

Gibberellic acid와 여러 가지 제초제와의 혼합처리가 메귀리에 대한 제초활성에 미치는 영향

김진석* · 최정섭 · 홍경식 · 조광연

한국화학연구소

요약 : Gibberellic acid에 대한 밀과 메귀리간에 차등반응을 이용하여 제초제에 gibberellic acid를 첨가함으로써 상대적으로 민감한 반응을 보였던 메귀리를 효과적으로 방제할 수 있는 조합을 찾고, 그 효과증대의 생리적 원인을 조사하고자 실험하였다. 밀은 GA₃에 대한 낮은 신장반응을 보였으나, 메귀리는 이보다 4~5배 높은 반응을 보였다. GA₃에 침지된 메귀리 종자를 파종한 후 토양처리했을 때는 isoproturon, trifluralin의 효과가 증진되었다. 경엽처리의 경우 GA₃는 tralkoxydim, fenoxaprop-ethyl, metsulfuron-methyl, metribuzine, isoproturon의 효과를 증진시켰으나, oxyfluorfen과 paraquat의 효과에는 거의 영향을 미치지 않았다. 경엽처리조건에서 체계처리를 할 경우 tralkoxydim처리 이전에 GA₃를 처리하면 tralkoxydim의 효과를 증진시켰으나, tralkoxydim처리 이후에 GA₃를 처리하면 효과가 낮은 경향이었다. 그러나 GA₃를 어느 시기에 처리하여도 tralkoxydim의 신장저해효과를 증진 또는 경감시키지는 못하였고, GA₃가 처리된 잎의 과산화작용 화합물에 대한 반응은 무처리와 비교하여 일정한 경향을 보이지 않았다. 이들 결과로 보아 GA₃가 일부 제초제의 효과를 증진시킨 것은 조직의 연화(세포신장 촉진)에 의한 높은 제초반응때문이라기보다는 제초제 흡수, 이행의 변화 또는 제초작용 발현과 관련한 체내대사의 촉진때문으로 추정된다.(1998년 7월 18일 접수, 1998년 12월 1일 수리)

Key words : tank mixture, GA₃, wild oat, *Avena fatua*, herbicide, tralkoxydim, fenoxaprop, metsulfuron-methyl, isoproturon, trifluralin.

서언

세계 농약시장은 1997년도에 약 302억불에 이르렀다(Wood Mackenzie, 1998). 이중 48.9%가 제초제시장이며, 작물별로 볼 때 비농경지를 제외한 상태에서 가장 시장성이 높은 것은 곡류이고 다음은 옥수수, 콩, 벼, 유채, 목화 등이다. 최근 전세계적인 이상기후로 인하여 곡물 생산량이 줄어들었고 곡물비축량도 감소되고 있어 곡물 가격이 현저히 상승되었다. 따라서 곡물의 재배면적은 향후 더욱 높아질 전망이며, 그만큼 곡물재배지용 제초제의 수요도 더욱 커지리라 생각된다. 우리나라의 경우도 최근 우리밀 생산운동에 힘입어 남부지방을 중심으로 재배면적이 증가되고 있는 실정이다. 세계곡물재배지의 문제잡초로서는 메귀리, 서양뚝새풀, 갈퀴덩굴, *Bromus* 종, 엉겅퀴, 쇠별꽃, 여뀌, 매꽃, 포아풀, 개밀, 개불알풀 류, 광대나물, 제비꽃 류, 겨이삭 류 등이다

(Anderson, 1996). 이들 중에서 메귀리는 생육 및 번식습성이 밀, 보리와 비슷하기 때문에 이를 선택적으로 방제하기에는 매우 어려워 현재 밀, 보리밭의 가장 큰 문제잡초 중의 하나이다. 곡류재배지의 메귀리를 방제하기 위하여 주로 사용되고 있는 제초제로서는 isoproturon, diflufenican, tralkoxydim, diclofop-methyl, fenoxaprop-ethyl, EPTC, napropamide 등이 알려져 있다(Anderson, 1996; Wood Mackenzie, 1998). 그러나 이들은 약제에 따라서 높은 약량으로 처리되어야 하거나, 선택성폭이 좁거나, 저항성 계통의 출현으로 사용상의 제한이 있는 등 단점을 가지고 있다. 최근 많이 개발되고 있는 sulfonylurea 계통의 화합물들도 메귀리에 대한 방제력이 약한 편이다. 따라서 어떠한 수단으로든 메귀리를 선택적으로 방제할 수 있는 방법의 탐색이 계속적으로 요구되고 있는 실정이다.

메귀리를 선택적으로 방제하기 위한 전략으로는 다음 몇가지를 생각해 볼 수 있다. 첫째, 중경신장 능력의 차이를 이용한다. 즉 밀과는 달리 메귀리는 중경신장 능

*연락처자

력이 높으므로 엽초마디(coleoptilar node)가 토양표면에 더 가깝게 위치한다(Anderson, 1996). 따라서 흡수부위에 차이를 보이는 제초제를 토양처리하면 메귀리를 선택적으로 방제할 수 있을 것이다. 둘째, 제초제에 대한 흡수, 이행, 대사능력의 식물간 차이를 여러 가지 방법으로 극대화시키는 방법이다(Phatak과 Vavrina, 1989; Yaacoby 등, 1991; Anderson, 1996). 계면활성제를 이용하여 밀과 메귀리간의 흡수차이를 증대시키거나, 약해경감제(safener)를 이용하여 밀의 약해를 경감시키거나, 메귀리 내에서의 제초제 무독화과정을 억제하는 화합물을 동시 사용하여 약효를 증가시키는 방법 등이 이에 속한다. 셋째, 물리적 또는 화학적 방법으로 밀, 메귀리의 생육차이를 유도시킨 후 이를 이용하는 것이다. 대표적인 예는 gibberellic acid (GA₃)의 이용을 들 수 있다. GA₃는 메귀리의 신장을 현저히 촉진시키는 반면 밀 재배종은 GA₃에 둔감하기 때문이다. 지금까지의 연구경향을 보면 GA₃를 제초제와 혼합처리하였을 때 제초효과가 증진되었다는 보고(Lee와 Bendixen, 1982; Sterrett와 Hodgson, 1983; Dickson 등, 1990; Sibony 등, 1991; Yogev 등, 1996)가 있는 반면, 전혀 영향이 없거나 오히려 제초효과를 경감시켰다는 보고(Phatak과 Vavrina, 1989; Street 등, 1993; Tsai, 1995)도 있어 일관된 결과를 보여주고 있지 않다. 그리고 GA₃가 제초제의 효과를 증진시키는 이유에 대해서도 주로 약제의 체내축적 증가의 차원에서만 검토되었다(Basler, 1977; Chykaliuk 등, 1982; Sterrett와 Hodgson, 1983; Waldecker와 Wyse, 1985; Patrick과 Mulligan, 1989; Sibony 등, 1991).

