

밭 雜草중에 存在하는 Allelopathy 關聯 Phenol 化合物의 檢索

全載哲* · 韓康完* · 張炳春* · 申鉉承*

Determination of Phenolic Compounds Responsible for Allelopathy in Upland Weeds

Chun, J. C*., K. W. Han* B. C. Jang* and H. S. Shin*

ABSTRACT

Phenolic compounds present in upland weeds (*Artemisia asiatica* Nakai, *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik, *Portulaca oleracea* L. and *Trifolium repens* L.) which have shown allelopathic activity were determined using paper chromatography (PC) and high performance liquid chromatography (HPLC). Effect of the determined phenolic compounds on germination and post-germination growth of test plants was also investigated. Kinds of phenolic compounds determined by PC in the four weed species were greater in the aqueous extract than in the methanol extract. Ferulic acid was found in both extracts of the weeds studied, whereas benzoic acid was that the weeds commonly contained hydroquinone, p-hydroxybenzoic, ferulic and cinnamic acids. Out of the phenolic compounds determined by PC and HPLC p-hydroxybenzoic, cinnamic and ferulic acids inhibited germination and post-germination growth of radish and sesame. Inhibition of the phenolic compounds on the radicle growth was greater than on the germination of the test plants.

Key words : Allelopathy, Phenolic compound

緒 言

植物體間 相互作用性的 하나인 allelopathy 現狀은 allelochemicals 또는 allelochemicals 라고 불리워지는 化學的 沮害物質에 의해서 發現된다. 이들 物質의 대부분은 植物體 基本代謝 過程 以外の 產物이기 때문에 이른바 二次代謝產物로서 일컬어지고 있다.²²⁾ 植物體가 生産하는 二次代謝產物은 植物種에 따라 매우 多様한데 Whittaker 와 Feeny²²⁾ 는 이들을 phenylpropane, acetogenin, terpenoid, steroid 및 alkaloid의 다섯 部類로 分類하고 있으며, Rice¹⁸⁾ 는 이를 보다 細分하여 14 部類로 나누고 이

들 沮害物質들은 거의 모두가 acetate 혹은 shikimic acid를 始發物質로 하여 生合成되고 있다고 하였다.

Rice¹⁸⁾ 에 따르면 高等植物에 의하여 生産되는 allelopathy 作用物質로는 phenol化合物이 가장 많이 同定되고 있고, 이들은 주로 單純 phenol類, benzoic acid와 그 誘導體 및 cinnamic acid와 이의 誘導體들이라고 하였다. 이 가운데 p-hydroxybenzoic acid 및 vanillic acid 등은 十字花科의 *Camelina* 屬²⁾, 옥수수, 밀 및 귀리의 殘渣⁸⁾, 作物이 栽培되었던 土壤⁹⁾ 등에서 分離 同定된 바 있다. 또한 Whitehead²¹⁾ 는 土壤중에서 이들 이외에도 p-coumaric 및 ferulic acid 등을 分離 同定하였으며,

本 論文은 韓國科學財團의 研究費支援(862-1502-022-2)으로 遂行한 研究結果의 一部임.

*全北大學校 農科大學 Department of Agricultural Chemistry, Jeonbug National University, Jeonju 560-756, Korea

Del Moral 과 Muller⁵⁾는 *Eucalyptus camaldulensis*의 葉抽出物중 毒性的物質 가운데서 caffeic, chlorogenic, p-coumaric 및 ferulic acid 등을 調査하였고, Lodhi 와 Rice¹⁵⁾도 *Celtis laevigata* 잎에서 이와 비슷한 結果를 얻은 바 있다. 이밖에 김¹¹⁾은 도마도잎의 물抽出物에서, 과과 김¹²⁾은 보리짚과 뿌리의 methanol 抽出物에서 多數의 phenol 物質을 確認하였다.

