

## 고농도 paraquat 잔류 과원토양에서의 콩과 보리 생육 및 작물 잔류

전재철\* · 박남일 · 김성은 · 전재관

전북대학교 응용생물공학부

**요약** : 작물 생육에 끼치는 토양 잔류 paraquat의 영향을 검토하고, 더불어 작물 재배 전후의 paraquat 토양 잔류량 변화와 작물체 중 잔류량을 조사하였다. 1996년도 우리 나라 과원 paraquat 토양 잔류량 조사에서 최고 수준인 30.2 ppm을 나타낸 사과원 토양에서 생육시킨 콩(품종:알천콩)과 보리(품종:사천6호)의 약해, 입모수 및 초장에 대한 paraquat의 영향은 없었다. 토양 잔류량은 파종일에 약 9~9.8 ppm 수준이었으며, 90일간의 재배 기간 중 약간 더 감소되었다. 또한 작물체내 paraquat 잔류량은 모두 0.5 ppm 검출한계 미만이었다. 한편 파종일에 토양 잔류량을 약 27~32 ppm으로 강화시켰던 토양에서의 콩(품종:단엽콩)과 보리(품종:탑골보리)의 생육도 paraquat에 의하여 영향을 받지 않았으며, 작물체내 잔류량도 0.5 ppm 검출한계 미만이었다. Paraquat 토양 잔류량은 파종 후 30일 동안 크게 변하지 않았다. 이상의 실험 결과는 paraquat 토양 잔류량 30 ppm 수준은 후작물 생육에 영향을 끼치지 않으며, 또한 현재 우리 나라 과원 토양에서의 작물이 재배될 경우 작물 생육 및 잔류에 있어서 문제가 없음을 시사하여 주었다.(1998년 7월 23일 접수, 1998년 12월 1일 수리)

**Key words** : soil residue paraquat, carry-over effect, orchard soil.

### 서론

경엽 처리형 제초제 paraquat는 잡초 지상부에 직접 처리함으로써 효과를 나타낸다. 그러나 실제 사용현장에서 잡초 방제를 목적으로 paraquat가 처리될 때 잡초의 경엽에 부착되어 남아 있는 양 보다는 오히려 토양으로 낙하되는 양이 훨씬 많다. 더욱이 잡초에 부착된 약제라 하더라도 일정 시간이 경과하여 식물체가 죽게 되면 결국 토양으로 유입되어진다. 토양 중에 유입된 paraquat는 화합물 특성 상 유기물이나 점토광물의 음하전 부위에서 강한 이온성 결합 (Best 등, 1972)을 이루게 되는데, 이렇게 흡착된 paraquat 분자는 쉽게 탈착이 되지 않기 때문에 식물체가 흡수할 수 없게 된다.

한편 paraquat가 나타내는 작용 기구는 일차적으로 광합성 광계I의 전자 흐름을 방해한 paraquat 분자가 전자를 탈취하여 bipyridyl cation radical (PQ<sup>•+</sup>)이 된다. 그러

나 이 radical은 매우 불안정하여 바로 전자를 O<sub>2</sub>에게 주면서 superoxide radical을 생성하는데 이렇게 생성된 독성산소종은 세포막을 파괴하여 수분을 고갈시키고 그 결과 식물체는 고살된다 (Preston, 1994). 따라서 paraquat가 식물체에 대하여 작용성을 나타내기 위해서는 광합성이 이루어지는 잎의 엽록체에 도달되지 않으면 안 된다. 경엽에 처리된 paraquat가 엽록체에 도달하기는 어렵지 않으나, 비록 물관을 통하여 어느 정도 이행이 가능하다 하더라도 (Tomlin, 1997) 토양에 유입된 paraquat가 식물체의 뿌리를 통하여 흡수된 후 지상부 잎으로 이행되기는 쉬운 일이 아니다. 뿌리 흡수 후 paraquat가 뿌리 세포의 세포막, 세포질 등을 통과하는 동안 이온상의 paraquat는 여러 곳에서 존재하는 음하전 요소들과 결합이 이루어지기 때문에 유리된 paraquat로 남게 되어 작용점인 잎의 엽록체에 도달될 양은 많지 않을 것이다.

