

강아지풀 종류별 종자발아특성과 제초반응 차이

김진석 · 김태준 · 조광연*

Studies on Germination Characteristics and Differential Responses to Herbicides in *Setaria* Spp.

Kim, J.S., T.J. Kim, and K.Y. Cho*

ABSTRACT

To supply seeds with a good quality as plant materials for herbicide screening and to know whether the germination characteristics could be associated with a differential response to herbicides, germination characteristics and differential responses to herbicides were investigated with 3 species of a genus *Setaria* ; Yellow foxtail(*Setaria glauca* P. Beauv, SETGL), Giant foxtail(*Setaria faberi* Herrm, SETFA), and Green foxtail(*Setaria viridis* P. Beauv, SETVI). Degree of dormancy was high in the order of SETGL, SETVI and SETFA. The dormancy of SETGL seed was relatively well removed by room temperature and drying storage, but SETFA and SETVI by low temperature and wetting storage(stratification). For breaking dormancy of SETGL, SETVI and SETFA, it was necessary for being kept under the above storage conditions for at least 2, 4 and 4-5 months, respectively. When the dormancy-brokeed seeds were transfered to low temperature(4℃) and drying condition, SETGL showed germination rate of 96% even after 2 month storage. However, SETVI and SETFA showed a decreased germination of 54% and 69%, respectively, with a decreased velocity of germination, indicating that secondary dormancy might be induced. On the other hand, a significant change in germination rate was not observed as the seeds were transfered to room temperature(25℃) and drying condition. The germinability of SETGL seed began to decline from 6th year after storage in room temperature and drying condition. All of 3 species showed relatively high germination rate at alternating temperature of 30℃/20℃(14hr/10hr) and their germination were not increased by light.

All of 3 species exhibited similar responses to cycloxydim, sethoxydim and primisulfuron in greenhouse experiment. In contrast, SETVI and SETFA were relatively susceptible to fenoxaprop-ethyl, SETFA to fluazifop-butyl, SETGL and SETFA to clorimuron-ethyl, and SETGL to EK-2612. The difference in herbicidal response among 3 species was the highest in the treatment of EK-2612. These results suggest that there is no a consistent tendency in responses of 3 species to herbicides which have the same target site. And the relationship between germination characteristics

* 한국화학연구소.(KRICT, P. O. Box 107, Youseong, Taejeon, 305-606 Korea)

<1996. 3. 18 접수>

and differential responses to herbicides was not found.

Key words : germination, herbicidal response, *Setaria glauca*, *Setaria faberi*, *Setaria viridis*,

서 언

강아지풀류는 세계적으로 볼 때 전지역에 발생하여 농작물과 심한 경합을 하기도 하는^{7,15)} 강우점 및 중요잡초로서³⁾ 우리 나라의 농작물 재배지역에는 그다지 문제가 되고 있지 않으나 도로변, 잔디밭, 과수원, 기타 비농경지 등에서는 매우 문제가 되는 일년생 화본과잡초이다. 강아지풀 종류로서는 형태적으로 볼 때 수(in-florescence)가 직립하며 황색을 띠고 종자의 크기가 큰 금강아지풀 모양의 것과 수가 굴곡하며 녹색 또는 자색을 띠고 종자의 크기가 금강아지풀보다는 작은 강아지풀 모양의 것으로 크게 대별되며, 각각으로부터 비슷한 모양을 가진 여러 가지의 종이 분포하고 있다. 우리 나라의 경우는 조사자에 따라 전자의 경우 금강아지풀, 후자의 경우 강아지풀, 갯강아지풀, 왕강아지풀, 수강아지풀, 가을강아지풀, 자주강아지풀 등 여러 가지 이름의 종들이 소개되고 있으나^{6,12)} 실제로 얼마나 많은 종이 분포하고 있는지에 대해서는 아직 불명확하다. 이는 강아지풀에 관한 우리 나라에서의 연구가 현재까지 거의 진행되어 있지 않기 때문인 것 같다. 그러나 세계적으로 *Setaria* 속에는 식용종을 포함하여 125종이 있으며 이중 주요잡초로서는 *Setaria glauca* P. Beauv, *Setaria faberi* Herrm, *Setaria viridis* P. Beauv, *Setaria verticillata* P. Beauv, *Setaria geniculata* P. Beauv 등이 알려져 있고^{3,10)} 이들 강아지풀류 잡초에 대해서 종 및 생태형의 분포, 종자발아, 방제 등등의 여러 연구가 진행되고 있다.^{2,7,8,9,11,13,14)}

