

살충제 imidacloprid의 물 및 물-토양계 중 광분해

임양빈* · 경기성¹ · 김찬섭 · 최병렬² · 홍수명³ · 이재구⁴

농업과학기술원 농약평가과, ¹농업과학기술원 유해물질과, ²농업과학기술원 농업해충과,
³농촌진흥청, ⁴충북대학교 농화학과

요약 : Imidacloprid를 물과 물-토양계에 처리후 광에 노출시켜 광분해 특성을 조사하였다. 물중에서 imidacloprid는 극성화합물로 전환이 빠르게 이루어져서 약제 7일에는 수상대 유기상의 분포비가 80 : 20이었으며, 이러한 경향은 조사 후 60일까지 지속되었다. 광에 의한 imidacloprid의 대사물인 imidacloprid urea는 노출 1일차에 0.0112 mg/kg이 검출되었으며, 7일차에는 0.0391 mg/kg로 최고 농도에 도달한 후 감소하여 60일에는 검출되지 않았다. 물-토양계에서 imidacloprid의 농도는 약제처리 7일 후 평형상태에 도달하였으며, 극성화합물로 전환은 7일간 지속되어 수상과 유기상간 분배비는 80 : 20로 전환되었다. 광에 의하여 imidacloprid의 농도는 약제처리 당일에는 1.6538 mg/kg, 1일에 0.8785 mg/kg으로 감소하여 15일에는 검출한계 미만으로 검출되지 않았으나, 광분해산물인 imidacloprid urea는 약제 처리 3일에 최고 농도인 0.0259 mg/kg에 도달한 후 감소하였다. 물과 물-토양계에서 imidacloprid는 광에 의하여 분해되어 imidacloprid urea가 생성되는 분해경로를 확인하였다.(2004년 2월 25일 접수, 2004년 3월 24일 수리)

Key words : imidacloprid, photolysis, paddy soil, metabolites, pesticide residue.

서 론

국내에서 1960~1970년대부터 해충방제를 위하여 사용되고 있는 농약은 합성피레스로이드계, 유기인계, 카바메이트계 등 5 가지 계통으로 분류할 수 있으며, 이들 농약들은 인축에 대한 독성과 연용으로 해충에 대한 저항성 문제가 대두되어 이들 농약을 대체할 수 있는 인축에 대한 독성이 낮고 환경에 보다 안전한 새로운 농약의 개발이 시급하게 되었다. 이러한 개발 필요성에 따라 imidazolidin계 농약이 1990년대 초부터 개발되어 국내에서는 1993년에 imidacloprid 2% 입제(상표명 : 코니도)가 등록된 후 현재는 수화제를 비롯한 7종의 제형이 29 작물에 등록되었으며 2001년에 28,000 a.i. kg이 사용되었다(농약지침서, 2002; 농약연보, 2002).

Imidacloprid는 포장에서 잔류기간은 작물 재배 유무에 따라 반감기가 190일까지 긴 것으로 보고되었으나(Scholz와 Spittler, 1992) 토양표면에서 광분해에 의한 반감기는 39일로 포장 반감기에 비해 크게 감소하였

으며, 실내에서의 반감기는 997일까지 증가되는 것으로 알려져 있다(Miles Inc., 1993).

또한, 물중에서 imidacloprid는 광에 의하여 4시간 만에 처리량의 90%가 다른 화합물로 전환되었으며, 광분해 속도상수는 $1.6 \times 10^{-4}/s$, 광분해 반감기는 1.2시간으로 짧았다(Moza 등, 1998). 또한 환경조건 하에서 imidacloprid의 표준품과 제품을 물에 처리한 후 광분해 반감기는 표준품 43분, 제품 126분으로 짧았으며, 광분해 대사물로 imidacloprid urea가 검출되었다고 하였다(Wamhoff와 Schneider, 1999).

앞에서 살펴본 바와 같이 imidacloprid는 농업환경 및 물중에서 분해는 광에 의하여 빠르게 일어나므로, 농업에서 사용된 농약중 극히 일부가 환경으로 유출되어 물중에 존재하는 경우 imidacloprid의 소실은 광에 의한 광화학적 반응에 의하여 일어날 것으로 예측되었다. 그러나, imidacloprid에 관한 연구는 약제가 개발된 직후부터 외국에서 활발히 연구되어 토양 및 식물체중 대사(Rouchaud 등, 1996), 토양중 흡·탈착(Oi, 1999; Koskinen 등, 2001; Nemeth-Konda 등, 2002), 토양중 용탈성(Gupta 등, 2002), 물중 광분해(Zheng과 Liu, 1999) 등의 연구결과가 많이 보고되고 있으나,

*연락처

국내에서 수행된 imidacloprid에 대한 연구 결과는 주로 방제, 저항성 및 잔류 분야에서 보고가 되어 있다 (Choi 등, 1999).

