



ORIGINAL ARTICLES

논 이용 조류에 대한 농약 노출 시나리오 설정 및 위해성평가 연구

이 슬 · 오진아* · 이명지 · 전경미 · 신지영 · 박연기

농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부 독성위해평가과

The Study on the Pesticide Exposure Scenario and the Risk Assessment for the Rice Field Birds

Seul Lee, Jina Oh*, Myung-Ji Lee, Kyongmi Chon, Ji-Young Shin, Yeon-Ki Park

Toxicity and Risk Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, 166, Nongsaeogmyeong-ro, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do, 55365, Republic of Korea

(Received on November 2, 2020. Revised on November 26, 2020. Accepted on December 7, 2020)

Abstract Rice fields are an alternative habitat for natural wetlands that provide a variety of food for wild birds, but there is also the risk that pesticides applied on the paddy fields will be exposed to birds. Currently, the risk assessment for registration of pesticides in Korea is evaluated only the exposure of pesticides due to crop intake of herbivorous birds, so the risk assessment of carnivorous or omnivorous birds is insufficient. Therefore, in this study, exposure scenario for pesticide was established for birds feeding in rice fields, and risk assessment for some registered pesticides was conducted. The worst case of exposure scenario was assumed that the birds eat only fish exposed to the maximum concentration of pesticide in the rice field water during the rice-growing period. 15 pesticide products were selected for the risk assessment, and the toxicity exposure ratio (TER) was calculated for each product. As a result of risk assessment, 6 products of imidacloprid were regulatory acceptable risk, but 8 out of 9 products of carbosulfan were unacceptable risk. In particular, 5 out of 9 products of carbosulfan were still unacceptable risk even after 5 days of application of pesticides. If the results of the pesticide residue analysis in the real paddy fields and appropriate risk assessment criteria are applied, it could be used to improve the risk assessment method for wild birds by application of pesticides.

Key words Birds, Fish, Pesticide exposure, Risk assessment

서 론

오늘날 논은 세계 습지의 15%를 차지하고 있으며, 논은 계절별로 벼 생육기에는 수생태계를 형성하여 미꾸리 등과 같은 어류와 곤충 먹이를 제공하고, 비생육기인 겨울에는 육상생태계가 조성되어 두루미류와 오리기러기류 등 겨울철새에게 볏씨 등을 먹이로 제공한다(Nam et al., 2012). 이러한 조류들은 대부분 논에서 서식하는 것이 아닌 먹이활동만을 하는 것으로 알려져 있다(Fujioka et al., 2010).

최근 자연습지의 감소로 인하여 자연습지의 대체서식지로

논을 이용하는 조류도 늘어나고 있다(Elphick and Oring, 1998; Parsons et al., 2010). 지중해 연안의 왜가리는 번식기 때 먹이를 구하기 위하여 50-100%가 논을 이용하며, 이탈리아의 유라시아 물새의 40%는 전적으로 논에서 먹이를 구하는 것으로 보고된 바 있다(Longoni, 2010). 특히 한국과 일본에서는 전세계 멸종위기에 처한 49종의 조류 중 22%에 해당하는 11종이 논을 이용하고 있으며, 전체 조류의 31%가 논에서 관찰되는 것으로 보고되었다(Fujioka et al., 2010). 우리나라 논에서 가장 많이 관찰되는 조류는 청둥오리, 홍머리오리, 제비, 논병아리류, 백로류, 물떼새류, 갈매기류 등으로(Park et al., 2009), 논을 취식지로 이용하는 조류 중 절반은 겨울철 건답을 이용하는 겨울철새이며, 논에 물을 댄 봄이나 여름 중 습답을 이용하는 조류는 전체

*Corresponding author
E-mail: oja5074@korea.kr

조류 중 39.4% 정도이다(Kim et al., 2013). 이 중 벼 재배 기간인 4월에서 10월 사이는 다양한 동물성 먹이가 풍부하여 백로과 조류가 논을 중요한 먹이처로 사용한다(Lee et al., 2012; Son et al., 2018).