한편 phenol 化合物이 나타내는 allelopathy 作用性은 種子의 發芽를 阻害하거나 植物의 生長을 抑制한다. Van Sumere 와 Massart²⁰⁾는 cinnamic acid 誘導體들이 여러 植物種에 대하여 發芽阻害劑로 同定되었음을 報告하였고, Lee 와 Monsi¹³⁾는 소나무에서 分離한 p-coumaric acid가 植物의 發芽 및 生長에 抑制效果를 나타낸다고 하였다. 이러한 phenol 類에 의하여 나타나는 allelopathy 作用機作도 매우 多樣하여 呼吸活性, 細胞膜透過性, 光合成, 呼吸 및 蛋白質合成 등을 阻害한다고 알려져 있다.¹⁾ 따라서 本 研究에서는 우리나라 주요 밭 優占雜草 중 allelopathy 作用성이 크다고 밝혀진 썩을 비롯한 3種의 雜草³⁾들로부터 이들 植物體內에 含有되어 있는 phenol 化合物을 分離 確認하고, 더불어 生物檢定을 통하여 檢定植物에 대한 phenol 物質의 發芽 및 生長抑制 作用力을 檢討하였다.

材料 및 方法

雜草 試料 調製 물 및 methanol 抽出을 위한 4 雜草草種의 分沫 試料는 前報³⁾에 準하여 얻었다.

Paper Chromatography(PC)에 의한 phenol 物質 分離 물 抽出物은 乾燥 分沫 試料 10 g을 蒸溜水 100 ml와 함께 室溫에서 48 시간 振盪한 후 3,000 rpm에서 15 분간 遠心分離하여 上澄液을 얻었으며, methanol 抽出物은 蒸溜水 대신 85% methanol을 사용하여 振盪遠心分離한 후 회전감압 농축기에서 methanol을 除去하고 이를 다시 petroleum ether에 溶解시켰다. 이들 두 抽出物은 그림 1에 따라 phenol 物質을 分離하여 PC로 確認하였다. 즉 抽出物을 Whatman No.1 여지(46 × 46 cm)에 60 μl를 약한 熱風으로 乾燥시키면서 點滴하여 標準 phenol 物質과 함께 室溫에서 6% acetic acid로 6時間 1次 展開한 후 benzene : methanol : acetic acid(BMA, 45 : 8 : 4 v/v/v) 混合溶媒로 7時間 2次 展開시킨 다음 乾燥시켜 暗室에서

uv lamp(2537 Å)로 螢光된 色을 區分하여 R_f값을 求하였으며 1% FeCl₃와 1% K₃Fe(CN)₆ 混合 發色劑에 의하여 色反應을 시켜 phenol 物質을 確認하였다.

High Performance Liquid Chromatography(HPLC)에 의한 phenol 物質 分離 물 및 methanol 抽出物을 그림 1에 따라 얻은 후 이를 HPLC로 分離하였다. 分析條件은 column은 μ-Bondapak C₁₈(8 mm × 10 cm)을 使用하였다. 移動相은 A pump에 methanol을, B pump에 5% acetic acid를 gradient elution(100% B to 40% B, curve # 7, run time 10min.) 方法으로 使用하였다. Flow rate는 1분에 1.5 ml가 흐르게 하였으며, uv 254 nm에서 檢出하였고, chart speed는 1분에 1 cm로 하였다.

Phenol 物質의 allelopathy 作用性 檢定 PC 및 HPLC로 分離 確認된 抽出物 중의 phenol 物質의 作用性 檢定은 標準 phenol 化合物로 實施하였다. 標準 phenol 化合物은 Sigma社의 1級 試藥을 少量의 methanol에 溶解시킨 다음 蒸溜수로 채워 10⁻⁵, 10⁻⁴ 및 10⁻³M의 濃度를 만들고 이들 濃度水準에서 檢定植物인 무우와 참깨의 發芽 및 幼苗의 生長을 調査하였다. 檢定植物의 種子 각 20립을 여지를 깬 Petri dish(직경 9 cm)에 播種하고 phenol 溶液 6 ml를 가하여 30°C의 發芽箱內의 暗條件下에 두었다. 置床 3日後 發芽率, 草長 및 幼根長을 測定하였다. 實驗은 4反復으로 實施하였다.

