

## 環境汚染 診断 指標植物로서 雜草種의 活用に 關한 研究<sup>1</sup>

姜炳華\* · 沈相仁\* · 李相珪\*

### Application of Weed Species as the Diagnostic Indicator Plants of Environmental Pollution<sup>1</sup>

Byeung-Hoa Kang\*, Sang-In Shim\* and Sang-Gak Lee\*

#### Abstract

The studies were conducted to obtain the basic information of the effects of pollutants on plant species and to select the plant species showing specific responses to the pollutants. For these purposes, paraquat, ammonium, and cadmium as a source of oxidative stress, nitrogen toxicity, and heavy metal toxicity respectively were treated to the plant species.

Among the tested plants, 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. Paraquat resistance was related with life style, overwintering capacity, so perennial and biennial species showed higher tolerance than annual species.

In response to ammonium, Poaceae showed higher resistance while Fabaceae and Caryophyllaceae showed sensitiveness. Weed species having tolerance to ammonium were *Echinochloa crus-galli* var. *praticola*, *Panicum dichotomiflorum*, *Setaria glauca*, *Chenopodium album*, and *Solanum nigrum*, while *Mosla dianthera*, *Arenaria serpyllifolia* and *Perilla frutescens* var. *japonica* showed sensitiveness.

In the response of plant species to cadmium, *Digitaria sanguinalis*, *Amaranthus lividus* showed higher resistance, whereas *Galinsoga parviflora*, *Plantago asiatica*, *Ambrosia trifida*, and *Paspalum*

\*高麗大學校 自然資源大學 食糧資源學科

Department of Agronomy, College of Natural Resources, Korea University, Seoul 131-701, Korea

<sup>1</sup> 이 연구는 1993년도 한국과학재단 핵심전문연구비 지원에 의한 결과임 (과제번호 : 931-0600-019-2)

*thunbergii* showed sensitiveness.

The injured degree on germination stage by pollutants did not related with injured degree on matured stage. During germination, the root elongation was more sensitive than shoot elongation by pollutants, paraquat, ammonium, and cadmium.

## 序 論

모든 生物은 環境의 테두리 내에서 生育하는데, 植物은 生態系의 一次生産者로서 중요한 위치를 점하고 있다. 植物의 生育은 環境의 影響을 받아 크게 변하는데, 環境의 變化는 植物의 生育을 변화시켜 連鎖的인 작용으로 生態系의 모든 構成員에 影響을 주게 된다. 최근 工業 中心의 産業化로 都市 周邊은 重金屬과 化學物質로서 심하게 汚染되고 있으며, 農産物 生産에 있어서도 化學肥料과 農藥 使用의 急増 및 養畜農家의 畜産廢棄物의 증가는 農村의 汚染을 가중시키고 있다.<sup>1)</sup> 環境汚染은 發生이 深化되기 전에 汚染의 程度를 모니터링(monitoring)하여 신속한 措置를 취하는 것이 중요하다. 環境汚染에 대한 모니터링 方法 중에서 植物을 이용한 모니터링은 기존의 植生을 통하여 評價하는 것이므로 經濟的 價値가 크고 汚染이 直接的으로 生態系에 미치는 影響을 파악할 수 있으므로 그 體系의 樹立이 要求된다. 植物을 自然狀態로 利用하기 위해서는 周邊에 많이 존재하여야 하는데, 이러한 條件을 만족시켜 줄 수 있는 植物種들은 雜草로 구분이 되는 경우가 많다. 특히 植物은 動物이나 微生物과는 달리 自體의 運動能力이 없으며 단지 種子의 傳播나 뿌리, 匍匐莖 등에 의한 比較的 近距離 傳播만이 가능하므로 植生地의 環境이 변하면 移動과 같은 回避的인 方法이 아닌 自體의 防禦機作만으로 대처하므로 植物種 間의 防禦機作 差異가 植生地 環境에 對處하는 정도의 差異를 나타낸다고 볼 수 있다.

植物의 生育에 있어서 環境의 汚染은 大氣汚染과 水質汚染 그리고 土壤汚染 등 여러 種類가 있

으며, 이러한 여러 種類의 環境汚染이 植物體에 미치는 影響은 여러가지 機作에 의하지만 그 중의 하나가 汚染에 의하여 非正常的인 代謝가 일어나 생기는 毒性酸素(toxic oxygen)의 강력한 酸化能에 의하여 體內的 物質이 酸化되어 機能을 喪失하게 되는 酸化의 스트레스(oxidative stress)이다.<sup>2)</sup> 이것은 植物의 生長過程에서 不良한 氣象條件 및 오존<sup>3)</sup>이나 아황산가스<sup>4)</sup>와 같은 大氣汚染源 또는 bipyridylum계나 diphenyl ether계 除草劑<sup>5,6)</sup>의 影響에 의해서도 발생하는 것으로서, 活性酸素의 발생에 따른 植物 體內的 피해가 일어나는 것이다.

環境의 또다른 汚染源으로 窒素化合物과 重金屬이 있는데, 窒素化合物의 경우 養畜農家의 畜産廢水와 化學工程에서 나오는 排氣가스로부터 형성되는 것으로 農村이나 都市 近郊의 窒素化合物 汚染이 深刻해지고 있다.<sup>8)</sup> 窒素化合物의 경우 適合한 형태와 適定 水準은 植物의 生育에 必須的이지만, 특히 ammonium이 過多하게 존재할 경우 植物에 피해를 일으키고 심한 경우 枯死까지도 誘發하게 된다.

重金屬은 火山爆發과 같은 自然的인 原因 이외에도 쓰레기나 金屬을 함유하는 農藥 또는 肥料의 계속되는 使用으로부터 發生될 수 있고<sup>9)</sup>, 金屬處理 工場이나 자동차의 排氣가스 등에서 생겨나는 것으로 앞으로 그 汚染 정도가 더욱 深化될 것으로 추정되어진다.<sup>10)</sup> 重金屬은 土壤 內에 蓄積되어 植物體 內로 吸收 되는데 植物에 吸收되었을 경우 毒성을 나타내고, 이 植物을 人間이 攝取할 경우 人間의 健康을 가장 위협하게 된다.

汚染에 의한 環境의 變化에 대한 植物種들의 반응은 種에 따라 각기 달라 특수한 環境에 適應

하는 優占種이 생겨나게 된다. 不良環境에 대한 여러 植物種들의 反應과 植生の 變化 研究는 逆으로 그 結果를 應用하여 각 地域에 分布하는 植物 群集의 分布 調査에 의하여 그 地域의 汚染程度와 環境狀態를 豫測할 수 있게 할 것이다.

本 實驗은 우리 주위에 많이 存在하는 植物인 雜草種들에 대해서 環境汚染으로 惹起될 수 있는 酸化的 스트레스와 ammonium 毒性, cadmium 毒性에 대한 植物種들의 反應을 조사하여 環境汚染 指標植物의 체계를 세우고자 실시하였다.

## 材料 및 方法

### 1. 供試植物

本 實驗에 이용된 植物은 Kang<sup>11)</sup>, 梁等<sup>12)</sup>의 報告를 基礎로 하여 우리나라에 많이 發生하는 優占雜草 외에 都市 주위의 들관과 野山에 많이 發生하는 山野草를 對象으로 하였다. 實驗에 이용된 植物種들은 表 1과 같으며 이 植物들의 種子는 完全히 成熟한 후 採取하여 自然狀態에서 風乾시킨 후 脫殼하고 4℃의 冷藏庫에 保管 中인 것을 使用하였다.

休眠이 있는 種子는 姜等<sup>13)</sup>의 方法에 따라 休眠打破를 실시하였다. 種子의 發芽狀態가 不良한 경우는 植物體의 成植物을 採取하여 모래에 插木하여 苗를 키운 후 實驗에 利用하였다.

### 2. 幼苗檢定

스크리닝은 砂耕栽培를 통하여 실시하였고, 汚染源은 oxidative stress 誘發源으로 다른 실험에서도 이용되는 paraquat를 0.5mM의 濃度로 製造하여 利用하였고<sup>14)</sup>, 窒素毒性源으로는 암모니아를 NH<sub>4</sub>Cl 形態로 50mM의 濃度로 調製한 다음 利用하였다. 重金屬汚染源으로는 代表的인 重金屬인 cadmium은 CdCl<sub>2</sub>의 形態로 1mM 溶液을 利用하였다. 각각의 汚染源은 營養液 內에 위의 濃度가 되도록 添加하였다.

實驗에 이용된 모래는 江모래로서 수돗물로 완전히 씻어 腐植을 비롯한 有機物과 不純物을 除去한 後 使用하였다. 實驗에 이용된 養液은 Hoagland's 溶液을 製造하여 利用하였고, 實驗時 養液의 pH는 5.5~6.0 정도가 되도록 調節한 다음 使用하였다. 幼苗는 床土에 播種하여 苗를 키운 후 苗를 모래가 담긴 포트에 移植하였다. 幼苗의 生育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 利用하였다. 生育도중 養液은 1週日에 한번 씩 갈아주었다. 生育調査는 處理 후 35日에 實施하였고 葉綠素 含量은 portable chlorophyll meter(Minolta, SPAD 502)를 利用하여 測定하였다. 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 paraquat처리 경우 다음과 같이 累積 被害率(cumulated visual injury rate; CVIR)을 구하여 被害率의 進行速度를 파악하였다. 이 CVIR은 被害의 進行速度를 파악하는 좋은 척도가 된다.

CVIR =

$$\frac{n \times \text{첫번째 날의 被害率} + (n-1) \times \text{두번째날의 被害率} + \dots + 1 \times \text{마지막날의 被害率}}{\sum_{k=1}^n (k \times 10)} \times 100$$

n = 被害率을 調査한 日數

### 3. 發芽實驗

汚染源이 植物 種子의 發芽에 미치는 영향을 보기 위하여 幼苗檢定을 통해 耐性種과 感受性種으로 구분된 植物種에 대해 發芽實驗을 실시하였다.

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 씻어 주었다. 消毒된 種子는 petri dish에 濾紙(Toyo #1)를 1장 깔고 置床한 다음 paraquat는 0.05mM, 0.25mM, 0.5mM을 처리하고

Table 1. Korean name, family name, scientific name and ecotype of plant species used for screening.

