

벼 재배지의 항공 방제시 비표적 생물에 대한 안전거리

박연기* · 진용덕 · 김병석 · 박경훈 · 이제봉 · 신진섭 · 배철한¹ · 이규승²

농업과학기술원 농산물안전성부, ¹한국삼공(주) 농업연구소, ²충남대학교

요약 : 항공방제시 비표적생물에 대한 안전거리를 설정하고자 벼의 주요 병해충인 도열병, 잎집무늬마름병, 벼멸구 및 나방류를 동시에 방제할수 있는 웨림존·트리싸이클라졸 액상수화제+비피유제+바리신액제와 헥사코나졸유제+이소란유제+파프유제의 3종 혼용농약을 항공 살포한 후 논물중 농약 잔류량과 수서생물 및 꿀벌에 미치는 영향을 조사하였다. 항공방제시 대상지역 이외의 포장으로 분무입자가 비산하는 정도는 바람부는 방향으로는 30 m, 반대방향으로는 20 m 이내로 비교적 비산 정도가 낮았다. 항공살포 후 살포지역 내 논물중 농약의 잔류량을 조사한 결과 항공방제 6일후에는 논물 중에서는 농약이 검출되지 않았다. 항공방제 지역의 수서생물에 미치는 영향을 조사한 결과, 송사리와 미꾸라지는 방제지역 내외를 막론하고 모든 지점에서 치사되지 않았다. 물벼룩은 항공방제지역으로부터 10 m 지점 이내에 노출된 경우 48시간후 모두 치사되었으나 30 m 이상 지점에서는 영향이 없었다. 꿀벌은 바람부는 방향으로 50 m와 반대방향으로 20 m 까지 7~100% 치사하여 항공 방제시 안전거리는 수서생물의 경우 50 m, 꿀벌의 경우는 100 m로 설정하였다. (2007년 2월 5일 접수, 2007년 3월 16일 수리)

색인어 : 항공방제, 농약, 송사리, 미꾸라지, 물벼룩, 안전거리.

서 론

농업인구의 감소와 농업 인력의 고령화에 따른 농촌 노동력이 부족한 현 시점에서 항공방제는 벼농사에 있어서 병해충 방제의 생력화와 방제비용을 절감하고 병해충 방제 효율을 증대시켜 안정적인 고품질 쌀 생산을 통한 국제경쟁력 강화를 위한 최선의 대안이 되고 있다. 항공방제는 예방위주로 방제효과를 높이기 위해 병해충 방제적기를 판단하여 공동방제로 실시되는데, 주로 6월 하순부터 8월 하순까지 전·후기로 나누어 실시하고 있다. 전기에는 잎도열병과 문고병, 후기에는 이삭도열병, 문고병, 멸구류, 기타 병해충에 중점을 두고 실시하고 있다.

그러나 항공방제의 성격상 광범위한 지역에 일시에 살포함으로써 살포농약의 직접적인 노출과 비산으로 인해 생태계 파괴와 환경오염의 주범으로 인식되기도 한다.

이에 본 연구는 벼 항공방제지역에서 항공방제 후 논물 중 농약의 잔류농도 변화와 비산거리를 알아보고, 수서생태계내의 대표종인 어류 및 물벼룩 그리고 육상생태계내의 유용곤충인 꿀벌에 대한 농약의 영향을 조사하여 항공 방제시 농약비산으로 인한 주변생

물의 피해를 경감하기 위한 안전거리를 설정하고자 하였다.

재료 및 방법

실험생물

항공방제로 인한 주변 생태계 내 생물의 영향을 알아보기 위하여 화분매개충인 꿀벌(*Apis mellifera*), 송사리(*Oryzias latipes* Medaka), 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*), 그리고 물벼룩(*Daphnia magna*)를 사용하였다

실험농약 및 약제살포

항공 방제시 사용된 농약은 웨림존·트리싸이클라졸 액상수화제+비피유제+바리신액제의 3종 혼용과 헥사코나졸유제+이소란유제+파프유제의 3종 혼용이었고, 약제 살포는 450 L 저장탱크가 달린 MD-500D 기종의 헬리콥터로 살포하였으며 살포농약의 희석배수는 36배이었다.

