구결과를 바탕으로 살균제 살포프로그램에서 일부 살균제를 바꿔가면서 살포프로그램을 개선하고 이들에 대한 사과 탄저병, 갈색무늬병, 겹무늬씩음병 등 주요 병해의 방제효과를 검토하였다. 또한 최근 사과 탄저병의 경우 기후변화에 따라 병 발생이 증가하고 있고, 일부 살균제 작용기작의 경우 방제효과가 낮아지고 있는 것으로 알려지고 있어(Uhm, 2022), 이들에 대한 살균제 방제효과들도 검정하였다. 이 중 본 연구에서는 2014년부터 2018년까지 국내에서 재배되는 사과 중 후지 품종을 대상으로 연간 살균제 살포프로그램을 개발하고, 이를 시험포장에 적용하여, 각 살포프로그램별 사과 주요 병해의 방제효과 등을 검정하였다. 각 연도별로 전년도의 살균제 방제프로그램들을 비교하여 방제효과가 우수한 살균제 살포프로그램을 재검정하여 비교함으로써 국내 사과에서 활용할 수 있는 방제 체계의 기준을 마련하고자 한다.

재료 및 방법

시험포장의 입지 및 과수원의 관리

본 연구에서 2014년과 2018년은 대구시 군위군 효령면 소재의 과수원을 시험지로 선정하였고, 2015년부터 2017년까지 경북 의성군 의성읍 소재의 과수원을 시험지로 선정하였다. 군위군 효령면 소재의 과수원은 재배 면적이 약 14,000 m²

이며, 토양은 사질양토로 후지, 홍로 등을 포함한 5가지 이상의 다품종 혼식 재배지로, 나무의 수령은 3~10년생으로 다양하였고 이 중 후지 품종의 8년생 나무를 시험구당 8 나무씩 선정하여 실험하였다. 의성군 의성읍 소재의 과수원은 재배 면적이 약 10,000 m²이며, 토양은 사질양토이며 후지품종만 재배하고, 나무의 수령은 3~10년생으로 다양하였으나 8년생 나무를 시험구당 8나무씩 선정하여 실험하였다. 과수원 관리는 재배농업인과 협의 하에 살균제 및 살충제 살포는 엄격히 제한하였으며, 그 이외의 전정, 시비, 물관리 등의 일반 과수원 관리는 재배농업인에게 위탁하여 관행적 농업에 준하여 관리하였다.

살균제 살포프로그램 선정 및 살포

2014년부터 2018년까지 살균제 살포프로그램에 사용한 살균제 목록(Table 1)과 각각의 연도별 대조구, 처리구 살균제 살포프로그램은 다음과 같다. 2014년도 시험에서는 일반적으로 사용하는 살균제 살포프로그램을 대조구로 선정하고, 2~10회차에 사용되는 살균제를 일부 교체하여 3가지의 처리구를 선정하였다(Table 2). 2015년도 시험에서는 전년도 병해 방제효과가 우수했던 살포프로그램을 대조구로 선정하고, 4가지 처리구와 무처리구를 선정하여 살포프로그램별 병해 방제효과를 검정하였다(Table 3). 2016년도 시험에서는 2015년, 2016년에 검정할 2가지 대조구와 1가지 처리구와 무처리구를 선정하였다(Table 4). 2017년도 시험에서는 2016, 2017년 검정할 2가지 대조구와 1가지 처리구를 선정하였다(Table 5). 마지막으로 2018년도에는 지난 4년의 결과를 종합한 1가지 대조구와 대조구와 비교하기 위해 일부 살균제를 교체한 1가지 시험구를 선정하였다(Table 6). 각 연도별 무처리구의 살균제 처리는 기준 살포프로그램 4회차까지(5월 하순) 동일하게 살포하였다. 살균제 살포는 시험지역 내 시험구를 대상으로 고정식 동력분무기(주남동력분무기 JN70, 주남공업사; 분당 회전수 750 rpm, 살포 압력 25~35 kg/cm²), 농약 살포용 약대(슈퍼툼, ㈜아사바태화) 및 노즐(동력용 곡형 헤드노즐, ㈜아사바태화; 압력 1.5 MPa, 분관 1.5 mm)를 이용하여 고압으로 살균제를 살포하였다. 본 연구에 사용한 살균제들은 사과 주요 곰팡이병 방제용으로 사용하는 살균제 희석배수로 희석하여 살포하였다. 살균제 살포일자는 기상상황을 고려하여 하루 혹은 이틀 정도의 변동은 있었으나, 대조구의 살포프로그램 일정에 맞춰 살포하였다. 본 실험을 수행하기 위해서 실험기간동안 대조구 및 처리구 살균제 살포프로그램 이외의 다른 살균제는 일체 처리하지 않았다.

사과 주요 병해 조사

살균제 살포프로그램별 방제효과 검증을 위하여 사과에 발생하는 주요 병해 발생을 조사하였다. 조사대상 병해는 탄

Table 1. Fungicides used in this experiment

No.	Name of A.I. ^{a)}	Formulation type ^{b)}	Mode of action	A.I. (%)	Abbreviation
1	Acibenzolar-S-methyl+Chlorothalonil	SC	P01+M	1.4+44.5	Asm+Chl
2	Acibenzolar-S-methyl+Dithianon	SC	P01+M	1.8+30	Asm+Dit
3	<i>Bacillus subtilis</i> QST 713	SC	P06	5 × 10 ⁹ cfu/g	Bas
4	Bordeaux mixture	WP	M01	-	Bom
5	Captan	WP	M04	50	Cap
6	Cyprodinil(& list of APs)+Difenoconazole	EW	D1+G1	24.1+8.4	Cyp+Dif
7	Difenoconazole+Iminoctadine triacetate	ME	G1+M07	3+15	Dif+Imt
8	Dithianon	SC	M09	66	Dit
9	Dithianon+Pyraclostrobin	WG	M09+C3	24+8	Dit+Pyr
10	Fluazinam	WP	C5	50	Flz
11	Fluopyram+Tebuconazole	SC	C2+G1	17.7+17.7	Flp+Teb
12	Fluopyram+Trifloxystrobin	SC	C2+C3	21.3+21.3	Flp+Tri
13	Fluquinconazole	SC	G1	10	Flq
14	Fluquinconazole+Flusilazole	SC	G1+G1	7+1.5	Flq+Flu
15	Fluxapyroxad	SC	C2	15.3	Flx
16	Fluxapyroxad+Pyraclostrobin	SC	C2+C3	4.6+8.3	Flx+Pyr
17	Iminoctadine triacetate	SL	M07	25	Imt
18	Kresoxim-methyl	WG	C3	50	Kre
19	Mancozeb	WP	M03	75	Man
20	Metconazole	SC	G1	20	Met
21	Metiram	WG	M03	55	Mer
22	Propineb	WP	M03	70	Pro
23	Pyraclostrobin	EW	C3	22.9	Pyr
24	Pyrimethanil	WP	D1	30	Pym
25	Tebuconazole	SC	G1	25	Teb
26	Tebuconazole+Trifloxystrobin	SC	G1+C3	20+10	Teb+Tri
27	Trifloxystrobin	SC	C3	22	Tri
28	Triflumizole	WP	G1	30	Trf

^{a)}A.I. : Active ingredient

^{b)}EW : Emulsion, oil in water, ME : Microemulsion, SC : Suspension concentrate, SL : Soluble concentrate, WG : Water dispersible granule, WP : Wettable powder

Table 2. Fungicide programs and diseases incidence sprayed in each experimental plot in 2014

