

제초제 Imazapyr의 미생물에 의한 분해 및 기타 방법에 의한 분해 촉진

이재구 · 권정욱
충북대학교 농과대학 농화학과

Microbial degradation and other methods for accelerated degradation the Herbicide Imazapyr

Jae Koo Lee and Jeong Wook Kwon (Department of Agricultural Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea, Tel : 0431-61-2562, Fax : 0431-271-5921, email : jklee@cbucc.chungbuk.ac.kr)

Abstract : The microbial degradation, photosensitizer-mediated photolysis, and bioceramic- accelerated degradation of the herbicide imazapyr were investigated using four types of soil.

1. Seven strains of microorganisms isolated from the soil A and the active sludge collected from the waste water disposal plant in Cheongju did not give any distinct degradation products in pure culture. When imazapyr (10 ppm) was incubated for 14 days with each of the 6 strains of the known bacteria, they did not produce any noticeable products, either, suggesting that imazapyr was degraded very little by microorganisms in aqueous media. Meanwhile, when 50 ppm of imazapyr was incubated in soil A and B for 6 months, a degradation product of m/z 279 was detected. It turned out to be 2-[(1-carbamoyl-1,2- dimethylpropyl)carbamoyl]nicotinic acid, which was formed by the hydrolytic cleavage of the imidazolinone ring and by tautomerism. When imazapyr was exposed to sunlight, degradation rates were 14.6% under the control and 66.0, 76.5, 26.7, and 90.0% in the presence of PS-1 (100 ppm), PS-1 (200 ppm), PS-2(100 ppm), and PS-3(100 ppm), respectively, and a degradation product of m/z 149 was tentatively identified in the treatment of PS-1.

2. When soil C and D treated with bioceramic were incubated for 7 weeks, the ¹⁴C-activities of ¹⁴CO₂ evolved were 2.03 and 1.12% of the originally applied ones, respectively, whereas those in control soils without bioceramic were 1.88 and 0.82%, showing no significant differences. After 5 weeks, however, the differences in the amounts of ¹⁴CO₂ between the two treatments increased gradually, suggesting the bioceramic effect.

Key Words : Imazapyr, 감광제, 미생물에 의한 분해, 광분해, bioceramic

서론

자연환경중에서 농약이 분해 소실되는 경로로는 태양광선에 의한 광분해, 미생물에 의한 분해, 화학적 분해, 용탈 및 식물에 의한 흡수와 이행 등¹⁾이 있다. 특히 광분해와 미생물에 의한 농약의 분해는 농약의 환경중 잔류성에 중대한 영향을 미치고 있으나 이들은 서로 다른 영역이라 할 수 있다. 토양의 표면에 살포된 농약은 그 표면에 잔류하는 동안은 광에 의한 영향을 받지만 일단 강수나 기타의 영향으로 토양속으로 유입되면 미생물에 의한 영향을 받게된다. 광에 의한 분해에서 농약은 감광제 (photosensitizer)에 의해 더 빠른 분해를 보인다고 하였다²⁾. 또한 미생물에 의한 분해 과정은 일반적으로 미생물의 생육을 증대시키는 적당한 온도와 습도 및 부가적인 영양원인 식물의 유기성 잔류물 등과 같은 요인에 의해 영향을 받는다.

Imazapyr는 호기성 및 혐기성 수중 조건하에서 안정한 것으로 보고되어 있다.³⁾ American Cyanamid Co.의 연구자들에 의하면, imazapyr는 호수로부터 얻은 anaerobic sediment/water system에서 1년이상 미생물에 의해 분해되

지 않는다고 하였고, aerobic sediment/water system에서 28일에 걸친 배양기간중에도 imazapyr의 현저한 분해는 이루어지지 않았다고 하였다³⁾. 이 약제는 pH가 7.5 이하일 때 25, 37 및 45°C에서 각각 24, 12, 및 3개월간 안정하다고 한다. 그러나 imazapyr는 광의 투과가 용이한 수용액상에서는 용액의 pH에 관계없이 반감기가 1.3~2.7일로 비교적 짧지만⁴⁾ 일단 imazapyr가 토양 속으로 침투하게 되면 광의 영향을 받을 수가 없기 때문에 역시 분해는 어렵게 된다.

본 연구에서는 제초제 imazapyr의 토양중 행적을 구명하기 위하여 imazapyr의 미생물에 의한 분해, 감광제에 의한 광분해 촉진 및 bioceramic 첨가에 의한 분해 촉진 유무 등을 구명하였다.

