한국환경농학회지 제23권 제3호 (2004)
Korean Journal of Environmental Agriculture Vol. 23, No. 3, pp. 178-184

골프장의 잔디 토양에서 살균제 Tolclofosmethyl의 분해

정근욱* · 우선희[1] · 김흥태[2] · 사동민 · 김영기 · 홍순달 · 김재정 · 이재구

충북대학교 농업생명환경대학 농화학과, [1]충북대학교 농업생명환경대학 식물자원학과, [2]충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과

(2004년 8월 2일 접수, 2004년 9월 10 수리)

Degradation of the Fungicide Tolclofosmethyl in the Turfgrass Soil of Golf Course

Keun-Yook Chung*, Sun-Hee Woo[1], Heung-Tae Kim[2], Tong-Min Sa, Young-Kee Kim, Soon-Dal Hong, Jai-Joung Kim and Jae-Koo Lee (Departments of Agricultural Chemistry, [1]Agronomy, [2]Plant Medicine, College of Agriculture, Life and Environmental Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea)

ABSTRACT : Tolclofosmethyl (TCFM) is heavily and annually applied to the turf soils of most golf courses in Gyeongju to control the fungi known to cause the disease brown patch. The soil samples used for the experiment was collected three weeks after the annual application at the end of May in the year 2002. The preliminary results obtained from this study demonstrated that the repeated field annual applications of TCFM to the turf soils of a golf course located in Gyeongju city in the southern area of Korea showed the enhanced degradation of the parent compound TCFM, especially in the surface (0~15 cm) soil rather than the shallow subsurface (15~30 cm) and deep subsurface (30~45 cm) soils, compared to the corresponding surface (0~15 cm) and shallow and deep subsurface (15~30 cm and 30~45 cm) soils of the untreated plot. It appears that microorganisms in the soil may be involved in the enhanced degradation of TCFM.

Key words: fungicide, golf course, turfgrass, soil, brown patch, tolclofosmethyl (TCFM), microorganisms, enhanced degradation.

서 론

현재 농약은 농업에서 잡초, 곤충, 곰팡이균 및 선충으로 인한 피해로부터 경제적으로 중요한 작물 및 골프장의 잔디 보호를 위한 필수 불가결한 수단으로 고려된다. 그 결과 우리나라를 포함하여 전세계 국가가 이러한 목적으로 수백만 킬로그램의 양으로 매년 약 20조 이상의 달러에 상응하는 농약이 소비되고 있는 실정이다[1].

농약은 토양에 있는 혹은 식물에 있는 대상 해충 및 균을 효과적으로 제거하기 위해 일정한 시간 동안 잔류해야만 한다. 일단 토양에 살포된 농약은 두 가지 큰 경로들을 통해 없어지게 된다[2]. 첫번째 기작은 대기중으로의 휘발 및 지하수로의 용탈 그리고 토양에의 흡착이다. 두 번째 기작은 화학 및 생물학적인 분해과정이다. 그러나 첫번째 기작에 의해 농약은 총량은 감소하지 않고 단지 한 지역의 토양으로부터 다른 지역의 토양으로의 이동에 불과하다. 비생물학적 및 생물학적 분해기작은 토양에 살포된 농약의 총 양을 감소시키고 비독성화시키는 가장 중요한 기작으로 고려된다[3,4]. 비생물학적인 분해기작은 빈번하게 농약의 부분적인 분해에 관여하는 것으로 알려져 있다. 그 결과 부분적으로 분해된 중간 독성생성물질들이 생겨나게 된다. 반면에 생물학적인 분해 특히 토양에 존재하는 미생물에 의한 분해는 농약을 이산화탄소와 물 그리고 무기이온으로의 완전한 분해를 촉진한다[5]. 몇 가지 농약들은 (주로 carbamate계와 thiocarbamate계통의 구조를 가지고 있는 농약들) 같은 토양에 반복적으로 살포됨으로써 그 토양에 존재하는 미생물에 의해 분해가 촉진된다는 것이 집중적인연구를 통해 전세계적으로 보고되고 있다. 그러한 살포된 농약의 분해의 촉진이 효과적인 해충방제를 저해하는 것과 밀접한 관련이 있다는 연구결과가 보고되고 있는 현실이다[6-8]. 그러므로 효과적인 해충 및 잡초방제를 위해 과도한 양의 농약을 살포하게 된다. 농약의 과도한 사용의 결과 사용자들에게 막대한 경제적인 손실을 입히고 결과적으로 커다란 국가적인 손실을 야기하게 되며 농약이 살포되는 지역에 있는 토양의 질이 저하되며 주변지역의 수질오염을 야기할 수 있다.