이 중 흥미있는 보고로서는 강아지풀 생태형간에도 휴면 및 발아특성이 다르며⁹⁾, 제초제에 대한 반응의 경우 특히 acetyl-CoA carboxylase 저해제에 대해서 강아지풀 종류별로 서로 다른 반응차이를 보이고 있다.^{13,14)}는 것이다. 이

러한 차이가 유전적 요인에 지배를 받는다면 종자발아 특성과 제초반응 차이에 있어서 어떠한 관련성이 있을지도 모르며 만일 존재한다면 이는 내성 또는 저항성유발 지표로서 이용될 수 있을지 모른다. 따라서 본 연구에서는 강아지풀의 생리·생화학적 연구를 위한 기초 단계로서, 외견상 비교적 확연히 구별할 수 있는 세가지의 강아지풀 종자를 대상으로 시험 재료로서 발아력이 양호한 종자를 효율적으로 공급할 수 있는 조건들을 찾고, 이들이 실질적으로 제초제에 대한 반응차이를 나타내는지의 여부와 종자발아특성과는 어떠한 관련성은 없는지를 알아보고자 실험하였다.

재료 및 방법

1. 공시종자

10월 초순에 대전지역 주변에서 수집한 금강아지풀(*Setaria glauca* P. Beauv), 가을강아지풀(*Setaria faberi* Herrm), 강아지풀(*Setaria viridis* P. Beauv) 종자를 사용하였다. 이들 종자(spikelet)의 크기(길이×폭)는 각각 3.5×2.5mm, 2.8×2.0mm, 1.8×1.0mm 였다.

2. 종자의 저장조건별 발아력

휴면타파 최적저장조건을 찾기 위하여 수집된 종자를 저온습윤(4℃), 저온건조(4℃), 실온건조(25℃), 고온건조(40℃)에 저장한 후 1개월마다 발아실험을 수행하였다. 습윤처리는 직경 9cm petri-dish에 습기있는 여과지와 종자를 교호로 깔아서 만들었으며 뚜껑을 한 다음 파라필름으로 밀봉하여 건조되는 것을 막았다. 한편 실온건조처리(금강아지풀)나 저온습윤처리(가을강아지풀, 강아지풀)로 휴면타파된 종자를 저온건조와 실온건조의 다른 저장조건으로 옮겼을 때의 발아력 감소여부를 1개월마다 조사하였다.

3. 저장기간별 발아력

수집후 1-6년간 실온건조 상태에 보관되어 온 금강아지풀을 사용하여 저장기간별 발아력 감퇴여부를 조사하였다.

4. 온도조건별 발아율

14시간 광주기하에 25℃ 명/15℃ 암, 30℃ 명/20℃ 암, 35℃ 명/25℃ 암의 변온조건에서 수행하였다.

5. 발아실험

온도별 실험을 제외한 모든 실험은 다음과 같이 수행하였다. 직경 5.5cm petri-dish에 습윤지를 깔고 종자를 50립씩 3반복 치상한 후 14시간 광주기의 변온조건(30℃ 명/20℃ 암) 또는 연속 암조건에 둔 다음 10일까지의 발아율을 조사하였으며 유근이 돌출된 것을 발아된 것으로 간주하였다.

6. 강아지풀 종류별 제초반응 차이

표면적이 350cm²인 사각포트에 휴면타파된 강아지풀류 종자를 파종한 다음 주간 평균온도 30℃/야간 평균온도 20℃인 온실조건에 두어 3-4엽기가 될 때까지 2주간 성장시켰다. Sethoxydim외 7종의 제초제를 Tween-20이 섞인 아세

톤에 녹인 다음 증류수로 희석한 후 수동분무기를 이용하여 400L/10a 수준으로 경엽처리하였다. 이 때 아세톤과 Tween-20의 최종농도는 각각 50%, 0.1%였으며 본 농도에서는 약해를 유발시키지 않았다. 처리후 2주째에 제초효과를 달관조사하였으며 완전방제의 경우를 100, 무방제의 경우를 0으로 평가하였다.