그러나 이러한 조류의 논 이용은 조류의 농약 노출 위험성을 높일 수 있다. 우리나라 농약 사용량은 2016년 11.8 kg/ha으로 이 중 논벼 생산에 사용된 농약은 2.6 kg/ha인 것으로 보고되었다(MAFRA, 2017). 벼 생육기간 동안 도래하는 조류의 경우 벼 재배를 위해 농약을 살포한 논답에서 먹이 활동 중 농약에 노출될 수 있고 농약이 조류에 미치는 영향은 중에 따라 매우 클 수 있다(Parsons et al., 2010). 조류에 대한 농약의 영향 중 가장 잘 알려져 있는 것은 DDT에 의한 조류독성이다(Wood et al., 2010). 현재 DDT등 유기염소계 살충제의 제조 및 사용은 금지되었으나, 농경지 등에서 잔류성유기염소계의 농약이 꾸준히 검출되고 있다(Parsons et al., 2010; Lim et al., 2016). 또한 모델링을 통한 농약의 조류에 대한 독성 영향을 알아본 결과, 농약에 의한 조류의 폐사는 빈번하게 이뤄지고 있는 것으로 보고되었다(Mineau, 2002). 하지만 현재 국내 농약 등록평가 시 조류에 대한 위해성평가는 농약이 살포된 농경지의 작물을 야생조류가 식이 섭취하는 경우만을 가정하여 평가되고 있으므로 어류 등 동물성 먹이를 섭취하는 육식성 또는 잡식성 조류에 대한 평가가 부족한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 논에서 먹이활동을 하는 조류 중 벼 생육기간에 도래하는 여름철새에 대한 농약의 영향을 연구하기 위해 먹이 섭취 시의 농약 노출 시나리오를 설정하고 일부 농약을 대상으로 위해성을 평가하였다.

재료 및 방법

농약 노출 시나리오 설정 및 이론적노출량 산출

본 연구의 농약 노출평가는 벼 생육기간에 우리나라 논에서 먹이활동을 하는 조류를 대상으로 한다. 농약의 주요 노출 경로는 식이 섭취이며 해당 조류는 농약이 살포된 논에서만 먹이활동을 하는 것으로 가정하였다. 이 때 조류의 먹이는 곤충이나 다른 동물성 먹이를 섭취하지 않고 오직 논물 중 서식하는 어류를 100% 섭취하는 것으로 설정하였다. 따라서 조류가 논에서 먹이활동 시 논물 중 농약에 노출된 어류를 섭취함으로써 농약에 식이 노출되는 경우의 최악의 상황을 가정하였다.

농약의 이론적노출량(Estimated Theoretical Exposure, ETE)은 아래 식(EFSA, 2009)으로 산출하였다(식 (1)).

$$ETE = \frac{FIR}{bw} \times C \times PT \quad (1)$$

ETE = Estimated theoretical exposure [mg/kg bw/day]

FIR = Food intake rate [159 g fresh fish/day]

bw = Body weight [1000 g bird]

C = Concentration of compound in fresh diet [mg/kg]

PT = Fraction of diet obtained in treated area [0~1]

어류와 어류 섭취 조류와의 먹이시슬을 고려하여 최악의 상황을 가정한 산출식으로 조류는 농약 살포지역에서 먹이의 기피 없이(PT=1) 어류를 섭취(1000 g bird, 159 g fish/day)하며 이때 먹이생물인 어류 중 농약 농도(C=PEC_{fish}) 산출식(EFSA, 2009)은 다음과 같다(식 (2)).

$$PEC_{fish} = PEC_{water} \times TWA \times BCF \quad (2)$$

PEC_{fish} = Predicted exposure concentration of fish [mg/L]

PEC_{water} = Predicted exposure concentration of water in rice fields [mg/L]

TWA = Time weighted average [0.53]

BCF = Bio concentration factor

논물에 서식하는 어류의 농약 노출 농도(PEC_{fish}) 중 논물 중 농약 농도(PEC_{water})는 10a 면적의 수심 5 cm의 논물의 농약 농도로 계산하였다(식 (3)). 농약 성분의 어류생물농축계수(BCF)는 농약 데이터베이스(Pesticide Properties DataBase, PPDB)에서 수집했다.

$$PEC_{water} = \frac{Application\ rate(mg/10a)}{Volume\ of\ water(L/10a,5cm)} \quad (3)$$

또한 벼 재배기간 중 경엽살포하는 농약의 경우 살포 시기가 잎이 무성한 7~8월이기 때문에, 살포 시 농약 입자가 100% 논물에 떨어지지 않고 경엽에 부착되는 비율이 있으므로 작물차단계수(crop interception fraction=70%, Ter Horst et al., 2014)를 설정하여 PEC_{water} 산출에 반영하였다.

