

항공방제용 농약의 혼용가능 조합 선발 및 생물효과

진용덕* · 이희동¹ · 심홍식² · 이상계³ · 권오경

국립농업과학원 유해물질과, ¹농약평가과, ²농업미생물과, ³곤충산업과

(2008년 12월 14일 접수, 2008년 12월 19일 수리)

Selection and Bioactivity of Tank Mix Combinations of Pesticides for Aerial Application

Yong-Duk Jin*, Hee-Dong Lee¹, Hong-Sik Shim², Sang-Guei Lee³ and Oh-Kyung Kwon

Harzardous Substances Division, ¹Pesticide Safety Division, ²Agricultural Microbiology Division, ³Applied Entomology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA

Abstract

This study was conducted to select excellent tank mix combinations of pesticides for aerial application by manned helicopter. Among 209 pesticide combinations of 3-way tank-mixing for aerial application, a total of 93 recommendable combinations including tricyclazole SC+validamycin-A SL+imidacloprid SL were finally selected for the simultaneous control of key pests on paddy rice such as blast, sheath blight, brown planthopper and moth. The selected combinations were not phytotoxic to rice plants and nearby non-target crops, and excellent in physicochemical properties of ultra low volume (ULV) spray solutions. The efficacies on sheath blight, brown planthoppers and white-backed planthoppers of pesticides sprayed by aerial application were similar to those of pesticides by conventional spraying. Total cost of aerial application in paddy rice was very economical as one fourth level of that of conventional spraying.

Key words pesticide, ULV, aerial application, helicopter, efficacy

서 론

농업인구의 감소와 고령화·부녀화에 따른 농촌 노동력 부족 및 중독우려 등으로 인하여 농약살포가 농업인이 가장 기피하는 농작업으로 인식되고 있는 현 시점에서, 항공방제는 벼농사에 있어서 병해충 방제노력과 비용을 획기적으로 줄이고 국제경쟁력 있는 고품질의 쌀을 지속적으로 생산할 수 있는 최선의 대안이 될 수 있다.

우리나라에서 항공방제는 벼 주요 병해충 방제를 위해 6월 하순에서 8월 하순에 걸쳐 연간 1~2회 행해지고 있다. 하지만, 방제용 헬리콥터 및 전문인력 등 기반시설 부족과 항공방

제용 약제개발 등 기초연구 부족으로 인해, 항공방제 면적은 '96년 40,197 ha에 비해 늘어나긴 했지만 2000년 이후 매년 약 100,000 ha 수준에 머물러 있는 실정이다. 더구나 항공방제는 생태계 파괴와 환경오염의 주범으로 인식되고 있는 현실에서 방제면적을 늘리는 것도 어려운 실정이다(진, 2005).

실제 국내에서 항공방제용(ULV용)으로 등록된 농약은 2008년 현재 tricyclazole SC 등 18품목에 불과하여, 일본의 경우 최근 재등록 과정에서 다소 줄어들긴 했지만 100여 품목이 등록되어 있는데 비해 상대적으로 우리나라는 항공방제에 대한 연구가 매우 미흡한 실정이다(농림수산항공협회, 2003). 최근 일부 농약회사에서自社 농약에 한한 것이기는 하지만 항공방제용 혼용가부에 대한 시험자료를 공개하여 농약선택의 폭이 다소 넓어졌으나 현재까지의 항공방제 혼용여부는

*연락처 : Tel. +82-31-290-0534, Fax. +82-31-290-0506
E-mail: ydjin@rda.go.kr

과거 시험성적에 의존하여 관행적으로 행해져온 30여 혼용조합에 불과하다. 최근 무인헬기 등 항공방제에 대한 관심이 높아지면서 농업인의 다양한 요구와 함께 약효가 우수한 신규 약제의 혼용가부에 대한 문의가 끊이지 않고 있다.

본 연구는 이러한 요구와 문제점을 해결하고자 헬기를 이용한 고농도 소량살포 농약의 이화학적 특성과 약효약해, 주변작물에 대한 영향 평가를 통하여 벼 병해충 동시방제를 위한 항공방제용 우수 혼용조합을 선별하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

시험 농약

항공방제용 농약의 혼용가능 조합을 선별하기 위해 사용한 농약은 현재 농가에서 사용량이 많고 선호하는 농약위주로 선정하였으며, 대상 병해충별 품목명은 Table 1과 같다.

고농도 소량살포 농약의 물리화학적 조사

농약의 물리성 검정은 CIPAC법(CIPAC Handbook Vol. F, 2003)에 준하여 실시하였으며, 일부 국립농업과학원 공정 분석방법을 병행하였다.