결과 및 고찰

1. 종자발아 특성

대부분의 잡초종자는 자연조건에 적응하기 위한 수단으로서 휴면의 성질을 가지고 있지만 발아력이 높은 종자를 실험재료로서 원활히 공급하기 위해서는 사전에 휴면을 타파시키는 것이 필요하다. 일반적으로 봄에 결실되는 종자는 실온 또는 고온조건에서, 가을에 결실되는 종자는 저온습윤처리가 휴면타파에 양호한 것으로 알려지고 있다.¹⁾ 강아지풀류의 경우 어느 저장조건에서 가장 휴면타파가 빠른지를 알기 위하여 실험한 결과 금강아지풀의 경우 실온건조저장에서 가장 빨리 휴면이 타파되어 저장후 2개월째 68%, 3개월째 96.7%의 발아율을 보였으며 가을강아지풀 및 강아지풀의 경우는 저온습윤저장에서 가장 빨리 타파되어 저장후 4개월째

Table 1. Effect of several storage conditions on the germination of *Setaria* spp. seed.

Species	Storage period(mon)	Storage condition			
		LD	LW	RD	HD
SETGL	1	0	1.3±2.3	1.3±1.2	0
	2	0	6.0±5.3	68.0±5.3	9.3±4.2
	3	0	14.7±5.8	96.7±5.8	90.7±4.6
SETFA	1	0	0	0	0
	2	0	28.7± 3.1	0	4.0±3.5
	3	0	40.7± 3.0	0.7± 1.1	7.3±3.0
	4	0	65.3± 2.3	0.7±1.1	27.3±7.5
SETVI	1	1.3±2.3	10.7± 4.2	0	2.0±2.0
	2	0	64.7± 2.3	0.7±1.1	16.7±4.6
	3	1.3±1.1	78.7±11.4	4.0±2.0	22.7±7.6
	4	0	85.3± 6.1	14.7±3.0	37.3±6.1

Seeds were incubated at 30/20℃(14hr, light/10hr, night) for 10 day. Data represent average germination percentage±SD. SETGL : *Setaria glauca*, SETFA : *Setaria faberi*, SETVI : *Setaria viridis*, LD : Low temp. (4±1℃) and drying condition, LW : Low temp. (4±1℃) and wetting condition, RD : Room temp. (25±1℃) and drying condition, HD : High temp. (40±1℃) and drying condition.

각각 65%, 85%의 발아율을 보였다(표 1). 강아지풀류는 여름과 가을에 걸쳐 결실되는 종자이지만 이와 같이 종별로 다른 저장조건에서 휴면이 타파되는 것은 매우 흥미로운 결과이며 이는 금후 생리·생태적 측면에서 밝혀져야 할 내용중의 하나라고 생각된다. Norris와 Schoner (1980)는 미국내 여러 지역에서 수집한 금강아지풀(*Setaria lutescens*) 생태형 간에도 서로 다른 휴면성을 가지고 있음을 보고한 바 있으며⁹⁾ 이는 환경적응과 관련한 유전적 변화 때문으로 해석하고 있다.^{9,14)} 본 실험의 경우 발아율을 기준하여 휴면성 정도를 고려해 볼 때 금강아지풀, 강아지풀, 가을강아지풀 순으로 휴면성이 강한 경향이었으며 휴면타파 최적 저장조건에 적어도 4개월 이상 저장하면 실험상에 문제가 되지 않을 정도의 발아력을 가진다고 판단되었다.

한편 휴면이 타파된 종자의 경우는 활력감퇴를 최소화시키는 저장조건에 두어 장기간 사용할 수 있도록 하는 것이 필요한데, 습윤상태는 건조상태보다 활력감퇴가 빠를 것으로 예상되기 때문에 이를 완화시키기 위해 일단 휴면타파된 것을 건조조건으로 변환시키는 것이 바람직할 것이다. 이 때 고려되어야 할 사항중의 하나는 2차휴면에 돌입하면 발아율이 신속히 떨어질 염려가 있다는 것이다. 이에 관련하여 실험한 결과, 금강아지풀의 경우는 휴면타파된 종자를 저온습윤 또는 저온건조에 보관하더라도 발아력에 변함이 없었으나(표 2) 가을강아지풀

및 강아지풀의 경우는 저온건조로 옮기면 발아속도가 늦어지며 초기발아율이 떨어지는 경향이 있었다(표 2, 그림 1). 그러나 50% 이상의 발아력은 유지하였기 때문에 온실에서의 제초활성 평가시에는 문제가 되지 않을 것으로 판단되었다.