위해성 평가 대상 농약 선정

국내의 벼 등록 농약 중 조류독성이 높아 주의사항과 그림문자가 표기된 농약 35품목 중 살포방법상 조류 노출 가능성이 낮은 종자처리제 및 육묘상처리제 등을 제외하고 위해성 평가 대상 농약을 선정하였다. 그 중 등록 품목 수가 많은(5품목 이상) 농약 성분은 이미다클로프리드와 카보살판이었으며, 최종 위해성 평가 대상으로 이미다클로프리드 함유품목 6종과 카보살판 함유품목 9종을 선정하였다(Table 1).

위해성 평가

조류의 농약에 대한 위해성은 독성노출비(Toxicity Exposure Ratio, TER)를 산출하여 평가하였다(식 (4)). 평가대상 농약 15종의 각 면적당 살포량에 따라 노출량(ETE, 식 (1))을 산출하였다. 카보살판과 이미다클로프리드의 급성조류경구독

Table 1. Information on the application of pesticides and factors for calculating the pesticide concentration in fish

No	Product	Content of a.i (%)	Application rate (a.i. g/10a)	Application method	Crop interception rate (%)	PEC _{water} (mg/L)	BCF
1	Imidacloprid SC	8	2.4	Spraying to foliar	70	0.048	0.88
2	Imidacloprid SC	8	2	Spraying to foliar	70	0.04	0.88
3	Imidacloprid SL	4	3	Spraying to foliar	70	0.06	0.88
4	Imidacloprid WP	1.6	2.4	Spraying to foliar	70	0.048	0.88
5	Imidacloprid WP	5	2.5125	Spraying to foliar	70	0.0503	0.88
6	Imidacloprid WP	10	3	Spraying to foliar	70	0.06	0.88
7	Carbosulfan EW	12	120	Scattering on surface of the water	-	2.4	990
8	Carbosulfan EW	12	60	Scattering on surface of the water	-	1.2	990
9	Carbosulfan GR	3	120	Scattering on surface of the water	-	2.4	990
10	Carbosulfan GR	3.5	35	Scattering on surface of the water	-	0.7	990
11	Carbosulfan GR	3.5	105	Scattering on surface of the water	-	2.1	990
12	Carbosulfan GR	4	120	Scattering on surface of the water	-	2.4	990
13	Carbosulfan SC	20	30	Spraying to foliar	70	0.6	990
14	Carbosulfan WP	5	7.5	Spraying to foliar	70	0.15	990
15	Carbosulfan WP	20	30	Spraying to foliar	70	0.6	990

성(LD₅₀)은 농약 데이터베이스(Pesticide Properties DataBase, PPDB)에서 조사하였다.

LD₅₀ = Lethal dose 50% [mg/kg bw]

$$TER = LD_{50} / ETE \quad (4)$$

위해성 평가기준은 국내 농약 등록 평가기준(RDA, 2020)에 따라 독성노출비(TER)가 1 이하인 경우 위해성이 높다고 판단하였다.

TER = Toxicity exposure ratio

ETE = Estimated theoretical exposure [mg/kg bw/day]

Table 2. Calculation results of estimated theoretical exposure (ETE) and toxicity exposure ratio (TER) of pesticides

No	Product	PEC _{fish}	ETE (mg/kg bw/day)	Acute bird toxicity (mg/kg bw)	TER
1	Imidacloprid SC	0.022387	0.001068	152	142339.5
2	Imidacloprid SC	0.018656	0.00089	152	170807.4
3	Imidacloprid SL	0.027984	0.001335	152	113871.6
4	Imidacloprid WP	0.022387	0.001068	152	142339.5
5	Imidacloprid WP	0.02346	0.001119	152	135830.9
6	Imidacloprid WP	0.027984	0.001335	152	113871.6
7	Carbosulfan EW	1259.28	200.2255	10	0.049944
8	Carbosulfan EW	629.64	100.1128	10	0.099887
9	Carbosulfan GR	1259.28	200.2255	10	0.049944
10	Carbosulfan GR	367.29	58.39911	10	0.171235
11	Carbosulfan GR	1101.87	175.1973	10	0.057078
12	Carbosulfan GR	1259.28	200.2255	10	0.049944
13	Carbosulfan SC	314.82	15.01691	10	0.665916
14	Carbosulfan WP	78.705	3.754229	10	2.663663
15	Carbosulfan WP	314.82	15.01691	10	0.665916

