

대두(*Glycine max*)의 성장 및 번식 특성에 미치는 제초제의 영향

강혜순·하승희

성신여자대학교 생물학과

적 요: 제초제는 잡초 방제를 위해 수 십 년간 사용되어 왔다. 만약 제초제에 노출된 작물이 이의 해독에 많은 에너지를 소비한다면 제초제 처리는 작물의 성장과 번식 기능에 대한 자원 분배에 영향을 미치게 될 것이다. 본 연구에서는 대두(*Glycine max*)의 발아 전/후 2회 제초제를 처리한 뒤 비처리군, 저농도군, 고농도군의 제초제 처리군을 설정하여 제초제가 대두의 발아와 성장 및 번식 특성에 미치는 효과를 조사하였다. 대두의 개화 시기가 두 무리로 분리되어 본 연구에서는 개화 시기도 변인으로 설정하였다. 대두의 발아율은 다른 두 처리군에 비해 저농도군에서 높은 경향이 있었다. 2차 제초제 처리 후 잎의 황화현상 및 형태 변이가 나타났으나 제초제 처리 6주 후에는 완전히 사라졌다. 성장 특성에 대한 제초제의 효과는 초기와 후기 개화군에 따라 다소 다르게 나타났으나 두 개화군 모두 성장 초기에는 비처리군에 비해 저/고농도군에서 성장특성 저해가 뚜렷하였다. 성장 후기에는 고농도군의 식물체가 가장 높은 생장률을 보였는데 이는 제초제를 처리한 대두가 보상 작용을 통해 어느 정도 회복되었음을 의미한다. 그러나 고농도군의 성장특성 저해는 성장 후기까지 지속되었다. 후기 개화군의 경우 비처리군이 저/고농도군보다 더 많은 뿌리혹을 생산하였으나 초기 개화군은 이러한 양상을 보이지 않았다. 개체 당 총 꽃수와 무게도 비처리군에 비해 저/고농도군에서 감소하였다. 따라서 본 실험은 제초제가 비목표 식물인 작물의 성장과 번식 특성뿐 아니라 대두에 공생하여 뿌리혹을 형성하는 질소 고정 박테리아의 발생과 성장에도 영향을 미치는 것을 보여주고 있다.

검색어: 제초제, *Glycine max*, 개화 시기, 자원분배, 뿌리혹

서론

제초제는 작물의 성장을 방해하는 잡초를 방제하여 잡초로 인한 작물의 수확량 손실을 최소화하기 위해 농업에서 널리 활용되고 있다. 일반적으로 제초제는 500D 미만의 분자량을 지닌 지질 친화성 유기 화합물이므로 식물의 세포의 기질과 세포막 등 세포질을 둘러싸고 있는 층으로의 침투가 가능하다 (Coulpland 1991). 식물체에 흡수된 제초제는 광합성의 전자 전달 과정 및 필수 아미노산, 지방산, 셀룰로오스 합성과정, 호흡 작용 등 식물체의 주요 과정을 저해하게 된다 (Boger and Sandmann 1989). 그러나 제초제는 식물의 종에 따라 치명적인 해를 주거나 해를 주지 않는 선택성을 지니게 되는데, 이러한 제초제 선택성은 식물 종간의 제초제 작용 부위에 대한 민감도, 제초제의 흡수 및 이동, 물질대사 등의 차이에 의해 결정된다 (Owen 1987). 특히 식물 종간의 물질 대사 차이가 제초제 선택성에 매우 중요한 요소이기 때문에 제초제에 대한 식물의 반응은 종에 따라 차이를 보이게 된다. 일반적으로 잡초는 제초제에 대한 물질 대사 능력이 매우 낮아 치명적인 해를 입게 되나 작물은 제초제를 빠르게 물질대사시켜 비독성 물질로 전환하여 해를 입지 않는다 (Cole 1994).

제초제는 작물의 성장과 수확량에 긍정적으로 작용하거나 아무런 영향을 주지 않는다 (Schment and Kells 1998). 땅콩의

경우 대조군과 제초제 처리군 식물체의 꼬투리 무게가 비슷하게 나타났으며, 수확량은 오히려 처리군에서 증가되었다 (Grichar *et al.* 1997). 제초제를 처리한 경작지에 후속적으로 작물을 재배한 실험에서도 이러한 긍정적 효과가 증명된 바 있다 (Zaki *et al.* 1995). 그러나 제초제에 노출된 작물은 이의 해독에 많은 에너지를 소비한다 (Cole 1994, Coleman 1997). Bergelson과 Purrington(1996)은 제초제에 대한 식물의 저항 비용이 초식동물이나 질병에 대한 저항 비용보다 각기 2.1배, 1.1배 정도 더 높음을 보고하여 식물이 제초제의 해독에 많은 자원을 배분하고 있음을 밝혔다. 그렇다면 제초제가 작물의 성장과 번식 기능에 부정적으로 작용할 가능성은 매우 높다. 제초제 처리된 수수는 성장 초기에서 수확기에 이르기까지 생장이 감소하였다 (Rus-sin *et al.* 1995). 완두와 편두의 경우 엽록소의 함량, 광합성률, 생체량이 감소되었고 줄기 생장도 감소되거나 중지되었다 (Gealy *et al.* 1995). 뿌리혹을 가진 콩과 식물인 *Lupinus*에서는 뿌리혹 생장이 억제된 결과를 보였다 (Johnen and Drew 1979). 이는 제초제가 뿌리혹에 공생하는 미생물의 뿌리혹 개시 효소 활성을 감소시키기 때문으로 밝혀졌다 (Sawicka *et al.* 1996). 제초제의 부정적인 영향은 번식 특성에서도 나타나 작물의 개화와 성숙이 지연되고 종자 생산도 감소하였다 (Gealy *et al.* 1995, Monks *et al.* 1999). 이러한 결과들은 작물에 대한 제초제의 효과가 항상 긍정적인 것이 아님을 보여준다.

우리 나라에서는 1970년대 이후 20여년 간 연평균 10% 이상

의 빠른 속도로 제초제를 포함한 살충제, 살균제 등의 농약 사용량이 증가하다가 최근에 이르러 증가가 느려지는 경향을 보이고 있다. 그러나 우리 나라 단위 경작지 당 농약 사용량은 경제협력개발기구(OECD) 회원국 중 일본($1,259 \text{ Kg/km}^2$)에 이어 2 번째($1,205 \text{ Kg/km}^2$)로 많다. 이는 OECD 평균 사용량의 28배, 미국의 14배, 덴마크의 7배이며 농약 최소 사용국인 뉴질랜드보다는 무려 48배나 높은 수준이다 (제주도 농업 기술원 1999). 따라서 제초제 등의 농약이 재배 작물의 생장과 번식 기능에 대한 자원 분배에 영향을 미칠 가능성은 매우 높다. 외국의 경우 제초제의 잡초 방제 효과와 작물의 제초제 해독 기작 등에 대한 연구는 물론 제초제가 재배 작물에 미치는 효과에 대해서도 많은 연구가 이루어져 왔다. 우리 나라에서도 이에 대한 연구가 다소 보고된 바 있으나 외국에 비해 매우 부족한 실정이다. 제초제에 대한 식물의 반응은 식물 종에 따라 다를 뿐 아니라 제초제의 유형, 살포 시기, 혼합액, 살포 전/후의 온도, 습도 등 환경 상태나 그 밖의 다른 환경 요인들이 상호작용하여 매우 복잡하고 다양한 양상으로 나타난다 (Kurtz 1996, Nimal *et al.* 1996). 따라서 우리 나라에서 재배 작물을 이용한 연구가 요구된다. 또한 많은 연구들이 식물체의 어느 한 부분이나 생활사의 한 부분에서 이루어지고 있어 제초제가 식물의 전 생활사를 통해 생장과 번식 기능에 대한 자원 분배에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구는 미흡한 상태이다. 본 연구에서는 우리 나라 주요 재배 작물인 대두의 전 생활사를 통해 이를 파악하고자 한다.

본 연구에서는 대두(*Glycine max*)의 발아 전/후 제초제를 처리하여 식물체의 생장과 번식에 미치는 효과를 조사하였다. 대두의 각 생육 단계에 나타나는 제초제 효과를 비교하기 위해 측정 시기를 독립 변인으로 설정하였다. 연구 과정 중 모든 제초제 처리군에서 개화 시기가 명확히 두 무리로 나뉘었다. 따라서 초기와 후기의 개화 시기도 독립 변인으로 사용하여 대두의 생장과 번식에 미치는 제초제 효과와 개화 시기 효과를 동시에 분리한 후 특히 다음의 세 가지 의문점을 조사하였다. 첫째, 제초제 처리군간에 종자 발아율, 식물체의 키, 잎의 총면적, 생장률, 건량 같은 생장 특성의 차이가 있는가? 둘째, 제초제 처리군간에 뿌리혹 수와 무게 같은 뿌리혹 특성의 차이가 있는가? 셋째, 제초제 처리군간에 개화 시기, 꽃의 수와 무게, 꼬투리 형성 시기, 꼬투리의 수와 무게 같은 번식 특성의 차이가 있는가? 넷째, 제초제 처리와 개화 시기가 이들 생장과 뿌리혹 및 번식 특성에 어떤 영향을 미치는가?

