

돼지풀의 페놀화합물 동정 및 이들 화합물이 잡초의 유식물 생장에 미치는 영향

최봉수¹, 송득영¹, 성좌경², 김충국¹, 송범현³, 우선희³, 이철원^{3*}

Common Ragweed-Derived Phenolic Compounds and Their Effects on Germination and Seedling Growth of Weed Species

Bongsu Choi¹, Duk-Young Song¹, Jwa-Kyung Sung²
Chung-Guk Kim¹, Beom-Heon Song³, Sunhee Woo³ and Chulwon Lee^{3*}

ABSTRACT Phenolic compounds, which are products of secondary metabolism, have been demonstrated to be widespread growth substances in plants. The objectives of this study were to identify the phenolic compounds in common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* var. *elatior*) by HPLC and to evaluate their effects on germination and seedling growth of three weed species. Under controlled conditions in Petri dishes at 25 °C, 10⁻³ and 10⁻⁴ M solutions of phenolic compounds were evaluated in seed germination tests. Four phenolic compounds (caffeic acid, *o*-coumaric acid, *p*-coumaric acid and ferulic acid) in common ragweed plant were identified and their concentration was increased from the stage before flowering through full flowering stage. Treatment of *o*- and *p*-coumaric acids delayed the seed germination of *Digitalia ciliaris*, while the treatment of caffeic acid delayed the seed germination of *Echinochloa crus-galli*. In time to 50% germination (T_{50}), phenolic compounds at 10⁻⁴ M promoted in *Cyperus microiria* and *E. crus-galli* but the level of 10⁻³ M delayed the T_{50} of those weeds. The *o*-coumaric acid inhibited seed germination and seedling growth of the tested weeds and especially it perfectly inhibited the root growth of *E. crus-galli*.

Key words: allelopathy; common ragweed; germination; phenolic compounds; seedling growth.

¹ 농촌진흥청 국립식량과학원, 441-857 경기도 수원시 권선구 수인로 151(National Institute of Crop Science, RDA., Suwon 441-857, Korea).

² 농촌진흥청 국립농업과학원, 441-707 경기도 수원시 권선구 수인로 150(National Academy of Agricultural Science, RDA., Suwon 441-707, Korea).

³ 충북대학교 식물자원학과, 361-763 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410(Department of Crop Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea).

* 연락저자(Corresponding author) : Phone) +82-43-261-2512, Fax) +82-43-273-2242, E-mail) cwlee@chungbuk.ac.kr

(Received September 10, 2010; Examined October 11, 2010; Accepted November 4, 2010)

서 언

돼지풀(*Ambrosia artemisiifolia* var. *elatior*)은 북미 원산의 국화과 1년생 초본 식물로 1950년대 국내로 유입된 것으로 추정되는 대표적인 귀화식물이다(이 2002). 국내에서 8~9월에 개화하고 9~10월에 결실하는 돼지풀은 개화기에 발생하는 꽃가루에 의해 알레르기성 질환을 일으킬 수 있는 식물이며(Gergen 등 1987), 일부 국가에서는 돼지풀의 경작지 유입으로 작물생산 등에 심각한 피해를 유발하는 문제 잡초로 인식되어 있다(Bridges 1992; Bruckner 1998). 국내에서도 경작지뿐만 아니라 도로변 등에서도 다량 발생하여 군락을 형성하기 때문에 생태계 교란을 일으키는 것으로 알려져 있는데, 이러한 문제점을 인식하여 환경부(1999)에서는 1999년 1월 자연환경보전법 규정에 의하여 생태계 위해 외래식물로 단풍잎돼지풀과 함께 국내에서 처음으로 지정·고시하였다.

돼지풀과 같은 외래잡초가 침입하여 주변지역으로 확산 및 우점하는 요인으로는 *allelopathy*와 밀접한 관련이 있는데(Brückner 1998; Beres 등 2002), Inderjit와 Dakshini(1992)는 이들 외래잡초가 군락형성 초기에 주변 식물이 자신의 영역을 침범할 수 없도록 *allelochemicals*를 분비하여 다른 식물의 성장을 억제시킨다고 하였다. 이러한 *allelopathy*를 일으키는 물질은 주로 생합성 경로에 따라 *phenolic compounds*, *volatile substance*, *tannin*, *terpenoid*, *alkaloid* 등으로 구분된다(Rice 1984).