결 과

조류의 농약 노출량 비교

벼 재배기간 중 논에서 먹이활동을 하는 조류에 대한 이미다클로프리드 6품목과 카보설향 9품목의 농약 노출량을 품목별로 산출했다(Table 2). 농약의 살포방법에 따라, 경엽살포제인 이미다클로프리드 6품목, 카보설향 3품목(액상수화제 1품목, 수화제 2품목)은 노출량이 상대적으로 작았고 그에 비해 수면처리제인 카보설향 6품목(유타제 2품목, 입제 4품목)은 노출량이 많으며 경엽살포제에 비해 최대 200배의 차이를 보였다(Fig. 1). 이는 입제와 유타제의 경우

10a 당 살포량이 0.5~4 kg으로 경엽살포제보다 최대 60배 정도 많으며, 살포 시 작물차단계수가 적용되는 경엽처리제와 달리 유타제와 입제는 수면처리제이므로 살포량 전량이 논물에 노출된다는 가정으로 조류 노출 정도가 매우 높음을 알 수 있다. 또한 카보설향의 경우 어류생물농축계수(BCF)가 990으로 수중 농약 농도가 어류 체내에 농축되는 정도가 큰 성분이므로 먹이 생물인 어류 중 농약 농도가 높으므로 조류 노출량 역시 많아짐을 알 수 있다.

조류 위해성 평가 결과 비교

위해성 평가 결과 농약 15 품목 중 이미다클로프리드 6품

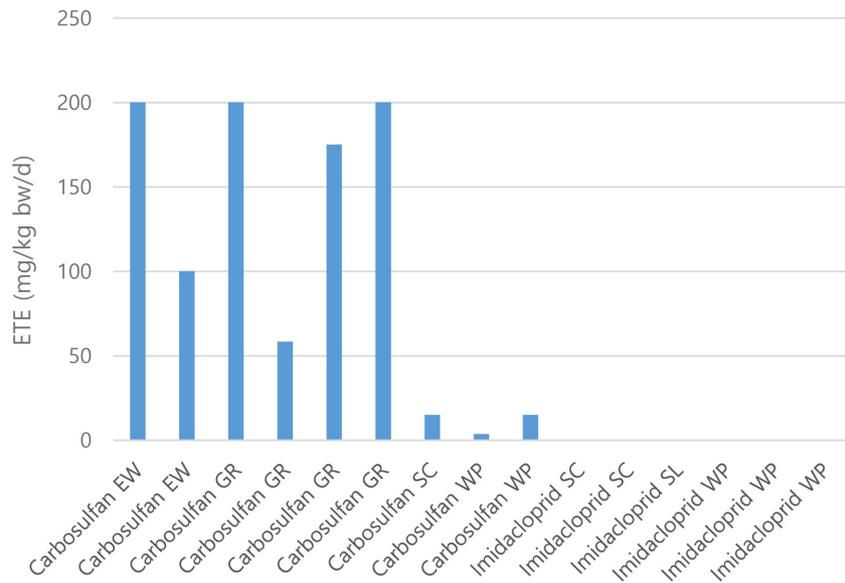


Fig. 1. Calculated ETEs for 15 pesticide products of imidacloprid and carbosulfan.