따라서, 본 시험은 환경중 유출된 살충제 imidacloprid의 행적을 구명하기 위한 시도로 동위원소 표지된 imidacloprid를 환경조건과 유사한 자연광 조건하에서 물과 물-토양계에서 imidacloprid의 분해특성을 조사하였다.

재료 및 방법

시험토양 및 화합물

물-토양계에 사용한 논토양은 수원시 권선구 당수동 소재 논토양을 사용하였다. 시험토양은 표토를 걷어내고 토심 10 cm 깊이로 채취하여 풍건한 다음 2 mm 체를 통과시켜 사용하였다. [¹⁴C]imidacloprid(비방사능 4.2 MBq/mg, 순도 99.7%)와 비표지 imidacloprid(순도 99.5%)는 Bayer사에서 분양받아 사용하였으며, 그 화학구조 및 표지위치는 그림 1과 같다.

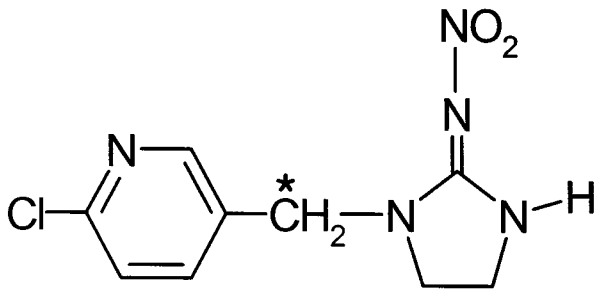


Fig. 1. Structural formula and labeled position(*) of imidacloprid [1-(6-chloro-3-pyridylmethyl)-N-nitroimidazolidin-2-ylideneamine].

Imidacloprid의 대사물

Imidacloprid의 대사물을 확인하기 위하여 사용된 화합물들 중 6-chloronicotinic acid는 Dr. Ehrenstorfer (Germany)로부터 구입하여 사용하였으며, imidacloprid urea [1-(6-chloro-3-pyridinyl) methyl-2-imidazolidinone]는

Rouchaud 등(1996)의 방법에 따라 합성하여 사용하였다. 즉 0.7N KOH 용액 100 mL에 imidacloprid 표준물질 2 g을 녹여 125 mL 증류후라스크에 옮기고 냉각관을 연결시켜 hot plate 상에서 연속으로 저으면서 1시간 반응시켰다. 반응이 끝난 후 실온에서 냉각시킨 후 진한 HCl 용액을 첨가하여 pH를 8.3으로 맞추었다. 반응액을 250 mL 분액여두에 옮기고 50 mL ethyl acetate로 3회 연속 추출하여 sodium sulfate anhydrous를 통과시켜 증류 flask에 받았다. 감압농축기 상에서 용매를 완전히 유거하고 잔류물이 완전히 녹을 때까지 dichloromethane을 소량 가한 후 n-hexane을 첨가하여 재결정시킨 후 여과하여 건조시켰다. 건조한 화합물을 일정량을 취하여 methanol에 녹여 GC/MS(Finigan MAT TSO 7000, U.S.A.)로 분석하여 화학구조를 확인한 후 분석용 표준물질로 사용하였다.

물중 광분해

평균한 증류수 50 mL에 32.23 kBq의 ¹⁴C-표지 및 비표지 imidacloprid를 녹여 포장살포 농도인 1.2 mg/kg이 되도록 조제한 후 마개가 달린 80 mL 수정시험관에 넣고 자연 태양광을 2002년 9월 10일부터 1, 3, 7, 15, 30, 45, 60일간 조사하였다. 조사 후 경시적으로 시험용액을 채취하여 그 중 5 mL를 동량의 dichloromethane을 넣고 격렬히 진탕하여 액액분배한 후 물층과 dichloromethane층에서 3 mL씩을 취해 LSC (liquid scintillation counter, Tri-Carb 1600 TR, Packard, U.S.A.)를 이용하여 방사능을 측정하는 방법으로 수상과 유기상의 방사능 분포를 조사하였다. 나머지 시험용액은 감압농축기를 이용하여 50°C에서 감압·농축하였다. 건고시료를 2 mL의 methanol에 용해한 후 poly pure filter(직경 4 mm, 공극내경 4.5 μm)를 통과시키고 imidacloprid와 그의 대사물은 HPLC/DAD(diode array detector)를 이용하여 표 2와 같은 조건에서 Imidacloprid urea(215 nm), 6-chloronicotinic acid(227 nm), imidacloprid(270 nm)에서 각각 분석하였다 (Wamhoff와 Schneider, 1999).

Table 1. Physicochemical properties of the soil used in the water-paddy soil system

pH	O.M. (%)	C.E.C. (cmol ⁺ · kg ⁻¹)	Soil texture			Texture
			Sand	Silt	Clay	
5.6	1.3	8.1	50.3	20.8	28.9	SCL ^{a)}

^{a)}SCL : Sandy clay loam.