Date sprayed	Fungicide programs			
	T1	T2	T3	B2014
Apr. 16.	Flq+Flu	Flq+Flu	Flq+Flu	Flq+Flu
May 2.	Flx	Cyp+Dif	Cyp+Dif	Flx
May 13.	Pro	Pro	Pro	Pro
May 23.	Teb+Tri	Teb+Tri	Kre	Kre
Jun. 2.	Dit	Dit	Dit	Dit
Jun. 12.	Cap	Cap	Cap	Cap
Jun. 26.	Flz	Flz	Flz	Flz
Jul. 11.	Tri	Tri	Pyr	Pyr
Jul. 25.	Asm+Dit	Asm+Dit	Asm+Dit	Asm+Dit
Aug. 11.	Teb	Teb	Met	Met
Aug. 22.	Dif+Imt	Dif+Imt	Dif+Imt	Dif+Imt

저병, 겹무늬썩음병, 갈색무늬병과 점무늬낙엽병을 선정하였다. 각 병해별 조사방법은 농촌진흥청 약효·약해시험고시 기준에 따라 과실 병해(탄저병, 겹무늬썩음병)는 병든 과일로, 잎의 병해(갈색무늬병, 점무늬낙엽병)는 병든엽률로 조사하였다. 조사대상 가지 선정은 사람의 가슴 높이부터 2 m 사이에 있는 가지 중 5개의 가지를 임의로 선정하여 조사하였고, 1주 당 잎은 200엽 이상, 과실은 전수 조사하였다. 일부 현장에서 육안으로 조사가 어려운 시료들은 실험실로 가져와 광학현미경 검경, 병원균 분리배양, PCR 검사를 수행하였으며, 주요 병해조사는 매년 6월부터 10월 까지 2주 간격으로 실시하였다. 각 시험구에 대한 통계분석은 SAS 9.2 통계프로그램을 이용하여 Duncan의 다중범위검정으로 시험구간의 유의성을 P < 0.05 수준에서 검정하였다.

Table 3. Fungicide programs and diseases incidence sprayed in each experimental plot in 2015

Date sprayed	Fungicide programs					
	T1	T2	T3	T4	B2015	Untreated
–	Imt	Imt	Imt	Imt	Imt	Imt
–	Flx	Flx	Flx	Flx	Flx	Flx
May 23.	Pro	Pro	Pro	Pym	Pro	Pro
Jun. 2.	Teb+Tri	Kre	Teb+Tri	Pro	Kre	Kre
Jun. 13.	Dit	Kre	Teb+Tri	Teb+Tri	Dit	–
Jun. 23.	Cap	Cap	Cap	Pro	Cap	–
Jul. 4.	Flz	Flz	Flz	Pro	Flz	–
Jul. 18.	Tri	Tri	Tri	Tri	Tri	–
Jul. 29.	Asm+Dit	Asm+Dit	Asm+Dit	Teb	Asm+Dit	–
Aug. 9.	Teb	Met	Teb	Pro	Met	–
Aug. 26.	Dit+Pyr	Dit+Pyr	Dit+Pyr	Teb+Tri	Dit+Pyr	–

Table 4. Fungicide programs and diseases incidence sprayed in each experimental plot in 2016

Date sprayed	Fungicide programs			
	T1	T2	B2016	Untreated
Apr. 15.	Flq+Flu	Trf	Trf	Trf
May 5.	Cyp+Dif	Flq	Flx	Flx
May 14.	Pro	Pro	Pro	Pro
May 24.	Teb+Tri	Teb+Tri	Kre	Kre
Jun. 4.	Dit	Dit	Dit	–
Jun. 14.	Cap	Mer	Mer	–
Jun. 29.	Flz	Flz	Bom	–
Jul. 14.	Tri	Tri	Tri	–
Aug. 3.	Asm+Dit	Asm+Dit	Asm+Dit	–
Aug. 22.	Met	Teb	Teb	–
Sep. 6.	Dit+Pyr	Asm+Chl	Asm+Chl	–

Table 5. Fungicide programs and diseases incidence sprayed in each experimental plot in 2017

Date sprayed	Fungicide programs			
	T1	B2017-1	B2017-2	Untreated
Apr. 19.	Man	Bom	Flp+Teb	Bom
May 4.	Cyp+Dif	Flx	Bas	Flx
May 15.	Pro	Pro	Pro	Pro
May 29.	Teb+Tri	Teb+Tri	Teb+Tri	Teb+Tri
Jun. 9.	Dit	Dit	Dit	–
Jun. 23.	Cap	Cap	Mer	–
Jul. 12.	Flz	Flz	Flz	–
Jul. 27.	Tri	Tri	Tri	–
Aug. 12.	Asm+Dit	Asm+Dit	Asm+Dit	–
Aug. 26.	Teb	Met	Teb	–
Sep. 8.	Flx+Pyr	Dit+Pyr	Asm+Chl	–

Table 6. Fungicide programs and diseases incidence sprayed in each experimental plot in 2018

Date sprayed	Fungicide programs		
	T1	B2018	Untreated
Apr. 16.	Bas	Man	Man
Apr. 30.	Flp+Teb	Cyp+Dif	Cyp+Dif
May 11.	Teb+Tri	Pro	Pro
May 24.	Pro	Teb+Tri	Teb+Tri
Jun. 8.	Dit	Dit	–
Jun. 21.	Flp+Tri	Cap	–
Jul. 6.	Flz	Flz	–
Jul. 26.	Tri	Tri	–
Aug. 16.	Asm+Dit	Asm+Dit	–
Sep. 1.	Teb	Teb	–
Sep. 13.	Flx+Pyr	Flx+Pyr	–

결과 및 고찰

2014년도 시험포장 환경조건 및 살균제 살포프로그램 결과

2014년 경북 군위군의 평균기온은 6월부터 8월까지 21.1~24.9°C로 나타났고(Fig. S1A), 사과 주요 곰팡이병의 비산 및 감염시기인 5~6월 사이에는 약 61 mm, 7월에는 110 mm의 강우에 그쳤다(Fig. S1B). 그로 인해 주요 병해의 발병정도가 매우 미미한 것으로 판단된다. 하지만 8월 이후 약 400 mm 이상의 강우와 9~10월까지 약 100 mm 이상의 비가 더 내려 주요 병해의 감염시기가 8월 이후부터 급격하게 증가하였다. 이러한 기상환경으로 인해 7월 말까지 점무늬낙엽병의 병든엽률은 0.1% 미만을 유지하였고, 갈색무늬병의 발생은 거의 없었다. 살균제 살포 후의 기상상황을 살펴봐도 살균제 처리 이후 시험포장에 비가 오지 않

아, 강우가 살균제 방제효과에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단되었다.

사과 점무늬낙엽병 조사는 사과나무당 200엽의 사과 잎을 무작위로 선정하여 점무늬낙엽병에 감염된 잎을 병든엽수로 환산하였다. 앞서 언급한 바와 같이 2014년에는 5~7월까지 강우량이 많지 않아 7월 하순 조사까지 시험구별로 약 0.2~1.6%의 병든엽률로 조사되었다(Table S1). 점무늬낙엽병은 8월부터 10월까지 점진적으로 증가하는 추세를 보였는데, 특히 살균제 살포프로그램이 끝난 8월 하순부터 증가하여 10월 이후에는 모든 시험구에서 7~23%의 병든엽률이 확인되었다. 살균제 살포프로그램별로 병든엽률을 차이를 확인해보면, 기본 살포프로그램(B2014)과 처리구1(T1)이 처리구 2, 3(T2, T3)에 비해서 병든엽률이 낮은 것으로 확인되었다. 이는 5월 2일 B2014와 T1 시험구에서는 Fluxapyroxad를 사용하였고, T2, T3 시험구에서는 Cyprodinil+Difenoconazole로 바뀌었을 뿐인데 점무늬낙엽병의 병든엽률에서 차이가 나타났다.