재료 및 방법

재 료

우리 나라의 주요 재배 작물인 대두(*Glycine max*)를 실험 재료로 선택하였다. 대두는 1년생 초본으로서 높이 60 cm 정도로 자란다. 원줄기의 첫째 마디에는 자엽(떡잎), 둘째 마디에는 초생엽(단엽)이 대생하며 제 3엽부터는 3개의 소엽으로 구성된

복엽이 착생한다. 7~8월에 암술 하나, 수술 10개를 가진 보라색 또는 백색의 나비 모양 꽃이 총상화서에 달린다. 꽃이 지고 약 4주 후에 열매가 성숙되며 한 꼬투리 당 보통 2-3개의 종자가 들어 있다 (김 1996).

파종 및 생육 조건

본 실험에서는 우리 나라의 밭 잡초 방제에 널리 이용되고 있는 alachlor 성분의 라쏘 제품을 제초제로서 이용하였다. 제초제 처리군은 우리 나라에서 표준 사용 농도로 알려진(동부 한농 화학 1999) 500배 희석(물 1 l 당 제초제 2 ml) 농도를 고농도군으로, 1000배 희석(물 1 l 당 제초제 1 ml) 농도를 저농도군으로, 제초제를 넣지 않은 경우를 대조군으로 설정하였다. 시장에서 판매되고 있는 대두 종자를 구입하여 2000년 5월 각 처리군 당 336개씩의 종자를 플러그 트레이에 파종한 뒤 2일 후 저/고농도군 각 트레이에 3 l 씩 1차 제초제 처리를 하였다. 5월 말 발아 시기가 비슷한 개체를 70개씩 선택하여 직경 10 cm의 비닐 포트로 1차 이식하였다. 1차 제초제 처리 4주 뒤인 6월 중순 한 화분 당 40 ml씩 2차 제초제 처리를 하고 6월 말 직경 25 cm의 화분으로 2차 이식하였다. 토양은 원예 상토, perlite, 모래, 야산의 흙을 3:3:3:1로 섞어 사용하였다. 2~3일 간격으로 물을 주었으며, 전 생육 기간 동안 주기적으로 화분의 위치를 이동시켜 위치 효과를 배제시켰다.

생장 특성

발아 시작 후 8일 동안 발아율을 측정하였다. 1차 제초제 처리 후 4주(6월 14일) 뒤, 2차 제초제 처리 후 3(7월 6일)/7(8월 2일)/11주(8월 31일) 뒤에 식물체의 키, 잎의 수, 가장 큰 잎의 가로와 세로 길이를 측정하였으며(각기 1/2/3/4차 측정), 가장 큰 잎의 가로 길이×세로 길이 × 0.75 × 잎의 수를 계산하여 잎의 총 면적으로 삼았다. 측정된 식물체의 키를 기준으로 생장률을 계산하였다. 예를 들어 2차 측정 시의 생장률은 2차 측정 시의 키/1차 측정 시의 키 × 100으로 구하였다. 따라서 1차 측정 시의 생장률은 구할 수 없었다. 2차 제초제 처리 후에는 각 측정 시기에 각 처리군 당 10개체씩을 무작위로 선택하여 수확하였다. 이들의 지상부와 뿌리를 분리하여 50°C의 건조기에서 5일간 건조시킨 다음 건량을 측정하였다. 단 4차 건량 측정 시에는 초기 개화군의 개체수를 유지시키기 위해 비개화 개체군에서만 선택하여 측정하였다. 측정된 지상부와 뿌리 건량을 기준으로 뿌리 건량/지상부 건량을 계산하여 지상부에 대한 뿌리 건량 비율로 삼았다.

뿌리혹 특성

9월 말에 식물체를 최종 수확한 후 각 처리군 당 10개체씩을 무작위로 선택하여 뿌리혹의 총 수와 무게뿐 아니라 각 개체에서 큰 뿌리혹 20개씩을 분리하여 직경과 무게를 측정하였다.

번식 특성

대두의 개화 시기를 측정하였다. 모든 제초제 처리군에서 동일하게 7월 중순과 8월 중순에 개화하는 두 무리로 나뉘게 되어(각기 40%와 60%) 각기 초기 개화군과 후기 개화군으로 구분하였다. 7월 말 초기 개화군의 각 처리군에서 무작위로 각기 10개체씩 선택, 개체 당 5개의 꽃을 채집하였다. 각 개체별로 채집된 꽃을 봉투에 넣어 건조기에서 7일간 건조시킨 다음 무게를 측정하였다. 개체 당 꽃의 총 수를 세어 개체 당 꽃의 총 무게를 계산하였다. 하나의 꽃과 한 화서에서의 개화 기간도 측정하였다. 본 실험의 주요 목적은 대두에 미치는 제초제 효과를 알아보고자 한 것이므로 후기 개화군의 꽃 특성은 측정하지 않았다. 수확기에 후기 개화군의 꼬투리는 미성숙 상태였기 때문에 개체 당 꼬투리의 총 수, 무게 및 배주의 수는 초기 개화군에서만 측정하였다. 측정된 꽃과 꼬투리의 총 수를 기준으로 총 꽃수에 대한 총 꼬투리 생산 비율도 구하였다. 그러나 많은 꼬투리가 균류에 감염되어 발육이 정지되었기 때문에 종자 생산량은 알 수 없었다.

분석

측정 시기, 개화 시기, 제초제 처리를 독립 변인으로, 식물체의 생장 특성과 번식 특성을 종속 변인으로 설정하였다. 왜도와 첨도를 기준으로 정규 분포를 검정한 결과 모두 정규 분포를 따랐다. 생장 특성에 대한 세 독립 변인들의 동시적인 효과를 알아보기 위해 3원 분산분석을 수행하였다. 3차, 2차의 상호작용이 유의한 경우 상호작용이 있는 한 독립 변인에 대하여 데이터를 분리한 후 2원, 1원 분산분석하였다. 단 생장 특성 중 건량은 대두의 개화 이전에 수확하여 측정하였기 때문에 건량에 대한 개화 시기 효과는 배제되었다. 번식 특성의 경우 대부분 초기 개화군에서만 1회씩 측정되어 번식 특성에 대한 측정 시기, 개화 시기 효과가 배제되어 1원 분산분석을 통해 제초제 효과만을 알아보았다. 생장 특성과 번식 특성간의 관계를 알아보기 위해 상관분석을 수행하였으며 모든 통계분석은 SAS (19-85)를 이용하였다.

결과

생장 특성

관찰기간 내내 다른 처리군보다 저농도군에서 종자 발아율이 높은 경향이 있었지만 세 처리군에서 최종 발아율은 62.2%~68.8%로 처리군간 큰 차이가 없었다 (Fig. 1).

2차 제초제 처리 후 하루 뒤 두 처리군 모두 잎의 가장자리가 안쪽으로 말려들어 가기 시작했고 2~3일 후에는 잎 가장자리 부분에서 저농도군은 잎 총면적의 2~3%, 고농도군은 5% 정도 황화현상이 일어났다. 시간이 경과함에 따라 잎 가장자리의 말림과 황화현상이 계속 진행되어 1주 후에는 그 손상 정도가 각기 5%와 15% 정도로 증가하였다. 2주 후 황화현상은 감소되었으나 잎이 짙은 엷록색을 띠면서 두꺼워졌고 주글주글한 주름이 생기거나 잎 끝과 기부가 붉은 형태로 등글게 말린 잎

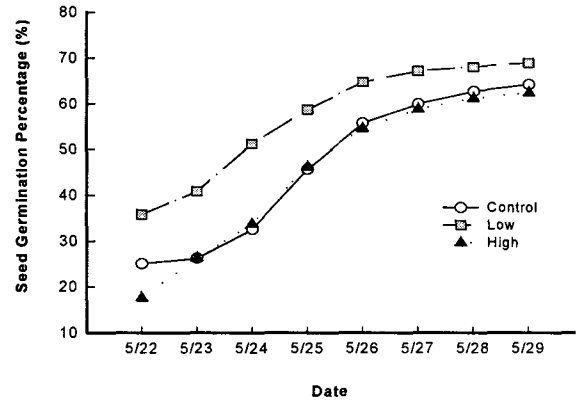


Fig. 1. Cumulative percentage of seed germination in *Glycine max* over time according to herbicide treatment. Control, Low, and High represent the three levels of herbicide treatment.

들이 나타났다. 3주 후에는 황화현상이 각기 2%와 5% 정도로 감소하였으나 다른 손상들은 그대로 유지되었다. 4주 후 황화현상이 사라졌으며, 등글게 말린 잎들 중 일부가 퍼져 잎의 끝부분이 자라지 못한 상태로 남아 있었다. 5주 후에는 말렸던 잎이 모두 퍼져 그 흔적만이 남아 있었고 짙은 엷록색을 띠면서 두껍고 주글주글했던 잎의 흔적은 거의 사라졌다. 6주 후에는 잎의 모든 손상이 거의 사라졌다.