Table 2. Chromatographic conditions for the analysis of imidacloprid and its metabolites in photolysis experiment with an HPLC/DAD

Instrument	High performance liquid chromatograph, HP-1100 series, Hewlett Packard, U.S.A.
Detector	Diode Array Detector (DAD)
Wavelength	215, 227, 270 nm
Column	Merck RP Select B, 250 mm L.×4 mm ID×5 μm particle size, Merck, Germany
Column temp.	35°C
Mobile phase	Initial 5% acetonitrile in water for 4 min., 5%/min. to 80% acetonitrile in water maintained for 2 min., decreased to 5% acetonitrile in water for 2 min.
Flow rate	1 mL/min.
Injection vol.	20 μL

물-토양계중 광분해

평균한 증류수 300 mL에 111.69 kBq의 ^{14}C -표지 및 비표지 imidacloprid를 녹여 포장살포 농도인 1.2 mg/kg이 되도록 조제한 후 500 mL 비이커에 50 g의 토양을 넣고 조제한 시험수를 각 비이커당 300 mL씩 채웠다. 시험기간 동안 물의 증발을 막기 위하여 얇은 비닐로 덮고 자연 태양광 하에서 2002년 9월 10일부터 1, 3, 7, 15, 30, 45, 60일간 각각 조사하였다. 경시적으로 시험용액을 채취하고, 시험용액 중 5 mL를 동량의 dichloromethane을 넣고 격렬히 진탕하여 액액 분배한 후 물층과 dichloromethane층에서 3 mL씩을 취해 방사능을 측정하는 방법으로 수상과 유기상의 방사능 분포를 조사하였다. 남아 있는 시험용액 200 mL를 50 mL의 dichloromethane으로 3회 추출하여 모은 dichloromethane층을 감압농축기를 이용하여 50°C에서

농축하고 잔사를 2 mL의 methanol에 용해한 후 poly pure filter(직경 4 mm, 공극 4.5 μm, Alltech, U.S.A.)를 통과시켜 광분해산물의 동정을 위한 분석용 시료로 사용하였다.

결과 및 고찰

Imidacloprid 대사물의 합성 및 동정

Imidacloprid의 주요 대사물로 알려진 imidacloprid urea는 Rouchaud 등(1996)의 방법을 이용하여 합성한 결과 수율은 99% 이상으로 양호하였으며, 합성한 화합물을 GC/MS로 분석하여 그림 2와 같은 mass spectrum을 얻었다. 이 mass spectrum을 살펴보면 m/z 211의 molecular ion(M^+)과 m/z 126, m/z 99, m/z 85의 fragmentation pattern으로 보아 Vilchez 등(1996)이 제

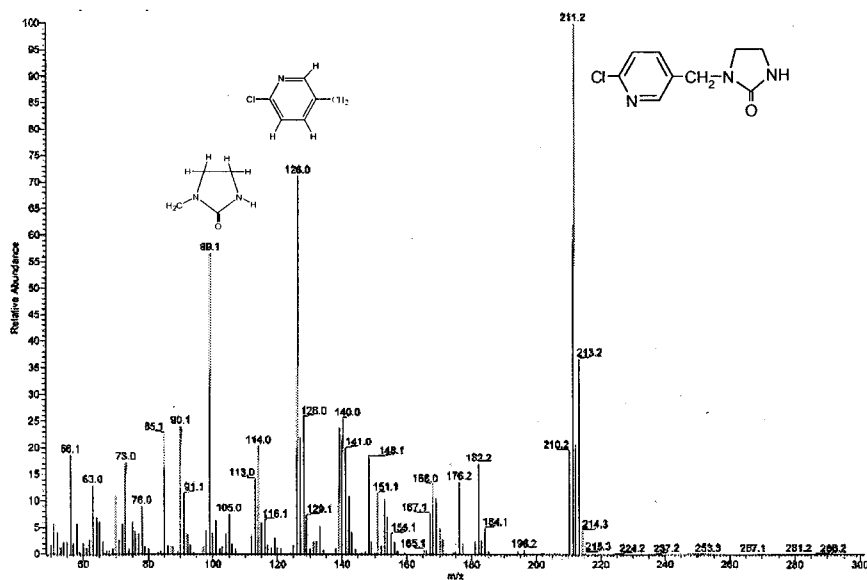


Fig. 2. GC/MS spectrum of imidacloprid urea synthesized for the identification.

시한 imidacloprid urea의 mass spectrum과 일치하여 이 화합물을 imidacloprid의 대사산물 동정 및 분석용 표준품으로 사용하였다.

물중 imidacloprid의 광분해

물에 처리한 imidacloprid의 광분해 정도를 확인하기 위한 시험기간(2002년 9월10일~11월15일)동안 광 조사 후 경시적인 imidacloprid의 극성화를 조사한 결과 그림 3과 같다.