경주지역의 골프장은 대부분이 신생대 3기층의 토양으로

*연락저자:
Tel: +82-43-261-3383 Fax: +82-43-271-5921
E-mail: kychung@chungbuk.ac.kr

주로 염분이 다량 축적되어 있어서 표층 토양 위에서 자라는 잔디가 다른 지역보다 생장이 지연될 뿐만 아니라 "brown patch" 혹은 더 나아가 "large patch"라고 불리우는 잔디병이 큰 문제가 되고 있다. 그로 인하여 비교적 빈번한 회수의 살균제와 살충제가 살포되고 있는 실정이다. "Brown patch" 또는 "large patch"라는 잔디병은 경주지역의 골프장에서만 발생하는 것이 아니라 우리나라 전지역과 외국에서도 큰 문제가 되고 있다. 이러한 잔디병 퇴치를 위하여 농약중에서 주로 살균제가 많이 살포되고 있는 실정이다. 살포되는 대표적인 살균제로는 tolclofosmethyl, hexaconazole, flutolanil 등이 있는 데 본 연구에서는 시판되고 있는 토로스의 유효성분인 tolclofosmethyl(TCFM)을 실험에 사용하였다. TCFM은 유기인제 계통으로 국내에 있는 많은 골프장에서 사용되는 비교적 고가의 살균제이다. 이 TCFM의 분해속도를 경주지역의 대표적인 골프장에서 토양을 채취하여 실험해 봄으로써 TCFM의 잔류효과를 평가할 수 있고, 더 나아가서 분해의 촉진 여부를 평가할 수 있으며 분해의 원인을 찾아낼 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 경주 보문단지 내에 위치하고 있는 골프장에 사용되는 주요 농약중의 하나인 살균제 TCFM을 대상농약으로 선정하여 TCFM의 분해속도 측정을 통하여 TCFM의 효과 및 환경오염방지대책을 연구하므로써 경주지역 및 더 나아가 전국에 있는 골프장의 경제적이고 효율적인 관리에 기여할 목적으로 수행되었다. 토로스로 야외 처리한 토양시료와 처리하지 않은 토양시료로 부터 TCFM의 분해속도를 측정 비교하였고, 또한 표층 (0~15 cm), 중층 (15~30 cm), 심층 (30~45 cm)의 깊이에서 채취된 토양시료에서 TCFM의 분해속도를 측정 비교하였고, TCFM의 농도가 TCFM의 분해에 미치는 효과를 평가하였다. 마지막으로, TCFM으로 처리된 토양시료와 멸균된 토양시료에서 TCFM의 분해속도를 측정비교하여 미생물의 TCFM 분해 촉진 관여 여부를 평가하였다.

재료 및 방법

Table 1. Chemical and physical properties of the treated and untreated Soils

Item		Treated (cm)			Untreated (cm)		
		0~15	15~30	30~45	0~15	15~30	30~45
T-N		0.13	0.01	0.01	0.10	0.04	0.03
PH (1:5)		5.9	5.7	5.2	5.2	5.1	5.2
OM (%)		3.48	0.78	0.37	3.38	0.71	0.42
Soil texture		sandy loam	sandy clay loam	clay loam	sandy loam	sandy clay loam	clay loam
P_2O_5 (ppm)		23	1	9	19	2	1
CEC ($cmol^+/kg$)		16.2	13.3	14.7	17.2	14.1	15.9
EC (mmhos/cm)		1.05	1.40	0.83	1.07	1.39	0.79
EX-cation (me/100 g)	K	0.34	0.15	0.11	0.27	0.26	0.19
	Ca	3.63	1.44	1.11	3.74	1.33	1.22
	Mg	2.33	4.34	5.22	2.73	4.34	3.29

토양시료

토양시료는 경주의 골프장에 있는 Teeway 지역의 표층 (0~15 cm) 과 중층 (15~30 cm) 그리고 심층 (30~45 cm) 토양으로 구분하여 채취하였다. TCFM으로 야외 처리토양은 지난 5년 동안 매년 tolclofosmethyl로 처리되었다. 대조군은 TCFM을 처리하지 않은 골프장의 인근 토양으로 부터 채취하였다. 토양 채취기(auger)를 사용하여 채취한 토양시료를 플라스틱 용기에 담아 혼합하고 plastic bag에 담아 실험실에서 사용할 때 까지 암실에서 4℃에 보관하였다. 모든 시료는 채취 후에 3개월 동안 사용하였으며. 토양 시료의 성질은 Table 1과 같다.

시약

98~99% 순도의 분석용 TCFM은 일본의 Sumitomo Chemical Company로 부터 제공받았다. 모든 다른 시약은 농약용 등급, 분석용 등급, 혹은 최상 등급을 사용하였다. TCFM의 물리, 화학적인 성질은 Table 2와 같다.