수집된 종자가 얼마의 기간동안 발아력을 유지하는가를 조사하는 것도 실험재료 공급상에 있어서 의미있는 일 일것이다. 지난 6년간 수집된 금강아지풀 종자를 가지고 실험한 결과, 실온건조에 보관될 경우 6년 이상이면 발아력이 감퇴되거나 상실하였다(그림 2). 본 실험에서는 가을강아지풀과 강아지풀 종자의 경우 수집과 저장조건의 불량으로 조사되지 못하였으나 Dawson과 Bruns(1975)²⁾에 의하면 금강아지풀(*Setaria lutescens*)보다 강아지풀(*Setaria viridis*) 종자가 건조저장에서 더 오랫동안 활력을 유지한다고 하였다.

이외에 온도와 광이 발아에 미치는 영향을 조사한 결과 세 종류 모두 30℃, 14시간 /20℃, 10시간의 온도조건에서 가장 양호한 발아율을 보였으며(그림 3), 휴면타파된 종자는 광의 유무에 따른 발아율 차이를 보이지 않았다(그림 4).

2. 제초반응 차이

선택성 또는 저항성여부는 작물에 제초제를 사용하게끔 하는 근본 요인이 되기도 하지만 때

Table 2. Effect of changes of storage conditions on the germination of *Setaria* spp. seeds.

Species	Storage period (mon)	Changes of storage conditions					
		After storage in the RD for 2 mon.			After storage in the LW for 3 mon.		
		RD	LW	LD	LW	LD	RD
SETGL	1	98.0±0.0	98.7±1.1	97.3±1.1			
	2	96.7±3.0	96.7±4.2	96.7±3.0			
SETFA	1				-	46.0±4.0	63.3±6.1
	2				62.0±5.3	54.0±2.0	60.0±3.5
SETVI	1				92.0±3.5	52.0±12.5	83.3±3.0
	2				82.7±8.3	68.7±2.3	85.3±6.4

Germination percentage was determined after incubation at 30/20℃(14hr, light/10hr, night) for 10 day.. Data represent average germination percentage ± SD. SETGL : *Setaria glauca*, SETFA : *Setaria faberi*, SETVI : *Setaria viridis*, LD : Low temp. (4±1℃) and drying condition, LW : Low temp. (4±1℃) and wetting condition, RD : Room temp. (25±1℃) and drying condition, HD : High temp. (40±1℃) and drying condition.

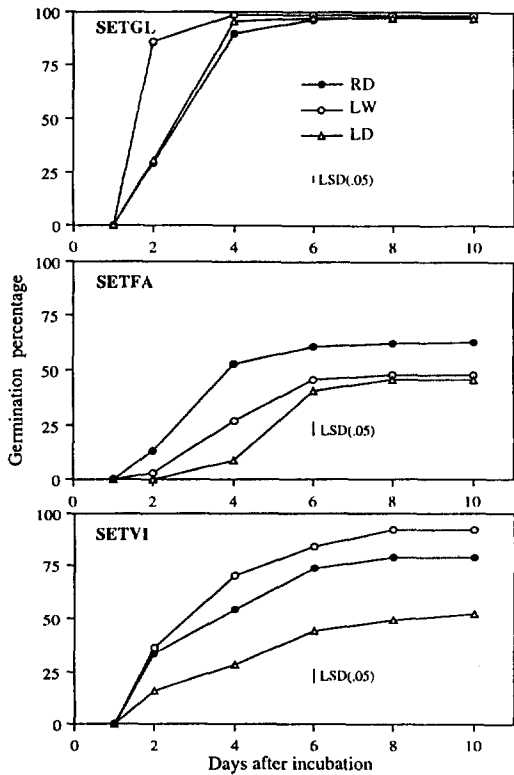


Fig. 1. Germination velocity of *Setaria* spp. seeds as affected by changes of storage condition. SETGL seeds stored in RD for 2 months, and SETFA and SETVI seeds stored in LW for 3 months were restored in RD, LW and LD. They were germinated in the growth chamber set at 30/20°C (day/night) and 14hr photoperiod after one month of storage change. Abbreviations were illustrated in Table 1.

