

뿌리를 통하여 흡수된 Paraquat에 대한 雜草種들의 反應

姜炳華* · 沈相仁* · 李相珩*

Study on the Response of Weed Species to Paraquat Absorbed Through Root System

Kang, B.H.*, S.I. Shim*, S.G. Lee*

ABSTRACT

These researches have been conducted to obtain the basic information of the effects of paraquat on plant species and to screen the plant species showing specific responses to paraquat. Paraquat resistance related to ecotype and overwintering capacity. Perennial and biennial species showed higher resistance than annual species. In a family, most species showed higher resistance were overwintering species. Lamiaceae, Brassicaceae, and Caryophyllaceae were tolerant to paraquat, whereas Poaceae and Asteraceae were sensitive. Especially *Mosla dianthera* of Lamiaceae, *Hemistepta lyrata* and *Aster pilosus* of Asteraceae, and *Paspalum thunbergii* of Poaceae showed higher tolerance than others. The response patterns of plant species on germination stage were different to those on vegetative stage. Germination of *Amaranthus lividus*, *Arabis glabra*, and *Bidens frondosa* was not inhibited by paraquat. But their seedling growth were highly inhibited.

Key word : paraquat resistance, ecotype, overwintering capacity, germination

緒 言

非選擇性 除草劑인 paraquat는 강력한 殺草力 때문에 널리 이용되고 있다. Paraquat는 光合成의 光反應에 영향을 주어 藥效를 나타내는 除草劑로서 그 作用機作은 植物의 光合成 光反應 中 非正常的인 電子의 흐름을 유도하여, oxidative stress를 일으키는 superoxide를 비롯한 毒性酸素를 生成시켜 細胞에 피해를 朱게된다. 그 基本的 機作은 paraquat에 의해서

photosystem II에서 生成이 되는 酸素分子가 非正常的 經路로 還元이 되어 superoxide가 생성되며 이것이 一連의 過程을 거치며 過酸化水素, hydroxy radical 等 反應性이 큰 毒性酸素 (toxic oxygen)가 되고^{2,3,7)}, 이들이 脂質의 酸化에 의한 生體膜의 파괴^{5,11)} 酸化에 의한 酵素의 不活性化^{15,18)}, 葉綠素를 비롯한 植物色素의 破壞^{14,17)}, DNA의 突然變異 等 여러가지 植物體 內의 피해를 일으킨다고 報告되고 있다. 이러한 毒性酸素에 의한 피해를 paraquat외에 여러 氣象要因에 의해서도 발생이되므로 毒性酸素

* 고려대학교 자연자원대학 (College of Natural Resources, Korea University, Seoul 136-701, Korea) 본 연구는 한국과학재단의 핵심전문연구비 지원(931-0600-019-2)에 의하여 수행되었음.

<1995. 2.13 접수>

에 의한 植物體의 반응은 그 중요성이 있다. 특히 paraquat는 생물체에서 가장 보편적인 oxidative stress 誘發源으로 쓰이고 있는 化學物質로서¹⁾ 이 paraquat에 대한 植物體의 반응은 제초제인 paraquat가 oxidative stress 誘發源으로 작용하므로 현재 심화되고 있는 기상이변과, 다양한 xenobiotics에 의한 農業生態系의 汚染이 가중되는 現實에 비추어 중요하다. 植物體의 paraquat에 대한 耐性は 吸收抵抗性과 隔離, 抗酸化시스템에 의한 體內的 防禦機作 등 다양한데, 이 중 抗酸化시스템에 의한 耐性は 다른 여러 스트레스에 대한 交叉抵抗性을 부여할 수 있으므로 幼植物體의 중요한 形質이 될 수 있다. Paraquat에 대한 耐性は 여러 植物種에서 보고가 되었으나 그 耐性機作이 무엇인지는 정확하게 밝혀지지 않고 있다⁹⁾. 本研究는 주위에 많이 존재하는 雜草種을 主要 對象으로 하여 paraquat에 대한 耐성과 草種들의 生態의 特性間의 關係를 밝혀보고자 실시하였다.

材料 및 方法

1. 供試植物

本 實驗에 이용된 植物은 Kang¹²⁾, 張 等⁴⁾, 梁 等¹⁹⁾의 報告를 基礎로 하여 우리나라에 많이 發生하는 優占雜草 외에 都市 주위의 들과 野山에 많이 發生하는 山野草를 對象으로 실시하였다.

實驗에 利用된 雜草의 種子가 휴면이 있을 경우, 休眠의 打破는 姜 等⁸⁵⁾의 方法에 따라 層積處理 및 物理的 處理를 실시하였으며, 특히 4℃에서 濕潤狀態로 4週間 層積處理를 主로 실시하였다. 그러나 種子의 發芽狀態가 극히 不良한 경우는 植物體의 成植物을 採取하여 모래에 插木을 통하여 苗를 키운 후 實驗에 利用하였다.

2. 幼苗檢定

汚染源에 대한 植物體의 直接的인 影響을 파악하기 위하여 養液을 이용한 砂耕 栽培를

실시하였다. 養液은 Hoagland's 溶液을 이용하였고 paraquat에 대한 種間의 반응은 양액내에 paraquat를 0.5mM이 되도록 첨가한 다음 幼植物을 移植하여 生育沮害程度를 조사하였다. 幼苗는 休眠을 打破시킨 種子를 peat moss, 壤土, 모래를 1:1:1로 섞은 床土에 播種하여 苗를 키운 후 苗를 모래가 담긴 罌트에 移植하였다. 生育檢定은 晝夜間의 溫度가 28℃/25℃로 조절된 生育床 內에서 實施하였으며 光源은 自然光을 이용하였으며 處理後 35日에 生育調査를 실시하여 耐性程度를 평가하였다. 處理濃度別 實驗과 發芽實驗은 代表的인 耐성과 感受性을 보인 種들을 對象으로 paraquat를 0.05, 0.25, 0.5mM의 濃度로 調製한 溶液을 處理하고 30日 後에 生育을 조사하였다.