Korean name	Family	Scientific name	Ecotype
어저귀	Malvaceae	<i>Abutilon avicennae</i>	annual
깨풀	Euphorbiaceae	<i>Acalypha australis</i>	annual
쇠무릎	Amaranthaceae	<i>Achyranthes japonica</i>	perennial
자귀풀	Fabaceae	<i>Aeschynomene indica</i>	annual
속털개밀	Poaceae	<i>Agropyron ciliare</i>	biennial
개밀	Poaceae	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i>	biennial
파	Liliaceae	<i>Allium fistulosum</i>	perennial
독새풀	Poaceae	<i>Alopecurus aequalis</i> var. <i>amurensis</i>	biennial
개비름	Amaranthaceae	<i>Amaranthus lividus</i>	annual
돼지풀	Asteraceae	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elatiar</i>	annual
미국돼지풀	Asteraceae	<i>Ambrosia trifida</i>	annual
딜(Dill)	Apiaceae	<i>Anethum graveolens</i>	annual
장대나물	Brassicaceae	<i>Arabis glabra</i>	biennial
벼룩이자리	Caryophyllaceae	<i>Arenaria serpyllifolia</i>	biennial
쑥	Asteraceae	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	perennial
조개풀	Poaceae	<i>Arthraxon hispidus</i>	annual
미국쑥부쟁이	Asteraceae	<i>Aster pilosus</i>	perennial
자운영	Fabaceae	<i>Astragalus sinicus</i>	biennial
귀리	Poaceae	<i>Avena sativa</i>	biennial
도깨비바늘	Asteraceae	<i>Bidens bipinnata</i>	annual
미국가막사리	Asteraceae	<i>Bidens frondosa</i>	annual
가막사리	Asteraceae	<i>Bidens tripartita</i>	annual
냉이	Brassicaceae	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	biennial
애기똥풀	Papaveraceae	<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i>	biennial
명아주	Chenopodiaceae	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	annual
쭈름아주	Chenopodiaceae	<i>Chenopodium ficifolium</i>	annual
취명아주	Chenopodiaceae	<i>Chenopodium glaucum</i>	annual
고려엉겅퀴	Asteraceae	<i>Cirsium setidens</i>	perennial
닭의장풀	Commelinaceae	<i>Commelina communis</i>	annual
참외	Cucurbitaceae	<i>Cucumis melo</i> var. <i>makuwa</i>	annual
참방동사니	Cyperaceae	<i>Cyperus iria</i>	annual
방동사니대加里	Cyperaceae	<i>Cyperus sanguinolentus</i>	annual
독말풀	Solanaceae	<i>Datura stramonium</i>	annual
바랭이	Poaceae	<i>Digitaria sanguinalis</i>	annual
민바랭이	Poaceae	<i>Digitaria violascens</i>	annual
들피	Poaceae	<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>praticola</i>	annual
한련초	Asteraceae	<i>Eclipta prostrata</i>	annual
왕바랭이	Poaceae	<i>Eleusine indica</i>	annual
그렁	Poaceae	<i>Eragrostis ferruginea</i>	perennial
붉은서나물	Asteraceae	<i>Erechitites hieracifolia</i>	annual
개망초	Asteraceae	<i>Erigeron annuus</i>	biennial
망초	Asteraceae	<i>Erigeron canadensis</i>	biennial
별꽃아재비	Asteraceae	<i>Galinsoga parviflora</i>	annual
갈퀴덩굴	Rubiaceae	<i>Galium spurium</i>	biennial
콩	Fabaceae	<i>Glycine max</i>	annual
들콩	Fabaceae	<i>Glycine soja</i>	annual
지칭개	Asteraceae	<i>Hemistepta lyrata</i>	biennial

Table 1. Continued.

Korean name	Family	Scientific name	Ecotype
보리	Poaceae	<i>Hordeum vulgare</i>	biennial
환삼덩굴	Cannabinaceae	<i>Humulus japonicus</i>	annual
흰섬바귀	Asteraceae	<i>Ixeris dentata</i> var. <i>albiflora</i>	perennial
매듭풀	Fabaceae	<i>Kummerowia striata</i>	annual
왕고들빼기	Asteraceae	<i>Lactuca indica</i> var. <i>laciniata</i>	biennial
상치	Asteraceae	<i>Lactuca sativa</i>	biennial
익모초	Lamiaceae	<i>Leonurus sibiricus</i>	biennial
콩다닥냉이	Brassicaceae	<i>Lepidium virginicum</i>	biennial
토마토	Solanaceae	<i>Lycopersicon esculentum</i>	annual
부처꽃	Lythraceae	<i>Lythrum anceps</i>	perennial
취깨풀	Lamiaceae	<i>Mosla dianthera</i>	annual
담배	Solanaceae	<i>Nicotiana tabacum</i>	perennial
달맞이꽃	Onagraceae	<i>Oenothera odorata</i>	biennial
벼	Poaceae	<i>Oryza sativa</i>	annual
개기장	Poaceae	<i>Panicum bisulcatum</i>	annual
미국개기장	Poaceae	<i>Panicum dichotomiflorum</i>	annual
참새피	Poaceae	<i>Paspalum thunbergii</i>	perennial
수크령	Poaceae	<i>Pennisetum alopecuroides</i>	perennial
들깨	Lamiaceae	<i>Perilla frutescens</i> var. <i>japonica</i>	annual
개여뀌	Polygonaceae	<i>Persicaria blumei</i>	annual
여뀌	Polygonaceae	<i>Persicaria hydropteris</i>	annual
개여뀌	Polygonaceae	<i>Persicaria lapathifolia</i>	annual
털여뀌	Polygonaceae	<i>Persicaria chochinchinensis</i>	annual
고마리	Polygonaceae	<i>Persicaria thunbergii</i>	annual
녹두	Fabaceae	<i>Phaseolus radiatus</i>	annual
질경이	Plantaginaceae	<i>Plantago asiatica</i>	perennial
쇠비름	Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i>	annual
가락지나물	Rosaceae	<i>Potentilla kleiniana</i>	perennial
개소리랑개비	Rosaceae	<i>Potentilla paradoxa</i>	perennial
개구리자리	Ranunculaceae	<i>Ranunculus sceleratus</i>	biennial
무우	Brassicaceae	<i>Raphanus sativus</i>	biennial
개갓냉이	Brassicaceae	<i>Rorippa indica</i>	perennial
소리쟁이	Polygonaceae	<i>Rumex crispus</i>	perennial
개쑥갓	Asteraceae	<i>Senecio vulgaris</i>	biennial
참깨	Pedalidaceae	<i>Sesamum indicum</i>	annual
가을강아지풀	Poaceae	<i>Setaria faberi</i>	annual
금강아지풀	Poaceae	<i>Setaria glauca</i>	annual
진득찰	Asteraceae	<i>Siegesbeckia glabrescens</i>	annual
털진득찰	Asteraceae	<i>Siegesbeckia pubescens</i>	annual
까마중	Solanaceae	<i>Solanum nigrum</i>	annual
방가지똥	Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i>	biennial
쇠별꽃	Caryophyllaceae	<i>Stellaria aquatica</i>	biennial
민들레	Asteraceae	<i>Taraxacum platycarpum</i>	perennial
토끼풀	Fabaceae	<i>Trifolium repens</i>	perennial
밀	Poaceae	<i>Triticum aestivum</i>	biennial
고들빼기	Asteraceae	<i>Youngia denticulata</i>	biennial
옥수수	Poaceae	<i>Zea mays</i>	annual

ammonium은 5mM, 25mM, 50mM 용액을 cadmium은 0.1mM, 0.5mM, 1mM로 汚染源의 濃度를 調節한 溶液을 供給하였다. 發芽條件은 發芽床에서 光週期를 12시간으로 하고 變溫條件으로 晝間 25°C/夜間 20°C 溫度處理를 하였다. 發芽率과 幼苗의 長이는 置床 15일 후에 調査하였다.

### 3. 實驗設計 및 統計分析

모든 實驗區의 配置는 完全任意配置 3反復으로 遂行하였으며, 實驗值의 統計分析은 PC用 SAS package의 ANOVA procedure와 GLM procedure를 利用하여 分散分析을 실시하였다.

## 結果 및 考察

### 1. Oxidative stress에 대한 植物種들의 反應

Paraquat처리에 대한 植物의 反應은 表 2에 나타난 것과 같이 0.5mM 용액의 濃度에서 大部分의 植物體는 枯死하였으나, 가락지나물, 고들빼기, 담배, 명아주, 미국쑥부쟁이, 부처꽃, 별꽃, 쇠별꽃, 애기똥풀, 어저귀, 장대나물, 쥐깨풀, 질경이, 참새피, 콩다다맹이, 토마토, 흰씀바귀 등의 草種은 耐性을 나타내 被害率의 累積值(CVIR)도 낮았다. 귀리, 도깨비바늘, 별꽃아재비 등 感受性인 種은 大部分 處理 후 7日 前에 枯死하였으며 그렇, 들콩, 벼룩이자리, 지칭개, 환삼덩굴은 7日까지의 可視的인 被害는 작았으나 30日 째는 枯死하여 被害의 進行速度가 늦은 것으로 나타났다.

科(family)別로 酸化的인 스트레스에 대한 反應은 表 5에 나타난 것과 같이 科 間에 差異가 인정되지는 않았으나 生育型간에는 큰 차이를 보였다. 越冬하는 二年生이나 多年生 草種의 경우 耐性을 나타내는 경향이 있었다. 越冬하는 種이 大部分인 십자화과나 석죽과 植物은 耐性이 강하였고 화본과 식물 중에서도 越冬하는 개밀이나 참새피 등은 耐性을 나타내었다. 이것은 여러 實驗의 結果<sup>15, 16, 17</sup>에서 보이는 것처럼 強光과 低溫條件에서 살

아남을 수 있는 것은 毒性酸素의 發生에 의한 被害에 強하다고 볼 수 있는데, 氣象의 측면에서 酸化的인 스트레스를 일으키는 條件인 冬節期동안 低溫 強光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. 마디풀科의 植物들은 개여뀌, 털여뀌, 소리쟁이, 큰개여뀌 등 大部分이 비교적 感受性을 보였다. 마디풀科의 結果는 金<sup>18</sup>이 개여뀌와 여뀌가 汚染地域에서 優占한다는 結果와는 다소 상이하였다. 또한 국화과의 식물중 개망초와 망초와 같은 *Erigeron* 屬의 植物은 Fuerst and Vaughn<sup>19</sup>이 報告한 것처럼 耐性을 보이지 않았다. 특히 菊花科 植物 中 미국쑥부쟁이는 큰 耐性을 보였는데, 이 種은 최근들어 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. 꿀풀과 植物들은 越冬을 하지 않는 種들 임에도 불구하고 大部分이 높은 耐性을 보였는데, 쥐깨풀, 익모초, 들깨가 속하는 꿀풀科의 植物들은 강한 耐性을 나타냈다. 이들은 生態적으로 한 여름의 높은 溫度에서 生育이 旺盛한 것으로 앞에서 耐性을 보인 種들과는 다른 耐性機作이 있을 것으로 추정된다. 이밖에 莎草科나 콩科에 속하는 植物들은 중간 또는 약간 강한 耐性을 보였으며, 가지科 植物, 미나리아재비과, 양귀비과, 비름科 등의 식물은 大部分 感受性인 것으로 나타났다. 이외에 一般的으로 除草劑에 抵抗性을 갖는다고 알려져 있는 쇠비름과 깨풀, 어저귀의 경우 비교적 耐性을 보였다. 이것은 paraquat외에 除草劑인 acifluorfen도 酸化的인 스트레스를 일으킨다는 여러 報告들<sup>20, 21</sup>에 비추어 볼 때 paraquat에 耐性을 갖는 種들은 가장 代表的이며 極端的인 影響을 주는 異生物質(xenobiotics)에 속하는 製초제, 특히 光合成阻害 除草劑에 耐性을 가질 것으로 推定되어진다. 農耕地의 雜草로는 問題가 되지 않으나 道路 周邊 등에 많이 發生하는 植物인 바늘꽃科의 달맞이꽃은 매우 높은 耐性을 지닌 것으로 나타났

Table 2. Effects of paraquat on the visual injury rate, plant height, fresh weight, and chlorophyll content.