본 연구에서는 밀과 메귀리가 GA₃에 대해 차등 성장 반응을 보인다는 사실로부터, metsulfuron-methyl을 비롯한 메귀리 방제용 제초제 몇가지를 가지고 GA₃를 첨가함으로써 상대적으로 GA₃에 민감한 반응을 보였던 메귀리를 얼마나 더 잘 방제할 수 있는지를 검토하였다. 한편 제초효과의 증진 이유가 GA에 의해 연화된 조직이 상대적으로 높은 제초반응을 보이기 때문인지를 전해질 누출반응을 통해서 조사하였다.

재료 및 방법

식물재료

그루밀(*Triticum aestivum* L. cv. Gru)과 메귀리(*Avena*

fatua L.)를 이용하였다.

화합물

Metribuzine, isoproturon, oxyfluorfen, paraquat, tralkoxydim, fenoxaprop-ethyl, metsulfuron-methyl, trifluralin, alachlor 등의 제초제는 원제형태를, gibberellic acid는 Aldrich 사의 시약을 이용하였다.

GA₃에 대한 밀과 메귀리의 반응차이

종자 및 경엽처리에 의한 밀과 메귀리간의 GA₃에 대한 반응차이를 조사하였는 바, 종자처리의 경우 종자를 300 ppm의 GA₃용액에 하루동안 실온조건하에서 침지한 후 파종하였으며, 경엽처리의 경우는 2엽기에 25 ppm의 GA₃용액(아세톤 및 Tween 20의 최종농도가 각각 50%, 0.1%)을 경엽에 분무처리한 후 온실조건에서 키우면서 처리후 12일에 최장엽초장(또는 초장)을 측정하였다. 모든 처리는 반복당 8개체씩 4반복으로 실험하였다.

제초활성

토양처리 제초제에 대한 반응을 비교하기 위하여 GA₃ 300 ppm 용액 또는 증류수에 하루동안 침지한 메귀리 종자를 파종한 후 그 다음날에 여러 가지 제초제를 처리하였다. 한편 경엽처리시의 반응조사에서 동시처리의 경우는 2~3엽기에 여러농도의 제초제와 25 ppm의 GA₃ 용액을 혼합한 후 처리하였으며, 체계처리의 경우에는 제초제처리 하루전에 GA₃를 처리하거나 또는 제초제처리 하루후에 GA₃를 처리하였다. 약제를 처리한 후 시기별로 성장정도를 측정하거나 제초활성 정도를 달관조사하였다. 이상의 모든 실험은 4반복으로 온실조건에서 실시하였으며 기타 실험방법은 한국화학연구소 제초활성 검정방법에 준하였다(김 등, 1994).

전해질누출

GA₃처리에 의해 신장된 조직과 정상조직간의 막과산 화작용 화합물에 대한 반응차이를 알아보기로 2엽기의 엽신조직을 5 mm씩 잘라 7 ml의 제초제 용액(10 mM MES buffer, pH 6.5)위에 0.15 g씩 3반복으로 띄운 다음 12시간 암조건(25°C)에 둔 후 이어 광을 조사하면서 전해질 누출 정도를 전기전도도계(AOC-10, DKK Co.)로 측정하였다.

결과

GA₃에 대한 밀과 메귀리의 신장반응

GA₃에 대한 밀과 메귀리의 신장반응차이를 알아보기 위하여 종자침지처리와 경엽처리를 하였다. 밀과 메귀리 종자를 300 ppm까지 여러농도의 GA₃용액에 하루동안 침지한 후 온실조건에서 12일 동안 키웠을 때 밀은 100 ppm 이후부터 약간의 신장증가가 일어났으며 300 ppm 처리시 무처리에 비해 약 0.34 cm 더 신장되었다. 그러나 메귀리의 경우는 10 ppm 에서도 신장반응을 보였으며 300 ppm처리시는 약 1.75 cm가 증가되어 밀보다 5배 정도 높은 반응을 보였다(그림 1-A). 밀, 메귀리가 2엽기 되었을 때 여러농도의 GA₃용액을 경엽처리한 경우 밀은 1.5 ppm까지 낮은 신장반응을 보였지만 그 이후 농도가 증가되더라도 더 신장되지는 않았다. 그러나 메귀리는 5 ppm까지 급격한 신장반응을 보이다가 이후 25 ppm까지는 매우 완만하게 증가되었다(결과제시 생략). 결국 25 ppm을 기준으로 최장엽초장(maximum sheath length)을 측정하였을 때 밀과 메귀리는 무처리에 비해 각각 1.2 cm, 5.3 cm가 증가되어 밀보다 메귀리가 GA₃에 대해 약 4.5 배 높은 신장반응을 보였다(그림 1-B).