汚染源 處理에 의한 可視的 被害率은 被害가 없을 경우 0으로 하고 枯死하였을 경우 10으로 하여 被害率을 파악하였다. 또한 다음과 같이 累積被害率(cumulated visual injury rate : CVIR)을 구하여 被害率의 進行速度를 파악하였다.

$$CVIR = \frac{n \times VI_1 + (n-1) \times VI_2 + \dots + 1 \times VI_n}{\sum_{k=1}^n (k \times 10)} \times 100$$

VI_n = n일 째의 가시적 피해율,
n = 被害率을 調査한 日數

이 CVIR은 最大值가 첫날 부터 완전히 枯死한 경우로서 100이고 最小値는 마지막 날 까지 被害가 없을 경우로 0이 된다. 이 數値는 最終調査日의 可視的被害率이 같더라도 被害가 初期부터 빨리 나타난 경우는 數値가 크고 피해가 늦게 나타나기 시작한 경우는 작게 된다.

3. 發芽實驗

汚染源이 植物 種子의 發芽에 미치는 影響을 보기 위하여 種子를 30分間 蒸溜水에 담근 후 2%(W/V) sodium hypochlorite에 10分間 沈漬하여 消毒한 다음 수돗물로 씻어주었다. 消毒된 種子是 100립씩 3반복으로 petri dish에

여지(Toyo #1)를 1장 깔고 置床한 다음 paraquat을 含有한 溶液을 處理하였다. 發芽條件은 發芽床에서 光週期를 12시간으로 하고 變溫條件으로 晝間 25℃/夜間 20℃ 溫度處理를 하였다.

發芽率과 幼苗의 길이는 置床 15일 후에 調査하였고 發芽速度는 Reddy¹⁴⁶⁾의 方法에 따라 발아속도를 weighted germination percent(WGP)로 나타내었다.

結果 및 考察

1. Paraquat 處理에 대한 植物 種間的 反應差異

Paraquat에 대한 反應은 表 1에 나타난 것과 같이 0.5mM의 濃度에서 거의 모든 植物體를 죽일 程度로 毒性을 보였으나, 가락지나물, 고들빼기, 담배, 명아주, 미국쑥부쟁이, 부처꽃, 별꽃, 쇠별꽃, 애기똥풀, 어저귀, 장대나물, 쥐깨풀, 질경이, 참새피, 콩다닥냉이, 토마토, 흰썸바귀 등의 草種에 대해서는 毒性이 비교적 낮아 이들 草種은 生存하였다. 表 2는 paraquat 處理시 植物體의 可視的 被害率의 累積值(CVIR)로서 벼룩이자리, 쇠별꽃, 미국쑥부쟁이 등 表 1에서 耐性을 보인 種의 값이 낮아 피해가 매우 늦게 낮은 수준으로 일어났으며, 금강아지풀, 별꽃아재비, 도깨비바늘 등은 90 이상으로 피해가 빨리 강하게 진행되었다.

科別로 可視的인 被害를 보면 十字花科와 석죽科 植物들은 대부분 paraquat에 耐性을 보였는데, 이들은 生態적으로 越冬하는 植物로서 여러 實驗의 結果^{6,8,10)}에서 보이는 것처럼 强光과 低溫條件에서 살아남을 수 있는 것은 毒性酸素의 發生에 의한 被害에 强하다고 볼 수 있는데, 이들도 겨울의 低溫 强光의 條件에 살아남도록 適應 내지 進化하는 過程에서 毒性酸素에 대한 耐性形質이 附與된 것으로 보여진다. 植物種 중에서 가장 흔히 存在하고 많은 植生을 차지하고 있는 禾本科 植物은 paraquat에 대한 耐性이 비교적 약하였으나 참새피의 경우 강한 耐性을 보여 禾本科 植物 중에서

유일하게 生存하였다. 참새피는 CVIR이 21정도로 아주 낮은 값을 보이지는 않았으므로 이 種은 초기의 피해는 나타나지만 자체의 防禦機作이 持續的으로 作動하는 것으로 思料된다.

禾本科가 아닌 單子葉 植物種인 莎草科의 방동사니대가리와 참방동사니는 6 程度의 被害率을 나타내어 보통 水準의 耐性을 갖는 것으로 나타났다. 콩科植物의 경우 可視的 被害率이 大豆와 돌콩, 매듭풀의 경우는 각각 6, 2, 4로 비교적 耐性을 나타냈고, 녹두, 자운영, 자귀풀 등은 각각 10, 10, 9로 感受性이 컸다. 마디풀科의 植物들은 可視的 被害가 4인 여뀌를 제외하고는 개여뀌, 털여뀌, 소리쟁이, 큰개여뀌 등이 비교적 感受性을 보였다.

석죽科의 쇠별꽃과 벼룩이자리는 可視的 被害는 작았으나 30일 후에는 枯死하였다. 그러나 可視的 被害의 累積值도 4.6과 1.9로 매우 낮아 30일째 枯死하기는 하였어도 매우 강한 耐性을 갖는 것으로 보여진다. 이 석죽科 植物들도 역시 十字花科와 마찬가지로 越年生 植物로서 低溫에도 강한 特性이 있어 耐寒성과 paraquat 耐性 間에 깊은 관련이 있는 것으로 보여진다.

菊花科의 植物은 種이 다양한 만큼 다양한 反應을 보였는데, 可視的 被害率이 0인 흰썸바귀에서 부터 10인 별꽃아재비, 방가지똥 등에 이르기까지 다양하였다. 이 중 흰썸바귀와 지칭개는 역시 越冬을 하는 多年生 植物이므로 paraquat에 대한 耐성과 관련이 있는 것으로 보여진다. 菊花科 植物중에서 미국쑥부쟁이도 큰 耐性을 보였는데, 이 種은 최근 들어 급속하게 擴散이 되는 歸化植物로서 이 植物이 가지고 있는 耐性 때문에 外部 環境에 대한 適應能力이 큰 것도 擴散에 도움을 주는 것으로 思料된다.

쥐깨풀, 익모초, 들깨가 속하는 꿀풀科의 植物들은 모두 paraquat에 대하여 강한 耐性을 보였다. 가지科 植物인 담배, 까마중, 독말풀, 토마토의 경우 모두 8 이상의 可視的 被害를 보여 비교적 感受性인 것으로 나타났다.

Table 1. Effects of paraquat treatment on the visual injury rate, plant height, fresh weight and relative chlorophyll content of tested plants.

