

Primisulfuron과 殺蟲劑 Terbufos의 相互作用이 옥수수品種의 生長 및 Acetolactate Synthase 酵素 活性에 미치는 影響*

朴仁哲¹ · 卞鍾英¹ · 盧碩元¹ · 安炳錫¹

Effects of Primisulfuron and Terbufos on Growth and Acetolactate Synthase Activity in Several Corn Cultivars*

Piao, R.Z.¹, J.Y. Pyon¹, S.W. Roh¹ and B.S. Ahn¹

ABSTRACT

Growth response and acetolactate synthase(ALS) activity were examined to determine the resistance of corn cultivars to primisulfuron when primisulfuron and/ or insecticide Terbufos were applied.

Pioneer 3571 IR showed resistance to primisulfuron regardless of Terbufos treatment, but Pioneer 3571 was greatly injured with primisulfuron plus Terbufos treatment. Suwon 118 was relatively tolerant to primisulfuron compared to Chalok 2, but crop injury was occurred at both cultivars by primisulfuron plus Terbufos treatment.

ALS activity at Pioneer 3751 IR was very high in primisulfuron and/ or Terbufos treatment. Suwon 118 also showed higher ALS activity compared to Pioneer 3751 and Chalok 2, but ALS activities were greatly decreased by primisulfuron plus Terbufos treatment at Suwon 118 and Chalok 2. The I₅₀ concentration for 50% inhibition of the ALS enzyme was 10.0, 0.06, 7.75, and 0.04μM for Pioneer 3751 IR, Pioneer 3751, Suwon 118, and Chalok 2, respectively.

Consequently, resistance of corn cultivars to primisulfuron was significantly related to ALS activity. Crop injury and lower ALS activity were recognized in susceptible corn cultivars by primisulfuron plus Terbufos treatment.

Key words : Resistance, primisulfuron, terbufos, corn, acetolactate synthase

緒 論

Sulfonylurea계 除草劑와 Imidazolinone계 除草

劑들은 아주 적은 處理量으로 높은 제초활성을 발휘하고 넓은 살초스펙트럼을 나타내므로 최근 전 세계적으로 논과 밭에서 광범위하게 사용되고 있으며 또한 人畜에 대한 毒性이

¹ 忠南大學校 農科大學 農學科 (Department of Agronomy, College of Agriculture, Chungnam National university Taejon, 305-764, Korea)

* 본 논문은 한국학술진흥재단 자유공모과제 연구비(1996)지원에 의하여 수행된 연구결과의 일부임.

〈'98. 4. 22 접수〉

매우 낮기 때문에 環境親和型 除草劑로 각광을 받고 있다.^{3,15,18)} 이러한 除草劑들은 化學構造면에서 공통점은 없지만 작용점은 분지아미노산인 Valine, Leucine, 및 Isoleucine의 생합성 과정에서 공통적으로 작용하는 酵素인 Acetolactate synthase(ALS)를 阻害하는 것으로 알려졌다. Sulfonylurea, Imidazolinone과 Triazolopyrimidine계 除草劑는 다같이 ALS酵素 活性을 阻害한다^{2,4,6,11,12,16,17)}.

옥수수 收量과 品質을 低下시키는 雜草와 病害蟲을 防除하기 위하여 농민들은 옥수수 생육기간중에 除草劑와 殺蟲劑를 사용하고 있다. 그러나 이런 경우 흔히 除草劑와 殺蟲劑의 混合處理에 의하여 藥害가 발생되는 사례가 많다. 어떤 除草劑와 殺蟲劑의 연속적인 사용은 作物이나 收量의 減少를 일으킬 수 있으며 이러한 상승적 효과는 除草劑와 몇몇 有機磷系 殺蟲劑에서 보고되고 있다^{9,10)}.

ALS阻害型 除草劑의 藥害를 방지하고자 遺傳工學 기술이나 組織培養을 통해서 抵抗性을 지닌 形質轉換 옥수수 品種들을 育成하여 미국내에서 사용되고 있다.

한편 除草劑와 殺蟲劑의 相互作用에 대한 연구는 많았지만 國內에서는 아직 ALS阻害型 除草劑에 대한 옥수수 抵抗性에 대한 연구는 없었으며 옥수수 抵抗性品種에 대한 작용기작 연구도 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 研究는 國內에서 育成된 옥수수 品種과 國外에서 사용되는 ALS阻害型 除草劑 抵抗性 品種을 대상으로 Primisulfuron을 處理하였을 때 殺蟲劑 Terbufos處理에 따른 옥수수의 藥害反應과 ALS酵素 活性 차이를 檢定하였다.