로는 잡초방제에 어려움을 제공해 주기도 함으로 방제전략을 세우거나 새로운 제초제를 개발하는 입장에서는 가능한한 여러가지 식물종 또는 생태형에 대한 활성조사는 물론 저항성 출현 가능성, 저항성 메카니즘 등등이 아울러 검토되어야 한다.

본 연구에서는 세 종류의 강아지풀류를 대상으로 저항성 유발이 문제가 되고 있는 ACCase 나 ALS 저해제를 처리했을 때 실제 방제상의 문제가 야기될 정도의 반응차이가 나타나는지, 나타난다면 그 차이에 있어서 어떠한 일관성

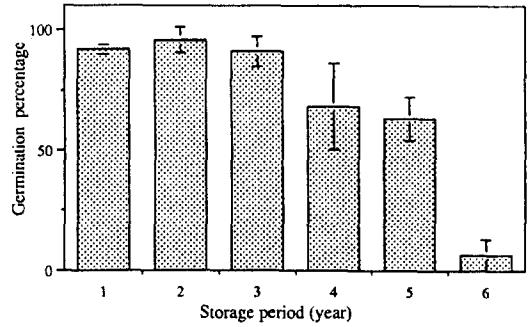


Fig. 2. Effect of storage duration on the germinability of *Setaria glauca* seeds stored in the room temperature and drying condition. Seeds collected annually were incubated at 30/20°C (day/night) and 14hr photoperiod for 10 day. Vertical bars represent standard deviations of the means.

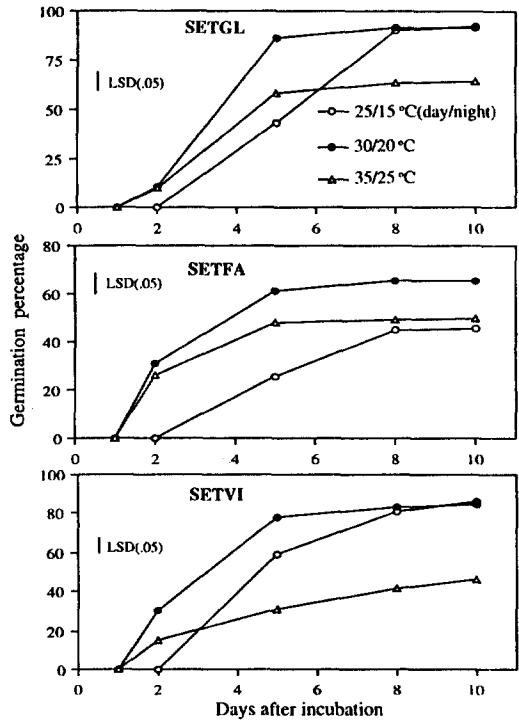


Fig. 3. Effect of temperature on the germination of *Setaria* spp. seeds. Non-dormant seeds were incubated in 14hr photoperiod for 10 day. SETGL : *Setaria glauca*, SETFA : *Setaria faberi*, SETVI : *Setria viridis*

이 있으며 종자발아특성과는 어떠한 관계를 찾아볼 수는 없는지를 알아보고자 온실조건에서

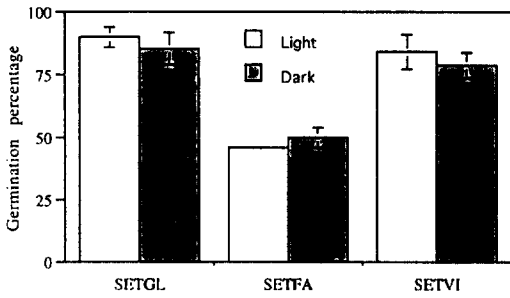


Fig. 4. Effect of light on the germination of dormancy-broken *Setaria glauca* seeds. Seeds were incubated in the continuous dark (Dark) and the 14hr photoperiod(Light) at 30/20℃(day/night) for 5 day. SETGL : *Setaria glauca*, SETFA : *Setaria faberi*, SETVI : *Setaria viridis*. Vertical bars represent standard deviations of the means.