이상과 같은 paraquat의 특성을 고려해 볼 때, 토양 성분에서 흡착된 상태로 남아 있는 paraquat가 작물 생육에 어떠한 영향을 끼칠 수 있을 까 하는 점은 paraquat가 장

\*연락처자

기간에 걸쳐 반복 사용되면서 결합성 잔류량이 크게 증가하게 된 배경과 더불어 검토되어야 할 과제가 되었다. 따라서 본 연구에서는 1996년도 paraquat 토양 잔류량 조사에서 paraquat 잔류가 가장 높게 나타났던 과원 토양(이, 1996)에서 후작물 생육 영향을 조사 함으로써, 본 결과를 다른 여타의 과원 토양에서의 paraquat 안전성 검토를 위한 기초 자료로 삼고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 포장 조성

#### 실험 1 : 자연상태 조건하 토양

Paraquat가 잔류된 토양에서의 후작물 생육에 끼치는 paraquat의 영향을 검토하기 위하여 1996년도 조사(이, 1996)에서 paraquat의 토양 중 잔류 수준이 30.2 ppm에 이르렀던 사과원을 실험 포장으로 선정하였다. 사과원은 충북 충주시 목벌동 668번지(소유주: 이한중) 소재 경사지 포장으로 경사도가 거의 30도에 이르는 가파른 비탈에 조성되어 있고, 또한 소유주에 의하면 1997년 봄에 기존의 사과 나무를 모두 제거하고 포장을 재정리한 후 새로운 묘목으로 이식하였다고 하였다. 시험구는 구당 2 m<sup>2</sup>, 3반복으로 조성하고 작물 파종 1일전에 paraquat 73.5 g (기준량)과 147 g a.i./10a (배량)를 시험구에 고루 살포하였다. 시험 작물은 콩(품종:알천콩)과 보리(품종:사천6호)로 약제 처리 1일 후에 약 20 cm 깊이로 경운하고 잘 고른 다음 1997년 4월 17일에 파종하였다.

#### 실험 2 : 인위적으로 조성한 토양 조건

실험 포장의 paraquat 잔류량을 1996년도 수준인 30.2 ppm에 근접하도록 토양 조건을 조성한 후 작물 생육에 대한 영향을 검토하였다. 먼저 시험구(구당 2 m<sup>2</sup>, 3반복)를 구획한 후 8월 5일부터 수일 간격으로 paraquat를 처리하여, 9월 7일에 paraquat의 토양 잔류량을 확인한 결과 약 30 ppm에 도달되었다. 이 때를 기준으로 작물 파종 1일전인 9월 9일에 다시 동일 포장에 paraquat 73.5 g (기준량)과 147 g a.i./10a (배량)를 처리하고 익일인 9월 10일에 콩(품종:단엽콩)과 보리(품종:탑골보리)를 파종하였다.

Paraquat의 후작물 영향에 대한 시험구에서의 시료 채취는 토양과 작물 각각에 대하여 실시하였다. 자연 상태

조건 토양에서의 실험 1에서는 파종 직전에 토양을 채취하고, 보리 파종 후 30일인 5월 17일과 콩 파종 후 61일인 7월 17일에 토양과 작물 시료를 각각 채취하였다. 한편 인위적으로 조성한 토양 조건에서의 실험 2에서는 파종 직전의 토양 시료 채취와 더불어 작물 파종 후 30일인 10월 10일에 토양, 콩 및 보리의 작물 시료를 채취하였다. 분석 토양의 채취는 구당 5개소를 무작위로 선정하고 직경 2.5 cm, 길이 15 cm의 원통 컬럼이 달린 토양채취기로 토양 표면에서 수직으로 삽입하여 채취한 후 지표하 10 cm 층위까지 만을 수집하여 고루 혼합하고 이들로부터 분석시료를 얻었다. 또한 작물체 분석 시료는 구당 5개체를 무작위로 채취한 후 곧 바로 절단 혼합하고 분석에 이용하였다.