시험농약을 단계별로 유화성 및 수화성 등 주요 물리성 검정 결과를 근거로 하여 1차적으로 부적합 농약을 제외시킨 후 2종, 3종의 혼용조합으로 구분하여 100 mL measuring cylinder에 약제별 살포농도에 맞도록 3도 경도수로 25~150배로 희석하여 100 mL씩 넣고 10회 도립, 30초 후, 30분 후, 2시간 후, 24시간 후, 유화성, 현수성 이외의 free oil, froth, cream 량, 층분리 정도 등을 조사하고 다시 10회 도립, 30초 후 재 유화성과 30분 후 최종 유화안정성을 조사하였다. 또한 고농도 주요 3종 혼용 살포액의 경시적 주성분 분해정도를 분석하였다.

항공방제용 농약조합별 약해 및 혼용가부시험

이천 및 수원포장에서 살균제+살균제+살충제 형태의 3종 혼용 209조합에 대하여 주 대상작물인 벼 4품종과 주변작물인 고추, 참깨, 들깨, 콩에 대해 ULVA(ultra low volume applicator)를 이용하여 혼용하는 각 농약의 표준희석배수를 감안하여 25~150배액으로 조제하여 살포하고 농촌진흥청 시험기준과 방법에 따라 주기적으로 약해정도(0~5)와 회생 여부를 조사하였다.

항공방제 포장에 대한 약효조사

고농도 소량살포에 의한 해충방제 효과를 평가하기 위하여 fenobucarb EC를 8배와 30배 희석액으로 조제하고, 8배 희석액은 0.8 L/10a, 30배 희석액은 3 L/10a를 atomizer를 이용하여, 온실에서 미리 벼멸구를 접종하여 순화시키고 약제 살포 직전에 사전 밀도를 조사한 포트에 살포하고, 대조구로는 1,000배 희석액을 일반분무기로 살포하여 약제 살포 3일, 6일 후 벼멸구의 밀도를 조사하고 벼멸구에 대한 방제효과를 비교 평가하였다.

항공방제 지역에 대한 약효조사는 이천의 현지포장에서 2차(벼재배 후기) 항공방제가 끝나고 7~10일 후 도열병 및 문고병의 이병율을 조사하여 평가하였으며, 발생밀도가 낮아 조사가 어려운 벼멸구와 흰등멸구에 대해서는 미리 접종된 포트를 항공방제 지역으로 이동시키고 살포직전에 멸구류 밀도를 조사하고 tricyclazole SC + hexaconazole EC + chlorpyrifos-methyl EC를 각각 50배, 36배, 36배로 희석하여 5.0 L/10a를 살포한 후 살포 3일과 6일 후 생충율을 조사하여 방제효과를 평가하였다.

항공방제의 경제성 분석

항공살포와 일반 관행살포와의 방제비용에 대한 경제성 분석을 농촌진흥청 경영정보정책관실의 벼농사 손익분기 분석에 의거하여 산출하고 그 결과를 비교하였다.

Table 1. Pesticide formulations tested for the selection of recommendable tank-mixing combinations for aerial application

Target disease/pest	Pesticide formulation
Rice blast	Edifenphos EC, Ferimzone·Tricyclazole SC, Fthalide SC, Isoprothiolane EC, Isoprothiolane·Fenoxanil EC, Kasugamycin SL, Thiophanate-methyl SC, Tricyclazole SC
Sheath blight	Flutolanil EC, Hexaconazole EC, Iprodione·Carbendazim SC, Validamycin-A SL
Planthopper	Carbosulfan SC, Chlorpyrifos-methyl EC, Diazinon EC, Fenobucarb EC, Imidacloprid SL
Planthopper and moth	Chlorpyrifos-methyl EC, Diazinon EC, Phenthoate EC
Moth	Ethofenprox EW, Methoxyfenozide SC, Pyridaphenthion EC

결과 및 고찰

항공방제용 혼용조합의 물리성 및 약해 조사

벼 주요 병해충 동시방제를 위한 항공방제용 우수 혼용조합을 선발하기 위하여 단계 및 2종 혼용에 대한 예비시험을 거쳐 벼 병해충 발생시기에 적합한 고농도의 3종 혼용조합을 조제하고, 희석액의 물리성 및 약해검정을 실시한 결과는 Table 2, 3, 4, 5와 같다. 각 Table에서 보는 바와 같이 thiophanate-methyl SC가 혼합된 모든 조합에서 물에 쉽게 수화가 되지 않는 등 물리성이 크게 저하되었으며, 3종 혼용 농약 중 2종 이상이 SC제형인 조합에서도 다소 물리성 저하 현상이 나타났다. 액

상수화제는 수화제에 비해 현수성이 월등히 좋았는데, 이는 수화제 분말의 평균 입자크기가 10 µm 전후인데 비해 액상수화제의 입자는 이보다 5~10배가 작은 1~2 µm에 불과해 수중에서의 분산력이 훨씬 좋아졌기 때문인 것으로 여겨진다. 또한 액상수화제의 현수성은 고농도시에서도 저농도시와 큰 차이를 보이지 않을 만큼 양호하였다. 총 209조합의 3종 혼용 시험조합 중 43조합이 살포액의 물리성면에서 부적합한 것으로 판단하였다.