材料 및 方法

1. 國內 옥수수品種의 Primisulfuron 耐性 檢定

國內에서 育成되거나 사용중인 옥수수品種인 수원 118호, 황성옥, 찰옥 1호, 찰옥 2호, GCB 70, 광안옥, 수원19호, P3144, P3352와

Cocktail 86을 供試하여 플라스틱 포트에 播種하고 殺蟲劑 Terbufos를 0, 1.8Kg ai/ha(표준량)을 土壤處理한 다음, 옥수수 3-4엽기 때 除草劑 Primisulfuron을 0, 40g ai/ha(Tween 20 0.5%)을 莖葉處理하였으며 處理 2주후에 초장, 생체중 및 건물중을 측정하였다.

2. Primisulfuron과 Terbufos處理가 옥수수 生長에 미치는 影響

供試品種으로 國內品種에서 선발한 수원 118호, 찰옥 2호와 미국으로부터 입수한 ALS阻害型 除草劑에 抵抗性인 形質轉換 옥수수品種 Pioneer 3751 IR과 感受性品種 Pioneer 3751을 供試하여 플라스틱 포트에 播種하고 殺蟲劑 Terbufos 0, 1.8kg ai/ha(표준량)을 土壤處理하였으며 Primisulfuron 0, 40(표준량), 80, 160g ai/ha을 옥수수가 3-4엽까지 자랐을 때 莖葉處理하였다. 除草劑 處理 2주후에 초장, 지상부 생체중 및 건물중을 測定하였다.

3. Primisulfuron과 Terbufos處理가 옥수수 品種間 ALS酵素 活性에 미치는 影響

옥수수의 잎 부분만을 채취하여 생체중을 측정한 다음, 유발에 옥수수 잎을 넣고 液體窒素로 급냉시킨 후 磨碎하였다. Homogenization buffer(0.1M K₂HPO₄, 1mM Sodium Pyruvate, 0.5mM MgCl₂, 0.5mM Thiamine Pyrophosphate, 10μM FAD, Glycerol 10% v/v, PH 7.5)를 식물체 무게의 2배량을 넣고 곱게 磨碎한 후 8겹의 거즈로 濾過하였다. 얻은 溶液을 27,000g 4℃에서 20분간 遠心分離한 다음 상징액만 취하여 용량을 측정하였다. 측정한 溶液에 같은 용량의 飽和 (NH₄)₂SO₄溶液을 넣고 매 15분마다 흔들어서 1시간 反應을 시킨 다음, 15,000g 4℃에서 15분간 遠心分離한 후 상징액을 버리고 침전된 pellet를 재현탁용액(0.1M K₂PO₄, 20mM Sodium Pyruvate, 0.5mM MgCl₂, PH 7.5) 2ml를 첨가하여 vortex를 이용하여 완전히 溶解시켰으며 低溫에서 G-25 PD-10 칼럼을 通過시켜 粗酵素를 얻었다.

濃度別로 除草劑 原劑를 反應溶液(25mM

K₂HPO₄, 0.625mM MgCl₂, 25mM Sodium pyruvate)에 0.1ml씩 각 tube에 넣어 最終濃度가 10⁻⁸, 10⁻⁷, 10⁻⁶, 10⁻⁵M이 되게 하였고 대조구는 미리 黃酸溶液(6N H₂SO₄ 50μl)을 넣었으며 處理당 4반복으로 하였다.

칼럼을 通過하여 얻은 粗酵素 溶液을 蛋白質 質量을 기준으로 하여 각각의 tube에 넣고 20 초 vortex 해주고 30℃의 恒溫水槽에서 30분간 反應시키는 동안 10분간격으로 흔들어서 주었다. 6N H₂SO₄ 50μl를 각각의 tube에 넣고 vortex하여 反應을 종료한 다음, 다시 60℃의 恒溫水槽에 30분간 放置하고 creatin과 α-naphthol이 0.5%와 5%가 함유된 2.5N NaOH용액 1ml씩 각각의 tube에 넣었다. 60℃의 恒溫水槽에 30분간 發色시킨 후 3000rpm 속도로 遠心分離를 해준 다음 530nm에서 吸光度를 測定하였다. 粗酵素의 蛋白質 質量 분석은 Lowry法에 의하여 測定하였다.

