

## 농약이 잔류된 볏짚조사료를 급여한 소의 부산물 섭취에 따른 인체노출평가

길근환\* · 백민경 · 김진배 · 김찬섭 · 손경애 · 임건재 · 임양빈 · 이규승<sup>1</sup>  
 농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부, <sup>1</sup>충남대학교 생물환경화학과

## Human Exposure Assessment of Pesticide Residues in Cattle by-product Fed the Rice Straw

Geun-Hwan Gil\*, Min-Kyoung Paik, Jin-Bae Kim, Chan-Sub Kim, Kyung-Ae Son, Geon-Jae Im, Yang-Bin Ihm and Kyu-Seung Lee<sup>1</sup>

Department of Agro-Food Safety, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

<sup>1</sup>Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University, 220 Kung-dong Yusung-ku, Daejeon 305-764, Korea

(Received on September 3, 2013. Revised on September 20, 2013. Accepted on October 10, 2013)

**Abstract** The objective of this study was to investigate the exposure assessment of Korean consumers to edifenphos and tricyclazole in cattle product fed the rice straw, using a probabilistic approach. We used tricyclazole and edifenphos residue data in rice straw reported by National Academy of Agricultural Science (NAAS) for the 1998, 1999, 2001 and 2010 monitoring study and National Agricultural Products Quality Management Service (NAQS) for 2009 monitoring study. The mean exposures of edifenphos and tricyclazole for all of Korean consumers were 0.027% and 0.0006% of ADI and 99%<sup>th</sup> percentile exposures were 0.034% and 0.0007% of ADI respectively. The group of 1~6 years old consumers has the lowest exposure of edifenphos and tricyclazole. The group of 19~29 years old consumers has the highest exposure of edifenphos and tricyclazole.

**Key words** Pesticide residue, Rice straw feed, Cattle by-product, Exposure assessment, Probabilistic approach

### 서 론

볏짚은 우리나라에서 이용되는 가축 조사료의 40~50%를 차지하는 작물로 매년 2백만 톤 안팎의 볏짚이 사료용으로 이용되고 있다(MAFF, 2010). 볏짚은 쌀을 생산하는 과정에서 나오는 일종의 부산물로 벼의 병해충 방제를 위하여 사용한 농약이 볏짚에 잔류할 수 있다. WHO/FAO에서는 1989년부터 식품 중 잔류농약의 오염평가 시 위해성평가기법을 도입하여 노출에 대한 안전성 여부를 판단하고 있다(FAO/WHO, 1997). 국내에서도 이러한 위해성평가기법을 도입하여 식품 섭취에 의한 농약의 노출평가들이 보고되고

있는데, 대부분이 농산물 섭취에 대한 평가이다(Do 등, 2013; Paik 등, 2010). 사료에 대한 평가는 권 등(2000)이 볏짚의 잔류농약 모니터링결과를 농약의 일일섭취허용량과 대비하여 평가한 사례가 있으나 이 경우 볏짚을 섭취하는 소(400 kg)를 대상으로 평가한 것으로 실제 사람이 볏짚을 섭취한 소의 식육을 섭취할 경우에 대한 평가는 이루어진바 없다. 농약의 인체에 대한 위해성평가는 해당 농약의 독성자료와 노출자료를 고려하여 유해물질의 유해영향 발생확률을 계산함으로써 평가하는 방법이다(Henry, 1997). 이러한 위해성평가는 노출량, 섭취량, 체중 등의 변수를 단일 값만 이용하여 평가하는 확정론적 접근법과 모든 변수들을 분포 측면에서 고려하여 평가하는 확률적 접근법이 있다. 확정론적 접근법은 평가방법이 간단하고 이해가 쉽다는 이점 때문에 노출수준을 확인하는 일차적인 접근으로 주로 사용되고

\*Corresponding author

Tel: +82-31-290-0589, Fax: +82-31-290-0508  
 E-mail: ghgil@korea.kr

있으나 변수가 고정되어 있으므로 평가결과가 현실과 다를 수 있다(Hamery and Harris, 1999; Claeys 등, 2008). 그러나 확률적 접근법은 우리나라 소비자 집단의 모든 속성이 반영된 예측을 하게 함으로써 보다 현실에 가까운 결과를 도출할 수 있다(Hamery and Harris, 1999; Vose, 2006).

