

잎 표면의 분무입자 부착특성에 따른 제초제 침투성 분석[†] The Analysis of Herbicide Penetration with Spray Deposit Characteristics on Plant Leaves

장 영 창*
정 회 원
Y. C. Chang

SUMMARY

The herbicide penetration on weed leaves was spatially analyzed by using chlorophyll fluorescent emission and machine vision technique. Velvetleaf and metribuzin were used as experimental materials in the study. The herbicide spray images were obtained by a combination of a fluorescent dye and a UV lighting system. The herbicide penetration was analyzed by means of detecting chlorophyll fluorescent emission under blue-green lighting. According to the experiment results, the number and the size of spray droplets decreased with coverage increasing. The herbicide penetrated mainly along leaf veins and the time for complete penetration over the whole leaf was approximately 100 minutes after herbicide spraying. When the coverage of herbicide droplets on the surface of leaves increased, the speed of herbicide penetration also increased. This study suggested a way of characterizing herbicide spatial penetration and distribution in leaves.

주요용어(Key Words) : 정밀방제(Site-specific application), 살포품질(Spray quality), 엽록소 형광방출(Chlorophyll fluorescent emission), 기계시각(Machine vision), 제초제 침투(Herbicide penetration), 공간적 분석(Spatial analysis)

1. 서 론

최근 서구에서는 환경에 대한 농약 또는 인공 화학물질의 오염도를 줄여야 한다는 폭넓은 요구에 맞추어 농약살포 기술의 고정밀화를 시도하고 있다. 정밀방제(site-specific application)는 이러한 요구에 부합되는 미시적 방제기술로서, 특히 농약제 중에서 사용비중이 매우 높은 제초제의 효율을 유지하면서 환경에 대한 부담을 줄이려는 노력이 진행되고 있다(Pike 등, 1991).

발아후 제초제는 종합적 병해충 방제(integrated pest management; IPM)에 있어 잡초관리에 매우 중

요한 수단으로 인식되며, 많은 연구자들이 발아후 제초제의 방제효율을 높이려는 연구를 수행 중이다. 그러나 제초제의 사용량을 줄이고 방제효율을 높이기 위해 제초제 살포 후 잎 내의 약제침투와 이동특성을 이해하는 것은 매우 중요하다.

생육 잎에 대한 제초제의 침투는 식물종류, 제초제의 혼합 첨가물, 제초제 살포의 질 등, 여러 가지 요인에 따라 달라진다. 제초제의 침투특성을 분석하는데 쓰이는 가장 일반적인 방법은 C¹⁴을 포함하는 특수계열의 제초제를 식물체에 살포하고 식물체 각 부분에서 C¹⁴을 추출하여 방사능의 양을 측정하는 양적 분석법이었다(Buhler and Burnside,

[†] This study was conducted by the research fund for post-doc researcher supported by Korea Research Foundation(KRF) and article was submitted for publication in May 2000; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in August 2000.

* The corresponding author is Y. C. Chang, Research Specialist, Institute of Agricultural Science & Development, Seoul National University, 103 Suh-dun-dong, Kwonsun-gu, Suwon City, 441-744, Korea. E-mail: <ycchang@soback.kornet21.net>.

1984; Cranmer and Linscott, 1990; Sundaram, 1992). 그러한 방법은 양적인 자료를 제공하지만, 제조제 이동의 총량만을 보여주며 공간적인 침투는 분석하기 어려운 단점이 있다.

또한 잎에 대한 제조제의 살포 품질은 제조제 침투에 주요 요인일 수 있으나 현재 살포품질과 제조제의 침투특성을 연결하는 효과적인 분석방법은 없는 실정이다. 따라서 최적의 제조제 사용을 위해 살포 품질과 침투특성을 연결하여 분석할 수 있는 방법에 대한 연구는 중요하다.

엽록소가 빛에너지를 흡수하면 식물체의 에너지 수준은 정상상태에서 흥분상태로 변한다(Van Grondelle 등, 1994). 엽록소에 의해 흡수된 빛에너지는 주로 광합성을 구동하는데 쓰이지만 2차의 작용으로 흥분상태의 엽록소로부터 에너지를 분산시킨다. 이러한 2차 작용의 엽록소 에너지 분산에 의해 형광방출(chlorophyll fluorescent emission)이 일어난다.