사과 갈색무늬병도 점무늬낙엽병과 동일한 방법으로 병든엽률을 조사하였다. 갈색무늬병은 비가 많거나 포화습도가 높고 온도가 20~25°C에서 감염되는 병해이다. 2014년의 경우 7월 하순까지 강우가 적었기 때문에 갈색무늬병의 병든엽수가 각 시험구별로 0.1% 미만이었다. 하지만 8월 2일부터 10일까지 약 9일간의 연속된 강우와 8월 한 달 중 약 20일간의 강우가 지속되면서 갈색무늬병의 발병이 소폭 증가하였다. 살균제 살포프로그램이 끝난 시점인 9월 11일 조사 결과에서 처리구별로 0.3~4.2%의 병든엽률을 보였다(Table S1). 반면, 동일한 시기에 경북 의성, 영천, 경남 거창 등에서 발생한 갈색무늬병 병든엽률은 11.4~59.4%로 조사되었다. 이를 간접적으로 비교해보면 본 실험에서 사용한 4가지 살균제 살포프로그램 모두가 타 살균제 살포프로그램에 비해 갈색무늬병 방제 가능성이 있음을 시사하였다. 이 중에서도 10월 8일에 최종적으로 조사한 결과에서는 4가지 살균제 살포프로그램 중 기본 살포프로그램(B2014)가 다른 시험구와 유의적인 차이를 보여, 갈색무늬병에 대한 방제효과를 증명하였다.

사과 탄저병은 시험구 나무 전체의 과일을 전수조사하고, 이 중 병든 과실을 계수하여 병든과율로 환산하였다. 2014년은 8월 11일까지 탄저병 발생이 거의 없었고, 처리2 시험구(T2)에서 0.2% 병든과율 나타났다(Table S1). 이 후 8월 29일 조사에서는 모든 시험구에서 병든과율이 0.1~2%로 조사되었다. 9월 이후에는 시험구별로 0.9~2.8%까지 병든과율이 높아졌다. 마지막 조사인 10월에는 처리3 시험구(T3)는 4%, 처리 1(T1), 처리 2(T2)시험구는 2%대, 기본 살포프로그램(B2014)는 0.3%의 병든과율로 조사되었다. 경북의 타 지역 사과 재배농가와 병든과율을 비교하였을 때 8월까지 비슷한 병든과율을 보였으나, 9~10월로 갈수록 타 지역에 비해 병

든과율이 높게 나타났다. 따라서 본 살균제 살포프로그램을 따르더라도, 늦은 장마로 인해서 9~10월에 사과 탄저병의 병든과율이 높아지는 불가피한 상황이 발생할 수 있음을 확인하였다.

사과 점무늬썩음병은 병든과율로 조사하였는데, 8월 하순에는 모든 시험구에서 0.6%, 9월 하순에는 0.7%, 마지막 조사 일자인 10월 상순에도 0.2~1.3%의 병든과율을 보였다. 따라서, 본 실험에서는 처리구와 무처리구를 직접적으로 비교하기 어려웠기 때문에 방제효과 검증에 대한 비교는 어려웠다.

2015년도 살균제 살포프로그램 결과

2015년 경북 의성군의 평균기온은 6월부터 8월까지 21.1~24.4°C로 전년도 시험포장의 온도조건과 유사하였다(Fig. S1C). 이 지역 월별 강우량을 살펴보면 6월 약 105 mm, 7월, 8월에는 각각 약 80 mm, 9월에는 약 50 mm 미만으로 조사되었다(Fig. S1D). 이는 2015년 의성군은 2014년 군위군에서 내렸던 약 930 mm의 강우량의 약 절반밖에 되지 않는 471 mm 정도의 비가 왔음을 의미한다. 이러한 기상 환경조건은 주요 곰팡이병의 병든엽률, 병든과율을 감소시켰다.

사과 점무늬낙엽병은 7월 10일까지 0.1% 미만으로 발생하였지만, 7월 10일 이후 모든 시험구에서 병든엽률이 증가하였고, 9월 상순 이후로는 무처리구에서 병든엽률이 100%에 가깝도록 발병하였다(Table S3). 하지만 처리구(T1~T4)와 기본 살포프로그램(B2015)에서는 약 10% 미만의 병든엽률만 관찰되어, 살균제 살포프로그램의 점무늬낙엽병의 발병을 효과적으로 억제하는 것으로 판단되었다.

사과 갈색무늬병 역시 5~6월 낮은 강우량으로 인해 7월 22일에 처음 발생하였고, 그 수 역시 전체 나무에서 1~2개 미만이었다. 갈색무늬병이 모든 처리구에서 발생한 것은 8월 5일 이후이며, 대조구와 처리구의 경우 0.8~2.4%의 병든엽률을, 무처리구에서는 20.8%의 병든엽률이 조사되었다(Table S3). 무처리구에서는 8월 21일 45.3%, 9월 4일 41.2%, 9월 18일 86.3%까지 증가하였고, 이 중 9월 4일 갈색무늬병의 병든엽률이 감소한 것은 초기 병반 잎들이 병이 진전되면서 떨어져 잎 전체의 숫자가 줄어든 것으로 판단되었다. 살균제 살포프로그램이 끝난 후 각 시험구별로 갈색무늬병의 병든엽률을 조사한 결과, 처리구(T1~T4)와 기본 살포프로그램(B2015)에서 약 3% 미만으로 병든엽률이 조사되었다. 이는 2015년도 11회차에 살포하는 Difenoconazole+Iminoctadine triacetate (3% + 15%)을 Dithianon+Pyraclostrobin(24% + 8%)로 교체함에 따라 나타난 상승효과로 추정된다. 또한, 2014년도 살균제 살포프로그램에서 10회차 살균제를 Metconazole (20%) 대신 Tebuconazole(25%)를 살포하였을 때 방제효과가 떨어지는 경향을 보였으나, 올해는 Metconazole(20%) 대신 Tebuconazole(25%)을 대체하였음에도 불구하고, 기본 살포프로그램과 동일한 방제효과를 보였다. 따라서 2015년

도 살균제 살포프로그램이 2014년도 살포프로그램에 비해 다양한 살균제를 활용할 수 있는 범용성이 높아진 것으로 판단된다. 2015년도 살균제 살포프로그램 처리구 4종(T1~T4)와 기본 살포프로그램(B2015)을 비교한 결과, 갈색무늬병 방제에 있어, Tebuconazole+Trifloxystrobin(20%+10%)이 Kresoxim-methyl(50%)를, Tebuconazole(25%)이 Metconazole (20%)를 성공적으로 대체할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 살균제 연용처리가 들어간 처리2(T2), 처리3(T3)을 제외한 처리1(T1), 처리4(T4), 기본 살포프로그램(B2015)이 모두 동등한 방제효과를 보이고 있어, 사용자 입장에서의 선택의 폭이 보다 넓어졌음을 시사하였다.

사과 탄저병 발생은 6월 10일부터 2주 간격으로 조사하였으나, 조사가 종료되는 9월 18일까지 무처리구를 제외한 모든 처리구(T1~T4)와 기본 살포프로그램(B2015)에서 탄저병이 발생되지 않아, 비교결과를 도출할 수 없었다(Table S3). 다만, 기상상황에 의해 탄저병균의 병든과율이 2% 미만으로 낮았고, 마지막 조사일까지 4.79%에 그쳐 비가 적게 오는 환경조건에서는 적절한 살균제 살포프로그램을 활용한다면 탄저병에 의한 피해를 다소 경감시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

사과 겹무늬썩음병도 탄저병과 마찬가지로 병든과율을 조사하는 기간중 무처리구에서만 3% 미만으로 발병하여, 살균제 살포프로그램별로 방제효율을 비교할 순 없었다(Table S3). 다만, 살균제 살포프로그램을 적용한 모든 시험구에서 발병이 없었으므로 겹무늬썩음병을 효과적으로 방제한 것으로 추정되었으며, 2016년도 추가적인 연구를 통해 밝히고자 하였다.