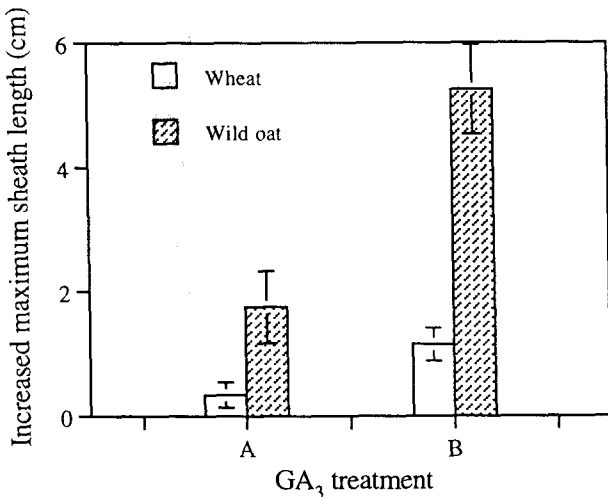


Fig. 1. Differential elongation response to GA₃ between wheat and wild oat.
 A; Seeds soaked in 300 ppm GA₃ solution for one day, B; Foliar-treatment of GA₃ solution (25 ppm) at 2 leaf stage. The growth of seedlings was determined at 12 days after treatment. Vertical bars represent standard deviation of 4 replicates.

GA₃처리된 메귀리의 토양처리 제초제에 대한 반응

GA₃에 침지된 메귀리 종자와 무처리 종자를 파종한 후 몇가지 제초제를 토양처리했을 때의 제초활성 반응을 비교한 결과, isoproturon과 trifluralin에서는 인정할만한 반응차이가 있었지만 metsulfuron-methyl과 alachlor에서는 차이가 없었다(표 1). Isoproturon은 400 g/ha 이하에서 GA₃에 침지된 메귀리가 15~25% 정도의 더 높은 방제가를 보였다. Trifluralin 250 g/ha 처리에서는 이보다 더 높아 무처리에서는 55% 정도의 방제가를 가지지만 GA₃에 침지된 메귀리에서는 95%의 방제가를 나타내었다.

Table 1. Effect of several herbicides on the control of wild oat pre-treated with GA₃ at soil-surface application

Chemicals	Rate (g/ha)	Days after treatment			
		14		24	
		-GA ₃	+GA ₃	-GA ₃	+GA ₃
Injury (%)					
Alachlor	60	17	23	5	15
	125	40	48	28	48
	250	80	95	85	85
Isoproturon	200	0	0	15	30
	400	5	32	75	85
	800	87	93	100	100
Metsulfuron -methyl	25	0	0	23	20
	50	0	15	30	35
	100	33	33	60	55
Trifluralin	125	32	40	28	45
	250	55	95	70	95
	500	90	100	93	100

The seeds soaked in GA₃ solution (300 ppm) for one day were planted and the herbicides were applied one day after seeding.

GA₃가 경엽처리제초제의 제초활성에 미치는 영향

GA₃ 25 ppm과 여러 가지 제초제를 혼합하여 경엽처리를 할 경우 GA₃가 이들 제초제의 메귀리에 대한 제초활성에 어떠한 영향을 미치는지 알아본 결과는 표 2에서와 같았다. 처리된 제초제들중 비교적 뚜렷하게 제초활성이 증가된 것은 tralkoxydim, fenoxaprop-ethyl, metsulfuron-methyl 처리에서 었다. Tralkoxydim의 경우 6 g/ha의 저농도에서는 거의 차이가 없었으며, 13 g/ha에서 가장 반응이 크게 나타났다. 처리후 12일 이후엔 단독처리가 55% 정도의 방제가를 보이는 반면 GA₃와 혼합처

Table 2. Effect of the mixtures of GA₃ (25 ppm) and herbicides on the control of wild oat at foliar application

Chemicals	Rate (g/ha)	Days after treatment							
		4		8		12		16	
		-GA ₃	+GA ₃	-GA ₃	+GA ₃	-GA ₃	+GA ₃	-GA ₃	+GA ₃
Injury (%)									
Fenoxaprop-ethyl	5	10	20	25	55	25	65	20	65
	10	20	35	65	90	90	100	90	100
	20	25	40	70	90	100	100	100	100
Isoproturon	200	30	50	30	55	20	50	20	50
	400	35	60	35	60	30	60	35	50
	800	70	80	70	80	100	100	100	100
Metribuzine	30	10	20	10	20	10	20	10	20
	40	15	30	25	35	25	35	25	30
	50	20	40	30	40	30	45	30	45
Metsulfuron-methyl	13	10	10	30	40	35	50	40	60
	25	20	20	60	65	60	75	65	90
	50	25	25	70	70	70	75	70	90
Oxyfluorfen	30	40	40	40	40	30	30	20	20
	60	70	70	70	60	60	60	50	55
	120	80	90	90	95	90	95	90	95
Paraquat	30	70	70	60	65	50	65	50	65
	60	80	80	85	90	85	90	85	90
	125	100	100	100	100	100	100	100	100
Tralkoxydim	6	15	20	15	25	10	30	10	20
	13	15	30	40	60	55	85	55	90
	25	25	35	60	80	80	90	90	95

The mixtures were foliar-treated at 2 leaf stage of wild oat.

리에서는 85~90% 정도의 방제가를 나타내었다. 25 g/ha 에서는 상대적으로 반응차이가 약하게 나타났다.

Fenoxaprop-ethyl의 경우 모든 농도에서 tralkoxydim보다 뚜렷한 반응차이를 보였는데 5 g/ha처리시 GA₃ 무처리 경우에는 20~25%의 방제효과를 보이는 대신 GA₃ 혼합 처리시에는 65% 정도의 방제가를 나타내었다. 10 g/ha 또는 20 g/ha처리시에는 최종적으로 100%의 방제가를 보이지만 GA₃와 혼합처리한 경우는 제초효과가 보다 빠른 경향이였다. Metsulfuron-methyl의 경우는 처리농도 모두에서 20~30% 정도 더 높은 방제가를 보였는데 이러한 반응은 처리후 12일부터 나타나기 시작하였다. 특히 GA₃처리구에서 황화(chlorosis)증상이 더욱 뚜렷하게