토양처리 및 멸균

유기용매인 아세톤에 분석용 TCFM을 용해시켜 40 μg/mL을 플라스크에 첨가하고, 질소가스를 사용하여 농축시켰다. 40 mL의 glass centrifuge tube에 Teflon 테이프를 감고, 각각 10 g의 토양을 tube에 담은 다음 토양시료와 TCFM을 충분히 섞어 screw 마개로 밀봉하였다. 일정한 시간 간격으로 각각의 처리된 시료로부터 두개의 tube를 꺼낸 다음 용매추출을 하였다. TCFM으로 처리된 토양시료에서 TCFM의 분해에 미생물의 관련 여부를 결정하기 위해 100 g의 처리된 0~15 cm의 토양시료를 섭씨 121℃에서 60분 동안 멸균하였다.

용매추출

일정한 시간 간격동안 각각 처리된 시료로 부터 10 g을 포함하는 두개의 tube를 배양기로부터 꺼낸 다음 20 mL의 아세톤을 각각의 tube에 첨가한 후 즉시 밀봉하였다. 원심 분리를 위한 tube는 1시간 동안 100 rpm에서 수직 shaker위에서 진탕한 후, 15분 동안 1500 rpm에서 원심분리 하였다. 원심분리 후에 1 mL의 상등액을 취하여 glass vial에 보관하고, 이를 TCFM의 GC 분석을 위한 시료로 사용하였다.

Table 2. Chemical and physical properties of TCFM used in the study

Molecular formula	$C_9H_{11}Cl_2O_3PS$
Melting Point	78~80℃
Vapour Pressure	57 mPa (20℃)
Water solubility	물(26℃) 0.3~0.4 ppm 용해
Molecular Weight	301.13
Physical State	무색 또는 연갈색 고체
Stability	열에 안정, Alkali 조건 및 햇빛에 쉽게 분해
Acetone > Xylene > Ethylacetate > DMF 순으로 용해	

Gas chromatography (GC) 분석

본 연구에서 TCFM 분석시 사용한 GC 조건은 다음과 같다. 컬럼은 3% SE-30(2.4 m × 2.0 mm id)를 사용하였고, 이동 가스에 대한 유속은 분당 40 mL, injector와 oven의 온도는 각각 230℃와 200℃, detector 온도는 300℃로 유지하였으며, injection 부피는 1 μL였다. 동 조건에서 TCFM의 머무름 시간은 5.6 분이었다.

결 과

Table 1은 TCFM으로 야외(field) 처리된 토양시료와 TCFM으로 야외(field) 처리되지 않은 토양 시료의 pH가 4에서 6까지의 범위에 있다는 것을 보여 준다. TCFM으로 야외(field) 처리된 표층 (0~15 cm) 토양시료와 TCFM으로 야외(field) 처리되지 않은 표층 (0~15 cm) 토양시료에서 유기물 함량은 중,심층 (15~30 cm, 30~45 cm) 토양시료보다 높았다. Table 2는 본 연구에 사용된 TCFM의 화학적 및 물리적인 성질을 보여준다.

Fig. 1은 유기인제 계통의 화합물인 TCFM이 토양과 미생물에 의하여 2,6-dichlorocresol과 2,6-dichlorophenol로 분해되는 것으로 추정된다. TCFM은 일반적으로 가수분해를 거쳐서 2,6-dichlorocresol로 전환 되고, 산화과정을 통해 2,6-dichlorophenol로 된 후, 최종적으로는 이산화탄소와 물 그리고 무기이온들로 분해되는 것으로 추정된다.

Fig. 2는 두 가지 토양시료, 즉 TCFM으로 야외(field) 처리된 표층 (0~15 cm)과 TCFM으로 야외(field) 처리되지 않은 표층 (0~15 cm) 토양시료에서 TCFM의 분해양상 결과이다. 초기 14일 배양기간 동안에 TCFM의 분해는 TCFM으로 야외(field) 처리된 표층 (0~15 cm) 토양시료가 TCFM으로 야외(field) 처리되지 않은 표층 (0~15 cm) 토양시료 보다 분해속도가 상대적으로 빠른 것을 알 수 있었다. TCFM으로 야외(field) 처리된 표층 (0~15 cm) 토양시료에서는 14일간의 배양 이후에 TCFM은 서서히 사라지다가 35일간의 배양에서 TCFM은 완전히 분해되었다. 반면에 TCFM으로 야외(field) 처리되지 않은 표층 (0~15 cm) 토양시료에서는 TCFM이 49일까지 16.3%가 분해되지 않았다. 전체 49일 동안의 배양기간

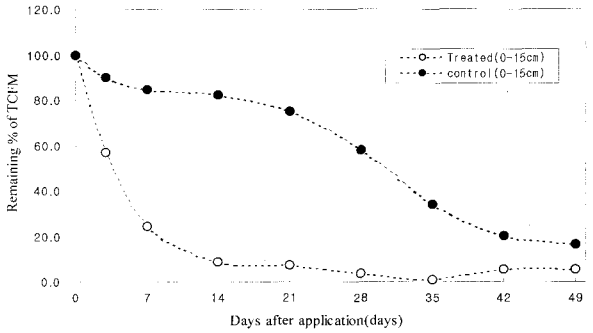

Fig. 2. Degradation of TCFM in the surface (0~15 cm) soil samples collected from the treated and control plots.