재료 및 방법

공시재료

공시토양

사용된 발토양은 충북 청원 (토양 A), 충북 청주 (토양 B), 충북 진천 (토양 C) 그리고 제주 (토양 D)지역에서 채

취하였으며, 이 토양들의 물리 화학적 특성은 표 1에 나타내었다.

Table 1. Physico-chemical properties of the soils used

Soil*	pH(1:5)	OM** %	C.E.C mmol(+)/kg soil	Sand	Silt	Clay %	Texture
A	5.6	1.2	101.3	67.9	23.9	8.2	SL
B	5.1	2.4	80.8	60.6	24.8	14.6	SL
C	7.0	1.2	43.2	69.1	23.7	7.2	SL
D	5.8	14.9	280.3	13.5	72.0	14.5	SiL

* Soil A~D were collected from Cheongwon, Cheongju, Chincheon, and Jeju, respectively

** Organic matter

공시화합물

사용된 imazapyr의 순도는 99.3%이었으며, [¹⁴C] imazapyr (specific activity : 1.61 MBq/mg)는 American Cyanamid Co.로 부터 분양 받았고, radiochemical purity는 98.6%이었으며, 그 화학구조 및 표지위치는 그림 1에서 보는 바와 같다.

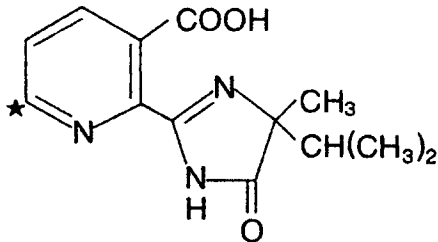


Fig. 1. Structural formula and labelled position(*) of imazapyr [2-(4-isopropyl-4-methyl-5-oxo-2-imidazolin-2-yl)nicotinic acid].

미생물에 의한 분해

Imazapyr 분해균의 분리

청주공단 폐수처리장의 활성오니를 회석한 후 여과하여 얻은 여액과 토양의 현탁액 1 ml을 100 ml의 MM₂ 배지에 가하고 여기에 imazapyr를 30 ppm 수준으로 처리하여 30°C의 진탕배양기에서 2주 간격으로 10 ppm씩 높여가면서 90 ppm 까지 계대배양하였다. 이 배양액을 충분히 회석한 후 NB 평판배지(nutrient broth 8 g을 증류수에 녹여 1 L로 만든 후 agar를 1.5~2%에 상당하는 양을 가하고 가압살균 후 일정량을 petri dish에 부어 굳힘)에 약 1 ml을 떨어 뜨리고 spreader로 얇게 편 후 30°C의 항온기에서 배양하면서 형성된 단일 colony를 NB 사면배지에 접종하여 배양하였다. 이렇게 분리된 분리균 각각을 MM₂ 무기배지에 접종하고 imazapyr (10 ppm)를 첨가하여 진탕배양기에서 배양하였다. 그리고 매 2주 간격으로 imazapyr를 함유한 새로운 배지에 배양액의 일부를 다시 첨가하여 배양을 계속 반복하였다. MM₂ 배지의 조성은 (NH₄)₂SO₄ 18 mM, FeSO₄·7H₂O 1 μM, CaCl₂·2H₂O 100 μM, MgSO₄·7H₂O 1 mM, NaCl 8.5 mM, Na₂HPO₄ 10 mM, KH₂PO₄ 10 mM, pH 7.0로 하였다.

동정된 미생물에 의한 분해

Salmonella subspecies 1G을 포함한 6종의 세균을 선발하여

imazapyr의 농도를 10 ppm으로 처리한 MM₂ 무기배지에 접종하고 30°C의 진탕항온기에서 2주 동안 배양하였다. 사용된 세균들은 Salmonella subspecies 1G, Ochrobactrum anthropi, Bacillus subtilis W-23, Bacillus subtilis Marburg 168(Trop(2)), Bacillus subtilis(N) IAM 1552, Pseudomonas putida 이다.

Imazapyr 분해산물의 구명

약 2주간 배양한 배양액을 glass wool을 이용하여 여과하고 이 여액을 dichloromethane으로 분배 추출하여 dichloromethane층을 취한 후 수용액층을 pH 2.0이하로 조절한 후 dichloromethane으로 재차 분배시켜 얻은 dichloromethane층을 감압 농축하고 정제한 다음 GC-MSD로 imazapyr의 대사산물을 분석확인하였다.