2016년도 살균제 살포프로그램 결과

2016년 경북 의성군의 평균기온은 6월부터 8월까지 21.1~24.9°C로 2015년도와 비슷하였다(Fig. S1E). 월별 강수량을 살펴보면 4월은 약 145 mm 이상 비가 왔으나 5월과 6월에는 각각 약 70 mm, 41 mm였다(Fig. S1F). 7월과 9월에는 200 mm 이상의 비가 왔고, 8월엔 90 mm로 전년도와는 다소 다른 양상을 보였다.

사과 겹무늬낙엽병은 6월 13일부터 모든 시험구에서 발생하였고, 7월 20일부터 급격하게 증가하는 추세를 보였고, 9월말에는 약 100%에 가까운 병든엽률을 보였다(Table S3). 2개의 기본 살포프로그램(B2016)과 처리구 살포프로그램(T1, T2)에서도 6월 13일부터 발병을 시작하였으나, 8월까지 3%대 미만의 병든엽률을 나타낸 반면, 무처리구는 약 85%의 병든엽률을 보였다. 최종적으로 10월까지 각각의 살균제 살포프로그램별로 2.7~6.6%의 병든엽률을 나타내어, 6월과 8월 강수량의 증가로 병이 발생하기 쉬운 환경이 조성되었음에도 불구하고, 살균제 살포프로그램 처리에 따른 병 방제효과가 있음을 확인하였다. 하지만 각각의 시험구별로는

살균제를 달리 배치하였으나, 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

사과 갈색무늬병은 6월 13일부터 처음 병징이 발견되었으나, 병든엽률은 0.03~0.07%에 불과하였다. 이후 8월 3일까지 지속적으로 병 발생이 증가하여 무처리구에서는 약 27.4%의 병든엽률을 보였다(Table S3). 이후 강우가 늘어나는 9월에 다시 병든엽률이 증가하였고, 마지막 조사 시기인 10월에는 무처리구 대부분의 잎에서 감염이 확인되었다. 반면, 기본 살포프로그램(B2016)과 처리구 살포프로그램(T1, T2)에서는 9월 23일까지 약 2.3~6.7% 미만의 병든엽률을 보여, 살균제 살포프로그램에 의한 방제효과가 확인되었다. 다만, 10월 14일에는 갈색무늬병의 병든엽률이 급격하게 증가하여 기본 살포프로그램(B2016)에서 15.6% 처리구 살포프로그램(T1, T2)에서는 4.5~9.8%로 조사되었다. 이는 2015년도 결과에서는 나타나지 않았던 것으로 아마 2016년 7~9월 강우가 2015년에 비해 많았고, 강우일수도 길었던 영향으로 판단되었다. 따라서, 안정적인 병 방제를 위해서는 처리구의 살포프로그램을 일부 개선해야 할 것으로 판단되었다.

사과 탄저병은 9월 6일부터 조사하였는데, 이미 무처리구에서 약 9%의 병든과율을 보였다(Table S3). 이후 마지막 조사시간인 10월 14일에는 약 20%까지 증가하였다. 2015년 5%였던 병든과율에 비해 약 4배가량 증가한 것으로 이는 9~10월 강우로 인한 것으로 판단되었다. 반면, 기본 살포프로그램(B2016)에서는 1.4%, 처리구 살포프로그램 T1에서는 2.6%, T2에서는 0.5%의 병든과율을 보여, 살균제 살포에 의한 탄저병의 효과적인 방제가 가능할 것으로 판단되었다. 다만, 각 시험구별로 살균제를 변경하여 배치하였음에도 살포프로그램별로 유의미한 차이는 없었다.

사과 겹무늬썩음병도 탄저병과 유사하게 9월 6일 첫 조사에서 이미 6%의 병든과율을 보였고, 최종 조사에서 7.7%까지 증가하였다(Table S3). 2015년도에 약 3%의 병든과율을 보인 것과 비교하면 약 2배 이상 병든과율이 증가하였다. 겹무늬썩음병도 탄저병과 마찬가지로 기본 살포프로그램과 대조구 살포프로그램에서 약 0.2% 미만의 병든과율을 보여, 살포프로그램에 의한 방제효과가 입증되었다. 다만, 살포프로그램별 유의적 차이는 없었다.

2017년도 살균제 살포프로그램 결과

2017년 경북 의성군의 평균기온은 6월부터 8월까지 20.9~23.6°C로 2016년에 비해 0.3~1.3°C가량 낮아졌다(Fig. S1G). 강수량은 4월은 전년도에 비해 감소하였으나, 5월에는 높은 양상을 보임. 반면 6월에는 약 30 mm의 매우 적은 강수량을 보였다(Fig. S1H). 7월부터 8월까지 약 380 mm 이상의 강수량을 보임. 2016년 9~10월 태풍 피해에 비해서는 올해는 수확기까지 태풍에 대한 영향은 없었다. 2017년은 3월부터 10월까지 약 690 mm의 강수량을 보여, 2016년 957 mm에 비해

강우량이 적었고, 일조량이 많았음을 알 수 있다.

사과 점무늬낙엽병은 6월 29일부터 모든 시험구에서 관찰되었으나, 그 수가 0.01% 미만이었다(Table S4). 이후 8월 2일부터 병든엽률이 증가하여 9월 19일에는 거의 모든 시험구에서 점무늬낙엽병을 관찰할 수 있었다. 지난 3년간의 시험결과와 마찬가지로 무처리구에서는 100%의 병든엽률을 보인 반면 기본 살포프로그램(B2017-1, B2017-2)과 처리구 살포프로그램(T1)에서는 병든엽률이 3.9~11.0%대로 매우 낮았다. 따라서 기본 살포프로그램과 처리구 살포프로그램간 병든엽률에 큰 차이가 없어, 이들 살포프로그램 모두 점무늬낙엽병의 방제에 효과적임을 확인하였다.

사과 갈색무늬병도 점무늬낙엽병과 마찬가지로 6월 29일에는 모든 시험구에서 관찰되지 않았지만 7월 19일부터 무처리구에서 일부 발견되어, 10월 18일까지 꾸준히 증가하여 무처리구에서 100%의 병든엽률을 확인하였다(Table S4). 살균제 살포가 모두 종료된 이후 9월 19일 갈색무늬병 병든엽률을 조사한 결과, 처리구 살포프로그램(T1)에서 가장 낮은 8.3%, 기본 살포프로그램 B2017-1은 14.2%, B2017-2는 26.8%로 확인되었다. 사과 갈색무늬병의 병든엽률이 2016년도에 비해 높은 것은 7~8월 꾸준한 강우 및 연속된 강우로 인해 9월 1일 50%이상의 병든엽률이 조사되었고, 이후 약 18일이 지난 9월 19일 95%까지 증가하게 되어, 모든 시험구에서 2016년도에 비해 다소 높은 병든엽률을 보인 것으로 판단되었다.

사과 탄저병은 무처리구와 처리구에서 8월 18일부터 관찰되기 시작하여 최종적으로 조사한 결과 병든과율이 21.7%로 확인되었다(Table S4). 따라서, 살균제 살포프로그램의 기본 살포프로그램과 처리구 살포프로그램의 탄저병 방제효과를 비교하였을 때, 모든 살포프로그램에서 1.2~1.9% 미만의 탄저병 병든과율로 조사되었다. 본 연구에서 사용한 3가지 살균제 살포프로그램 모두 탄저병을 효율적으로 방제하는데 활용될 수 있을 것으로 판단하였다. 다만, 살포프로그램별로 유의미한 차이는 없었다.

검무늬썩음병도 탄저병과 마찬가지로 8월 18일쯤 무처리구에서 병든과율이 2.6%였으며, 최종 조사일인 10월 19일에는 병든과율이 15%로 확인되었다(Table S4). 반면 모든 살균제 살포프로그램들은 0.7~1.3% 미만의 병든과율로 조사되어, 검무늬썩음병 방제에 활용할 수 있을 것으로 판단하였다. 다만, 살포프로그램별로 는 유의미한 차이를 나타내진 않았다.