Species	Visual injury rate ^{*)}	Plant height(cm)		Fresh weight(g)		Chlorophyll ^{*)}		Ecotype
		Control	Treated	Control	Treated	Control	Treated	
<i>Setaria faberi</i>	10	65.3	-	3.4	-	20.9	-	annual
<i>Panicum bisulcatum</i>	8	49.5	-	5.6	-	28.0	-	annual
<i>Setaria glauca</i>	10	107.7	-	12.4	-	24.4	-	annual
<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>praticola</i>	9	68.7	-	3.8	-	17.8	-	annual
<i>Panicum dichotomiflorum</i>	9	56.4	-	3.2	-	27.7	-	annual
<i>Digitaria violascens</i>	7	52.8	-	12.5	-	29.5	-	annual
<i>Digitaria sanguinalis</i>	10	103.3	-	1.9	-	24.8	-	annual
<i>Oryza sativa</i>	7	38.2	-	1.7	-	30.7	-	annual
<i>Zea mays</i>	10	88.1	-	17.0	-	23.4	-	annual
<i>Eleusine indica</i>	9	82.6	-	27.9	-	34.1	-	annual
<i>Arthraxon hispidus</i>	10	42.4	-	1.1	-	35.5	-	annual
<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i>	8	37.2	-	0.9	-	21.7	-	biennial
<i>Avena sativa</i>	10	90.1	-	15.3	-	31.1	-	biennial
<i>Alopecurus aequalis</i> var. <i>amurensis</i>	7	55.5	-	2.7	-	21.1	-	biennial
<i>Triticum aestivum</i>	10	56.8	-	4.1	-	24.2	-	biennial
<i>Hordeum vulgare</i>	10	59.5	-	3.4	-	18.7	-	biennial
<i>Agropyron ciliare</i>	9	39.4	-	2.6	-	26.9	-	biennial
<i>Eragrostis ferruginea</i>	3	45.5	-	4.5	-	28.9	-	perennial
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	7	107.3	-	4.9	-	34.2	-	perennial
<i>Paspalum thunbergii</i>	1	51.1	26.7(52)	3.4	0.2(6)	27.9	12.8(46)	perennial
<i>Cyperus sanguinolentus</i>	6	54.4	-	11.5	-	24.8	-	annual
<i>Cyperus iria</i>	6	61.3	-	6.6	-	36.9	-	annual
<i>Commelina communis</i>	7	108.5	-	31.8	-	46.5	-	annual
<i>Allium fistulosum</i>	2	43.5	42.7(98)	2.2	1.3(59)	44.4	22.6(51)	perennial
<i>Humulus japonicus</i>	2	89.0	-	4.3	-	68.7	-	annual
<i>Persicaria blumei</i>	8	66.5	-	7.4	-	38.1	-	annual
<i>Persicaria thunbergii</i>	8	86.8	-	18.4	-	38.8	-	annual
<i>Persicaria hydropiper</i>	4	88.6	-	12.9	-	33.7	-	annual
<i>Persicaria lapathifolia</i>	10	89.8	-	28.8	-	42.2	-	annual
<i>Persicaria orientalis</i>	9	92.6	-	20.9	-	39.7	-	annual
<i>Rumex crispus</i>	8	39.2	-	9.1	-	23.8	-	perennial
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	5	36.6	-	3.6	-	40.3	-	annual
<i>Chenopodium ficifolium</i>	10	44.2	-	3.9	-	44.5	-	annual
<i>Chenopodium glaucum</i>	8	37.7	-	5.2	-	34.9	-	annual
<i>Amaranthus lividus</i>	10	36.7	-	3.0	-	37.8	-	annual
<i>Achyranthes japonica</i>	7	53.2	-	7.4	-	32.7	-	perennial
<i>Portulaca oleracea</i>	3	13.9	11.0(79)	0.9	0.9(100)	23.3	15.9(68)	annual
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	2	12.8	-	0.7	-	21.2	-	biennial
<i>Stellaria aquatica</i>	3	38.0	29.5(78)	3.0	0.7(24)	18.5	14.7(79)	biennial
<i>Ranunculus sceleratus</i>	10	17.4	-	0.6	-	21.8	-	biennial
<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i>	6	29.5	-	2.4	-	18.9	-	biennial
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	8	4.3	-	0.4	-	21.6	-	biennial
<i>Raphanus sativus</i>	6	24.5	-	7.2	-	17.9	-	biennial
<i>Arabis glabra</i>	3	7.3	7.3(100)	0.6	0.8(140)	25.0	18.8(75)	biennial
<i>Lepidium virginicum</i>	3	28.5	20.2(71)	1.1	0.5(45)	33.0	31.1(94)	biennial
<i>Rorippa indica</i>	3	48.8	-	4.3	-	27.4	-	perennial
<i>Potentilla kleiniana</i>	4	23.8	5.3(22)	12.1	0.1(5)	30.1	22.7(75)	perennial

The data in the parenthesis is percent of control

The concentration of paraquat, was 0.5mM.

^{*)} the rating conducted at 7 days after treatment of paraquat. 0:dead, 0:intact

Table 1. Continued.