특히 세포분열, 양분흡수, 광합성, 단백질 합성, 효소활성, 증발산량 조절 등과 같은 생리학적 대사 과정에서 식물이 합성하는 페놀화합물이 식물생장에 가장 영향을 미치는 주 원인이라는 것이 입증되었고(Canals 등 2005), 이들 페놀화합물의 독성에 관한 연구가 다양하게 진행되고 있다(Leather와 Einhellig 1988; Li 등 1992; Canals 등 2005). 페놀화합물은 살아있는 식물 조직의 분비물 또는 식물 잔유물로부터 분해되거나 용탈되는 과정에서 환경으로 방출되는데(Putnam와 Tang 1986), 이들은 종자의 발아와 유근 생장억제뿐만 아니라 식물성 병

원균의 생장억제, 병원균의 침입에 대한 방어작용도 하는 것으로 알려져 있다(Leather와 Einhellig 1988; 이 등 1997).

돼지풀의 추출물 및 잔유물 처리는 콩과 옥수수과 같은 작물에는 영향이 없었으나 잡초의 발아 및 유식물 성장을 억제시키는 효과가 있다고 보고하였다(최 등 2010). 본 연구에서는 잡초의 생육억제 물질로 알려진 페놀화합물이 잡초의 발아 및 초기 생장에 미치는 영향을 평가한 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

돼지풀의 재배

돼지풀 종자는 충북 청주시 주중동의 농경지 주변 돼지풀 군락지에서 채종하여 본 시험의 파종 전까지 저온저장 하였다. 돼지풀은 표면적이 1/5000a인 와그너 포트에 파종하여 5월부터 9월까지 약 120일 동안 재배하였다.

돼지풀 시료는 생육이 왕성한 시기인 개화직전(파종 80일 후, 80 DAS)과 개화후기(파종 120일 후, 120 DAS)에 채취하였으며, 채취한 돼지풀은 잎, 줄기 및 뿌리로 분리하여 70°C에서 2일간 건조시킨 뒤 분쇄하여 페놀화합물 분석을 위한 재료로 이용하였다.

돼지풀의 페놀화합물 분석

돼지풀이 함유하고 있는 페놀화합물은 Hagerman과 Nicholson(1982)의 방법에 의거하여 분석하였다. 페놀화합물 분석을 위한 식물체 추출은 건조분말 3g을 삼각플라스크에 넣고 100mL의 메탄올을 첨가한 뒤 상온에서 120rpm으로 24시간 회전 진탕하였다. 그 후 여과지(No. 42, Whatman)로 여과한 뒤 감압 농축하여 1mL로 조절하였다.

시료는 저온상태에서 5N sodium hydroxide를 1mL 첨가하고 바로 밀봉하였으며, 30°C에서 1시간 동안 가수분해하였다. 가수분해 후 6N hydrochloric acid를 1mL 첨가하고 이를 0.45µm syringe filter를 이용하여 여과한 후 동일량의 diethyl ether로 3회에 걸쳐 분액하였다. 여기에 5% aqueous sodium bicarbonate를

1mL 첨가한 후 상층부의 ether층 1mL를 취해 증발시킨 뒤, 이를 다시 1mL의 MeOH로 용해시켜 HPLC 분석시료로 사용하였다.

HPLC 분석 조건

페놀화합물 분석은 HPLC(HPLC pump : Waters 510, Tunable Absorbance Detector : Waters 486, U.S.A)를 이용하였다. 고정상(column)은 Nova-Pak[®] C₁₈(RP-18, 3.9 mm i.d.×150 mm)을 사용하였으며, 이동상(mobile phase)은 2% acetic acid(A)와 50% acetonitrile에 0.5% acetic acid를 혼합한 용액(B)으로 하였다. 유속(flow rate)은 1mL min⁻¹(A : B= 90 : 10→10 : 90)로 하였으며, 시료를 20μL 주입하고 UV Detector의 파장 320nm에서 측정하였다.

페놀화합물 분석을 위한 표준용액은 Sigma aldrich사의 cinnamic acid와 그 유도체인 caffeic acid, *o*-coumaric acid, *p*-coumaric acid 및 ferulic acid를 사용하였다.