### 작물 생육 조사

토양 잔류 paraquat가 작물 생육에 끼치는 영향은 초기 약해, 입모을, 초장, 생체중 등을 조사하였다. 약해는 파종 후부터 발아 후 콩은 분얼이 추출되었을 때까지, 보리는 2엽기까지 사이에 달관으로 평가하였다. 입모을은 발아 후 유묘기에 조사하였고, 초장 및 생체중 조사는 실험 1에서는 콩 파종 후 90일 및 보리 파종 후 30일에, 실험 2에서는 콩 및 보리 파종 후 30일에 실시하였다.

### Paraquat 잔류 분석

작물체내 paraquat 분석은 잘게 절단한 콩 또는 보리 시료 25 g을 500 ml용 환저후라스크에 담고 60 ml 증류수와 농황산 30 ml를 첨가하였다. 그 후 후라스크에 1 ml octan-2-ol 과 glass bead를 넣고 5시간 동안 환류시켰다. 이를 12시간 동안 방치한 뒤 후라스크와 환류 냉각기를 증류수로 씻어 여과하고, 여액을 500 ml로 맞추었다.

한편 양이온 교환수지(Dowex 50W×8,400 mesh) 6 g을 컬럼에 채운 후 증류수 80 ml로 씻고 이어서 포화 NaCl 80 ml와 계속해서 100 ml의 증류수를 5 ml/min 속도로 용출시켰다. 이 컬럼에 여액을 5 10 ml/min 속도로 흘려 보내고 이어서 30 ml의 증류수를 흘려보냈다. 이후 2M HCl 100 ml, 증류수 35 ml, 2.5% NH<sub>4</sub>Cl 100 ml, 증류수 30 ml를 순차적으로 3~5 ml/min의 속도로 용출시켰다. 마지막으로 포화 NH<sub>4</sub>Cl 50 ml를 1 ml/min 속도로 용출시킨 것을 받아 분석에 이용하였다.

Table 1. Carry-over effect of paraquat on soybean and barley in the orchard soil which showed 30.2 ppm paraquat residue one year ago

Crop	Treatment	Crop injury (0~9) <sup>a)</sup>	Number of seedlings (No./m <sup>2</sup> ) <sup>c)</sup>	Growth <sup>b)</sup>	
				Plant height (cm) <sup>c)</sup>	fresh weight (g/plant)
Soybean	Untreated	-	79a	58.5a	116a
	Paraquat 73.5g/10a	0	88a	52.7a	128a
	Paraquat 147g/10a	0	82a	60.4a	109a
Barley	Untreated	-	114a	44.5a	52a
	Paraquat 73.5g/10a	0	110a	47.2a	66a
	Paraquat 147g/10a	0	123a	43.1a	57a

<sup>a)</sup>Injury rating: 0=No injury, 9=Completely killed.

<sup>b)</sup>Data obtained at 90 and 30 days after seeding for soybean and barley, respectively.

<sup>c)</sup>Means followed by a same letter in each crop are not significantly different at the 5% level by LSD.

Paraquat 정량은 최종 용출액 10 ml에 환원 시약 (0.3M sodium hydroxide 용액에 녹인 0.2% sodium dithionite) 2 ml를 가하고 조심스럽게 혼합한 후 분광광도계 (Uvicam UV4)로 흡광도를 측정하였다.

이상의 분석 방법에 따라 콩 및 보리에 paraquat 5 ppm 및 10 ppm를 첨가하여 얻은 회수율은 콩 96.3±2.2%, 보리 96.4±1.8%이었고, 검출한계 0.5 ppm이었으며, 최소검출 농도는 0.25 mg/L이었다.

한편 토양 중 paraquat 잔류 분석은 작물체 잔류 분석 방법에 준하여 실시하였다.