結果 및 考察

Paper Chromatography에 의한 phenol 物質 分離 標準 phenol 化合物 15種을 PC에 의하여 分離한 각각의 R_f값과 色反應은 표 1과 같다. 標準 phenol 化合物 중 benzoic acid는 1次 및 2次 展開 모두에서 높은 R_f값을 보였으며, catechin은 비교적 展開距離가 짧아 R_f값이 낮았다. Phenol 化合物은 UV 光線下에서는 靑色 및 紫色 범위에서 發色되었으며 實驗에 사용한 發色試藥 處理로는 주로 靑色을 나타내었다.

썩, 냉이, 쇠비름 및 토끼풀의 물 및 methanol 抽出物 중 phenol 化合物은 全體적으로 methanol 抽出物에서 보다는 물 抽出物에서 많은 種類가 確認되었다(그림 2). 分離된 物質 중 benzoic, ferulic 및 p-hydroxybenzoic acid는 썩, 냉이, 쇠비름 및

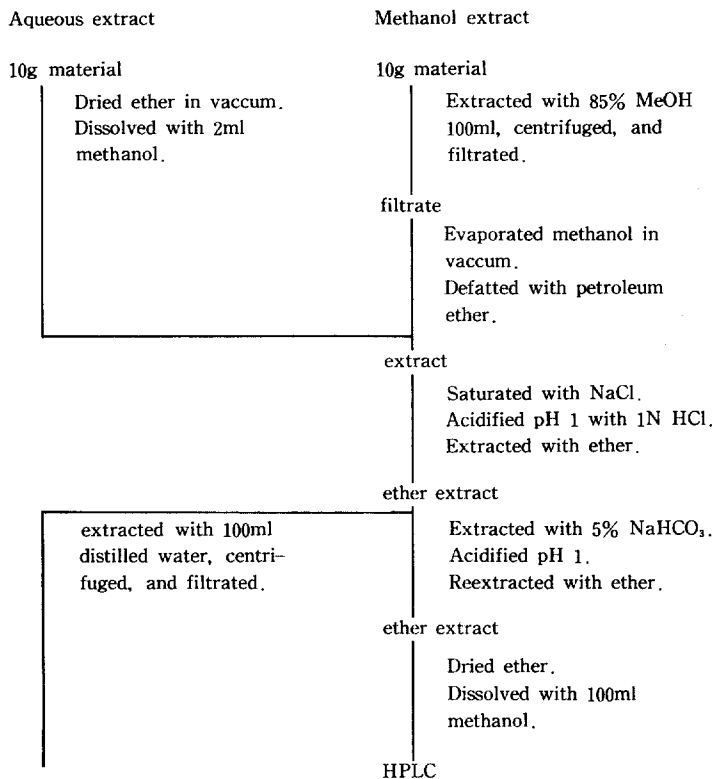


Fig. 1. Flow diagram for the separation of phenolic compounds in weed species by paper chromatography (PC) and high performance liquid chromatography (HPLC).

Table 1. Comparisons of R_f values and color reactions of phenolic compounds by paper chromatography.

Phenolic compound	R_f value		Color reaction	
	6% HOAc	BMA ¹⁾	UV light (2537Å)	Mixed reagent ²⁾
Benzoic acid(1)	99	93	dark violet	-
Caffeic(2)	36	28	blue	blue
Catechin(3)	46	04	dark violet	blue
Cinnamic(4)	68	95	dark brown	-
p-Coumaric(5)	50	79	dark violet	blue
Ferulic(6)	44	86	blue	blue
Gallic(7)	48	07	violet	blue
Hydroquinone(8)	90	53	dark violet	blue
p-Hydroxybenzoic(9)	72	71	violet	pale blue
Phloroglucinol(10)	62	12	dark violet	blue
Pyrocatechol(11)	73	74	dark violet	pale blue
Pyrogallol(12)	69	28	blue	blue
Resorcinol(13)	84	60	dark violet	blue
Salicylic(14)	72	92	blue	purple
Vanillic(15)	62	83	violet	blue

1) BMA : Benzene : Methanol : Acetic acid(45 : 8 : 4 v/v/v).