페놀화합물에 대한 잡초의 생장반응

페놀화합물에 대한 잡초의 발아 및 유식물 생장을 알아보기 위하여 돼지풀 추출물로부터 확인한 4종의 페놀화합물에 대한 생물검정을 실시하였다. 생물검정에 사용한 페놀화합물은 Sigma aldrich사로부터 구매한 것으로 고순도의 HPLC 분석용 시약을 이용하였다. 각각의 페놀화합물은 증류수를 이용하여 10⁻³과 10⁻⁴M 농도로 조제하였고, 검정식물로서 벼과인 돌피(*Echinochloa crus-galli*)와 바랭이(*Digitaria ciliaris*) 및 사초과인 금방동사니(*Cyperus microiria*) 종자에 대하여 발아특성을 평가하였다. 생물검정에 이용한 3종의 잡초종자는 전년도에 국립식량과학원 작물환경과 시험포장에서 채종하여 저온 보관한 종자를 사용

하였다.

생물검정을 위한 잡초종자는 1% NaClO를 이용하여 15분간 표면소독 후 증류수로 여러 번 행군 뒤 발아시험에 이용하였다. Petri dish(직경 : 90mm)에 여과지를 깔고 추출물을 농도별로 2mL 처리한 후 소독 처리한 잡초종자를 50립씩 3반복으로 배양하였다. 페놀화합물 처리구에 대한 대조구는 증류수를 이용하였으며, 모든 처리구의 잡초종자는 생육상(28℃, 암조건)에서 5일 동안 배양한 뒤, 발아율 및 유식물의 하배축(hypocotyl)과 유근(radicle) 신장을 조사하였다.

통계분석

10⁻³M과 10⁻⁴M 농도의 페놀화합물 처리가 3종 잡초의 발아에 미치는 영향을 평가하기 위한 통계분석은 SAS program(Ver. 9.2)을 이용하였으며, ANOVA 검정에 의한 통계적 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

돼지풀 생육 및 페놀화합물 함량

생육이 왕성한 개화직전(80 DAS)과 개화후기(120 DAS)에 채취한 돼지풀의 생육 특성은 표 1과 같다. 돼지풀은 생육후기 바이오매스가 개체당 89.6g으로 개화직전의 39.6g 보다 2.3배 증가하였으며, 그 중 줄기 부위가 차지하는 비율은 73%였다. 돼지풀은 영양생장기 동안 왕성하게 생육하여 개화직전의 지상부 건물률이 23.4%였으며, 개화후기에는 줄기의 목질화 등으로 건물률이 34.5%까지 증가하였다.

돼지풀의 생육시기별 페놀화합물의 함량은 HPLC를 이용하여 5종의 cinnamic acid와 그 유도체(*o*-

Table 1. Fresh weight and dry weight of common ragweed sampled at 80 and 120 days after sowing (DAS).

Sampling dates	Fresh weight (g plant ⁻¹)				Dry weight (g plant ⁻¹)			
	Leaf	Stem	Root	Total	Leaf	Stem	Root	Total
80 DAS	11.3	19.3	9.0	39.6	2.38	5.17	1.21	9.26
120 DAS	13.2	65.3	11.1	89.6	3.88	24.20	2.85	30.93

Table 2. Concentration of some phenolic compounds in different plant parts of common ragweed sampled at 80 and 120 DAS.

Phenolic compounds	Concentration ($\mu\text{g g}^{-1}$)							
	80 DAS ¹⁾				120 DAS			
	Leaf	Stem	Root	Total	Leaf	Stem	Root	Total
Caffeic acid	67.8	85.5	84.6	238.0	18.3	25.7	39.7	73.7
<i>o</i> -Coumaric acid	58.7	17.5	47.4	123.5	11.3	18.6	14.9	44.8
<i>p</i> -Coumaric acid	21.9	32.1	4.6	58.6	4.5	6.6	2.1	13.3
Ferulic acid	13.5	9.7	5.9	29.1	58.6	5.3	4.9	68.8
Total	161.9	144.8	142.5	449.3	92.7	56.2	51.5	200.5

¹⁾ DAS : Days after sowing.

coumaric acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid 및 caffeic acid)를 대상으로 정량분석하였으며, 돼지풀에서는 cinnamic acid를 제외한 4종의 물질이 검출되었다.