생장 특성에 대한 측정 시기, 제초제, 개화 시기의 동시적인 효과를 알아보기 위해 3원 분산분석을 수행하였다. 그 결과 키를 제외하고 잎 면적, 생장률에 대한 3차 상호작용이 유의하였다 (Table 1). 후속적으로 측정 시기에 따라 데이터를 분리하여 2원 분산분석하였을 때 제초제x개화 시기의 2차 상호작용은 각 생장 특성과 측정 시기에 따라 다양한 양상으로 나타났다 (Table 2).

2차 측정 시를 제외한 측정 시기에서 키에 대한 제초제x개화 시기의 2차 상호작용은 없었고 제초제와 개화 시기 효과는 생장 후기까지 지속되었다 (Table 2). 2차 측정을 제외한 대두의 전 생활사에서 두 개화군 모두 비처리군과 저농도군의 평균 키는 비슷하였고, 고농도군의 개체는 1, 3, 4차 측정 시 모두 이들보다 키가 유의하게 작았다 (Fig. 2A). 2차 측정 시 초기 개화군의 키도 비처리군과 저농도군에 유의한 차이 없이 고농도군의 키는 이들보다 유의하게 작았으나($F_{2,55} = 41.46, P=0.0001$) 후기 개화군의 경우 비처리군은 저농도군에 비해 1.1배, 고농도군에 비해 1.4배 유의하게 키가 컸다 ($F_{2,92} = 63.86, P=0.0001$). 초기와 후기 개화군 개체의 키는 전반적으로 1, 2차 측정 시 두 개화군간에 큰 차이를 보이지 않았으나(Fig. 2A) 3, 4차 측정에서는 후기 개화군의 키가 각기 1.5배, 1.4배나 컸다.

대두의 키와는 상대적으로 잎 면적의 경우는 2차 측정 시기를 제외한 모든 측정 시기에서 제초제x개화 시기의 2차 상호작용이 나타나(Table 2) 개화 시기에 따라 데이터를 분리하여 1원 분산분석하였다. 생장 초기에는 두 개화군 모두 전반적으로 비

Table 1. Three-way ANOVA of the effects of measurement time, herbicide treatment and flowering time on the height, total leaf area and growth rate of *Glycine max*

Source of variation	Height			Total leaf area			Growth rate		
	df	F	P	df	F	P	df	F	P
Measurement time (MSTM)	3	3434.87	****	3	1061.05	****	2	1406.93	****
Herbicide treatment (HB)	2	138.60	****	2	40.37	****	2	4.84	**
Flowering time (FLTM)	1	673.59	****	1	667.52	****	1	64.84	****
MSTM * HB	6	6.95	****	6	11.40	****	4	23.10	****
MSTM * FLTM	3	280.46	****	3	330.16	****	2	338.40	****
HB * FLTM	2	4.21	*	2	11.98	****	2	1.57	ns
MSTM * HB * FLTM	6	0.55	ns	6	6.27	****	4	3.68	**
Model	23,590	630.17	****	23,580	283.33	****	17,437	213.97	****

* P≤0.05; ** P≤0.01; *** P≤0.001; **** P≤0.0001; ns = not significant.

Table 2. Two-way ANOVA of the effects of herbicide treatment and flowering time on the height, total leaf area and growth rate of *Glycine max*, according to measurement time

Source of variation	Herbicide treatment (HB)			Flowering time (FLTM)			HB * FLTM			Model		
	df	F	P	df	F	P	df	F	P	df	F	P
Height												
First	2	67.99	****	1	7.99	**	2	1.74	ns	5,147	30.09	****
Second	2	106.77	****	1	19.27	****	2	3.94	*	5,148	45.79	****
Third	2	43.41	****	1	502.80	****	2	1.72	ns	5,147	121.64	****
Fourth	2	12.07	****	1	440.53	****	2	0.39	ns	5,145	96.84	****
Total leaf area												
First	2	79.51	****	1	24.55	****	2	5.16	**	5,142	44.25	****
Second	2	202.48	****	1	2.36	ns	2	1.77	ns	5,146	84.85	****
Third	2	52.02	****	1	275.69	****	2	13.88	****	5,146	91.95	****
Fourth	2	11.01	****	1	440.90	****	2	6.80	**	5,143	102.29	****
Growth rate												
Second	1	8.68	***	1	64.58	****	2	2.75	ns	5,148	16.95	****
Third	1	42.36	****	1	827.24	****	2	4.90	**	5,141	185.38	****
Fourth	1	7.30	***	1	1.72	ns	2	0.96	ns	5,146	3.47	**

* P≤0.05; ** P≤0.01; *** P≤0.001; **** P≤0.0001; ns = not significant.

처리군>저농도군>고농도군의 순서로 비처리군의 잎 면적이 저/고농도군보다 넓은 경향을 보였다 (Fig. 2B). 즉 1차 측정 시 초기 개화군의 비처리군 잎 면적은 저/고농도군보다 각기 1.4배, 2.2배, 후기 개화군은 각기 1.8배, 2.1배, 2차 측정 시 초기 개화군은 각기 1.4배, 3배(F_{2,52} = 34.24, P=0.0001), 후기 개화군은 각기 1.5배, 2.5배 넓었다 (F_{2,89} = 61.91, P=0.0001). 시간이 지남에 따라 비처리군과 저농도군 간 잎 면적 차이가 감소되기 시작하여 3차 측정 시 두 개화군 모두 비처리군과 저농도군의 잎 면적 차이는 사라졌으나 비처리군이 고농도군보다는 각기 1.3배, 1.5배 유의하게 넓어 비처리군과 고농도군의 유의한 차이는 지속되었다 (초기 개화군 F_{2,54} = 8.36, P=0.0007, 후기 개화군 F_{2,91} = 63.72, P=0.0001). 4차 측정 시에는 초기 개화군에서 잎

면적에 대한 제초제의 부정적 효과가 완전히 사라졌다 (F_{2,53} = 1.15, P=0.3243). 후기 개화군의 경우는 오히려 저농도군의 잎 면적이 비처리군과 고농도군보다 각기 1.3배, 1.4배 유의하게 넓었다 (F_{2,89} = 17.08, P=0.0001). 두 개화군의 잎 면적은 전 측정 시기에서 후기 개화군의 잎 면적이 넓게 나타났으며 (Fig. 2B), 그 차이는 식물체의 키에서와 같이 개화기 이후에 크게 증가하였다 (1~4차 측정 시 각기 1.3배, 1.1배, 1.6배, 3.4배).

생장률에 대한 개화 시기, 제초제 효과와 이들의 상호작용은 식물의 전 생활사에서 다양한 양상으로 나타났다 (Table 2). 2차 측정 시에는 제초제x개화 시기의 상호작용 없이 두 개화군 모두 대조군의 생장률이 고농도군보다 1.1배 높게 나타났다 (Fig. 2C). 그러나 시간이 지남에 따라 두 처리군의 생장률이 크

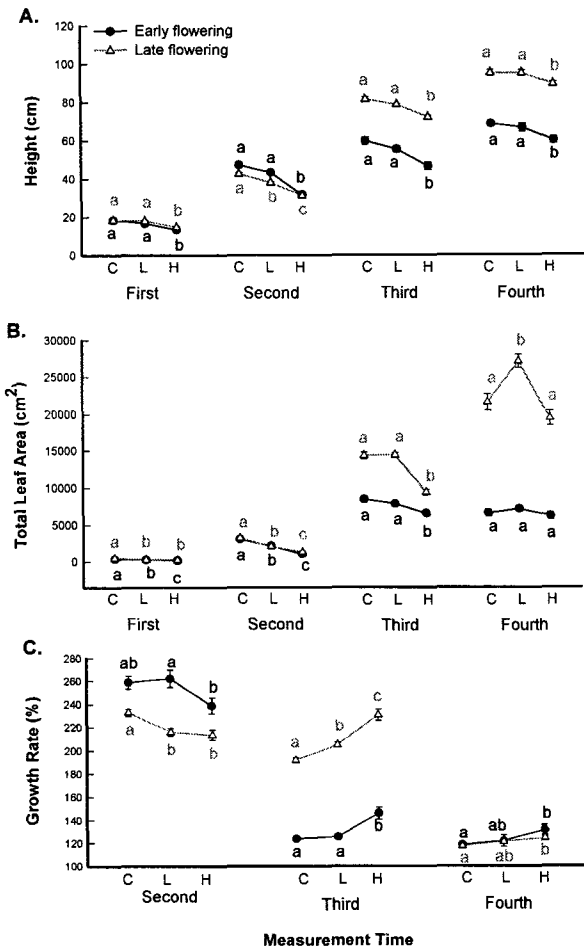


Fig. 2. Height (A), total leaf area (B), and growth rate (C) of *Glycine max* plants over four measurement times according to herbicide treatment and flowering time. C, L, and H represent the three levels of herbicide treatment: C = control, L = low, and H = high. Different letters on symbols indicate significant differences of the three treatment groups at each measurement time.

