

## 강아지풀과 개망초 잎 표면에서 paraquat의 흡수와 광분해

신성휴<sup>1</sup>, 권용웅<sup>2</sup>, 박상원<sup>3</sup>, 김도순<sup>4\*</sup>Uptake and Photodecomposition of Paraquat on the Leaf Surface of *Setaria viridis* and *Erigeron annuus*Seong-Hyu Shin<sup>1</sup>, Yong-Woong Kwon<sup>2</sup>, Sang-Won Park<sup>3</sup> and Do-Soon Kim<sup>4\*</sup>

**ABSTRACT** This study was conducted to investigate the uptake of foliar-applied <sup>14</sup>C-ring-labelled paraquat and its photodecomposition on the leaf surface of weeds under outdoor radiation condition. During the periods of this study, UV-C, UV-B and daily total radiations were measured from 9 AM to 6 PM. Photodecomposition of the paraquat on a glass plate under outdoor radiation condition was also measured as a reference to the photodecomposition of foliar-sprayed paraquat. *Erigeron annuus* and *Setaria viridis* treated with 10 $\mu$ l droplets of <sup>14</sup>C-paraquat on their leaf surfaces right after foliar spray of commercial paraquat (24.5% L) were placed under outdoor radiation condition for 20 days, and the amount of <sup>14</sup>C-paraquat present in the leaf was measured periodically. During the periods of this study, average photoperiod was about 6 hours with 8.62 MJ m<sup>-2</sup> of average daily radiation, 53.13 KJ m<sup>-2</sup> of average daily UV-C, and 90.04 J m<sup>-2</sup>. Photodecomposition of the paraquat on the glass was about 80 % of the treated dose during the first 10 days and less than 6% of it was decomposed during the following 10 days. The washable paraquat by water and chloroform was about 23.8, 12.6, and 5.3% of the treated dose on the leaf surface of *E. annuus*, and about 30.3, 28.7, and 21.2% on the leaf surface of *S. viridis*, at 3, 6, and 24 hours after treatment, respectively. The paraquat was absorbed rapidly into the leaf tissue of *E. annuus* with its maximum of 85.9% reached at 6 hours after treatment, while it was absorbed relatively slowly with its maximum of 50.5% of the treated dose reached at 3 days after treatment. Based on the washable and absorbed paraquat, the amount of photodecomposed paraquat was estimated; 42 and 41% of the treated dose

<sup>1</sup> 영남농업연구소 전특작과, 627-803 경상남도 밀양시 내이동 108(Yeongnam Agricultural Research Institute, RDA, Milyang 627-803, Korea).

<sup>2</sup> 서울대학교 농업생명과학대 식물생산과학부, 151-742 서울시 관악구 신림9동 산56-1(College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Kwanak-gu, Seoul 151-742, Korea).

<sup>3</sup> 농업과학기술원 유해물질과, 441-707 경기도 수원시 권선구 서둔동 249(National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea).

<sup>4</sup> (주)LG 생명과학 기술연구원, 305-380 대전시 유성구 문지동 104-1(R&D Park, LG Life Sciences, Ltd., Yuseong-gu, Daejeon 305-380, Korea).

\* 연락처자(corresponding author) : Phone) 042-866-2342, Fax) 042-863-0239, E-mail) dosoonkim@lgls.co.kr

(Received June 9, 2006; Accepted June 14, 2006)

photodecomposed until 3 days after treatment and additional 2 and 3% between 3 and 20 days after treatment in *E. annuus* and *S. viridis*, respectively.

**Key words:** absorption; *Erigeron annuus*; paraquat; photodecomposition; *Setaria viridis*; UV-C; UV-B.

## 서 언

Paraquat은 bipyridylum계 제초제로 식물체 조직에 빠르게 흡수되어 24~48시간 내에 강력한 살초력을 나타내며, 비선택적이지만 화본과식물에 대한 작용이 광엽식물에 대한 작용보다 다소 큰 편이다(Kang 등 1995; 양 등 1992). 잎 표면에 살포된 paraquat은 잎 속으로 흡수되어 광합성 과정에서 생성된 전자를 한 개 받아 자유원자단을 형성하고, 이 자유원자단은 산소와 반응하여 peroxide radical 또는 hydrogen peroxide를 만들고 이 과산화물들이 살초효과를 나타낸다(Slade 1966). 따라서 paraquat의 살초활성과 광도간에는 높은 상관성이 있다. 또한 paraquat은 체내 침투력은 크지만 이행성이 낮으므로(Akhavain과 Linscott 1970; Davies와 Seaman 1968; 양 등 1992) 식물체 전체에 처리하여야 한다.

Paraquat은 식물체내에서 대사적으로 분해되지 않고 광에 의해서만 분해되는 것으로 알려져 있다(Funderburk와 Lawrence 1964; Slade 1965; Slade 1966; Smith 1967). Paraquat은 256nm에서 최대 흡수 스펙트럼을 나타내고 이온상태일 때에는 258nm에서 최대 흡수스펙트럼을 나타낸다(Calderbank 1968). 그런데 지표면에 도달하는 태양광 흡수스펙트럼에서는 290nm가 한계 최단파장이다. 그렇지만 표면에 흡착된 paraquat의 최대 광흡수파장은 275nm로 바뀌고, 그 영역이 상당히 확장되므로 290~310nm의 파장에서 충분한 태양광을 흡수하면 광분해된다고 하였다(Slade 1966).

농약을 경엽처리하였을 때 잎 표면에 닿으면 바로 큐티클층을 통과하여 잎 조직 속으로 흡수되기 시작하는데 이때 흡수되는 양상이 cuticular wax의 특성에 따라 다르다고 알려져 있고(Bukovac 등 1993; Franke 1967; King과 Radosevich 1979), cuticular

wax는 식물체의 생육상태 및 환경 그리고 초종에 따라 그 형태적 특징과 화학적 조성 등이 다르다고 한다(Bukovac 등 1979; Takeoka 등 1983). 따라서 잎 표면에 처리된 paraquat의 조직 내로 침투양상은 대상 초종의 생육상태 및 환경, 처리시기에 따라 결정된다. 그러나 이에 대한 연구는 국내외적으로 거의 없는 실정이다. 또한 경엽처리제인 paraquat은 경엽처리 후 잡초가 고사하는 과정에서 일부는 식물체내에 흡수되고, 일부는 경엽 표면에서 태양광에 의하여 광분해될 수 있는 것으로 알려져 있으나 구체적인 광분해 양상에 관한 연구논문은 세계적으로 없는 실정이다.

본 연구에서는 자연 일사량 중 UV-C와 UV-B의 일사량을 측정하고, 이러한 자연광 조건하에서 유리표면에 흡착된 paraquat의 광분해율을 조사하였다. 또한 화본과 잡초인 강아지풀과 광엽잡초인 개망초를 대상으로 경엽처리한 paraquat의 세포내 흡수 속도와 잎 표면 및 큐티클층에 잔류되어 광분해될 수 있는 paraquat량을 측정하여 잡초 잎 표면에서 paraquat의 흡수와 광분해 양상을 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 자외선 일사량 측정 및 기상 조사

야외실험이 진행된 1999년 10월 30일부터 11월 19일까지 수원기상대(37°16'N, 126°59'E, 수원, 한국)로부터 남쪽으로 500m 떨어진 서울대학교 농업생명과학대학 농원에학관 옥상에서 태양일사량 중 UV-B와 UV-C를 측정하였다. 전일사량과 기타 기상조건은 수원기상대에서 발행하는 전국농업기상정보(이 1999)에서 발췌하였다.