토양중 분해

토양중 imazapyr의 분해산물을 구명하기 위하여 중복 청원토양(A)과 중복 청주토양(B) 100 g씩을 500 mL Erlenmeyer flask에 넣고 imazapyr를 50 ppm으로 처리하고 최대용수량의 70%에 해당하는 증류수를 가한 후 6개월 동안 24±1°C의 항온기에서 배양하였다. 배양기간중 손실된 수분은 매주 보충하였다. 배양이 끝난 토양은 100 mL의 acetone을 가하여 1시간 진탕하고 10,000 rpm에서 15분간 원심분리하여 상정액을 취하는 방법으로 2회 반복하였다. Acetone 추출액을 회전농축기로 농축 후 소량의 acetone으로 용해하고 이를 Florisil column chromatography로 정제한 다음 그 분해산물을 Gas Chromatograph-Mass Selective Detector (HP 5972 GC-MSD, Hewlett Packard, U.S.A.)로 확인하였으며, 그 조건은 표 2에 나타내었다.

Table 2. GC-MSD conditions for the analysis of the degradation products of imazapyr

Instrument	HP5890 A Series II Gas Chromatograph equipped with HP5972 Series Mass Selective Detector, Hewlett Packard, U.S.A.
Column	Glass capillary column, HP-1(Cross-linked methyl silicone gum), 25 m, L. × 0.2 mm, I.D. × 0.33 μm, film thickness
Temperature	Column : Initial temp. 150°C for 0.1 min, 15°C/min to 250°C maintained for 15 min Injector : 220°C Detector: 280°C
Flow rate	Carrier(He) : 1 mL/min Split vent: 7 mL/min Septum purge: 1.5 mL/min
Injection volume	1 μL

광광제(photosensitizer)에 의한 imazapyr의 광분해 촉진

Imazapyr가 광에 민감하다⁹는 보고를 근거로 sea sand 상에서 photosensitizer를 처리하여 광분해 시험을 실시하였다. 시험기간중 기온은 15~30°C이었으며, 25,000~80,000 Lux의 자연광하에서 6시간 동안 노출시켰다. 100 mL의 비이커에 sea sand 30 g을 넣고 imazapyr를 1 mg 처리한 후 photosensitizer를 처리하지 않은 control과 photosensitizer

(PS)로 PS-1 (semiconductor catalyst, 100 ppm과 200 ppm), PS-2 (aromatic ketone, 100 ppm) 및 PS-3 (synthetic quinone, 100 ppm)를 처리하고 각각에 증류수 3 mL을 가한 후 광에 노출시켰다. 광 노출이 끝난 시료에 100 mL의 acetone을 가하고 진탕기에서 30분간 진탕 후 여과하고 다시 30 mL의 acetone으로 수세하여 합한 여과액을 분액여두에 옮기고 HCl을 이용하여 pH 2이하로 조절하고 물 100 mL과 dichloromethane 50 mL을 넣고 1분간 격렬히 진탕하여 dichloromethane 층을 모으는 방법으로 1회 더 추출한 후 합한 dichloromethane을 회전농축기로 농축한 후 이를 1% formic acid 4 mL에 용해하여 HPLC 분석을 행하였으며, 이 때의 기기조건은 표 3에 나타내었다. 또한 이 시료를 GC-MSD로 분석하여 분해산물을 확인하였다.

Table 3. HPLC conditions for the analysis of imazapyr

Instrument	Pump : Waters, M 510 Detector : Waters, Tunable absorbance detector, M 486
Column	15 cm, L x 4.6mm, ID, LC-8-DB (octyldimethylsilyl, deactivated for basic compounds), Supelco, Inc.
Column Temp.	Room temp. (approx. 20 °C)
Mobile phase	Water : acetonitrile : formic acid : triethylamine (80:19:1:0.3, v/v/v/v)
Flow rate	0.8 mL/min.
Detector	UV detector (wavelength : 240 nm, range : 0.001 AUFS)
Injection volume	10 µL
Chart speed	0.5 cm/min.

Bioceramic 첨가에 의한 imazapyr의 분해 촉진 시험

본 실험에 사용한 90~96%의 원적외선 방사능을 갖는 bioceramic powder (BAOS-10)의 화학성분은 표 4에서 보는 바와 같이 bioceramic은 11가지 이상의 성분으로 구성되어 있는 무기화합물이며, SiO₂와 Al₂O₃가 주성분으로 이 두 가지 화합물이 약 70% 정도를 차지하고 있다.