게 증가하였다. 특히 고농도군은 비처리군보다 3차 측정 시 1.2배(초기 개화군 $F_{2,51} = 14.11, P = 0.0001$, 후기 개화군 $F_{2,89} = 38.08$,

$P = 0.0001$), 4차 측정에서도 1.1배 유의하게 높은 생장률을 보였다. 두 개화군의 생장률은 2차 측정 시 초기 개화군이 1.1배정도 높았으나 3차 측정에서는 후기 개화군의 생장률이 1.6배나 높았다. 4차 측정 시의 생장률은 두 개화군의 차이가 없었다.

건량에 대한 개화 시기 효과는 배제되었기 때문에 측정 시기와 제초제의 동시적인 효과를 알아보기 위해 2원 분산분석하였다. 그 결과 지상부와 뿌리 건량에 대한 측정 시기 \times 제초제의 2차 상호작용이 나타났다 (Table 3). 측정 시기에 따라 데이터를 분리하여 1원 분산분석하였을 때 지상부는 2차 측정 시 비처리군이 저농도군보다 1.5배, 고농도군보다 3.6배나 유의하게 무거웠고(Fig. 3A; $F_{2,27} = 123.12, P = 0.0001$), 3, 4차 측정에서는 대조군과 저농도군간의 차이 없이 비처리군이 고농도군보다 각기 1.5배, 1.1배 유의하게 무거운 경향이 지속되었다 (3차 측정 $F_{2,28} = 19.46, P = 0.0001$; 4차 측정 $F_{2,27} = 5.86, P = 0.0082$). 뿌리의 건량은 2차 측정 시 비처리군 개체가 저/고농도군 개체보다 각기 1.5배, 3.4배정도 유의하게 무거웠으나(Fig. 3B; $F_{2,27} = 79.23, P = 0.0001$), 3차 측정 시 저농도군의 뿌리 건량이 가장 무거운 경향을 보였으며 비처리군 뿌리와는 차이 없이 고농도군보다 1.2배 유의하게 무거웠다 ($F_{2,28} = 4.24, P = 0.0255$). 4차 측정 시에는 비처리군과 고농도군간 차이 없이 오히려 저농도군 개체가 이들보다 1.3배 더 유의하게 무거운 뿌리를 가지고 있었다 ($F_{2,27} = 8.66, P = 0.0014$). 지상부에 대한 뿌리 건량의 비율은 측정 시기 \times 제초제의 2차 상호작용 없이(Table 3) 비처리군, 저농도군, 고농도군이 각기 $22.64 \pm 8.57\%$, $25.34 \pm 6.48\%$, $26.41 \pm 8.57\%$ 로 두 처리군이 비처리군보다 유의하게 높았다.

뿌리혹 특성

최종 수확한 식물체의 뿌리혹 총 수는 전체적으로 개체 당 76~787개였다. 비처리군, 저농도군, 고농도군의 개체 당 총 수는 각기 347.9 ± 220.6 , 205.0 ± 111.7 , 198.9 ± 80.6 개였다. 뿌리혹 총 수에 대하여 제초제 \times 개화 시기의 2차 상호작용이 유의하여 (Table 4), 개화 시기에 따라 데이터를 분리하여 1원 분산분석하였다. 초기 개화군의 뿌리혹 수에 대한 제초제 효과는 없었으나 (Fig. 4A; $F_{2,31} = 1.32, P = 0.2824$), 후기 개화군에서는 비처리군 식물이 제초제 처리한 식물보다 2배나 많은 뿌리혹을 생산하였다 ($F_{2,31} = 10.89, P = 0.004$). 두 개화군의 뿌리혹 총 수는 초기 개

Table 3. Two-way ANOVA of the effects of measurement time and herbicide treatment on dry weight (DWT) of shoot, root and root/shoot ratio of *Glycine max*

Source of variation	df	Shoot DWT		Root DWT		Root/Shoot ratio	
		F	P	F	P	F	P
Measurement time (MSTM)	2	652.22	****	401.48	****	113.06	****
Herbicide treatment (HB)	2	22.88	****	12.86	****	7.57	***
MSTM * HB	4	2.59	*	6.36	***	1.80	ns
Model	8,84	174.01	****	108.92	****	30.98	****

* $P \leq 0.05$; ** $P \leq 0.01$; *** $P \leq 0.001$; **** $P \leq 0.0001$; ns = not significant.

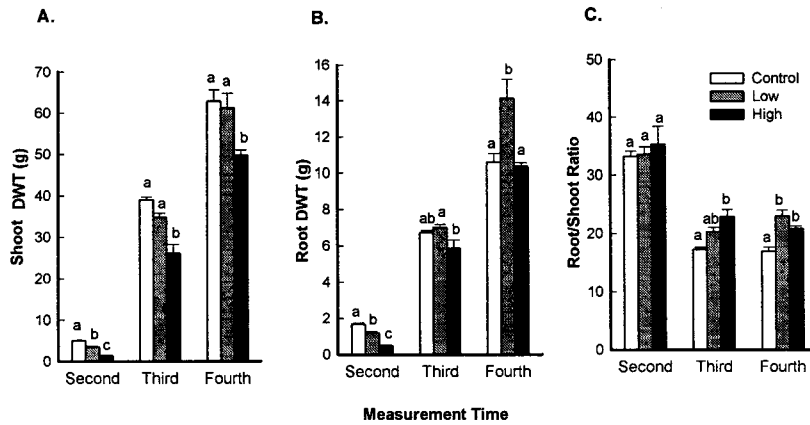


Fig. 3. Dry weight of shoots (A) and roots (B), and root/shoot ratios (C) of *Glycine max* over measurement times according to herbicide treatment. Different letters on symbols indicate significant differences of the three herbicide groups at each measurement time.

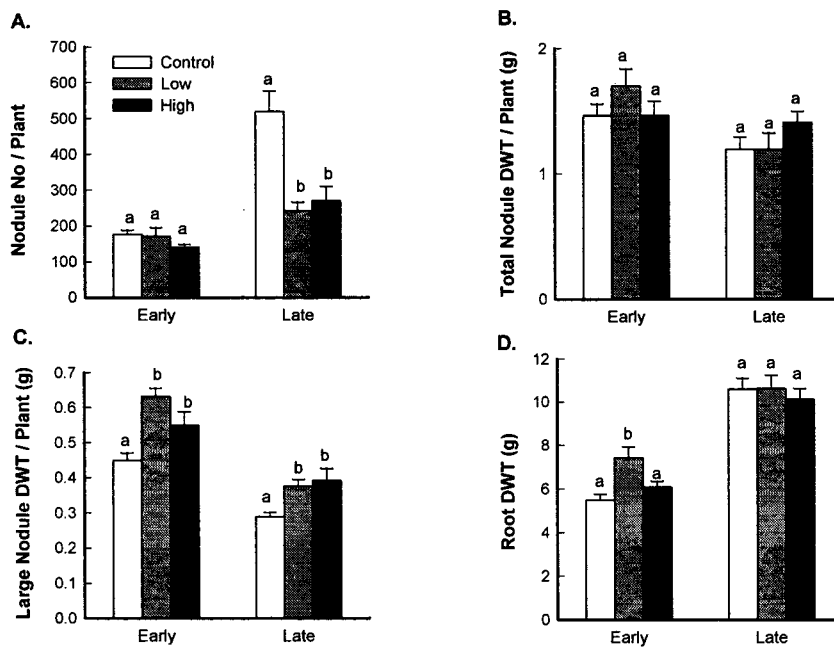


Fig. 4. The number (A) and total dry weight (B) of nodules, dry weight of large nodules (C) and dry weight of roots (D) of early and late flowering plants according to herbicide treatment. Control, Low and High represent the three levels of herbicide treatment. Different letters on symbols indicate significant differences of the three herbicide groups within plants flowering at the same time.