Species	Visual injury rate ^{*)}	Plant height(cm)		Fresh weight(g)		Chlorophyll ^{†)}		Ecotype
		Control	Treated	Control	Treated	Control	Treated	
<i>Potentilla paradoxa</i>	4	29.0	-	2.3	-	30.8	-	perennial
<i>Phaseolus radiatus</i>	10	49.9	-	8.3	-	40.6	-	annual
<i>Glycine soja</i>	2	65.9	-	4.2	-	43.9	-	annual
<i>Kummerowia striata</i>	4	26.4	-	0.7	-	21.0	-	annual
<i>Aeschynomene indica</i>	9	39.0	-	8.0	-	25.6	-	annual
<i>Glycine max</i>	6	100.1	-	31.0	-	32.9	-	annual
<i>Astragalus sinicus</i>	10	22.0	-	3.9	-	31.5	-	biennial
<i>Trifolium repens</i>	8	33.5	-	2.1	-	43.4	-	perennial
<i>Acalypha australis</i>	5	85.8	-	15.7	-	41.9	-	annual
<i>Abutilon avicennae</i>	3	37.0	22.7(61)	2.9	0.9(30)	28.9	29.0(100)	annual
<i>Lythrum anceps</i>	4	97.2	23.5(24)	19.0	0.5(3)	31.3	15.8(50)	perennial
<i>Oenothera odorata</i>	2	20.5	-	2.7	-	34.7	-	biennial
<i>Anethum graveolens</i>	6	97.7	-	9.7	-	25.0	-	annual
<i>Perilla frutescens var. japonica</i>	2	68.1	-	27.7	-	39.5	-	annual
<i>Mosla dianthera</i>	1	54.6	22.8(42)	5.8	3.8(65)	34.0	37.4(110)	annual
<i>Leonurus sibiricus</i>	4	27.5	-	3.6	-	40.9	-	biennial
<i>Solanum nigrum</i>	10	96.7	-	16.9	-	33.8	-	annual
<i>Datura stramonium</i>	9	55.1	-	11.6	-	30.6	-	annual
<i>Lycopersicon esculentum</i>	8	88.4	-	56.8	-	42.8	-	annual
<i>Nicotiana tabacum</i>	8	57.2	-	40.4	-	40.3	-	perennial
<i>Sesamum indicum</i>	9	45.3	-	8.3	-	32.2	-	annual
<i>Plantago asiatica</i>	2	15.5	8.7(56)	3.1	0.9(29)	27.9	29.5(106)	perennial
<i>Galium spurium</i>	10	68.1	-	1.6	-	21.0	-	biennial
<i>Cucumis melo var makuwa</i>	10	145.8	-	32.2	-	31.1	-	annual
<i>Bidens tripartita</i>	10	71.4	-	17.4	-	49.6	-	annual
<i>Bidens bipinnata</i>	10	74.9	-	11.3	-	41.7	-	annual
<i>Ambrosia artemisifolia</i>	10	118.1	-	22.7	-	40.0	-	annual
<i>Bidens frondosa</i>	10	124.2	-	51.9	-	38.2	-	annual
<i>Ambrosia trifida</i>	9	102.8	-	36.9	-	41.4	-	annual
<i>Galinsoga parviflora</i>	10	59.6	-	6.4	-	30.1	-	annual
<i>Erechitites hieracifolia</i>	7	56.3	-	8.0	-	22.9	-	annual
<i>Siegesbeckia glabrescens</i>	10	56.6	-	20.5	-	32.9	-	annual
<i>Siegesbeckia pubescens</i>	9	73.8	-	19.8	-	40.9	-	annual
<i>Eclipta prostrata</i>	4	55.9	-	13.7	-	50.6	-	annual
<i>Erigeron annuus</i>	9	12.6	-	3.5	-	34.1	-	biennial
<i>Senecio vulgaris</i>	7	55.2	-	3.3	-	21.1	-	biennial
<i>Youngia denticulata</i>	2	7.5	6.1(81)	0.2	0.1(50)	17.8	17.8(100)	biennial
<i>Erigeron canadensis</i>	7	7.2	-	0.2	-	28.3	-	biennial
<i>Sonchus oleraceus</i>	10	62.1	-	6.0	-	19.9	-	biennial
<i>Lactuca sativa</i>	9	74.6	-	14.7	-	10.0	-	biennial
<i>Lactuca indica</i>	10	38.9	-	2.9	-	27.3	-	biennial
<i>Hemistepta lyrata</i>	1	17.7	-	2.2	-	24.5	-	biennial
<i>Cirsium setidens</i>	6	14.4	-	1.5	-	15.9	-	perennial
<i>Aster pilosus</i>	1	51.4	9.2(18)	39.1	0.6(2)	39.1	33.3(85)	perennial
<i>Taraxacum platycarpum</i>	7	34.7	-	2.3	-	32.5	-	perennial
<i>Artemisia princeps var. orientalis</i>	10	30.3	-	2.5	-	27.8	-	perennial
<i>Ixeris dentata var. albiflora</i>	0	13.7	10.0(73)	0.6	0.4(58)	27.2	22.1(81)	perennial

Table 2. The cumulated visual injury rate of tested plant species by treatment of paraquat with 0.5mM.