結果 및 考察

1. 國內 옥수수品種의 Primisulfuron 耐性 檢定

國內 옥수수 10品種을 供試하여 殺蟲劑 Terbufos와 除草劑 Primisulfuron을 混合處理하였을 때 수원 118호는 Terbufos와 Primisulfuron 40g ai/ha량의 混合處理에서 초장 11.5%, 생체중 31.9% 抑制되어 藥害가 가장 적었으며 찰옥 2호와 Cocktail 86는 같은 濃度에서 생체중이 각각 67.2%와 87.8% 抑制되어 供試品種 가운데에서 藥害가 가장 심하게 나타났으며 그 이외의 대부분 品種에서도 뚜렷한 耐性은 보이지 않고 感受性을 나타냈다(Table 1). Primisulfuron에 대한 抵抗性 및 感受性品種 선발은 단옥수수인 Cocktail 86(發芽率 낮음)을 제외하고 耐性品種으로 수원 118호, 感受性品種으로 찰옥 2호를 선택하여 다음의 實驗에 使用하였다.

Table 1. Effects of primisulfuron and terbufos on growth of various Korean corn cultivars.

Cultivar	Primisulfuron + Terbufos(g ai/ha)	Plant ht (cm)	% of control	Fresh wt (g/plant)	% of control
Chalok 2	0	77.4	100.0	36.3	100.0
	40+1800	31.4	40.5	11.9	32.8
Chalok 1	0	100.1	100.0	59.4	100.0
	40+1800	60.8	60.7	29.4	49.5
Hwengsungok	0	96.1	100.0	46.3	100.0
	40+1800	61.3	63.8	25.7	55.6
GCB 70	0	92.3	100.0	41.3	100.0
	40+1.8	29.3	31.7	6.3	15.2
Suwon 118	0	91.3	100.0	45.0	100.0
	40+1800	80.8	88.5	30.6	68.1
Kwnganok	0	96.3	100.0	45.6	100.0
	40+1800	61.9	64.3	28.1	61.6
Suwon 19	0	91.1	100.0	43.8	100.0
	40+1800	73.4	80.5	30.5	69.6
P 3144	0	88.8	100.0	42.5	100.0
	40+1800	57.0	64.2	26.3	61.8
Cocktail 86	0	73.0	100.0	35.0	100.0
	40+1800	27.9	38.2	4.3	12.2
P 3352	0	74.5	100.0	30.0	100.0
	40+1800	45.9	61.6	12.5	41.7

2. Primisulfuron과 Terbufos處理가 옥수수 生長에 미치는 影響

Pioneer 3751 IR은 Primisulfuron 160g ai/ha 處理에서 초장 17%, 생체중 22%, 건물중 24%의 生長抑制를 보여 抵抗性を 나타냈고 수원 118호는 40g ai/ha 處理量에서 초장 24%, 생체중 34%, 건물중 49%의 生長阻害를 보여 다소 심한 藥害를 보였으며 感受性品種 Pioneer 3751과 찰옥 2호는 生長抑制가 매우 심하였다 (Table 2).

Terbufos와 Primisulfuron을 處理하였을 때 Pioneer 3751 IR은 殺蟲劑處理與否와 관계없이 Primisulfuron 160g ai/ha 處理量에서도 초장 16%, 생체중 21%, 건물중 31%의 生長抑制가 나타나 殺蟲劑 無處理때와 비슷한 경향을 보여 두 약제의 상승 효과가 거의 나타나지 않았다. 그러나 Pioneer 3751에서는 초장, 생체중과 건물중이 殺蟲劑를 處理하지 않았을 때보다도 더 현저하게 抑制되어 殺蟲劑의 處理로 말미암아 除草劑의 상승효과가 보여 심한 藥

害를 나타냈다. 수원118호는 찰옥 2호에 비해 生長阻害 정도가 낮게 나타났으나 形質轉換된 抵抗性品種Pioneer 3751 IR에 비해 抵抗性이 매우 낮은 것으로 나타났다.