화군이 76~314개, 후기 개화군은 101~787개로 후기 개화군이 1.5~3배나 많은 뿌리혹을 생산하였다 (대조군/초기 개화군 = 176.2 ± 40.5 , 후기 개화군 = 519.6 ± 188.9 ; 저농도군/초기 개화군 = 171.3 ± 8.3 , 후기 개화군 = 242.3 ± 63.1 ; 고농도군/초기 개화군 = 139.8 ± 28.1 , 후기 개화군 = 270.2 ± 126.8). 개체 당 뿌리혹 수를 제외한 뿌리혹 총 건량, 큰 뿌리혹 건량, 뿌리 총 건량에서는 제초제 x 개화 시기의 2차 상호작용이 유의하지 않았다 (Table 4). 개체 당 뿌리혹의 총 건량에 대한 제초제 효과는 없었으나 개

화 시기는 유의한 효과를 보였다 (Fig. 4B). 즉 초기 개화군의 뿌리혹 총 건량이 후기 개화군보다 1.2배 더 무거웠다. 큰 뿌리혹 건량은 제초제와 개화 시기 두 변인이 모두 유의한 효과를 보였다. 즉 저/고농도군의 큰 뿌리혹 건량이 비처리군에 비해 각각 1.5배, 1.3배 더 무거운 유의한 차이를 보였고 (Fig. 4C), 초기 개화군이 후기 개화군보다 1.5배 더 무거운 큰 뿌리혹을 생산하였다. 개체 당 뿌리 건량에 대한 제초제 효과는 유의하지 않았으며 (Table 4), 단지 두 개화군간에만 유의한 차이를 보였

Table 4. Two-way ANOVA of the effects of flowering time and herbicide treatment on nodule number, nodule and root dry weight (DWT) of *Glycine max* at harvest

Source of variation	No nodules/plant			Total nodule DWT/plant			Large nodule DWT/plant			Root DWT		
	df	F	P	df	F	P	df	F	P	df	F	P
Flowering time (FLTM)	1	42.42	****	1	9.23	**	1	76.44	****	1	123.67	****
Herbicide treatment(HB)	2	12.27	****	2	0.68	ns	2	13.86	****	2	2.88	ns
HB * FLTM	2	9.14	***	2	1.96	ns	2	2.22	ns	2	2.25	ns
Model	5,59	18.51	****	5,62	2.92	*	5,61	22.15	****	5,62	26.99	****

* P≤0.05; ** P≤0.01; *** P≤0.001; **** P≤0.0001; ns = not significant.

다. 즉 후기 개화군 식물은 초기 개화군 식물이 비해 1.6배나 무거운 뿌리를 생산하였다 (Fig. 4D)

번식 특성

7월 4일부터 개화가 시작되어 8월 20일까지 진행되었다. 그러나 7월 21일에서 8월 1일까지 모든 제초제 처리군의 개화가 중지되어 이 시기를 기점으로 개화 시기가 두 무리로 나뉘었다 (Fig. 5A). 개화 차이로 인해 두 개화군의 꼬투리 형성 시기도 개화 시기와 비슷한 양상으로 분리되었다 (Fig. 5B). 세 처리군 모두 하나의 꽃은 2~3일간 개화가 지속되었고 한 화서의 개화 기간은 평균적으로 비처리군은 13일, 저농도군은 14일, 고농도군은 16일 동안 지속되었다. 꽃 하나는 전반적으로 평균 0.0082 ± 0.0018g 으로 제초제 효과는 없었다 (F_{2,29} = 0.9, P = 0.4169). 그러나 개체 당 꽃 수는 비처리군, 저농도군, 고농도군이 각기 206.3 ± 25.2, 177.0 ± 22.1, 148.1 ± 19.1개로 비처리군 > 저농도군 > 고농도군의 순서로 꽃의 수가 유의하게 많았다 (Fig. 6A; F_{2,29} = 16.00, P = 0.0001). 꽃의 총 무게도 비처리군과 저농도군은 유사하였으나 비처리군 꽃의 총 무게는 고농도군보다 1.5배나 무거웠다 (Fig. 6B; F_{2,29} = 21.30, P = 0.0001). 개체 당 꼬투리 총 무게는 오히려 저농도군의 꼬투리가 비처리군, 저농도군보다 각기 1.3배, 1.2배로 유의하게 무거웠으나(F_{2,29} = 5.40, P = 0.0107). 개체 당 총 꼬투리 수는 제초제 처리군간에 차이가 없었다 (Fig.

6C; F_{2,29} = 1.42, P = 0.2581). 총 꽃수에 대한 총 꼬투리 생산 비율은 전반적으로 66.0 ± 12.7%로서 제초제 효과가 유의하지 않았다 (Fig. 6D; F_{2,29} = 1.03, P = 0.3706). 한 꼬투리 당 배주의 수는 대조군과 두 처리군 모두 1~3개로 2개의 배주를 가진 꼬투리가 가장 많았다.

생장 특성과 번식 특성의 상관 관계

초기 개화군의 번식 특성은 다른 측정 시기와는 달리 2차 측정 시의 건량과 유의한 상관 관계를 보였다. 제초제 비처리군은 2차 측정 시의 지상부, 뿌리, 총 건량이 무거울수록 꽃의 수가 많았고(각기 r=0.64, 0.65, 0.69, 모두 P<0.05), 꽃의 총 건량도 무거웠다(각기 r=0.64, 0.65, 0.69, 모두 P<0.05). 저농도군은 뿌리와 총 건량이 무거울수록 꼬투리 무게가 무거웠으며(각기 r=0.75, 0.67, 모두 P<0.05), 고농도군은 뿌리 건량이 무거울수록 꼬투리 수가 많은 경향을 보였다 (r=0.68, P<0.05). 대조군에서는 뿌리혹이 많고 무거울수록 꼬투리수가 적어지는 부적의 상관 관계도 나타났다(각기 r=-0.76, -0.67, 모두 P<0.05). 이 외의 다른 상관 관계는 유의하지 않았다.

고 찰

제초제는 잡초를 방제하기 위해 콩 재배 시에도 널리 사용되

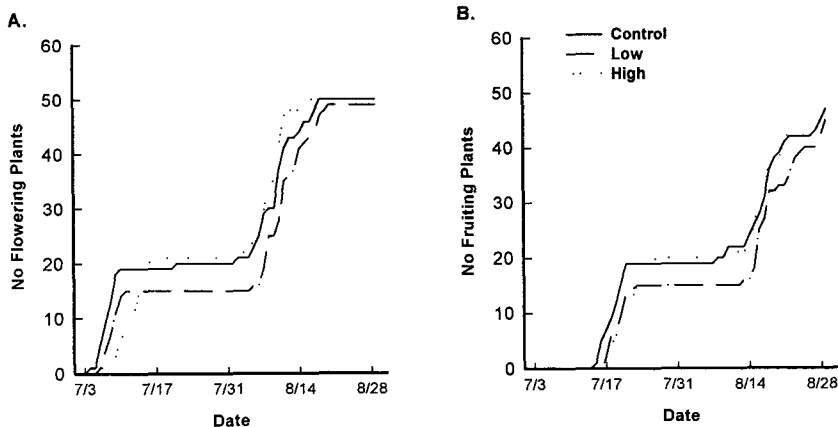


Fig. 5. Cumulative number of flowering (A) and fruiting (B) plants of *Glycine max* according to herbicide treatment.

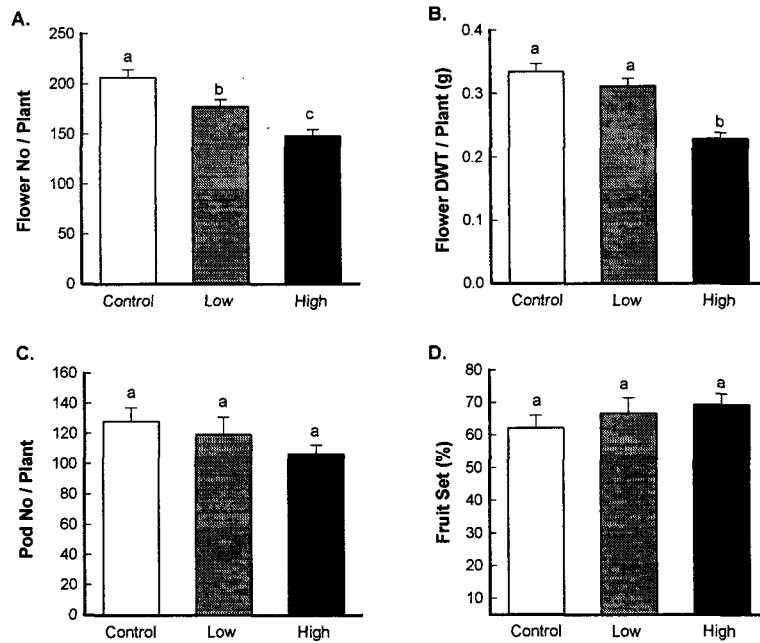


Fig. 6. Flower number (A), flower dry weight (B), pod number (C) and fruit set (D) per plant of *Glycine max* treated with different levels of herbicide. Different letters on symbols indicate significant differences of the three herbicide groups.

고 있으나 비목표 식물인 콩에도 발아에서 종자 형성에 이르기까지 모든 생활사 특성에 부정적 영향을 미쳐 문제가 되고 있다. 콩 품종에 따른 차이는 있으나 종자 발아 전의 제초제 처리는 발아율을 감소시키기도 한다. 랫소와 테브리놀을 사용 권장 농도로 콩에 처리하였을 때 제초제 처리군의 발아율이 비처리군에 비해 현저히 감소하였고 처리 농도가 증가함에 따라 발아율이 비례적으로 감소하였다 (한과 오 1990). 이에 반해 사용 권장 농도의 alachlor를 대두 종자에 처리할 경우 발아율에 아무런 영향을 미치지 않았다 (윤 등 1990). 랫소를 사용한 본 실험에서는 처리군에 따라 발아율은 62.2%에서 68.8%에 달하였다. 저농도군의 발아율이 비처리군보다 높은 경향을 보였고 비처리군과 고농도군의 발아율 차이도 2.2%로 작게 나타난 것으로 보아 제초제가 대두의 발아에 부정적으로 작용하지는 않았다. 제초제의 약해 정도는 토양 조건 즉, 토성, 유기물 함량, 토양 산소 함유도, 강우량 등에 따라 다른데 (Burnside 1972, Moomaw and Martin 1978) 특히 콩 종자의 발아에는 산소 요구도가 크기 때문에 사질성 토양일수록 발아율이 향상되고 약해는 감소한다 (Guh et al. 1979). 본 실험의 경우 사용 권장 농도를 고농도로 설정하였고, 모래가 30% 포함된 토양을 사용하였으므로 통기가 양호하여 제초제의 종자 발아 억제 효과가 뚜렷하지 않았을 가능성이 있다. 그러나 제초제의 대두 발아에 대한 효과를 정확히 확인하기 위해서는 각 처리군의 반복 표본이 필요하다.