2018년도 살균제 살포프로그램 결과

2018년 경북 군위군의 평균기온은 6월부터 8월까지 21.8~26.7°C로 나타났다(Fig. S1I), 강우량의 경우 5~6월 사이에는 약 93 mm 및 155 mm, 7~8월에는 약 200 mm의 강우가 확인되었고, 9~10월까지도 약 100 mm로 확인되었다(Fig. S1J).

사과 점무늬낙엽병은 6월 29일부터 무처리구에서 병든엽

률이 3.2%로 조사되었다(Table S5). 이후 8월 하순~9월 상순 사이 급격히 증가하여 최종적으로 21.5%의 병든엽률로 조사되었다. 반면 대조구와 처리구 살포프로그램은 각각 0.3~0.6% 미만의 병든엽률로 조사되어, 살균제 살포에 따른 점무늬낙엽병 방제효과가 높은 것으로 판단되었다.

사과 갈색무늬병은 6월 29일부터 관찰이 시작되었는데, 병든엽률이 매우 낮았으며, 7월 상순까지 그 발생도 미미하였다. 이는 아마, 갈색무늬병이 포자비산시기인 5~6월의 강우량이 다른 해에 비해 다소 적고, 강우일수도 짧았기 때문인 것으로 판단되었다. 갈색무늬병은 7월 중순 이후부터 발생이 급격하게 진행되어 9월 22일에는 42.6%, 10월에는 26.9%의 병든엽률을 보였다. 갈색무늬병의 병든엽률에 차이를 보이는 것은 갈색무늬병 감염에 의해 낙엽된 잎이 많았기 때문인 것으로 확인되었다. 반면 기본 살포프로그램(B2018)은 병든엽률이 0.27%를, 처리구 살포프로그램(T1)은 병든엽률이 0%로 나타나, 매우 안정적으로 갈색무늬병을 방제하였다고 판단되었다. 하지만, 이들 살포프로그램간의 유의적 차이는 확인되지 않았다.

사과 탄저병은 8월 상순에 확인되었고, 무처리구에서 8월 24일에는 2.3%, 최종 조사일자인 10월 9일에는 11.6%의 병든과율을 보였다. 기본 살포프로그램과 처리구 살포프로그램을 적용한 시험구는 0.1% 미만의 병든과율을 나타내어, 모든 살포프로그램이 탄저병 방제에 효과적인 것으로 확인되었다.

사과 검무늬썩음병은 8월 24일 조사에서 처음 확인되었고, 마지막 조사까지 약 12%의 병든과율을 보였다. 반면 기본 살포프로그램과 처리구 살포프로그램 시험구에서는 0.2% 미만의 병든과율을 보여, 탄저병과 비슷한 경향임을 확인할 수 있었다. 따라서, 이번 기본 살포프로그램과 처리구 살포프로그램은 탄저병, 검무늬썩음병을 효과적으로 방제할 수 있는 것으로 확인되었다.

2014년부터 2018년까지 기상상황에 따른 사과 주요 병해의 발생상황을 살펴보면, 2014년 군위군의 경우 8월에 집중적인 강우로 인해 대부분의 병해들이 7월 말까지 1% 미만의 발병률을 보인 반면, 8월부터 증가하는 추세를 보였다. 하지만 2014년의 경우 무처리구 조사가 진행되지 않아, 실제적인 비교가 다소 어려웠다. 2015년 의성군은 전반적으로 강우가 적었으나 무처리구에서 점무늬낙엽병은 7월 20일경 10%의 병든엽률을, 갈색무늬병은 8월 5일경 20%의 병든엽률을 보였다. 이는 6~7월 적은 강우량에 의해서도 사과 주요 병해의 발생이 충분히 조장된다는 것을 의미하며, 이 시기 적절한 살균제를 처리하지 않을 경우 병에 의한 피해가 발생할 수 있음을 알 수 있다. 실제로 10월 마지막 조사를 살펴보면 무처리구의 경우 점무늬낙엽병과 갈색무늬병의 병든엽률이 100%인 반면 살균제 살포프로그램 처리구는 점무늬낙엽병은 2.2~7.7%, 갈색무늬병은 2.3~7.1%의 병든엽률로 조사되었다. 2016년은 7월과 9월에 집중적인 강우로 인해 사과 점무늬낙엽병, 갈색무늬병, 탄저병, 검무늬썩음병의 발생이 증가

하였다. 이는 7월 강우가 적었던 2015년과 대조적으로 과실 병해의 발생이 증가한 것을 확인할 수 있으며, 2016~2017년에도 유사한 현상이 확인되었다. 2018년 균위균은 6~8월 강우량이 다른 년도에 비해 비교적 높았으나, 병의 발생은 2015~2017년 보다 적었다. 이는 지역별, 농가별 방제수준에 따른 병 발생 양상에서 다소 차이가 있는 것으로 판단되었다. 사과 주요 병해 발생시기는 유사하게 나타났지만 병해 발생이 2015~17년에 비해 급격하게 증가하는 추세는 보이지 않았다.

본 연구에서는 2014년부터 2018년까지 5년간 사과 주요 병해 방제를 위한 살포프로그램을 개발하여 그 방제효과를 검증하였다. 2014년도 시험을 제외한 나머지는 모두 무처리구를 설정하여 전년도 살균제 살포프로그램을 기반으로 한 기본 살포프로그램과 살균제를 일부 변경한 처리구 살포프로그램으로 나누어 비교 검증하였다. 그 결과 연도별로 기상상황에 따라 사과 주요 병해의 발생양상에서 차이가 있었으나, 살균제 살포프로그램을 적용한 시험구에서 모두 무처리구 대비 효과적인 방제효과를 확인할 수 있었다. 국내에서 사과 병해의 살균제 살포프로그램의 개발은 사과 겹무늬썩음병의 효과적인 방제를 위한 약제살포 체계의 수립(Jeong 등, 1994)을 시작으로 사과나무 부란병 방제(Uhm and Sohn, 1995), 미국 수출용 사과재배를 위한 살균제 살포력의 개발(Uhm et al., 1995)가 있다. 미국 수출을 위한 살포력 개발은 미국에 잔류허용 기준이 설정되어 있는 한정적인 약제를 활용하여 겹무늬썩음병 방제를 위해 총 12회 살포프로그램을 개발하여 3년간 농가현장 시험을 통해 가능성을 제시하고 있다. 이후 사과 주요 병해 4종을 방제하기 위한 15일 간격 살포프로그램(9회 살포)이 개발되었고, 각각의 시기에 발생하는 병해를 방제하기 위한 살균제 선발과 살포프로그램 내 살균제들의 상호작용에 의한 방제효과 차이를 제시하였다(Lee et al., 2008). 이들 연구에서는 각각의 살균제 살포프로그램의 탄저병 병든과율이 무처리구에선 8%대를 살균제 처리구에서는 0.4~2.1%대로 나타나, 2018년 기본 살포프로그램의 방제효과와 매우 유사한 것으로 나타났다. 또한, 갈색무늬병도 기존 연구에서는 무처리구에서는 19%의 병든엽률을 보인 반면 살균제 처리구에서는 1.8~10.6%로 나타나, 2018년 기본 살포프로그램이 보다 방제효과가 우수한 것으로 판단되었다. 따라서, 본 연구에서 개발한 11회 살균제 살포프로그램은 기존 연구와 비교하였을 때, 사과에 발생하는 주요 병해 4종(검무늬낙엽병, 갈색무늬병, 탄저병, 겹무늬썩음병)을 효과적으로 방제할 수 있는 것으로 판단되었다. 우리나라 기상조건이 2000년대와 비교하여 집중호우가 증가하고 강우일수가 다소 길어지는 등의 병 발생에 유리한 이상기상 조건임에도 불구하고 본 연구에서 제시한 살균제 살포프로그램은 안정적인 방제효과를 보였다. 본 결과는 지난 10년간의 기후변화에 따른 살균제 살포프로그램의 방제효과 변화, 동일한 살균제 살포프로그램 사용에 따른 살균제 저항성 발달

등에 대한 추가적인 데이터 해석 및 분석 연구를 통해 추후 논문으로 게재하고자 한다.