### 결과 및 고찰

Paraquat가 토양에 낙하되면 거의 대부분이 토양 구성 성분 중 유기물 또는 점토광물 등에 강하게 흡착된다고 알려져 있다 (Best 등, 1972). 따라서 paraquat가 토양에 잔류되어 있다 하더라도 약제의 유효성분이 작용을 나타내지 못하기 때문에 paraquat는 생물학적으로 불활성화 상태에 있다고 할 수 있다. 그러나 장기간에 걸쳐 paraquat가 빈번하게 처리될 경우 토양 중에 흡착능 이상으로 남아 있게 되거나, 또는 어느 요인에 의해서 혈집

Table 2. Change in paraquat residue during crop cultivation in the soil which showed 30.2 ppm paraquat residue one year ago

Treatment	Residue (mg/kg) <sup>a)</sup>		
	At the time of seeding (April 17)	At the time of barley harvest (May 17)	At the time of soybean harvest (July 17)
Untreated	9.8a	8.9a	7.6b
Paraquat 73.5g/10a	8.9a	9.2a	6.1b
Paraquat 147g/10a	9.8a	9.6a	10.1a

<sup>a)</sup>Means followed by a same letter are not significantly different at the 5% level by LSD.

Table 3. Change in paraquat residue during crop cultivation in the soil fortified to about 30 ppm paraquat residue

Treatment	Residue (mg/kg) <sup>a)</sup>		
	At the time of seeding (September 10)	At the time of barley harvest (October 10)	At the time of soybean harvest (October 10)
Untreated	26.9b	25.8b	36.1a
Paraquat 73.5 g/10a	32.2a	30.7a	28.3b
Paraquat 147 g/10a	30.0ab	30.3a	31.4ab

<sup>a)</sup>Means followed by a same letter are not significantly different at the 5% level by LSD.

Table 4. Carry-over effect of paraquat on soybean and barley in the orchard soil fortified to about 30 ppm paraquat residue

Crop	Treatment	Crop injury (0~9) <sup>a)</sup>	Number of seedlings (No./m <sup>2</sup> ) <sup>c)</sup>	Growth <sup>b)</sup>	
				Plant height (cm) <sup>c)</sup>	Fresh weight (g/plant)
Soybean	Untreated	-	69a	17.1a	14a
	Paraquat 73.5g/10a	0	77a	16.9a	12a
	Paraquat 147g/10a	0	71a	16.8a	12a
Barley	Untreated	-	98a	33.6a	18a
	Paraquat 73.5g/10a	0	104a	32.0a	17a
	Paraquat 147g/10a	0	92a	32.4a	20a

<sup>a)</sup>Injury rating: 0=No injury, 9=Completely killed.

<sup>b)</sup>Data obtained at 30 days after soybean and barley seeding

<sup>c)</sup>Means followed by a same letter in each crop are not significantly different at the 5% level by LSD.

게 결합된 paraquat (Tucker, 1967)가 떨어져 나온다가나 할 경우에는 식물에 뿌리로 흡수하게 되고 이에 따라 생육에 영향을 줄 가능성도 있다 (강 등, 1995).

본 연구를 실시한 실험 포장은 과거 30여년 동안 년간 평균 3회 정도로 paraquat를 사용해온 토양이었다 (이, 1996). 그러나 1997년 봄에 기존의 사과 나무를 전부 제거하고 어린 묘목으로 포장을 새롭게 조성하면서 과원의 토양 층위가 많이 파괴되었다. 이 토양에 작물 파종 전에 paraquat를 기준량 및 배량 수준으로 처리하고 1일 후에 광엽 작물인 콩과 화분과 작물인 보리를 파종하여 약해와 생육을 조사하였다. 파종 후 발아된 콩과 보리 묘목에서 약해는 나타나지 않았으며, 입묘수에 있어서도 paraquat 약제에 의한 영향이라고 인정할 만한 감소가 나타나지 않았다 (표 1). 또한 결실기에 조사한 콩의 초장에 있어서도 paraquat 잔류에 의한 초장 감소는 인정할 수 없었으며, 5엽기 보리의 무처리구 초장도 paraquat 처리구의 초장에 비하여 큰 차이가 없었다.