Species	Visual injury	Species	Visual injury*
<i>Setaria faberi</i>	53.7	<i>Potentilla paradoxa</i>	58.8
<i>Panicum bisulcatum</i>	90.3	<i>Phaseolus radiatus</i>	95.6
<i>Setaria glauca</i>	95.6	<i>Glycine soja</i>	51.4
<i>Echinochloa crus-galli</i>	90.4	<i>Kummerowia striata</i>	26.1
<i>Panicum dichotomiflorum</i>	88.0	<i>Aeschynomene indica</i>	83.9
<i>Digitaria sanguinalis</i>	70.9	<i>Glycine max</i>	46.9
<i>Digitaria violascens</i>	94.5	<i>Astragalus sinicus</i>	91.2
<i>Oryza sativa</i>	39.0	<i>Trifolium repens</i>	75.6
<i>Zea mays</i>	92.4	<i>Acalypha australis</i>	57.8
<i>Eleusine indica</i>	82.9	<i>Abutilon avicennae</i>	48.2
<i>Arthraxon hispidus</i>	94.6	<i>Lythrum anceps</i>	32.5
<i>Agropyron tsukushiense</i>	62.2	<i>Oenothera odorata</i>	34.2
<i>Avena sativa</i>	95.6	<i>Anethum graveolens</i>	68.0
<i>Alopecurus aequalis</i>	37.8	<i>Perilla frutescens</i>	20.4
<i>Triticum aestivum</i>	93.3	<i>Mosla dianthera</i>	20.3
<i>Hordeum vulgare</i>	90.0	<i>Leonurus sibiricus</i>	31.4
<i>Agropyron ciliare</i>	88.0	<i>Solanum nigrum</i>	88.9
<i>Eragrostis ferruginea</i>	42.2	<i>Datura stramonium</i>	85.8
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	39.4	<i>Lycopersicon esculentum</i>	80.5
<i>Paspalum thunbergii</i>	21.1	<i>Nicotiana tabacum</i>	20.8
<i>Cyperus sanguinolentus</i>	49.2	<i>Sesamum indicum</i>	74.1
<i>Cyperus iria</i>	75.9	<i>Plantago asiatica</i>	14.1
<i>Commelina communis</i>	70.1	<i>Galium spurium</i>	81.7
<i>Allium fistulosum</i>	19.0	<i>Cucumis melo</i>	58.6
<i>Humulus japonicus</i>	44.8	<i>Bidens tripartita</i>	89.3
<i>Persicaria blumei</i>	90.3	<i>Bidens bipinnata</i>	93.3
<i>Persicaria thunbergii</i>	84.3	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	95.6
<i>Persicaria hydropiper</i>	90.5	<i>Bidens frondosa</i>	89.2
<i>Persicaria lapathifolia</i>	93.3	<i>Ambrosia trifida</i>	87.0
<i>Persicaria orientalis</i>	88.4	<i>Galinsoga parviflora</i>	93.6
<i>Rumex crispus</i>	89.3	<i>Erechtites hieracifolia</i>	64.6
<i>Chenopodium album</i>	60.3	<i>Siegesbeckia glabrescens</i>	89.3
<i>Chenopodium ficifolium</i>	67.7	<i>Siegesbeckia pubescens</i>	87.3
<i>Chenopodium glaucum</i>	91.3	<i>Eclipta prostrata</i>	54.5
<i>Amaranthus lividus</i>	87.8	<i>Erigeron annuus</i>	86.9
<i>Achyranthes japonica</i>	81.0	<i>Senecio vulgaris</i>	82.7
<i>Portulaca oleracea</i>	9.3	<i>Youngia denticulata</i>	10.5
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	1.9	<i>Erigeron canadensis</i>	25.3
<i>Stellaria aquatia</i>	4.6	<i>Sonchus oleraceus</i>	86.8
<i>Ranunculus sceleratus</i>	90.3	<i>Lactuca sativa</i>	82.2
<i>Chelidonium majus</i>	92.3	<i>Lactuca indica</i>	90.1
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	21.8	<i>Hemistepta lyrata</i>	9.4
<i>Raphanus sativus</i>	66.9	<i>Cirsium setidens</i>	72.9
<i>Arabis glabra</i>	13.3	<i>Aster pilosus</i>	6.2
<i>Lepidium virginicum</i>	31.1	<i>Taraxacum platycarpum</i>	77.6
<i>Rorippa indica</i>	33.3	<i>Artemisia princeps</i>	91.2
<i>Potentilla kleiniana</i>	41.6	<i>Ixeris dentata var. albiflora</i>	27.0

*: the cumulated visual injury rate(CVIR) were counted for 34 days with 2days interval.

$$CVIR = \frac{17 \times \text{injury rate(IR) of 1st day} + 6 \times \text{IR of 3rd day} + \dots + 1 \times \text{IR of 34th day}}{\sum_{k=1}^{17} (k \times 10)} \times 100$$

Table 3. Changes of fresh weight of aerial part by paraquat treatment with different concentration.

Species	Concentration(mM)			
	Control	0.05	0.25	0.5
	Fresh weight(g)			
<i>Digitaria sanguinalis</i>	3.2	3.9(120)	3.4(106)	-
<i>Paspalum thunbergii</i>	3.1	1.4(45)	1.8(56)	-
<i>Amaranthus lividus</i>	12.3	-	-	-
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	0.7	0.6(95)	0.5(70)	-
<i>Stellaria aquatica</i>	0.5	0.3(71)	0.6(121)	0.2(43)
<i>Arabis glabra</i>	1.5	0.7(47)	0.8(53)	0.6(37)
<i>Rorippa indica</i>	2.0	3.5(178)	1.5(75)	-
<i>Glycine soja</i>	4.8	4.9(101)	4.0(82)	-
<i>Oenothera odorata</i>	3.5	1.8(52)	2.5(72)	0.8(23)
<i>Mosla dianthera</i>	3.4	2.8(83)	1.6(49)	2.3(67)
<i>Solanum nigrum</i>	5.7	3.2(56)	-	-
<i>Bidens bipinnata</i>	9.3	7.4(79)	-	-
<i>Bidens frondosa</i>	22.3	26.4(118)	6.8(31)	-
<i>Galinsoga parviflora</i>	6.4	2.7(42)	2.1(33)	-
<i>Siegesbeckia glabrescens</i>	10.1	4.3(43)	2.6(26)	-
<i>Youngia denticulata</i>	1.1	0.4(38)	0.1(9)	-
<i>Sonchus oleraceus</i>	8.8	6.1(69)	3.3(37)	-
<i>Hemistepta lyrata</i>	3.5	2.0(55)	1.7(49)	-
<i>Aster pilosus</i>	4.0	1.9(46)	1.3(32)	-
<i>Artemisia princeps</i>	3.1	1.0(31)	1.0(32)	-

The data in the parenthesis is percent of control.

비름과의 식물인 비름과 쇠무릎은 10과 7로 感受性を 나타냈다. 이외에 一般的으로 除草劑에 抵抗性を 갖는다고 알려져 있는 쇠비름과 깨풀, 어저귀의 경우 可視的 被害率이 각각 3, 5 및 3으로서 비교적 耐性を 보였으며, 累積値에 있어서도 각각 9.3과 57.8, 48.2 程度의 反應을 나타냈다.

農耕地의 雜草로는 問題가 되지 않으나 도로 周邊을 비롯하여 周圍에 많이 存在하는 植物인 바늘꽃과의 달맞이꽃은 可視的 被害率이 2로서 매우 높은 耐성을 지닌 것으로 나타났다. 비름과 더불어 代表的인 農耕地의 廣葉雜草인 명아주과 植物들은 명아주 5, 좀명아주 10, 취명아주 8로서 중간 程度의 感受性を 나타냈다. 草長에 대한 影響을 보면 處理 初期인 7日째에 4 이상의 可視的 被害率을 보인 種들은 부처꽃을 제외하고는 모두 枯死하였으며 草長의 減少率을 볼 때 고들빼기, 벌꽃, 쇠비

름, 장대나물, 파, 흰썩바귀 등은 草長이 對照區의 70% 이상의 수치를 보여 草長의 抑制程度가 약하였으나 가락지나물, 미국쭈부쟁이, 부처꽃 등은 30% 이하의 草長을 나타내 길이 伸長이 強하게 抑制된 것으로 나타났다.