엽록소 형광방출의 변화는 광합성을 방해하는 정도를 지시한다(Krause and Weis, 1984). 광합성 저해 제조제가 잎 내로 침투할 때, 잎의 광합성은 저하되며 동시에 엽록소 형광방출은 증가된다. 형광방출의 세기와 면적의 변화는 시간에 따른 제조제 침투와 움직임을 특성화하는데 사용될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 기계시각 기술을 이용하여 잎에 대한 제조제의 살포품질과 엽록소 형광방출을 측정하며, 살포품질과 제조제의 잎 침투특성을 연결하는 기초기술을 개발하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험장치

실험에 사용된 기계시각 시스템은 주컴퓨터로 166MHz, 64M 메모리의 IBM PC 호환형 컴퓨터를 이용하였다. 제조제 살포품질 영상과 분포영상은 Matrox Comet 영상보드와 Cohu 1100 시리즈, CCD 720×460 화소의 고분해능 흑백카메라로 획득하였다. 영상출력부로 17" 컬러 모니터를 이용하였다.

실험에는 자외선 조명장치와 청록색 조명장치를 조합하여 사용하였다. 자외선 조명장치는 자외선을 발생시키는 전구를 이용하여 구성하였으며, 청록색 조명장치는 백색 형광등과 적색 제거필터(cut-off wavelength, 680nm)로 구성하였다. 하나의

조명장치가 켜져 있으면 다른 조명장치는 작동을 멈추어 서로의 간섭이 일어나지 않도록 하였다. 각 조명장치는 사면에서 조명을 하도록 배치하였으며 백색의 반사판을 거쳐 물체를 조명하는 간접 반사법을 사용하였다.

제조제 분무입자 부착특성은 형광염료와 자외선 조명장치를 이용하여 획득하였고, 청록색 조명장치는 엽록소 분자를 자극하여 광합성의 정도를 측정하는데 이용되었다.

엽록소는 청록색 광선에 자극을 받으며 형광방출은 적색영역에서 발생된다. 따라서 청록색 광선 하에서 적색 형광방출을 감지하기 위해 카메라 렌즈에 청록색 제거필터(cut-off wavelength, 670nm)를 부착하였다.

나. 실험방법

본 연구에서는 콩, 감자, 토마토 재배에 적용되고, 근부 및 경엽흡수로 광합성작용을 저해하여 살초하는 메트리부진(Metribuzin)을 제조제로 사용하였다. 또한 발, 초지에 자생하며 방제가 어려운 어저귀(Velvetleaf)를 실험잡초로 이용하였다.

제조제 살포용액은 일반적으로 이용되는 농도를 기준으로 10mM의 메트리부진과 125 mg/l의 형광염료(Molecular Probes, Alexa Fluor 350 Dye), 증류수로서 조제하였다. 형광염료는 300~380nm의 근자외선에 반응하여 400~450nm의 단파장 청록색 가시광선을 방출한다.

본 연구에서는 제조제 입자의 부착상태에 따른 침투특성을 보고자 하였기 때문에 분무기의 작동 조건은 고려하지 않았다. 제조제 용액은 인력분무기를 이용하여 실험잡초에 임의적으로 살포하였으며 구경 가변노즐을 이용하여 살포특성을 변화시켰다. 실험은 피복정도를 기준으로 상중하 경우에 따라 세 번 반복하였다.

살포 직후, 자외선조명 하에서 제조제 부착영상을 획득하였고 살포품질의 분석을 위해 저장하였다. 다음으로 청록색조명 하에서 처음 5분, 10분, 15분, 25분이 경과한 후의 제조제 분포영상을 획득하였고, 그 후에는 제조제가 전체 잎에 침투될 때까지 20분 간격으로 영상을 획득하였다.

카메라 렌즈와 잎 표면과의 거리는 잎의 크기에 따라 4~6cm로 하였다. 따라서 영상에 잡히는 잎의 크기는 대략 4.5×2.5cm (0.063×0.053mm/pixel)에 해당된다.