形質轉換된 ALS阻害型 除草劑에 抵抗性인 品種 Pioneer 3751 IR의 生長을 50% 阻害시키는 除草劑處理量인 GR₅₀값은 殺蟲劑 處理與否와 관계없이 160g ai/ha 이상이었고 感受性 品種Pioneer 3751은 Primisulfuron 處理시의 GR₅₀ 값은 136.0g ai/ha에서 殺蟲劑와 除草劑의 混合 處理하였을 때 17.0g ai/ha으로 크게 減少하여 感受性を 나타냈다. 수원 118호는 Primisulfuron 處理에서 GR₅₀값은 92.0g ai/ha였고 殺蟲劑와 混合處理하였을 때에는 18.5g ai/ha로 減少되었다. 찰옥 2호는 除草劑處理에서 GR₅₀값은 29.0g ai/ha이고 殺蟲劑와의 混合處理에서 14.5g ai/ha로 저하되어 國內品種은 殺蟲劑와 除草劑의 相互作用의 影響을 많이 받은 것으로 나타났다 (Table 3).

Ahres¹⁾에 의하면 Thifensulfuron과 有機磷系

Table 2. Effects of primisulfuron and terbufos on growth of 4 corn cultivars.

Corn cultivar	Primisulfuron (g ai/ha)	Plant height(cm)		Fresh weight (g/plant)		Dry weight (g/plant)	
		Terbufos (kg ai/ha)					
		0.0	1.8	0.0	1.8	0.0	1.8
Pioneer 3751 IR	0	64.6	62.4	17.2	16.1	2.5 ^a	2.3 ^a
	40	64.1	58.6	16.4	15.9	2.4 ^a	2.2 ^a
	80	62.3	58.0	15.8	15.7	2.3 ^a	2.1 ^a
	160	53.9	52.4	13.5	12.7	1.9 ^a	1.6 ^a
Pioneer 3751	0	64.9	60.0	14.7	14.1	2.2 ^a	2.1 ^a
	40	49.9	30.0	10.2	2.3	1.6 ^b	0.4 ^c
	80	43.5	30.0	9.4	2.2	1.4 ^b	0.4 ^c
	160	30.8	25.8	4.9	1.9	0.5 ^c	0.3 ^c
Suwon 118	0	60.1	54.4	15.4	14.0	2.7 ^a	2.0 ^a
	40	45.9	26.3	10.1	2.8	1.3 ^{bc}	0.4 ^c
	80	38.5	24.7	8.5	2.2	1.0 ^{bc}	0.3 ^c
	160	32.5	22.3	6.3	1.3	0.9 ^{bc}	0.3 ^c
Chalok 2	0	64.1	61.4	15.0	14.2	2.1 ^a	2.1 ^a
	40	37.4	31.3	6.3	0.7	0.7 ^b	0.3 ^b
	80	34.9	28.5	5.9	0.6	0.7 ^b	0.3 ^b
	160	28.1	27.5	2.6	0.0	0.3 ^b	0.3 ^b

* Means with the same letter within corn cultivars are not significantly different at the 5% probability level based on Duncan's multiple range test.

Table 3. GR₅₀ and I₅₀ values for primisulfuron determined from plant fresh weight, and acetolactate synthase activity in primisulfuron-susceptible, and -tolerant corn cultivars.

Corn cultivar	Terbufos (kg ai/ha)			
	0.0		1.8	
	GR ₅₀ (g ai/ha) ^a		I ₅₀ (μ M) ^b	
Pioneer 3751 IR	> 160.0	> 160.0	> 10.0	> 10.0
Pioneer 3751	136.0	17.0	0.06	0.04
Suwon 118	92.0	18.5	7.75	0.01
Chalok 2	29.0	14.5	0.04	0.01

^a GR₅₀ is the herbicide concentration that reduces growth by 50%.

^b I₅₀ is the herbicide concentration that inhibits enzyme activity by 50%.

殺蟲劑인 Chlorpyrifos와의 相互作用은 콩에 藥害를 유발하였으며 Morton 등¹⁴⁾은 Nicosulfuron과 Terbufos處理에 의하여 藥害는 상승적으로 작용하여 단옥수수의 收量減少가 초래되었다고 보고하였다. 또한 최근 포장실험에 따르면 옥수수의 藥害와 收量 減少가 옥수수에서 Sulfonylurea계 除草劑 Nicosulfuron과 Primisulfuron을 有機磷系殺蟲劑인 Terbufos를 處理한 후에 사용하였을 때 발생한다는 것을 밝혀냈다¹³⁾. Frazier 등⁸⁾에 의하면 Primisulfuron이나 Terbufos만으로는 옥수수에서 뚜렷한 生長抑制를 일으키지 않으나 相互作用으로 인하여 Primisulfuron 處理 96시간후에는 지상부 건물중과 초장의 뚜렷한 減少를 유발하며 Primisulfuron藥量에 따른 反應은 발생하지 않았다고 하였다.