돼지풀에서 검출된 4종의 페놀화합물 농도는 돼지풀의 개화직전 추출물에서 개화후기보다 2.2배 높게 나타났다(표 2). 그 중 caffeic acid는 개화직전에 식물체의 모든 부위에서 고르게 분포하였으며, 개화후기에도 함량은 낮았지만 모든 부위에서 개화직전과 비슷한 경향이 나타났다. *o*-Coumaric acid와 *p*-coumaric acid는 개화직전 농도가 개화후기보다 3배 정도 높았다. 다른 화합물과는 달리 ferulic acid는 개화후기에 잎에서 가장 높은 농도를 나타냈으며, 전체 농도는 개화직전보다 2배 높았다. 식물체 부위별로는 두 시기 모두 잎 부위의 페놀화합물 농도가 가장 높았으며, 줄기와 뿌리는 비슷한 농도를 나타냈으나 개화직전에는 모든 부위에서 고르게 분포하는 것을 확인할 수 있었다.

돼지풀에서 확인된 4종 페놀화합물을 식물체가 함유하고 있는 총합량으로 산출하여 그림 1에 나타내었다. 돼지풀의 페놀화합물 총합량은 개화후기에 개체당 $1,583\mu\text{g}$ 으로 생육이 왕성한 개화직전의 $1,377\mu\text{g}$ 보다 15% 증가하였다(그림 1). 이는 생육후기 돼지풀의 생육이 개화직전보다 1.9배 증가한 것에 비하면 현저히 낮은 것으로 표 1에서 설명한 바와 같이 생육후기에는 줄기의 목질화 등으로 바이오매스는 증가하였지만 식물체의 노화 등으로 신진대사가 둔화되

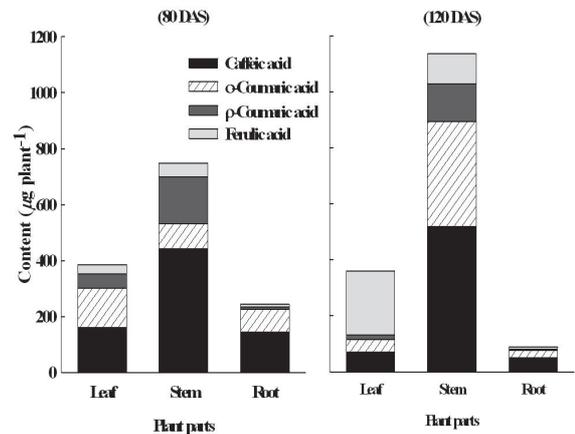


Fig. 1. Content of phenolic compounds in different plant parts of common ragweed sampled at 80 and 120 DAS.

어 페놀화합물을 비롯한 2차대사산물의 합성이 낮은 것으로 판단된다.

돼지풀의 개화직전과 개화후기에 가장 많은 양을 함유하고 있는 물질은 caffeic acid로 나타났다. Caffeic acid는 돼지풀 개화직전과 개화후기에 줄기에서 가장 많았으며, 돼지풀 식물체당 함량은 각각 748 과 $641\mu\text{g}$ 이었다. *o*-Coumaric acid는 돼지풀 개화직전 함량이 개화후기 함량의 70% 수준이었는데, 생육후기에 주로 줄기 부분에서 대부분이었던 것과 비교하여 개화직전에는 잎을 비롯한 모든 부위에서 고르게 분포하였다. Ferulic acid는 개화직전의 돼지풀에서 함량이 낮았던 반면 개화후기에는 잎에서 다량 함유하고 있는 것으로 나타났다.

페놀화합물은 식물의 세포신장 등에 영향을 미치는데 이들 농도에 따라 식물의 반응은 달라진다. Allelopathy 효과가 높은 식물로 알려진 알팔파에서도 주된 영향을 미치는 물질이 cinnamic acid와 그 유도체들이라고 하였다(Hall과 Henderlong 1989; Miller 1996). 이들 알팔파의 지상부는 coumaric acid와 ferulic acid가 각각 34와 21 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 함유하고 있는 것으로 보고하였는데(유 등 1995), 본 연구에서 돼지풀이 함유하고 있는 *o*-coumaric acid와 ferulic acid가 각각 76과 23 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 으로 알팔파보다 많은 양을 함유하고 있었다.