2) Mixed reagent is 1% FeCl_3 + 1% $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ solution.

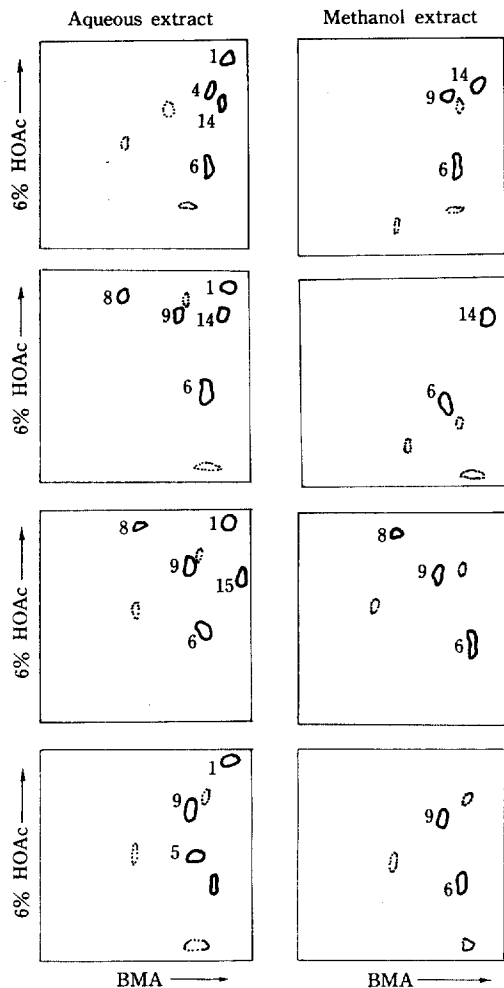


Fig. 2. Isolation of phenolic compounds by paper chromatography. Weed species from the top is *Artemisia asiatica*, *Capsella bursa-pastoris*, *Portulaca oleracea*, and *Trifolium repens*. Names of the compounds are indicated in Table 1. Dotted spots are unidentified compounds.

토끼풀에서 분리되었는데, ferulic과 p-hydroxybenzoic acid는 물 및 methanol 추출물의 거의 모두에서 분리 확인되었으나, benzoic acid는 물 추출물에서만 분리 확인되었다. Salicylic acid는 쑥과 냉이에서, hydroquinone은 쇠비름에서 추출용매에 관계없이 분리 확인되었으며 vanillic acid는 쇠비름에서, cinnamic acid는 쑥에서 분리되었다. 이밖에도 사용된 표준 phenol 물질의 반응과는 다른 수종의 미확인 물질이 각草種에서 모두 분리되었다.

분리된 phenol 물질 중 p-hydroxybenzoic acid, hydroquinone 및 ferulic acid는 보편적으로 植物體에 널리 분포되어 있는 化合物로 自然界에 存在하는 phenol 물질은 植物體에서 2次代謝物質의 가장 큰 부분중의 하나로 糖類와 결합하여 配糖體로 存在하는 경우가 많아 물에 잘 녹으며 植物組織으로부터 쉽게 분리된다.¹⁷⁾ 김¹¹⁾은 도마도 잎의 물抽出物에서 PC로 5種의 phenol 물질을 분리하였으며, 광과 김¹²⁾은 보리짚과 뿌리의 methanol抽出物에서 5種의 phenol 물질을 PC에 의하여 분리하였다.