본 연구에서 획득한 영상은 Image Pro Plus 전문 가용 영상처리 프로그램에 의해 분석되었다. 화소를 기준하여 제조제 부착특성으로 입자수, 면적상당 입자크기, 피복률 등을 구하였다. 분포영상에서는 시간변화에 따른 침투면적 및 변이, 엽록소 형광방출의 세기에 근거한 광합성 저해정도 등을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 제조제 부착 및 분포영상

그림 1은 가시광선 하에서 제조제를 살포하지 않은 전형적인 어저귀 잎을 보여주고 있다. 주 잎맥은 매우 밝고 명확하나 자외선 조명에서는 매우 어둡게 나타난다. 그림 2는 자외선조명에서 제조제 입자의 부착상태를 보여주고 있다. 그림 2에 잎맥 부분이 밝은 것은 잎맥을 따라 부착입자가 결합해 흐르는 결과로 나타난 것이다. 잎맥과 잎의 접합부는 매우 가파르므로 큰 부착입자들은 결

과적으로 잎맥으로 흘러 모이게 된다.

관찰에 따르면 부착입자가 증발함에 따라 형광염료로부터 발생된 입자들의 특징이 사라졌다. 따라서 입자에 포함된 형광염료의 빛 방출은 대략 3~4분 이후에 소멸되는 것으로 생각되었다. 이를 통해 살포직후 제조제 부착영상을 획득하는 것이 보다 정확한 부착특성을 분석하는데 중요한 요인임을 알 수 있었다. 그러나 부착입자가 사라지는 현상은 제조제 침투와 더불어 발생하는 엽록소 형광방출을 검출할 때 서로의 간섭이 배제됨을 의미하여 매우 바람직한 것으로 판단되었다.

그림 3은 제조제 살포 10분 후 엽록소 형광방출의 상태를 보여주고 있다. 그림에서 밝은 부분은 제조제가 침투되어 광합성작용이 저해되고 있는 것을 보여준다. 특히 제조제는 분무입자가 부착된 장소에서 가장 가까운 잎맥을 타고 침투하였다. 이것은 매트리부진이 잎 세포파괴를 통해 침

Table 1 Spray deposit characteristics and herbicide penetration

Spray quality and herbicide penetration	Coverage		
	High	Medium	Low
Number of droplets	648	414	363
Ave. area-equi. dia. (std. dev.) in pixels	8.9 (9.5)	9.0 (11.4)	9.1 (12.1)
Coverage in percent	28.8	23.1	21.8
Approx. penetration time to 90% leaf area in minutes	80	30	90
Ave. fluorescent emission intensity in gray level	126.2	140.1	142.9

투하지 않고 잎맥을 따라 침투하는 특성과 잘 부합되었다.

형광염료의 농도는 입자 부착특성을 분석하는데 큰 영향이 없었으나 자외선 조명을 균일하게 하는 것은 입자크기를 정확하게 측정하기 위해 필요한 요인으로 판단되었다. 그러나 그림으로부터 엽록소 형광방출은 영상 배경에 영향을 받지 않고 잘 검출됨을 알 수 있다.

나. 제초제 입자 부착특성과 침투특성

표 1은 제초제 입자의 피복정도에 따른 침투특성을 보여주고 있다. 표에서 보는 바와 같이 피복정도가 낮으면 상대적으로 부착 입자수가 적고 입자크기는 증가하는 것으로 나타났다.

제초제 분포영상의 전체면적을 기준할 때 제초제는 살포 후 대략 90분내에 전체 잎의 90%이상 침투하였다. 그러나 표에서 피복정도가 중간수준인 경우 침투시간이 30분 정도로 매우 빠르게 나타났다. 이는 실험시료가 상대적으로 어린 잎이어서 나타난 결과로, 잡초가 어릴 때 제초제는 보다 효과적일 것으로 추측되었다.

그림 4는 엽록소 영상 다중치를 이용하여 형광방출의 세기를 3차원으로 표시한 것으로서, 그림에서 보는 바와 같이 엽록소 형광방출의 평균 세기는 피복정도에 따라 크게 차이가 없는 것으로 분석되었다.

그림 5와 6은 제초제 살포 후 경과시간에 따른 제초제 침투면적과 엽록소 형광방출 세기의 변화를 나타낸 것이다. 그림 5에서 침투면적은 분포영상 전체면적에 대한 침투면적의 백분율로 표시하였다. 또한 그림 6에서 엽록소 형광방출의 세기는

영상 다중치로 나타내었는데 형광방출이 매우 약하게 나타나는 관계로 렌즈 조리개를 최대로 열었을 때의 값을 나타낸다.