한편 생육이 왕성한 시기에는 잎에서 페놀화합물과 같은 대사산물의 합성이 왕성하므로 다양한 물질이 존재한다. 잎을 비롯한 지상부의 추출물 및 환원물질은 식물의 생육 억제효과가 다른 부위보다 높게 나타나는데, Rashid 등(2010)에 의하면 짙은 잎 부위에서 가장 많은 페놀화합물을 함유하고 있으며, 잎 추출물에 의해 상추와 무 종자의 발아를 대조구보다 20% 억제시켰다고 보고하였다. 또한 이러한 페놀화합물의 토양축적은 토양환경에도 영향을 미치는데, Lodhi (1976)는 미국 미조리주의 산림토양에서 상당량의 caffeic acid, *p*-coumaric acid 및 ferulic acid 등을 확인하였고, 이들 화합물은 식물과 토양 미생물에 영향을 주기 때문에 토양환경을 변화시킨다고 하였다.

최 등(2010)은 개화직전의 돼지풀을 토양에 혼입함에 있어 혼입량이 2%(w/w) 이상에서 잡초의 생육이 일부 억제되었다고 보고하였으며, 이러한 억제효과는 분해가 빠르고 페놀화합물의 농도가 높았던 잎 부위에서 크게 나타났다. Fischer(1991)에 의하면 초식자들에 대한 방어기작으로 또는 다른 식물들과의 경쟁기작으로서 식물들은 2차 대사산물의 분비를 조절하는 것으로 알려져 있는데, 돼지풀의 성장시기에 따라 페놀화합물의 총 함량과 부위별 차이가 나타나는 것으로 사료된다.

페놀화합물에 대한 잡초의 성장반응

돼지풀에서 검출된 다양한 페놀화합물에 대하여 이들 화합물이 잡초의 발아 및 유식물 생장에 미치는 영향을 평가하였으며, 그 반응은 잡초종에 따라 다양

Table 3. Effect of four phenolic compounds with two concentrations on germination and T_{50} value of *Cyperus microiria*.

Phenolic compounds	Germination (%)	T_{50} value ¹⁾ (Days)
Control (distilled water)	81.3 n.s. ²⁾	1.842b
10^{-4}M	Caffeic acid	86.0 n.s.
	<i>o</i> -Coumaric acid	86.0 n.s.
	<i>p</i> -Coumaric acid	80.0 n.s.
	Ferulic acid	86.7 n.s.
	Mean	84.7
10^{-3}M	Caffeic acid	83.3 n.s.
	<i>o</i> -Coumaric acid	85.3 n.s.
	<i>p</i> -Coumaric acid	81.3 n.s.
	Ferulic acid	84.0 n.s.
	Mean	83.5

¹⁾ Time to 50% germination.

²⁾ Means with the same letter are not significantly different at 0.05 probability level. n.s. not significant.

하게 나타났다. 금방동사니의 발아율은 대조구에서 81.3%였으며, 4종의 페놀화합물 처리구에서도 비슷한 수준이었다(표 3). 또한 페놀화합물의 농도가 10^{-4}M 에서 10^{-3}M 로 증가하여도 금방동사니의 발아에는 영향을 미치지 않았다.

T_{50} 는 종자를 치상한 후 발아율이 50%에 도달하는 시점을 나타내는 것으로 대조구와 비교하여 발아의 촉진 및 지연 여부를 알수 있다(Shiple와 Parent 1991). 모든 처리구에서 발아율은 차이가 없었지만 T_{50} 는 증류수를 처리한 대조구에서 1.842일로 나타났으며, 10^{-4} 과 10^{-3}M 의 페놀화합물 처리구에서 각각 평균 0.853일과 2.267일이었다. 10^{-4}M 페놀화합물 처리구는 T_{50} 를 대조구보다 평균 0.989일 촉진시킨 것에 반하여 10^{-3}M 의 페놀화합물 처리구는 평균 0.425일 지연시켰다. 특히 10^{-3}M 의 *o*-coumaric acid 처리는 최종 발아율에는 영향을 미치지 않았지만 다른 화합물과 달리 T_{50} 를 대조구보다 0.768일 지연시키는 것으로 보아 발아 및 초기 생장에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

바랭이는 최종 발아율이 무처리구에서도 66.0%로 다른 잡초종에 비하여 낮았다(표 4). 바랭이의 발아율

Table 4. Effect of four phenolic compounds with two concentrations on germination and T_{50} value of *Digitalia ciliaris*.