실험방법

어류 및 물벼룩의 영향을 알아보기 위하여 항공 살포 전에 사각용기(29 cm × 45 cm × 23 cm)에 사육수

* 연락처

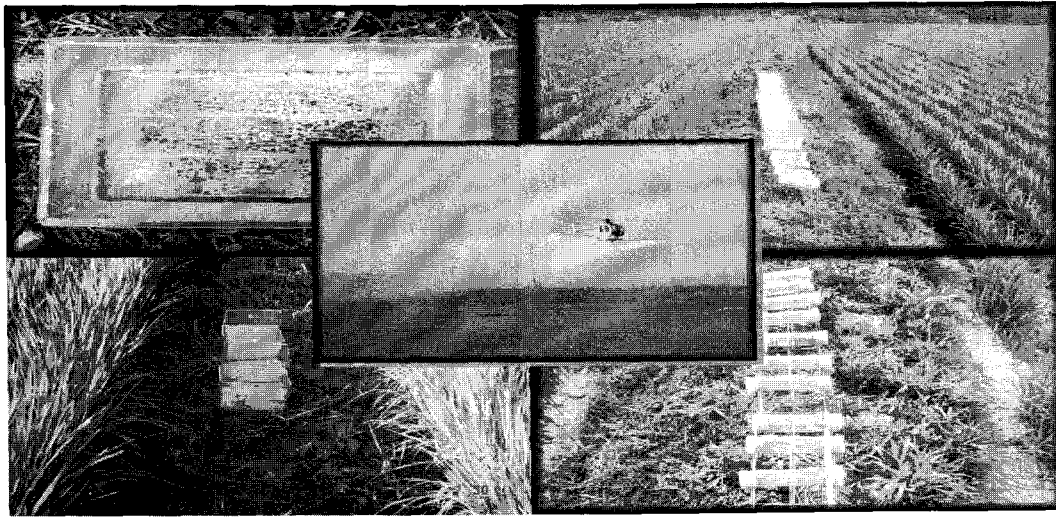


Fig. 1. Layout features of test vessels for mortality test of aquatic organisms and honeybees by aerial application.

를 수심이 5 cm 되게 채운 후 살포 지역 내에 있는 논둑과 살포지역으로부터 10, 30, 50, 그리고 100 m 지점에 노출시켰다(그림 1).

항공 방제 후 사육수를 실험실로 옮겨 송사리는 5 L 유리 수조(ϕ 20 cm \times H 26 cm), 미꾸라지는 10 L 유리수조(ϕ 23 cm \times H 29 cm), 그리고 물벼룩은 100 mL 비이커에 담은 후 시험생물을 각각 10마리씩 넣고 48, 96시간동안 치사수를 조사하였다. 꿀벌은 항공 살포 전에 독성시험용 칠망 케이지(ϕ 4.5 cm \times H 16 cm)에 10마리씩 넣어 살포지역 내 논둑과 살포지역으로부터 10, 30, 50, 100 m 떨어진 곳에 3반복으로 배치하였다. 항공방제 후 케이지를 실험실로 옮긴 후 48시간동안 꿀벌의 치사수를 조사하였다.

또한 항공 방제 시 농약의 비산정도를 조사하여 수서생물 및 꿀벌에 대한 안전거리(buffer zone)를 산정하기 위하여 항공 살포 전에 살포지역으로부터 10, 20, 30, 50, 그리고 100 m 지점에 감수지를 4반복으로 설치하고 항공 살포 후 감수지에 찍힌 단위면적당 분

무입자수를 산출하였다. 또한 논물 중 농약의 잔류량 변화를 조사하기 위하여 항공 살포 후 7일간 살포 지역 내 논물을 채취하여 분석하였다.

결과 및 고찰

수서생물에 대한 영향

항공방제지역과 살포지역으로부터 0, 10, 30, 50, 100 m 지점에 노출시킨 사육수로 송사리, 미꾸라지, 물벼룩에 대한 영향을 알아본 결과, 표 1에서 보는 바와 같이 송사리와 미꾸라지의 경우는 모든 지점에서 영향이 없는 것으로 나타났다.

이는 Geert와 Paul(1998)이 농약 살포시 비산으로 인한 수서생물에 대한 영향을 감소시키기 위해 buffer zone 설정 연구 결과, 최대 풍속이 4.5 m sec⁻¹ 일 때 살포지역으로부터 6 m 이상 격리되었을 경우 수서생물에 영향이 없다는 보고와 일치함을 알 수 있었다.

Table 1. Mortalities of killifish and loach exposed to tank-mixing of three pesticides^{a)} at different distances away from aerially sprayed site in paddy field

Distance (m)	Cumulative mortality (%)			
	24hr	48hr	72hr	96hr
0	0	0	0	0
10	0	0	0	0
30	0	0	0	0
50	0	0	0	0
100	0	0	0	0
Control	0	0	0	0

^{a)}Ferimzone · tricyclazole(23%) SC + BPMC(50%) EC + validamycin-A(5%) SL.