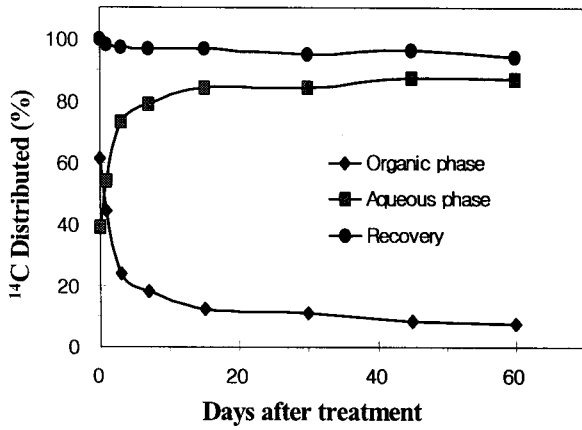


Fig. 3. Distribution of ¹⁴C radioactivity in water samples treated with [¹⁴C]imidacloprid between aqueous phase and organic phase during 60 days of exposure to sunlight.

물에 imidacloprid 처리 당일 물층(imidacloprid의 극성화 물질 함유)과 유기용매(dichloromethane)층 (imidacloprid 모화합물 함유)과의 분배비는 40 : 60이었으나, 햇빛에 노출 후 1일에는 55 : 45, 3일에는 75 : 25, 7일에는 80 : 20으로 처리한 imidacloprid는 광에 의하여 급격히 극성화되어 분해되었으나 7일 이후 60일까지 분배비는 일정하여 더 이상의 광분해가 이루어지지 않았다. 한편 물에 처리된 [¹⁴C]imidacloprid의 경시적 회수율은 1일 후에 최초 처리량의 98.1%, 3일 후에 97.1%, 7일 후에 96.8%로 광에 노출시간의 경과에 따라 조금씩 계속 감소하여 노출 60일 후에는 94.2%로 광 노출에 의하여 급격히 감소하지 않는 것으로 보아 극성화된 물질이 ¹⁴CO₂로 무기화되지 않고 물중에 계속 존재하는 것으로 추정되었다.

물-토양계에서 imidacloprid의 광분해

농약이 하천수로 유입되는 경우를 가정한 물-토양

계에서 imidacloprid의 광분해성을 조사한 결과 그림 4와 5와 같았다.

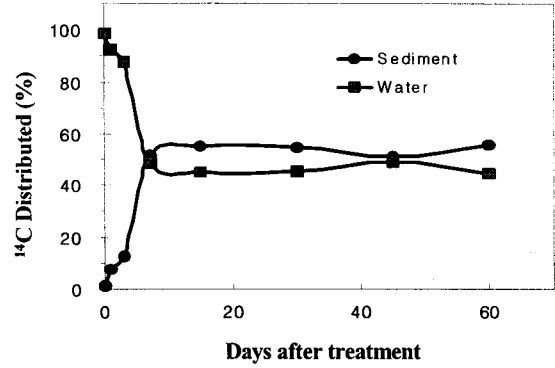


Fig. 4. Distribution of ¹⁴C between water and paddy soil in the paddy soil-water system treated with [¹⁴C]imidacloprid during 60 days of exposure to sunlight.

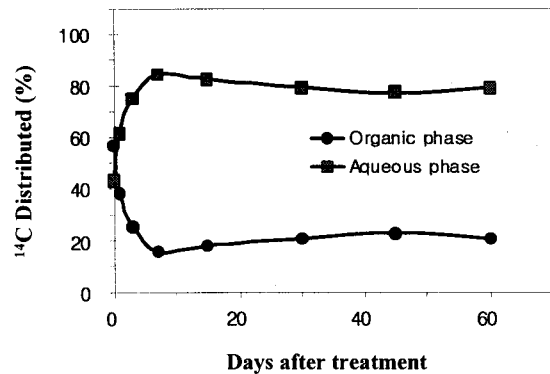


Fig. 5. Distribution of ¹⁴C between aqueous phase and organic phase in the paddy soil-water system treated with [¹⁴C]imidacloprid during 60 days of exposure to sunlight.

농약이 처리된 후 토양과 물사이 평형상태에 도달하기 위하여 물 중 농도는 급격히 감소하였는데 약제 처리 1일에는 물과 토양의 비가 92 : 8이었고, 3일에는 88 : 12, 7일에는 50 : 50으로 토양과 물간에 평형상태에 도달하였다. 토양과 물 중 방사능 비율을 살펴보면 약제처리 1일에는 물중 92%가 존재하였으나 3일에는 88%, 7일에는 50%로 급격히 감소하였으며, 토양 중 농도는 반대로 증가하였다. 물-토양계에서 화합물이 극성물질로 변환 정도를 알아보기 위하여 물중 광분해 시험과 동일하게 유기용매로 분배추출하였다. 분배결과 유기용매층과 물층간 분배비는 약제처