본 연구에서는 벚짚 중 잔류허용기준이 설정된 농약 중 edifenphos와 tricyclazole을 대상으로 가축이 벚짚을 섭취했을 때 축산물 중 잔류하는 농약의 양을 추정하였다. 또한 확률적 접근법을 이용해 축산물 중 잔류하는 농약의 우리나라 국민 전체에 대한 노출량을 예측하여 일일섭취허용량(ADI, Acceptable daily intake)과 비교한 위해성평가를 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 벚짚 중 농약 잔류량

벚짚 중 edifenphos와 tricyclazole의 잔류량 자료는 2010년 국립농업과학원 자료(전국 6개 주요 경작지 18지점), 2009년 농산물품질관리원 자료(전국 60점), 1998, 1999, 2001년 국립농업과학원 자료(각각 전국 99, 110, 134점)를 근거로 하였다.

### 축산물 중 농약 잔류량 추정

사료 중 잔류농약이 축산물을 통해 사람에게 노출되는 잔류량을 추정하기 위해 EU의 tricyclazole의 DAR (EC (France), 2007)과 FAO의 edifenfos의 평가보고서(JMPR, 1981) 중 가축잔류성 시험 성적을 이용하여 평가하였다. 대상으로 시험한 성적을 이용하였는데, 시험농약을 저농도, 중간농도, 고농도 최소 3수준정도로 사료와 함께 매일 투여하고 근육, 지방, 간, 신장, 심장 등의 조직을 채취하여 분석한 성적을 이용하여 평가하였다. 축산물 중 잔류농약의 농도는 시험에 사용한 가축에 투여한 농약의 농도와 실제 모니터링을 통해 벚짚에 잔류하는 농도를 비교하여 추정하였다.

### 노출평가

우리나라 전체 인구집단의 소고기 섭취를 통한 edifenphos와 tricyclazole의 인체노출량 평가를 실시하기 위하여 일일 추정섭취량(EDI, Estimated Daily Intake)을 식 (1)에 따라 산출하였다(FAO, 2009). 확률적 접근법을 이용하기 위하여 노출량 평가에 대해 Crystal Ball(Decisioneering Co., USA)의 Monte Carlo Simulation 기법을 이용하여 최적의 확률분포형태를 결정하였다. 해당 농약의 벚짚 중 잔류량이 불검출인 경우 정량한계의 1/2 값으로 대체하여 적용함으로써 도출될 결과의 예측 위험도가 중간인 경우의 시나리오로 평가하였다(Claeys 등, 2008).

$$\text{Estimated dietary intake (EDI)} = \frac{(C \times I)}{\text{BW(kg)}} \quad (1)$$

· C : 소부산물 중 농약 추정 잔류농도(mg/kg)

· I : 소부산물의 일일 섭취량(kg/day)

· BW : 체중(kg)

소부산물의 섭취량 자료는 2009년 국민영양조사 결과 중 우리나라 국민의 소부산물 섭취량을 사용하였다(KHIDI, 2010). 전체인구 및 연령 별 체중은 식약청(2003)의 위해성 평가를 위한 한국인의 노출인자 연구, 산업자원부 기술표준원(2004)의 한국인 인체치수조사사업, 보건복지부 질병관리본부(2006)의 국민건강영양조사의 한국인 체중을 통계처리하여 이용하였다(KFDA 2003; KATS, 2004; CDC, 2006).