나타나는 경향이였다. 한편 metribuzine은 약제처리후 초기에 10~20% 정도의 방제가 차이를 보인 후 시기가 지날수록 차이가 적어지는 경향이였고, isoproturon의 경우는 200~400 g/ha 처리시에서만 25~30% 내외의 방제가 차이를 보였고, 800 g/ha 처리에서는 차이가 거의 없었다. Oxyfluorfen과 paraquat 처리에서는 처리간에 인정할 만한 반응차이가 없었다. 이는 두 화합물의 제초활성 발현속도가 빠르기 때문으로 여겨진다. 한편 GA₃와 tralkoxydim을 체계처리하여 제초활성 발현정도를 처리후 8일째와 16일째에 비교하여 보았다. GA₃를 tralkoxydim처리 하루전에 처리하거나 동시에 혼합처리하면 tralkoxydim의 효과를 증진시키나, tralkoxydim처리 하루후

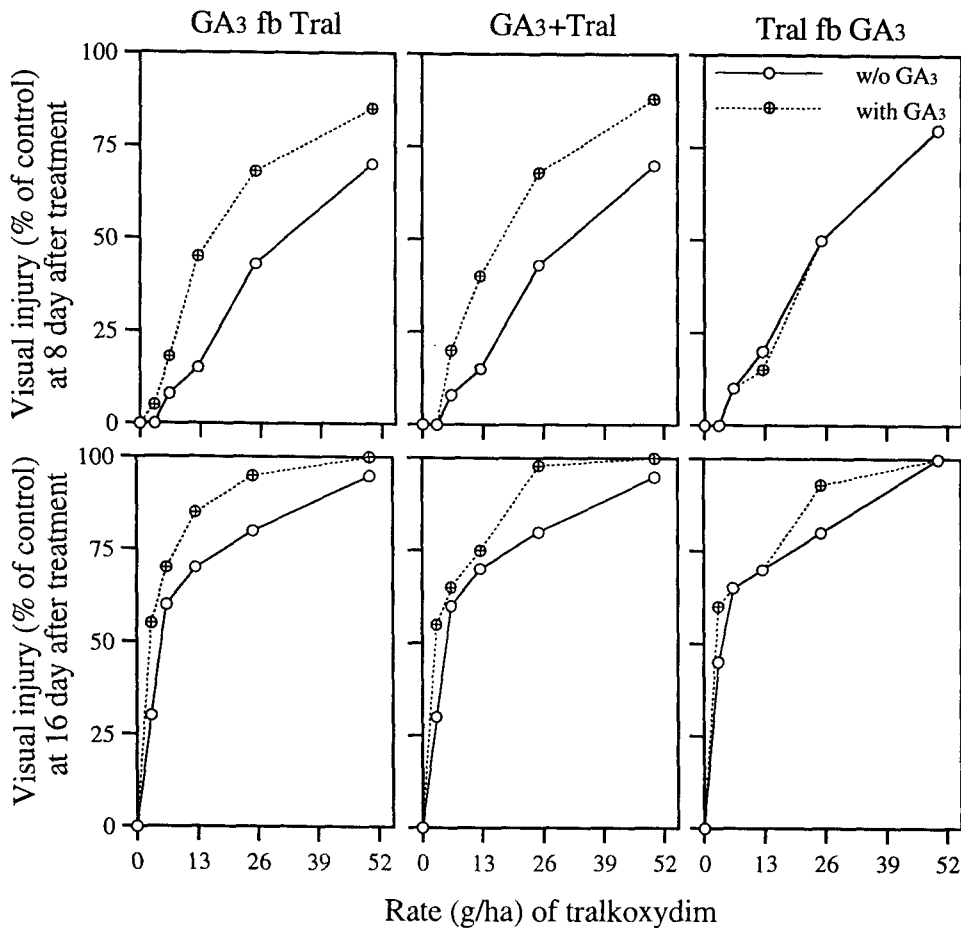


Fig. 2. Effect of sequential treatment of GA₃ and tralkoxydim (Tral) at intervals of one-day on the control of wild oat. Chemicals were treated at 2~3 leaf stage and the visual injury was determined at 8 day (above) and 16 day (below) after foliar treatment. GA₃ concentration was 25 ppm (100 g/ha).

에 GA₃를 처리하면 효과가 낮은 경향이였다(그림 2). 그런데 GA₃를 어느시기에 처리하여도 tralkoxydim의 신장 저해효과를 촉진시키거나 회복시키지는 못하였다(그림 3). 이는 세포분열과 세포신장 과정에서 tralkoxydim과 GA₃의 작용이 동일선상에서 이루어지되 tralkoxydim이 보다 후기단계까지 작용함을 의미하며 GA₃가 tralkoxydim의 제초활성발현을 촉진하는 효과는 신장에 대한 영향보다는 경엽의 황화(chlorosis) 또는 괴사(necrosis) 발현과 관련이 있는 것 같았다.

메귀리 잎의 세포질누출에 미치는 GA₃의 영향

GA₃처리에 의해 신장된 잎은 그렇지 않은 잎에 비하여 약하게 보인다. 이것이 GA₃에 의해 세포신장이 촉진되어 연하게 되었기 때문이라면(Adams 등, 1973) 막과산화작용 화합물에 대해 보다 민감한 반응을 보일지 모른

다. 따라서 GA₃ 처리에 의해 제초효과가 증진된 이유가 약해진 세포막때문일 것으로 가정된다. 이의 가정을 확인하기 위하여 GA₃처리에 의해 신장된 잎과 그렇지 않은 잎을 가지고 세포막과피 화합물에 대한 반응성을 비교하여 보았다(그림 4). Isoproturon과 oxyfluorfen의 경우 GA₃가 처리된 것은 처리되지 않은 것에 비해 세포질 누출이 높게 나타났다. 그러나 paraquat와 rose bengal처리의 경우에는 전혀 차이를 인정할 수 없었다.