Rice¹⁸⁾에 의하면 단순 phenol 化合物과 cinnamic acid 誘導體들이 高等植物로부터 排出되는 allelopathy 作用物質로서 가장 많이 同定된다고 하였다. Schreiner와 Reed¹⁹⁾는 많은 phenol 化合物중에서 幼苗生育에 抑制作用을 갖는 植物體로부터 分泌된 物質로는 vanillin, vanillic acid와 hydroquinone 등이었다고 하였다. 한편 benzoic acid 誘導體 중의 p-hydroxybenzoic 및 vanillic acid는 allelopathy 作用物質로 널리 알려져 있어 옥수수, 밀, 수수 및 귀리의 殘渣⁸⁾ 및 土壤中²¹⁾에서檢出되고 있다. Cinnamic acid의 誘導體인 ferulic과 p-coumaric acid 또한 穀類植物體의 殘渣 및 土壤中^{8,9)}에서 많이 發見되고 있는 allelopathy 作用物質로 밝혀져 있다.

High Performance Liquid Chromatography에 의한 phenol 물질 분리 쑥 등 3草種의 물 및 methanol抽出物에 含有되어 있는 phenol 물질의 HPLC 분리로 hydroquinone 등 10餘種이 분리되었는데 쑥의 물抽出物에서 6種, 냉이 9種, 쇠비름 6種 및 토끼풀 6種의 化合物이 분리되었으며, methanol抽出物에서는 쑥에서 5種, 냉이 7種, 쇠비름 10種 및 토끼풀 7種의 化合物이 분리되었다(그림 3). 분리된 phenol 물질의 種類는 抽出용매에 의하여 草種마다 다르게 분리되고 있어서 一定한 傾向을 나타내지 않았으나 냉이와 쇠비름에서 多樣的인 phenol 물질을 분리할 수 있었다. 그러나 量的인 면에서 보면 물抽出物에서 보다는 methanol抽出物에서 多少 많은 量의 phenol 물질이 분리되었다. 분리된 phenol 물질 중 hydroquinone, p-hydroxybenzoic, ferulic 및 cinnamic acid는 쑥, 냉이, 쇠비름 및 토끼풀의 물 및 methanol抽出物 모두에서 분리되었으며, p-coumaric acid는 쑥의 methanol抽出物을 除外하고는 모두에서 분리되었

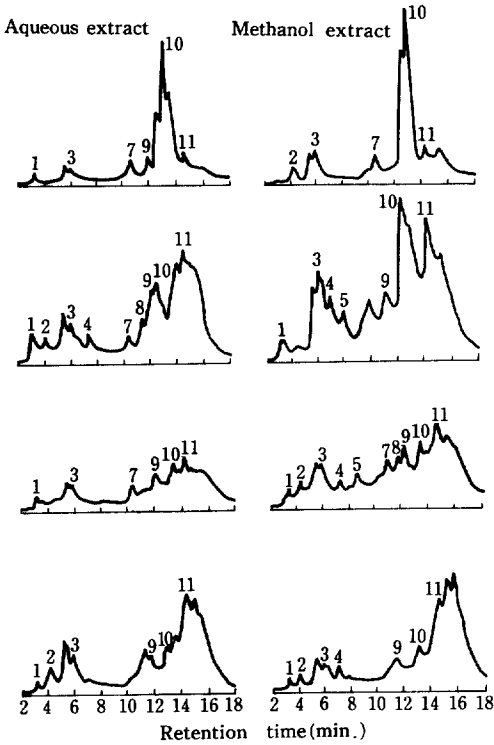


Fig. 3. Chromatograms of phenolic compounds by high performance liquid chromatography. Weed species from the top is *Artemisia asiatica*, *Capsella bursa-pastoris*, *Portulaca oleracea*, and *Trifolium repens*. Compound : 1. hydroquinone, 2. pyrocatechol, 3. p-hydroxybenzoic acid, 4. catechin, 5. vanillic, 6. caffeic, 7. benzoic, 8. salicylic, 9. p-coumaric, 10. ferulic, 11. cinnamic acid.

Table 2. Identification of phenolic compounds in weed residues by high performance liquid chromatography¹.