Species	IR*	CVIR**	Height(cm)		Fresh weight(g)		Chlorophyll***	
			cont.	treated	cont.	treated	cont.	treated
<i>Abutilon avicennae</i>	3	48.2	37.0	22.7( 61)	2.9	0.9( 30)	28.9	29.0(100)
<i>Acalypha australis</i>	5	57.8	85.8	—	15.7	—	41.9	—
<i>Achyranthes japonica</i>	7	81.0	53.2	—	7.4	—	32.7	—
<i>Aeschynomene indica</i>	9	83.9	39.0	—	8.0	—	25.6	—
<i>Agropyron ciliare</i>	9	88.0	39.4	—	2.6	—	26.9	—
<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i>	8	62.2	37.2	—	0.9	—	21.7	—
<i>Allium fistulosum</i>	2	19.0	43.5	42.7( 98)	2.2	1.3( 59)	44.4	22.6( 51)
<i>Alopecurus aequalis</i> var. <i>amurensis</i>	7	37.8	55.5	—	2.7	—	21.1	—
<i>Amaranthus lividus</i>	10	87.8	36.7	—	3.0	—	37.8	—
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elatior</i>	10	95.6	118.1	—	22.7	—	40.0	—
<i>Ambrosia trifida</i>	9	87.0	102.8	—	36.9	—	41.4	—
<i>Anethum graveolens</i>	6	68.0	97.7	—	9.7	—	nd	nd
<i>Arabis glabra</i>	3	13.3	7.3	7.3(100)	0.6	0.8(140)	25.0	18.8( 75)
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	2	1.9	12.8	—	0.7	—	21.2	—
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	10	91.2	30.3	—	2.5	—	27.8	—
<i>Arthraxon hispidus</i>	10	94.6	42.4	—	1.1	—	35.5	—
<i>Aster pilosus</i>	1	6.2	51.4	9.2( 18)	39.1	0.6( 2)	39.1	33.3( 85)
<i>Astragalus sinicus</i>	10	91.2	22.0	—	3.9	—	31.5	—
<i>Avena sativa</i>	10	95.6	90.1	—	15.3	—	31.1	—
<i>Bidens bipinnata</i>	10	93.3	74.9	—	11.3	—	41.7	—
<i>Bidens frondosa</i>	10	89.2	124.2	—	51.9	—	38.2	—
<i>Bidens tripartita</i>	10	89.3	71.4	—	17.4	—	49.6	—
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	8	21.8	4.3	—	0.4	—	21.6	—
<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i>	6	92.3	29.5	—	2.4	—	18.9	—
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	5	60.3	36.6	—	3.6	—	40.3	—
<i>Chenopodium ficifolium</i>	10	67.7	44.2	—	3.9	—	44.5	—
<i>Chenopodium glaucum</i>	8	91.3	37.7	—	5.2	—	34.9	—
<i>Cirsium setidens</i>	6	72.9	14.4	—	1.5	—	15.9	—
<i>Commelina communis</i>	7	70.1	108.5	—	31.8	—	46.5	—
<i>Cucumis melo</i> var. <i>makuwa</i>	10	58.6	145.8	—	32.2	—	31.1	—
<i>Cyperus iria</i>	6	75.9	61.3	—	6.6	—	36.9	—
<i>Cyperus sanguinolentus</i>	6	49.2	54.4	—	11.5	—	24.8	—
<i>Datura stramonium</i>	9	85.8	55.1	—	11.6	—	30.6	—
<i>Digitaria sanguinalis</i>	10	70.9	103.3	—	12.5	—	29.5	—
<i>Digitaria violascens</i>	7	94.5	52.8	—	1.9	—	24.8	—
<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>praticola</i>	9	90.4	68.7	—	3.8	—	17.8	—
<i>Eclipta prostrata</i>	4	54.5	55.9	—	13.7	—	50.6	—
<i>Eleusine indica</i>	9	82.9	82.6	—	27.9	—	34.1	—
<i>Eragrostis ferruginea</i>	3	42.2	45.5	—	4.5	—	28.9	—
<i>Erechtites hieracifolia</i>	7	64.6	56.3	—	8.0	—	22.9	—
<i>Erigeron annuus</i>	9	86.9	12.6	—	3.5	—	34.1	—
<i>Erigeron canadensis</i>	7	25.3	7.2	—	0.2	—	28.3	—
<i>Galinsoga parviflora</i>	10	93.6	59.6	—	6.4	—	30.1	—
<i>Galium spurium</i>	10	81.7	68.1	—	1.6	—	21.0	—
<i>Glycine max</i>	6	46.9	100.1	—	31.0	—	32.9	—
<i>Glycine soja</i>	2	51.4	65.9	—	4.2	—	43.9	—
<i>Hemistepta lyrata</i>	1	9.4	17.7	—	2.2	—	24.5	—

Table 2. Continued.

Species	IR*	CVIR**	Height(cm)		Fresh weight(g)		Chlorophyll***	
			cont.	treated	cont.	treated	cont.	treated
<i>Hordeum vulgare</i>	10	90.	59.5	—	3.4	—	18.7	—
<i>Humulus japonicus</i>	2	44.8	89.0	—	4.3	—	68.7	—
<i>Ixeris dentata</i> var. <i>albiflora</i>	0	27.0	13.7	10.0( 73)	0.6	0.4( 58)	27.2	22.1( 81)
<i>Kummerowia striata</i>	4	26.1	26.4	—	0.7	—	21.0	—
<i>Lactuca indica</i> var. <i>laciniata</i>	10	90.1	38.9	—	2.9	—	27.3	—
<i>Lactuca sativa</i>	9	82.2	74.6	—	14.7	—	10.0	—
<i>Leonurus sibiricus</i>	4	31.4	27.5	—	3.6	—	40.9	—
<i>Lepidium virginicum</i>	3	31.1	28.5	20.2( 71)	1.1	0.5( 45)	33.0	31.1( 94)
<i>Lycopersicon esculentum</i>	8	80.5	88.4	—	56.8	—	42.8	—
<i>Lythrum anceps</i>	4	32.5	97.2	23.5( 24)	19.0	0.5( 3)	31.3	15.8( 50)
<i>Mosla dianthera</i>	1	20.3	54.6	22.8( 42)	5.8	3.8( 65)	34.0	37.4(110)
<i>Nicotiana tabacum</i>	8	20.8	57.2	—	40.4	—	40.3	—
<i>Oenothera odorata</i>	2	34.2	20.5	—	2.7	—	34.7	—
<i>Panicum bisulcatum</i>	8	90.3	49.5	—	5.6	—	28.0	—
<i>Panicum dichotomiflorum</i>	9	88.0	56.4	—	3.2	—	27.7	—
<i>Paspalum thunbergii</i>	1	21.1	51.1	26.7( 52)	3.4	0.2( 6)	27.9	12.8( 46)
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	7	39.4	107.3	—	4.9	—	34.2	—
<i>Perilla frutescens</i> var. <i>japonica</i>	2	20.4	68.1	—	27.7	—	39.5	—
<i>Persicaria blumei</i>	8	90.3	66.5	—	7.4	—	38.1	—
<i>Persicaria hydropiper</i>	4	90.5	88.6	—	12.9	—	33.7	—
<i>Persicaria lapathifolia</i>	10	93.3	89.8	—	28.8	—	42.2	—
<i>Persicaria chochinensis</i>	9	88.4	92.6	—	20.9	—	39.7	—
<i>Persicaria thunbergii</i>	8	84.3	86.8	—	18.4	—	38.8	—
<i>Phaseolus radiatus</i>	10	95.6	49.9	—	8.3	—	40.6	—
<i>Plantago asiatica</i>	2	14.1	15.5	8.7( 56)	3.1	0.9( 29)	27.9	29.5(106)
<i>Portulaca oleracea</i>	3	9.3	13.9	11.0( 79)	0.9	0.9(100)	23.3	15.9( 68)
<i>Potentilla kleimiana</i>	4	41.6	23.8	5.3( 22)	12.1	0.1( 5)	30.1	22.7( 75)
<i>Potentilla paradoxa</i>	4	58.8	29.0	—	2.3	—	30.8	—
<i>Ranunculus sceleratus</i>	10	90.3	17.4	—	0.6	—	21.8	—
<i>Raphanus sativus</i>	6	66.9	24.5	—	7.2	—	17.9	—
<i>Rorippa indica</i>	3	33.3	48.8	—	4.3	—	27.4	—
<i>Rumex crispus</i>	8	89.3	39.2	—	9.1	—	23.8	—
<i>Senecio vulgaris</i>	7	82.7	55.2	—	3.3	—	21.1	—
<i>Sesamum indicum</i>	9	74.1	45.3	—	8.3	—	32.2	—
<i>Setaria faberi</i>	10	53.7	65.3	—	3.4	—	20.9	—
<i>Setaria glauca</i>	10	95.6	107.7	—	12.4	—	24.4	—
<i>Siegesbeckia glabrescens</i>	10	89.3	56.6	—	20.5	—	32.9	—
<i>Siegesbeckia pubescens</i>	9	87.3	73.8	—	19.8	—	40.9	—
<i>Solanum nigrum</i>	10	88.9	96.7	—	16.9	—	33.8	—
<i>Sonchus oleraceus</i>	10	86.8	62.1	—	6.0	—	19.9	—
<i>Stellaria aquatica</i>	3	4.6	38.0	29.5( 78)	3.0	0.7( 24)	18.5	14.7( 79)
<i>Taraxacum platycarpum</i>	7	77.6	34.7	—	2.3	—	32.5	—
<i>Trifolium repens</i>	8	75.6	33.5	—	2.1	—	43.4	—
<i>Triticum aestivum</i>	10	93.3	56.8	—	4.1	—	24.2	—
<i>Youngia denticulata</i>	2	10.5	7.5	6.1( 81)	0.2	0.1( 50)	17.8	17.8(100)
<i>Zea mays</i>	10	92.4	88.1	—	17.0	—	23.4	—

\*Visual injury rate was determined at 7 days after treatment.