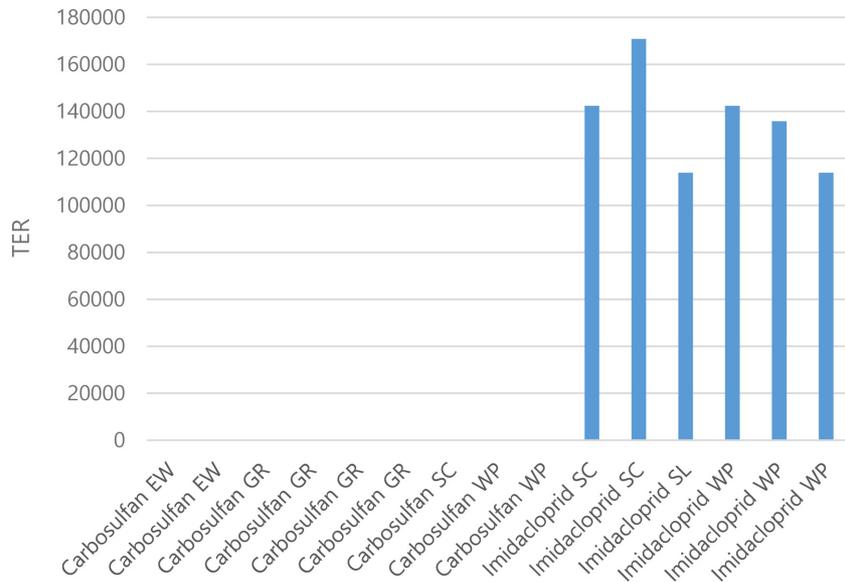


Fig. 2. Calculated TERs for 15 pesticide products of imidacloprid and carbosulfan.

목과 카보설판 1품목(5% 수화제)은 현재 우리나라 평가 기준(TER ≤ 1 : 위해성 있음)에 따라 위해성이 낮다고 판단되었다(Table 2). 어류 섭취 조류에 위해성 우려가 있는 것으로 평가된 카보설판 8품목의 경우 유효성분인 카보설판의 조류독성이 이미다클로프리트 보다 15배 정도 높으며, 그 중 6품목은 유탁제 및 입제로 면적당 살포량도 많고 수면처리제이므로 논물 중 노출농도도 높아 이미다클로프리트와 독성노출비 차이가 컸다(Fig. 2). 카보설판 품목 중 경엽살포제인 액상수화제 1품목과 수화제 2품목의 경우는 입제에 비해 사용량과 논물 중 노출농도는 낮지만 그 중 액상수화제 1품목과 수화제 1품목은 유효성분 함량이 20%로 5% 수화제에 비해 조류 노출량이 높아 위해성이 높은 것으로 평가되었다. 논에서 먹이활동을 하는 조류를 대상으로 논물

중 어류 섭취로 인한 농약 노출 시나리오를 최악의 상황을 가정하여 설정하고 농약 15품목의 조류 위해성을 평가해본 결과, 농약의 살포방법, 살포량, 유효성분의 함량 및 특성에 따른 조류 노출량과 농약 유효성분의 조류독성에 따라 위해성평가 결과에 큰 차이를 보였다.

살포 시간의 경과에 따른 농약 노출량 비교

벼 등록 품목 중 대부분이 조류 위해성 우려가 있는 것으로 평가된 카보설판 9품목에 대하여 농약 살포 후 시간경과에 따른 위해성 정도를 알아보기 위해 논물 중 카보설판의 분해정도를 반영하여 조류의 농약 노출량을 재산출하였다(Table 3).

카보설판의 수중 90% 분해일수(DT_{90, water})는 평균 5일

Table 3. Risk assessment results of carbosulfan according to residual pesticide in rice field water

No.	Product	ETE (0 day ^a), mg/kg bw/day)	ETE (5 day ^b), mg/kg bw/day)	Acute bird toxicity (mg/kg bw)	TER (0 day ^a)	TER (5 day ^b)
7	Carbosulfan EW	200.2255	20.02255	10	0.049944	0.499437
8	Carbosulfan EW	100.1128	10.01128	10	0.099887	0.998874
9	Carbosulfan GR	200.2255	20.02255	10	0.049944	0.499437
10	Carbosulfan GR	58.39911	5.839911	10	0.171235	1.712355
11	Carbosulfan GR	175.1973	17.51973	10	0.057078	0.570785
12	Carbosulfan GR	200.2255	20.02255	10	0.049944	0.499437
13	Carbosulfan SC	15.01691	1.501691	10	0.665916	6.659158
14	Carbosulfan WP	3.754229	0.375423	10	2.663663	26.63663
15	Carbosulfan WP	15.01691	1.501691	10	0.665916	6.659158

^{a)} Calculated using the water concentration at application date
^{b)} Calculated using the water concentration after 5 days of application