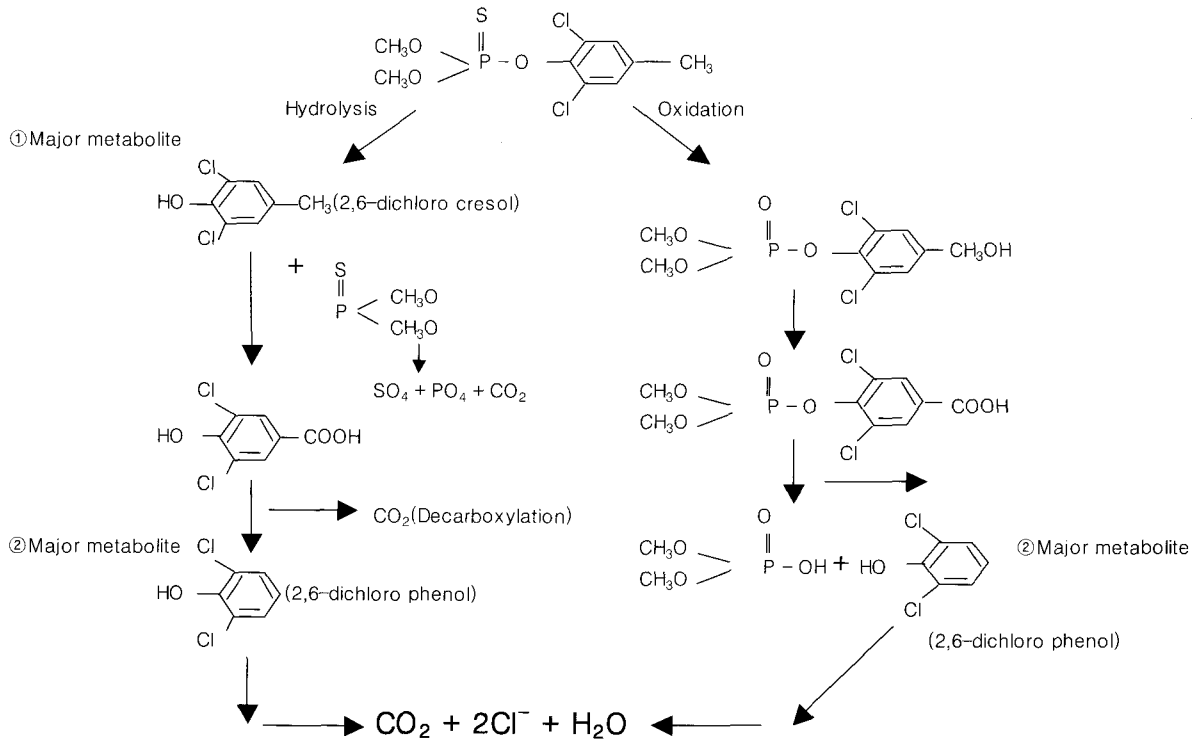

Fig. 1. Proposed degradation pathway of tolclofosmethyl (TCFM) in soil and by microorganisms.

중 초기 21일간은 TCFM이 서서히 분해되다가 21일 이후에는 초기 21일간보다는 비교적 빠른 속도로 분해되었다.

Fig. 3은 TCFM으로 야외(field) 처리된 중층 (15~30 cm) 토양시료와 TCFM으로 야외(field) 처리되지 않은 중층 (15~30 cm) 토양시료에서 TCFM의 분해를 보여준다. 최종 49일간의 배양기간에서 TCFM으로 야외(field) 처리된 중층 토양시료에서 19.2%의 TCFM이 남아 있었고, 반면에 같은 배양기간에 TCFM으로 야외(field) 처리되지 않은 중층 토양시료에서는 56.3%의 TCFM이 여전히 남아 있었다. TCFM으로 야외(field) 처리된 중층 토양시료에서 초기의 7일간의 배양기간 동안에 TCFM은 빨리 분해되어 61.4%가 남아 있었고, 7일 이후에는 TCFM은 비교적 천천히 분해되었다. 반면에 TCFM으로 야외(field) 처리 되지 않은 토양시료에서는 같은 7일간의 배양에서 TCFM은 93.1%가 남아 있었고, 14일간의 배양이후에는 TCFM은 급격히 분해되어 21일의 배양기간에서 63.1%의 TCFM이 남아 있었고, 21일 이후에는 TCFM은 아주 느린 속도로 분해되었다. 전체 49일간의 배양기간 동안, TCFM으로 야외(field) 처리된 중층 토양시료가 TCFM으로 야외(field) 처리되지 않은 중층 토양시료에서 보다 TCFM의 분해가 비교적 빨리 일어났다.