\*\*CVIR during 35 days

—indicate dead plant, nd; not determined, the data in the parenthesis is percent of control

\*\*\*The unit of portable chlorophyll meter(Minolta SPAD 502)

nd; not determined



다. 비름과 더불어 代表적인 農耕地의 廣葉雜草인 명아주科 植物들은 중간 程度의 感受性을 나타냈다. 여러 가지 판단 기준 중 一般的으로 葉綠素 含量은 좋은 生理的 尺度가 될 수있는 것으로서, 처리에 의해 含量의 증가된 쥐깨풀의 경우를 제외하고는 대부분의 種에서 葉綠素 含量을 약간씩 낮추었고, 특히 참새피와 애기똥풀의 경우 減少幅이 크게 나타났다.

## 2. Ammonium에 대한 植物種들의 反應

Ammonium에 대한 植物體들의 種間 反應은 paraquat에 대한 것과는 상이한데(表 3), 까마중, 돌피, 미국개기장, 쇠무릎, 금강아지풀, 고려엉귀 등은 耐性이 컸으며 고들빼기, 냉이, 녹두, 들깨, 쥐깨풀, 참새피, 벼룩이자리, 별꽃아재비 등은 感受性을 나타냈다. 科別 差異는 表 5에서 보이는 것과 같이 科間에 耐性의 차이가 있었으며 科別로 特性을 알아보면 禾本科의 경우 대부분의 種이 耐性을 나타냈는데, 돌피, 미국개기장, 민바랭이, 바랭이 등은 比較的 強한 耐性을 나타냈다. 그러나 벼, 밀, 귀리, 옥수수 등 作物種은 雜草種들과는 달리 感受性을 나타냈다. 十字花科 植物의 경우는 대부분의 種들이 感受性을 보였는데, 냉이, 무우, 장대나물, 콩다닥냉이 등은 높은 感受性을 나타냈다. 석죽科의 경우도 벼룩이자리와 쇠별꽃 모두 큰 感受性을 나타냈다. 특히 콩科 植物의 경우 大部分 強한 感受性을 나타냈는데, 이러한 결과는 콩科 植物이 窒素固定으로 窒素源을 供給받는 能力이 있어 모든 代謝過程이 外部의 낮은 窒素濃度에 적합하게 구성되었을 것으로 思料되므로 高濃度의 窒素供給에 의해서 被害를 쉽게 받는 것으로 보인다. 마디풀科의 경우는 種間 反應이 다양하게 나타났는데, 개천가에 발생이 많은 소리쟁이와 고마리 등은 耐性을 보여 이들의 발생장소와 ammonium에 대한 반응이 무관하지는 않은 것으로 思料된다. 가지科에 속하는 植物들도 역시 種間 變異가 컸는데, 까마중과 담배는 耐性

이 있었으나 독말풀과 토마토는 感受性이었다. 菊科의 植物들은 개망초, 고려엉귀, 쑥 등을 제외하고는 대부분이 感受性을 나타냈는데, 미국돼지풀, 진득찰, 고들빼기, 상치, 미국가막사리, 별꽃아재비는 強한 感受性을 보였다. 명아주科와 비름科의 植物은 比較적 耐性을 보였으며 특히 쇠무릎의 경우 處理 35일 가지도 피해정도가 크지 않았다. 이 외의 植物種에서 쥐깨풀, 달맞이꽃, 환삼덩굴, 현삼 등이 強한 感受性을 나타냈고, 닭의장풀, 파 등이 比較적 耐性을 나타냈다.

Ammonium에 대한 反應 중 돌피, 바랭이, 미국개기장 등 몇 가지 種들 中에서는 生體重이 對照區보다 큰 경우가 많아 ammonium이 이러한 種들에 대해 窒素源으로 作用하였을 것으로 보여진다. ammonium에 대한 反應 중 특이한 점은 一般的으로 作物재배에서 窒素 施肥糧이 증가에 따라 葉綠素 含量이 증가하는 것처럼, ammonium 處理에 의해 葉綠素의 含量은 處理初期에는 증가하였고 枯死한 경우도 黃化현상이 아닌 葉色이 짙은 상태에서 枯死하였다. 이러한 결과는 다른 報告<sup>22)</sup>에서 처럼 뿌리를 통한 吸收의 障蔽가 일어났기 때무으로 思料된다.

Ammonium에 대한 耐性은 植物의 種에 따라 利用하는 窒素 形態가 다를 수도 있으므로 ammonium에 대한 耐性差異가 窒素毒性에 대한 것을 나타낸다고 보기는 어렵지만 ammonium을 비롯한 窒素化合物의 土壤내 蓄積이 深化되는 現實에 비추어 具體的인 여러 種의 窒素源에 대한 植物種들의 反應에 대한 研究도 필요하다고 보여진다. 植物들의 窒素毒性에 대한 耐性의 差異는 위의 결과를 놓고 볼 때, 作物種에서 一般적으로 크며, 耕作地에 많이 發生하는 雜草種일수록 耐性이 큰 傾向이었다.

## 3. Cadmium에 대한 植物種들의 反應

重金屬은 植物 自體에 대한 被害보다 먹이사슬적 側面에서 問題가 된다. 표 4에 나타난 것과

Table 3. Effects of ammonium on the visual injury rate, plant height, fresh weight, and chlorophyll content.

Species	Injury rate*	Height (cm)	Fresh weight (g)	Chlorophyll****
<i>Abutilon avicennae</i>	6	—	—	—
<i>Acalypha australis</i>	7	30.1( 35)	2.7( 17)	38.9( 93)
<i>Achyranthes japonica</i>	0	41.1( 77)	4.0( 54)	37.8(116)
<i>Aeschynomene indica</i>	7	35.1( 90)	1.3( 16)	15.4( 60)
<i>Agropyron ciliare</i>	2	44.2(112)	1.8( 68)	40.7(151)
<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i>	3	18.8( 51)	0.2( 22)	16.6( 76)
<i>Allium fistulosum</i>	3	37.8( 87)	0.7( 30)	22.4( 50)
<i>Alopecurus aequalis</i> var. <i>amurensis</i>	5	37.2( 67)	0.7( 26)	22.5(107)
<i>Amaranthus lividus</i>	4	14.2( 39)	0.6( 21)	35.8( 95)
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elatior</i>	8	42.8( 36)	2.6( 11)	17.1( 43)
<i>Ambrosia trifida</i>	10	—	—	—
<i>Anethum graveolens</i>	8	41.6( 43)	1.3( 13)	nd
<i>Arabis glabra</i>	8	—	—	—
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	10	—	—	—
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	2	19.5( 64)	1.0( 42)	26.0( 94)
<i>Arthraxon hispidus</i>	7	31.2( 74)	0.5( 44)	23.0( 65)
<i>Aster pilosus</i>	10	—	—	—
<i>Astragalus sinicus</i>	7	13.7( 62)	0.9( 23)	29.0( 92)
<i>Avena sativa</i>	6	54.1( 60)	4.3( 28)	12.6( 41)
<i>Bidens bipinnata</i>	8	—	—	—
<i>Bidens frondosa</i>	10	—	—	—
<i>Bidens tripartita</i>	6	37.1( 52)	4.8( 27)	40.0( 81)
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	10	—	—	—
<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i>	4	7.7( 26)	0.2( 7)	24.3(129)
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	3	31.6( 86)	2.5( 68)	46.6(116)
<i>Chenopodium ficifolium</i>	6	34.1( 77)	2.3( 58)	31.6( 71)
<i>Chenopodium glaucum</i>	3	21.9( 58)	0.9( 18)	31.9( 91)
<i>Cirsium setidens</i>	1	14.5(101)	1.6(109)	25.8(162)
<i>Commelina communis</i>	3	68.0( 63)	6.4( 20)	46.3(100)
<i>Cucumis melo</i> var. <i>makuwa</i>	8	—	—	—
<i>Cyperus iria</i>	6	—	—	—
<i>Cyperus sanguinolentus</i>	9	—	—	—
<i>Datura stramonium</i>	6	27.2( 49)	4.4( 38)	26.9( 88)
<i>Digitaria sanguinalis</i>	3	91.1( 88)	14.0(112)	43.9(149)
<i>Digitaria violascens</i>	3	61.9(117)	3.0(154)	30.8(124)
<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>praticola</i>	0	67.5( 98)	8.0(211)	38.4(216)
<i>Eclipta prostrata</i>	7	—	—	—
<i>Eleusine indica</i>	3	76.7( 93)	22.2( 80)	32.6( 96)
<i>Eragrostis ferruginea</i>	2	26.5( 58)	0.5( 11)	22.1( 76)
<i>Erechitites hieracifolia</i>	7	38.3( 68)	4.6( 58)	30.6(134)
<i>Erigeron annuus</i>	3	5.0( 40)	0.4( 11)	26.4( 77)
<i>Erigeron canadensis</i>	9	—	—	—
<i>Galinsoga parviflora</i>	10	—	—	—
<i>Galium spurium</i>	5	—	—	—
<i>Glycine max</i>	10	—	—	—
<i>Glycine soja</i>	10	—	—	—
<i>Hemistepta lyrata</i>	7	12.9( 73)	0.7( 33)	43.5(178)
<i>Hordeum vulgare</i>	6	52.9( 89)	2.7( 79)	13.2( 71)

Table 3. Continued.