UV-B를 측정하는 데 사용한 센서는 SD 105 B3 COS(Macam Photometrics Ltd., UK)로 299~323nm

의 광을 측정할 수 있고, 가장 많이 반응하는 파장은 312nm이며, 이 센서의 감도는  $1.211 \times 10^{-10} \text{ A W}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 이다.

UV-C를 측정하는 데 사용한 센서는 SD 104-254 (Macam Photometrics Ltd., UK)로 240~270nm의 광을 측정할 수 있고 가장 많이 반응하는 파장은 252.5nm이며, 이 센서의 감도는  $1.061 \times 10^{-9} \text{ A } \mu\text{W}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 이다.

실험기간 동안 매일 오전 9시에서 오후 6시까지 9시간 동안 측정하였고, 비가 올 때에는 측정하지 않았다. 위 센서를 datalogger(LI-1000, LI-COR Inc., USA)에 연결하여 10분간 5초 간격으로 값을 읽어 이 값들의 평균값을 측정시간 동안 매 10분마다 기록하였다.

#### 유리판에 처리된 paraquat의 광분해

$^{14}\text{C}$ -ring-labelled-paraquat dichloride(specific activity, 2.0GBq  $\text{mmol}^{-1}$ ; radio-chemical purity, 98.45%; Zeneca Agrochemicals, Ltd., UK) 처리용액 10 $\mu\text{l}$  ( $4.44 \times 10^4$  DPM)와 50 $\mu\text{l}$  ( $2.22 \times 10^5$  DPM)를 현미경용 cover glass위에 각각 2반복으로 처리하여 petri-dish 안에 넣고 petri-dish 덮개 대신 투명한 polyethylene film(서통(주), 한국)으로 씌워 자연광 아래 두었다. Polyethylene film 덮개는 태양광의 투과가 균일하도록 팽팽하게 하였고, 바늘구멍을 몇 개 뚫어 결로현상이 없도록 하였으며, 덮개표면이 약간이라도 오염되면 새로운 polyethylene film으로 교체하였다. 처리 후 10일과 20일 경과한 뒤 유리판 위에 남아있는 paraquat을 추출하여 방사능을 LSC(1409 DSA, Wallac Inc., Finland)로 측정하였다. 또한 처리용액 10 $\mu\text{l}$  ( $4.44 \times 10^4$  DPM)를 유리판 위에 처리하여 직사광선이 들어오지 않는 동위원소 실험실내 후드에 두고 처리 후 10일이 경과한 뒤 유리판 위에 남아있는 paraquat을 추출하여 방사선량을 LSC(1409 DSA, Wallac Inc., Finland)로 측정하였다. 유리판에 처리한 paraquat은 soluene-350(Packard Instrument Co., USA)으로 30분간 추출하였다.

실험에 사용한 polyethylene film의 투광특성을 알아보기 위해 PDA spectro-photometer(Oriel Instaspec

TM2, Oriel Instrument Co., USA)를 이용하여 200~800nm에서 투광율을 측정한 결과 350nm이하 파장 영역에서 투광율이 90~91% 정도이었고 350~400nm의 파장에서는 투광율이 86% 정도였으며, 그 이상의 장파장 영역에서는 투광율이 90~92% 정도였다.

#### 잎에 처리한 paraquat의 동태

야외에서 자란 30cm 크기의 강아지풀(*Setaria viridis* (L.) BEAUV.)과 40cm 크기의 개망초(*Erigeron annuus* (L.) PERS.)를 1/5000a 포트에 이식하여 1주일간 적응시킨 후 건전한 개체를 선택하였다.

Paraquat 액제(파라코 액제, 신젠타, 한국)를 300ml/120L 수준으로 조제하여 식물체 전체에 손 분무기로 고루 살포하였다. 처리한 paraquat 액제가 충분히 마른 후 식물체 중간 부위에 있는 잎 2장 또는 4장을 선택하여 조제해 놓은  $^{14}\text{C}$ -paraquat을 강아지풀에는 20 $\mu\text{l}$  ( $8.88 \times 10^4$  DPM)씩, 개망초에는 40 $\mu\text{l}$  ( $1.776 \times 10^5$  DPM)씩 잎 표면에 점적 처리하고 흘러내리지 않게 말렸다. 모든 처리는 각각 2반복으로 하였다. 처리한 잎들은 처리 후 10분, 1시간, 3시간, 6시간, 1일, 3일, 7일, 10일, 20일이 경과할 때마다 채취하였다.

채취한 잎들을 현장에서 바로 증류수 10ml가 들어 있는 시험관에 넣어 때때로 흔들면서 30분간 담근 후 용출액 1ml를 취하여 방사선량을 측정하였다. 증류수로 30분간 씻어낸 잎들은 다시 chloroform으로 30초간 추출하고 이 추출용액 0.2ml를 취하여 방사선량을 측정하였다. Chloroform추출 용액을 비워 낸 후 시험관에 Soluene-350(Packard Instrument Co., USA) 5ml를 넣어 유리벽에 붙어 남아있는 cuticular wax를 녹여내고 그 중 1ml를 취하여 방사선량을 측정하였다. 잎의 cuticular wax층 아래 조직 속에 흡수된  $^{14}\text{C}$ -paraquat은 sample oxidizer를 이용하여 다음과 같이 분석하였다. 물과 chloroform으로 추출하고 남은 잎을 말린 후 잘게 잘라 무게를 달았다. 모두 Combusto-Cone(Packard Instrument Co., USA)에 넣고 약 2g의 microgranular cellulose powder(CC41, Whatman)를 첨가하여 펠렛을 만든 후 sample oxidizer(Packard Oxidizer 306, Packard Co., USA)로 1분간 태웠다. 이때 발생한  $^{14}\text{CO}_2$ 를 5ml의 Carbo-sorb

E(Packard Instrument Co., USA)를 이용하여 포집하고, 여기에 Perma Fluor E(Packard Instrument Co., USA) 7ml를 첨가하여 LSC(1600TR, Packard Co., USA)로 방사선량을 측정하여 잎 조직 속으로 흡수된  $^{14}\text{C}$ -paraquat량을 산출하였다.

### 결과 및 고찰

#### 실험기간 중 전일사량, UV-C 및 UV-B

야외실험이 진행된 1999년 10월 30일부터 11월 19일까지의 실험기간 동안 일평균 전일사량은  $8.62\text{MJ m}^{-2}$ , 실험기간 동안 받은 총 전일사량은  $181.0\text{MJ m}^{-2}$ , 평균 일조시수는 6시간 정도이었다(그림 1). 실험기간 동안 받은 UV-B의 일평균 일사량은  $53.13\text{KJ m}^{-2}$ , 총 UV-B일사량은  $1,062.5\text{KJ m}^{-2}$ 이었고, UV-B의 일중 일사량 변화를 보면 오후 3~4시에 가장 많았으며, 일중 UV-B의 평균 일사량은  $1.62\text{W m}^{-2}$ 이었다(그림 2). 또한 실험기간 동안 받은 UV-C의 하루 평균 일사량은  $90.04\text{J m}^{-2}$ , 총 UV-C일사량은  $1.8\text{KJ m}^{-2}$ 이었고, UV-C의 일중 일사량 변화를 보면 오전 11~12시에 가장 많았으며, 일중 UV-C의 평균 일사량은  $2.78 \times 10^{-3}\text{W m}^{-2}$ 이었다(그림 3). 전일사량에 대한 UV-C의 비율은 실험기간 동안 평균 0.001% 정도이었다고, 전일사량에 대한 UV-B의 비율은 실험기간 동안 평균 0.6% 정도이었다.