Phenolic compounds	Germination (%)	T_{50} value ¹⁾ (Days)
Control (distilled water)	66.0a ²⁾	1.790a
10^{-4} M	Caffeic acid	61.3ab
	<i>o</i> -Coumaric acid	66.0a
	<i>p</i> -Coumaric acid	54.0b
	Ferulic acid	66.0a
	Mean	61.8
10^{-3} M	Caffeic acid	65.3a
	<i>o</i> -Coumaric acid	52.0b
	<i>p</i> -Coumaric acid	65.3a
	Ferulic acid	62.0ab
	Mean	61.2

¹⁾ Time to 50% germination.

²⁾ Means with the same letter are not significantly different at 0.05 probability level.

은 10^{-4} M의 *p*-coumaric acid 처리구에서 54.0%까지 저감시켰으나 10^{-3} M 농도에서는 오히려 무처리구와 차이가 없을 정도로 발아율이 증가하였다. 다양한 화합물 중에서 *o*-coumaric acid는 10^{-4} M 농도에서 바랭이의 발아에 영향을 미치지 않았으나 10^{-3} M 농도에서 바랭이의 발아율을 52.0%까지 감소시켰다.

금방동사니에서와 마찬가지로 10^{-4} M 페놀화합물 처리는 바랭이의 T_{50} 를 평균 0.657일 촉진시켰으며, 10^{-3} M에서는 평균 0.303일 지연시켰다. 페놀화합물의 농도가 10^{-4} M에서 10^{-3} M로 증가함에 따라 바랭이의 T_{50} 는 0.960일 지연되었으며, 10^{-4} M의 *p*-coumaric acid 처리구는 바랭이의 발아를 저하시켰던 만큼 바랭이의 T_{50} 또한 대조구보다 현저히 지연시켰다.

대조구의 피는 90.7%의 높은 발아율을 나타내었으며, 페놀화합물 처리구에서도 다른 잡초들과 마찬가지로 대조구와 비슷한 수준이었다(표 5). 그러나 다른 잡초에서 나타났던 페놀화합물의 반응과 달리 10^{-3} M의 caffeic acid 처리는 피의 발아율을 대조구보다 10% 억제시켰다. 또한 피의 T_{50} 는 다른 잡초에서 나타났던 경향과 달리 10^{-4} M의 페놀화합물 처리구에서

Table 5. Effect of four phenolic compounds with two concentrations on germination and T_{50} value of *Echinochloa crus-galli*.

Phenolic compounds	Germination (%)	T_{50} value ¹⁾ (Days)
Control (distilled water)	90.7a ²⁾	1.376c
10^{-4} M	Caffeic acid	90.0a
	<i>o</i> -Coumaric acid	86.0a
	<i>p</i> -Coumaric acid	87.3a
	Ferulic acid	82.7a
	Mean	86.5
10^{-3} M	Caffeic acid	80.7b
	<i>o</i> -Coumaric acid	92.0a
	<i>p</i> -Coumaric acid	93.3a
	Ferulic acid	91.3a
	Mean	89.3

¹⁾ Time to 50% germination.

²⁾ Means with the same letter are not significantly different at 0.05 probability level.

도 대조구보다 0.247일 지연되었으며, 10^{-3} M 처리구에서 1.030일 지연되었다.

4종의 페놀화합물의 농도별 처리가 잡초의 유식물 생장에 미치는 영향을 평가하였다. 페놀화합물 처리에 따른 유식물의 지상부 생육으로 금방동사니의 하배축 신장은 10^{-4} M 페놀화합물 처리구에서 대조구와 비슷하거나 신장이 촉진된 반면, 10^{-3} M의 *o*-coumaric acid와 *p*-coumaric acid 처리구에서 대조구와 비교하여 각각 70와 20% 억제되었다(그림 2). 이러한 경향은 다른 잡초종에서도 비슷하게 나타났다. 바랭이의 하배축 신장은 10^{-4} M 페놀화합물 처리구에서 촉진되었으며, 10^{-3} M의 *o*-coumaric acid 처리구에서는 신장이 억제되었다. 피의 경우 10^{-4} M의 모든 페놀화합물 처리는 하배축 신장을 평균 19% 촉진시켰으며, 10^{-3} M에서는 다른 잡초에서 나타났던 것과 마찬가지로 *o*-coumaric acid 처리구에서 신장이 억제되었다.