고 찰

현재 전세계적으로 재배되고있는 밀의 대부분 품종은 외부에서 공급된 GA₃에 대해 반응을 보이지 않거나 (dwarf) 미약하게 반응하는(semi-dwarf) 품종들이다. 그러나 밀밭의 메귀리나 기타 화분과 잡초들은 GA₃에 대해

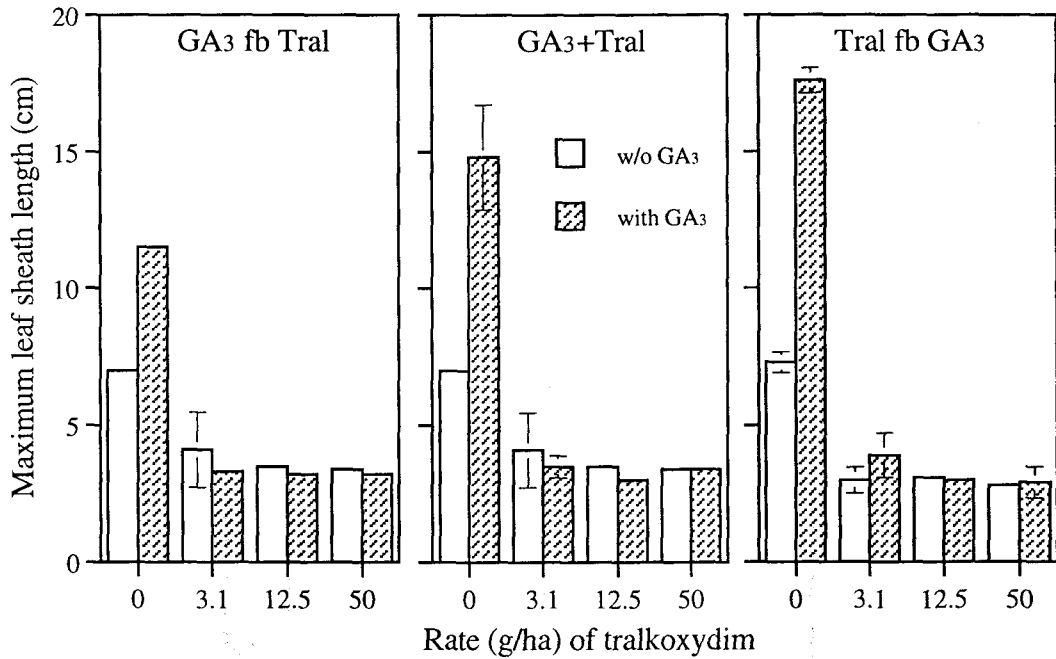


Fig. 3. Effect of sequential treatment of GA₃ and tralkoxydim (Tral) at intervals of one-day on the growth of wild oat. Chemicals were treated at 2~3 leaf stage and the length of maximum leaf sheath was determined at 16 day after foliar treatment. GA₃ concentration was 25 ppm (100 g/ha). Vertical bars represent standard deviation of 4 replicates.

민감하다고 알려져 있다(Sibony 등, 1991). GA₃를 외부에서 공급했을 때에는 GA-sensitive gene이 활성화됨으로써 주로 세포가 팽창하여 신장이 초래되는 것으로 인식되고 있다(Adams 등, 1973; Behringer 등, 1990). 본 실험의 그루밀과 메귀리간의 GA₃에 대한 반응차이는 약 4.5~5.1배 이었다(그림 1).

세포가 갑자기 팽창하여 신장이 촉진되면 조직연화가 동반되기 때문에 정상식물에 비하여 어떤 방법으로는 제초활성차이를 나타낼 것이다. Lee 등(1989)은 GA₃가 johnsongrass에 대한 fluazifop의 방제력을 증가시킨다고 하였고, Dickson 등(1990)은 제초제처리 1~2일전에 GA₃가 처리되었을 때 메귀리에 대한 fluazifop과 glyphosate의 활성을 증진시킨다고 하였고, Sibony 등(1991)도 경엽처리제초제 methabenzthiazuron과 diclofop의 *Phalaris paradoxa*와 *P. brachystachys*에 대한 방제력을 GA₃ 사전처리 또는 동시처리에 의해 선택적으로 증진시킬 수 있었던. 반면에, GA₃에 대해 반응이 둔감하였던 밀에서는 어떠한 변화도 관찰되지 않았다고 하였다. 본 연구에 있어서도 화합물과 처리방법에 따라 약간의 정도차이는 있었지만 GA₃에 의해 메귀리 방제력이 증진되는 경향이

있는데 fenoxaprop-ethyl 및 tralkoxydim과 같은 acetyl CoA carboxylase(ACCase)저해제를 처리한 경우에서 보다 뚜렷하였다. ACCase 저해제는 세포분열을 신속히 억제시키는 기작을 가지고 있으며(Hosaka와 Takagi, 1992), 동시에 세포막 포텐셜에도 영향을 미치는 것으로 보고되고 있는데(Shimabukuro와 Hoffer, 1992) 본 결과는 후자와 더욱 관련이 있는 것으로 추측된다. 왜냐하면 낮은 농도의 tralkoxydim이 처리된 메귀리의 신장억제에 GA₃가 어떠한 영향도 미치지 못했지만 경엽에서의 제초효과 발현은 촉진시켰기 때문이다(그림 3). Acetolactate synthase 저해제인 metsulfuron-methyl은 sulfonyleurea계로서 신장을 신속히 중지시키고 이어 황화와 더불어 조직의 괴사를 일으켜 식물체를 고사시킨다(Shaner, 1989). Metsulfuron-methyl과 GA₃를 혼합처리했을 때도 tralkoxydim과의 혼합처리에서와 같이 metsulfuron-methyl에 의한 신장억제를 전혀 회복시키지 못한 상태에서 경엽의 고사가 촉진되는 경향이었는데 이는 체내대사 활력과 더욱 관련이 있지 않을까 추측된다. 즉 GA₃는 sink로의 동화산물이동과 관련한 대사를 촉진시키며(Patrick과 Mulligan, 1989; Miyamoto 등, 1993), acetolactate synthase