최근 연구에 따르면 국내 사과 재배지역에서 발생하는 탄저병균이 Quinone outside Inhibitor (QoI) 계열 살균제에 대한 저항성을 시사하고(Kim et al., 2023; Chang et al., 2023) 있으며, 이를 보완하기 위한 보호살균제 위주의 살포 프로그램 개발을 제안하고 있다(Uhm, 2022). 이와 더불어 2023년 기록적인 장마로 인해 고추, 사과, 복숭아, 감 등에서 탄저병이 대발생하여 생산량 감소를 야기시키는 등의 문제들이 발생하였다(KERI, 2023b). 현재 일어나고 있는 이상기상 현상은 탄저병을 포함한 사과의 주요 병해의 발생을 증가시킬 수 있는 우려가 있고, 실제 증가되고 있는 현상이 나타나고 있다. 따라서, 향후 연구에서 기본 살포프로그램을 기반으로 한 살균제 살포프로그램 개선과 횡수를 경감할 수 있는 방안에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Author Information and Contributions

Chang-Gi Back : Dankook University, Assistant Professor, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5665-4730>

Seung-Yeol Lee : Kyungpook National University, Associate Professor, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1676-0330>

Jinho Keum : Kyungpook National University, Graduate student

Hee-Young Jung : Kyungpook National University, Professor, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4254-3367>

Research design; Jung H-Y, Investigation; Lee S-Y, Back C-G, Keum JH, Data analysis; Lee S-Y, Back C-G, Writing – original draft preparation; Lee S-Y, Back C-G Writing – review & editing; Back C-G, Jung H-Y.

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literature Cited

- Back C-G, Lee S-Y, Kang I-K, Yoon T-M, Jung H-Y, 2015. Occurrence and analysis of apple blotch-like symptoms on apple leaves. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 33(3):429-434.
- Back C-G, Jung H-Y, 2014. Biological characterization of *Marssonina coronaria* infecting apple trees in Korea. *Kor. J. Mycol.* 42(3):183-190.
- Chang T, Hassan O, Jeon JY, Kim CH, Lee DM, et al., 2023. *Colletotrichum* diversity within different species complexes

- associated with fruit anthracnose in South Korea and their fungicides in-vitro sensitivity. *Res. Plant Dis.* 29(4):345-362.
- Chatzidimopoulos M, Lioliopoulou F, Sotiropoulos T, Vellios E, 2020. Efficient control of apple scab with targeted spray applications. *Agronomy.* 10(2):217.
- Cho Y, Lee D-H, Kwon Y, Park J, Nam J-C, et al., 2023. Occurrence of major disease and insect pest in apple. *Hortic. Sci. Technol.* 41(Suppl II):40. (Abstract)
- Dang J, Gleason M, Niu C, Liu X, Guo Y, et al., 2017. Effects of fungicides and spray application interval on controlling *Marssonina blotch* of apple in the loess plateau region of China. *Plant Dis.* 101(4):568-575.
- Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Services (GNARES). 2024. Gyeongnam Agriculture Meister College Apple course Personal communication. Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Services, Jinju, Korea.
- Jeong M, Kim D, Uhm J, 1994. Establishment of fungicide spray schedule for effective control of apple white rot (1. Guiding principles for selecting protective fungicides in accordance with apple growing season). *Korean J. Plant Pathol.* 10(4):284-291.
- Kim J, Kim HT, Jeon Y, 2023. Research to Fungicide Sensitivity of *Colletotrichum* spp. Isolated from Apple Fruits in Cheongsong, Korea. *Res. Plant Dis.* 29(2):145-157.
- Khodadadi F, Martin P, Donahue D, Peter K, Acimović S, 2022. Characterizations of an emerging disease: apple blotch caused by *Diplocarpon coronariae* (syn. *Marssonina coronaria*) in the Mid-Atlantic United States. *Plant Dis.* 106(7):1803-1817.
- Lee D, Cho L, Shin J, Uhm J, 2006. Suppressive activities of foliar spray fungicides for apple against sporulation of *Botryosphaeria dothidea*, the causal fungus of white rot, and their role in disease control. *Res. Plant Dis.* 12(3):240-248.
- Lee D, Kim D, Shin H, Uhm J, 2008. Development of a 15-day interval spraying program for controlling major apple diseases. *Plant Pathol. J.* 24(4):439-446.
- Lee D-H, Back C-G, Win N, Choi K-H, Kim K-M, et al., 2011. Biological Characterization of *Marssonina coronaria* Associated with Apple Blotch Disease. *Mycobiology.* 39(3): 200-205.
- Prasad R, Singh K, Gupta R, 2020. Development of spray schedules for controlling apple scab in Uttarakhand. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 9(10):2894-2908.
- The Korea Rural Economic Institute (KREI), 2023a Agricultural outlook 2023. Korea Rural Economic Institute, Naju, Korea.
- The Korea Rural Economic Institute (KREI), 2023b Agricultural Outlook Information August 2023. Korea Rural Economic Institute, Naju, Korea.
- The Korean Society of Plant Pathology (KSPP), 2009. List of plant diseases in Korea. 5th ed. Seoul: Korean Society of Plant Pathology.
- The Korean Society of Plant Pathology (KSPP) and National Institute of Agricultural Sciences. 2024. Online Database of the List of Plant Diseases in Korea. 6.2nd ed.
- Uhm J, 1998. Current practice of chemical control against apple diseases and its improvement in Korea. In: Proceedings of the International Symposium on Recent Technology of Chemical Control of Plant Diseases, pp. 19-49. Korean Society of Plant Pathology, Daegu, Korea.
- Uhm J, Lee D, Lee S K, 1995. Development of fungicide spray program for the apples to be exported to the United States of America. *Korean J. Plant Pathol.* 11(1):17-29.
- Uhm J, 2010. Low-fungicide control systems for apple diseases. *Agriculture and Horticulture Co.* pp. 251.
- Uhm J, 2021. 40 years of developing apple disease control systems: Changes in disease patterns and responses. *Partstudio.* pp. 262.
- Uhm J, 2022. Development of apple disease control systems and issues of pesticide resistance in Korea. 2022 Spring conference of the Korean Society of Pesticide Science. p. 17-27.

사과 주요 병해 효율적인 방제를 위한 살균제 살포프로그램 개발

백창기^{1*} · 이승열^{2,3*} · 금진호² · 정희영^{2,3*}

¹단국대학교 바이오융합대학, ²경북대학교 식물의학과, ³경북대학교 식물의학연구소

요약 사과나무에 발생하는 주요 병해 4종(점무늬낙엽병, 갈색무늬병, 탄저병, 겹무늬썩음병)을 방제하기 위해 11회 살균제 살포프로그램을 개발하였다. 2014년부터 2018년까지 5년간 살포프로그램 개발, 현장적용, 살포프로그램 개선 등의 과정을 거쳐 최종적으로 2018년도 기본 살포프로그램을 개발하였다. 2018년도 기본 살포프로그램의 방제 효과를 검정한 결과, 앞에 발생하는 사과 점무늬낙엽병과 갈색무늬병의 병든엽률을 각각 0.6, 0.21%로 무처리 대비 높은 방제효과가 확인되었다. 또한 과실에 발생하는 사과 탄저병과 겹무늬썩음병의 병든과율은 0%대로 이 또한 무처리구에 비해 높은 방제효과가 확인되었다. 따라서, 사과 주요 병해 방제를 위한 살균제 살포프로그램을 활용하여 효율적인 병 방제와 살균제 사용량 저감을 통한 생산비 절감이 가능할 수 있을 것으로 전망된다.