이(1999)가 수원에서 1999년 7월 11일부터 7월 20일과 10월 2일부터 10월 10일에 각각 전일사량과 UV-B일사량을 측정된 결과, 7월 중순에 측정된 전일사량은 평균  $19.07\text{MJ m}^{-2}$ , UV-B 일사량은 평균  $34.16\text{KJ m}^{-2}$ 이었고, 10월 상순에 측정된 전일사량은 평균  $11.45\text{MJ m}^{-2}$ , UV-B 일사량은 평균  $14.52\text{KJ m}^{-2}$ 으로, 본 실험에서의 전일사량보다는 많았지만 UV-B 일사량은 오히려 더 적은 값을 나타내었다.

Iwanzik 등(1983)은 UV-C는 지구대기 중 오존에 모두 흡수되어 지표면에 도달하지 않는다고 하였지만, 이 실험에서는 UV-C가 매우 소량( $0.00071 \sim 0.00136\%$ )이지만 지표에 도달한 것으로 측정되어 대기 중에서 UV-C가 흡수되지만 매우 소량이 지표에

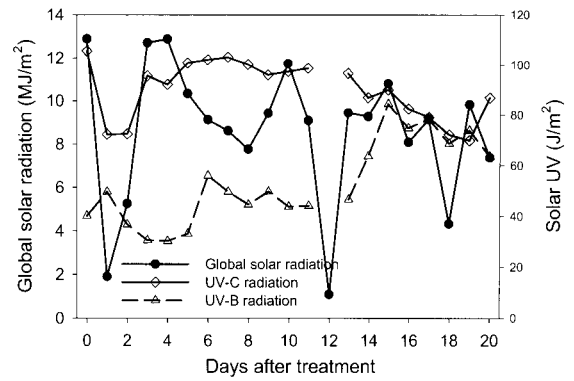


Fig. 1. Daily global solar and ultraviolet-C and -B radiations during the experiment, from Oct. 30 to Nov. 19, 1999, in Suwon, Korea.

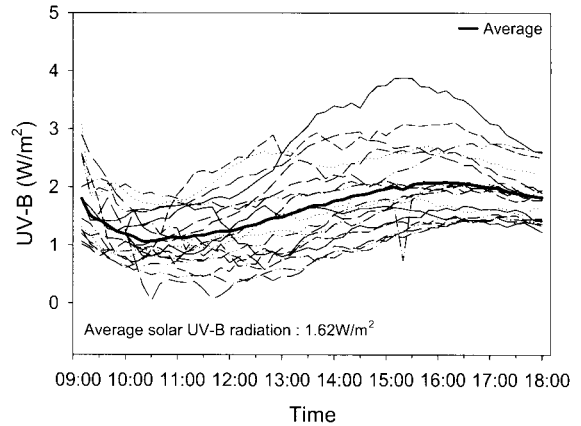


Fig. 2. Fluctuation of daily solar ultraviolet-B radiation during the experiment, from Oct. 30 to Nov. 19, 1999, in Suwon, Korea. The lines indicate daily measurements during the experiment.

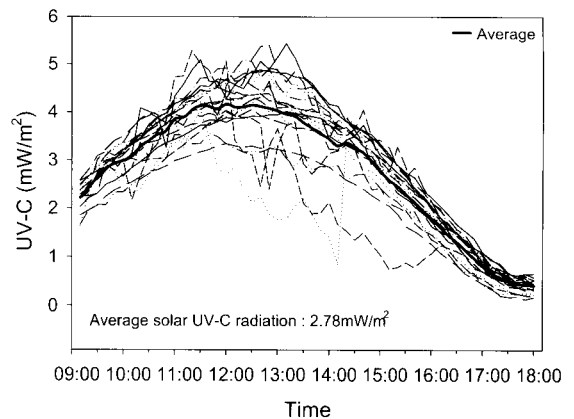


Fig. 3. Fluctuation of daily solar ultraviolet-C radiation during the experiment, from Oct. 30 to Nov. 19, 1999, in Suwon, Korea. The lines indicate daily measurements during the experiment.

도달한다는 Nunez 등(1994)의 보고와 유사하였다. 또한 Seliger와 McElroy(1965)는 태양복사 총에너지 중에서 파장대별로 차지하는 에너지의 비율을 조사하였는데, 200nm이하의 파장이 차지하는 에너지 비율은 0.1%, 200~300nm는 3.0%, 300~400nm는 8.9%라고 하였고, Monteith와 Unsworth(1990)는 0~300nm가 차지하는 에너지 비율은 1.2%, 300~400nm가 차지하는 에너지 비율은 7.8%라고 하였다.

### 유리판에 처리된 paraquat의 광분해

실험기간 최초 10일 동안 받은 총 전일사량은 102.6MJ m<sup>-2</sup>, UV-C는 1.0KJ m<sup>-2</sup>, UV-B는 464.2KJ m<sup>-2</sup>이었는데(표 1), UV-C와 UV-B는 polyethylene film을 약 90%정도 투과하였으므로, 실제로 paraquat이 처리된 유리판에 도달한 UV-B일사량은 약 417.8KJ m<sup>-2</sup>, UV-C 일사량은 약 0.9KJ m<sup>-2</sup>정도라고 추정되었다. 실험기간 20일 동안 받은 총 전일사량은 181.0MJ m<sup>-2</sup>, UV-C는 1.8KJ m<sup>-2</sup>, UV-B는 1062.5KJ m<sup>-2</sup>이었는데(표 1), UV의 polyethylene film에 대한 투과율을

**Table 1.** Cumulative daily global solar, and ultraviolet-B and -C radiations during the experiment.

| Periods               | Global solar radiation (MJ/m <sup>2</sup> ) | Solar UV-B radiation (KJ/m <sup>2</sup> ) | Solar UV-C radiation (KJ/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|---|---|---|
| 1~10 DAT <sup>†</sup> | 102.6                                       | 464.2                                     | 1.0                                       |
| 11~20 DAT             | 78.4  | 598.3                                     | 0.8                                       |
| Total                 | 181.0                                       | 1062.5                                    | 1.8                                       |

<sup>†</sup>DAT : days after treatment.

고려할 때 paraquat이 처리된 유리판에 도달한 UV-B 일사량은 약 956.3KJ m<sup>-2</sup>, UV-C 일사량은 1.6KJ m<sup>-2</sup> 정도이었다.

실험기간 최초 10일 동안 받은 전일사량과 UV-C 일사량은 그 이후 10일 동안 받은 일사량 보다 많았지만 UV-B 일사량은 그 반대이었다(표 1).

<sup>14</sup>C-Paraquat을 유리판에 처리하여 표 1과 같은 자연광 조건에 10일간 두었을 때, 10 $\mu$ l 처리에서는 83.54%, 50 $\mu$ l 처리에서는 80.23%가 광에 의해 분해되었다. 그 이후 10일 동안에는 paraquat 10 $\mu$ l 처리에서 0.32%, 50 $\mu$ l 처리에서 6.04%만 추가적으로 광분해 될 뿐이었다(표 2).