저해제는 당의 이동을 저해하여 세포내에 당을 축적시킴으로써 살초작용을 나타내는 것으로 가정된다(Hall과 Devine, 1993; Kim 등, 1996). 따라서 두 물질을 혼합처리하면 체내에 당을 비롯한 여러 가지 대사산물들이 비정상적으로 축적되어 이로인해 제초효과가 증진될 것이기 때문이다. 기타 광합성 전자전달저해제로서 isoproturon과 metribuzine, 세포분열저해제로서 trifluralin 처리에서는 제초활성이 증진되었으나, oxyfluorfen과 paraquat에서는 반응 차이가 관찰되지 않았다. 종합적으로 본 연구에서 조사한 화합물들 중 비교적 반응 차이가 뚜렷하게 보였던 것은 fenoxaprop-ethyl, tralkoxydim, metsulfuron-methyl, trifluralin을 처리한 경우로서 이들은 제1차 작용점이 서로 다를지라도 초기에 생장을 신속히 중지시키면서 제초활성을 나타내는 약제들이란 공통점을 가지고 있었다(표 1, 표 2).

처리방법의 경우 실용적인 차원에서 볼 때 토양처리보다는 경엽처리가 바람직할 것으로 판단된다. 이럴 경우 GA_3 를 어떤 방법으로 처리하는 것이 바람직한지를 검토할 필요성이 있다. 실험자에 따라서는 GA_3 를 사전에 처리해야만 효과를 볼 수 있다(Dickson, 1990; Sterrett와 Hodgson, 1983)고 한 반면에, Lee 등(1989)과 Sibony 등(1991)은 혼합처리(tank-mixture)에서도 효과가 나타난다고 하였다. 본 연구에서는 동시처리와 GA_3 사전처리에서 효과가 양호하였고, GA_3 를 나중에 처리하는 체계처리에서는 효과가 없거나 미약하였다. 따라서 실용적인 차원에서 볼 때 체계처리보다는 동시처리하는 것이 노동력을 절감하는 차원에서 바람직할 것으로 판단되었다. 이는 제초제의 처리량을 줄이면서 동일한 방제효과를 볼 수 있는 소위 환경보전형 제초제 처리기술 중의 하

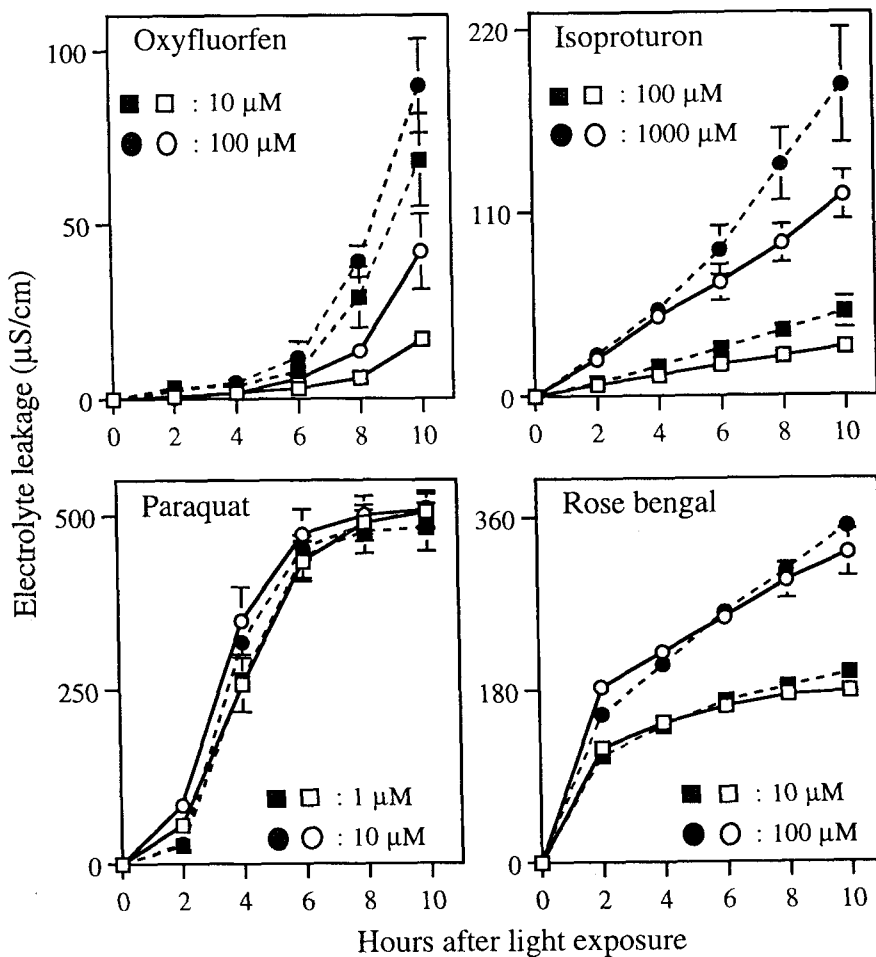


Fig. 4. Effect of several compounds on the electrolyte leakage in leaf segments of wild oat pre-treated (closed symbol) or untreated (open symbol) with GA_3 . Leaf segments floated on the solution of various compounds were dark-incubated at $25^\circ C$ for 16 hr and then light-exposed at $70 \mu mol m^{-2} s^{-1}$.

나라 할 수 있겠다.