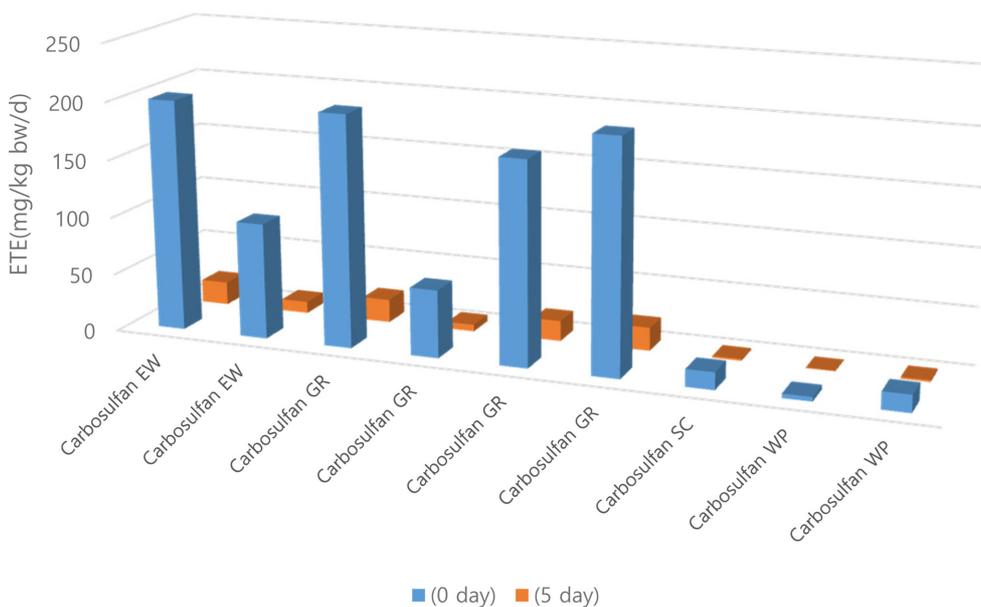


Fig. 3. Comparison of ETEs for 9 pesticide products of carbosulfan calculated using different water concentration; at application date and after 5 days of application.

(EFSA, 2006)이므로, 농약살포 후 5일 경과 시 논물 중 농도(PEC_{water}) 90%가 분해됨에 따라 조류의 농약 노출량 역시 크게 감소하는 것을 확인하였다(Fig. 3). 그러나 면적당 농약 사용량이 많은 카보설판 유타제 2품목과 카보설판 입제 4품목의 경우 농약살포 후 5일 경과 시에도 독성노출비가 1 이하로 위해성이 높은 것으로 평가되었다. 따라서 조류급성독성 및 어류농축계수가 높고 논 면적당 살포량이 많은 농약의 경우, 살포 직후에는 논에서 먹이활동을 하는 조류에게 위해 우려가 있는 것을 알 수 있다.

고 찰

논에서 먹이활동을 하는 조류의 어류 식이 섭취에 대한 농약 노출 시나리오를 설정하고 국내 등록 농약 15품목에 대한 조류 위해성을 평가하였다. 비 등록 농약 중 조류독성이 높고 사용방법 상 조류 노출 가능성이 있는 농약 중 등록된 품목 수가 많은 이미다클로프리드(6품목)와 카보설판(9품목)을 선정하여 품목별 위해성을 평가한 결과, 이미다클로프리드는 6품목 모두 위해성이 낮았으나 카보설판은 9품목 중 8품목이 위해성이 높은 것으로 판단되었다. 특히 카보설판 9품목 중 5품목은 농약 살포 5일 후에도 조류 위해성이 우려될 수준이었다. 이는 카보설판이 조류급성독성과 어류생물농축성이 높은 성분이며 등록 품목 대부분이 수면 처리하는 입제 또는 유타제로 농약 살포량이 많고 수중 노출 농도가 높기 때문이다. 하지만 본 연구의 농약 노출 시나리오는 조류가 논에서 먹이활동의 100%를 농약에 노출된 어류를 섭취하는 것으로만 가정하여 최악의 노출 상황을 설정했으므로 실제 노출 상황과는 차이가 있을 수 있다. 또한 카보설판의 경우 농약 살포 후 시간 경과에 따른 분해 정도를 고려한 노출량을 산출하기 위해 수중분해 DT₉₀을 활용하였으나, 이것은 실내 조건에서의 수중반감기 결과값이므로 실제 야외 논 포장 조건에서의 연구결과가 있다면 보다 현실적인 노출량을 산출할 수 있을 것이다.