본 實驗의 결과는 殺蟲劑 Terbufos만으로는 藥害를 일으키지 않았으나 Primisulfuron만 사용을 하였을 때 形質轉換된 Pioneer 3751 IR品種만이 藥量에 따른 藥害가 나타나지 않았을 뿐, 기타 3品種에서는 현저한 藥害가 나타났다. 除草劑와 殺蟲劑 Terbufos를 함께 處理하였을 때 일반옥수수 品種에서 除草劑에 의한 藥害의 상승작용이 관찰된 것은 Frazier 등⁸⁾의 實驗結果와 같은 傾向을 나타냈다.

3. Primisulfuron과 Terbufos處理에 따른 옥수수品種의 ALS酵素活性에 미치는 影響

Primisulfuron 處理에 의한 옥수수品種의 ALS酵素의 活性을 살펴보면 形質轉換된 抵抗性品

種 Pioneer 3751 IR은 感受性品種 Pioneer 3751에 비하여 같은 處理濃度에서 ALS酵素活性이 현저하게 높게 나타났으며 수원 118호도 찰옥 2호에 비해 活性이 전반적으로 높은 것으로 나타나 옥수수가 Primisulfuron에 대한 抵抗性과 ALS酵素活性간에는 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수 있다(Fig. 1).

Terbufos와 Primisulfuron을 混合處理하였을 때 ALS酵素活性은 Pioneer 3751 IR品種은 Pioneer 3751에 비하여 같은 處理濃度에서 ALS酵素活性이 현저하게 높았으며 殺蟲劑 無處理 경우와도 차이를 거의 나타내지 않았다. Pioneer 3751의 ALS酵素活性은 殺蟲劑 處理與否와 관계없이 Primisulfuron 處理濃度가 높아짐에 따라 크게 減少하였다. 殺蟲劑 處理하에서 수원 118호와 찰옥 2호의 ALS酵素活性은 無處理에 비해 현저하게 떨어져 殺蟲劑處理로 말미암아 除草劑의 藥害 상승효과의 影響을 많이 받은 것으로 생각된다(Fig. 1).

Pioneer 3751 IR品種은 ALS酵素活性을 50% 沮害하는 Primisulfuron濃度 I₅₀값은 殺蟲劑의 處理與否와 관계없이 10.0 μ M이상이었고 Pioneer 3751은 Primisulfuron處理에서 I₅₀값은 0.06 μ M로 값이 낮았으며 殺蟲劑와 混合處理 하였을 때는 0.04 μ M로 減少되었다. 수원 118호는 除草劑 處理條件에서 I₅₀ 값은 7.75 μ M이었고 殺蟲劑處理로 말미암아 I₅₀ 값은 0.01 μ M로 낮아졌으며 찰옥 2호는 殺蟲劑 無處理시에 I₅₀값은 0.04 μ M이었고 殺蟲劑處理 때에는 0.01 μ M로 낮아졌다. 이와 같은 결과는 Pioneer 3751 IR과 Pioneer