2종의 공시토양 (C와 D)을 건물중 기준으로 100 g씩 300 mL 삼각 flask에 담고 0.3 %의 bioceramic을 처리한 토양과 처리하지 않은 토양 각각에 12.21 kBq의 표지화합물에 비표지화합물을 첨가하여 토양에 대한 전체 농도가 1.0 mg/kg 이 되도록 처리한 후 처리시 가한 유기용매를 완전히 휘발시키고 골고루 섞었다. 여기에 최대용수량의 40%에 상당하는 증류수를 가하고 22±1°C의 암소에서 soda lime으로 CO₂를 제거한 공기를 주입하면서 호기적으로 7주간 숙성시켰다. 이 기간중 손실된 수분은 매주 보충하였다. 숙성 기간중 발생하는 ¹⁴CO₂는 1N NaOH에 흡수시켜 Aquasol cocktail (Du Pont, NEN Research Products)을 사용하여 그 방사능을 계측하였다. 모든 시료는 3반복으로 분석하였으며, 각 시료의 방사능은 10회 이상 계측한 값의 평균으로 하였다.

Table 4. Chemical composition of the bioceramic (BAOS-10)

Component	Content(%)	Component	Content(%)
SiO ₂	50.1	TiO ₂	4.21
Al ₂ O ₃	20.3	ZrO ₂	1.85
Fe ₂ O ₃	0.62	MnO	0.02
CaO	6.20	P ₂ O ₅	0.05
MgO	4.76	Ignition loss	9.97
K ₂ O	0.77		
Na ₂ O	1.15	Total	100.00

결과 및 고찰

미생물 및 자연광에 의한 분해

분리균 및 기지균에 의한 분해

토양과 활성오니로부터 imazapyr를 분해하는 것으로 보이는 7개의 세균을 분리한 후 이들 미생물과 Salmonella subspecies 1G를 위시한 6종의 기지미생물에 의한 pure culture를 실시하였으나 그 대사산물을 확인할 수 없었다. 토양 A에서 분리한 분리균 및 몇몇 기지 미생물에 의한 분해 실험시 MM₂ 배지의 탁도가 증가하는 것으로 보아 미생물에 의한 분해가 되는 것으로 생각되었으나 검출할 수 없었던 것은 아마도 분해산물의 양이 너무 적기 때문일 것으로 생각된다. Dale과 O'Connor⁹⁾는 imazapyr는 호기 및 혐기 상태의 수증상태에서 매우 안정하다고 하였다. Bollag과 Liu⁸⁾는 외래물질 혹은 metolachlor처럼 분해되기 어려운 화합물의 분해는 단일종의 미생물에 의한 분해 보다는 미생물의 조합 (microbial consortium)에 의해 더 효과적일 수 있다고 보고하였다.

토양중 분해

Imazapyr를 처리하고 배양한 토양중 그 분해산물을 구명하기 위하여 acetone으로 추출하여 GC-MSD로 분석한 결과 그림 2와 3에서 보는 바와 같이 imidazolinone ring의 개열에 의해 형성된 m/z 279의 분해산물을 얻었다. 즉, imazapyr의 구조중 imidazolinone ring에서 C-N간의 σ결합이 가수분해에 의하여 끊어져서 불안정한 enol form이 생기고 곧이어 hydrogen shift에 의하여 tautomer인 keto form으로 전환되었을 것으로 추정된다. Mangels⁷⁾의 보고에 의하면 호기성 토양에서 22~24°C로 12개월간 ¹⁴C-carboxyl-labelled imazapyr를 배양하였을때 sandy loam과 clay loam에서 각각 총 처리 방사능의 14%와 15%가 ¹⁴CO₂로 방출되었으며, 그 분해산물로는 2-carbamoylnicotinic acid와 4-isopropyl-4-methyl-2-(2-pyridyl)-2-imidazolin-5-one이 형성되었다고 하였다. 한편 Lee 등⁸⁾의 보고에 의하면 잡초인 Digitaria sanguinalis와 Ambrosia artemisiifolia, 그리고 작물인 두과식물과, 옥수수에서 imazapyr는 대사산물로 2-[(1-carbamoyl-1,2-dimethylpropyl)carbamoyl] nicotinic acid, 2-carbamoylnicotinic acid, 2, 3-pyridinedicarboxylic acid, 그리고 imidazo pyrrolopyridine 유도체인 환구조 화합물을 생성한다고 하였다. 따라서 식물체내의 대사과정에서도 imazapyr는 본 실험의 토양중 분해산물로 얻은 가수분해산물을 형성함을 알 수 있다. 또한 Mangels⁹⁾는 pH 5, 7 그리고 9인 buffer와 증류수중에서 imazapyr (50 ppm)의 가수분해를 연구 하였던 바 증류수와 pH 5 및 7의 buffer중에서는 30일 이상에서도 분해산물을 검출할 수 없었고 pH 9에

서는 매우 느리게 가수분해되어 그 반감기가 325일 이었고 이때 얻은 가수분해산물은 2-[(1-carbamoyl-1, 2-dimethylpropyl)carbamoyl]nicotinic acid라 하였다.