Phenolic compound	Retention time (min.)	Aqueous extract				Methanol extract			
		Aa	Cb	Po	Tr	Aa	Cb	Po	Tr
Hydroquinone	3.47	+	+	+	+	+	+	+	+
Pyrocatechol	4.20	-	+	-	+	+	+	+	+
p-Hydroxybenzoic	5.78	+	+	+	+	+	+	+	+
Catechin	7.15	-	+	-	-	-	+	+	+
Catechin	8.26	-	-	-	-	-	+	+	-
Benzoic	10.80	+	+	+	-	+	-	+	-
Salicylic	11.05	-	+	-	-	-	-	+	-
p-Coumaric	11.47	+	+	+	+	-	++	+	+
Ferulic	12.81	+++	++	+	+	+++	+++	+	+
Cinnamic	14.38	+	+++	+	++	++	++	++	++

1) Relative comparison was made by the order +++>++>+, - presents no detection. As; *Artemisia asiatica*, Cb; *Capsella bursa-pastoris*, Po; *Portulaca oleracea*, and Tr; *Trifolium repens*.

다(表 2). 한편 4草種으로부터 HPLC로 檢出된 각 phenol化合物 중에는 일반적으로 ferulic 및 cinnamic acid의 含量이 다른 phenol類보다는 相對的으로 많이 含有되어 있었으며, 그 다음으로 p-hydroxybenzoic과 p-coumaric acid의 含量이 높았다. Neish¹⁶⁾에 따르면 植物體內的 cinnamic acid는 shikimic acid 生合成 過程 中的 phenylalanine의 誘導體로서 이것으로부터 p-coumaric 및 caffeic을 거쳐서 ferulic acid가 生合成된다고 하였다. Chou와 Kuo²⁾는 *Leucaena* 잎과 殘渣에서 mimosine, quercertin 등 10餘種의 phenol物質을 分離하고 이 중 mimosine은 상처 및 벼 發芽와 幼苗의 根生長을 抑制한다고 하였으며, Lee와 Monsi¹³⁾는 소나무에서 分泌되어 植物의 發芽와 生長에 抑制 效果를 나타내는 物質은 p-coumaric acid라고 하였으며, Kil과 Lee¹⁰⁾는 국화의 물 抽出物에서 10여 가지의 phenol物質을 分離하여 이들 物質에 대하여 植物의 發芽와 生長에 미치는 生物檢定을 遂行하여 이들의 生長沮害 效果를 報告하였다. 이와같이 植物體에서 分離된 몇가지의 phenol物質은 allelopathy와 關聯되어 他植物의 生長에 抑制 效果가 있음이 究明되었다.

標準 Phenol化合物에 의한 作用性 檢索 즉 등 3가지 草種에서 分離 確認된 phenol物質은 10⁻³ M의 高濃度에서는 모든 phenol物質이 무우와 참깨의 發芽와 幼苗 生長을 抑制시켰지만 10⁻⁵ M의 低濃度에서는 몇種의 phenol物質은 그 抑制效果가 극히 微弱하였다. 實驗에 使用한 phenol物質 중 p-hydroxybenzoic acid는 10⁻³ M에서 무우와 참깨의 發芽 및 幼苗 生長에 심한 抑制를 보였으며, c-

Table 3. Effect of phenolic compounds on germination and seedling growth of radish and sesame.