물벼룩은 항공방제지역과 항공방제지역으로부터 10 m 지점에 노출된 사육수에서 48시간 후 100% 치사를 보였으나 30 m 이상의 지점에서는 영향이 없었다(표 2). 혼용한 3종의 농약 중 ferimzone과 tricyclazole의 물벼룩에 대한 $LC_{50}(48h)$ 은 각각 6.2와 20 $mg L^{-1}$ 으로 물벼룩에 독성이 낮으나 BPMC는 물벼룩에 대한 $LC_{50}(3h)$ 이 0.32 $mg L^{-1}$ (Tomlin, 2003)로써 다른 농약보다 독성이 커서 논물중 잔류농도와 비교해 볼 때 치사원인은 BPMC로 추정되었다. Lahr 등(2000)은 지상에서 항공방제용으로 사용하는 고농도 살포기(ULVA)로 살충제를 살포한 후 수서무척추동물을 보호하기 위해 안전거리 예측시험 결과, 평균풍속이 2~4 $m sec^{-1}$ 일때 안전거리를 200 m를 제안한 것과 상이하였다. 본 시험에서의 풍속이 0.4~2 $m sec^{-1}$ 인 것을 감안할 때 비산거리의 차이에 따른 것으로 판단되었다.

Table 2. Mortality of water flea exposed to tank-mixing of three pesticides^{a)} at different distances away from aerially sprayed site in paddy field

Distance(m)	Cumulative mortality(%)	
	24hr	48hr
0	100	100
10	100	100
30	0	0
50	0	0
100	0	0
Control	0	0

^{a)}Ferimzone · tricyclazole (23%) SC + BPMC (50%) EC + validamycin-A (5%) SL.

이런 결과를 볼 때, 항공방제지역과 10 m 이내의 논이나 하천에서는 어류에 대한 직접적인 영향은 나타나지 않겠지만, 물벼룩의 영향으로 인하여 수생태계의 먹이사슬 파괴와 어류의 먹이 섭취량의 감소 등 어류에 대한 간접적인 영향은 있을 것으로 예상되었다. 따라서 2차적인 생태계의 피해를 방지하기 위해서는 농약 살포 후 5일까지는 논물을 가두어 농약의 분해가 어느 정도 안전한 수준까지 진행된 후 배수하는 것이 필요하다고 판단되었다.

꿀벌에 대한 영향

항공 방제 지역 내와 방제지역 전·후방으로 10, 30, 50, 100 m 지점에 꿀벌을 노출시킨 결과는 표 3에서 보는 바와 같이 방제지역 전방의 경우 살포지역과 살포지역으로부터 30 m 지점까지의 꿀벌은 모든

개체가 농약에 직접 노출되어 48시간 후 모두 치사되었으나, 50 m 지점은 농약의 비산정도가 적어 48시간 후 7%의 치사가 나타났다. 그러나 100 m 이상에서는 농약 비산으로 인한 영향이 없었다. 항공방제지역 후방은 10 m 지점까지 농약비산으로 인한 직접적인 영향으로 48시간 후 70%의 치사를 보였고, 30 m 지점 이상에서는 비산으로 인한 직접적인 영향은 나타나지 않았다(표 4).

Table 3. Toxic effect of tank-mixing of three pesticides^{a)} on honeybees exposed at different distances away from aerially sprayed site down the wind^{b)}

Distance(m)	Cumulative mortality(%)	
	24hr	48hr
0	100	100
10	100	100
30	17	100
50	7	7
100	0	0
Control	0	0

^{a)}Hexaconzole (10%) EC + isoprothiolane (40%) EC + phenthoate (47.5%) EC

^{b)}Velocity of the wind was max. 2.0 $m sec^{-1}$ and min. 0.4 $m sec^{-1}$

Table 4. Toxic effect of tank-mixing of three pesticides^{a)} on honeybees exposed at different distances away from aerially sprayed site up the wind^{b)}

Distance(m)	Cumulative mortality(%)	
	24hr	48hr
0	100	100
10	23	70
30	0	0
50	0	0
100	0	0
Control	0	0