노출량의 위해성 정도를 평가하기 위하여 소부산물을 통한 edifenphos와 tricyclazole의 일일추정섭취량을 농약의 일일섭취허용량과 비교하여 평가하였다. 일일섭취허용량은 농촌진흥청에서 고시한 edifenphos 0.003 mg/kg bw/day, tricyclazole 0.05 mg/kg bw/day를 사용하였다.

## 결과 및 고찰

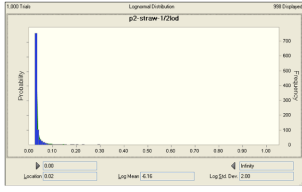
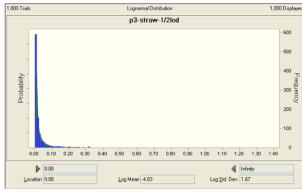
### 벚짚 중 잔류량 분포 평가

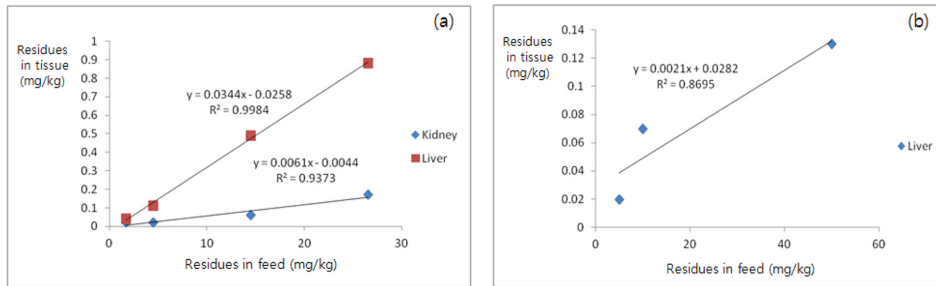
벚짚 중 edifenphos와 tricyclazole의 농약잔류량 분포는 Table 1과 같았다. edifenphos 평가대상 시료의 평균 잔류량은 0.03 mg/kg 이었고, tricyclazole 평가대상 시료의 평균 잔류량은 0.04 mg/kg 이었다. 또한 두 농약의 벚짚 중 잔류량 분포는 좌측으로 편향된 lognormal 형태를 보였다.

### 축산물 중 농약의 잔류량 추정

사료 중 잔류농약이 축산물 섭취를 통해 사람에게 노출되는 양을 추정하기 위하여 가축사료 중 농약 잔류량과 축산물 부위 별 잔류량의 상관관계를 구하였다. Edifenphos는 JMPR (1981)에서 작성한 Pesticide residues in food 보고서의 젓소를 대상으로 시험한 결과를 사용하였다. 시험결과 간을 제외하고 모든 조직에서 정량한계 미만(<0.01)이었고, 간에서는 처리농도 순으로 최대잔류량은 0.02, 0.07, 0.13 mg/kg 수준으로 잔류하였다. Tricyclazole은 EC (France)에서 2007년에 작성한 tricyclazole의 DAR 중 Koons JR. et al. (1978)이 비육우를 대상으로 가축잔류성시험을 실시한 결과를 사용하였다. 처리구 별 조직 중 tricyclazole의 잔류량은 근육과 지방에서는 검출되지 않았으며 간과 신장에서만 검출되었다. 잔류량은 간에서 가장 많이 검출되었는데 처리농도 순으로 모화합물로 환산한 최대잔류량은 0.04, 0.11, 0.49, 0.88 mg/kg이었으며, 신장에서는 0.02, 0.02, 0.06, 0.17 mg/kg 수준으로 잔류하였다. 이들 값을 각 농약의 투여 농도에 따른 부위별 최고농도로 정하고 edifenphos