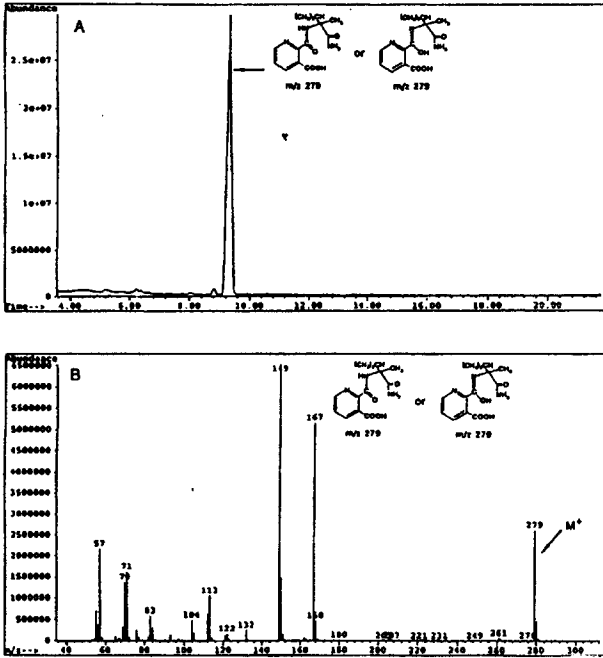


Fig. 2. Total ion chromatogram(TIC) (A) of the acetone extract of the soil treated with 50 ppm imazapyr and mass spectrum (B) of the peak (m/z 279) on the TIC.

감광제(Photosensitizer)에 의한 imazapyr의 광분해 촉진 감광제를 처리한 광분해 실험의 결과는 그림 4에서 보는 바와 같이 감광제의 종류에 따라 분해율에 많은 차이를 보였다. Control 경우에는 14.6%의 분해율을 보인 반면 PS-1의

수 있다. Louis Lykken²⁾은 organophosphorus compounds, methylcarbamates, pyrethroids, dinitrophenol derivatives, piperonyl butoxide 및 2, 4-D에 첨가하여 실험한 photosensitizer 중에서 PS-3가 가장 활성이 컸다고 하였다. 본 실험에서 위의 시료를 GC-MSD로 분석한 결과, PS-1을 첨가한 광분해 시료에서 m/z 149의 광분해 산물을 검출확인하였으며, 그 mass spectrum과 가능한 분해경로는 그림 5과 6에서 보는 바와 같다. 그 생성경로는 imidazolinone 환이 개열된 후 가수분해되어 2-carbamoylnicotinic acid → 2,3-pyridinedicarboxylic acid → 2,3-pyridinedicarboxylic anhydride (m/z 149)로 추정되었다. 한편 American Cyanamid Co.의 연구자들이 행한 수증 광분해 실험에서는 분해산물로 quinolinic acid, quinolinimide, furo[3,4-b]pyridine-5(7H)-one, 그리고 7-hydroxy-furo [3,4-b]pyridine-5(7H)-one의 4종의 화합물을 확인하였다는 보고가 있으나 sea sand에 감광제를 첨가한 본 광분해 실험에서는 상기의 2,3-pyridinedicarboxylic anhydride가 주로 생성되고 다른 분해산물은 확인되지 않았다.

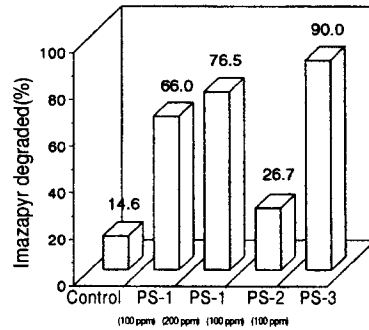


Fig. 4. Effect of some photosensitizers on the photodegradation of imazapyr.

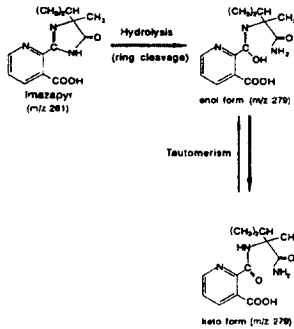


Fig. 3. Possible pathway for the degradation (hydrolysis) of imazapyr leading to the degradation product of m/z 279, 2-[(1-carbamoyl-1, 2-dimethylpropyl) carbamoyl]nicotinic acid, in soil.