Species	Injury rate*	Height (cm)	Fresh weight (g)	Chlorophyll
<i>Humulus japonicus</i>	10	—	—	—
<i>Ixeris dentata</i> var. <i>albiflora</i>	6	—	—	—
<i>Kummerowia striata</i>	10	—	—	—
<i>Lactuca indica</i> var. <i>laciniata</i>	4	31.4( 81)	2.1( 71)	27.7(101)
<i>Lactuca sativa</i>	10	—	—	—
<i>Leonurus sibiricus</i>	5	17.3( 63)	1.4( 38)	30.9( 76)
<i>Lepidium virginicum</i>	7	9.1( 32)	0.9( 77)	26.1( 79)
<i>Lycopersicon esculentum</i>	8	42.6( 48)	10.2( 18)	34.7( 81)
<i>Lythrum anceps</i>	10	—	—	—
<i>Mosla dianthera</i>	10	—	—	—
<i>Nicotiana tabacum</i>	3	38.3( 67)	18.8( 47)	29.7( 74)
<i>Oenothera odorata</i>	10	—	—	—
<i>Panicum bisulcatum</i>	2	25.2( 51)	1.2( 21)	16.2( 58)
<i>Panicum dichotomiflorum</i>	0	59.4(105)	4.2(129)	32.3(117)
<i>Paspalum thunbergii</i>	10	—	—	—
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	3	65.2( 61)	2.2( 45)	24.2( 71)
<i>Perilla frutescens</i> var. <i>japonica</i>	10	—	—	—
<i>Persicaria blumei</i>	3	27.5( 41)	1.1( 15)	49.8(131)
<i>Persicaria hydropiper</i>	4	—	—	—
<i>Persicaria lapathifolia</i>	9	33.2( 37)	1.3( 5)	35.2( 83)
<i>Persicaria chochinensis</i>	10	—	—	—
<i>Persicaria thunbergii</i>	2	73.4( 85)	11.0( 60)	29.3( 76)
<i>Phaseolus radiatus</i>	10	—	—	—
<i>Plantago asiatica</i>	10	—	—	—
<i>Portulaca oleracea</i>	3	7.6( 55)	0.4( 43)	19.8( 85)
<i>Potentilla kleiniana</i>	7	—	—	—
<i>Potentilla paradoxa</i>	5	23.3( 80)	2.2( 92)	39.7(129)
<i>Ranunculus sceleratus</i>	8	9.8( 56)	0.3( 58)	24.6(113)
<i>Raphanus sativus</i>	10	—	—	—
<i>Rorippa indica</i>	5	16.3( 33)	0.3( 7)	34.1(124)
<i>Rumex crispus</i>	0	36.3( 93)	4.1( 45)	27.8(117)
<i>Senecio vulgaris</i>	9	—	—	—
<i>Sesamum indicum</i>	9	33.1( 73)	2.0( 24)	45.3(141)
<i>Setaria faberi</i>	3	42.0( 64)	2.9( 85)	42.7(204)
<i>Setaria glauca</i>	1	76.9( 71)	9.8( 79)	33.3(136)
<i>Siegesbeckia glabrescens</i>	10	—	—	—
<i>Siegesbeckia pubescens</i>	10	—	—	—
<i>Solanum nigrum</i>	0	46.8( 48)	7.8( 46)	30.6( 91)
<i>Sonchus oleraceus</i>	5	51.5( 83)	1.7( 28)	30.2(152)
<i>Stellaria aquatica</i>	10	—	—	—
<i>Taraxacum platycarpum</i>	10	—	—	—
<i>Trifolium repens</i>	10	—	—	—
<i>Triticum aestivum</i>	6	44.1( 78)	2.8( 68)	22.2( 92)
<i>Youngia denticulata</i>	10	—	—	—
<i>Zea mays</i>	8	82.7( 94)	14.7( 86)	17.9( 76)

\*Visual injury rate was determined at 20 days after treatment.

—; dead plant, nd; not determined, the data in the parenthesis is percent of control

\*\*\*The unit of portable chlorophyll meter(Minolta SPAD 502)

nd; not determined

Table 4. Effects of cadmium on the visual injury rate, plant height, fresh weight, and chlorophyll content.

Species	Injury rate*	Height (cm)	Fresh weight (g)	Chlorophyll***
<i>Abutilon avicennae</i>	6	19.6( 53)	0.8( 27)	12.0( 42)
<i>Acalypha australis</i>	5	46.0( 54)	3.6( 23)	16.0( 38)
<i>Achyranthes japonica</i>	1	68.2(128)	3.8( 52)	25.4( 78)
<i>Aeschynomene indica</i>	2	39.0(100)	1.3( 17)	17.3( 68)
<i>Agropyron ciliare</i>	0	36.4( 92)	2.3( 86)	31.4(117)
<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i>	3	23.1( 62)	0.9( 94)	17.6( 81)
<i>Allium fistulosum</i>	3	36.3( 83)	0.7( 32)	32.8( 74)
<i>Alopecurus aequalis</i> var. <i>amurensis</i>	4	47.0( 85)	1.1( 38)	12.0( 57)
<i>Amaranthus lividus</i>	1	38.8(106)	2.2( 72)	41.2(109)
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elatior</i>	5	65.1( 55)	5.6( 25)	8.7( 22)
<i>Ambrosia trifida</i>	7	41.1( 40)	4.7( 13)	6.6( 16)
<i>Anethum graveolens</i>	1	68.1( 70)	3.9( 40)	nd
<i>Arabis glabra</i>	4	5.3( 73)	0.9(153)	22.4( 90)
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	6	8.8( 69)	0.5( 75)	18.1( 85)
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	1	18.7( 62)	0.7( 27)	26.5( 95)
<i>Arthraxon hispidus</i>	5	23.2( 55)	0.5( 47)	11.2( 32)
<i>Aster pilosus</i>	5	26.8( 52)	3.6( 9)	17.6( 45)
<i>Astragalus sinicus</i>	4	17.6( 80)	2.8( 71)	30.5( 97)
<i>Avena sativa</i>	0	57.8( 64)	6.0( 39)	34.3(110)
<i>Bidens bipinnata</i>	1	52.7( 70)	5.0( 45)	30.3( 73)
<i>Bidens frondosa</i>	5	75.4( 61)	8.5( 16)	10.1( 26)
<i>Bidens tripartita</i>	4	34.1( 48)	3.3( 19)	17.2( 35)
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	8	3.8( 88)	0.5(125)	30.1(139)
<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i>	2	21.0( 71)	1.8( 77)	19.5(103)
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	2	43.5(119)	3.3( 92)	33.4( 83)
<i>Chenopodium ficifolium</i>	2	37.8( 86)	1.8( 46)	24.1( 54)
<i>Chenopodium glaucum</i>	2	22.2( 59)	6.2(119)	22.9( 66)
<i>Cirsium setidens</i>	0	15.3(106)	1.2( 84)	17.7(111)
<i>Commelina communis</i>	2	88.0( 81)	10.3( 32)	25.3( 54)
<i>Cucumis melo</i> var. <i>makuwa</i>	6	48.5( 33)	5.3( 17)	20.6( 66)
<i>Cyperus iria</i>	3	35.8( 58)	2.1( 32)	34.1( 92)
<i>Cyperus sanguinolentus</i>	4	31.7( 58)	3.6( 31)	20.5( 83)
<i>Datura stramonium</i>	3	50.5( 92)	6.4( 55)	25.6( 84)
<i>Digitaria sanguinalis</i>	0	72.4( 70)	10.7( 86)	30.4(103)
<i>Digitaria violascens</i>	0	53.0(100)	2.0(101)	27.5(111)
<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>praticola</i>	0	49.9( 73)	2.1( 54)	20.9(117)
<i>Eclipta prostrata</i>	4	33.0( 59)	2.4( 18)	21.8( 43)
<i>Eleusine indica</i>	3	82.3(100)	13.3( 48)	21.9( 64)
<i>Eragrostis ferruginea</i>	2	16.9( 37)	0.4( 9)	10.7( 37)
<i>Erechtites hieracifolia</i>	4	35.9( 64)	3.1( 38)	15.0( 66)
<i>Erigeron annuus</i>	3	10.2( 81)	3.4( 97)	28.4( 83)
<i>Erigeron canadensis</i>	3	4.5( 63)	0.3(150)	20.7( 73)
<i>Galinsoga parviflora</i>	7	40.9( 69)	3.6( 56)	15.1( 50)
<i>Galium spurium</i>	1	48.6( 71)	1.2( 75)	17.9( 85)
<i>Glycine max</i>	5	80.8( 81)	5.0( 16)	29.6( 90)
<i>Glycine soja</i>	7	61.1( 93)	2.6( 62)	35.8( 82)
<i>Hemistepta lyrata</i>	1	16.9( 95)	2.3(103)	32.0(131)

Table 4. Continued.

Species	Injury rate*	Height (cm)	Fresh weight (g)	Chlorophyll
<i>Hordeum vulgare</i>	0	46.1( 77)	2.9( 85)	22.9(122)
<i>Humulus japonicus</i>	6	42.2( 47)	4.0( 93)	14.8( 22)
<i>Ixeris dentata</i> var. <i>albiflora</i>	3	6.4( 47)	0.2( 28)	13.9( 51)
<i>Kummerowia striata</i>	7	—	—	—
<i>Lactuca indica</i> var. <i>laciniata</i>	5	23.6( 61)	0.9( 32)	13.9( 51)
<i>Lactuca sativa</i>	5	45.0( 60)	6.9( 47)	9.2( 92)
<i>Leonurus sibiricus</i>	3	20.3( 74)	2.8( 76)	29.7( 73)
<i>Lepidium virginicum</i>	0	18.7( 66)	0.4( 36)	28.6( 87)
<i>Lycopersicon esculentum</i>	3	52.1( 59)	16.4( 29)	11.1( 26)
<i>Lythrum anceps</i>	5	39.3( 40)	2.3( 12)	12.7( 41)
<i>Mosla dianthera</i>	3	38.9( 71)	3.3( 58)	22.8( 67)
<i>Nicotiana tabacum</i>	3	47.1( 82)	16.1( 40)	17.6( 44)
<i>Oenothera odorata</i>	1	40.7(199)	2.8(106)	31.9( 92)
<i>Panicum bisulcatum</i>	3	55.7(113)	5.4( 96)	28.3(101)
<i>Panicum dichotomiflorum</i>	0	49.9( 88)	2.7( 84)	22.0( 79)
<i>Paspalum thunbergii</i>	6	19.4( 38)	0.5( 15)	20.4( 73)
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	2	49.6( 46)	2.0( 42)	27.2( 80)
<i>Perilla frutescens</i> var. <i>japonica</i>	4	29.9( 44)	3.6( 13)	19.4( 49)
<i>Persicaria blumei</i>	1	42.0( 63)	6.9( 94)	21.3( 56)
<i>Persicaria hydro Piper</i>	2	81.3( 92)	10.5( 81)	28.7( 85)
<i>Persicaria lapathifolia</i>	2	58.5( 65)	7.5( 26)	36.4( 86)
<i>Persicaria chochinensis</i>	6	51.4( 56)	6.6( 31)	27.8( 70)
<i>Persicaria thunbergii</i>	0	66.7( 77)	15.1( 82)	26.6( 69)
<i>Phaseolus radiatus</i>	8	22.9( 46)	5.4( 64)	23.8( 59)
<i>Plantago asiatica</i>	9	—	—	—
<i>Portulaca oleracea</i>	4	4.6( 33)	0.1( 11)	7.0( 30)
<i>Potentilla kleiniana</i>	8	—	—	—
<i>Potentilla paradoxa</i>	3	23.9( 82)	3.2(136)	18.6( 60)
<i>Ranunculus sceleratus</i>	0	12.9( 74)	1.7(298)	27.4(126)
<i>Raphanus sativus</i>	0	28.3(116)	5.9( 83)	28.0(156)
<i>Rorippa indica</i>	4	19.1( 39)	1.1( 26)	7.4( 27)
<i>Rumex crispus</i>	0	30.9( 79)	2.2( 24)	21.4( 90)
<i>Senecio vulgaris</i>	5	56.0(101)	2.9( 88)	17.4( 82)
<i>Sesamum indicum</i>	1	29.9( 66)	2.8( 34)	33.4(104)
<i>Setaria faberi</i>	1	59.3( 91)	3.5(102)	26.0(124)
<i>Setaria glauca</i>	1	69.0( 64)	12.0( 97)	16.1( 66)
<i>Siegesbeckia glabrescens</i>	3	38.0( 67)	4.6( 22)	31.6( 96)
<i>Siegesbeckia pubescens</i>	3	52.4( 71)	5.0( 25)	24.9( 61)
<i>Solanum nigrum</i>	3	68.9( 71)	9.0( 53)	22.5( 67)
<i>Sonchus oleraceus</i>	2	93.0(150)	4.7( 79)	21.9(110)
<i>Stellaria aquatica</i>	5	—	—	—
<i>Taraxacum platycarpum</i>	0	24.7( 71)	2.2( 94)	24.8( 76)
<i>Trifolium repens</i>	2	27.9( 83)	2.1(100)	35.4( 82)
<i>Triticum aestivum</i>	0	40.3( 71)	4.0( 96)	29.0(120)
<i>Youngia denticulata</i>	3	6.5( 87)	0.2( 75)	14.7( 83)
<i>Zea mays</i>	3	65.8( 75)	9.2( 54)	11.5( 49)

\*Visual injury rate was determined at 20 days after treatment.