제초제에 의한 작물의 성장 저해는 일반적으로 성장 초기에 뚜렷이 나타나게 되며 후기에는 어느 정도 회복이 이루어진다 (Nelson and Renner 1998). 제초제 처리된 완두와 편두의 성장

초기에 잎의 백화 현상과 함께 엽록소 함량이 25~30% 감소되었고 광합성도 37%나 감소하였다 (Gealy et al. 1995). 본 실험에서도 대두의 성장 초기에 저/고농도군 식물체에서 잎의 형태 변이 및 황화현상이 나타났다. 또한 성장 초기에 비처리군에 비해 저/고농도군의 키, 잎 면적, 성장률, 건량 등도 유의하게 작았다. 이 결과는 성장 초기에 제초제 처리한 대두의 지상부와 뿌리 건량이 비처리한 식물체에 비해 감소됨을 보인 바 있는 Scarponi 등(1996)과 일치한다. 이는 대두에 존재하는 P450, GSTs 등의 효소 복합체가 제초제를 물질 대사시키는 과정에 많은 에너지를 소비하게 되어 (Cole 1994, Andrews et al. 1997) 성장 특성에 대한 자원 분배가 감소한 결과라 사료된다. 그러나 시간이 지남에 따라 저/고농도군의 성장률이 비처리군보다 증가하였고 특히 고농도군의 성장률이 크게 증가하였기 때문에 성장 후기에는 세 처리군의 성장 특성 차이가 감소되거나 완전히 사라졌다. 잎의 형태 변이 및 황화현상도 제초제 처리 6주 후에는 완전히 사라졌다. 이러한 결과는 제초제에 의해 저해되었던 대두의 성장 특성이 보상 작용을 통해 대부분 회복되었음을 시사하고 있다. Prostko 등(1996)과 Alonge(2000)의 실험에서도 제초제 처리 시 성장 초기에는 대두의 지상부 성장과 생체량이 감소되었으나 시간이 지남에 따라 모두 회복되었다. 그러나 본 실험에서 성장 후기에 저농도군의 잎 면적이 비처리군보다 넓고 뿌리 건량도 무거운 정도로 회복되었지만 고농도군에 나타난 키, 지상부 건량 저해는 성장 후기까지 지속되었다. 제초제는 식물의 성장 과정 중 몇 개의 대사 작용을 억제함으로써 성장을 저해시키는데 (Deal et al. 1980) 일반적으로 저농도에

서는 1~2개의 대사 작용만을 억제하지만 고농도에서는 2차적인 영향으로 여러 가지 억제 현상이 유발된다 (Peregoy and Scott 1985). 따라서 생장 저해는 저농도군보다 고농도군에서 강하게 오랫동안 지속된 것으로 사료된다.

제초제가 뿌리혹 박테리아의 증식 및 무게에 영향을 미치지 않는다는 보고도 있으나(윤 등 1990) 일반적으로 제초제는 뿌리혹 박테리아에 직접 영향을 미치거나 기주 식물에 작용하여 간접적으로 뿌리혹 박테리아의 침투, 뿌리혹 형성력, 질소 고정 능력 등 뿌리혹 박테리아의 활성에 영향을 미치게 된다 (Grosbard 1976, Johnen and Drew 1979). Simon-Sylvestre와 Fournier (1979)은 뿌리의 비정상 생육이 콩의 뿌리혹 형성과 질소 고정 능력 감소를 가져온다고 하였다. 사용 권장 농도의 alachlor를 뿌리혹 박테리아 배지에 첨가했을 때 박테리아의 생존률이 27.4%나 감소한 결과는(Sin 1987) 사용 권장 농도의 제초제 처리 시에도 뿌리혹이 저해될 수 있음을 뒷받침해 준다. 본 실험에서는 제초제 처리된 식물의 제초제에 대한 반응이 개화 시기에 따라 다르게 나타났다. 뿌리혹 수에 있어서 초기 개화군은 제초제 처리군간에 유의한 차이를 보이지 않았으나 후기 개화군은 비처리군이 저/고농도군에 비해 뿌리혹 수가 유의하게 많았다. 완두에서도 제초제 처리 시 뿌리혹 크기보다 그 수가 크게 감소된 바 있다 (Gonzalez *et al.* 1996). 그러나 개체당 가장 큰 뿌리혹 20개만을 고려하였을 때 두 개화군 모두 저/고농도군의 뿌리혹이 비처리군의 그것보다 더 무거웠다. 일반적으로 뿌리혹은 분열 조직 활성이 초기에 중지되고 팽창에 의해 구형으로 자라 그 형태적 특성이 결정되는데(Stougaard 2000) 콩 파종 후 약 60-65일경이 되면 체적의 증대가 정지되고 70~80일 경에는 질소 고정 작용도 중지되며 뿌리혹은 퇴화해 버린다 (김 등 1988). 따라서 후기 개화군의 경우 제초제로 인해 뿌리혹의 형성 초기에 분열 조직 활성이 억제되어 뿌리혹이 적게 형성된 것으로 본다. 저/고농도군의 식물체가 더 큰 뿌리혹을 생산하였지만, 만약 뿌리혹 크기보다 그 수가 식물의 생장 및 번식에 더 중요하다면 뿌리혹 수의 감소는 작물의 수확량 감소를 가져올 수 있다. 그러나 본 실험 결과만으로 이러한 상관 관계를 확인할 수는 없으므로 이에 대한 연구가 요구된다.

제초제의 번식 특성에 대한 부정적 효과는 측정된 번식 특성 중 꽃의 생산에서만 나타났다. 꽃 하나의 무게 차이가 없었으나 비처리군 > 저농도군 > 고농도군의 순서로 꽃의 수가 유의하게 많아 꽃의 총 무게도 대조군이 고농도군보다 무거운 결과를 보였다. 타 작물에서는 제초제에 의해 개화와 꽃의 성숙이 지연된 바 있다 (Monks *et al.* 1999). 특히 타가수분 식물인 경우 종자 생산은 자성 가능하며 꽃 생산은 응성 기능이므로 제초제로 인한 식물의 응성 기능 저해를 유추해 볼 수 있다. 대두의 꼬투리 수에 대한 제초제 효과는 없었으나 다른 처리군에 비해 저농도군 꼬투리가 무거웠다. 그러나 꼬투리가 형성된 이후 성숙 과정에서 거의 모든 식물체의 꼬투리가 미성숙한 상태로 발육이 정지되고 균류 감염 현상이 일어나 꼬투리 무게가 큰 의미를 갖는 것은 아니라고 사료된다. 콩 재배 시 탄저병, 자주무늬병, 노

균병, 미이라병 등의 병해가 생기는데(Kmetz *et al.* 1979). 본 실험에서는 이중 꼬투리가 부패되고 종자가 쭈글쭈글해지는 미이라병 증상이 발생하였는데 미이라병균의 종자 감염율은 종자 형성기간과 성숙기의 높은 온도 및 습도와 깊은 관계가 있다 (Balducci and McGee 1987). 실제로 실험 진행 중 초기 개화군에서 꼬투리가 형성되고 성숙하는 7월 말에서 8월 초까지 장마와 태풍으로 인해 고온 다습한 기후가 지속되었다. 이러한 기후 조건으로 인해 초기 개화군의 꼬투리가 미이라병균에 감염되어 부패했을 가능성이 크다.

제초제 처리 시 대두의 수확량은 생장 초기에 나타나는 생장 기관의 손상 정도와 긴밀한 상관 관계를 갖는다 (Behrens and Leushen 1979). 본 실험에서도 특히 고농도군의 경우 생장 초기에 제초제에 의한 생장 특성의 저해가 뚜렷하였고 후기까지 그 저해 효과가 지속되었으므로 종자를 수확할 수 있었다면 종자 생산이 감소되었을 것으로 기대한다. 제초제 처리군간 총 꼬투리 생산 비율에 유의한 차이가 없었기 때문에 저/고농도군의 총 꽃수 감소 또한 종자 생산 감소를 예측할 수 있는 근거가 된다. 제초제가 대두의 꼬투리 생산과 수확량에 아무런 영향을 미치지 않거나(Prostko *et al.* 1996) 오히려 대두의 수확량을 증가시킨다는 보고도 있으나(Alonge 2000), 약해에 의한 수확량 감소는 콩의 품종에 따라 일반적으로 5~20%에 달한다 (Burnside 1972, Wax *et al.* 1976). 대두의 영양 생장에는 주로 지력 및 시비질소에 의한 amide-N이 이용되고 생식 생장은 주로 뿌리혹 박테리아에 의해 고정, 공급되는 Ureid-N이 이용되므로 (Streeter 1972) 제초제 처리 시 뿌리혹 박테리아의 활성 저하로 인한 질소고정 능력의 감퇴도 수확량 감소의 한 요인이 되는 것으로 생각된다.