색인어 사과, 사과 갈색무늬병, 탄저병, 겹무늬썩음병, 살균제 살포프로그램

Supplementary data

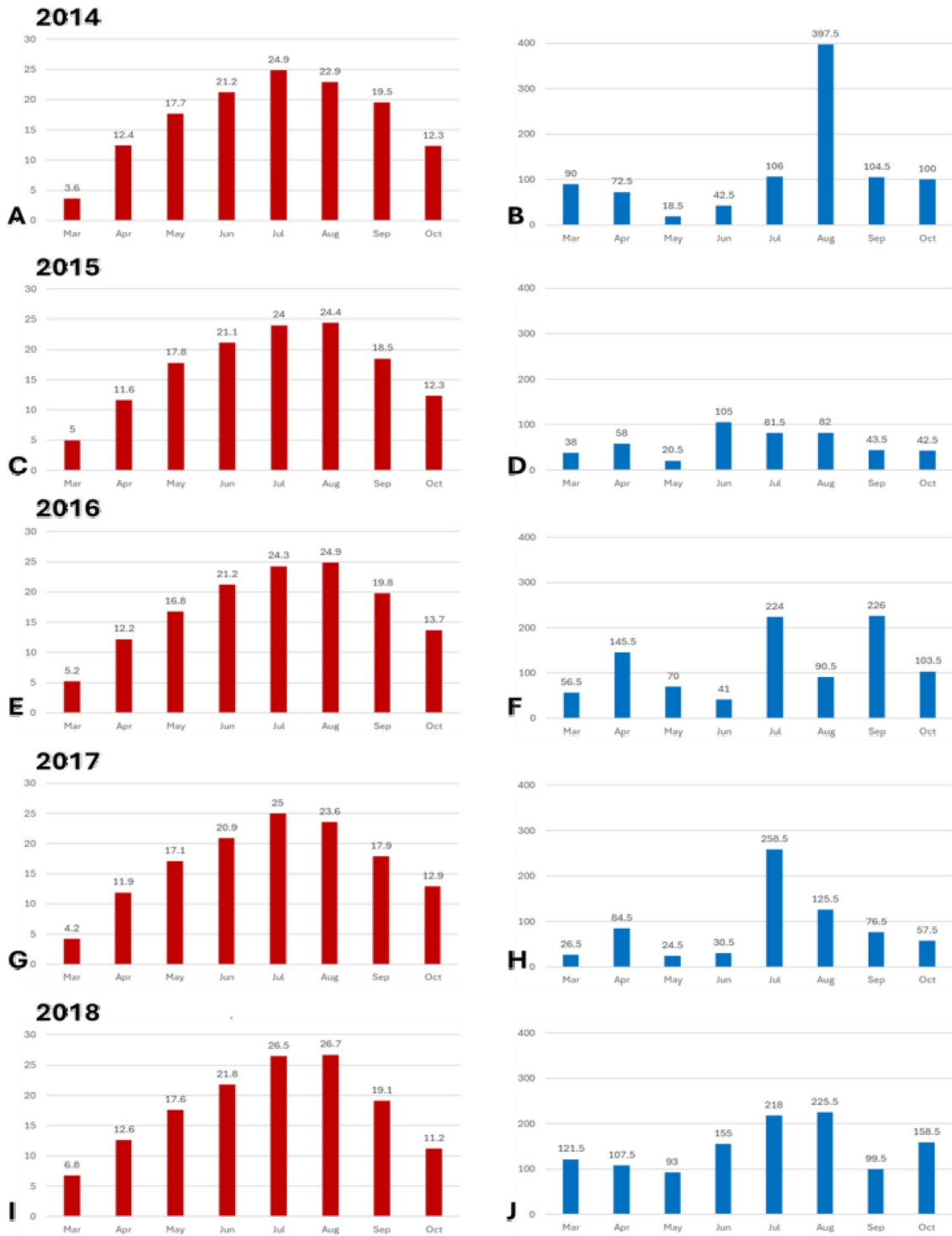


Fig. S1. Environmental conditions of field trial areas 2014 to 2018. Average temperature March to October (A, C, E, G, I) and Total amount of rain fall March to October (B, D, F, H, J).

Table S1. Result for Control efficiency of 4 major diseases (Alternaria leaf spot, Apple blotch, Bitter rot and white rot) with different fungicide spray program in 2014

Apple diseases	Date	Fungicide program and disease incidence (%)				C.V.
		T1	T2	T3	B2014	
Alternaria leaf spot ^{a)}	Jul. 29	1.4a ^{c)}	0.5b	0.3b	0.7b	39.4
	Aug. 11	2a	2.6a	1.7a	1.7a	38.1
	Aug. 29	5.1a	3.1b	3.3b	1.0c	23.3
	Sep. 11	6.1a	2.3b	4ab	2.1b	33.5
	Sep. 25	7.6a	4.6ab	6.5a	3.4b	26.4
	Oct. 8	17.2a	6b	14.2a	7.1b	25.2
Apple blotch ^{a)}	Aug. 11	0.1a	0.0a	0.0a	0.0a	153.3
	Aug. 29	10.2a	5.5b	2.1bc	0.5c	39.9
	Sep. 11	4.2a	1.8bc	3.2ab	0.3c	35.8
	Sep. 25	15.2a	8.2b	5.0bc	1.0c	38.2
	Oct. 8	22.7a	14.9a	14.8a	5.0b	33.3
Bitter rot ^{b)}	Aug. 11	0.0b	0.2a	0.0b	0.0b	183.3
	Aug. 29	1.6a	2.0a	0.4a	0.1a	116.7
	Sep. 11	1.6a	2.0a	2.4a	0.2a	75.4
	Sep. 25	1.6a	2.0a	2.8a	0.9a	99.7
	Oct. 8	2.6ab	2.3ab	4.5a	0.3b	81.3
White rot ^{b)}	Aug. 29	0.6a	0.5ab	0.1ab	0.0b	94.6
	Sep. 11	0.4a	0.2a	0.2a	0.0a	103.4
	Sep. 25	0.6a	0.5a	0.7a	0.2a	78.6
	Oct. 8	1.3a	0.3a	1.0a	0.2a	117

^{a)}The percentage of the diseased leaves among more than 200 examined leaves was used as the disease incidence.

^{b)}The percentage of the diseased fruits among all the surveyed fruits was used as the disease incidence.

^{c)}Within a line, means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

Table S2. Result for Control efficiency of 4 major diseases (Alternaria leaf spot, Apple blotch, Bitter rot and white rot) with different fungicide spray program in 2015

Apple diseases	Date	Fungicide program and disease incidence (%)						C.V.
		T1	T2	T3	T4	B2015	Untreated	
Alternaria leaf spot ^{a)}	Jul. 22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	–
	Aug. 5	1.0b ^{c)}	1.2b	1.0b	1.1b	2.0b	32.2a	30.1
	Aug. 21	1.5b	1.3b	1.6b	1.2b	2.6b	39.7a	48.2
	Sep. 4	1.8b	1.4b	2.0b	1.8b	2.3b	98.3a	7.0
	Sep. 18	3.3cd	6.4b	2.0d	7.3b	4.5c	100a	4.3
	Oct. 6	3.8cd	6.8b	2.2d	7.7b	4.9c	100a	6.8
Apple blotch ^{a)}	Aug. 5	1.0b	0.9b	1.7b	1.2b	2.4b	20.8a	46.4
	Aug. 21	1.5b	1.3b	1.7b	1.3b	2.1b	45.3a	69.0
	Sep. 4	2.0b	1.6b	1.5b	2.2b	2.8b	41.2a	47.4
	Sep. 18	3.5bc	5.5bc	1.5c	5.9b	6.5b	86.3a	11.8
	Oct. 6	3.9c	6.1b	2.3c	6.3b	7.1b	93.9a	14.3
Bitter rot ^{b)}	Aug. 21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	–
	Sep. 4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	–
	Sep. 18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	–
	Oct. 6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	–
White rot ^{b)}	Sep. 18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	–
	Oct. 6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	–

^{a)}The percentage of the diseased leaves among more than 200 examined leaves was used as the disease incidence.