低溫에서는 強光에 의해 毒性酸素의 發生이 增加한다^{8,10,17)}는 報告들을 考慮할 때, 本 實驗의 結果에서 paraquat에 대한 耐성을 나타낸 種들은 生態的으로 低溫에 대한 耐성이 있는 種이었으므로 paraquat에 대한 耐성은 耐寒性과 관련이 있는 것으로 보인다. 이러한 特性은 越年生이나 多年生 植物이 生育期 동안의 急激한 溫度 變化로 일어나는 被害에 適應이 되도록 進化되었기 때문인 것으로 思料된다.

2. Paraquat 濃度에 따른 生育의 變化

汚染源의 濃度別 處理에 대한 反應을 보면 表 3은 앞에서 耐性和 感受성이 있는 특징적

인 종을 선택하여 paraquat를 여러 농도로 처리한 다음 30일이 지난 후에 생체중을 조사한 결과로서 내성이 있는 종인 개갓냉이, 돌콩, 쇠별꽃, 달맞이꽃, 쥐깨풀, 참새피, 장대나물 등 내성이 큰 종들은 생체중의 감소가 작았다. 특히 달맞이꽃, 쇠별꽃, 쥐깨풀, 장대나물 등에서는 0.5mM의 고농도에 까지 생존하였으며 쥐깨풀의 경우는 생체중의 감소도 작았다.

感受性인 종에서 개비름은 0.05mM의 저농도에서도 枯死하여 敏感한 反應을 보였으며 숙과 별꽃아재비, 진득찰의 경우도 생체중의 감소가 뚜렷하여 내성종과 感受性 種間에 確연한 區分이 나타났다. 그러나 내성을 갖는 지칭개와 고들빼기의 경우 0.25mM의 농도에서 까지 생존은 하였으나 생체중의 감소폭이 비교적 크게 나타났다.

表 4는 paraquat 處理에 의한 草長의 反應으

로서 생체중의 경우와 類似한 結果를 보였으나 減少幅의 경우 생체중에 비하여 작게 나타났다. 草長의 경우도 0.05mM와 0.25mM 處理間에는 큰 差異가 없었으나 0.5mM의 濃度로 處理하였을 때는 급격하게 줄어들었다.

3. 發芽 過程 中 汚染源에 대한 植物體의 種間 反應

汚染된 環境에서 生育하는 植物의 경우 높은 立苗率의 확보가 다른 植物種間의 競合에서 유리한 位置를 차지할 수 있다는 側面에서 發芽率과 初期 幼苗의 生育에 대한 調査가 필요하다. 汚染源에 대한 植物種間의 發芽率과 發芽勢, 幼根과 幼苗의 伸長이 表 5에 나타나 있다.

앞에서 내성이 있는 개갓냉이의 경우 發芽에 있어서도 내성을 보일 것으로 推定되었으

Table 4. Effects of paraquat treatment with different concentration on the shoot length of plant species.

Species	Concentration(mM)			
	Control	0.05	0.25	0.5
	Shoot length(cm)			
<i>Digitaria sanguinalis</i>	83.1	69.7(84)	59.7(72)	-
<i>Paspalum thunbergii</i>	35.4	25.6(72)	31.8(90)	24.5(69)
<i>Amaranthus lividus</i>	59.5	-	-	-
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	11.2	7.2(64)	7.3(65)	-
<i>Stellaria aquatica</i>	11.6	8.4(72)	10.6(92)	7.4(64)
<i>Arabis glabra</i>	6.4	5.1(80)	5.0(78)	4.5(70)
<i>Rorippa indica</i>	33.7	36.5(108)	28.0(83)	-
<i>Glycine soja</i>	65.9	57.3(87)	60.7(92)	-
<i>Oenothera odorata</i>	14.9	14.5(97)	14.4(96)	7.8(52)
<i>Mosla dianthera</i>	48.6	33.9(70)	29.1(60)	25.5(53)
<i>Solanum nigrum</i>	23.6	20.3(86)	-	-
<i>Bidens bipinnata</i>	59.9	60.9(102)	-	-
<i>Bidens frondosa</i>	75.3	78.0(104)	64.9(86)	46.3(62)
<i>Galinsoga parviflora</i>	59.9	47.6(79)	40.2(67)	-
<i>Siegesbeckia glabrescens</i>	51.8	42.0(81)	29.8(58)	14.9(29)
<i>Youngia denticulata</i>	7.8	4.7(59)	3.1(40)	-
<i>Sonchus oleraceus</i>	43.3	35.8(83)	48.7(112)	-
<i>Hemistepta lyrata</i>	16.1	14.0(87)	12.1(75)	-
<i>Aster pilosus</i>	20.7	16.2(78)	12.8(62)	-
<i>Artemisia princeps</i>	18.5	13.8(75)	13.1(71)	-

The data in the parenthesis is percent of control.

Table 5. Effect of paraquat treatment on the germination and seedling growth of plant species.