시험 혼용조합에 대한 최종적인 항공방제용 혼용가부 판단은 살균제 2종(도열병+잎집무늬마름병)과 살충제(멸구약, 멸구·나방약, 나방약) 1종과의 3종 혼용조합을 각 약제별 적

Table 2. Overall physicochemical property and phytotoxicity of the 3-way tank-mix solutions of pesticides for aerial ULV^{a)} spray in paddy rice

Combination of pesticide			Phytotoxicity degree (0-5)					Physico-chemical property
Rice blast	Sheath blight	Planthopper	Rice	Soy bean	Red pepper	Green perilla	Sesame	
Kasugamycin SL	Validamycin-A SL	Fenobucarb EC	0	2	0	0	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	0	0	0	0	Excellent
	Iprodione·Carbendazim SC	Fenobucarb EC	0	1	0	0	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	0	0	0	0	Good
	Hexaconazole EC	Fenobucarb EC	0	2	0	0	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	0	0	0	0	Excellent
Fthalide SC	Validamycin-A SL	Fenobucarb EC	0	1	0	0	0	Good
		Imidacloprid SL	0	0	0	0	0	Excellent
	Iprodione·Carbendazim SC	Fenobucarb EC	0	0	0	1	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	0	0	0	0	Excellent
	Hexaconazole EC	Fenobucarb EC	0	1	0	0	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	1	0	0	0	Excellent
Edifenphos EC	Validamycin-A SL	Fenobucarb EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	0	0	0	0	Excellent
	Iprodione·Carbendazim SC	Fenobucarb EC	0	1	0	0	0	Good
		Imidacloprid SL	0	1	0	0	0	Excellent
	Hexaconazole EC	Fenobucarb EC	0	1	0	0	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	2	0	0	0	Excellent
Isoprothiolane EC	Validamycin-A SL	Fenobucarb EC	0	1~2	0	0	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	1	0	0	0	Excellent
	Iprodione·Carbendazim SC	Fenobucarb EC	0	2	0	0	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	1	0	0	0	Excellent
	Hexaconazole EC	Fenobucarb EC	0	1	0	0	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	2	0	0	0	Excellent
	Flutolanil EC	Fenobucarb EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	1	0	0	0	Excellent

^{a)} ULV : Ultra low volume with 25 to 60-fold dilution

Table 2. Continued

Combination of pesticide			Phytotoxicity degree (0-5)					Physico-chemical property
Rice blast	Sheath blight	Planthopper	Rice	Soy bean	Red pepper	Green perilla	Sesame	
Thiophanate-methyl SC	Validamycin-A SL	Fenobucarb EC	0	1	0	0	0	Unacceptable
	Iprodione·Carbendazim SC	Fenobucarb EC	0	0	0	0	0	Unacceptable
	Hexaconazole EC	Fenobucarb EC	0	1	0	0	0	Unacceptable
Tricyclazole SC	Validamycin-A SL	Fenobucarb EC	0	1	0	0	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	0	0	0	0	Excellent
	Iprodione·Carbendazim SC	Fenobucarb EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	0	0	0	0	Good
	Hexaconazole EC	Fenobucarb EC	0	1	0	0	0	Unacceptable
		Imidacloprid SL	0	2	0	0	0	Excellent
	Flutolanil EC	Fenobucarb EC	0	1	1	1	1	Excellent
Imidacloprid SL		0	0	0	0	0	Excellent	
Ferimzone·tricyclazole SC	Validamycin-A SL	Fenobucarb EC	0	1	0	0	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	0	0	0	0	Good
	Iprodione·Carbendazim SC	Fenobucarb EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	0	1	0	0	Good
	Hexaconazole EC	Fenobucarb EC	0	0	0	0	0	Unacceptable
		Imidacloprid SL	0	0	0	0	0	Good
	Flutolanil EC	Fenobucarb EC	0	0	0	0	0	Excellent
Imidacloprid SL		0	0	0	0	0	Excellent	
Isoprothiolane·fenoxanil EC	Validamycin-A SL	Fenobucarb EC	<1	3	1	1	1	Excellent
		Imidacloprid SL	0	<1	0	0	0	Excellent
	Flutolanil EC	Fenobucarb EC	0	1	0	0	0	Excellent
		Imidacloprid SL	0	0	0	0	0	Excellent

Table 3. Overall physicochemical property and phytotoxicity of the 3-way tank-mix solutions of pesticides for aerial ULV^{a)} spray in paddy rice