—; dead plant, nd; not determined, the data in the parenthesis is percent of control

\*\*\*The unit of portable chlorophyll meter(Minolta SPAD 502)

nd; not determined

Table 5. Statistic analysis of effects of ecotype and family on the visual injury rate of tested plants.

Treatment	Source	DF	Mean Square	F Value	Pr > F
Paraquat	Ecotype	2	78.6915157	10.48	0.0001
	Family	26	11.4600373	1.53	0.0941
Ammonium	Ecotype	2	15.1810880	1.97	0.1491
	Family	26	16.8915607	2.19	0.0073
Cadmium	Ecotype	2	5.61931348	1.25	0.2936
	Family	26	7.54523119	1.68	0.0530

같이 處理 20일 후 可視的인 被害가 크게 나타난 種은 가락지나물, 냉이, 녹두, 콩, 미국돼지풀, 별꽃아재비, 질경이, 참새피 등이 있으며 개구리자리, 고려엉겅퀴, 바랭이 등이 강한 耐性을 나타냈다. Cadmium에 대한 被害는 가장 심한 種이 콩과植物이었는데, 녹두, 자운영, 매듭풀, 콩, 클로버 등 대부분의 콩과植物은 다른 科植物에 비하여 cadmium에 의해서 비교적 빨리 被害가 나타났다. 콩과植物이 cadmium에 敏感한 理由는 報告되고 있지 않아 정확하게 斷定지을 수는 없으나 葉綠素 合成에서 철의 利用을 방해한다는 報告가 있으므로<sup>10)</sup> 이것을 토대로 생각해 보면 콩과植物의 窒素固定에서 중요한 機能을 하는 leghemoglobin에 影響을 주기 때문으로 思料된다. Cadmium 處理에 의한 草長의 減少를 보면 녹두, 그렁, 들깨, 미국돼지풀, 부처꽃, 쇠비름, 참새피, 참외 등에서 抑制程度가 심하였다. 草長의 抑制程度가 약한 種은 개비름, 고려엉겅퀴, 달맞이꽃, 민바랭이, 방가지뚝, 익모초, 쇠무릎 등은 草長의 減少가 없거나 도리어 增加하였다.

Cadmium 處理가 生體重과 葉綠素 含量에 미치는 影響을 보면 生體重의 경우 可視的 被害率이 0으로 작았던 種은 모두 對照區의 90% 이상을

보여 生體重의 沮害 程度가 낮았다. 개구리자리, 냉이, 달맞이꽃, 지칭개, 취명아주, 장대나물 등에서 生體重은 도리어 增加하였다. 개구리자리의 경우 汚染된 물이 흐르는 개천가에서 잘 자라는 生態的 特性을 보이는데, 汚染地에서 자라는 植物은 汚染에 강한 特性을 지닌다는 報告<sup>24)</sup>를 고려할 때 重金屬에 대한 耐性이 이러한 生態的 特性을 附與하는 것으로 보여진다. 可視的 被害率이 컸던 種들은 葉綠素도 減少하였다. 특히 大部分의 種에서 cadmium을 處理한 경우는 葉綠素가 줄었는데, 이러한 結果는 重金屬이 葉綠素의 合成을 沮害한다는 여러 報告들<sup>10, 25)</sup>과 일치하는 結果를 보이는 것으로서 특히 그렁, 개갓냉이, 돼지풀, 미국가막사리, 쇠비름 등에서 葉綠素의 減少幅이 크게 나타났다. 콩과植物 외에 질경이, 미국가막사리, 미국돼지풀 등의 草種에서도 白化現象을 同伴하는 피해가 일어났다. 이것은 重金屬이 葉綠素의 前驅物質인 aminolevulinic acid(ALA)의 生合성을 抑制<sup>26)</sup>하기 때문으로서 葉綠素의 減少는 大部分의 草種에서 일어나는 一般的인 現象이었다. 특히 cadmium은 處理한 후 새롭게 생겨나는 新葉에서 白化現象이 일어났는데, 黃化現象이 기존의 葉綠素의 破壞로 인하여 일어난다면 白化現象은 새롭게

Table 6. Correlation coefficient of injury rate for three treatments.

	Ammonium treatment	Cadmium treatment
Cadmium treatment	0.50500**	
Paraquat treatment	-0.23137*	-0.24127*

葉綠素가 합성이 되지 않아 일어나는 現象으로서 ALA 合成의 低下가 이러한 現象을 일으키는 것으로 보인다. 그러나 녹두에서는 白化現象이 아닌 斑點이 관찰되었으므로 cadmium의 被害樣相은 種間에 차이가 있는 것으로 思料된다.

앞의 3종류의 處理에 反應間 相關을 보면 表 6에 나와 있는 것과 같이 cadmium과 ammonium간에는 正의 相關을 보였으나 이 두종류 物質과 paraquat 間에는 낮은 負의 相關을 나타내었다. 이것은 cadmium과 ammonium이 모두 陽이온 형태로 植物體內로 吸收되므로 植物體內的 耐性 機構 뿐만 아니라 이 吸收過程에서 耐性 程度의 差異가 생겨나는 것으로 思料된다.

#### 4. 發芽 過程 中 污染源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 競爭에서 有利한 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. Paraquat 處理의 경우 表 7과 같이 幼苗時期的 反應과 發芽時期的 反應과는 相異하였다. 이 외에 강한 耐性을 지닌 쥐깨풀, 미국쭉부쟁이, 벼룩이자리, 참새피의 경우는 0.05mM에서는 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 줄어 들었다. 그러나 感受性 種들인 개비름, 도깨비바늘, 매듭풀, 진득찰, 미국가막사리 등은 高濃度의 paraquat에 의해서도 沮害되는 程度가

매우 낮았고, 왕고들빼기, 쭉, 방가지뚱, 바랭이 등은 沮害되는 程度가 크게 나타났다. 즉 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 幼芽보다는 幼根의 生育沮害 程度가 크게 나타났다. 진득찰과 미국가막사리의 경우 paraquat에 대해 感受性 植物임에도 불구하고 發芽率과 幼苗의 길이가 큰 沮害를 받지 않았으나 幼根의 길이는 沮害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.

表 8은 ammonium이 發芽에 미치는 影響을 보여주는 것으로서 發芽와 관련된 特性에 관한 沮害 程度가 낮았으며 種間에 反應差異가 크게 나타났다. Ammonium에 感受性 보인 돌콩과 진득찰, 미국가막사리, 쥐깨풀의 경우 發芽過程에서 ammonium의 沮害程度는 미약하였으며 쥐깨풀과 쇠별꽃의 경우에서만 沮害가 심하였다. 이 밖에 개망초, 금강아지풀, 환삼덩굴, 고들빼기에서 發芽率의 減少가 일어났다. 돌콩의 경우는 高濃度의 ammonium에서 地上部 生育의 심한 障害가 일어났으나 發芽에 있어서는 濃度가 增加함에 따라 發芽率이 增加하였다. 쇠무릎과 왕바랭이의 경우도 ammonium의 濃度가 增加함에 따라 發芽率이 增加하는 現象이 나타났다. 쇠별꽃의 경우는 25

Table 7. Effect of paraquat treatment on the germination and seedling growth of plant species.

Species	Concentration(mM)	Germination rate(%)	Root length(cm)	Shoot length(cm)
<i>Digitaria sanguinalis</i>	control	94.3 a	3.05 a	2.37 a*)
	0.05	33.0 b	0.00 b	0.14 b
	0.25	0.0 c	0.00 b	0.00 b
	0.5	0.0 c	0.00 b	0.00 b
<i>Paspalum thunbergii</i>	control	35.7 a	2.20 a	2.70 a
	0.05	39.3 a	0.68 b	0.73 b
	0.25	10.7 b	0.00 c	0.00 c
	0.5	5.7 b	0.00 c	0.00 c
<i>Amaranthus lividus</i>	control	97.7 a	2.67 a	1.72 a
	0.05	98.0 a	1.18 b	0.86 b
	0.25	99.7 a	0.70 c	0.26 c
	0.5	96.7 a	0.16 d	0.17 c
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	control	96.0 a	0.84 a	0.77 a
	0.05	91.7 a	0.00 b	0.00 b
	0.25	28.8 b	0.00 b	0.00 b
	0.5	1.9 c	0.00 b	0.00 b
<i>Stellaria aquatica</i>	control	20.0 a	0.37 a	1.53 a
	0.05	33.0 a	0.21 b	1.13 b
	0.25	26.0 a	0.15 b	0.47 c
	0.5	19.3 a	0.11 b	0.31 c
<i>Arabis glabra</i>	control	97.3 a	0.75 a	0.49 a
	0.05	97.3 a	0.46 b	0.45 a
	0.25	96.7 a	0.11 c	0.03 b
	0.5	97.0 a	0.06 c	0.00 b
<i>Rorippa indica</i>	control	22.0 a	0.17 a	0.71 a
	0.05	0.0 b	0.00 b	0.00 b
	0.25	0.0 b	0.00 b	0.00 b
	0.5	0.0 b	0.00 b	0.00 b
<i>Glycine soja</i>	control	73.3 a	3.63 a	2.07 a
	0.05	84.0 a	2.03 b	2.19 a
	0.25	80.0 a	1.56 b	1.93 a
	0.5	68.7 a	1.48 b	1.56 a
<i>Kummerowia striata</i>	control	59.3 ab	2.20 a	3.03 a
	0.05	55.0 ab	1.61 b	2.80 a
	0.25	54.7 b	0.96 c	2.95 a
	0.5	60.3 a	0.95 c	2.52 b
<i>Oenothera odorata</i>	control	23.3 a	1.33 a	1.09 a
	0.05	26.7 a	0.42 b	0.77 a
	0.25	12.0 b	0.20 b	0.39 b
	0.5	9.0 b	0.09 b	0.19 c
<i>Mosla dianthera</i>	control	21.0 a	1.46 a	1.42 a
	0.05	16.3 ab	0.34 b	0.71 b
	0.25	12.3 b	0.20 bc	0.46 b
	0.5	5.7 c	0.13 c	0.11 c



Table 7. Continued.