100 ppm과 200 ppm에서 각각 66.0과 76.5%로 고농도에서 더 높은 분해율을 보였고, PS-2와 PS-3에서 각각 26.7과 90.0%의 분해율을 보였다. Aromatic ketone계 감광제인 PS-2는 control과 큰 차이를 보이지 않았는데 이 화합물은 아마도 imazapyr에 대한 감광제로서의 효과가 적은 것으로 보인다. Louis Lykken²⁾은 PS-2는 어떤 chlorinated cyclodiene계 용액이 자외선에 노출되었을때 photoisomer로 전환되는 것을 가속화시킨다고 하였다. PS-3는 imazapyr 처리량의 거의 대부분을 분해시킨것으로 보아 감광제로서 상당히 효과가 있음을 알

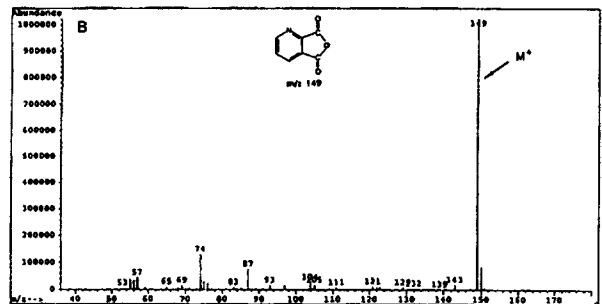
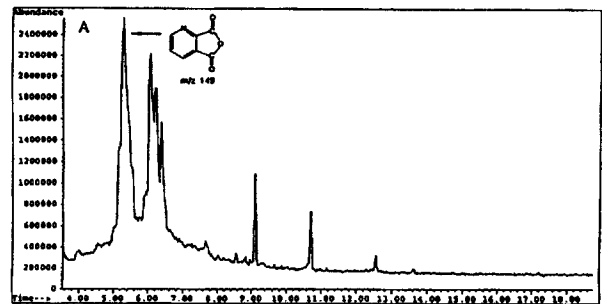


Fig. 5. Total ion chromatogram(TIC) (A) of the sample of PS-1-catalyzed photodegradation of imazapyr and mass spectrum (B) of the peak (m/z 149) on the TIC.

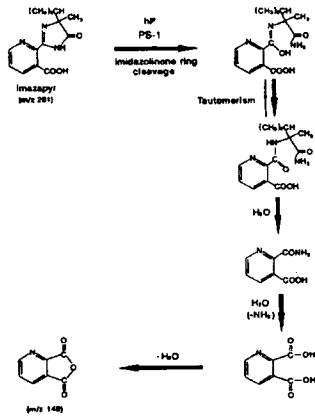


Fig. 6. Possible pathway for the PS-1-catalyzed photodegradation of the herbicide imazapyr leading to the formation of 2,3-pyridine-dicarboxylic anhydride (m/z 149)

Bioceramic 첨가에 의한 imazapyr의 분해 촉진

원적외선의 특징은 적외선이나 자외선과 같은 전자파로서 광과 같은 속도로 공간을 직진함은 물론이거니와 생물체에 투사되는 경우 흡수가 잘 된다. 진동이론에 의하면 어느 물질의 고유분자 진동 주파수와 같은 주파수의 전자파를 그 물질에 투사하면 공진현상을 일으켜 진폭이 커지므로 분자 진동이 커지기 때문에 물체의 내부 온도를 상승시킬 수 있다¹⁰⁾. 특히, 원적외선은 고분자화합물들의 고유분자 진동의 파장과 같은 파장대에 있기 때문에 생체에 잘 흡수되는 성질을 갖는다. 이와 같은 이론에 의하여 생체 (신선한 농산물 및 식품)의 물분자와 섬유질 등이 투사된 원적외선과 공진현상을 일으켜 활성화되기 때문에 신선대사의 촉진과 생물의 성장촉진 또는 신선도 유지 및 저장성 향상에 좋은 영향을 준다고 하였다¹⁰⁾.