한편 이들 토양에서의 paraquat 잔류량은 파종 직전에 채취한 토양 시료에서 9.81 ppm을 나타내었는데 (표 2), 이 수준은 전년도 잔류량인 30.2 ppm에 비하면 훨씬 못 미치는 수준으로 이전의 과수를 제거하고 새로운 묘목으로 대체하는 과정 중에 과원 토양의 층위가 크게 파괴되었기 때문으로 생각된다. 그러나 이 토양 잔류량은 보리와 콩을 재배하고 수확한 시기인 파종 30일 및 90일 후까지 계속 감소하는 추세를 보였는데, 이것은 포장의 토양이 경사도가 심한 관계로 빗물 등과 함께 과원 아래쪽으로 유실되어 간 것으로 생각된다.

또한 작물 종자 파종 1일전 paraquat를 기준량과 배량을 처리한 구의 파종 당일 채취한 토양에서의 paraquat 잔류량은 약 9~9.8 ppm 정도로 무처리, 기준량 및 배량 처리구 간에 유의차를 나타내지 않았다. 그러나 기준량 처리구에서는 시일의 경과와 함께 잔류량이 감소되어 파종 후 90일에는 약 6 ppm 수준으로 잔류량이 감소된 반면에, 배량 처리구에서는 이와 같은 감소를 나타내지 않았다. 한편 각 작물 시료 채취 후 작물체 내의 paraquat 잔류량은 모든 처리구에서 0.5 ppm 검출한계 미만으로 나타났다 (자료제시 생략).

비록 paraquat를 장기간에 걸쳐 반복적으로 처리한다 하더라도 처리된 토양의 층위가 그대로 유지되지 않고 경운에 의한 토층의 교란으로 상하층이 섞이게 되거나, 또는 강우 등으로 경사면에서 유실되면서 물리적인 감소를 받게 된다. 앞서의 실험에서는 이와 같은 paraquat 잔류량 감소 때문에 paraquat 잔류량 약 30 ppm 조건에서의 작물 생육에 끼치는 영향을 검토하지 못 하였다. 따라서 앞서의 포장에 인위적으로 paraquat 잔류량을 30 ppm까지 상승시킨 후에 작물에 끼치는 영향을 조사하였다.

Paraquat의 수회 반복 처리로 과원 토양에서 상승시킨 paraquat 잔류량은 작물 파종 전에 약 27 ppm에 도달되었다 (표 3). 이러한 조건하에서 작물 종자 파종 1일 전에 paraquat를 다시 기준량과 배량을 처리하고 토양을 채취하여 잔류량을 조사한 결과 약 30~32 ppm에 도달되었다. 작물 재배 후 30일의 콩 및 보리 포장의 잔류량은 최저 약 25 ppm에서 최고 약 36 ppm의 범위를 나타내

어 파종 직전의 잔류량에 비하여 큰 변화는 없었다. 그러나 처리구간에는 비교적 변이가 큰 것으로 나타났는데, 이러한 변이는 포장의 경사도, 재배 기간 중 처리구에서의 작업 관리에 의한 토층 교란 정도 등의 차이에서 기인되었던 것으로 인정된다.