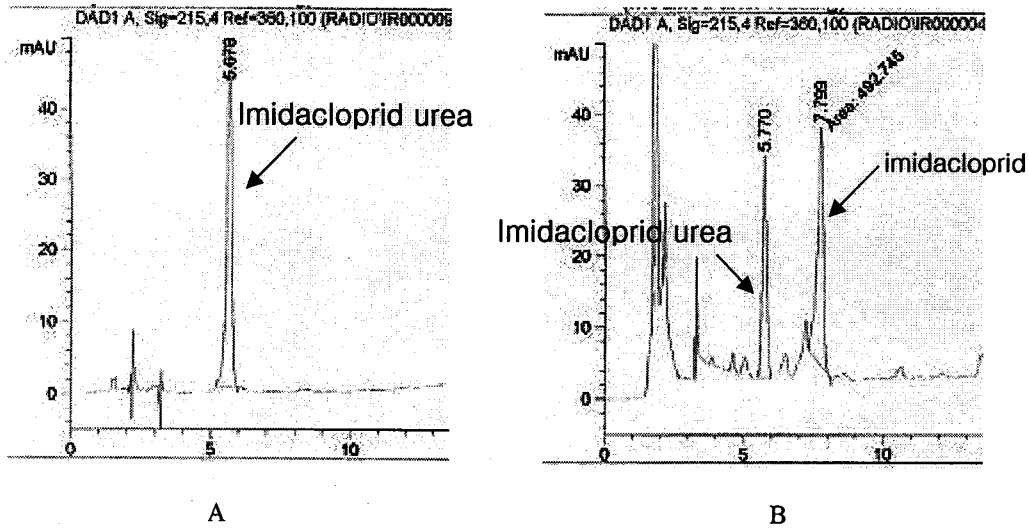


Fig. 6. HPLC chromatograms of authentic imidacloprid(A, 200 ng) and extract of water sample exposed for 7 days to sunlight (B) in the water system.

리 당일에는 57 : 43, 1일에는 38 : 62, 3일에는 25 : 75, 7일에는 16 : 84로 약제처리 7일까지 극성물질로 전환이 급격히 일어나서 약제처리 7일부터 시험기간 동안 물층에 70% 이상이 존재하였다. 이러한 결과는 수중 광분해와 동일한 경향을 나타냈으며, 변환되는 속도도 거의 유사하였다. 이 system에서 약제의 무기화는 거의 일어나지 않아 회수율은 약제처리 당일과 같은 비율을 유지하였다. 경(1994)은 논토양 조건에서 carbofuran의 경우 논에서 극성대사물이 급격히 증가하여 물층으로 분배비가 높아졌다고 보고하였는데 이러한 경향은 이 시험에서도 확인할 수 있었다.

Imidacloprid 광분해 대사물의 정량

물 중 광분해에 의한 대사물을 정량분석하기 위하여 50 mL 시료를 전부 농축하여 물층을 제거한 후 2 mL methanol에 녹여 diode array detector(DAD)가 장착된 HPLC로 215, 227, 270 nm 3개 파장에서 분석하였다. 분석결과 imidacloprid의 최적파장은 270 nm이었으며, retention time은 약 7.8분대이었다. Imidacloprid의 주요 대사산물로 알려진 imidacloprid urea의 최적 흡수 파장은 215 nm이었으며, retention time은 5.7분으로 확인되어 대사물의 정량분석은 215 nm에서 분석하여 그림 6과 같은 chromatogram을 얻었다.

약제처리 당일 물층 모화합물인 imidacloprid의 농도는 1.2461 mg/kg이었으며, 1일 경과 후 0.8594 mg/kg, 3일 경과 후 0.0792 mg/kg로 점차 감소되어 7일 경과

후에는 본 실험법의 검출한계인 0.0005 mg/kg미만으로 검출되지 않았다(그림 7). Imidacloprid의 주요 대사물인 imidacloprid urea는 처리당일에는 검출되지 않았으나, 처리 1일 후에 0.0112 mg/kg이 검출되었으며, 점차 검출농도가 증가하여 7일 후에는 0.0391 mg/kg으로 최고농도에 도달한 후 계속 감소하여 처리 60일 후에는 검출한계미만으로 검출되지 않았다.

이 시험에서는 주요 대사산물로 imidacloprid urea만 확인되었으나, 최고 검출농도가 최초 처리농도의 약 3.2% 수준으로 매우 낮았다. 생성된 화합물도 빠르게 감소되는 것으로 보아 다른 대사물로 전환되는 것으로 추정되었으나 생성된 imidacloprid urea의 양이 매우 적었기 때문에 전환된 최종 대사물은 확인할 수

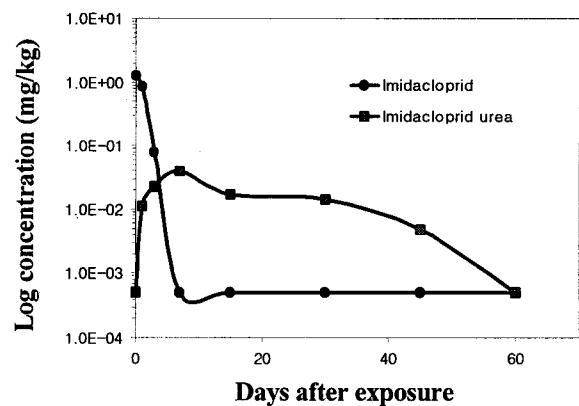


Fig. 7. Changes in concentrations of imidacloprid and imidacloprid urea in water samples during the 60 days of exposure to sunlight .