본 실험에서는 개화 시기의 양분화로 인해 제초제 효과 외에 개화 시기 효과가 대두의 전 생활사에 나타났다. 특히 생장 후기에는 제초제 처리군간의 생장 및 번식 특성 차이가 크게 감소하거나 사라진 반면 두 개화군간의 식물체 키, 잎 면적, 생장률, 건량 등의 생장 특성, 뿌리혹 특성 및 꼬투리 형성 시기 차이가 뚜렷해졌다. 초기 개화군은 7월 중순, 후기 개화군은 8월 중순 개화 이후 생장률이 급격히 감소하였다. 그 결과 8월 초에 행해진 3차 측정 시 후기 개화군 식물체의 키가 크고 잎 면적도 유의하게 넓었으며 그 차이는 9월 초 4차 측정 시 더욱 증가되었다. 두 개화군간의 이러한 차이는 초기 개화 식물체의 경우 7월 개화 이후에 생장 기관에 대한 자원 분배를 감소시키고 번식 기관에 많은 자원을 분배하게 되나 후기 개화 식물체는 8월 개화 이후에야 유사한 자원 분배 변화가 일어난 결과로 사료된다. 4차 측정 시 두 개화군의 생장률 차이가 없었다는 사실은 이 때 두 개화군 모두 생장 기관에 대한 자원 분배가 극히 제한되었음을 보여준다. 최종 수확한 식물체의 뿌리 특성도 두 개화군간에 차이를 보여 생육 기간이 길었던 후기 개화군 개체들의 뿌리가 더 무거웠고 뿌리혹 특성 차이도 매우 뚜렷하였다. 즉 후기 개화군의 뿌리혹은 수가 많은 반면 크기는 작았고 초기 개화군의 뿌리혹은 수는 적었으나 크기가 큰 형태로 나타나 뿌

리혹 층 무게는 초기 개화군이 더 무거웠다. 뿌리혹 형성 과정 특성을 고려해 볼 때, 초기 개화군의 개화 시기인 7월 15일~20일 사이에 뿌리혹 형성 및 체적 증대가 정지되어 이미 이 시기에 두 개화군의 뿌리혹 수와 크기가 결정되었을 것이다. Lahiri 등(1993)은 동부속 식물의 경우 뿌리혹의 질소고정 효소 활성이 개화 시기에 최대에 달하며 그 이후에는 감소됨을 보여 뿌리혹과 개화가 연관되어 있음을 제시한 바 있다. 즉 개화 시기 차이로 인해 두 개화군의 뿌리혹 특성이 달라진 것이 아니라 뿌리혹의 특성 차이로 인해 개화 시기가 양분화되었을 수 있다. 그러나 본 연구 결과만으로 이런 인과 관계를 단정하기는 어렵기 때문에 생장 초기부터 수확기까지의 뿌리혹 박테리아의 생리적 활성에 대한 포괄적인 연구가 요구된다. 또한 개화 시기와 뿌리혹 특성간의 인과 관계가 규명되더라도 어떤 요인이 뿌리혹 특성 또는 개화 시기 차이를 유발시켰는지는 알 수 없으므로 개화 시기의 양분화를 설명하기에는 부족하다.

일반적으로 식물의 개화 현상은 줄기 정단부의 분열 조직이 꽃눈을 형성함으로써 시작된다. 대두는 영양 생장의 시기보다 빛을 받는 시간이 짧아질 때 개화하는 광주기에 매우 민감한 단일 식물이다 (Wilkerson *et al.* 1989). 즉 장일 광주기하에서는 영양 생장이 연장되므로 광주기에 의해 개화 시기가 달라질 수 있다. 그러나 제조제 처리 외에는 동일한 조건에서 자란 세 처리군 모두 동일하게 개화 시기가 양분화 되었으므로 광주기에 의해 개화 시기가 분리된 것은 아니라 사료된다. 종자 계통의 차이가 개화 시기의 양분화를 가져왔을 수도 있다. 콩은 품종에 따라 온도에 민감한 조생종과 광주기에 민감한 만생종의 두 생태형으로 나눌 수 있다. 조생종은 생육기간이 짧아 일찍 개화하고 15일간 개화 기간이 지속되는 반면 만생종은 개화 시기가 느리고 30~40일간 개화가 지속되며 생육 기간이 길다. 조생종/만생종의 종자가 같은 비율로 각각의 제조제 처리군에 사용되었을 가능성은 극히 적다. 그러나 차후의 실험에서는 계통이 확인된 종자를 사용하여 개화 시기의 변이를 줄여 더욱 명확한 제조제 효과를 분리할 필요가 있다.

생장 특성 및 뿌리혹 특성 등이 수확량과 밀접한 관계가 있다는 보고들은(Grossbard 1976, Behrens and Leushen 1979, Johnen and Drew 1979) 고농도로 처리된 대두에서 나타난 생장 특성 저해와 뿌리혹 수 감소로 인해 수확량이 감소될 가능성을 뒷받침해 준다. 타가수분하는 튜립에서 제조제로 인해 꽃자루가 비틀리고 꽃의 크기도 작아졌고 (Alkhatib 1996) 자가수분하는 대두에서도 제조제로 인해 꽃의 수가 매우 유의하게 감소한 결과는 제조제가 식물의 성적 자원 분배에 영향을 미쳐 번식 특성을 변화시킬 수 있음을 시사하고 있다. 제조제를 포함한 농약의 사용은 천적을 감소시켜 생태계를 파괴하기도 한다. 이미 우리 나라에서 농약의 지속적 사용이 곤충 군집에 피해를 가져오는 것으로 나타나고 있다 (농촌 진흥청 1997). 많은 곤충들이 타가 수분 식물의 매개자이기 때문에 농약의 과도한 사용은 식물의 수분과 수정의 성공도를 낮추는 결과를 가져올 것이다. 최근에는 제조제 등의 농약이 동물의 성적 분화 등에 큰 영향을

미치는 환경 호르몬으로서 문제시되고 있다 (Gillesby and Zacharewski 1998). 따라서 제조제 살포시 잡초 방제로 얻어지는 단기적 이득이 곤충, 토양 미생물 등 다른 생물에 대한 이차적 피해와 생태계 잔류로 빚어지는 장기적 피해를 능가하는지에 대한 엄밀한 평가가 필요하다고 사료된다.

사 사

본 연구는 교보생명교육문화재단의 2000년도 환경연구 지원으로 수행되었다. 초고에 조언을 해준 심사위원과 실험수행에 도움을 준 성신여자대학교 식물생태 연구실 대학원생들에게 사의를 표한다.

인용문헌

- 김석동, 유익동, 박의호. 1988. 근류균의 이용과 전망. 농진청 심포지엄 3: 96-113.
- 김태정. 1996. 한국의 자원식물 II. 서울대학교 출판부, 서울. pp. 234-235.
- 농촌 진흥청. 1997. 사람과 생물이 어우러지는 자연 환경의 보전·복원·창조 기술의 개발: 농촌 지역에서의 생물 서식공간 조성기술개발.
- 동부 한농 화학. 1999. 농약 기술 정보.
- 윤철수, 허상만, 손보균. 1990. 제조제 처리가 콩 생육 및 근류균 착생과 VA 균근균 감염에 미치는 영향. 한국잡초학회지 12: 16-30.
- 제주도 농업기술원. 1999. 새로운 제주농업 제 36호.
- 한인수, 오정행. 1990. 제조제 처리가 콩의 생육 및 근류 형성에 미치는 영향. 한국작물학회지 34: 303-309.
- Alkhatib, K. 1996. Tulip (*Tulipa* spp.), daffodil (*Narcissus* spp.), and iris (*Iris* spp.) response to preemergence herbicides. Weed Tech. 10: 710-715.
- Alonge, S.O. 2000. Effect of imazaquin applications on the growth, leaf chlorophyll and yield of soybean in the guinea savanna of Nigeria. J. Environ. Sci. Health-Part B 35: 321-336.
- Andrews, C.J., M. Skipsey, J.K. Townson, C. Morris, I. Jepson and R. Edwards. 1997. Glutathione transferase activities toward herbicides used selectively in soybean. Pesticide Sci. 51: 213-222.
- Balducchi, A.J. and D.C. McGee. 1987. Environmental factors influencing infection of soybean seeds by *Phomopsis* and *Diaporthe* species during seed maturation. Plant Disease 71: 209-212.
- Behrens, R. and W.E. Lueschen. 1979. Dicamba volatility. Weed Sci. 27: 486-489.
- Bergelson, J. and C.B. Purrington. 1996. Surveying patterns in the cost of resistance in plants. Am. Nat. 148: 536-558.