Species	Concentration(mM)	Germination percentage	Germination velocity(WGP)	Root length	Shoot length
		(%)		cm	
<i>Digitaria sanguinalis</i>	control	94.3a	72.8a	3.05a	2.37a
	0.05	33.0b	16.4b	0.00b	0.14b
	0.25	0.0c	0.0c	0.00b	0.00b
	0.5	0.0c	0.0c	0.00b	0.00b
<i>Paspalum thunbergii</i>	control	35.7a	17.3a	2.20a	2.70a
	0.05	39.3a	18.9a	0.68b	0.73b
	0.25	10.7b	5.1b	0.00c	0.00c
	0.5	5.7b	1.8b	0.00c	0.00c
<i>Amaranthus lividus</i>	control	97.7a	83.1b	2.67a	1.72a
	0.05	98.0a	81.8b	1.18b	0.86b
	0.25	99.7a	84.9a	0.70c	0.26c
	0.5	96.7a	77.8c	0.16d	0.17c
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	control	96.0a	80.5a	0.84a	0.77a
	0.05	91.7a	62.8b	0.00b	0.00b
	0.25	28.8b	28.0c	0.00b	0.00b
	0.5	1.9c	1.3d	0.00b	0.00b
<i>Stellaria aquatica</i>	control	20.0a	10.5b	0.37a	1.53a
	0.05	33.0a	18.3a	0.21b	1.13b
	0.25	26.0a	11.9ab	0.15b	0.47c
	0.5	19.3a	8.3b	0.11b	0.31c
<i>Arabis glabra</i>	control	97.3a	54.5a	0.75a	0.49a
	0.05	97.3a	57.2a	0.46b	0.45a
	0.25	96.7a	50.9b	0.11c	0.03b
	0.5	97.0a	50.7b	0.06c	0.00b
<i>Rorippa indica</i>	control	22.0a	11.2a	0.17a	0.71a
	0.05	0.0b	0.0b	0.00b	0.00b
	0.25	0.0b	0.0b	0.00b	0.00b
	0.5	0.0b	0.0b	0.00b	0.00b
<i>Glycine soja</i>	control	73.3a	56.8a	3.63a	2.07a
	0.05	84.0a	60.9a	2.03b	2.19a
	0.25	80.0a	60.9a	1.56b	1.93a
	0.5	68.7a	51.8a	1.48b	1.56a
<i>Kummerowia striata</i>	control	59.3ab	18.5b	2.20a	3.03a
	0.05	55.0ab	22.0a	1.61b	2.80a
	0.25	54.7b	23.8a	0.96c	2.95a
	0.5	60.3a	22.6a	0.95c	2.52b
<i>Oenothera odorata</i>	control	23.3a	11.6a	1.33a	1.09a
	0.05	26.7a	13.2a	0.42b	0.77a
	0.25	12.0b	5.8b	0.20b	0.39b
	0.5	9.0b	4.9b	0.09b	0.19c
<i>Mosla dianthera</i>	control	21.0a	13.6a	1.46a	1.42a
	0.05	16.3ab	9.8b	0.34b	0.71b
	0.25	12.3b	7.3b	0.20bc	0.46b
	0.5	5.7c	3.0c	0.13c	0.11c

The same letters of a species in a column are not significantly different at 5% level.

Table 5. Continued.

Species	Concentration(mM)	Germination percentage	Germination velocity(WGP)	Root length	Shoot length
		(%)		cm	
<i>Solanum nigrum</i>	control	44.0a	24.1a	1.13a	1.87a
	0.05	36.0ab	22.3ab	0.13b	0.20b
	0.25	22.0b	12.4c	0.10b	0.20b
	0.5	20.7b	13.6bc	0.10b	0.10c
<i>Bidens bipinnata</i>	control	95.3a	76.6a	11.13a	3.75a
	0.05	98.7a	76.6a	1.77b	3.66a
	0.25	83.3b	63.9b	0.72bc	1.00b
	0.5	76.7b	58.9b	0.64c	0.69b
<i>Bidens frondosa</i>	control	98.7a	98.0a	3.97a	2.75a
	0.05	100.0a	98.7a	1.18b	2.80a
	0.25	99.3a	98.0a	0.49c	2.15b
	0.5	100.0a	96.7a	0.36c	2.05b
<i>Galinsoga parviflora</i>	control	58.3a	40.0a	1.08a	1.20a
	0.05	24.3b	19.1b	0.00b	0.00b
	0.25	13.7c	10.7c	0.00b	0.00b
	0.5	4.0d	3.1d	0.00b	0.00b
<i>Siegesbeckia glabrescens</i>	control	49.0a	34.5a	3.00a	2.30a
	0.05	48.0a	32.2a	0.65b	1.40b
	0.25	47.7a	31.6a	0.32b	1.20b
	0.5	30.0b	21.5b	0.33b	0.91c
<i>Youngia denticulata</i>	control	73.0a	58.2a	0.84a	1.09a
	0.05	59.3b	49.4b	0.00b	0.00b
	0.25	38.0c	31.8c	0.00b	0.00b
	0.5	6.0d	5.1d	0.00b	0.00b
<i>Sonchus oleraceus</i>	control	44.3a	34.2a	2.40a	1.89a
	0.05	23.3b	21.1b	0.23b	0.83b
	0.25	13.3c	13.3c	0.00b	0.07c
	0.5	13.7c	13.7c	0.00b	0.00c
<i>Lactuca indica</i>	control	44.7a	29.4a	1.98a	1.24a
	0.05	35.3b	23.1b	0.27b	0.91b
	0.25	11.0c	7.6c	0.05b	0.16c
	0.5	5.3c	3.3c	0.00b	0.00c
<i>Hemistepia lyrata</i>	control	95.3a	75.1a	0.93a	1.51a
	0.05	88.0ab	70.2ab	0.19b	0.56b
	0.25	83.0ab	63.2bc	0.00c	0.00c
	0.5	76.0b	55.0c	0.00c	0.00c
<i>Aster pilosus</i>	control	61.0a	34.6a	0.74a	0.82a
	0.05	21.0b	13.9b	0.00b	0.00b
	0.25	7.0c	4.1c	0.00b	0.00b
	0.5	7.0c	3.6c	0.00b	0.00b
<i>Artemisia princeps</i>	control	35.3a	16.8a	0.45a	1.08a
	0.05	16.0b	6.9b	0.00b	0.00b
	0.25	3.3c	1.4c	0.00b	0.00b
	0.5	0.3d	0.1d	0.00b	0.00b

摘 要

나 0.05mM의 低濃度에서도 發芽가 전혀 되지 않았다. 이외에 강한 耐性을 지닌 쥐깨풀, 미국쑥부쟁이, 벼룩이자리, 참새피의 경우는 0.05 mM에서는 發芽가 약간 低下되었으나 高濃度에서는 發芽率이 급격히 減少하였으며, 다른 耐性種들인 지칭개, 장대나물, 쇠별꽃의 경우 發芽率은 高濃度의 경우에도 小幅으로 줄어들었다. 그러나 感受性 種들인 개비름, 도깨비바늘, 매듭풀, 진득찰, 미국가막사리 등은 高濃度の paraquat에 의해서도 阻害되는 程度가 매우 낮았고, 왕고들빼기, 쑥, 방가지뚱, 바랭이 등은 阻害되는 정도가 크게 나타났다. 發芽速度(WGP)의 경우도 그 樣相은 發芽率과 같게 나타나 paraquat에 대한 耐性이 반드시 發芽時期에서 부터 成熟期까지 一律적으로 적용시킬 수 있는 것은 아닌 것으로 나타났다. 幼苗의 伸長을 보면 비름, 달맞이꽃, 매듭풀, 돌콩, 진득찰 등에서 나타난 것처럼 줄기보다는 幼根의 生育阻害 程度가 크게 나타났다. 진득찰과 미국가막사리의 경우 paraquat에 민감한 感受性 植物임에도 불구하고 發芽率과 幼苗의 길이가 큰 阻害를 받지 않았으나 幼根의 길이는 阻害를 받았다. 그러나 感受性인 植物들의 幼苗는 發芽한 후 시드는 現象이 나타났다. 돌콩의 경우 비교적 耐性이 있는 植物種으로서 發芽率, 發芽勢, 幼苗의 길이 모두 작은 被害를 받아 發芽時期에 酸化的 스트레스에 가장 강한 耐性을 보이는 種으로 나타났다.