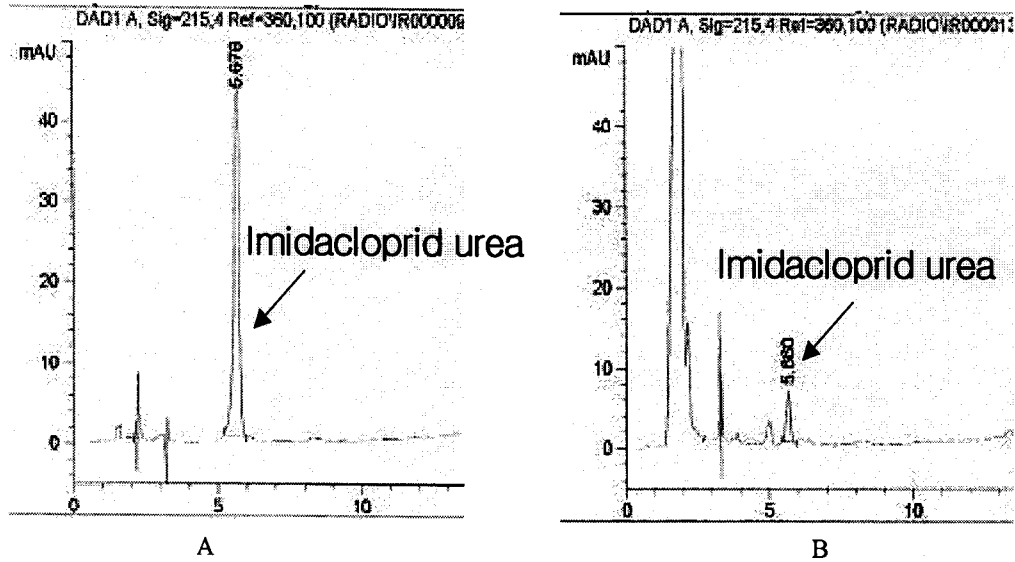


Fig. 8. HPLC chromatograms of imidacloprid (A, 200 ng) and extract of water exposed for 3 days to sunlight (B) in the paddy soil-water system.

없었다.

토양을 포함한 모형에서 광분해에 의한 대사물을 구명하기 위하여 분석한 결과 물 중 광분해 대사물과 동일한 imidacloprid urea가 그림 8과 같이 검출되었다. 약제처리 당일 물 중 모화합물인 imidacloprid의 농도는 1.6538 mg/kg이었으며 1일 경과 후 0.8785 mg/kg, 3일 경과 후 0.0716 mg/kg로 점차 감소되어 15일 경과 후에는 이 실험법의 검출한계인 0.0005 mg/kg 미만으로 검출되지 않았다(그림 9). 대사산물인 imidacloprid urea는 처리 1일 후 0.0117 mg/kg, 처리 3

일 후에는 최고농도인 0.0259 mg/kg에 도달한 후 계속 감소하여 처리 30일부터 0.0080 mg/kg 수준으로 처리 60일 까지 검출되었다. 물 중 광분해 대사물의 생성속도는 빠르나 분해속도는 늦어 처리 60일까지 일정농도를 지속적으로 유지되는 것은 물만 존재하는 조건에서 일어나는 감광작용에 비하여 토양은 감광작용의 속도를 증가시키는 물질들을 포함하고 있는 것으로 판단되었으며(Zepp, 1991), 모화합물의 일정량을 토양이 흡착하고 있으면서 일정한 평형상태를 지속적으로 유지하고 있기 때문에 모화합물에서 생성된 약제의 분해속도가 늦어지는 것으로 사료되었다. 이 물-토양계에서도 물중 광분해 대사물과 동일한 대사물이 발견되어 같은 분해경로를 거치는 것으로 판단되었다.

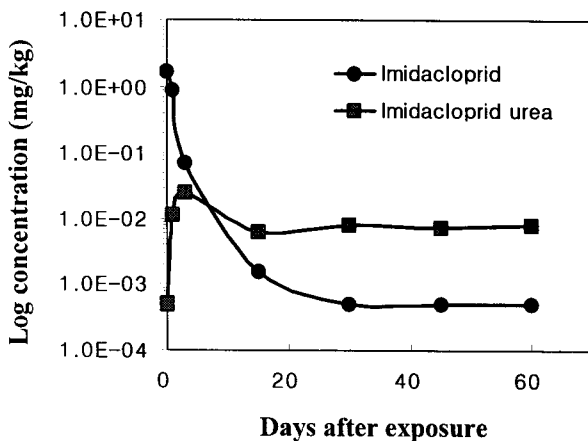


Fig. 9. Changes in concentrations of imidacloprid and imidacloprid urea in the paddy soil-water system during the 60 days of exposure to sunlight.