Paraquat 토양 잔류량이 약 27~32 ppm 수준인 토양에 파종하여 발아 생육시킨 콩과 보리에서는 잔류 paraquat에 의한 작물 약해는 나타나지 않았다 (표 4). 입모수에 있어서도 파종 전 paraquat 처리구와 무처리구 사이에 유의차를 인정할 수 없었으며, 콩 3엽기와 보리 4엽기에 조사한 초장 및 생체중에서도 처리 간 유의차는 없었다. 이상의 결과는 paraquat 잔류량이 약 9 ppm 내외이었던 앞서의 실험에서 얻었던 결과와 동일한 경향이었다. 또한 각 작물 시료 채취 후 작물체 내의 paraquat 잔류량 조사 결과 모든 처리구에서 0.5 ppm 검출한계 미만으로 나타났다 (자료제시 생략). 이상의 실험 결과 토양 잔류 paraquat는 작물 생육에 영향을 끼치지 않음을 나타내 주었다. 비록 paraquat가 장기간에 걸쳐 토양 중에 흡착되어 남아 있거나, 또는 새롭게 토양에 유입되었다 하더라도 paraquat 토양 잔류량 약 30 ppm 정도까지는 작물 생육에 영향을 끼치지 않음이 확인되었다. 실제 우리 나라 과원에서 지금까지 조사된 paraquat 잔류량이 최고 30.2 ppm이었음을 고려할 때, 또 paraquat가 잔류된 토양에서 생육된 작물의 식물체내 잔류량이 0.5 ppm 검출한계 미

만으로 나타난 것을 고려하면 현재의 우리 나라 과원 토양에서의 작물 재배는 안전할 것임을 시사하여 주었다.

## 인용문헌

- Best, J. A., J. B. Weber and S. B. Weed (1972) Competition adsorption of diquat<sup>2+</sup>, paraquat<sup>2+</sup>, and Ca<sup>2+</sup> on organic matter and exchange resin. *Soil Sci.* 114:444~450.
- Preston, C. (1994) Resistance to photosystem I disrupting herbicides. pp.61~82. In S. Powles and J. Holtum, eds. *Herbicide resistance in plants : biology and biochemistry.* Lewis Publ., Boca Raton.
- Tomlin, C. D. S. (1997) *The pesticide manual*, 11th ed. British Crop Protection Council, Page Bros, Norwich, UK.
- Tucker, B. V., D. E. Pack and J. N. Ospenson (1967) Adsorption of bipyridinium herbicides in soil. *J. Agric. Food Chem.* 15:1005~1008.
- 강병화, 심상인, 이상각 (1995) 뿌리를 통하여 흡수된 paraquat에 대한 잡초종들의 반응. *한잡초지* 15:1~12.
- 이규승 (1996) '96 국내과수재배지역의 농약잔류량 조사-토양 및 작물의 paraquat 잔류량 조사. 연구조사보고서. 농약공업협회. p.225.

### Growth and crop residue of soybean and barley grown at high paraquat level of the orchard soil

Jae Chul Chun\*, Nam Il Park, Sung Eun Kim and Jae Kwan Chun (Division of Applied Biotechnology, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea)

**Abstract :** Effect of soil residue paraquat (1,1-dimethyl-4,4-dipyridinium dichloride) on growth of barley (*Hordeum vulgare* L. cv. Sacheon No. 6 and cv. Tapgolbori) and soybean [*Glycine max* (L.) Merr. cv. Alcheon and Danyeop] was investigated. Changes in soil residue paraquat during the cultivation period and residue amount in the plants at harvest were also determined. Experiments were conducted at two paraquat residue conditions; the first was done in an apple orchard soil where paraquat residue recorded 30.2 ppm in 1996, but decreased to about 9 to 9.8 ppm at the time of crop seeding and the second was conducted in the soil fortified to about 27 to 32 ppm paraquat residue. In both conditions, no crop injury due to the residue paraquat was observed and number of emerged seedlings and plant height of the two crops were not affected by soil residue paraquat. Residue amount of paraquat in the plants occurred less than 0.5 ppm detection limit. At the first condition, soil residue paraquat was further slightly decreased for 90 days after seeding, while no great change in the residue level was found at the second condition for 30 days after seeding. The results suggest that no carry-over effect occurs at about 30 ppm of soil residue paraquat and at present crop cultivation in Korean orchard soils are safe with respect to crop growth and paraquat residue in the plants.

\*Corresponding author (Fax : +82-652-270-2550, E-mail : jcchun@moak.chonbuk.ac.kr)