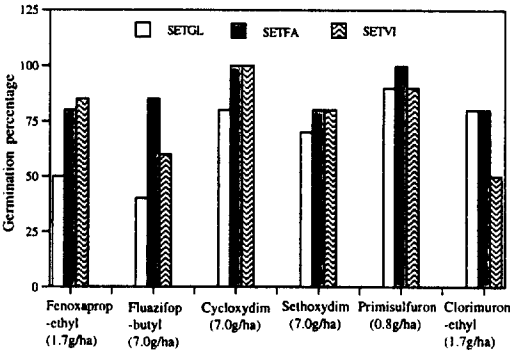


Fig. 5. Herbicidal activities of several herbicides to *Setaria* spp. at foliar treatment. SETGL : *Setaria glauca*, SETFA : *Setaria faberi*, SETVI : *Setaria viridis*.

의 경엽처리효과를 조사하여 보았다. 그 결과 cycloxydim, sethoxydim, primisulfuron 처리에서는 종간 반응차이가 없었으나, fenoxaprop-ethyl은 가을강아지풀과 강아지풀에서, fluazifop-butyl은 가을강아지풀에서, clorimuron-ethyl은 금강아지풀과 가을강아지풀에서 감수성 정도가 약간 높았을 뿐이었다(그림 5). 반면에 ACCase 저해제와 동일한 증상을 초래시키는 신규화합물인 EK-2612는 반응차이가 현저하여 금강아지풀이 97%의 방제력을 보일 때 강아지풀은 18% 정도의 방제력만 나타내었다(그림 6). 이로 볼 때 종자 발아특성과 제초반응과는 어떠한 관계를 찾아

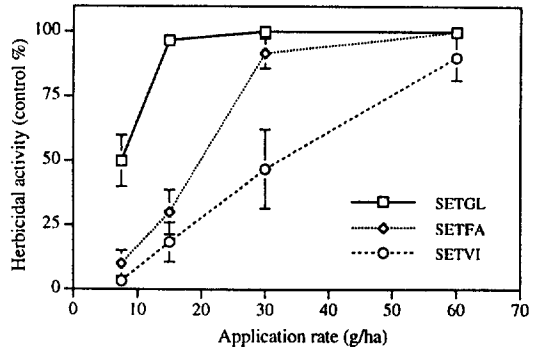


Fig. 6. Difference of herbicidal response in *Setaria* spp. at foliar treatment of EK-2612. SETGL : *Setaria glauca*, SETFA : *Setaria faberi*, SETVI : *Setaria viridis*. Vertical bars represent standard deviations of the means.

볼 수 없었으며, 동일 작용메카니즘을 가지는 약제들간에도 종간에 일관된 반응차이가 있는 것이 아니라 화합물에 따라 다른 반응을 보이는 것으로 보아 감수성 정도는 작용점에서의 반응 차이보다는 화합물 각자의 흡수, 이행, 대사차이에 더욱 지배를 받는 것으로 생각된다. 한편 강아지풀류에서도 ACCase 저해제에 대한 저항성종이 출현되고 있으며¹⁵⁾ 그의 원인이 작용점 상에서의 감수성 차이에 있었다는 보고⁸⁾도 있다. 이를 종합해 볼 때 강아지풀의 경우 매우 다양한 저항성 또는 선택성메카니즘이^{5,14)} 존재할 것으로 판단되므로 모든 화합물에 대해 각각의 종에 대한 활성을 방제적 측면에서 체계적으로 검토해 둘 필요가 있으며, 새로운 약제를 개발할 경우에도 어느 대표적인 종보다는 여러종의 강아지풀류를 가지고 시험하는 것이 타당할 것으로 보인다. 이에 관해서는 더욱 많은 종 또는 생태형을 대상으로 연구가 있어야 하겠다.

적 요

금강아지풀, 가을강아지풀, 강아지풀 종자의 발아특성과 제초제에 대한 반응차이를 조사하여 시험재료로서 발아력이 양호한 종자를 효율적으로 공급할 수 있는 조건들을 찾음은 물론 종간 발아특성 차이와 제초제에 대한 반응차이 간의 관련성 여부를 검토하여 보았다. 금강아지