^{b)}The percentage of the diseased fruits among all the surveyed fruits was used as the disease incidence.

^{c)}Within a line, means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

Table S3. Result for Control efficiency of 4 major diseases (Alternaria leaf spot, Apple blotch, Bitter rot and white rot) with different fungicide spray program in 2016

Apple diseases	Date	Fungicide program and disease incidence(%)				C.V.
		T1	T2	B2016	Untreated	
Alternaria leaf spot ^{a)}	Jun. 13	2.3a ^{c)}	0.5b	0.7b	3.0a	37.9
	Jun. 27	0.7b	0.3b	0.4b	15.8a	39.9
	Jul. 8	1.3b	0.6b	0.9b	11.5a	18.4
	Jul. 20	1.4b	0.6b	1.4b	44.7a	49.6
	Aug. 3	2.3b	1.2b	1.4b	86.6a	4.6
	Aug. 18	6.5b	2.9c	6.0b	95.0a	6.1
	Sep. 6	4.3b	1.6c	3.1b	95.6a	2.9
	Sep. 23	6.4b	2.7d	4.4c	100.0a	2.2
	Oct. 14	4.9b	4.6b	3.9b	100.0a	3.6
Apple blotch ^{a)}	Jun. 13	0.0a	0.0a	0.07a	0.03a	163.3
	Jun. 27	0.1b	0.1b	0.1b	1.5a	76.5
	Jul. 8	0.1b	0.0b	0.0b	4.4a	50.7
	Jul. 20	0.2b	0.1b	0.6b	23.4a	9.3
	Aug. 3	0.5b	0.2b	0.8b	27.4a	19.4
	Aug. 18	0.9c	1.2c	3.3b	8.6a	28.4
	Sep. 6	1.8b	1.2b	5.2b	30.2a	43.7
	Sep. 23	2.6b	2.3b	6.7b	34.1a	34.8
	Oct. 14	9.8bc	4.5c	15.6b	99.3a	13.1
Bitter rot ^{b)}	Sep. 6	2.9b	0.0c	0.3c	9.0a	34.8
	Sep. 23	1.1b	0.1b	0.3b	20.5a	62.1
	Oct. 14	2.6b	0.5b	1.4b	20.0a	24.7
White rot ^{b)}	Sep. 6	0.2b	0.0b	0.1b	6.4a	82.9
	Sep. 23	0.1b	0.1b	0.0b	5.7a	61.9
	Oct. 14	0.2b	0.1b	0.1b	7.7a	77.0

^{a)}The percentage of the diseased leaves among more than 200 examined leaves was used as the disease incidence.

^{b)}The percentage of the diseased fruits among all the surveyed fruits was used as the disease incidence.

^{c)}Within a line, means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

Table S4. Result for Control efficiency of 4 major diseases(Alternaria leaf spot, Apple blotch, Bitter rot and white rot) with different fungicide spray program in 2017

Apple diseases	Date	Fungicide program and disease incidence (%)				C.V.
		T1	B2017-1	B2017-2	Untreated	
Alternaria leaf spot ^{a)}	Jun. 29	0.0	0.0	0.0	0.0	?
	Jul. 19	0.1b ^{c)}	0.0b	0.2b	3.7a	44.4
	Aug. 2	0.1c	0.2bc	0.6b	21.6a	9.2
	Aug. 18	1.3b	0.7b	1.6b	46.1a	22.9
	Sep. 1	1.9b	1.0b	2.8b	44.1a	21.1
	Sep. 19	5.2b	5.3b	7.4b	94.4a	22.4
	Oct. 18	3.9b	8.0b	11.0b	100.0a	23.5
	Apple blotch ^{a)}	Jun. 29	0.0	0.0	0.0	0.0
Jul. 19		0.3b	0.3b	0.5b	4.9a	25.7
Aug. 2		0.2bc	0.1c	0.4b	20.0a	5.3
Aug. 18		2.0c	5.7c	16.3b	39.3a	22.1
Sep. 1		3.9d	7.0c	22.4b	57.2a	27.9
Sep. 19		8.3c	14.2bc	26.8b	95.7a	24.8
Oct. 18		10.2c	19.6bc	27.8b	100a	22.3

Table S4. Result for Control efficiency of 4 major diseases(Alternaria leaf spot, Apple blotch, Bitter rot and white rot) with different fungicide spray program in 2017

Bitter rot ^{b)}	Aug. 18	0.0b	0.9b	1.1b	5.1a	73.7
	Sep. 1	0.6b	1.2b	1.5b	9.9a	41.7
	Sep. 19	0.6b	1.9b	2.2b	13.2a	35.1
	Oct. 18	1.2b	1.9b	1.8b	21.7a	25.5
White rot ^{b)}	Sep. 1	0.3b	0.0b	0.1b	2.6a	98.6
	Sep. 19	0.8b	0.8b	0.1b	6.4a	67.3
	Oct. 18	0.7b	1.3b	1.1b	15.0a	21.3

^{a)}The percentage of the diseased leaves among more than 200 examined leaves was used as the disease incidence.

^{b)}The percentage of the diseased fruits among all the surveyed fruits was used as the disease incidence.

^{c)}Within a line, means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

Table S5. Result for Control efficiency of 4 major diseases (Alternaria leaf spot, Apple blotch, Bitter rot and white rot) with different fungicide spray program in 2018

Apple diseases	Date	Fungicide program and disease incidence(%)			C.V.
		T1	B2018	Untreated	
Alternaria leaf spot ^{a)}	Jun. 29	0.0b ^{c)}	0.1b	3.2a	22.3
	Jul. 12	0.3b	0.2b	3.7a	14.0
	Jul. 26	0.3b	0.2b	4.8a	13.9
	Aug. 9	0.1a	0.3a	3.8a	81.6
	Aug. 24	0.5b	0.1b	7.8a	69.3
	Sep. 7	0.6b	0.5b	15.7a	86.8
	Sep. 22	0.4b	0.2b	20.9a	87.4
	Oct. 9	0.3b	0.6b	21.5a	67.5
Apple blotch ^{a)}	Jun. 29	0.02b	0.02b	0.05a	63.6
	Jul. 12	0.04b	0.0b	2.4a	77.2
	Jul. 26	0.0b	0.06b	4.0a	23.4
	Aug. 9	0.0b	0.0b	1.0a	70.3
	Aug. 24	0.0b	0.02b	2.2a	18.5
	Sep. 7	0.06b	0.19b	26.9a	44.5
	Sep. 22	0.0b	0.27b	42.6a	31.8
	Oct. 9	1.47b	0.21b	26.8a	77.8
Bitter rot ^{b)}	Aug. 9	0.2b	0.0b	4.0a	81.6
	Aug. 24	0.0b	0.0b	3.0a	20.0
	Sep. 7	0.0b	0.1b	4.7a	17.3
	Sep. 22	0.0b	0.1b	5.1a	42.4
	Oct. 9	0.0b	0.0b	11.6a	65.5
White rot ^{b)}	Aug. 24	0.0b	0.0b	2.3a	39.8
	Sep. 7	0.2b	0.1b	4.0a	22.1
	Sep. 22	0.1b	0.2b	5.4a	56.2
	Oct. 9	0.0b	0.0b	12.0a	58.2

^{a)}The percentage of the diseased leaves among more than 200 examined leaves was used as the disease incidence.

^{b)}The percentage of the diseased fruits among all the surveyed fruits was used as the disease incidence.

^{c)}Within a line, means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.