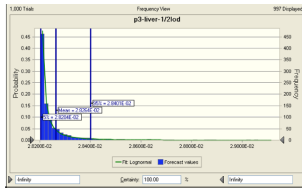
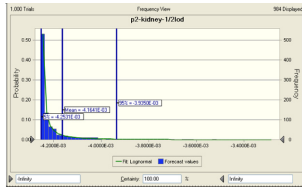
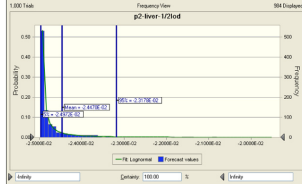
**Table 1.** Distribution of pesticide residues in rice straws

Pesticide	Mean (mg/kg)	95% <sup>th</sup> (mg/kg)	99% <sup>th</sup> (mg/kg)	Distribution
Edifenphos	0.03	0.13	0.37	
Tricyclazole	0.04	0.08	0.29	



**Fig. 1.** Correlation between pesticide residues in feed and pesticide residues in tissues (a) tricyclazole, (b) edifenphos.

**Table 2.** Distribution of pesticide residues in edible tissues

Pesticide	Tissue	Mean (mg/kg)	95% <sup>th</sup> (mg/kg)	99% <sup>th</sup> (mg/kg)	Distribution
Edifenphos	Liver	0.028	0.028	0.029	
	Kidney	-0.004	-0.004	-0.003	
Tricyclazole	Liver	-0.024	-0.023	-0.015	

와 tricyclazole의 사료 중 농도와 축산물 부위별 잔류량의 상관관계를 Fig. 1과 같이 구하였다.

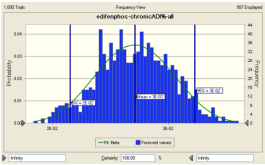
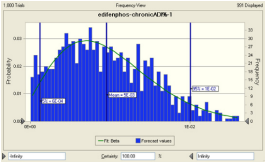
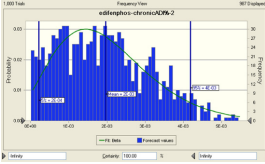
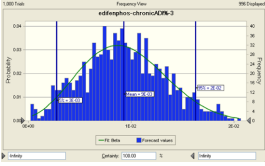
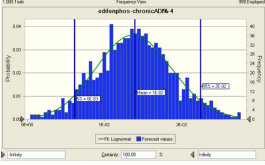
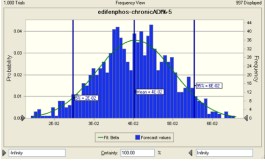
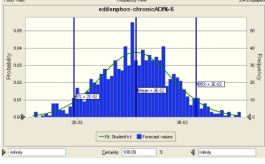
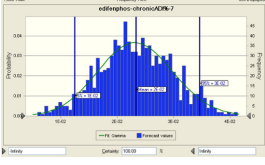
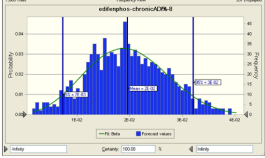
**노출평가**

Fig. 1의 edifenphos와 tricyclazole의 사료 중 농도와 축산

물 부위별 잔류량의 상관관계를 이용하여 볏짚 중 잔류농약이 축산물로 이행되는 양을 Table 2와 같이 추정하였다. Tricyclazole의 경우 볏짚 중 잔류하는 농도가 낮아 축산물 중 잔류하는 양이 음의 값으로 계산되었다.

Edifenphos의 간 섭취에 의한 전체인구 및 연령별 EDI를

**Table 3.** Distribution type of percent of ADI per exposure(EDI) of edifenphos from the intake of cattle by-product

Classification	Mean (%)	95% <sup>th</sup> (%)	99% <sup>th</sup> (%)	Distribution
Total	0.027	0.032	0.034	
1-2 years old	0.005	0.010	0.013	
3-5 years old	0.002	0.004	0.006	
6-11 years old	0.009	0.016	0.019	
12-18 years old	0.014	0.022	0.025	
19-29 years old	0.040	0.055	0.061	
30-49 years old	0.026	0.031	0.034	
50-64 years old	0.023	0.035	0.038	
65 years old=	0.020	0.032	0.037	

확률분포를 이용하여 추정하고 ADI와 비교하여 위해도 정도를 평가한 결과는 Table 3과 같다. 소부산물을 간으로만

섭취할 경우 전체인구의 평균 노출량은 ADI대비 0.027%로 매우 낮았으며 99%<sup>th</sup>에서도 0.034% 수준으로 안전하였다.