Gilreath와 Duranceau(1986)는 paraquat을 polyethylene mulch film에 처리하여 자연광하에 두었을 때 처리 후 1일에 50%, 2일에 70%, 3일에 79%, 4일에 83%, 5일에 87%가 광분해되었다고 하였다. Funderburk 등(1966)은 paraquat을 알루미늄 판에 처리하고 살균 램프를 이용하여 UV-C(240~260nm)를 조사하였을 때 처리 후 1일에 65%, 2일에 80%, 4일에 90%, 8일에 95%가 광분해되었다고 하였다. 이러한 결과들로 볼 때 paraquat은 처리 후 지속적으로 광분해되는 것으로 판단된다. 즉, paraquat은 처리 후 초기에 급격히 광분해되지만 일정 시간 경과 후에는 paraquat의 광분해가 잘 되지 않는다는 것을 의미한다. 이러한 사실은 처리 후 10일에서 20일 사이에 광분해율이 낮았던 본 연구의 결과와 부합하였다.

Calderbank(1968)는 paraquat이 최대흡광도를 나타내는 파장이 고체 상태일 때 256nm, 액체 상태일 때 258nm, 전자를 한 개 받아 환원된 상태일 때는

**Table 2.** Photodecomposition ratio of paraquat treated on the glass plate.

| DPM applied                   | Paraquat-spot size (cm <sup>2</sup> ) | Periods for exposure to sunlight (days) | Paraquat              |                             |
|-------------------------------|---------------------------------------|---|-----------------------|-----------------------------|
|                               |                                       |   | Left on glass (% , A) | Photodecomposed (% , 100-A) |
| 4.44 $\times$ 10 <sup>4</sup> | 0.437                                 | 10                                      | 16.46                 | 83.54                       |
|                               |                                       | 20                                      | 16.14                 | 83.86                       |
| 2.22 $\times$ 10 <sup>5</sup> | 1.983                                 | 10                                      | 19.77                 | 80.23                       |
|                               |                                       | 20                                      | 13.73                 | 86.27                       |

**Table 3.** Water-washable <sup>14</sup>C-paraquat present on the leaf surface.

| Time after treatment | Counted <sup>14</sup> C- paraquat (DPM)         | Relative <sup>14</sup> C-paraquat (%) | Counted <sup>14</sup> C- paraquat (DPM)         | Relative <sup>14</sup> C-paraquat (%) |
|----------------------|---|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
|                      | ----- <i>Erigeron annuus</i> <sup>†</sup> ----- |                                       | ----- <i>Setaria viridis</i> <sup>‡</sup> ----- |                                       |
| 10 min               | 100358.5  | 56.5                                  | 44758.6   | 50.4                                  |
| 1 hr                 | 62479.0   | 35.2                                  | 41645.4   | 46.9                                  |
| 3 hr                 | 22885.5   | 12.9                                  | 18375.6   | 20.7                                  |
| 6 hr                 | 12226.2   | 6.9                                   | 17847.9   | 20.1                                  |
| 24 hr                | 4180.0  | 2.4                                   | 12318.3   | 13.9                                  |
| 3 d                  | 3286.5  | 1.9                                   | 2616.9  | 2.9                                   |
| 7 d                  | 1581.1  | 0.9                                   | 1675.4  | 1.9                                   |
| 10 d                 | 1538.6  | 0.9                                   | 1370.8  | 1.5                                   |
| 20 d                 | 1497.2  | 0.8                                   | 1035.2  | 1.2                                   |

<sup>†</sup>40 µl (1.776 × 10<sup>5</sup> DPM) of <sup>14</sup>C-paraquat was treated on a leaf.

<sup>‡</sup>20 µl (8.88 × 10<sup>4</sup> DPM) of <sup>14</sup>C-paraquat was treated on a leaf.

396nm였다고 하였다. Slade(1966)는 paraquat 수용액은 광분해가 일어나지 않는데 이는 수용액 중 paraquat의 자외선 최대흡수파장이 257nm이고 흡광대가 매우 좁기 때문이라고 하였다. 그러나 paraquat이 잎 표면에 흡착되어 있을 때에는 최대흡수파장이 275nm로 변하고 흡광대가 상당히 넓어진다고 하였다. 따라서 자연광에서 290~310nm의 자외선은 paraquat을 광분해시킬 수 있다고 하였다. 즉, paraquat은 UV-C와 UV-B에 의해 광분해될 수 있다. 그러나 자외선의 파장영역별 광량과 paraquat에 대한 해당 파장의 광분해 효율에 관한 것은 아직 규명되지 않아 이에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

**경엽처리된 paraquat의 잎에서의 동태**

*잎 표면의 paraquat*

Paraquat을 경엽에 처리하였을 때 흡수되지 않고 흡착되지도 않은 채 처리 후 어느 정도까지는 잎에 존재하는데, 이런 상태의 paraquat은 물이나 비에 의해 씻겨 내려가거나 광분해될 수 있다.

Paraquat을 처리한 후 개망초와 강아지풀 잎 표면에 존재하는 paraquat을 경과시간에 따라 물로 추출하여 측정하였을 때 LSC의 측정효율은 평균 92.65%로 매우 양호하였다.

개망초 잎 표면에서 흡수되거나 흡착되지 않은

paraquat의 처리량에 대한 상대비율이 처리 후 10분에 56.5%, 3시간에 12.9%, 6시간에 6.9%, 1일에 2.4%이었다(표 3). 강아지풀 잎 표면에서 흡수되거나 흡착되지 않고 존재하는 paraquat의 비율은 처리 후 10분에 50.4%, 3시간에 20.7%, 6시간에 20.1%, 1일에 13.9%이었으며, 이후 급격히 감소하였다. 두 초종이 비슷한 경향을 나타냈으나, 처리 후 3일까지 잎에서 흡수 또는 흡착되지 않은 paraquat의 비율은 개망초 잎보다 강아지풀 잎에서 더 많았다.

따라서 만약 paraquat을 처리한 후 비가 올 경우에, 개망초 잎에서는 처리 후 3시간 이후에는 강우에 의한 paraquat 손실이 적을 것이지만, 강아지풀 잎에서는 약간 더 많을 것으로 예상된다.

*Cuticular wax층에 있는 paraquat*

Cuticular wax층에 있는 paraquat을 추출하기에 앞서 적정 추출시간을 결정하기 위하여 개망초 등의 잠초 잎을 chloroform용액에 담가 경시적으로 추출된 cuticular wax 양을 측정한 결과 30초 정도가 최적 시간임을 확인하였다(자료 미제시). 따라서 본 실험에서는 paraquat이 처리된 잎을 채취하여 chloroform에 30초간 침지한 다음 가볍게 흔들어 주는 방법으로 paraquat을 추출하였다. 이렇게 추출된 용액을 0.2ml 취하여 LSC로 방사능을 측정하였다. 이때 LSC의 측

Table 4.  $^{14}\text{C}$ -paraquat associated with cuticular wax layer.

| Time after treatment | Counted $^{14}\text{C}$ -paraquat (DPM)         | Relative $^{14}\text{C}$ -paraquat (%) | Counted $^{14}\text{C}$ -paraquat (DPM)         | Relative $^{14}\text{C}$ -paraquat (%) |
|----------------------|---|--|---|--|
|                      | ----- <i>Erigeron annuus</i> <sup>†</sup> ----- |  | ----- <i>Setaria viridis</i> <sup>‡</sup> ----- |  |
| 10 min               | 19667.5   | 11.1                                   | 17080.8   | 19.2                                   |
| 1 hr                 | 17684.2   | 10.0                                   | 8685.7  | 9.8                                    |
| 3 hr                 | 19410.1   | 10.9                                   | 8501.7  | 9.6                                    |
| 6 hr                 | 8260.2  | 4.7                                    | 7622.1  | 8.6                                    |
| 24 hr                | 5123.6  | 2.9                                    | 6512.3  | 7.3                                    |
| 3 d                  | 4004.5  | 2.3                                    | 4905.8  | 5.5                                    |
| 7 d                  | 3475.6  | 2.0                                    | 5265.4  | 5.9                                    |
| 10 d                 | 2843.6  | 1.6                                    | 4218.6  | 4.8                                    |
| 20 d                 | 3345.2  | 1.9                                    | 3581.5  | 4.0                                    |

<sup>†</sup>40  $\mu\text{l}$  ( $1.776 \times 10^5$  DPM) of  $^{14}\text{C}$ -paraquat was treated on a leaf.