페놀화합물 처리에 따른 잡초종의 반응으로 유식물의 유근 신장도 하배축에서와 비슷한 경향이 나타났다. 금방동사니와 바랭이는 10^{-4} M 페놀화합물 처리구에서 대조구와 차이가 없었으나 10^{-3} M의 *o*-

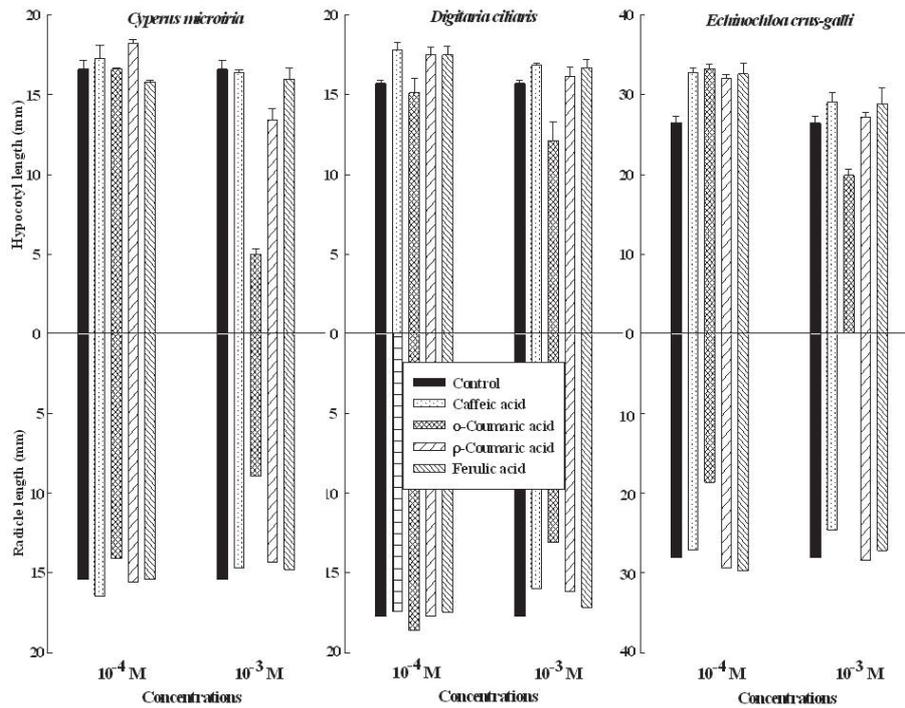


Fig. 2. Effect of four phenolic compounds of 10^{-3} M and 10^{-4} M concentrations on early growth of three weed species. Vertical bars are standard error of the means ($n=3$).

coumaric acid 처리구에서 유근 신장이 억제되었다. 금방동사니는 *o*-coumaric acid 처리에 따른 뿌리 발육이 억제되어 그 영향으로 하배축의 생육 또한 현저히 억제되었는데 총 발아한 종자(평균 42.7립) 중 77%가 대조구 하배축 신장의 30% 수준인 0.5cm 이하였다. 피의 경우 10^{-4} M *o*-coumaric acid 처리가 유근 신장을 현저히 억제시켰으며, 10^{-3} M *o*-coumaric acid 처리는 유근의 생육을 현저히 억제시켜 전혀 발근하지 않은 상태에서 하배축만 신장하는 특이점이 관찰되었다.

Chon 등(2002)은 10^{-4} M의 알팔파 추출물이 알팔파와 피의 유근 신장을 억제시켰으며, coumarin과 *o*-coumaric acid가 알팔파와 피의 하배축과 유근 신장을 현저히 억제시켰다고 보고하였다. 특히 이들 연구에서는 뿌리의 신장과 세포분열을 현저히 억제시켰다고 보고하였는데, 이는 allelochemicals에 대하여 유식물의 뿌리가 하배축보다 민감하게 반응하기 때문이다(Chung과 Miller 1995). 한편 본 연구에서 10^{-3} M *o*-coumaric acid를 처리한 금방동사니에서도

뿌리 끝이 짙은 갈색을 나타내며 세포분열이 억제되는 동일한 현상이 관찰되었으며, 더불어 하배축 생육도 현저히 억제되었다.

다양한 페놀화합물 중 cinnamic acid, coumaric acid 등은 10^{-4} M 이상에서 상추의 잎 성장을 억제하였으며, 10^{-3} M 이상에서 이들 종자의 발아를 억제하였다(Li 등 1993). 또한 caffeic acid, ferulic acid는 10^{-3} M 보다 낮은 농도에서 식물의 성장을 촉진시켰으나, 보다 높은 농도에서는 식물의 성장을 억제시켰다고 보고하였다.