Fig. 4는 TCFM으로 야외(field) 처리된 심층 (30~45 cm) 토양시료와 TCFM으로 야외 (field) 처리되지 않은 심층 (30~45 cm) 토양시료에서의 TCFM의 분해를 보여준다. 최종 49일의 배양기간에서 TCFM으로 야외(field) 처리된 심층 토양시료에서 28.4%의 TCFM이 남아 있었고, 반면에 TCFM으로 야외(field) 처리되지 않은 심층 토양시료에서는 여전히 51.5%의 TCFM이 남아 있었다. 비록 TCFM으로 야외(field)처리 되지 않은 심층 토양시료와 비교해 볼때, TCFM으로 야외(field) 처리된 표층 토양시료에서처럼 심층 토양시료에서는 TCFM이 표층 토양시료에서처럼 빨리 분해되지는 않았지만 전체 49일간의 배양기간 동안에 TCFM은 비교적 빠른 속도로 분해되었다. TCFM으로 야외(field) 처리되지 않은 심층 토양시료와 유사한 속도로 TCFM으로 야외(field) 처리된 같은 깊이의 토양에서 TCFM은 천천히 지속적으로 분해되었다.

Fig. 5는 TCFM으로 야외(field) 처리된 표층 토양시료를 사용하면서, 10~50 μg/mL의 다양한 TCFM의 농도가 TCFM의 분해에 대한 영향을 보여준다. 일반적으로 TCFM의 농도가 증가 할수록 TCFM의 분해의 정도는 감소되었다. 특히 35일간의 배양기간에서 10, 20 μg/mL의 초기의 TCFM은 완전히 분해되었다. 초기의 30, 40, 50 μg/mL의 TCFM의 농도는 조금의 차이는 있지만 비교적 유사한 속도로 빨리 분해되었다. 최종 49일간의 배양기간에서 초기의 30, 40, 50 μg/mL의 TCFM은 완전히 분해되었다. 즉 10, 20 μg/mL의 TCFM으로 실험실 처리된 토양시료에서 30, 40, 50 μg/mL으로 실험실

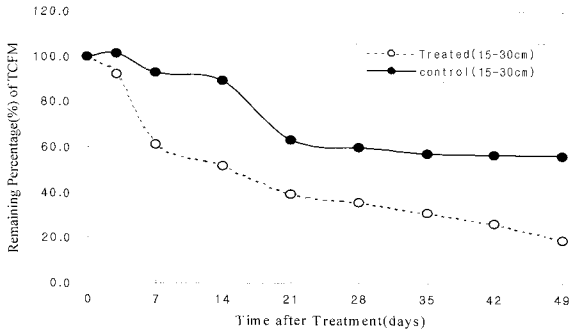

Fig. 3. Degradation of TCFM in the shallow subsurface (15~30 cm) soil samples collected from the treated and control plots.

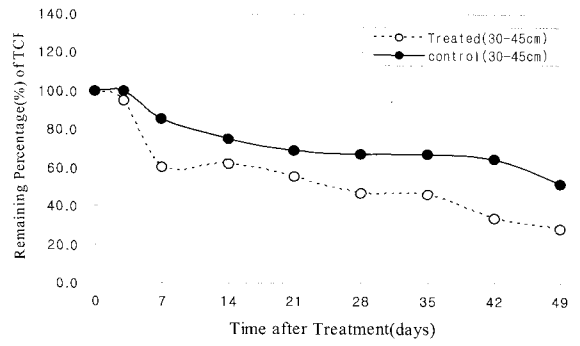

Fig. 4. Degradation of TCFM in the deep subsurface (30~45 cm) soil samples collected from the treated and control plots.

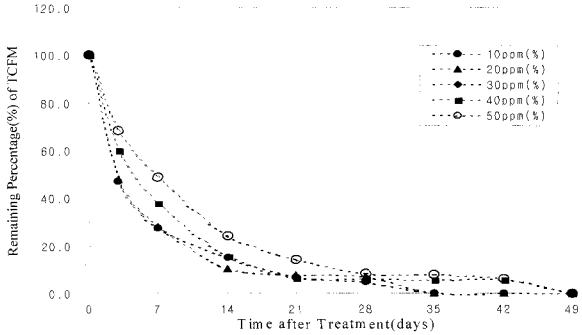

Fig. 5. Degradation of TCFM in the surface (0~15 cm) soil samples collected from the treated plot as affected by the concentrations of TCFM.