**Table 4.** Distribution type of percent of ADI per exposure (EDI) of tricyclazole from the intake of cattle by-product

Classification	Mean (%)	95 <sup>th</sup> (%)	99 <sup>th</sup> (%)	Distribution
Total	0.0006	0.0007	0.0007	
1-2 years old	0.0001	0.0002	0.0003	
3-5 years old	0.0000	0.0001	0.0001	
6-11 years old	0.0002	0.0003	0.0004	
12-18 years old	0.0003	0.0005	0.0005	
19-29 years old	0.0008	0.0012	0.0013	
30-49 years old	0.0005	0.0007	0.0007	
50-64 years old	0.0005	0.0007	0.0008	
65 years old=	0.0004	0.0007	0.0008	

연령층 별로는 1~6세가 몸무게는 적으나 부산물의 섭취량이 매우 낮아 가장 안전하였다. 부산물의 섭취가 많은

19~29세의 평균 노출량이 ADI대비 0.04%로 가장 높았으나 이 또한 매우 낮은 수준으로 소부산물 섭취를 통한 edifenphos

의 위해성은 모든 연령층에서 낮은 것으로 평가되었다.

Tricyclazole의 경우 벚짚 중 잔류하는 농도가 낮아 축산물 중 잔류하는 양이 음의 값으로 계산되므로 신장 및 간 중 잔류량을 정량한계의 1/2로 하여 확률분포가 아닌 점추정으로 평가하였다. Tricyclazole의 소부산물 섭취에 의한 전체인구 및 연령별 tricyclazole의 ADI 0.05 mg/kg bw/day 대비 노출량은 Table 4와 같다. 소부산물 섭취에 의한 전체인구의 tricyclazole 평균 노출량은 ADI대비 0.0006%로 매우 낮았으며 99%<sup>b</sup>에서도 0.0007%로 아주 미미한 수준이었다. 연령층 별 tricyclazole의 ADI대비 노출량은 99%<sup>b</sup>에서도 1~2세의 0.0003%부터 19~29세의 0.0013%까지 분포하여 소부산물 섭취를 통한 tricyclazole의 위해성은 모든 연령층에서 매우 낮은 것으로 평가되었다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ00895303)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## Literature Cited