Species	Concentration(mM)	Germination rate(%)	Root length(cm)	Shoot length(cm)
<i>Solanum nigrum</i>	control	44.0 a	1.13 a	1.87 a
	0.05	36.0 ab	0.13 b	0.20 b
	0.25	22.0 b	0.10 b	0.20 b
	0.5	20.7 b	0.10 b	0.10 c
<i>Bidens bipinnata</i>	control	95.3 a	11.13 a	3.75 a
	0.05	98.7 a	1.77 b	3.66 a
	0.25	83.3 b	0.72 bc	1.00 b
	0.25	83.3 b	0.72 bc	1.00 b
<i>Bidens frondosa</i>	control	98.7 a	3.97 a	2.75 a
	0.05	100.0 a	1.18 b	2.80 a
	0.25	99.3 a	0.49 c	2.15 b
	0.5	100.0 a	0.36 c	2.05 b
<i>Galinsoga parviflora</i>	control	58.3 a	1.08 a	1.20 a
	0.05	24.3 b	0.00 b	0.00 b
	0.25	13.7 c	0.00 b	0.00 b
	0.5	4.0 d	0.00 b	0.00 b
<i>Siegesbeckia glabrescens</i>	control	49.0 a	3.00 a	2.30 a
	0.05	48.0 a	0.65 b	1.40 b
	0.25	47.7 a	0.32 b	1.20 b
	0.5	30.0 b	0.33 b	0.91 c
<i>Youngia denticulata</i>	control	73.0 a	0.84 a	1.09 a
	0.05	59.3 b	0.00 b	0.00 b
	0.25	38.0 c	0.00 b	0.00 b
	0.5	6.0 d	0.00 b	0.00 b
<i>Sonchus oleraceus</i>	control	44.3 a	2.40 a	1.89 a
	0.05	23.3 b	0.23 b	0.83 b
	0.25	13.3 c	0.00 b	0.07 c
	0.5	13.7 c	0.00 b	0.00 c
<i>Lactuca indica</i> var. <i>laciniata</i>	control	44.7 a	1.98 a	1.24 a
	0.05	35.3 b	0.27 b	0.91 b
	0.25	11.0 c	0.05 b	0.16 c
	0.5	5.3 c	0.00 b	0.00 c
<i>Hemistepta lyrata</i>	control	95.3 a	0.93 a	1.51 a
	0.05	88.0 ab	0.19 b	0.56 b
	0.25	83.0 ab	0.00 c	0.00 c
	0.5	76.0 b	0.00 c	0.00 c
<i>Aster pilosus</i>	control	61.0 a	0.74 a	0.82 a
	0.05	21.0 b	0.00 b	0.00 b
	0.25	7.0 c	0.00 b	0.00 b
	0.5	7.0 c	0.00 b	0.00 b
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	control	35.3 a	0.45 a	1.08 a
	0.05	16.0 b	0.00 b	0.00 b
	0.25	3.3 c	0.00 b	0.00 b
	0.5	0.3 d	0.00 b	0.00 b

\*) the same letters of a species in a column are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

Table 8. Effect of ammonium treatment on the germination and seedling growth of plant species.

Species	Concentration(mM)	Germination rate(%)	Root length(cm)	Shoot length(cm)
<i>Setaria glauca</i>	control	49.3 a	1.41 a	4.02 a*)
	5	55.7 a	1.21 a	4.34 a
	25	39.3 a	0.67 ab	3.71 a
	50	16.7 b	0.24 b	2.94 b
<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>praticola</i>	control	97.0 a	3.01 a	3.67 a
	5	96.3 a	2.23 b	3.61 a
	25	96.0 a	0.91 c	3.61 a
	50	95.7 a	0.70 c	3.46 a
<i>Panicum dichotomiflorum</i>	control	93.0 ab	1.51 a	1.61 a
	5	87.3 ab	1.28 b	1.82 a
	25	95.3 a	0.57 c	1.64 a
	50	84.7 b	0.22 d	1.49 b
<i>Eleusine indica</i>	control	42.0 b	3.00 a	1.30 a
	5	56.7 a	2.38 b	1.48 a
	25	54.7 a	1.36 c	1.23 a
	50	53.0 a	1.37 c	1.45 a
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	control	93.7 a	3.42 a	3.56 a
	5	92.3 a	2.99 b	3.43 a
	25	90.0 a	0.80 c	3.51 a
	50	89.7 a	0.93 c	3.28 a
<i>Humulus japonicus</i>	control	43.3 a	1.78 a	4.62 a
	5	32.7 a	1.78 a	4.19 a
	25	21.7 a	0.77 b	2.29 a
	50	26.0 a	0.60 b	4.01 a
<i>Chenopodium album</i>	control	12.3 a	0.86 a	1.44 a
	5	16.0 a	0.49 b	1.59 a
	25	16.3 a	0.53 b	1.67 a
	50	13.3 a	0.58 b	1.48 a
<i>Achyranthes japonica</i>	control	78.3 a	2.56 b	2.05 b
	5	78.7 a	3.00 ab	1.80 c
	25	85.0 a	3.79 ab	2.35 a
	50	80.3 a	4.14 a	2.37 a
<i>Stellaria aquatica</i>	control	20.0 a	0.37 a	1.53 a
	5	41.7 a	0.27 ab	1.79 a
	25	25.7 b	0.25 b	1.30 b
	50	5.0 c	0.15 b	0.48 c

Table 8. Continued.

Species	Concentration(mM)	Germination rate(%)	Root length(cm)	Shoot length(cm)
<i>Glycine soja</i>	control	73.3 a	3.63 a	2.07 a
	5	76.7 a	4.07 a	2.36 a
	25	76.0 a	3.63 ab	2.23 a
	50	86.7 a	2.77 b	2.03 a
<i>Mosla dianthera</i>	control	21.0 a	1.46 a	1.42 a
	5	14.7 b	0.93 b	1.28 a
	25	12.3 b	0.76 bc	0.85 b
	50	11.7 b	0.48 c	0.49 c
<i>Bidens frondosa</i>	control	98.7 a	3.97 a	2.75 a
	5	99.3 a	4.14 a	2.83 a
	25	100.0 a	1.17 b	2.61 a
	50	98.7 a	0.97 b	1.75 b
<i>Galinsoga parviflora</i>	control	58.3 a	1.08 a	1.20 a
	5	55.0 a	0.50 b	1.09 a
	25	52.0 a	0.40 c	0.70 b
	50	43.3 a	0.39 c	0.60 b
<i>Siegesbeckia glabrescens</i>	control	49.0 a	3.00 a	2.30 a
	5	56.3 a	4.36 ba	2.01 a
	25	51.7 a	5.34 a	1.79 b
	50	49.3 a	4.47 a	1.62 b
<i>Erigeron annuus</i>	control	11.0 a	0.16 a	0.49 a
	5	7.3 b	0.16 a	0.41 b
	25	1.7 c	0.03 b	0.00 c
	50	0.7 c	0.03 b	0.00 c
<i>Youngia denticulata</i>	control	73.0 a	0.84 a	1.09 a
	5	64.3 b	0.59 b	1.07 a
	25	57.3 b	0.41 c	0.41 b
	50	50.0 c	0.17 d	0.39 b
<i>Taraxacum platycarpum</i>	control	32.0 a	1.12 a	0.68 a
	5	33.3 a	0.87 ab	0.37 b
	25	32.3 a	0.90 ab	0.44 b
	50	25.7 a	0.52 b	0.33 b

\*) the same letters of a species in a column are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

Table 9. Effect of cadmium treatment on the germination and seedling growth of plant species.

Species	Concentration(mM)	Germination rate(%)	Root length(cm)	Shoot length(cm)
<i>Setaria glauca</i>	control	49.3 a	1.41 a	4.02 a*)
	0.1	64.7 ab	1.06 a	3.78 a
	0.5	49.3 ab	1.12 a	4.07 a
	1	35.0 b	1.28 a	4.07 a
<i>Paspalum thunbergii</i>	control	35.7 a	2.20 a	2.70 a
	0.1	39.0 a	1.98 a	2.54 a
	0.5	42.3 a	1.67 ab	1.79 b
	1	42.0 a	1.37 b	1.36 c
<i>Humulus japonicus</i>	control	43.3 a	1.78 a	4.62 a
	0.1	36.7 a	3.33 a	5.85 a
	0.5	42.3 a	1.91 ab	4.87 a
	1	39.0 a	0.64 b	4.32 a
<i>Persicaria chochinensis</i>	control	24.0 a	9.40 a	2.83 a
	0.1	21.7 a	8.22 b	3.14 a
	0.5	20.0 a	2.78 c	1.81 b
	1	23.7 a	1.40 d	1.51 b
<i>Rumex crispus</i>	control	97.7 a	2.45 a	1.20 a
	0.1	100.0 a	1.20 b	1.30 a
	0.5	99.3 a	0.27 c	0.98 b
	1	98.7 a	0.12 c	0.68 c
<i>Amaranthus lividus</i>	control	97.7 a	2.67 a	1.72 a
	0.1	97.7 a	0.67 b	1.32 b
	0.5	98.0 a	0.51 bc	0.55 c
	1	95.7 a	0.30 c	0.42 c
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	control	96.0 a	0.84 a	0.77 a
	0.1	95.7 a	0.55 b	0.31 b
	0.5	94.0 a	0.03 c	0.08 c
	1	93.3 a	0.00 c	0.00 c
<i>Glycine soja</i>	control	73.3 a	3.63 a	2.07 a
	0.1	76.7 a	3.27 a	2.16 a
	0.5	74.7 a	1.50 b	1.69 a
	1	68.0 a	0.99 b	1.02 b

Table 9. Continued.