작용기작 측면에서 GA₃가 여러 제초제의 활성을 증진시키는 이유에 대해서는 다음과 같이 생각해 볼 수 있을 것 같다. 첫째, GA₃에 의해 세포벽이 이완되고 세포막이 팽창되면(Adams 등, 1973; Behringer 등, 1990) 줄기나 잎이 연약한 상태로 자라고 따라서 세포막 또는 세포벽 구성물질의 조성이나 배열 등이 달라질 수 있다(Martinez-Cortina 등, 1992). 이 경우 외부화합물에 대한 흡수정도에 있어서 충분한 차이가 생길 수 있으므로 GA₃가 처리된 조직에서는 제초제의 흡수가 증진되어서 제초활성이 높게 나타날 수 있다. 또한 GA₃에 의해 sink-source관계가 변화되어 상대적으로 사관조직으로의 이행능력이 높아지고(Miyamoto 등, 1993; Yim 등, 1997) 따라서 사관으로의 이행능력이 좋은 제초제(phloem-mobile herbicides)는 활성이 높게 나타날 수 있다. 둘째, GA₃에 의해 세포벽이 이완되고 세포막이 팽창되면 줄기나 잎이 연약한 상태로 자라고 따라서 살초반응이 정상조직에서보다 강하게 나타날 수 있다. 이는 특히 막과산화작용 화합물에 대해서 뚜렷하게 반응을 나타낼지 모른다. 셋째, GA₃는 식물체내 대사활력 자체를 증진시킬 수 있다. 만일 대사활력이 살초기작과 관련이 있다면 보통의 경우보다는 살초반응이 더욱 신속히 나타날 수 있을지 모른다. 이러한 경우 흡수된 제초제량이나 식물의 제초반응 소질과는 관계없이 더 높은 제초력이 야기될 수도 있을 것이다. 지금까지 대부분의 연구자는 첫 번째의 가능성에 대해서만 고려하여 왔다(Basler, 1977; Chykaliuk 등, 1982; Sterrett와 Hodgson, 1983; Waldecker와 Wyse, 1985; Patrick와 Mulligan, 1989; Sibony 등, 1991). 본 연구에서는 나머지의 가능성을 알아보기 위하여 GA₃ 처리된 조직과 정상조직을 가지고 세포질 누출 정도를 조사해 보았다. 그 결과 oxyfluorfen과 isoproturon에서는 GA₃ 처리된 조직에서 세포질 누출이 더 높게 나타나는 경향이 나 paraquat와 rose bengal에서는 반응차이가 없었다(그림 4). 만일 두 번째 가정대로 GA₃에 의해 조직이 연화되어 식물의 제초반응 소질(세포막 파괴 등)이 높아졌다면 모든 처리에서 세포질 누출이 높게 나타나야 할 것이나 paraquat나 rose bengal에서는 그렇지 않았다. 한편 oxyfluorfen이 전식물체에 처리될 경우에는 GA₃에 의해 제초효과가 증진되지 못하였는데, 조직절편에 처리될 경우에는 차이가 인정되었다. 이들 경향으로 보아 GA₃가

제초력 증진에 미치는 영향은 조직의 형태적차이(세포신장촉진)에만 기인되었다고는 볼 수 없을 것 같다. 신속한 성장정지를 유도하는 ACCase와 ALS 저해제 또는 세포분열저해제는 식물생장이 둔화되는 조건에서는 제초반응이 잘 나타나지 않지만 생장이 왕성한 조건에서는 반응이 신속히 나타나는 현상이 자주 관찰된다. 이에 근거하여 볼 때 제초활성이 증진되었던 것은 성장활력과 관련한 체내대사가 GA₃에 의해 촉진되었기 때문일 가능성을 배제할 수 없다. 실제 본 연구에서는 작용점이 어디든 생장이 왕성한 조건에서 제초활성이 잘 발현되는 제초제의 활성을 GA₃가 증진시키는 경향을 보여 주었다. 따라서 GA₃가 일부 제초제의 효과를 증진시켰던 것은 조직의 형태적 차이(세포신장촉진)에 기인한 제초반응의 차이라기보다는 제초제의 흡수, 이행 증진과 더불어 식물체내 대사 활력을 증진시킴으로서 제초작용 발현을 촉진하였기 때문으로 추정된다. 그러나 그 정도는 화합물의 물리화학적 특성과 생체 내에서의 행동 등에 따라 각기 다를 것으로 판단된다. 이를 증명하기 위해서는 보다 더 종합적인 연구가 진행되어야 하겠다.

인용문헌

- Adams, P. A., P. B. Kaufman and H. Ikina (1973) Effects of gibberellic acid and sucrose on the growth of oat (*Avena*) stem segments. *Plant Physiol.* 51:1102~1108.
- Anderson, W. P. 1996. *Weed science - principles and applications* (3rd ed.), pp. 108-150, West Publishing, New York.
- Basler, E. (1977) Effects of growth regulators and gibberellic acid on 2,4,5-T translocation. *Weed Sci.* 25:36~42.
- Behringer, F. J., D. J. Cosgrove, J. B. Reid and P. J. Davies (1990) Physical basis for altered stem elongation rates in internode length mutants of *Pisum*. *Plant Physiol.* 94(1):166~173
- Chykaliuk, P. B., T. F. Raper and E. Basler (1982) Stimulation of basipetal herbicide translocation with GAF 141-experimental ethylene-releasing agent. *Weed Sci.* 30:6~10.
- Dickson, R. L., M. Andrews, R. J. Field and E. L.