^{a)}Hexaconzole (10%) EC + isoprothiolane (40%) EC + phenthoate (47.5%) EC

^{b)}Velocity of the wind was max. 2.0 $m sec^{-1}$ and min. 0.4 $m sec^{-1}$

물중 농약잔류량

항공 방제시 농약의 비산량을 알아보기 위하여 항공 방제전 사각 용기에 물을 담아(수심 5 cm 기준) 거리별로 살포지역과 살포지역으로부터 10, 30, 50, 100 m 지점까지 노출시킨 후 항공 방제 후 물중 농약의 잔류량을 분석하였다. 그림 2에서 보는 바와 같

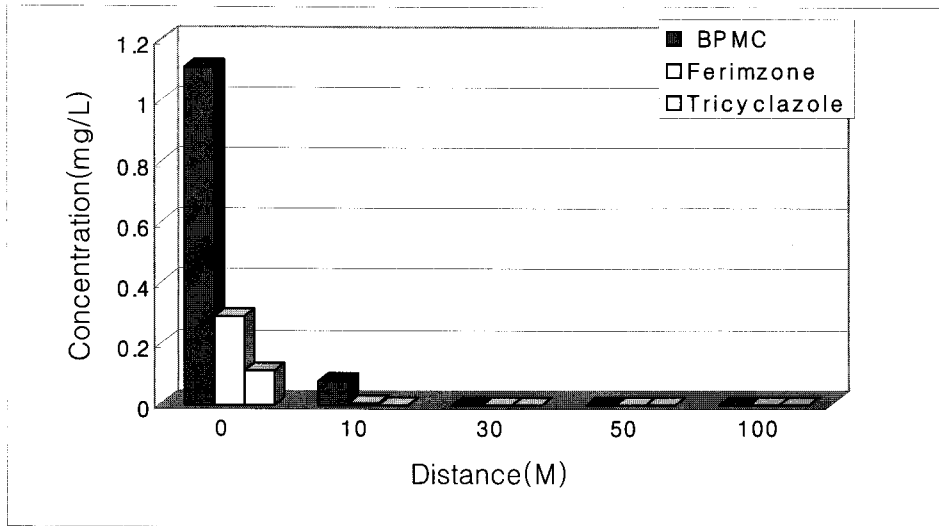


Fig. 2. Concentrations of the pesticides drifted in water reservoir located at different distances away from aerially sprayed site.

이 항공방제지역에 노출시킨 물중 농약 잔류량은 0.1~1.15 mg L⁻¹, 항공방제지역으로부터 10 m 지점은 0~0.08 mg L⁻¹으로 아주 낮은 농도로 검출되었다. 그러나 30 m 이상 지점에 노출시킨 물중에서는 농약이 검출되지 않았다.

살포농약의 비산

항공 방제 후 대기 중 농약의 비산정도를 알아보기 위하여 항공방제지역으로부터 일정거리별로 감수지를 노출시켰다. 그림 3에서 보는 바와 같이 항공방제 전·후 방향으로 감수지를 노출시킨 결과, 항공방제 지역 내에서는 26.7~28.8개 cm⁻¹의 분무입자가 나타

났으나, 항공기 진행방향으로 10 m와 20 m 지점은 각각 7.6개 cm⁻¹, 2.7개 cm⁻¹, 반대방향으로는 10 m 지점에서 2.2개 cm⁻¹의 분무입자가 조사되어 30 m 이상에서는 낙하된 분무입자가 없었다. 그러나 Craig 등 (1998)은 Gaussian diffusion model을 이용하여 항공 방제시 농약의 비산을 예측한 결과, 바람의 세기, 바람의 기류, 살포 높이, 입자크기와 형태에 따라 50 m 이상 비산되는 것으로 보고하였고, 진(2005), Carlsen 등(2006)도 살포시 농약의 비산정도는 입자크기, 바람의 세기, 제형의 형태, 시험지점 등에 의해 차이를 보인다고 한 것으로 보아 항공 방제시 분무입자의 비산 및 분포는 추후 연구가 필요한 것으로 판단되었다.