Combination of pesticide			Phytotoxicity degree (0-5)					Physico-chemical property
Rice blast	Sheath blight	Planthopper·moth	Rice	Soy bean	Red pepper	Green perilla	Sesame	
Kasugamycin SL	Validamycin-A SL	Ethofenprox EW	0	1	0	0	0	Excellent
		Carbosulfan SC	0	0	0	0	0	Good
		Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Diazinon EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	0	Excellent
	Iprodione·Carbendazim SC	Ethofenprox EW	0	1	0	0	0	Good
		Carbosulfan SC	0	0	0	0	0	Excellent
		Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Diazinon EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	0	Excellent
	Hexaconazole EC	Ethofenprox EW	0	1	0	0	0	Excellent
		Carbosulfan SC	0	1	0	0	0	Excellent
		Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Diazinon EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	0	Excellent

^{a)} ULV : Ultra low volume with 25 to 60-fold dilution

Table 3. Continued

Combination of pesticide			Phytotoxicity degree (0-5)					Physico-chemical property
Rice blast	Sheath blight	Planthopper · moth	Rice	Soy bean	Red pepper	Green perilla	Sesame	
Fthalide SC	Validamycin-A SL	Ethofenprox EW	0	0	0	0	0	Excellent
		Carbosulfan SC	0	0	0	0	0	Excellent
		Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Diazinon EC	1	0	0	0	0	Good
		Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	0	Good
	Iprodione·Carbendazim SC	Ethofenprox EW	0	0	0	0	0	Good
		Carbosulfan SC	0	0	0	0	0	Excellent
		Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Diazinon EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	0	Excellent
	Hexaconazole EC	Ethofenprox EW	0	0	0	0	0	Good
		Carbosulfan SC	0	0	0	0	0	Excellent
		Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Good
		Diazinon EC	0	0	0	0	0	Good
		Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	0	Excellent
Edifenphos EC	Validamycin-A SL	Ethofenprox EW	0	1	0	0	0	Excellent
		Carbosulfan SC	0	0	0	0	0	Excellent
		Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Diazinon EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Chlorpyrifos-methyl EC	1	0	0	0	0	Excellent
	Iprodione·Carbendazim SC	Ethofenprox EW	0	0	0	0	0	Excellent
		Carbosulfan SC	0	0	0	0	0	Excellent
		Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Diazinon EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Chlorpyrifos-methyl EC	1	0	0	0	0	Excellent
	Hexaconazole EC	Ethofenprox EW	0	1	0	0	0	Excellent
		Carbosulfan SC	0	0	0	0	0	Excellent
		Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Diazinon EC	0	1	0	0	0	Excellent
		Chlorpyrifos-methyl EC	0	2	0	0	0	Excellent
Isoprothiolane EC	Validamycin-A SL	Ethofenprox EW	0	0	0	0	0	Excellent
		Carbosulfan SC	0	0	0	0	0	Good
		Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Diazinon EC	0	1	0	0	0	Excellent
		Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	0	Excellent
	Iprodione·Carbendazim SC	Ethofenprox EW	0	0	0	0	0	Excellent
		Carbosulfan SC	0	0	0	0	0	Unacceptable
		Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Diazinon EC	0	0	0	0	0	Excellent
		Chlorpyrifos-methyl EC	1	0	0	0	0	Excellent

Table 3. Continued

Combination of pesticide			Phytotoxicity degree (0-5)					Physico-chemical property	
Rice blast	Sheath blight	Planthopper·moth	Rice	Soy bean	Red pepper	Green perilla	Sesame		
Isoprothiolane EC	Hexaconazole EC	Ethofenprox EW	0	0	0	0	0	Excellent	
		Carbosulfan SC	0	0	0	0	0	Excellent	
		Phenthoate EC	1	0	0	0	0	Excellent	
		Diazinon EC	0	1~2	0	0	0	Excellent	
		Chlorpyrifos-methyl EC	0	1	0	0	0	Excellent	
		Flutolanil EC	Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	0	Excellent
Thiophanate-methyl SC	Validamycin-A SL	Ethofenprox EW	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Carbosulfan SC	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Diazinon EC	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	0	Unacceptable	
	Iprodione·Carbendazim SC	Ethofenprox EW	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Carbosulfan SC	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Diazinon EC	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	0	Unacceptable	
	Hexaconazole EC	Ethofenprox EW	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Carbosulfan SC	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Diazinon EC	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	0	Poor	
	Flutolanil EC	Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Diazinon EC	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	0	Unacceptable	
	Tricyclazole SC	Validamycin-A SL	Ethofenprox EW	0	0	0	0	0	Excellent
			Carbosulfan SC	0	1	0	0	0	Good
			Phenthoate EC	1	0	0	0	0	Excellent
			Diazinon EC	0	0	0	0	0	Excellent
			Chlorpyrifos-methyl EC	1	0	0	0	0	Excellent
		Iprodione·Carbendazim SC	Ethofenprox EW	0	0	0	0	0	Good
Carbosulfan SC			0	1	0	0	0	Excellent	
Phenthoate EC			1	0	0	0	0	Excellent	
Diazinon EC			0	0	0	0	0	Good	
Chlorpyrifos-methyl EC			0	0	0	0	0	Excellent	
Hexaconazole EC		Ethofenprox EW	0	0	0	0	0	Excellent	
		Carbosulfan SC	0	2	0	0	0	Good	
		Phenthoate EC	0	0	0	0	0	Excellent	
		Diazinon EC	0	1	0	0	0	Unacceptable	
		Chlorpyrifos-methyl EC	0	1	0	0	0	Unacceptable	
Flutolanil EC		Chlorpyrifos-methyl EC	0	1	0	0	0	Excellent	