Bioceramic의 원적외선 방사가 imazapyr를 분해시키는 미생물에 미치는 영향을 알아보기 위하여 토양에 bioceramic을 0.3% 되게 처리하고 7주간 배양한 결과는 그림 7에서 보는 바와 같이 토양 C와 D간에는 큰 차이가 남을 알 수 있지만 각각의 토양에 대해서 bioceramic 처리구와 무처리구간의 ¹⁴CO₂ 방출량의 차이는 그다지 크지 않았다. 그러나 5주 이후에는 서서히 무처리구에 비해 처리구에서 증가하는 경향을 보였다. 여기서 두 가지의 가정이 가능한데 하나는 bioceramic이 농산물의 저장, 신선도 유지 및 성장촉진 등에는 기여할 수 있지만¹⁰⁾ 미생물의 활성에는 영향을 미치지 않을 것이라는 것과 다른 가정은 5주 이후에는 서서히 ¹⁴CO₂의 양이 증가하는 것으로 보아 시간이 더 경과함에 따라 효과가 나타날 것이라는 것이다. 두번째 가정의 근거는 정 등¹¹⁾과 송과 유¹⁰⁾에 의하면 상추와 토마토의 발아에 미치는 영향과 과일의 저장에 미치는 영향의 연구결과 두 실험 모두에서 처음 2~3주까지는 무처리구와 큰 차이가 없었으나 그 이후에는 그 효과가 현저히 증가하는 경향을 보였다.

또한 정 등¹¹⁾의 상추와 토마토의 발아에 미치는 영향 실험에서 계속적인 광조사는 bioceramic의 원적외선 방사효율을 높이기 때문에 결국 주위의 온도를 상승시키는 효과가 있다고 하였는데 이는 본 실험 결과를 설명하는데 또 다른 정보가 된다. 본 실험의 조건은 광을 차단한 조건이었다. 만약 본 실험조건이 광이 있는 조건이었다면, 태양광에 의해 bioceramic의 효율이 증대되기 때문에 토양중의 온도가

상승하게 되고 결국 미생물의 활성이 증대되어 imazapyr의 분해를 촉진시켰을 것으로 생각된다. 정 등¹²⁾은 근권에 처리한 bioceramic이 오이의 생육 및 수량에 미치는 영향 실험 결과 bioceramic의 형태에 따라 그 효과에 차이가 있음을 보고했다. Bioceramic의 형태에는 ceramic powder, bio-ball 및 bioceramic coated pad 등이 있는데 오이의 초장, 생체중 및 총과실 수량 등에서 bio-ball을 처리한 시험구에서 가장 높은 수치를 나타냈다. 이 결과로 미루어 볼때 토양중에 bioceramic을 처리할 경우 그 형태를 달리한다면 더 좋은 결과를 얻을 것으로 기대한다.

특히 정 등⁹⁾의 실험에서 bioceramic ball을 처리했을때 가장 좋은 근권을 형성하여 생육이나 수량에 있어 좋은 성적을 보여 오이 뿌리의 형태의 변화들이 생장 및 수량 변화에 영향을 주는 요인으로 추정되었는데 이는 근권영향 (rhizosphere effect)으로 설명이 가능하다고 생각한다.

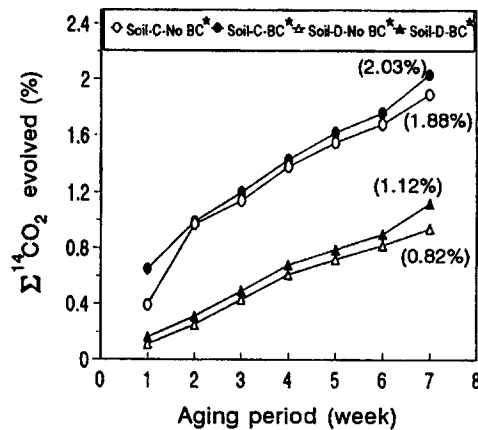


Fig. 7. Effect of bioceramic on the degradation of imazapyr in soil. *BC : Bioceramic

요 약

물리화학적 특성이 상이한 4종의 토양을 이용하여 제조제 imazapyr의 미생물에 의한 분해, 감광제에 의한 광분해 촉진 및 bioceramic 첨가에 의한 분해 촉진 시험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

토양 A와 active sludge로 부터 분리한 7종의 미생물을 접종한 순수배양에서 뚜렷한 대사산물을 얻지 못했다. 또한 6종의 기지 미생물을 이용한 14일간의 배양실험에서 역시 대사산물을 얻지 못했다. 이 결과는 수중에서 imazapyr가 미생물에 의해서는 거의 분해가 되지 않음을 시사해 준다. Imazapyr를 처리하여 배양한 토양중 그 분해산물로는 imidazolinone ring의 개열에 의해 형성된 m/z 279의 2-[(1-carbamoyl-1,2-dimethylpropyl)carbamoyl]nicotinic acid를 얻었다. 또한 자연광하에서 행한 광분해 시험에서 감광제의 종류에 따라 분해율에 많은 차이를 보였다. 무처리구의 경우에는 14.6%의 분해율을 보인 반면 PS-1의 100 ppm과 200 ppm에서 각각 66.0과 76.5%로 농도가 높을수록 높은 분해율을 보였고, PS-2와 PS-3에서 각각 26.7과 90.0%의 분해율을 보였다.