- Claeys, W. L., S. De Voghel, J. F. Schmit, V. Vromman, and L. Pussemier (2008) Exposure assessment of the Belgian population to pesticide residues through fruit and vegetable consumption. *Food Additives and Contaminants* 25(7): 851-863.
- Do, Y. S., J. B. Kim, S. H. Kang, N. Y. Kim, M. N. Eom and M. H. Yoon (2013), Probabilistic exposure assessment of pesticide residues in agricultural products in Gyeonggi-do, *Korean J. Pestic. Sci.* 17(2):117-125.
- EC (France) (2007) Draft Assessment Report (DAR)-Tricyclazole, Volume 3, Annex B, part 3, B.7.
- FAO (2009) Submission and evaluation of pesticide residues data for the estimation of maximum residue levels in food and feed.
- FAO/WHO (1997) Food consumption and exposure assessment of chemicals. In Report of a FAO/WHO consultation.
- Henry, C. J. (1997) Risk assessment, risk evaluation and risk management. pp.283~300, In *Food Safety and Toxicity*, CRC Press Inc., U.S.A.
- Hamey, P. Y. and Harris, C. A. (1999) The variation of pesticide residues in fruits and vegetables and the associated assessment of risk. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 30:S34-S41.
- JMPR (1981) Pesticide residues in food, FAO and WHO.
- Koons J. R., J. R. Seright and R. Duyn Van (1978) Tricyclazole tissue residue study in cattle. *Agricultural Analytical chemistry*, Lilly Research Laboratories, Greenfield, Indianas, USA.
- Korean Agency for Technology and Standard (KATS) (2004) SIZE KOREA (final report).
- Korea Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2006) national nutrition survey in 2005.
- Korea Food and Drug Agency (KFDA) (2003) Study on food intake pattern among the exposure factors for risk assessment in Korean.
- Korea Health Industry Development Institute (KHIDI) (2010) national nutrition survey in 2009.
- Kwon, O. K., S. M. Hong, D. S. Choi, K. S. Seong, Y. B. Ihm, C. K. Kang, B. H. Song, and B. Y. Oh (2000) Survey on pesticide usage in paddy rice for the establishment of pesticide use indicator, *Korean J. Pesti. Sci.* 4(4):35-39.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) (2010) Status of roughage supply.
- Paik, M. K., B. J. Park, K. A. Son, J. B. Kim, S. M. Hong, W. I. Kim, G. J. Im and M. K. Hong (2010) Probabilistic approach on dietary exposure assessment of neonicotinoid pesticide residues in fruit vegetables, *Korean J. Pestic. Sci.* 14(2):110-115.
- Vose, D. (2006) Risk analysis - a quantitative guide. 2nd ed. Chichester, Wiley. UK.

## ● ..... ● **농약이 잔류된 벼짚조사료를 급여한 소의 부산물 섭취에 따른 인체노출평가**

길근환\* · 백민경 · 김진배 · 김찬섭 · 손경애 · 임건재 · 임양빈 · 이규승<sup>1</sup>

농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부, <sup>1</sup>충남대학교 생물환경화학과

**요 약** 본 연구에서는 소와 조사료로 이용되고 있는 벼짚의 농약잔류량 모니터링 결과 검출된 edifenphos와 tricyclazole에 대해 확률적 접근법을 이용해 축산물 중 잔류하는 농약의 우리나라 국민 전체에 대한 노출량을 예측하고 ADI와 비교한 위해성평가를 수행하였다. 평가 결과 소부산물을 간으로만 섭취할 경우 전체인구의 edifenphos 평균 노출량은 ADI대비 0.027%로 매우 낮았으며 99%<sup>th</sup>에서도 0.034% 수준으로 안전하였다. 연령층 별로 볼 때 부산물의 섭취량이 매우 낮은 1~6세가 가장 안전하였으며 부산물의 섭취가 많은 19~29세의 평균 노출량이 ADI대비 0.04%로 상대적으로 높았으나 이 또한 매우 낮은 수준으로 소부산물 섭취를 통한 edifenphos의 위해성은 모든 연령층에서 낮은 것으로 평가되었다. Tricyclazole은 벼짚에 잔류하는 수준이 낮으므로 간 및 신장을 포함한 소부산물 중 잔류량이 음의 값으로 계산되어, 소부산물 중 농약잔류량을 정량한계의 1/2을 적용하여 점추정으로 평가하였다. 소부산물 섭취에 의한 전체인구의 tricyclazole 평균 노출량은 ADI대비 0.0006%로 매우 낮았으며 99%<sup>th</sup>에서도 0.0007%로 아주 미미한 수준이었다. 연령층 별 tricyclazole의 ADI대비 노출량은 99%<sup>th</sup>에서도 1~2세의 0.0003%부터 19~29세의 0.0013%까지 분포하여 소부산물 섭취를 통한 tricyclazole의 위해성은 모든 연령층에서 매우 낮은 것으로 평가되었다.

**색인어** 잔류농약, 벼짚, 소부산물, 노출평가, 확률적 접근