그림 5에서 보는 바와 같이 살포 후 5분이 경과되었을 때 침투면적은 입자 피복률과 거의 비슷하였다. 따라서 이 시점까지는 제초제가 잎의 각 질부를 통과하는 작용을 하는 것으로 판단되었다. 그 후에 제초제는 잎맥을 타고 빠른 속도로 확산, 침투하는 것으로 생각된다.

대략 30분이 경과한 후에는 침투가 거의 전 면적에 걸쳐 이루어지고 침투속도가 현저히 감소하는 경향을 보였다. 또한 제초제 살포 후 약 100분 후에는 잎 전체에 침투가 완료되는 것이 관찰되었다.

또한 입자 피복률이 증가되면 침투되는 속도가 증가되는 것으로 판단되었다. 그러나 표 1에서 보는 바와 같이 부착입자의 크기가 작으면 피복률이 높아도 상대적으로 침투속도가 빠르지 않은 경향을 보였다. 이는 입자크기가 너무 작을 경우 제초제의 농도가 낮아 효과적인 침투가 어렵기 때문인 것으로 추정되었다.

그림 6에서 보는 바와 같이 시간이 지남에 따라 제초제에 의한 엽록소 형광방출의 세기는 약간 증가하다가 25분을 경과하여 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 앞서 설명한 바와 같이, 제초제의 농도에 관계된 현상으로 침투면적이 증가하면서 농도가 낮아지기 때문으로 생각된다.

제초제 살포 후 약 100분이 경과하여 침투가 끝난 다음 형광방출은 거의 일정한 세기로 관찰되었다. 그 후 잎의 색은 진초록에서부터 옅은 초록으로 변하는 것이 관찰되어 잡초의 고사가 시작되는 것으로 판단하였다.

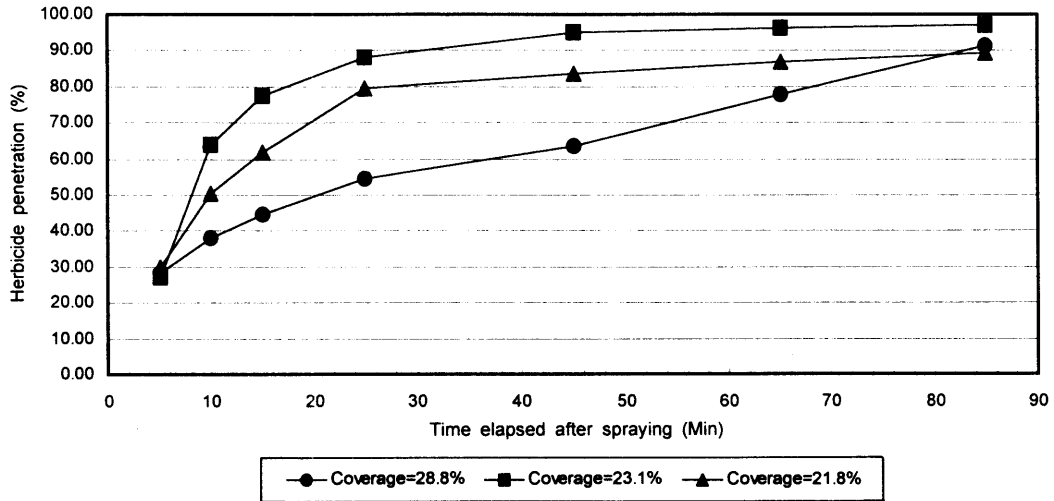


Fig. 5 The change in herbicide penetration with time elapsed after spraying.