Aromatic ketone계 감광제인 PS-2는 무처리와 큰 차이를 보이지 않았다. PS-1을 첨가한 광분해 시료에서 m/z 149의 광분해 산물을 검출하였으며, 그 생성경로는 imidazolinone

환이 개열된 후 가수분해되어 2-carbamoyl-nicotinic acid → 2,3-pyridinedicarboxylic acid → 2,3-pyridine-dicarboxylic anhydride (m/z 149)로 추정되었다.

토양 C와 D에 [¹⁴C]imazapyr를 처리하고 bioceramic을 첨가하였을 때 발생된 ¹⁴CO₂의 방사능은 각각 총 처리방사능의 2.03%와 1.12%인 반면 bioceramic을 처리하지 않은 구에서는 각각 1.88%와 0.82%로써 유의성 있는 차이는 보이지 않았으나 5주 이후에는 ¹⁴CO₂의 양이 점점 증가했다.

사 사

본 연구에 사용된 ¹⁴C-imazapyr을 분양해 준 American Cyanamid Company (Princeton, N. J., U.S.A.)에 사의를 표합니다.

인 용 문 헌

1. Führ, F. (1982). Agrochemicals : Fate in food and the environment : Fate of herbicide chemicals in the agricultural environment with particular emphasis on the application of nuclear technique. International Atomic Energy Agency, Vienna, 99.
2. Lykken, L. (1972). Role of photosensitizers in alteration of pesticide residues in sunlight, Environmental Toxicology of Pesticides, edited by Fumio Matsumura, G. Mallory Boush, and Tomomasa Misato, Academic Press, New York and London, 449~469.
3. Altman, J. (1993). Pesticide interactions in crop production: Beneficial and deleterious effects, CRC Press, p. 69.
4. Mallipudi, N. M., Steven, J. S., Adrian, R. D. and Lee A. -H. (1991). Photolysis of imazapyr (AC 243997) herbicide in aqueous media, J. Agric. Food Chem. 39, 412~417.
5. Dale, L. S. and S. L. O'Connor (1991). The imidazolinone herbicides, CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, Boston, London, p. 192~208.
6. Bollag, J. -M. and S. -Y. Liu (1991). Microbial transformation of the herbicide metolachlor. Diversity of Environmental Biogeochemistry, J. Berthelin, (ed.), Development in Geochemistry, Vol. 6. P. 89~96. Elsevier Science Publishers, Amsterdam. p. 89~96.
7. Mangels, G. (1991). Behavior of the imidazolinone herbicides in soil - A review of the literature, in "The Imidazolinone Herbicides", ed, by D. L. Shaner and S. L. O'Connor, CRC Press, pp. 191~209.
8. Lee, Anhorng, P. E. Gatterdam, T. Y. Chiu, N. M. Mallipudi, and R. R. Fiala (1991). "Plant metabolism", in "The Imidazolinone Herbicides", ed, by D. L. Shaner and S. L. O'Connor, CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, Boston, London, pp. 151~165.
9. Mangels, G. (1991). "Behavior of the imidazolinone herbicides in the aquatic environment", in "The Imidazolinone Herbicides", ed, by D. L. Shaner and S. L. O'Connor, CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, Boston, London, pp. 183~190.
10. Song, Hyun-Kap, Ryou, Young-Sun (1992). Effect of Far Infrared Radiated by Bioceramics on the Storage of Agricultural Products, Institute of Thermal Energy for Rural Areas, 8(1), 103~114.
11. Chung, S. J., Lee, B.S., and Lee, J. P. (1992). Germination Responses of Lettuce and Tomato Seeds as Affected by the Treatment of Bioceramic Powder, Chonnam National University, Vol. 37, 59~66.
12. Chung, S. J., Lee, B. S., Lee, J. P., and Kang, J. G. (1992). Effect of Bioceramics in Root-zone on the Growth and Fruit Yield of Hydroponically Grown Cucumber (*Cucumis sativus* L.), Chonnam National University, Vol. 37, 59~66.