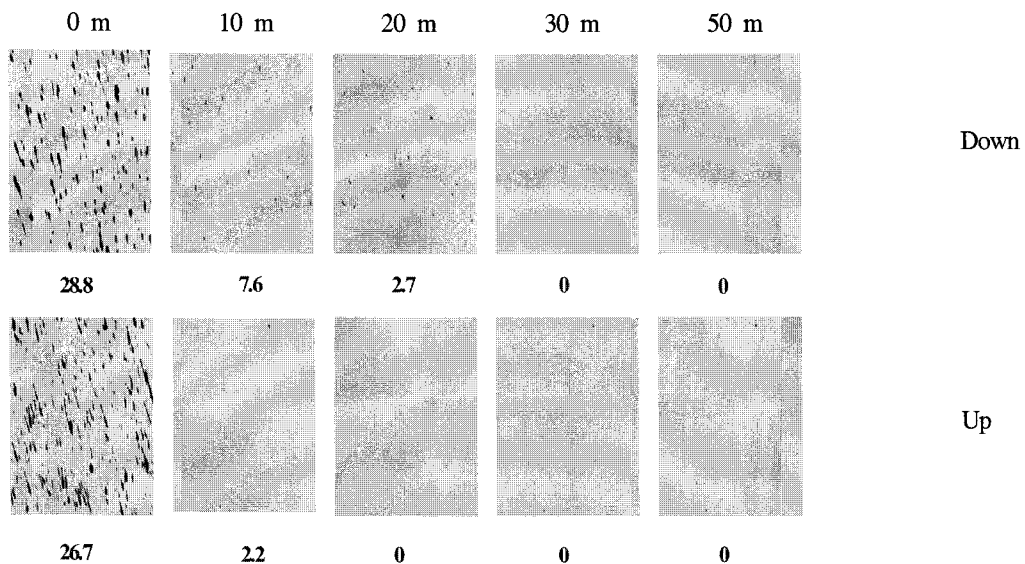


Fig. 3. Drift of pesticide droplets sprayed aerially onto the non-target area (maximum wind speed 2.0 min sec⁻¹, minimum wind speed 0.4 m sec⁻¹).

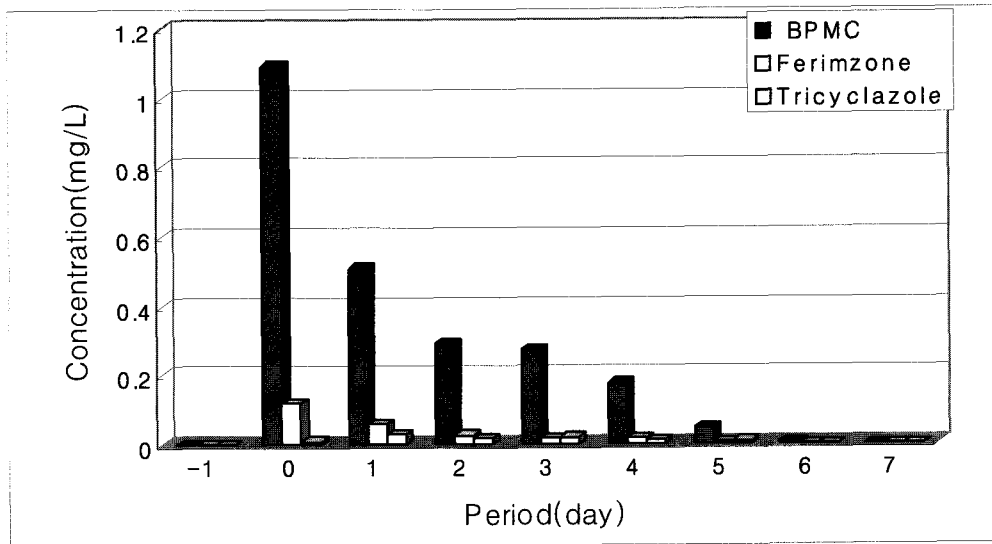


Fig. 4. Residual concentration of the pesticides in paddy water with time after aerial application.

논물중 농약잔류량 변화

잎집무늬마름병, 도열병, 그리고 멸구를 동시에 방제하기 위하여 웨림존·트리싸이클라졸액상수화제(23%) + 비피유제(50%)+바리신액제(5%) 3종을 항공방제용 헬기로 살포한 후 항공방제지역에 벼 재배지의 논물중 농약잔류량을 조사하기 위하여 7일간 매일 논물을 채취하여 분석한 결과는 그림 4에서 보는 바와 같이 살포직후 논물중 농약잔류량은 1.15 mg L⁻¹로 조사되었으나, 농약잔류량이 점점 감소하여 항공방제 5일 후에는 살포직후 농도의 10% 미만인 0.08 mg L⁻¹가 검출되었다. 그리고 항공방제 6일후에는 논물 중 농약잔류량은 검출되지 않았다. 이 때 조사지역에서 재배중인 논에 벼의 초장은 60~65 cm, 벼주간 거리는 17 × 17 cm, 논물 깊이는 5~5.5 cm이었다.