<sup>‡</sup>20  $\mu\text{l}$  ( $8.88 \times 10^4$  DPM) of  $^{14}\text{C}$ -paraquat was treated on a leaf.

정효율은 88.85%로 비교적 높았다. 그러나 LSC로 측정한 부피환산 전의 결과를 보면 개망초에서는 22.2~52.1 DPM, 강아지풀에서는 29.0~80.2 DPM이었다. 이것은 예상보다 너무 낮은 측정치였는데, 이는 추출한 wax가 시험관 유리벽이나 바닥에 엉겨 붙어 있기 때문인 것으로 판단되었다. 따라서 chloroform으로 추출한 용액을 비워낸 후 시험관 벽과 바닥에 엉겨있는 cuticular wax를 Soluene-350으로 녹여 그 속에 남아있는 paraquat을 측정할 결과 상당량의 wax가 시험관 유리벽이나 바닥에 엉겨있음이 확인되었다. 따라서 chloroform과 Soluene-350을 이용한 2가지 방법으로 cuticular wax를 추출하여 cuticular wax층에 존재하는 paraquat을 측정하여 각각의 측정치를 합하였다(표 4).

개망초 잎의 cuticular wax층에 존재하는 paraquat의 비율은 처리 후 3시간까지 처리량의 10~11% 정도를 유지하다가 처리 후 6시간이 되면서 4.7%로 급감하여 처리 후 1일이 지나면서 paraquat 비율이 3% 이하로 감소하였다(표 4). 강아지풀 잎의 cuticular wax층에 존재하는 paraquat은 처리 후 10분에 19.2%로 가장 많았고, 처리 후 1시간에 9.8%, 6시간에 8.6%, 1일에 7.3%, 3일에 5.5%로 감소하였다. 따라서 개망초 잎에서는 처리후 3시간~6시간 사이, 강아지풀은 처리후 10분~1시간 사이 급격히 감소함을 알 수 있었다.

Bishop 등(1987)은 *Hordeum glaucum* 식물체의 잎에  $^{14}\text{C}$ -paraquat 5 $\mu\text{l}$ 를 처리한 후 0~9시간까지 매 시간 잎을 채취하여 물로 씻어내고, chloroform으로 cuticular wax를 추출하여 cuticular wax층에 있는 paraquat량을 조사한 결과 처리 후 6시간까지는 지속적으로 증가하다가 처리 후 6~9시간에는 더 이상 증가하지 않고 일정하게 유지되었다고 하였다. 이러한 사실은 본 연구의 결과와 약간 상이한 것으로 잎 cuticular wax층에서 paraquat의 동태는 초종간에 차이가 있는 것으로 사료된다.

#### 잎 조직 속으로 흡수된 paraquat

개망초와 강아지풀을 1/5000a 와그너포트에 이식하여  $^{14}\text{C}$ -paraquat을 적당한 잎에 처리하여 시간이 경과함에 따라 paraquat이 어떻게 잎 표피조직 아래 세포 속으로 흡수되는지 조사하였다. Cuticular wax를 chloroform으로 제거한 후 잎에 남아 있는 paraquat의 양을 측정하여 잎 표피조직 아래 엽육조직으로 흡수된 paraquat으로 결정하였다. 개망초와 강아지풀 잎에 각각 40 $\mu\text{l}$ 씩을 처리하여 말린 후 바로 sample oxidizer로 태워 Carbo-sorb E 용액으로  $^{14}\text{CO}_2$ 를 포집하여 LSC로 측정한 결과,  $^{14}\text{C}$ -방사능의 회수율은 개망초에서 91.26%, 강아지풀에서 91.54%였다. 개망초와 강아지풀 잎을 물과 chloroform으로 추출하

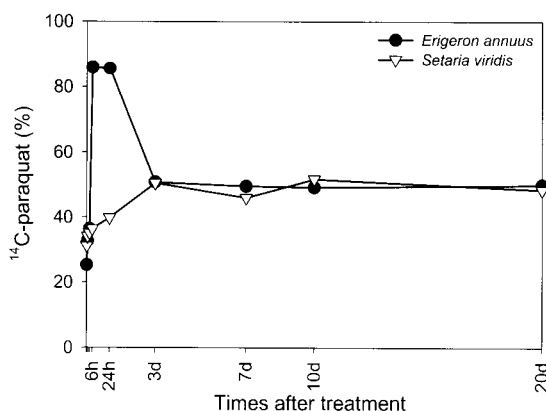


Fig. 4. Absorption of <sup>14</sup>C-paraquat into the leaf tissues of *Erigeron annuus* and *Setaria viridis*.

고 남은 잎들을 건조시키고 sample oxidizer로 태워 Carbo-sorb E 용액으로 <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>를 포집하여 LSC로 측정하였다. 이때 LSC의 측정효율은 평균 86.45%였다.

본 실험에서 개망초 잎에 처리한 <sup>14</sup>C-paraquat은 처리 6시간이 경과한 후에 처리량의 85.9%가 흡수되었으며, 강아지풀 잎에서는 <sup>14</sup>C-paraquat이 3일이 경과한 후에 처리량의 50.5%가 흡수된 것으로 보아, 잎 표면에 처리한 paraquat의 흡수 양상은 초종간 차이가 매우 컸다(그림 4). 즉, 개망초 잎에서는 빠르게 흡수되어 처리 후 6시간에 흡수가 완료되었고, 강아지풀에서보다 훨씬 많이 흡수되었으며, 강아지풀에서는 처리 후 3일까지 서서히 흡수되었다. 또한 잎 조직내 세포속으로 흡수된 paraquat의 양은 처리된 잎 개체들의 차이와 실험오차에 의한 변이를 고려하면 두 초종 모두 처리 후 3일 이후부터 20일까지 거의 일정하였다.

체초제를 경엽처리했을 때 잎 표면에서 표피조직 아래로 흡수될 때 가장 큰 장애물이 cuticular wax이다. Cuticular wax는 잎과 외부환경의 경계이며, 친수성 성분과 친유성 성분이 혼재하여 서로 밀착되어 있기 때문에 친수성 및 친유성 화합물을 선택적으로 통과시킬 수 있다(Franke 1967; 양 등 1992).