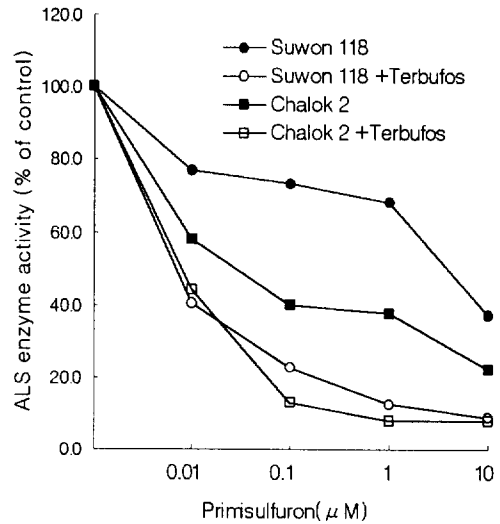
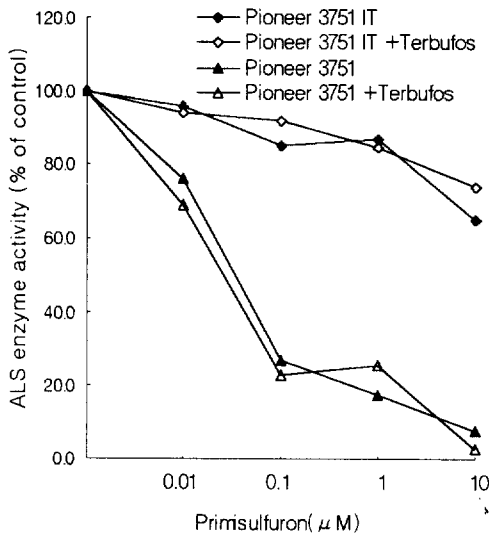


Fig. 1. Effects of primisulfuron and terbufos on acetolactate synthase activity of corn cultivars.

3751, 수원 118호와 찰옥 2호 품종에서除草劑 또는除草劑와殺蟲劑混合處理에서 GR₅₀ 값으로 나타난生長反應과 비슷한 경향을 보였다 (Table 3).

따라서 ALS阻害型除草劑에抵抗性인 Pioneer 3751 IR 품종은除草劑處理에서 어떠한代謝作用을 거쳐除草劑를無毒化함으로 하여抵抗性을 나타내며 이런無毒化代謝는殺蟲劑 Terbufos의處理에서도影響이 받지 않는다는 것을 설명한다. 그러나感受性인 품종은除草劑處理에서는 어느 정도抵抗性을 나타내나殺蟲劑의작용으로除草劑의無毒化代謝가阻害되어 ALS酵素活性이 떨어지고 아미노산 생합성량의 부족으로植物體生長이抑制되고除草劑藥害 상승효과를 내어感受性을 보였다.國內 품종은形質轉換 품종에 비하여除草劑無毒化代謝가 활발하지 못할 뿐만 아니라殺蟲劑와除草劑間의 상승효과的影響도 많이 받은 것으로 사료된다.

Kreuz 등¹³⁾은 이러한 상승작용은除草劑代謝의減少로 인한 것이라고 하였다^{5,9,10,13)}. 이는 Primisulfuron의代謝를 일으키는 Cytochrome P-450 monooxygenase에 대한 Terbufos의抑制작용으로 인하여 일어날 수 있는데, Fonne-Pfister 등⁷⁾은 옥수수에서 Primisulfuron의水酸化反應

은 Cytochrome P-450 monooxygenase가 촉매한다고 하였다. Terbufos는 산화적 탈황화반응을 거쳐 S原자를 방출하는데 이런 S原자는 Cytochrome P-450活性을阻害하고 Cytochrome P-450活性阻害로 Primisulfuron의代謝가減少됨으로써 결과적으로作物의生長이阻害된 것으로 생각된다.

摘 要

形質轉換된 ALS阻害型除草劑抵抗性 품종 Pioneer 3751 IR과感受性 품종 Pioneer 3751, 國內에서栽培되는 옥수수 품종 수원 118호와 찰옥 2호를 대상으로 Primisulfuron과 Terbufos 混合處理에 따른 옥수수의藥害反應과 ALS酵素活性의 차이를 검정하였다.

Pioneer 3751 IR의 GR₅₀ 값은殺蟲劑處理與否와 관계없이 160g ai/ha 이상으로 높아 Pioneer 3751에 비하여 Primisulfuron에抵抗性을 나타냈으며 Pioneer 3751은除草劑를處理하였을 때 GR₅₀ 값은 136.0g ai/ha였고殺蟲劑와混合處理하였을 때는 17.0g ai/ha으로減少하였다. 수원 118호는 Primisulfuron 處理에서 GR₅₀ 값은 92.0g ai/ha였고殺蟲劑와混合處理하였을 때에는 18.5g ai/ha로減少되었다. 찰옥 2호는 Pri-

misulfuron에 가장 민감하여 GR₅₀값은 29.0g ai/ha이었고 殺蟲劑와의 混合處理에서 14.5g ai/ha로 저하되어 國內品種은 殺蟲劑와 除草劑의 相互作用으로 藥害를 많이 받은 것으로 생각된다.