Table 3. Continued

Combination of pesticide			Phytotoxicity degree (0-5)					Physico-chemical property	
Rice blast	Sheath blight	Planthopper·moth	Rice	Soy bean	Red pepper	Green perilla	Sesame		
Ferimzone·tricyclazole SC	Validamycin-A SL	Ethofenprox EW	0	0	0	0	0	Excellent	
		Carbosulfan SC	0	0	0	1	1	Good	
		Phenthoate EC	1	0	0	0	0	Unacceptable	
		Diazinon EC	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Chlorpyrifos-methyl EC	1	0	0	0	0	Good	
	Iprodione·Carbendazim SC	Ethofenprox EW	0	0	0	0	0	Unacceptable	
		Carbosulfan SC	0	0	0	0	0	Excellent	
		Phenthoate EC	1	0	0	0	0	Poor	
		Diazinon EC	0	0	0	0	0	Good	
		Chlorpyrifos-methyl EC	1	0	0	0	0	Poor	
	Hexaconazole EC	Ethofenprox EW	0	2	0	0	1	Unacceptable	
		Carbosulfan SC	0	2	0	0	0	Good	
		Phenthoate EC	1	0	0	0	0	Poor	
		Diazinon EC	0	0	0	0	0	Good	
		Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	0	Poor	
	Flutolanil EC	Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	0	Excellent	
	Isoprothiolane·fenoxanil SC	Validamycin-A SL	Chlorpyrifos-methyl EC	0	1	0	0	0	Excellent
		Flutolanil EC	Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	1	Excellent

Table 4. Overall physicochemical property and phytotoxicity of the 3-way tank-mix solutions of pesticides for aerial ULV^{a)} spray in paddy rice

Combination of pesticide			Phytotoxicity degree (0-5)					Physico-chemical property
Rice blast	Sheath blight	Moth	Rice	Soy bean	Red pepper	Green perilla	Sesame	
Kasugamycin SL	Validamycin-A SL	Methoxyfenozide SC	0	1	0	0	0	Excellent
		Pyridaphenthion EC	0	2	0	0	0	Excellent
	Iprodione·Carbendazim SC	Methoxyfenozide SC	0	2	0	0	0	Excellent
		Pyridaphenthion EC	0	2	0	0	0	Excellent
	Hexaconazole EC	Methoxyfenozide SC	0	2	0	0	0	Excellent
		Pyridaphenthion EC	0	1	0	0	0	Excellent
Fthalide SC	Validamycin-A SL	Methoxyfenozide SC	0	1	0	0	0	Excellent
		Pyridaphenthion EC	0	0	0	0	0	Good
	Iprodione·Carbendazim SC	Methoxyfenozide SC	0	0	0	0	0	Good
		Pyridaphenthion EC	0	1	0	0	0	Excellent
	Hexaconazole EC	Methoxyfenozide SC	0	0	0	0	0	Good
		Pyridaphenthion EC	0	0	0	0	0	Good
Edifenphos EC	Validamycin-A SL	Methoxyfenozide SC	0	1	0	0	0	Excellent
		Pyridaphenthion EC	0	1	0	0	0	Excellent
	Iprodione·Carbendazim SC	Methoxyfenozide SC	0	0	0	0	0	Excellent
		Pyridaphenthion EC	0	1	0	0	0	Excellent
	Hexaconazole EC	Methoxyfenozide SC	0	1	0	0	0	Excellent
		Pyridaphenthion EC	0	1~2	0	0	0	Excellent