Phenolic compound	Concentration (M)	Inhibition (% of control)					
		Radish			Sesame		
		Germination	Shoot length	Radicle length	Germination	Shoot length	Radicle length
Benzoic acid	10 ⁻³	15	13	36	5	54	63
	10 ⁻⁴	9	11	21	4	22	27
	10 ⁻⁵	0	12	12	0	16	17
Catechin	10 ⁻³	12	24	24	5	32	40
	10 ⁻⁴	0	16	20	0	12	14
	10 ⁻⁵	0	8	15	0	15	10
Cinnamic	10 ⁻³	92	100	100	63	81	82
	10 ⁻⁴	15	24	14	16	12	14
	10 ⁻⁵	5	3	8	0	3	3
p-Coumaric	10 ⁻³	15	37	42	3	47	57
	10 ⁻⁴	0	16	15	3	16	23
	10 ⁻⁵	0	6	11	0	10	20
Ferulic	10 ⁻³	77	94	90	42	82	78
	10 ⁻⁴	31	35	36	11	12	13
	10 ⁻⁵	31	35	36	11	12	13
Hydroquinone	10 ⁻³	14	12	23	6	42	41
	10 ⁻⁴	4	6	15	4	13	21
	10 ⁻⁵	0	3	10	0	14	6
p-Hydroxybenzoic	10 ⁻³	100	100	100	89	100	100
	10 ⁻⁴	23	49	42	5	15	16
	10 ⁻⁵	20	18	19	0	4	0
Salicylic	10 ⁻³	85	91	89	47	82	87
	10 ⁻⁴	31	35	31	5	7	21
	10 ⁻⁵	31	8	2	0	6	6
Vanillic	10 ⁻³	62	96	91	37	76	84
	10 ⁻⁴	38	33	61	5	9	16
	10 ⁻⁵	31	22	5	5	4	6

innamic acid는 무우의 幼苗 生長에 참깨보다 높은 抑制效果를 보였다. Ferulic, Salicylic 및 Vanillic acid 등도 10⁻³M에서 무우와 참깨의 幼苗 生長에 대한 抑制 效果가 높았다. 이들 phenol 物質은 일반적으로 發芽보다는 幼苗의 根生長에 더욱 심한 阻害를 보여 주었다.

安田¹³⁾는 allelopathy 作用성을 나타내는 phenol 物質들의 作用機作은 激素作用, 細胞膜 透過性, 養分吸收, 光合成, 蛋白質 合成阻害 등으로 매우 광범위하다고 하였다. Lee¹⁴⁾는 allelopathy 作用성을 나타내는 것으로 同定된 phenol 化合物들이 peroxidase 에 의하여 나타나는 IAA의 分解를 妨害하는 作用機作을 갖는다고 報告하였으며, Corcoran 등¹⁵⁾과 Green과 Corcoran¹⁶⁾은 coumarin, cinnamic acid 및 여러 phenol 化合物들이 비록 polyphenol 인 tannin 보다는 活性이 약하지만 gibberellin 에 의하여 誘導되는 生長을 阻害한다고 하였다. 본 實

驗에서와 같이 phenol 化合物의 檢定植物에 대한 作用성이 發芽에 대한 것보다는 發芽後 生長에 더 큰 阻害를 보인 것도 이와같은 激素活性에 미치는 phenol 物質의 作用性 때문인 것으로 생각된다. 이상의 結果로부터 檢定植物에 대한 4 草種의 allelopathy 作用성은 이들 雜草 種에 비교적 많은 量이 存在하며 幼苗 및 幼根 生長에 큰 阻害 效果를 보이는 ferulic, cinnamic, p-hydroxybenzoic acid가 主要 原因物質인 것으로 認定된다.

摘 要

발 主要 優占雜草 種 allelopathy 作用성을 보였던 쑥, 냉이, 쇠비름 및 토끼풀에 대하여 이들 雜草 種에 存在하는 phenol 化合物를 Paper chromatography(PC) 및 High performance liquid chromatography(HPLC)에 의하여 分離 確認하였고, 檢

出된 phenol 化合物이 檢定植物의 發芽 및 生長에 미치는 影響을 檢討하였다. PC에 의하여 檢定된 phenol 化合物은 4 草種 모두에서 methanol 抽出物 보다는 물抽出物에서 많은 種類가 確認되었다. 4 草種의 두가지 抽出物 모두에서 PC로 分離된 phenol 化合物은 ferulic acid 이었으며, benzoic acid는 물抽出物에서만 確認되었다. HPLC에 의해서는 hydroquinone, p-hydroxybenzoic, ferulic 및 cinnamic acid가 全草種에서 分離되었다. PC 및 HPLC로 分離 確認된 phenol 化合物 중 p-hydroxybenzoic, ferulic 및 cinnamic acid는 檢定植物의 發芽 및 發芽後 生育에 높은 抑制效果를 보였다. 이들 phenol 化合物은 一般的으로 發芽보다는 幼苗의 根生長에 더 큰 阻害를 나타내었다.