- Boger, P. and G. Sandmann. 1989. Target sites of herbicide action. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Burnside, O.C. 1972. Tolerance of soybean cultivars to weed competition and herbicides. *Weed Sci.* 20: 294-297.
- Cole, D.J. 1994. Detoxification and activation of agrochemicals in plants. *Pesticide Sci.* 42: 209-222.
- Coleman, J.O.D., M.A. Mechteld, T.G. Blake-Kalff and E. Davis. 1997. Detoxification of xenobiotics by plants: chemical modification and vacuolar compartmentation. *Trends Plant Sci.* 2: 141-151.
- Coupland, D. 1991. Predicting and optimising the translocation of foliage-applied herbicides-a plant physiologist's perspective. *Proceedings of the 1991 Brighton Crop Protection Conference -Weeds 2:* 837-846.
- Deal, L.M. and F.D. Hess. 1980. An analysis of the growth inhibitory characteristics of alachlor and metolachlor. *Weed Sci.* 28: 168-175.
- Gealy, D.R., C.M. Boerboom and A.G. Ogg. 1995. Growth and yield of pea (*Pisum sativum* L.) and lentil (*Lens culinaris* L.) sprayed with low rates of sulfonylurea and phenoxy herbicides. *Weed Sci.* 43: 640-647.
- Gillesby, B. E. and T. R. Zacharewski. 1998. Exoestrogens: mechanisms of action and strategies for identification and assessment. *Environ. Toxicol. Chem.* 17: 3-14.
- Gonzalez, A., C. Glnzulezmurua and M. Royuela. 1996. Influence of imazethapyr on rhizobium growth and its symbiosis with Pea (*Pisum sativum*). *Weed Sci.* 44: 31-37.
- Grichar, W., P.R. Nester and D.C. Sestak. 1997. Peanut (*Arachis hypogaea* L.) response to imazethapyr as affected by timing of application. *Peanut Sci.* 24: 10-12.
- Grossbard, E. 1976. Effects on the soil microflora. In P.C. Kearney and D. Kaufman (eds.), *Herbicides*. Academic Press, London. pp. 99-147.
- Guh, J.O., Y.J. Kim and W.Y. Choi. 1979. Qualitative development of herbicide use in soybean production. *Korean J. Crop Sci.* 24: 89-103.
- Ishimi, Y., C. Miyaura, M. Ohmura, Y. Onoe, T. Sato, Y. Uchiyama, M. Ito, X.X. Wang, T. Suda and S. Ikegami. 1999. Selective effects of genistein, a soybean isoflavone, on B-lymphopoiesis and bone loss caused by estrogen deficiency. *Endocrinology* 140: 1893-1900.
- Johnen, B.G. and E.A. Drew. 1979. Studies on the effect of pesticides on symbiotic nitrogen fixation. Cited in *Soil-Borne Plant Pathogens*, B. Schippers and W. Gams, Academic Press, London.
- Kmetz, K.T., C.W. Ellett and A.F. Schmitthenner. 1979. Soybean seed decay: Sources of inoculum and nature of infection. *Phytopathology* 69: 798-801.
- Lahiri, K., S. Chattopadhyay, S. Chatterjee and B. Ghosh. 1993. Biochemical changes in nodules of *Vigna mungo* (L.) during vegetative and reproductive stages of plant growth in the field. *Annals Bot.* 71: 485-488.
- Monks, C.D., M.G. Patterson, J.W. Wilcut and D.P. Delaney. 1999. Effect of pyriithiobac, MSMA, and on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) growth and weed control. *Weed Tech.* 13: 6-11.
- Moomaw, R.S. and A.R. Martin. 1987. Relation of metribuzin and trifluralin with soil type on soybean growth. *Weed Sci.* 26: 327-331.
- Nelson, K.A. and K.A. Renner. 1998. Weed control in wide- and narrow-row soybean (*Glycine max*) with imazamox, imazethapyr and CGA-277476 plus Quizalofop. *Weed Tech.* 12: 103-107.
- Nimbal, C.I., D.R. Shaw, G.D. Wills and S.O. Duke. 1996. Environmental effects on MSMA phytotoxicity to wild-type and arsenical herbicide-resistant common cocklerbur (*Xanthium strumarium*). *Weed Tech.* 10: 809-814.
- Owen, W.J. 1987. Herbicide detoxification and selectivity. *Proceedings. the British Crop Protection Conference, Weeds 1:* 309-318.
- Peregoy, R.S. and G. Scott. 1985. Physiological responses to fluazifop-butyl in tissue of corn (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*). *Weed Sci.* 33: 446.
- Prostko, E.P., B.A. Majek and J. Ingersonmahar. 1996. The effect of chlorimuron/linuron combinations on soybean (*Glycine max*) growth and yield. *Weed Tech.* 10: 519-521.
- Russin, J.S., C.H. Carter and J.L. Griffin. 1995. Effects of grain sorghum (*Sorghum bicolor*) herbicides on charcoal rot fungus. *Weed Tech.* 9: 343-351.
- SAS. 1985. *SAS User's Guide: Statistice*. SAS Institute, Cary.
- Sawicka, A., G. Skrzypczak and A. Blecharczyk. 1996. Influence of imazethapyr and linuron on soil microorganisms under legume crops. *Proc. Second Intern. Weed Control Congress*.
- Scarponi, L., L. Martinetti and M.M.N. Alla. 1996. Growth response and changes in starch formation as a result of imazethapyr treatment of soybean (*Glycine max* L.). *J. Agri. Food Chem.* 44: 1572-1577.
- Schmenk, R. and J.J. Kells. 1998. Effect of soil-applied atrazine and pendimethalin on velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) competitiveness in corn. *Weed Tech.* 12: 47-52.
- Simon-Sylvestre, G. and J.C. Fournier. 1979. Effects of pesticide on the soil microflora. *Adv. Agro.* 31: 1-91.
- Sin, Y.S. 1987. Effect of the herbicides and ionized radiation on the survival of soybean nodule bacteria in vitro. MS. Thesis, Graduate School of Education, Dankook University.

- Stougaard, J. 2000. Regulators and regulation of legume root nodule development. *Plant Physiol.* 124: 531-540.
- Streeter, J.G. 1972. Nitrogen nutrition of field grown soybean plant, seasonal variation in nitrate reductase, glutamate dehydrogenase and nitrogen constituents of plant parts. *Agronomy Journal* 64: 315-319.
- Wax, L.M., E.W. Stoller and R.L. Bernard. 1976. Differential response of soybean cultivars to metribuzin. *Agronomy Journal* 68: 484-468.
- Wilkerson, G.G., J.W. Jones, K.J. Boote and G.S. Buol. 1989. Photoperiodically sensitive interval in time to flower of soybean. *Crop Sci.* 29: 721-726.
- Zaki, M.S., S.M. Shan and D.B. Muhammad. 1995. Residual effect of Stomp330E (*Pendimethalin*) on the succeeding crops. *Pakistan J. Sci. Indust. Res.* 38: 253-255.

(2001년 1월 15일 접수; 2001년 5월 3일 채택)

Effects of Herbicides on Growth and Reproductive Characters of *Glycine max*

Kang, Hyesoon[†] and Seung-Hee Ha

Department of Biology, Sungshin Women's University, Seoul 136-742, Korea

ABSTRACT : Herbicides have been used to control weeds for decades. If detoxification upon exposure to herbicides requires considerable amounts of energy, it could affect the pattern of resource allocation to growth and reproduction of crops. We examined the effects of three levels of a herbicide (Control, Low, and High) on germination, growth and reproductive characters of *Glycine max* treated twice, i.e., before and after seed germination. Since flowering time of *G. max* was separated into two groups, flowering time was also considered as a variable in this study. The rate of seed germination tended to be higher at the low level of herbicide compared to other levels. Chlorosis and shape variation of leaves were apparent after the second herbicide treatment, but completely disappeared after six weeks of treatment. The herbicide effects on growth characters were somewhat different between early and late flowering plants, but plants treated with both low and high levels of herbicide reduced their growth compared to those in the control group regardless of flowering time. Plants at the high level of herbicide exhibited the highest growth rate later in the season, suggesting that plants compensated to some extent for reduced growth. However, growth reduction among plants at the high level of herbicide was persistent until the end of growing season. Among plants flowered late in the season, plants in the control level bore a higher number of nodules per plant than those in other levels; such a pattern did not exist among plants flowered early in the season. Plants treated with low and high levels of herbicide produced a lower number of flowers than those in the control. Thus, the herbicide examined affected not only the growth and reproductive characters of non-target crops but also the development and growth of root nodules.

Key words : *Glycine max*, Flowering time, Herbicide, Resource allocation, Root nodules

[†] Author for correspondence; Phone: 82-2-920-7475, e-mail: hkang@cc.sungshin.ac.kr