일반적으로 안전거리(no-spray zone 또는 buffer zone)라는 것은 농약을 살포할 때 보호지역(Protected site)과의 격리거리로서 완충지대를 거리로 표시하여 규정하는 것으로, 인간의 건강과 환경에 대한 농약의 부작용을 막기 위해서 설정하고 있다. Robinson 등 (2000)은 헬리콥터를 이용한 항공방제에서 비산으로 인한 농약의 영향을 감소시키기 위해 살포지역으로부터 50 m의 안전거리를 제한한 바 있다.

이에 본 연구결과를 통해 벼 항공 방제시 비산으로 인한 꿀벌에 대한 안전거리는 100 m, 수서생물에 대한 안전거리는 50 m 인 것으로 추정되었다. 그러나 꿀벌은 주 활동범위가 2 km까지라는 보고가 있으므로 항공방제시기에는 특히 주의가 필요하고, 항공 방제 후 방제 지역 내 논물 중에 농약이 5일까지는 검출되고 있으므로 꿀벌이 수분섭취를 위해 논물을 먹

거나 화분을 얻기 위해 방제 지역 내 꽃이나 꽃잎을 통한 간접적인 노출로 인한 치사가 우려되므로 꿀벌의 방사시기를 조절하고 또한 2차적인 수서생태계 피해를 방지하기 위하여는 논물의 안전담수기간을 5일 이후로 정하여 논의 물빼기 시기를 조절할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

인용문헌

Carlsen S. C. K., N. H. Spliid, and B. Svensmark (2006) Drift of 10 herbicides after tractor spray application *Chemosphere* 64:778~786.

Craig I, N. Woods and D. Dorr (1998) A simple guide to predicting aircraft spray drift. *Crop Protection* 17:475~482.

Geert, R. de S. and P. J. de Wit (1998) Buffer zones for reducing pesticide drift to ditches and risks to aquatic organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 41:112~118.

Lahr, J., B. Gadji, and D. Dia (2000) Predicted buffer zones to protect temporary pond invertebrates from ground-based insecticide applications against desert locusts. *Crop Protection* 19:489~500.

Robinson, R. C., R. G. Parsons, G. Barbe, P. T. Patel, and S. Murphy (2000) Drift control and buffer zones for helicopter spraying of bracken (*Pteridium aquilinum*). *Agriculture Ecosystem and Environment* 79:215~231.

Tomlin C. D. S. (2003) *The Pesticide Manual* 13:411,

432, 1003
진용덕 (2005) 농약살포액의 이화학적 특성과 환경영

향 평가. 충북대학교 박사학위논문.

Buffer Zones for Non-Target Organisms by Aerial Pesticide Application Around Rice Paddy

Yeon-Ki Park*, Yeoung-Duck Jin, Byung-Seok Kim, Kyung-Hun Park, Jea-Bong Lee, Jin-Sup Shin, Chung-Han Bae¹ and Kyu-Seung Lee² (*Pesticide Safety Division, National Institute of Agricultural Science and Technology, ¹Agricultural Research Center, Hankooksamgong Co., Ltd., ²Cuunghnam National University*)

Abstract : The study was carried out to establish buffer zone for the protection of the non-target organisms by aerial pesticide application. The two pesticide combination of 3-way tank-mixing of three pesticides for aerial application, ferimzone · tricyclazole SC + BPMC EC + validamycin-A SL and hexaconazole EC + isoprothiolane EC+phenthoate EC were selected for the simultaneous control of key pests on paddy rice as blast, sheath blight, brown planthopper and moth. Aquatic organisms including killifish and loach in the paddy field and nearby water reservoirs were not affected by aerial application of the pesticides. However, all the water flea were killed, when they were exposed 10 m from the aerielly sprayed site, while the water flea exposed in 30 m away from the site were not affected. Honeybees within 50 m in the wind direction and 20 m in the opposite wind direction showed a mortality of 7~100%. Residues concentration of the pesticides in paddy water were not detectable level after six days from aerial application. Drifting distance of aerielly sprayed droplet from the target area was within 30 m in the wind direction and 20 m in the opposite direction. Consequently, it was the buffer zones in the aerial pesticides application for the protection of the non-target organisms should be at least 50 m for aquatic organisms and 100 m for honeybees.

Key words : buffer zone, pesticide, aerial application, killifish, loach, water flea, honeybee.

*Corresponding author (Fax : +82-31-290-0508, E-mail : pyk519@rda.go.kr)