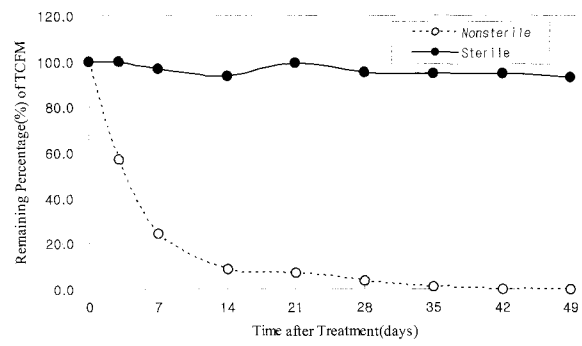

Fig. 6. Degradation of TCFM in the nonsterile and sterile surface (0~15 cm) soil samples collected from the treated plot.

처리된 토양시료보다 TCFM은 빨리 분해되었다.

Fig. 6는 TCFM으로 야외(field) 처리된 표층 토양시료와 비교해서 멸균된 같은 토양에서 TCFM의 분해를 보여준다. 전체 49일간의 배양 기간동안에 TCFM으로 야외(field) 처리된 표층 토양시료에서 TCFM이 빠른 속도로 분해되는 것과는 대조적으로, TCFM으로 야외(field) 처리된 표층 토양시료를 멸균한 후에 TCFM은 전혀 분해되지 않았으며 최종 49일간의 배양기간에 93.2%의 TCFM이 남아 있었다. 이러한 사실은 골프장의 잔디 토양에서 미생물이 TCFM의 분해의 촉진에 관련되어 있고, 토양으로부터 미생물의 분리 및 동정이 필수라는 것을 시사한다.

고 찰

본 연구는 경주지역의 보문단지에 있는 골프장 잔디 토양에서 TCFM으로 야외(field) 처리된 지역으로부터 채취한 토양시료가 TCFM으로 TCFM으로 야외(field) 처리되지 않은 지역으로 부터 채취한 토양시료에서 보다 TCFM이 급격히 분해되는 것이 시사되었다. 토양시료가 채취된 골프장의 잔디 토양은 지난 5~6년간 매년 1.04에서 1.95 kg/ha의 농도로 TCFM이 야외(field) 처리된 장소이다. 그러나 본 연구가 시작되기 전에는 TCFM의 분해가 촉진되는 지는 알려지지 않았다. 그러므로 유기인제농약의 하나인 TCFM의 분해가 촉진되었다는 연구결과는 이 연구 보고가 처음으로 사료된다.

지금까지 유기인제계통의 많은 농약이 같은 장소에 같은 농약을 반복하여 살포함으로써 토양에서 특정 대상 농약의 분해의 촉진이 일어난다는 많은 보고가 있었다[9-18].

토양에서 농약의 분해의 촉진은 주로 미생물의 반응 과정으로 알려져 있다[17-22]. 그러므로, 본 연구 결과에서 보여지는 것처럼 골프장의 잔디 토양에 존재하는 미생물이 TCFM의 분해를 촉진하는데 관여하는 것으로 사료된다 (Fig. 6).

TCFM에 대한 분해의 촉진은 표층 (0~15 cm) 토양시료가 중층 (15~30 cm)과 심층 (30~45 cm) 토양시료에서 보다 뚜렷이 관찰되었다 (Fig. 2~4). 이것은 TCFM이 표층 토양시료에서 중·심층 토양시료에서 보다 분해가 촉진되는데, 이는 표층 토양시료에 존재하는 미생물들이 중·심층 토양시료에 존재하는 미생물 보다 TCFM에 대해 상대적으로 많은 접촉을 통한 미생물 활동도의 촉진에 기인하는 것으로 사료된다. 또한 표층 토양시료가 중·심층 토양시료에서 보다 유기물 함량(organic matter content)이 높아 상대적으로 많은 영양분이 TCFM을 분해하는 미생물들에 공급된 것으로 사료된다 (Table 1). 이 결과는 살충제 fenamiphos의 분해의 증진에 대한 연구결과에서 나타난 것과 일치한다고 사료된다[23]. Simon 등에 의한 보고에 의하면 미생물 생체량과 유기물 함량이 밀접한 상관관계가 있었고, 이러한 성질들이 골프장에 많이 사용되는 fenamiphos와 주요 중간 독성 대사물인 fenemaiphos sulfoxide의 분해를 결정하는 데 주요 인자라고 보고했다. 최근에 영국의 토양에서 pH가 살충제 chlorpyrifos의 분해에 영향을 끼치는 것으로 보고되었다[17]. Singh 등에 의한 연구에서 alkaline pH(>6.7)가 chlorpyrifos의 미생물에 의한 분해를 촉진시키는 것으로 보고되었다. 앞으로 토양의 물리, 화학적인 성질이 TCFM의 분해에 미치는 영향에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