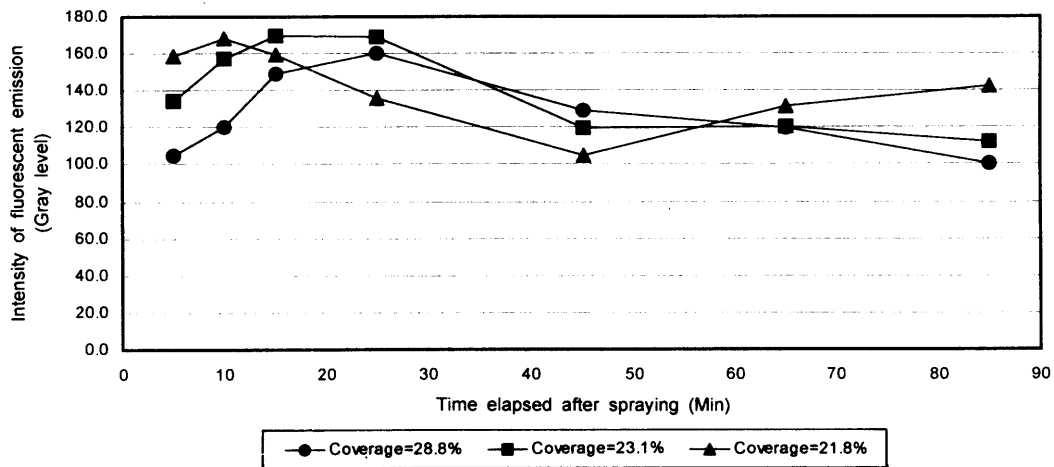


Fig. 6 The change in the intensity of fluorescent emission with time elapsed after spraying.

본 연구에서는 제초제와 잡초 1종에 대해 제초제 살포 품질과 침투성에 대해 고찰하였다. 그러나 본 연구에서 제시한 접근법을 이용하여 향후 다양한 실험을 수행함으로써 보다 효과적인 제초제 사용을 위한 피복률, 입자크기, 제초제의 농도 등을 구명할 수 있을 것으로 생각된다.

4. 요약 및 결론

현재 제초제의 사용량을 줄이고 방제효율을 높

이려는 친환경적인 방제기술이 연구되고 있다. 이를 위해 제초제 살포 후 잎 내의 약제침투와 이동 특성을 이해하는 것이 선행되어야 한다.

본 연구에서는 기계시각 기술을 이용하여 제초제의 살포품질과 엽록소 형광방출을 측정하고, 살포품질과 제초제의 잎 침투특성을 상관하는 기초 기술을 개발하고자 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 제초제의 살포품질은 형광염료와 자외선조명

으로 측정하였으며, 적색 영역의 엽록소 형광방출은 청록색 조명장치와 렌즈에 청록색 제거 필터를 조합함으로써 측정하였다.

(2) 잎에 대한 제초제 피복도가 낮으면 부착 입자수가 적고 입자크기는 큰 것으로 나타났다.

(3) 제초제는 살포 후 대략 90분내에 전체 잎의 90%이상 침투하였으며 어린잎에 대한 침투는 상대적으로 빠른 것으로 나타났다.

(4) 제초제는 주로 엽맥을 타고 침투하며 살포 후 약 100분이 경과하여 잎 전체에 대한 침투가 완료되었으며 잎의 고사가 시작되었다.

(5) 입자 피복률이 증가되면 침투되는 속도가 증가되었으나 입자의 크기가 작으면 피복률이 높아도 침투속도가 빠르지 않은 경향을 보였다.

(6) 제초제 살포 후 엽록소 형광방출의 세기는 증가하다가 25분을 경과하여 감소하는 경향을 나타내었으며, 침투면적이 증가하면서 농도가 낮아지기 때문으로 추정되었다.

(7) 본 연구에서 제시한 접근법을 이용하여 향후 다양한 실험을 수행함으로써 보다 효과적인 제초제 사용을 위한 피복률, 입자크기, 제초제의 농도 등을 구명할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Buhler, D. D. and O. C. Burnside. 1984. Effect of application factors on post-emergence phytotoxicity of fluazifopbutyl, haloxyfop-methyl and sethoxydim. *Weed Science* 32:574-583.
2. Cranmer, J. R. and D. L. Linscott. 1990. Droplet makeup and the effect on phytotoxicity of glyphosate in velvetleaf. *Weed Science* 38: 406-410.
3. Krause, G. H. and E. Weis. 1984. Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology II. Interpretation of fluorescence signals. *Photosynthesis Research* 5:139-157.
4. Pike, D. R., M. D. McGlamery and E. L. Knake. 1991. A case study of herbicide use. *Weed Technology* 5:639-646.
5. Sundaram, A. and K. M. S. Sundaram. 1992. Use of a fluorescent pigment dye and a chemical tracer to quantify aerial spray deposits on collection surfaces. *Journal of Environ. Sci. Health B27(2):165-184.*
6. Van Grondelle, R., J. P. Dekker, T. Gillbro and V. Sundstrom. 1994. Energy transfer and trapping in photosynthesis. *Biochem. Biophys. Acta* 1187: 1-65.