Wehtje 등(1992)은 3주 정도 자란 땅콩(*Arachis hypogaea*), 결명자(*Cassia obtusifolia*), Florida beggarweed (*Desmodium tortuosum*) 개체의 잎에 paraquat 5 $\mu$ l를 처리하여 paraquat의 흡수와 이동성을 조사하였다. 잎 표면에서 흡수되지 않은 paraquat의 비율은 땅콩에서 40%, 결명자에서 50%, Florida beggarweed

에서 74%이었다. 처리된 잎 안에서 다른 지점으로 이동한 paraquat의 비율은 땅콩에서 37%, 결명자에서 26%, Florida beggarweed에서 19%이었다. 또한 처리된 잎이 아닌 다른 잎으로 이동한 paraquat의 비율은 땅콩에서 2%, 결명자에서 14% 정도이었지만, Florida beggarweed에서는 다른 잎으로 이동하지 않았다. 따라서 초종에 따라 paraquat이 흡수되는 정도가 다르며, paraquat이 흡수되어 이동하더라도 멀리 이동하지는 못한다는 것을 알 수 있다. 이처럼 같은 초종에 대해서라도 경우에 따라 흡수되는 정도가 매우 달랐다. 그런데 Wehtje 등(1992)에 의한 실험은 paraquat을 국부적으로 점적 처리한 반면 본 실험에서는 <sup>14</sup>C-paraquat을 처리하기 전에 non-radioactive paraquat을 식물체 지상부 전체에 고르게 처리하였기 때문에 <sup>14</sup>C-paraquat이 처리된 잎이 다른 부위로 이동하지는 않았을 것이다.

따라서 각 식물초종에 따라 또는 같은 식물체라도 생육환경 및 생육단계에 따라 cuticular wax의 함량 및 형태 그리고 화학적 조성 등이 변하므로 초종에 따라 paraquat의 흡수특성이 다를 것으로 생각된다. 본 실험에서도 paraquat은 초종별로 흡수양상이 달랐는데, 강아지풀보다 개망초 잎에서 더 빨리 그리고 더 많이 흡수되었고, 이는 두 초종의 cuticular wax의 특성이 다르기 때문인 것으로 생각된다. 실험기간 동안 chloroform으로 개망초와 강아지풀 잎의 cuticular wax를 추출하였는데, 건조시킨 개망초 잎에 존재하는 단위 엽면적당 cuticular wax함량은 31.34 $\mu$ g cm<sup>-2</sup>이었으며, 건조시킨 강아지풀 잎에 존재하는 단위 엽면적당 cuticular wax함량은 38.57 $\mu$ g cm<sup>-2</sup>이었다(자료 미제시). 즉, 두 초종의 cuticular wax의 함량이 다르고, cuticular wax의 분포 및 화학적 특성이 달라 paraquat과 두 초종의 cuticular wax간의 친화력이 다르기 때문에 식물체내로의 paraquat 흡수특성이 다르게 나타난 것으로 생각된다.

#### 잎에 처리한 paraquat의 광분해 양상

두 초종의 잎에 처리한 paraquat이 시간이 경과함에 따라 표면 위에 흡착되지 않은 것과 cuticular wax층에 있는 것, 그리고 잎 조직내 세포 속으로 흡수된



**Table 5.**  $^{14}\text{C}$ -paraquat present on the leaf surface and in cuticular wax, absorbed into the treated leaf and lost after treatment.

| Plant species          | Time after treatment | Washable $^{14}\text{C}$ -paraquat (A, %) <sup>†</sup> | $^{14}\text{C}$ -paraquat absorbed (B, %) <sup>‡</sup> | Lost $^{14}\text{C}$ -paraquat (100-(A+B), %) |
|------------------------|----------------------|--|--|---|
| <i>Erigeron annuus</i> | 10 min               | 67.6   | 25.3   | 7.2   |
|                        | 6 hr                 | 11.5   | 85.9   | 2.6   |
|                        | 24 hr                | 5.2  | 85.6   | 9.2   |
|                        | 3 d                  | 4.1  | 50.8   | 45.1  |
|                        | 7 d                  | 2.8  | 49.6   | 47.6  |
|                        | 10 d                 | 2.5  | 49.2   | 48.3  |
|                        | 20 d                 | 2.7  | 49.9   | 47.3  |
| <i>Setaria viridis</i> | 10 min               | 69.6   | 31.2   | 0.0   |
|                        | 6 hr                 | 28.7   | 36.4   | 34.9  |
|                        | 24 hr                | 21.2   | 39.8   | 39.0  |
|                        | 3 d                  | 8.5  | 50.5   | 41.0  |
|                        | 7 d                  | 7.8  | 46.0   | 46.2  |
|                        | 10 d                 | 6.3  | 51.7   | 42.0  |
|                        | 20 d                 | 5.2  | 48.4   | 46.4  |

<sup>†</sup> $^{14}\text{C}$ -Paraquat extracted by water and by chloroform, which is present on the leaf surface and in the cuticular wax.

<sup>‡</sup> $^{14}\text{C}$ -Paraquat counted by combustion into  $^{14}\text{CO}_2$ , which is present in the epidermal and mesophyll cells.

것, 그리고 손실량을 처리량에 대한 비율로 정리하였다(표 5).

개망초의 경우 처리 후 1일이 지났을 때 약 9%, 3일이 지났을 때 약 45%, 7일 지났을 때 약 47% 정도의  $^{14}\text{C}$ -paraquat이 손실되었다. 강아지풀의 경우에는 처리 후 1일이 지났을 때 약 39%, 3일이 지났을 때 약 41%, 7일 지났을 때 약 46% 정도의  $^{14}\text{C}$ -paraquat이 손실되었는데, 이러한 손실은 대사적인 손실에 의한 것 보다는 다른 요인 즉, 광분해에 의한 것으로 판단된다.

Slade(1966)는 토마토 잎 표면에 처리한 paraquat이 여름철 자연광 조건에서 14일이 지나면 36%가 광분해되었으며, 옥수수 잎 표면에 처리한 paraquat은 여름철 유리온실 내에서 15일이 지나면 66%가 광분해되었다고 하였으나, 반면 겨울철 유리온실 조건에서는 paraquat을 옥수수 잎 표면에 처리하여 10일 동안 두었을 때 거의 광분해되지 않았다고 하였다. 따라서 경엽처리한 paraquat의 광분해는 처리된 계절적 시기에 따라 다르며 290~310nm의 자외선 광량에 따라 다르다고 하였다. 그런데 Funderburk와 Lawrence(1964)는 alligatorweed(*Alternanthera philoxeroides*)와 강남콩을 paraquat이 함유된 양액에 길러 뿌리로

흡수된 paraquat의 식물체내에서의 분해실험을 통하여 paraquat이 이들 식물체에서 대사적으로 분해되지 않음을 보였다. 또한 Slade(1966)는  $^{14}\text{C}$ -paraquat을 잠두(*Vicia faba*)의 줄기에 주입하여 처리한 후 9일이 지났을 때 식물체에 존재하는 paraquat을 조사하였는데 전혀 분해되지 않았다고 하였다. 따라서 paraquat은 식물체내에서는 대사적으로 분해되지 않는 것으로 판단된다.

Gausman 등(1975)은 잎의 표피부분을 쉽게 얻어 낼 수 있는 양파(*Allium cepa*) 등 6초종을 선택하여 각 초종들의 표피에 UV-B를 조사하여 표피의 흡광도를 측정하고, 6초종의 흡광도가 2.5~94.7%로 나타나 초종별로 표피의 UV-B 흡광도 변이가 컸다. Robberecht 등(1980)은 UV-B의 양이 많은 저위도지방과 양이 적은 고위도지방에서 자라는 식물들의 잎 표피를 벗겨 투광도를 조사하였다. 저위도지방에서 자라는 식물들의 잎 표피의 평균 투광도는 2% 이하였지만 고위도지방에서 자라는 식물은 5% 이상이였다. Cen과 Bornman(1993)은 유채 잎에 조사된 310nm의 자외선은 잎 표면으로부터 잎 두께의 1/3지점까지에서 90% 정도 흡수됨을 보고하였다. 또한 Brandle 등

(1977)은 UV-B(280~315nm)를 완두(*Pisum sativum*)에 조사하여 엽육세포에 있는 엽록체와 핵 등 세포 소기관들을 전자현미경으로 관찰한 결과 UV-B를 조사한 지 15분이 지났을 때 엽록체와 기타 엽육세포내 소기관들이 약간 부풀어 오르거나 작은 소포가 발생함을 확인하였다.