풀의 경우 실온건조에서, 가을강아지풀 및 강아지풀의 경우는 저온습윤에서 가장 빨리 휴면타과 되었다. 휴면의 정도는 금강아지풀, 강아지풀, 가을강아지풀 순으로 강한 경향이였다. 금강아지풀의 경우 휴면타과된 종자를 저온습윤 또는 저온건조에 보관하더라도 발아력에 변함이 없었으나 가을강아지풀 및 강아지풀의 경우는 저온건조에 두면 발아속도가 늦어지며 초기발아율이 떨어지는 경향이였으나 50% 이상의 발아력(2개월째)은 유지하였다. 금강아지풀 종자를 실온건조에 보관할 경우 6년 이상이면 발아력이 감퇴되었다. 발아는 세 종류 모두 30℃ 14시간 /20℃ 10시간의 온도조건에서 양호하였으며 광의 유무에 따른 발아율 차이는 인정되지 않았다. Cycloxydim, sethoxydim, primisulfuron 처리에서는 중간 반응차이가 없었으나, fenoxaprop-ethyl은 가을강아지풀과 강아지풀에서, fluazifop-butyl은 가을강아지풀에서, clorimuron-ethyl은 금강아지풀과 가을강아지풀에서 감수성 정도가 약간 높았을 뿐이었다. 반면에 EK-2612는 반응 차이가 현저하여 강아지풀보다 금강아지풀에서 높은 감수성을 보였다. 이로 볼 때 동일 작용메카니즘을 가지는 약제들간에도 종간에 일관된 반응차이를 가지는 것이 아니라 오히려 화합물에 의존하는 반응을 보였으며, 중간 발아특성 차이와 제초반응과는 어떠한 관련성이 없었다.

인 용 문 헌

1. 조광연 등. 1988. 신규 농약개발을 위한 스크리닝체제 확립. pp.20-29, 과학기술처.
2. Dawson, J.H. and V.F. Bruns. 1975. Longevity of barnyardgrass, green foxtail, and yellow foxtail seeds in soil. Weed Sci. 23 : 437-440.
3. Hafliker, E. and H. Scholz. 1980. Grass Weeds 1 - Weeds of the Subfamily Panicoideae. pp. 123-134, Ciba-Geigy Ltd., Basle, Switzerland.
4. Holm, L.G., D.L. Plucknett, J.V. Pancho, and J.P. Herberger. 1977. The World's Worst Weeds - Distribution and Biology. The East-West Food Institute, Honolulu, HI.

5. Jasieniuk, M., A.L. Brulebabe, and I.N. Morrison. 1994. Inheritance of trifluralin resistance in green foxtail(*Setaria viridis*). Weed Sci. 42(1) : 123-127.
6. 이창복. 1979. 대한식물도감. pp.116-117, 향문사.
7. Mesbah, A., S.D. Miller, K.J. Fornstrom, and D.E. Legg. 1994. Kochia(*Kochia scoparia*) and green foxtail(*Setaria viridis*) interference in sugarbeets(*Beta vulgaris*). Weed Technology 8 : 754-759.
8. Marles, M.A.S., M.D. Devine, and J.C. Hall. 1993. Herbicide resistance in *Setaria viridis* conferred by a less sensitive form of acetyl coenzyme-A carboxylase. Pestic. Biochem. Physiol. 46 : 7-14.
9. Norris, R.F. and C.A. Schoner, JR. 1980. Yellow foxtail(*Setaria lutescens*) biotype studies : Dormancy and germination. Weed Sci. 28 : 159-163.
10. Rominger, J.M. 1962. Taxonomy of *Setaria* (Gramineae) in North America. Illinois Biological Monographs No. 29. University of Illinois Press, Urbana, IL.
11. Schreiber, M.M. and L.R. Oliver. 1971. Two new varieties of *Setaria viridis*. Weed Sci. 19 : 424-427.
12. 송주택 · 정현태 · 김병우 · 주희성. 1989. 한국식물대보감(하권). pp.440, 한국자원식물연구소.
13. Stoltenbero, D.E. and R.J. Wiederholt. 1995. Giant foxtail(*Setaria faberi*) resistance to aryloxyphenoxypropionate and cyclohexanedione herbicides. Weed Sci. 43 : 527-535.
14. Wang, R.N. and J. Dekker. 1995. Weedy adaptation in *Setaria* spp. III. Variation in herbicide resistance in *Setaria* spp. Pestic. Biochem. Physiol. 51 : 99-116.
15. Wall, D.A. and G.H. Friesen. 1990. Green foxtail(*Setaria viridis*) competition in potato (*Solanum tuberosum*). Weed Sci. 38 : 396-480.