^{a)} ULV : Ultra low volume with 25 to 150-fold dilution

Table 4. Continued

Combination of pesticide			Phytotoxicity degree (0-5)					Physico-chemical property
Rice blast	Sheath blight	Moth	Rice	Soy bean	Red pepper	Green perilla	Sesame	
Isoprothiolane EC	Validamycin-A SL	Methoxyfenozide SC	0	0	0	0	0	Excellent
		Pyridaphenthion EC	0	1	0	0	0	Excellent
	Iprodione·Carbendazim SC	Methoxyfenozide SC	0	0	0	0	0	Excellent
		Pyridaphenthion EC	0	1	0	0	0	Excellent
	Hexaconazole EC	Methoxyfenozide SC	0	1	0	0	0	Excellent
		Pyridaphenthion EC	0	0	0	1	0	Excellent
Flutolanil EC	Methoxyfenozide SC	0	1	0	0	0	Excellent	
Thiophanate-methyl SC	Validamycin-A SL	Methoxyfenozide SC	0	0	0	0	0	Unacceptable
		Pyridaphenthion EC	0	0	0	0	0	Unacceptable
	Iprodione·Carbendazim SC	Methoxyfenozide SC	0	0	0	0	0	Unacceptable
		Pyridaphenthion EC	0	0	0	0	0	Unacceptable
	Hexaconazole EC	Methoxyfenozide SC	0	0	0	0	0	Unacceptable
		Pyridaphenthion EC	0	1	0	0	0	Unacceptable
Tricyclazole SC	Validamycin-A SL	Methoxyfenozide SC	0	0	0	0	0	Excellent
		Pyridaphenthion EC	0	0	0	0	0	Excellent
	Iprodione·Carbendazim SC	Methoxyfenozide SC	0	1	0	0	0	Excellent
		Pyridaphenthion EC	0	0	0	0	0	Excellent
	Hexaconazole EC	Methoxyfenozide SC	0	1	0	0	0	Unacceptable
		Pyridaphenthion EC	0	0	0	0	0	Unacceptable
Flutolanil EC	Methoxyfenozide SC	0	0	0	0	0	Excellent	
Ferimzone·tricyclazole SC	Validamycin-A SL	Methoxyfenozide SC	0	1	0	0	0	Excellent
		Pyridaphenthion EC	0	0	0	0	0	Good
	Iprodione·Carbendazim SC	Methoxyfenozide SC	0	1	0	0	0	Excellent
		Pyridaphenthion EC	0	0	0	0	0	Excellent
	Hexaconazole EC	Methoxyfenozide SC	0	0	0	0	0	Excellent
		Pyridaphenthion EC	0	0	0	0	0	Excellent
Flutolanil EC	Methoxyfenozide SC	0	0	0	0	0	Good	
Isoprothiolane·fenoxanil EC	Validamycin-A SL	Methoxyfenozide SC	0	0	0	0	0	Excellent
	Flutolanil EC	Methoxyfenozide SC	0	0	0	0	0	Excellent

Table 5. Suspending ability of SC and WP formulations for aerial application

Pesticide	Dilution ratio	Suspending ability (%)	Pesticide	Dilution ratio	Suspending ability (%)
Tricyclazole SC	200	98.97	Tricyclazole WP	250	93.2
	60	98.78			
Tricyclazole+Ferimzone SC	200	99.59	Pencycuron WP	250	82.0
	30	99.50			
Methoxyfenozide SC	200	99.82	Methoxyfenozide WP	250	84.8
	150	99.67			
Iprodione+Carbendazim SC	200	99.29	Chlorothalonil WP	250	81.0
	45	99.65			
Fthalide SC	200	99.77	Imidacloprid WP	250	65.5
	30	99.19			

정 희석배수로 조제한 후 ULVA를 이용하여 추청벼 등 벼 4품종과 고추, 들깨, 참깨, 콩에 대한 약해검정을 실시한 결과를 근거로하여 총 209 시험조합중 모든 시험작물에 약해가 전혀 없고 고농도 희석액의 물리성이 양호(Good 등급 이상)한 93조합을 최종 선발하였다.

고농도 소량살포 농약희석액의 주성분 안정성

항공방제용 고농도 3종 혼용 농약살포액의 경시적 주성분 안정성을 알아보기 위하여 혼용조합별 각각의 약제에 따라 25~60배로 적정 희석액을 조제한 후 경시적으로 시료를 채취하여 그 주성분을 분석한 결과는 Table 6과 같다. 대부분의 조합에서 표준 희석배수에서와 유사하게 주성분 분해율이 살포액 조제 3일 후까지 5%내외로 비교적 안정하였다. 일부 다

이아지는 함유조합에서 조제 2~3일후 7~10%의 분해율을 나타내었으나, 조제 24시간까지의 분해율이 1.6% 이내로 항공방제용 사용약제로서 문제가 없을 것으로 판단되었다.

다이아지논의 경우 단제의 희석액에서는 조제 3일 후 분해율이 2.2%에 불과했으나 3종 혼용시 10%에 가까운 분해율을 보인 것은 혼용과정에서 다른 약제의 주성분이나 부자재 또는 희석용수의 pH 등에 영향을 받은 것으로 보여진다.

항공방제 포장에서의 벼 잎집무늬마름병에 대한 방제효과를 조사한 결과는 Table 7과 같다. 잎도열병과 이삭도열병은 발병이 되지 않아 조사하지 못했으나, 잎집무늬마름병의 경우 병반 고율이 20.8~31.0%로 관행살포의 27.9%와 대동소이한 것으로 보아 초기 부착량의 차이에도 불구하고 약효 면에서 두 살포방법간에 차이는 크지 않음을 알 수 있었다.