Imidacloprid 광분해 경로

최초 처리한 imidacloprid가 급격히 감소하면서 생성된 imidacloprid urea도 분자구조 중 pyridinyl과 imidazolidin 사이를 연결하는 methyl 부위가 깨어져 -COOH로 전환되어 최종 대사산물인 6-chloronicotinic acid가 생성된다고 보고되었으나 이 실험에서는 최종 대사물은 검출되지 않았다. 여러 과학자들(Wamhoff와 Schneider, 1999; Moza, 1998)에 의하면 imidacloprid는 수중에서 광에 의하여 쉽게 분해되어 6-chloro-N-methylnicotinacidamide, imidacloprid urea, 6-chloronicotinic acid, 6-chloronicotinaldehyde, 6-chloro-3-

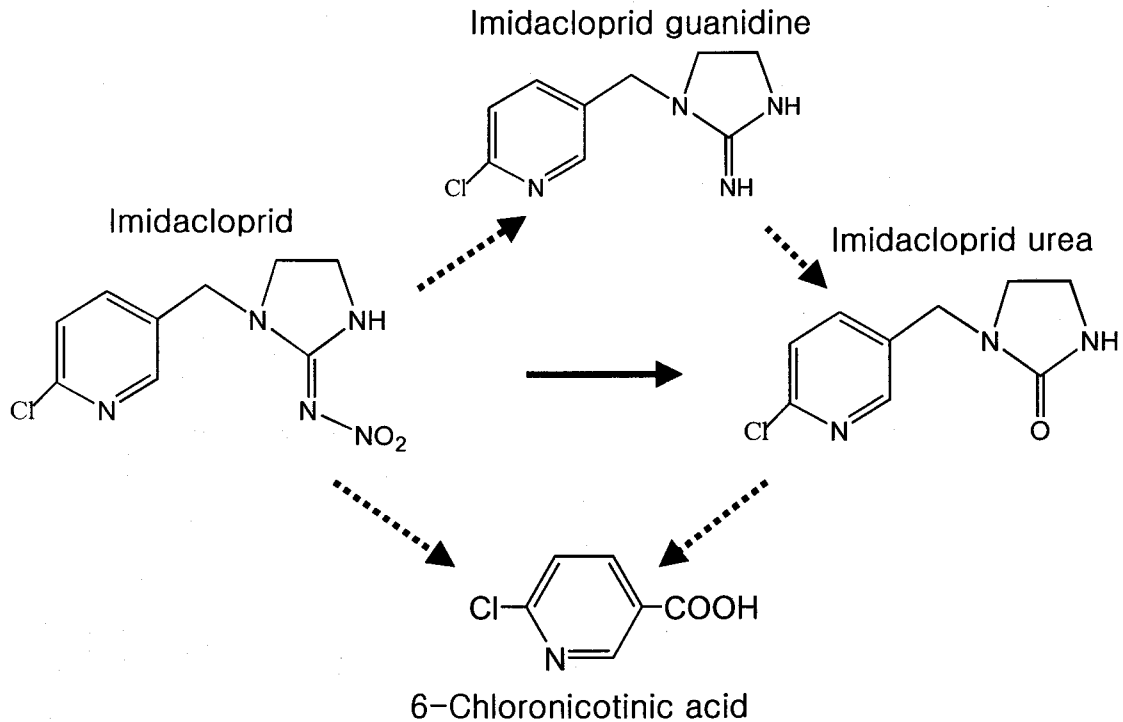


Fig. 10. Possible photodegradation pathway of imidacloprid in the water and water-paddy soil systems.

pyridyl-methylethyldiamine 등이 생성된다고 보고하였다. 또한 Wamhoff와 Schneider(1999)는 imidacloprid를 이용한 광분해 시험에서 발견된 imidacloprid urea는 imidacloprid guanidine을 거쳐 생성되었다고 보고하였으나 본 시험에서는 imidacloprid guanidine은 검출되지 않았다. 따라서 이 실험의 결과와 여러 연구자들(Moza 등, 1998; Agüera 등, 1998; Wamhoff와 Schneider, 1999)의 보고를 근거로 하여 imidacloprid의 물 및 물-토양계중 광분해 경로를 그림 10에 제시하였다.