引用 文 獻

1. 安田環. 1985. 農業におけるアレロパシーの意義とその側面. 日本雜草學會 symposium 講演要旨 7: 1-16.
2. Chou, C.H. and Y.L. Kuo. 1976. Autointoxication research of subtropical vegetation in Taiwan. III. Allelopathic exclusion of understory by *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit. J. Chem. Ecol. 12: 1431-1448.
3. 全載哲·韓康完·張炳春·申鉉承. 1987. 발 主要優占雜草의 Allelopathy 作用性檢索. 韓雜草誌 7: 156-164.
4. Corcoran, M.R., T.A. Geissman, and B.O. Phinney. 1972. Tannins as gibberellin antagonists. Plant Physiol. 49: 323-330.
5. Del Moral, R. and C.H. Muller. 1970. The allelopathic effect of *Eucalyptus camaldulensis*. Am. Midl. Nat. 83: 254-282.
6. Green, F.B. and M.R. Corcoran. 1975. Inhibitory action of five tannins on growth induced by several gibberellins. Plant Physiol. 56: 801-806.
7. Grummer, G. and H. Beyer. 1960. The influence exerted by species of *Camelina* on flax by means of toxic substances. Symb. Br. Ecol. Sec. 1: 153-157.
8. Guenzi, W. and T. McCalla. 1966. Phenolic acids in oats, wheat, sorghum, and corn residues and their phytotoxicity. Agron. J. 58: 303-304.
9. Guenzi, W. and T. McCalla. 1966. Phytotoxic substances extracted from soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30: 214-216.
10. Kil, B.S. and S.Y. Lee. 1987. Allelopathic effect of *Chrysanthemum morifolium* on germination and growth of several herbaceous plants. J. Chem. Ecol. 13: 299-308.
11. 김영식. 1984. 도마도의 allelopathy에 관한 연구. 조선대 박사학위논문.
12. 광상수·김길웅. 1984. 보리 殘餘物속에 主要 phenolic acid가 논 雜草發芽에 미치는 영향. 韓雜草誌 4: 39-51.
13. Lee, I.K. and M. Monsi. 1963. Ecological studies on *Pinus densiflora* forest. I. Effect of plant substances on the floristic composition of the undergrowth. Bot. Mag. 76: 400-413.
14. Lee, T.T. 1977. Role of phenolic inhibitors in peroxidase-mediated degradation of indole-3-acetic acid. Plant Physiol. 59: 372-375.
15. Lodhi, M.A.K. and E.L. Rice. 1971. Allelopathic effects of *Celtis laevigata*. Bull. Torrey Bot. Club 98: 83-89.
16. Neish, A.C. 1964. Major pathways of biosynthesis of phenols. In Biochemistry of phenolic compounds, J.B. Harborne, ed. pp295-359. Academic Press, New York.
17. Rice, E.L. 1979. Allelopathy—an update. Bot. Rev. 45: 15-109.
18. Rice, E.L. 1984. Allelopathy (2nd ed.). Academic Press, New York. 422p.
19. Schreiner, O. and H.S. Reed. 1908. The toxic action of certain organic plant constituents. Bot. Gaz. 45: 73-102.
20. Van Sumere, C.F. and L. Massart. 1959. Natural substances in relation to germination. Proc. Int. Congr. Biochem. 4th, 5: 20-32.
21. Whitehead, D.C. 1964. Identification of p-hydroxybenzoic, vanillic, p-coumaric, and ferulic acids in soil. Nature 202: 417-418.
22. Whittaker, R.H. and P.P. Feeny. 1971. Allelochemicals: Chemical interaction between species. Science 171: 757-770.