Table 6. Stability of the active ingredients with time after preparation of pesticide spray solutions for aerial application

Combination of pesticide formulation	Remained rate of a.i. in pesticide spray solutions with time (hr) after preparation (%)				
	a. i.	0.5	24	48	72
Isoprothiolane EC + Validamycin-A SL + Phenthoate EC etc. 18 combinations	Chlorpyrifos-m				
	Diazinon				
	Edifenphos				
	Fenobucarb				
	Hexaconazole	100	97.8~	96.3~	94.5~
	Isoprothiolane		99.9	99.8	99.8
	Phenthoate				
	Pyridaphenthion				
	Tricyclazole				
Tricyclazole SC + Hexaconazole EC + Diazinon EC	Tricyclazole	100	99.5	99.0	98.8
	Hexaconazole	100	99.1	96.7	95.0
	Diazinon	100	98.4	93.2	89.4
Edifenphos EC + Hexaconazole EC + Diazinon EC	Edifenphos	100	99.7	99.1	98.7
	Hexaconazole	100	99.3	97.4	95.1
	Diazinon	100	98.5	95.9	92.9

^{a)} Validamycin-A was not analyzed.

Table 7. Incidence^{a)} of sheath blight in farmers' paddy fields sprayed by aerial application

Surveyed locality	Variety of rice	Diseased plant (%)	Lesion height (%)
Bubal	Chucheong-byeo	41.8	31.0
Baksa	Chucheong-byeo	7.6	21.2
Hobup	Chucheong-byeo	57.9	29.4
Seolsung	Chucheong-byeo	47.3	20.8
Majang	Chucheong-byeo	36.7	28.9
Moga	Chucheong-byeo	30.3	26.9
Reference ^{b)}	Dongjin-byeo	86.7	27.9

^{a)} The incidences were surveyed 7 to 10 days after final applications of the year.

^{b)} Reference was in the experiment field of Plant Pathology Division of NIAST in Icheon and applied with conventional spraying.

고농도 소량살포농약의 적정 약제 희석배수 및 약량별 병해충 방제효과를 알아보기 위하여 벼멸구를 대상으로 fenobucarb EC를 atomizer와 스프레이어로 살포하고 방제효과를 조사한 결과는 Table 8과 같다. Fenobucarb EC를 8배로 희석하여 0.8 L/10a 비율로 atomizer로 살포한 결과 76.3%의 약간 저조한 벼멸구 방제효과를 보였으나 30배로 희석하여 3 L/10a 비율로 살포한 결과 96.9%의 방제효과를 보여 일반 살포기를 이용하여 1,000배로 희석한 약제를 150 L/10a 비율로 살포한 경우와 비슷한 방제 효과를 보였다. 이 결과로 볼 때 30배로 희석하여 3 L/10a 비율로 살포하여도 관행살포와 비교하여 방제효과 면에서 큰 차이가 없을 것으로 사료되었다.

항공방제 현지포장에서 해충방제 효과를 평가하기 위하여 헬리콥터(Bell 206)를 이용하여 tricyclazole SC + hexaconazole EC + chlorpyrifos-methyl EC 조합을 약제별 적정 배수로 희석하여 5.0 L/10a 비율로 살포한 후 흰등멸구(*Sogatella*

furcifera Horváth)와 벼멸구(*Nilaparvata lugens* Stål)의 방제효과를 조사한 결과는 Table 9와 같다. 흰등멸구의 방제가는 96.8%로 우수하였으나 벼멸구의 방제가는 55.2%로 상당히 저조한 편이었다. 이는 살충제인 chlorpyrifos-methyl EC가 벼멸구 적용약제가 아닌 것이기 때문인 것으로 생각된다(한국작물보호협회, 2008). 따라서 본시험 결과로 볼 때 초미량살포기(ULVA) 등에 의한 간이시험으로도 실제 항공방제 시 나타날 수 있는 약해 및 약효의 평가가 가능하리라고 판단되었다.

항공방제의 경제성 평가

항공방제와 일반 관행방제와의 방제비용을 분석한 결과는 Table 10과 같다. 일반 관행살포는 방제시간 15.6 hr/ha에 해당하는 노임과 부대비용, 경운기 및 방제기의 감가상각비와 수리비 그리고 유류비 등을 포함하여 ha당 약 147,836원이 소요되는데 비해 국내의 항공방제는 방제회사와의 계약단

Table 8. Control effect of fenobucarb EC on brown planthoppers at different spray volume and dilution rates under the greenhouse conditions

Dilution ratio	Spray volume (L/10 a)	Sprayer	Dose (a.i. g/10 a)	Efficacy (%)
8 ×	0.8	Atomizer	50	67.3b ¹⁾
30 ×	3	"	50	96.9a
1000 ×	150	Hand sprayer	75	98.6a
Control	-	-	-	-

Coefficient of variance (%) ----- 6.539

¹⁾ In a column, means followed by the same letter are not significantly different 5% level by Duncan's multiple range test.