Pioneer 3751 IR品種의 ALS酵素 活性의 I₅₀값은 殺蟲劑의 處理與否와 관계없이 10.0μM이상으로 가장 높았으며, Pioneer 3751은 Primisulfuron處理에서 I₅₀값은 0.06μM이고 殺蟲劑와 混合處理하였을 때 0.04μM로 減少되었다. 수원 118호와 찰옥 2호는 除草劑 處理에서 I₅₀ 농도는 각각 7.75, 0.04μM이었고 殺蟲劑와의 混合處理에서는 모두 0.01μM로 낮아졌다.

따라서 옥수수에서 Primisulfuron에 대한 抵抗性은 ALS酵素 活性과 밀접한 관계가 있으며 Pioneer 3751 IR을 제외한 品種에서는 Terbufos 處理에 따라 藥害가 크게 유발되었고 ALS酵素 活性이 저하되어 Primisulfuron에 대하여 感受性을 나타냈다고 생각된다.

引用文獻

- Ahrens, W.H. 1990. Enhancement of soybean (*Glycine max.*) injury weed control by thifensulfuron-insecticide mixtures. *Weed Technol.* 524-528.
- Anderson, P.C. and K.A. Hibberd. 1985. Evidence for the interaction of an imidazolinone herbicide with leucine, valine, and isoleucine metabolism. *Weed Sci.* 33 : 479-485.
- Caroline, S. 1991. Sulfonylurea herbicides. 51p. PJB Publications, Ltd.
- Chaleff, R.S. and C.J. Mauvais. 1984. Acetolactate synthase is the site of action of two sulfonylurea herbicides in higher plants. *Science* 224 : 1443-1445.
- Chang, F.Y., L.W. Smith, and G.R. Stephenson. 1971. Insecticide inhibition of herbicide metabolism in leaf tissues. *J. Agric. Food Chem.* 19 : 1183-1186.
- Ciskanik, L.M. and J.V. Schloss. 1985. Reaction intermediates of the acetolactate synthase reaction : Effect of sulfometuron-methyl. *Biochem.* 24 : 3357-3360.
- Fonne-Pfister, R., J. Gaudin, K. Kreuz, K. Ramsteiner, and E. Ebert. 1990. Hydroxylation of primisulfuron by an inducible cytochrome P450-dependent monooxygenase system from maize. *Pestic. Biochem. Physiol.* 37 : 165-174.
- Frazier, T.L., S.J. Nissen, D.A. Mortensen, and L.J. Meinke. 1993. The Influence of terbufos on primisulfuron absorption and fate in corn (*Zea mays*). *Weed Sci.* 41 : 664-668.
- Hamill, A.S. and D. Penner. 1973. Butylate and carbofuran interaction in barley and corn. *Weed Sci.* 21 : 339-342.
- Hamill, A.S. and D. Penner. 1973. Interaction of alachlor and carbofuran. *Weed Sci.* 21 : 330-335.
- Hay, J.V. 1990. Chemistry of sulfonylurea herbicides. *Pestic. Sci.* 29 : 247-262.
- Hussey, G. 1963. Growth and development in the young tomato. II. The effect of defoliation on the development of the shoot apex. *J. Exp. Bot.* 14 : 326-333.
- Kreuz, K. and R. Fonne-Pfister. 1992. Herbicide-insecticide interaction in maize : Malathion inhibits cytochrome P-450 dependent primisulfuron metabolism. *Pestic. Biochem. Physiol.* 43 : 232-240.
- Morton, C.A., R.G. Harvey, J.J. Kells, W.E. Lueschen, and V.A. Fritz. 1991. Effect of DPX-V9360 and terbufos on field and sweet corn (*Zea mays*) under three environments. *Weed Technol.* 5 : 130-136.
- Shaner, D.L. 1991. The imidazolinone herbicides. pp.71-90. CRC Press.
- Stidham, M.A. 1991. Herbicides that inhibit acetohydroxyacid synthase. *Weed Sci.* 39 : 428-434.
- Stidham, M.A., D.L. Shaner. 1990. Imidazo-

linone inhibition of acetoxyacid synthase
in vitro and *in vivo*. Pestic. Sci. 29 : 335-
340.

18. Westerfeld, W.W. 1945. A colorimetric deter-
mination of blood acetoin. J. Biol. Chem.
161 : 495.