이와 같은 여러 실험들의 결과로 보아 UV-B는 잎 표피에 있는 cuticular wax를 충분히 투과하여 엽육 세포까지 도달할 수 있다고 생각된다. 따라서 본 실험에서 두 초종의 잎 표면에서 cuticular wax에 있는 <sup>14</sup>C-paraquat 뿐만 아니라 조직 속으로 흡수된 paraquat도 자외선에 의해 충분히 광분해될 수 있다고 판단된다. 본 실험에서는 강아지풀과 개망초 잎에 <sup>14</sup>C-paraquat을 처리하기 전에 식물체 지상부 전체에 non-radioactive paraquat을 고르게 처리하였다. 따라서 <sup>14</sup>C-paraquat을 처리한 잎과 처리하지 잎들이 동시에 파괴되므로 잎 속에 흡수된 <sup>14</sup>C-paraquat이 처리된 잎이 아닌 다른 부위로 거의 이동하지 않았을 것으로 생각된다. 그리고 앞서 설명한대로 잎 표면 위에 있거나 cuticular wax층에 있는 paraquat 뿐만 아니라 잎 조직 속에 있는 paraquat도 UV-C와 UV-B에 의해 충분히 광분해될 수 있다.

개망초의 경우 잎 표피조직 아래로 흡수된 paraquat의 처리량에 대한 비율이 처리 후 6~24시간에 최대 흡수되어, 처리 후 24시간에 85.6%이었던 <sup>14</sup>C-paraquat이 처리 후 3일에는 50.8%로 약 35%가 손실되었는데(그림 4, 표 5), 이 손실량은 개망초 잎 조직내에서 광분해된 것으로 생각된다. 또한 개망초 잎에 처리한 paraquat이 최대 흡수되었을 때 잎 표면 위에서 흡수되지 않고 존재하는 paraquat의 비율이 11.5%이었고, 처리 후 7일 이후에는 약 2.6%로 일정하게 유지되었다(표 5). 즉, paraquat 처리량의 약 9%가 손실되었는데, 이 손실량은 개망초 잎 표면 위에서 광분해된 것으로 생각된다. 따라서 개망초 잎에 처리한 paraquat의 약 44% 정도가 광에 의해 분해된 것으로 생각된다(표 6).

강아지풀의 경우에는 처리 후 3일까지 처리량의 50.5%만이 잎 표피조직 아래로 흡수되었고 그 이후에는 약 50% 정도로 일정하게 유지되었다(그림 4, 표 5). 또한 이때 잎 표면 위에서 흡수되지 않고 존재하는

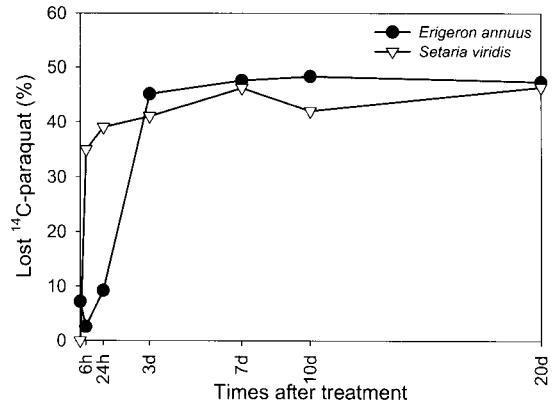


Fig. 5. <sup>14</sup>C-paraquat lost from the treated leaf of *Erigeron annuus* and *Setaria viridis*.

paraquat의 비율이 8.5%이었다. 즉, paraquat 처리량의 약 41%는 처리 후 3일간 광분해되었다고 추정할 수 있다. 왜냐하면 <sup>14</sup>C-paraquat을 처리하지 않은 잎들까지 강아지풀 지상부 전체에 고르게 non-radioactive paraquat이 처리되었으므로 <sup>14</sup>C-paraquat의 개체내 이행은 없었을 것이고, 잎 표면 위에 있거나 cuticular wax층에 있는 paraquat은 자외선에 의해 충분히 광분해될 수 있기 때문이다. 그리고 최대 흡수된 처리 후 3일에 강아지풀 잎 표면 위에서 흡수되지 않고 존재하는 paraquat의 비율이 8.5%이었고 처리 후 20일에는 5.2%이었다(표 5). 즉, paraquat이 약 3% 정도 감소하였다. 따라서 강아지풀 잎에서도 처리한 paraquat의 약 44% 정도가 광에 의해 분해된 것으로 생각된다(표 6).

따라서 본 실험에서 손실된 paraquat은 광에 의해 분해된 것이며, 광분해 속도는 흡수 속도가 느린 강아지풀이 개망초보다 더 빠르지만 광분해되는 paraquat의 총량은 두 초종간 차이가 없는 것으로 판단된다.

Paraquat을 경엽처리했을 때 paraquat의 광분해와 잎 조직내로의 흡수특성이 처리대상 초종의 cuticular wax의 특성, 광환경 그리고 기타 생육환경에 따라 다를 것으로 예상된다. 따라서 두 초종의 cuticular wax에 대한 특성조사가 추후 연구되어야 하며, 또한 처리되지 않은 부위로의 paraquat 이동 여부에 대한 조사가 병행되어야 할 것이다. 또한, 본 실험에서 사용한 <sup>14</sup>C-paraquat은 ring-labelled paraquat이므로 paraquat 분자가 부분적으로 광분해되었는지 아닌지는 판단할

수 없었다. 따라서 금후  $^{14}\text{C}$ -methyl-labelled paraquat을 병용하여 실험할 필요가 있다.

## 요 약

본 연구는  $^{14}\text{C}$ -ring-labelled paraquat을 사용하여 경엽처리시 잡초 초종별 잎 조직 안으로의 paraquat 흡수특성과 자연광하에서 paraquat의 잡초 잎에서 광분해 양상을 확인하기 위하여 수행되었다. 실험이 진행된 기간동안 오전 9시부터 오후 6시까지 UV-C와 UV-B 일사량과 전일사량을 측정하였고, 또한 유리판에 처리된 paraquat의 10일과 20일간 자연광에 의한 광분해율을 측정 조사하였다. 강아지풀과 개망초 두 초종에 paraquat을 처리하고 자연광하에서 20일간 경시적으로 1) 잎 표면에서 물에 의해 세척될 수 있는 paraquat, 2) cuticular wax층에 있는 paraquat, 3) 엽육세포내로 흡수된 paraquat의 변화를 추적하여 paraquat의 잡초 잎에서 광분해 양상을 추정하였다. 실험기간(10월 30일~11월 19일) 중 평균일조시수는 6시간 정도였으며, 일평균 전일사량은  $8.62\text{MJ m}^{-2}$ , 일평균(9 : 00~18 : 00) UV-B 일사량은  $53.13\text{KJ m}^{-2}$ , 같은 시간 동안 측정된 일평균(9 : 00~18 : 00) UV-C 일사량은  $90.04\text{J m}^{-2}$ 이었다. UV-C일사량은 하루 중 오전 11~12시에, UV-B일사량은 오후 3~4시에 가장 많았다. UV-C와 UV-B의 일사조건에서 paraquat을 유리판에 처리하여 자연광하에 두었을 때 10일이 지나면 paraquat은 약 80% 정도 광분해되었으나, 그 이후 10일 동안에는 6% 이하만이 광분해되었다. 광엽잡초인 개망초의 잎에 처리된 paraquat이 잎 표면에서 흡수되지 않고 남아 물로 추출되는 양은 처리 후 3시간에 처리량의 약 23.8%, 6시간에 약 12.6%, 1일 이후에는 처리량의 5.3% 이하이었고, 화본과 잡초인 강아지풀 잎에서는 처리 후 3시간에 처리량의 30.3%, 6시간에 28.7%, 1일에 21.2%이었다. Paraquat을 경엽처리했을 때 엽육세포 내부까지 흡수된 paraquat량은 개망초의 경우 처리 후 6시간에 최대에 이르러 처리량의 85.9%이었고, 강아지풀의 경우 처리 후 3일에 최대에 이르러 처리량의 50.5%이었다.