국내 벼 재배기간 중 먹이처로 논을 이용하는 대표적인 종인 백로과 조류는 4월부터 8월 사이는 백로류의 번식기로 먹이요구량이 높아짐에 따라 논 이용률이 높아지다가 벼의 밀도가 높아지는 7월 이후부터는 이용률이 감소하게 된다(Choi et al., 2007; Choi et al., 2014). 하지만 중백로와 황로 같은 몸집이 작은 조류는 7월 이후에도 다른 중대형 백로류에 비해 논 이용률이 떨어지지 않는 것으로 보고되었다(Nam et al., 2012). 따라서 본 연구에서는 유럽(EFSA)의 조류 위해성평가 가이드라인에서 어류를 먹이로 하는 조류의 체중과 일일 먹이섭취량을 보수적으로 책정한 수치(159 g fish / 1000 g bird day)를 참고하여 조류 노출량을 산출했으나, 실제 국내 논 이용률이 높은 작은 백로류에 대한 연구가 진행된다면 국내 환경을 적용한 위해성평가도 가능할 것이다.

또한 현재 국내 농약등록 평가 시 조류 위해성 기준은 급성 독성노출비가 1 이하일 때 위해성이 있는 것으로 평가하는데 비해 유럽은 독성노출비 기준 10으로 국내기준보다 10배 엄격하게 평가하고 있다(EFSA, 2009). 이때 유럽의 위해성 평가기준은 조류 야외시험 사례 연구 결과로, 야외시험에서 조류의 치사 영향이 관찰되는 경우는 대부분 급성 독성노출비가 10 이하인 것을 근거로 기준을 설정하였다. 유럽의 기준으로 조류 급성위해성을 평가하면, 이미다클로프리드의 경우 국내 평가결과와 차이가 없지만 카보설판의 경우 9품목 모두 위해성이 있으며 살포 5일 경과 후에도 9품목 중 8품목이 여전히 위해 가능성이 있는 것으로 평가된다. 이는 카보설판과 같이 조류 독성이 매우 높은 성분일수록 위해성평가에 대한 평가기준의 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 논을 먹이처로 이용하는 조류의 농약 위해성을 연구하기 위해 논 서식 어류 섭취에 의한 노출 시나리오를 설정하고 실제 등록 농약의 조류 위해성을 평가해보았다. 농약의 조류 식이 섭취 노출량은 유효성분의 특성(생물농축성, 수중반감기), 농약의 사용방법 및 사용량을 충분히 반영했으나 최악의 노출상황을 가정한 한계가 있었다. 추후 실제 수중잔류분석 결과의 활용 가능성 및 적합한 평가기준에 대한 연구가 진행된다면, 현재의 작물 섭취로 인한 조류의 농약 노출 평가를 보완하여 농약 사용에 의한 야생조류 보호에 크게 기여할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ013466022020)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

Author Information and Contributions

Seul Lee, Toxicity and Risk Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-9777-0703>

Jin-A Oh, Toxicity and Risk Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-1166-4377>

Myung-Ji Lee, Toxicity and Risk Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher

Kyongmi Chon, Toxicity and Risk Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher

Ji-Young Shin, Toxicity and Risk Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher

Yeon-Ki Park, Toxicity and Risk Assessment Division,

National Institute of Agricultural Sciences, Researcher

저자 이해상충관계

저자 모두는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literature Cited

- Choi YS, Kwon IK, Yoo JC, 2007. Foraging habitat preferences of herons and egrets. *Journal of Ecology and Environment*, 30(3):237-244.
- Choi YS, Kim SS, Yoo JC, 2014. Feeding efficiency of Great Egrets (*Ardea alba modesta*) in two different habitats, rice fields and a reservoir, during the breeding season. *The Korean Journal of Ornithology*, 21(1):41-48.
- EFSA, European Food Safety Authority, 2006. Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance carbosulfan. *EFSA Journal*, 4(9):91r.
- EFSA, European Food Safety Authority, 2009. Risk assessment for birds and mammals. *EFSA Journal*, 7(12):1438.
- Elphick CS, Oring LW, 1998. Winter management of Californian rice fields for waterbirds. *Journal of Applied Ecology*, 35(1):95-108.
- Fujioka M, Lee SD, Kurechi M, Yoshida H, 2010. Bird use of rice fields in Korea and Japan. *Waterbirds*, 33(sp1):8-29.
- Kim MR, Nam HK, Kim MH, Cho KJ, Kang KK, et al., 2013. Status of birds using a rice paddy in South Korea. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 32(2):155-165.
- Lee YK, Kim DW, Jang BS, Yoo SH, Kim CH, et al., 2012. The use of feeding habitats of five species of herons during the breeding season in South Korea. *The Korean Journal of Ornithology*, 19(2):141-149.
- Longoni V, 2010. Rice fields and waterbirds in the Mediterranean region and the Middle East. *Waterbirds*, 33(sp1):83-96.
- Lim SJ, Oh YT, Ro JH, Yang JY, Choi GH, et al., 2016. Investigation of residual organochlorine pesticides in green perilla (*Perilla frutescens* var. *japonica* Hara) greenhouse soil and its leaves. *Korean Journal of Pesticide Science*, 20(3):221-227.
- Mineau P, 2002. Estimating the probability of bird mortality from pesticide sprays on the basis of the field study record. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21(7):1497-1506.
- MAFRA, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2017. Agriculture, food and rural affairs statistics yearbook. MAFRA, 2017, p.61.
- Nam HK, Choi SH, Choi YS, Yoo JC, 2012. Patterns of waterbirds abundance and habitat use in rice fields. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 31(4):359-367.
- Park CY, Kim WY, Lee DP, 2009. Comparison of the characteristics of bird community according to habitat types in rural area of Muan-gun, Jeollanam-do. *The Korean Journal of Ornithology*, 16(2):81-92.
- Parsons KC, Mineau P, Renfrew RB, 2010. Effects of pesticide use in rice fields on birds. *Waterbirds*, 33(sp1):193-218.
- RDA, Agro-Material Industry Division, 2020. Criteria for registration of pesticides and active substances, Legislation and Notification Directive for pesticide regulation. RDA, p. 125.
- Son JK, Lee SY, Kang DH, Park MJ, Yun SW, et al., 2018. The comparative studies on the avian diversity in protected horticulture complex and paddy wetland. *Journal of The Korean Society of Rural Planning*, 24(4):57-67.
- Wood C, Qiao Y, Li P, Ding P, Lu B, et al., 2010. Implications of rice agriculture for wild birds in China. *Waterbirds*, 33(sp1):30-43.
- Ter Horst MMS, Wipfler EL, Adriaanse PI, Boesten JJTI, Fait G, et al., 2014. Chinese scenarios for groundwater leaching and aquatic exposure: development of scenarios for environmental risk assessment procedures of pesticides in China (No. 2559). Alterra, Wageningen-UR., p. 77.

● ● 논 이용 조류에 대한 농약 노출 시나리오 설정 및 위해성평가 연구

이 슬 · 오진아* · 이명지 · 전경미 · 신지영 · 박연기

농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부 독성위해평가과

요 약 논은 자연습지의 대체서식지로 야생조류에게 다양한 먹이를 제공하나, 동시에 논에 살포되는 농약에 조류가 노출되는 위험성도 있다. 현재 국내 농약 등록을 위한 위해성평가에는 초식성 조류의 작물 섭취로 인한 농약노출만 검토되고 있으므로 육식성 혹은 잡식성 조류에 대한 평가가 부족한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 논에서 먹이 활동을 하는 조류를 대상으로 농약 노출 시나리오를 설정하고 일부 등록 농약에 대한 위해성평가를 실시하였다. 노출 시나리오는 최악의 노출상황을 가정하여 조류가 벼 재배기간 중 농약의 논물 중 최대 농도에 노출된 어류만을 식이 섭취하는 것으로 설정하였다. 국내 기등록 농약 15품목을 선정해 조류 위해성을 평가한 결과, 이미다클로프로리드 6품목은 모두 위해성이 낮았으나 카보설판은 9품목 중 8품목이 위해성이 높았다. 특히 카보설판은 농약 살포 5일 후에도 9품목 중 5품목이 여전히 위해성이 높은 것을 알 수 있었다. 논 서식 어류 섭취에 의한 농약의 조류 식이 섭취 노출량은 최악의 노출상황을 가정한 결과이므로, 추후 야외 논 포장에서의 수중농약잔류결과 및 적합한 평가기준을 적용한다면 농약 사용에 의한 야생조류 위해성평가법 개선에 활용할 수 있을 것이다.

색인어 조류, 어류, 농약 노출, 위해성평가