- Dickson (1990) Effect of water stress, nitrogen, and gibberellic acid on fluazifop and glyphosate activity on oats (*Avena sativa*). *Weed Sci.* 38:54~61.
- Hall, L. M. and M. D. Devine (1993) Chlorsulfuron inhibition of phloem translocation in chlorsulfuron-resistant and -susceptible *Arabidopsis thaliana*. *Pestic. Biochem. Physiol.* 45:81~90.
- Hosaka, H. and M. K. Takagi (1992) Effects and absorption of sethoxydim in cell cycle progression of corn (*Zea mays*) and pea (*Pisum sativum*). *Plant Physiol.* 1992 99(4):1650~1656.
- Kim, S. and W. H. Vanden Born (1996) Chlorsulfuron decreases both assimilate export by source leaves and import by sink leaves in Canola (*Brassica napus* L.) seedlings. *Pestic. Biochem. Physiol.* 56:141~148.
- Lee, R. D. and L. E. Bendixen (1989) Gibberellic acid altered fluazifop absorption and partitioning in johnsongrass (*Sorghum halepense*). *Special Circular Ohio Agricultural Research and Development Center.* 125:28~31.
- Martinez-Cortina, C., R. Ros, D. T. Cooke, C. S. James and A. Sanz (1992) The lipid composition, fluidity, and Mg^{2+} -ATPase activity of rice (*Oryza sativa* L. cv. Bahia) shoot plasma membranes: Effects of ABA and GA_3 . *Journal of Plant Growth Regulation.* 11(4):195~201.
- Miyamoto, K., J. Ueda, and S. Kamisaka (1993) Gibberellin-enhanced sugar accumulation in growing subhooks of etiolated *Pisum sativum* seedlings: Effects of gibberellic acid, indoleacetic acid and cycloheximide on invertase activity, sugar accumulation and growth. *Physiol. Plant.* 88(2):301~306.
- Patrick, J. W. and D. R. Mulligan (1989) Gibberellic acid promoted transport of assimilates in stems of *Phaseolus vulgaris*: Effects on assimilate accumulation by the sink. *Ann. Bot.* 63:581~587.
- Phatak, S. C. and C. S. Vavrina (1989) Growth regulators, fungicides, and other agrochemicals as herbicide safeners. pp.299~315, *In Crop Safeners for Herbicides* (ed. by Hatzios K.K. and R.E. Hoagland), Academic Press.
- Shaner, D. L. (1989) Sites of action of herbicides in amino acid metabolism: primary and secondary physiological effects. *Recent Adv. Phytochem.* 23 (Plant Nitrogen Metab.). pp.227~261.
- Shimabukuro, R. H. and B. L. Hoffer (1992) Effect of diclofop on the membrane potentials of herbicide-resistant and -susceptible annual ryegrass root tips. *Plant Physiol.* 98:1415~1422.
- Sibony, M., M. J. Pinthus and B. Rubin (1991) Improved selective grass weed control in semi-dwarf wheat by exogenous gibberellic acid. *Proceedings of Brighton Crop Protection Conference* pp.953~958.
- Sterrett, J. P. and R. H. Hodgson (1983) Enhanced response of bean (*Phaseolus vulgaris*) and Canada thistle (*Cirsium arvense*) to bentazon or glyphosate by gibberellin. *Weed Sci.* 31:396~401.
- Street, J. E., H. Teresiak, and R. Allen (1993) Compatibility of gibberellic acid and postemergence herbicides in rice. *Bulletin of Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station.* 1007:5.
- Tsai, W. F. (1995) Physiological responses of rice seedlings to butachlor. *Kor. J. Weed Sci.* 15(4):247~253.
- Waldecker, M. A. and D. L. Wyse (1985) Chemical and physical effects on the accumulation of glyphosate in common milkweed (*Asclepias syriaca*) root buds. *Weed Sci.* 33:605~611.
- Wood Mackenzie (1998) Agrochemical service. Update of the crops section, pp.1~67, Edinburgh, Wood Mackenzie.
- Yaacoby, T., J. C. Hall and G. R. Stephenson (1991) Influence of fenchlorazole-ethyl on the metabolism of fenoxaprop-ethyl in wheat, barley and crabgrass. *Pestic. Biochem. Physiol.* 41(3):296~304.
- Yim, K. O., Y. W. Kwon and D. E. Bayer (1997) Growth responses and allocation of assimilates of rice seedlings by paclobutrazol and gibberellin treatment. *Journal of Plant Growth Regulation.* 16(1):35~41.
- Yogev, M., M. Sibony, M. Negbi, and B. Rubin (1996) Improved control of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) using plant growth regulators. *Proceedings of the second international weed control congress, Copenhagen, Denmark,* pp.1183~1188.

김진석, 김태준, 김영섭, 조광연 (1994) 새로운 백화형 디페닐에테르계 화합물 KC-6361의 제초작용기작. 한잡초지 14(2):81~93.

Effect of mixtures of gibberellic acid and several herbicides on the herbicidal activity against wild oat (*Avena fatua* L.)
Jin-Seog Kim*, Jung Sup Choi, Kyung Sik Hong and Kwang Yun Cho(Korea Research Institute of Chemical Technology, Taejeon, 305-606, Korea)

Abstract : Based on the differential growth response to exogenous gibberellic acid (GA₃) between semi-dwarf wheat(*Triticum aestivum*) and wild oat(*Avena fatua*), we examined the possibility of improving the selective performance of several herbicides by GA₃ application and the physiological background of GA₃-induced increase in herbicidal activity. Growth of wild oat was 4 to 5 times higher than that of wheat by GA₃ treatment. Pretreatment of wild oat seed with 300 ppm GA₃ increased the herbicidal activities of trifluralin and isoproturon by soil-surface application, but not of alachor and metsulfuron-methyl. GA₃ applied simultaneously with post-emergence herbicides resulted in a significant or moderate improvement of the efficacy of such herbicides as tralkoxydim, fenoxaprop-ethyl, metsulfuron-methyl, metribuzine and isoproturon, but not in the mixtures of oxyfluorfen or paraquat with GA₃. In the sequential treatment of tralkoxydim and GA₃ at interval of one-day, GA₃ applied prior to tralkoxydim significantly increased a chlorosis and desiccation of leaf without affecting the growth inhibition by tralkoxydim. Tralkoxydim followed by GA₃ application had lower herbicidal activity than that of GA₃ followed by tralkoxydim treatment. Electrolyte leakage response of GA₃-pretreated or GA₃-untreated wild oat leaf against several compounds inducing membrane peroxidation was compared. Differential responses were observed in oxyfluorfen and isoproturon treatments with an increased electrolyte leakage in GA₃-pretreated tissue, but not in paraquat and rose bengal treatments. These results suggest that GA₃-induced increase in herbicidal activity is likely to be dependent on a herbicide type and may be due to activation of a metabolic ability related with herbicidal reponse as well as an increase in the herbicide absorption and translocation, rather than due to membrane and cell wall extension induced by GA₃, which in turn makes the herbicides easily enter.

*Corresponding author (Fax : +82-42-861-4913, E-mail : jskim@pado.kRICT.re.kr)