골프장 잔디의 토양환경에서 TCFM의 분해과정을 밝히는 것은 매우 중요한 것으로 사료된다. 특히 TCFM으로 야외(field) 처리된 토양시료와 TCFM으로 야외(field) 처리되지 않은 토양시료에서 TCFM의 분해과정을 비교 검토하여 TCFM의 분해과정과 중간 생성물을 밝히는 것은 중요할 것이다. 살충제 carbofuran[24,25]과 fenamiphos[11,12], 제초제 EPTC[26]의 분해의 촉진에 관한 연구에서 분해가 촉진된 토양시료와 분해가 촉진되지 않은 토양시료에서 대사과정과 분해 산물이 다르다는 것이 보고되었다. Carbofuran의 경우, 분해가 촉진된 토양시료에서 carbofuran은 가수분해 되어, carbofuran phenol로 되어 CO_2와 물 그리고 무기이온으로 신속하게 분해되는 반면, 분해가 촉진되지 않은 토양시료에서는 carbofuran은 3-hyd- roxy carbofuran과 3-hydroxy carbofuran phenol, 또한 3-keto carbofuran과 3-keto carbofuran phenol로 분해되어 최종 CO_2와 물로 천천히 분해되는 것으로 보고되었다[24,25]. 이와 유사한 경향 및 결과가 fenamiphos[11,12]와 EPTC[26]에 대해서도 보고되었다.

동일한 농약을 같은 장소에 반복해서 살포함으로써 야기되는 이러한 농약의 분해의 촉진에 관한 연구 사례보고는 우리나라에서는 전무한 실정이다. TCFM에 관한 연구결과는 위에서 인용된 여러 가지 유기인제 농약과 다른 부류의 농약의 분해의 촉진에 관한 보고와 일치하는 경향을 보였다.

앞으로 반복하여 TCFM을 살포한 상이한 지역으로부터 토양을 채취하여 TCFM의 분해의 촉진이 지속적으로 발생하는지 아닌지에 대한 연구를 수행할 필요가 있으며, 그리고 대표적인 중간생성물들 (2,6-dichlorocresol 및 2,6-dichlorophenol)의 분해 및 촉진 연구를 통하여 대사과정을 확인 및 비교 검토 하고 각각을 분해하는 데 관여하는 미생물들의 분리 및 동정에 관한 집중적인 연구가 필요하다.

결 론

TCFM으로 야외(field) 처리되지 않은 세 깊이의 토양인 표층 (0~15 cm), 중층 (15~30 cm), 심층 (30~45 cm)의 토양시료에서 보다 TCFM으로 야외(field) 처리된 표층, 중층, 심층 토양시료에서 보다 빨리 분해되었다. 또한 TCFM은 중층 및 심층 토양시료에서 보다 표층 토양시료에서 훨씬 더 빨리 분해되었다. 이런 연구 결과는 중층 및 심층 토양시료보다 표층 토양시료에서 유기물의 함량이 더 높기 때문으로 사료된다. 또한 TCFM은 높은 농도에서 보다 낮은 농도에서 더 빨리 분해되었다. 그리고 TCFM으로 야외(field) 처리된 표층 토양시료보다 TCFM으로 야외(field) 처리된 표층 토양시료를 멸균 시켰을 때 TCFM의 분해 속도가 훨씬 느렸다. 이와 같

은 연구 결과는 TCFM으로 야외(field) 처리된 토양시료 중에 존재하는 미생물이 TCFM의 분해의 촉진에 관여한다는 것을 암시한다.

감사의 글

이 논문은 부분적으로 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음으로 이에 감사드립니다. (KRF-2001-002-E00192).