Species	Concentration(mM)	Germination rate(%)	Root length(cm)	Shoot length(cm)
<i>Kummerowia striata</i>	control	59.3 ab	2.20 a	3.03 a
	0.1	54.3 a	1.27 b	2.99 a
	0.5	56.0 a	0.85 c	2.94 a
	1	59.7 a	0.62 c	2.66 a
<i>Oenothera odorata</i>	control	23.3 a	1.33 a	1.09 a
	0.1	21.3 a	0.48 b	1.01 a
	0.5	20.0 a	0.19 b	0.55 b
	1	17.3 a	0.03 b	0.23 b
<i>Solanum nigrum</i>	control	44.0 a	1.13 a	1.87 a
	0.1	30.3 a	2.55 a	1.94 a
	0.5	30.3 a	1.17 b	1.17 b
	1	33.0 a	0.98 b	0.98 b
<i>Plantago asiatica</i>	control	2.7 a	—	—
	0.1	4.7 a	—	—
	0.5	3.3 a	—	—
	1	5.0 a	—	—
<i>Galinsoga parviflora</i>	control	58.3 a	1.08 a	1.20 a
	0.1	54.7 a	1.15 a	1.04 a
	0.5	57.3 a	0.67 b	0.98 a
	1	60.0 a	0.38 c	0.65 b
<i>Siegesbeckia glabrescens</i>	control	49.0 a	3.00 a	2.30 a
	0.1	48.7 a	3.99 a	2.07 a
	0.5	55.0 a	4.34 a	2.08 a
	1	53.7 a	2.98 b	1.82 b
<i>Hemistepta lyrata</i>	control	95.3 a	0.93 a	1.51 a
	0.1	89.3 ab	0.69 b	1.33 b
	0.5	88.3 b	0.45 c	1.04 c
	1	80.3 c	0.28 d	0.98 c
<i>Taraxacum platycarpum</i>	control	32.0 a	1.12 a	0.68 a
	0.1	31.7 a	0.94 a	0.69 a
	0.5	30.0 a	0.63 b	0.50 b
	1	28.7 a	0.50 b	0.51 a

\*) the same letters of a species in a column are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

mM의 濃度 까지는 發芽가 增加하였으나 50mM에서 부터 發芽가 阻害되었다. 發芽率과 幼苗의 伸長에 ammonium이 미치는 影響은 地上部에 處理한 結果와는 거의 相關이 없었는데, 이러한 結果는 發芽가  $\alpha$ -amylase와 같은 몇 가지 酵素의 活性에 의해서 주로 進行되고 地上部の 앞에서 일어나는 복잡한 過程이 일어나지 않아 ammonium이 阻害하는 過程이 發芽와 地上部の 生育間에 相異하기 때문인 것으로 思料된다.

表 9는 cadmium 處理의 結果로서 모든 種에서 發芽率에는 影響을 주지 않았으나 발아속도만이 늦어지는 傾向을 나타냈다. 幼苗의 伸長은 cadmium에 의해 阻害를 받았는데, 특히 幼根의 길이는 매우 심한 伸長의 阻害를 받았다. 개비름, 달맞이꽃, 매듭풀, 벼룩이자리, 소리쟁이 등은 cadmium처리에 의하여 幼根 伸長이 심하게 抑制되었고, 幼芽 길이의 變化를 보면 개비름, 달맞이꽃, 벼룩이자리, 소리쟁이, 지칭개, 참새피 등에서 減少되는 傾向이 뚜렷하였다. 그러나 cadmium의 경우도 앞의 두 가지 處理와 마찬가지로 發芽時期의 處理와 生育 中인 植物體에 處理하였을 때 서로 다른 結果를 나타내었다. 發芽와 地上部 生育의 關係에서 볼때 發芽段階에서는 耐性을 갖는 種 일지라도 生育段階에 毒性物質을 接觸 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 段階의 耐性을 고려하여 종합해 보면 paraquat에 대해서는 지칭개, 쇠별꽃, 쥐깨풀 등이 耐性을 보일 것이고 바랭이와 쑥 등이 심한 感受性을 보일 것으로 思料된다. Ammonium의 경우에는 들피, 쇠무릎, 왕바랭이, 미국개기장 등이 耐性을 全 生育期에 걸쳐 보일 것이고, 쇠별꽃, 환삼덩굴, 쥐깨풀 등이 持續的인 感受性을 나타낼 것으로 보이며, cadmium의 경우는 금강아지풀, 지칭개 등이 강한 耐性을 보일 것으로 推定이 되며

매듭풀, 들콩, 환삼덩굴, 별꽃아재비 등이 感受性을 나타낼 것으로 思料된다.

## 要 約

本 實驗은 汚染源에 대한 植物種 間의 反應 差異를 把握함으로써 植物을 利用한 環境汚染의 모니터링 方法 確立을 위한 基礎 資料를 얻고자 實施하였다. 毒性酸素의 誘發源으로 paraquat, 窒素 毒性의 誘發源으로 ammonium, 그리고 重金屬 汚染源 cadmium을 處理하여 植物種의 反應 調査하였다. 꿀풀科와 十字花科, 석죽科 植物들은 paraquat에 대한 耐性을 보였으며 禾本科와 菊花科의 植物들은 比較的 感受性을 나타냈다. 꿀풀科의 쥐깨풀, 十字花科의 장대나물과 개갓냉이, 菊花科의 지칭개와 미국쑥부쟁이, 禾本科의 참새피는 특히 강한 耐性을 보인 種이었다. Paraquat에 대한 耐性은 越冬 能力과 관련이 있었으며, 一年生보다는 越年生 植物이나 多年生 植物이 강한 耐性을 나타내었다. Ammonium에 대한 反應을 보면, 禾本科의 植物들이 耐性을 보였으며 콩科나 석죽科의 植物들이 感受性을 나타내었다. 耐性을 보인 植物은 들피, 미국개기장, 금강아지풀, 명아주, 까마중 등이었으며 쥐깨풀, 벼룩이자리, 들깨 등은 感受性을 나타냈다. Cadmium에 대한 反應은 바랭이, 녹두, 개비름 등이 강한 耐性을 보였고, 별꽃아재비, 질경이, 미국돼지풀, 참새피 등은 感受性을 나타내었다. 특히 콩과 植物에서 感受性이 크게 나타났고, 汚染源이 發芽率에 주는 影響은 成植物에 주는 被害와는 큰 關聯이 있지는 않았다. 특히 汚染源의 피해는 幼芽보다 幼根에 있어서 심하였다.

## 參考文獻

1. 趙載英(1984). 環境農學의 意義와 領域. 韓國 環境農學會誌 3(1) : 79-84.
2. 沈相仁, 姜炳華 1993. 環境汚染에 의한 酸化스

- 트레스와 植物體의 防禦機構. 韓國環境農學會誌 **12**(3) : 264-280.
3. Becker, K.H., Brockmann, K.J., and Bechara, J.(1990). Production of hydrogen peroxide in forest air by reaction of ozon with terpenes. *Nature* **346** : 256-258.
  4. Mehlhorn, H., Seufert, G., Schmidt, A., and Kunert, K.J. (1986). Effect of SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> on production of antioxidants in conifers. *Plant Physiol.* **82** : 336-338.
  5. Neuhaus, H.E., and Stitt, M.(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.
  6. Matringe, M., and Scalla, R. (1988). Studies on the mode of action of acifluorfen-methyl in nonchlorophyllous soybean cells. Accumulation of tetrapyrroles. *Plant Physiol.* **86** : 619-622.
  7. Jacobson, J.S., Bethard, T., Heller, L.I., and Lassoie, J.P.(1990). Response of *Picea rubense* seedling to intermittent mist varying in acidity, and in concentration of sulfur-, and nitrogen-containing pollutant. *Physiol. Plant.* **78** : 595-601.
  8. 金福榮(1988). 水質汚染과 農業. 韓國環境農學會誌. **7**(2) : 153-169.
  9. Sawhney, B.L., Bugbee, G.J., and Stilwell, D.E. (1994). Leachability of heavy metals from growth media containing source-separated municipal solid waste compost. *J. Environ. Qual.* **23** : 718-722.
  10. Foy, C.D., Chaney, R.L., and White, M.C.(1978). The physiology of metal toxicity in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* **29** : 511-566.
  11. Kang, B.H. 1989. Problem weeds in Korea. *Proceeding of 12th APWSS.* p195.
  12. 梁桓承, 全載哲, 黃仁澤(1984). 季節別 栽培作物의 耕作地別 雜草植生變化. 韓國雜草學會誌 **4** : 4-10.
  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. Babbs, C.F., Pham, J.A. and Coolbaugh, R.C. (1989). Lethal hydroxyl radical production in paraquat-treated plants. *Plant Physiol.* **90** : 1267-1270.
  15. De Kok, L., and Oosterhuis, F.A.(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.
  16. Esterhauer, H., and Grill, D. (1978). Seasonal variation of glutathione and glutathione reductase in needles of *Picea abies*. *Plant Physiol.* **61** : 119-121.
  17. Greer, D.H., Ottander, C., and quist, G.(1991). Photoinhibition and recovery of photosynthesis in intact barley leaves at 5 and 20°C. *Physiol. Plant.* **81** : 203-210.
  18. 金吉雄(1991). 環境毒性에 대한 植物의 適應과 耐性. 植物의 環境適應과 生態技術. 韓國植物學會 '91 심포지움.
  19. Fuerst, E.P., and Vaughn, K.C.(1990). Mechanisms of paraquat resistance. *Weed Tech.* **4** : 150-156.
  20. Matringe, M., and Scalla, R.(1988). Studies on the mode of action of acifluorfen-methyl in nonchlorophyllous soybean cells. Accumulation of tetrapyrroles. *Plant Physiol.* **86** : 619-622.
  21. Kunert, K.J., Homrighausen, C., B hme, H., and Böger, P.(1985). Oxyfluorfen and lipid peroxidation : protein damage as a phytotoxic

- consequence. *Weed Sci.* **33** : 766–770.
22. Flaig, H., and Mohr, H.(1992). Assimilation of nitrate and ammonium by the Scot pine(*Pinus sylvestris*) seedling under condition of high nitrogen supply. *Physiol. Plant.* **84** : 568–576.
23. Tolley-Henry, L., and Raper, C.D. Jr. (1986). Utilization of ammonium as a nitrogen source. *Plant Physiol.* **82** : 54–60.
24. Wu, L., and Bradshaw, A. D. (1972). Aerial pollution and the rapid evolution of copper tolerance. *Nature* **238** : 167–169.
25. Greger, M., and Lindberg, S. (1986). Effects of  $Cd^{2+}$  and EDTA on young sugar beet(*Beta vulgaris*). : I.  $Cd^{2+}$  uptake and sugar accumulation. *Physiol. Plant.* **66** : 69–74.
26. Somashekaraiah, B.V., Padmaja, K., and Prasad, A. R. K.(1992). Phytotoxicity of cadmium ions on germinating seedlings of mung bean (*Phaseolus vulgaris*) : Involvement of lipid peroxides in chlorophyll degradation. *Physiol. Plant.* **85** : 85–89.