개망초의 경우 엽육세포내에 존재하는 paraquat량의 처리량에 대한 비율은 처리 후 3일에 50.8%이었고 그 이후 20일까지 약 50%정도로 일정하게 유지되었다. 잎 엽육세포내에서 paraquat 처리 후 1일에서 3일 사이에 손실된 paraquat(처리량의 약 35%)은 개망초 잎 엽육세포내에서 광분해된 것으로 추정된다. 또한 개망초 잎에 처리한 paraquat 중 잎 표면 및 cuticular wax층에 있던 paraquat량은 처리 후 6시간에 11.5%이었으나 처리 후 3일에는 4.1%, 7일 이후에는 약 2.8%로 일정하게 유지되었으며, 이 손실량(처리량의 약 9%)은 개망초 잎 표면과 cuticle층에서 광분해된 것으로 추정되어 처리량의 42%는 처리 후 3일 동안 광분해되고, 추가적인 2%는 3일에서 20일 사이에 광분해된 것으로 추정된다. 강아지풀의 경우 처리 후 3일까지 엽육세포내로 흡수된 paraquat(처리량의 50.5%)은 처리 후 20일까지 분해되지 않고 잔류하였으며, 잎 표면과 cuticle층에 존재하는 paraquat양은 처리 후 3일에는 8.5%, 20일에는 5.2%로서 paraquat 처리량의 약 41%는 처리 후 3일 동안 광분해되고 약 3%는 처리 후 3일에서 20일 사이에 광분해된 것으로 추정된다.

## 인 용 문 헌

- Akhvein, A. A and D. L. Linscott. 1970. Effects of paraquat and light regime on quackgrass growth. *Weed Sci.* 18:378-382.
- Bishop, T., S. B. Powles and G. Cornic. 1987. Mechanism of paraquat resistance in *Hordeum glaucum*. II. Paraquat uptake and translocation. *Aus. J. Plant Physiol.* 14:539-547.
- Brandle, J. R., W. F. Campbell., W. B. Sisson and M. M. Caldwell. 1977. Net photosynthesis, electron transport capacity, and ultrastructure of *Pisum sativum* L. exposed to ultraviolet-B radiation. *Plant Physiol.* 60:165-169.
- Bukovac, M. J., J. A. Flore and E. A. Baker. 1979. Peach leaf surfaces : Changes in wettability, retention, cuticular permeability, and epicuticular

- wax chemistry during expansion with special reference to spray application. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104:611-617.
- Bukocvac, M. J and P. D. Petracek. 1993. Characterizing pesticide and surfactant penetration with isolated plant cuticles. *Pestic. Sci.* 37: 179-194.
- Calderbank, A. 1968. The bipirydylum herbicides. In : *Advances in Pest Control Research*. Vol. 8, pp. 127-235. Interscience, New York.
- Cen, Y. P and J. F. Bornman. 1993. The effect of exposure to enhanced UV-B radiation on the penetration of monochromatic and polychromatic UV-B radiation in leaves of *Brassica napus*. *Physiol. Plant* 87:249-255.
- Davies, P. J and D. E. Seaman. 1968. Uptake and translocation of diquat in Elodea. *Weed Sci.* 16:293-295.
- Franke, W. 1967. Mechanisms of foliar penetration of solutions. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 18:281-300.
- Funderburk, H. H and J. M. Lawrence. 1964. Mode of action and metabolism of diquat and paraquat. *Weeds* 12:259-264.
- Funderburk, H. H., N. S. Negi and J. M. Lawrence. 1966. Photochemical decomposition of diquat and paraquat. *Weeds*. 14:240-243.
- Gausman, H. W., R. R. Rodriguez and D. E. Escobar. 1975. Ultraviolet radiation reflectance, transmittance, and absorptance by plant leaf epidermises. *Agronomy J.* 67:720-724.
- Gilreath, J. P and S. J. Duranceau. 1986. Photodegradation of paraquat applied to polyethylene mulch film. *Hort. Sci.* 21:1145-1146.
- Iwanzik, W., M. Tevini., G. Dohnt., M. Voss., W. Weiss., P. Gräber and G. Renger. 1983. Action of UV-B radiation on photosynthetic primary reactions in spinach chloroplasts. *Physiol. Plant* 58:401-407.
- Kang, B. H., S. I. Shim and S. G. Lee. 1995. Study on the response of weed species to paraquat absorbed through root system. *Kor. J. Weed Sci.* 15:1-12.
- King, M. G and S. R. Radosevich. 1979. Tanoak (*Litbocarpus densiflorus*) leaf surface characteristics. *Weed Sci.* 27:599-604.
- Monteith, J. L and M. H. Unsworth. 1990. Principles of environmental physics. pp. 36-57. Chapman and Hall Inc., New York, USA.
- Nunez, M., B. Forgan and C. Roy. 1994. Estimating ultraviolet radiation at the earth's surface. *Int. J. Biometeorol.* 38:5-17.
- Robberecht, R., M. M. Caldwell and W. D. Billings. 1980. Leaf ultraviolet optical properties along a latitudinal gradient in the arctic-alpine life zone. *Ecology.* 61:612-619.
- Seliger, H. H and W. D. McElroy. 1965. In : *Light : physical and biological action*. pp. 1-5. Academic Press Inc., New York, USA.
- Slade, P. 1965. Possible appearance of degradation products of paraquat in crops. In : *Isotopes in Weed Research*. pp. 113-123. IAEA, Vienna, Austria.
- Slade, P. 1966. The fate of paraquat applied to plants. *Weed Res.* 6:158-167.
- Smith, A. E. 1967. Residues in potato tubers following haulm desiccation with <sup>14</sup>C-diquat. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2:169-178.
- Takeoka, Y., K. Kondo and P. B. Kaufman. 1983. Leaf surface fine-structures in rice plants cultured under shaded, and non-shaded conditions. *Japan. J. Crop Sci.* 52:534-544.
- Wehtje, G., J. W. Wilcut and J. A. McGuire. 1992. Paraquat phytotoxicity, absorption, and translocation in peanut and selected weeds as influenced by chloramben. *Weed Sci.* 40:471-476.
- 양환승, 구자욱, 변종영, 권용웅. 1992. 잡초방제학. pp. 198-199. 향문사, 서울.
- 이정택. 1999. 전국농업기상정보(미발표).