인용문헌

- Agüera, A., E. Almansa, S. Malato, M. I. Maldonado, and A. R. Fernandez-Alba (1998) Evaluation of photocatalytic degradation of imidacloprid in industrial water by GC-MS and LC-MS. *Analisis* 26:245~251.
- Choi, B. R. (1998) Characteristics of insecticidal action of imidacloprid and the resistance mechanisms on *Nilaparvata lugens*(Homoptera: Delphacidae) and *Myzus persicae*(Homoptera: Aphididae). Ph. D. thesis, Gyeongsang Nat'l Univ.
- Korea Crop Protection Association (2002) Agrochemicals use guide book, Seoul.
- Korea Crop Protection Association (2002) Agrochemicals year book, Seoul.
- Koskinen, W. C., L. Cox, and Yen P. Y. (2001) Changes in sorption/bioavailability of imidacloprid metabolites in soil with incubation time. *Biol Fertil Soils* 33:546~550.
- Kyung, K. S. (1994) Elucidation of the behaviour of some selected toxicants in the environment by ¹⁴C-radiotracer techniques. Ph. D. thesis, Chungbuk Nat'l Univ.
- Miles Inc. (1993) Imidacloprid: Pesticide leaching potential model. Report No. 105008.
- Moza, P., K. Hustet, and A. Ketrup (1998) Photolysis of imidacloprid in aqueous solution. *Chemosphere* 36, 497-502.
- Nemeth-Konda, L., G. Füluky, G. Morovjan, and P. Csokan (2002) Sorption behaviour of acetochlor, atrazine, carbendazim, diazinon, imidacloprid and isoproturon on Hungarian agricultural soil. *Chemosphere* 48:545~552.

- Oi, M (1999) Time-dependent sorption of imidacloprid in two different soils. *J. Agric. Food Chem.* 47:327~332.
- Rouchaud, J., F. Gustin, and A. Wauters (1996) Imidacloprid insecticide soil metabolism in sugar beet field crops. *Environ. Contam. Toxicol.* 56:29~36.
- Scholz, K. and M. Spiteller (1992) Influence of groundcover on the degradation of [¹⁴C]imidacloprid in soil. *Brighton Crop Conference-Pest and Diseases*, pp.883~888.
- Vilchez, J. L., R. El-Khattabe, J. Fernandez, A. Gonzalez-Casado, and A. Navalon (1996) Determination of imidacloprid in water and soil samples by gas chromatography-mass spectrometry. *J. Chromatogr. A* 746:289~294.
- Wamhoff, H. and V. Schneider (1999) Photodegradation of imidacloprid. *J. Agric. Food Chem.* 47:1730~1734.
- Zepp, R. G. (1991) Photochemical fate of agrochemicals in natural waters. *Proc. the 7th IUPAC, Hamburg, 1990*, edited by H. Frehse.
- Zheng, W. and W. Liu (1999) Kinetics and mechanism of the hydrolysis of imidacloprid. *Pesticide Sci.* 55:482~485.

Photolysis of the insecticide imidacloprid in water and water-paddy soil systems

Yang Bin Ihm*, Kee Sung Kyung¹, Chan Sub Kim, Byeong Ryeol Choi², Soo Myung Hong³ and Jae Koo Lee⁴ (*Pesticide Safety Division, ¹Hazardous Substances Division, and ²Agricultural Pests Division, National Institute of Agricultural Science & Technology, Suwon 441-707, ³Rural Development Administration, Suwon 441-707, and ⁴Department of Agricultural Chemistry, College of Agriculture, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea*)

Abstract : To elucidate the photolysis characteristics of the insecticide imidacloprid in the environment, [¹⁴C]imidacloprid was treated into water and paddy soil-water system. In water system, the amount of ¹⁴C-radioactivity distributed in aqueous phase was rapidly increased up to 80% of total ¹⁴C in water during 7 days of exposure to sunlight. Also, the amounts of imidacloprid in water at day 0 and 3 days after treatment were 1.2461 and 0.8594 mg/kg, respectively, not being detected 7 days after treatment, indicating rapid degradation of imidacloprid in water by sunlight. One photodegradation product, imidacloprid urea, in which the N-NO₂ moiety of imidacloprid was replaced by oxygen, was detected from water in water and water-paddy systems. The amount of the metabolite detected from water in water system was 0.0112 mg/kg 1 day after treatment and reached the top concentration of 0.0391 mg/kg 7 days after treatment. In case of water-paddy system, its amount was 0.0117 mg/kg 1 day after treatment and reached the highest concentration of 0.0259 mg/kg 3 days after treatment. Rapid transformation of imidacloprid into polar compounds continued until 7 days after treatment, considering that 80% of ¹⁴C in water distributed in aqueous phase 7 days after treatment. The amount of imidacloprid was 1.6538 mg/kg at day 0 and 0.8785 mg/kg 1 day after treatment, not being detected after 15 days, indicating rapid degradation of imidacloprid in water-paddy soil system by sunlight. The direct degradation of imidacloprid to imidacloprid urea would be a major photodegradation pathway in water and water-paddy soil systems.

* Corresponding author (Fax : +82-31-290-0507, E-mail : ybihm@rda.go.kr)