發芽와 地上部 生育의 관계에서 볼 때 發芽 段階에서는 耐性을 갖는 種일지라도 生育段階에 毒性物質을 접할 경우 生育이 阻害되므로 雜草는 多産性임을 고려할 때 실질적인 측면에서 發芽보다 發芽 후 生育段階의 耐性이 生存하는데 있어서 더욱 重要할 것이고 이러한 發芽 후 生育過程의 耐性이 汚染된 地域의 植生構成에 影響을 줄 것으로 생각된다. 이 두 가지 段階의 耐性을 고려하여 종합해 보면 paraquat에 대해서는 지칭개, 쇠별꽃, 쥐깨풀 등이 耐性을 보일 것이고 바랭이와 쑥 등이 큰 感受性을 보일 것으로 思料된다.

除草劑 paraquat는 代表的인 非選擇性 除草劑로서 植物體내에서 光合成의 電子흐름을 방해하여 毒性을 나타낸다. 本 實驗은 paraquat를 뿌리를 통해 흡수시킨 후 雜草種들의 反應을 통하여 조사하였다.

1. Paraquat에 대한 抵抗性은 식물중의 生態的 特性과 깊은 관계가 있었다. 일반적으로 一年生보다는 多年生이나 越年生植物의 抵抗性이 크게 나타났다.
2. 풀풀과와 석죽과 십자화과의 식물들이 비교적 paraquat에 抵抗性을 보였으며, 반면에 화본과의 식물들이 비교적 感受性을 나타내었다.
3. 풀풀과의 쥐깨풀은 강한 저항성을 나타냈고, 대부분의 種이 感受性을 보인 화본과와 국화과에 있어서도 참새피와 지칭개 등은 강한 抵抗性을 나타냈다.
4. Paraquat는 發芽에도 영향을 주었으나, 發芽 시기의 反應과 成植物의 反應과는 일치하지 않는 경향이었다.

引用 文 獻

1. Babbs, C.F., J.A. Pham, and R.C. Coolbaugh. 1989. Lethal hydroxyl radical production in paraquat-treated plants. *Plant Physiol.* 90 : 1267-1270.
2. Bowler, C., M.V. Montagu, and D. Inzé. 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 43 : 83-116.
3. Cadenas, E. 1989. Biochemistry of oxygen toxicity. *Ann. Rev. Biochem.* 58 : 79-110.
4. 張英熙·金昌錫·延圭復. 1990. 最近 韓國 田作地 雜草發生 分布에 關하여. *韓雜草誌* 10 : 294-304.
5. Czapski, G. 1984. Reaction of $\cdot\text{OH}$. *Methods Enzymol.* 105 : 209-215.
6. De Kok, L., and F.A. Oosterhuis. 1983. Effects of frost-hardening and salinity on

- glutathione and sulfhydryl levels and on glutathione reductase activity in spinach leaves. *Physiol. Plant.* 58 : 47-51.
7. Elstner, E.F. 1982. Oxygen activation and oxygen toxicity. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 33 : 73-96.
 8. Esterhauer, H., and D. Grill. 1978 Seasonal variation of glutathione and glutathione reductase in needles of *Picea abies*. *Plant Physiol.* 61 : 119-121.
 9. Fuerst, E.P., and K.C. Vaughn. 1990. Mechanisms of paraquat resistance. *Weed Tech.* 4 : 150-156.
 10. Greer, D.H., C. Ottander, and G. Öquist. 1991. Photoinhibition and recovery of photosynthesis in intact barley leaves at 5 and 20°C. *Physiol. Plant.* 81 : 203-210.
 11. Heath, R.L., and L. Packer. 1968. Photo-oxidation in isolated chloroplast. I. Kinetic and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Arch. Biochem. Biophysics.* 125 : 189-198.
 12. Kang, B.H. 1989. Problem weeds in Korea. *Proceeding of 12th APWSS.* p195.
 13. 姜炳華 · 沈相仁 · 李相珏 · 申鉉媛. 1993. 우리나라 優占雜草種의 休眠에 관한 生理生態學的 研究. *韓國環境農學會誌* 12(2) : 193-207.
 14. Matringe, M., and R. Scalla. 1988. Studies on the mode of action of acifluorfen-methyl in nonchlorophyllous soybean cells. Accumulation of tetrapyrroles. *Plant Physiol.* 86 : 619-622.
 15. Neuhaus, H.E., and M. Stitt. 1989. Perturbation of photosynthesis in spinach leaf discs by low concentrations of methyl viologen. Influence of decreased thylakoid energisation on ATP synthesis, electron transport, energy dissipation, light-activation of the Calvin-cycle enzymes, and control of starch and sucrose synthesis. *Planta* 179 : 51-60.
 16. Reddy, L.V., R.J. Metzger, and T.M. Ching. 1985. Effect of temperature on seeds dormancy of wheat. *Crop Sci.* 25 : 457-458.
 17. Wise, R.R., and A.W. Naylor. 1987. Chilling-enhanced photooxidation. Evidence for the role of singlet oxygen and superoxide in the breakdown of pigments and endogenous antioxidants. *Plant Physiol.* 83 : 278-282.
 18. Wolosiuk, R.A., and B.B. Buchanan. 1977. Thioredoxin and glutathione regulate photosynthesis in chloroplasts. *Nature* 266 : 565-566.
 19. 梁桓承 · 全載哲 · 黃仁澤. 1984. 季節別 栽培作物 및 耕作地別 雜草植生變化. *韓雜草誌* 4 : 4-10.