참고문헌

1. McDougall, J. and Woodburn, J. (1989) Agrochemical Review, County Nationalwest Woodmac, London, UK.
2. Jury, W. A. and Ghodrati, M. (1989) Overview of organic chemical environmental fate and transport modeling approaches, Reactions and movement of organic chemicals in soil, Sawhney, B. L. and Brown, K. (eds.), *Soil Science Society of America,* Madison, WI, p.271-304.
3. Alexander, M. (1977) Introduction to soil microbiology, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY.
4. Alexander, M. (1999) Biodegradation and bioremediation, Academic Press, San Diego, CA.
5. Alexander, M. (1981) Biodegradation of chemicals of environmental concern, *Science* 211, 132-138.
6. Williams, I. H., Pepin, H. S. and Brown, M. J. (1976) Degradation of carbofuran by soil microorganism, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 15, 244-249.
7. Felsot, A. S., Wilson, J. G., Kuhlman, D. E. and Steffey, K. L. (1982) Rapid dissipation of carbofuran as limiting factor in corn rootworm (*Coleoptera: Chrysomelidae*) control in fields with histories of continuous carbofuran use, *J. Econ. Entomol.* 75, 1098-1103.
8. Niemczyk, H. D. and Chapman, R. A. (1987) Evidence of enhanced degradation of isofenfos in turfgrass thatch and soil, *J. Econ. Entomol.* 80, 880-882.
9. Racke, K. D. and Coats, J. R. (1987) Enhanced degradation of isofenfos by soil microorganism, *J. Agric. Food Chem.* 35, 94-99.
10. Ou, L. T. (1991) Interactions of microorganisms and soil during fenamiphos degradation, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 716-722.
11. Ou, L. T., Thomas, J. E. and Dickson, D. W. (1994) Degradation of fenamiphos in soil with a history of continuous fenamiphos applications. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1139-1147.
12. Chung, K. Y. and Ou, L. T. (1996) Degradation of fenamiphos sulfoxide and fenamiphos sulfone in soil with a history of continuous applications of fenamiphos, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 30, 452-458.
13. Karpouzas, D. G., Walker, A., Froud-Williams, R. J. and Drennan, D. S. H. (1999) Evidence for the enhanced degradation of ethoprophos and carbofuran in soils from Greece and the U.K., *Pestic. Sci.* 55, 301-311.
14. Read. D. C. (1983) Enhanced microbial degradation of carbofuran and fensulfothion after repeated application to mineral soil, *Agric. Ecosyst. Environ.* 10, 37-46.
15. Forrest, M., Lord, K. A., Walker, N., Woodville, H. C. (1981) The influence of soil treatments on the bacterial degradation of diazinon and other organophosphorus insecticides, *Environ Pollut. Ser. A* 24, 93-104.
16. Singh, B. K., Kuhad, R. C., Singh, A., Ral, R. and Tripathi, K. K. (1999) Biochemical and molecular basis of pesticide degradation by microorganisms, *Crit. Rev. Biotechnol.* 19, 197-225.
17. Singh, B. K., Walker, A., Alun, W. M. and Wright, D. J. (2003) Effects of soil pH on the biodegradation of chlorpyrifos-degrading bacterium, *Appl. Environ. Microbiol.* 69, 5198-5206.
18. Racke, K. D. and Coats, J. R., (1990) Enhanced Biodegradation of Pesticides in the Environment, *ACS Symp. Ser. 426,* American Chemical Society, Washington, D.C.
19. Chung, K. Y., Dickson, D. W. and Ou, L. T. (1999) Differential enhanced degradation of cis- and trans-1, 3-D in soil with a history of repeated field applications of 1, 3-D, *J. Environ. Sci. Health B* 34(5), 749-768.
20. Chung, K. Y. (2000) Enhanced degradation of pesticides, *Environ. Eng. Res.* 5(1), 47-61.
21. 정근욱 (2000) 상업용 훈증제인 시스- 와 트랜스-1, 3-Dichlorpropene (1, 3-D)을 차별적으로 분해하는 bacterial consortium에 영향을 주는 다양한 이차 탄소원들의 효과, *대한환경공학회지* 22(7), 1243-1252.
22. Ou, L. T., Thomas, J. E., Chung, K. Y. and Ogram, A. V. (2001) Degradation of 1,3-dicloropropene by a soil bacterial consortium and isolation of *Rhodococcus* sp. from the consortium, *Biodegradation* 12, 39-47.
23. Simon, L., Spiteller, M., Haisch, A., and Wallofer, P. R. (1992) Influence of soil properties on the degradation of the nematocide fenamiphos, *Soil Biol. Biochem.* 24, 769-773.
24. Ou, L. T., Gancarz, Wheeler, W. B., Rao, P. S. C. and Davidson, J. M. (1982) Influence of soil temperature and soil moisture on degradation and metabolism of carbofuran in soil, *J. Environ. Qual.* 11, 293-298.
25. Trabue, S., Feng, X., Ogram, A. and Ou, L. T. (1997) Carbofuran degradation in soil profile, *J. Environ. Sci.*

Health B 32, 861-878.

26. Dick, W. A., Ankumah, R. O., Mcclung, G. and Abou-Assaf, N. (1990) Enhanced degradation of EPTC (s-ethyl N,N-dipropyl carbamothioate) in soil and by an isolated soil microorganism, Enhanced biodegradation of pesticides in the environment, Racke, K. D. and Coats, J. R. (Eds.) *ACS Symp. Ser. 426.* American Chemical Society, Washington, D.C., p.98-112.