Table 9. Efficacy of 3-way tank-mixing solution of pesticides^{a)} aerielly sprayed by helicopter, Bell 206 on brown planthoppers and white-backed planthoppers in paddy field

Days after application		White-backed planthopper		Brown planthopper	
		Sprayed	Unsprayed	Sprayed	Unsprayed
3	Survival rate (%)	7.0	104.3	67.0	98.4
	Efficacy (%)	93.2	-	31.9	-
6	Survival rate (%)	5.1	161.6	47.7	106.3
	Efficacy (%)	96.8	-	55.2	-
Initial density of planthoppers per 20 hills		121.7	28.3	433.3	193.3

^{a)} Tricyclazole SC + Hexaconazole EC + Chlorpyrifos-methyl EC

Table 10. Comparison of the economical effect between aerial and conventional pesticide applications as of 2008

Spraying method	Covered area (ha/day)	Total cost (won/ha)	Remark
Aerial spraying	300 ^{a)}	36,000	economical
Conventional spraying	1	147,836 ^{b)}	inefficient

^{a)} This value indicates the acceptable spraying area of MD 500D or Bell 206B models of helicopter during the morning of the day.

^{b)} Total cost was calculated by the agricultural economy analysis methods of RDA.

가인 35,000원/ha(2008)과 관례적으로 책정되는 1,000원/ha 정도의 부대비용 외에는 추가비용이 들지 않아 방제비가 관행살포의 1/4 수준으로 미국 농업항공협회의 보고와 같이 항공기의 농업적 이용이야말로 농업에 화학물질을 처리하는 가장 경제적인 방법임을 확인하였다.

본 연구를 통해 고농도 3종 혼용 총 209조합 중 물리성이 우수하고 벼 및 주변작물에 약해가 없는 93조합을 최종 선발하였다. 또한 몇가지 약효시험을 통해서 일반살포와 유사한 방제효과가 있으며, 농약의 살포노력 및 짚 생산비를 크게 줄일 수 있음을 확인함으로써 그 활용성은 매우 클 것으로 사료된다. 앞으로도 다양한 주변작물과 생태계에 대한 영향평가 등 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

Akesson Norman B. and Wesley E. Yates (1974) The use of aircraft in agriculture. FAO/UN Rome. pp. 217.
 Bird, S. L., D. M. Esterly and S. G. Perry (1996) Off-target deposition of pesticides from agricultural aerial spray applications. Journal of environmental quality (USA). 25(5): 1095~1104.

Dobrat, W. and A. Martijn editors (2003) CIPAC Handbook Volume F. pp. 472.
 EPA (1999) Spray Drift of Pesticides. Pesticides : Topical & Chemical Fact Sheets. Internet. Available at <http://www.epa.gov/pesticides/factsheets/spraydrift.htm>
 FAO (1988) Guidelines on Good Practice for Ground and Aerial Application of Pesticides. FAO/UN Rome.
 Hewitt, A. J. (2008) Droplet size spectra classification categories in aerial application scenarios. Crop Protection 27:1284~1288
 EPA (2002) OPPTS Harmonized Test Guidelines-Series 840 Spray Drift Test Guidelines.
 Nordbo Ebbe, Kristian Kristensen & Eric Kirknel (1993) Effects of Wind Direction, Wind Speed and Travel Speed on Spray Deposition. Pesti. Sci. 38:33~34.
 Stainier, C. M.-F. Destain, B. Schiffers, F. Lebeau (2006) Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulations and four adjuvants mixtures. Crop Protection 25:1238~1243.
 Yates Wesley E., N. B. Akesson, R. E. Cowden (1974) Criteria for Minimizing Drift Residues on Crops Downwind from Aerial Applications. Transactions of the ASAE. pp. 627~632.
 農林水産航空協會 (2003) 航空防除用農藥要覽. pp. 76.
 진용덕 (2005) 농약살포액의 이화학적 특성과 환경영향 평가. 충북대학교 박사학위논문.
 한국작물보호협회 (2008) 농약사용지침서 pp. 1,080.

항공방제용 농약의 혼용가능 조합 선발 및 생물효과

진용덕* · 이희동¹ · 심홍식² · 이상계³ · 권오경

국립농업과학원 유해물질과, ¹농약평가과, ²농업미생물과, ³곤충산업과

요 약 벼의 주요 병해충인 도열병, 잎집무늬마름병, 벼멸구 및 나방류를 동시에 방제할 수 있는 항공방제용 고농도 소량살포 가능 농약혼용조합 209조합에 대하여 시험한 결과, 벼는 물론 주변작물에 약해가 없고 살포액의 물리성이 양호한 tricyclazole SC + validamycin-A SL + imidacloprid SL 등 우수 혼용조합 93 조합을 최종 선발하였다. 선발된 조합의 항공살포에 의한 약효는 일반살포의 방제효과와 비슷하였다. 또한 유인헬기에 의한 항공방제는 일반 관행살포에 비해 방제비용을 1/4 수준으로 크게 줄일 수 있음을 확인하였다.

색인어 농약, ULV, 항공살포, 헬리콥터, 방제효과