Allelochemical라는 물질은 특정 식물의 생장에 영향을 미치지만 이는 식물종, 농도 및 종자의 크기 등에 의해 차이가 있을 수 있다. 페놀화합물 또한 농도에 따라 식물의 성장을 억제시키기도 하고 촉진시키기도 하는데(Li 등 1993), 본 연구에서는 10^{-4} M 페놀화합물은 3종 잡초의 발아 및 유식물 생장에 영향을 미치지 않았거나 일부 촉진효과가 나타났던 반면, 10^{-3} M 페놀화합물은 일부 잡초의 유식물 생장을 현저히 억제시켰다. 특히 돼지풀의 모든 부위에서 골고

루 나타나는 것이 확인된 *o*-coumaric acid는 검정식물인 3종의 잡초에 대하여 유식물 생장을 현저히 억제시키는 효과가 나타났다. 이러한 결과는 자연계에서 식물체들이 함유하고 있는 *o*-coumaric acid가 allelochemical로써 작용 가능성이 있을 것으로 판단되며, 향후 이 물질의 작용기작에 대한 보완연구를 통해 다양한 특성을 가진 잡초에 대하여 방제특성을 구명할 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

외래잡초인 돼지풀은 국내 확산이 우려되는 문제 잡초로서 allelopathy와 관련성을 평가하기 위하여 돼지풀이 함유하고 있는 phenolic compounds의 시기별 변화와 이들 화합물에 의한 3종 잡초의 발아 및 초기생육을 평가하였다. 식물의 생육을 억제하는 물질로 잘 알려진 cinnamic acid 유도체인 5종의 페놀화합물은 HPLC를 이용하여 정량분석하였고, 4종 (caffeic acid, *o*-coumaric acid, *p*-coumaric acid 및 ferulic acid)의 화합물을 동정하였다. 돼지풀에서 검출된 페놀화합물 중 caffeic acid의 농도가 가장 높았으며, *o*-와 *p*-coumaric acid는 개화직전 농도가 개화후기보다 3배 정도 높았다. 돼지풀이 함유하고 있는 페놀화합물의 총함량은 개화직전이 1,377 μ g으로 개화후기의 1,583 μ g보다 낮았으나 돼지풀이 생장률에 비해 증가량은 현저히 낮았다. 표준용액을 이용하여 농도별로 조제한 페놀화합물 중 *o*-와 *p*-coumaric acid는 바랭이의 발아를 지연시켰으며, caffeic acid는 피의 발아율을 대조구보다 10% 억제시켰다. 또한 발아가 50%에 도달하는 시점을 나타내는 T_{50} 는 10^{-4} M 페놀화합물 처리구의 금방동사니와 바랭이에서 촉진되었으며, 10^{-3} M 페놀화합물 처리구의 금방동사니와 피에서 현저히 지연되었다. 다양한 페놀화합물 중에서 *o*-coumaric acid는 3종의 모든 잡초에서 하배축과 유근의 신장을 현저히 억제시켰으며, 금방동사니의 뿌리 세포 분열을 억제시켰고, 특히 피의 발근을 100% 억제시켰다.

인 용 문 헌

- 유창연, 전인수, 정일민, 허장현, 김이훈. 1995. 잡초와 작물에 대한 알팔파 잔유물의 allelopathy 효과. 한국잡초학회지 15:131-140.
- 이영노. 2002. 원색 한국식물도감. 교학사. p. 782.
- 이호준, 김용옥, 장남기. 1997. 수종 식물의 분비물질이 종자 발아와 균류 생장에 미치는 알레로파시 효과. 한국생태학회지 20:181-189.
- 최봉수, 송득영, 김충국, 우선희, 송범현, 이철원. 2010. 돼지풀이 작물과 잡초의 초기생장에 미치는 allelopathy 효과. 한국잡초학회지 30:34-42.
- 환경부. 1999. 환경백서. 남형문화(주). pp. 272-274.
- Beres, I., G. Kazinczi and S. S. Narwal. 2002. Allelopathic plants. 4. Common ragweed (*Ambrosia elatior* L. Syn *A. artemisiifolia*). Allelopath. J. 9:27-34.
- Bridges, D. C. 1992. Crop losses due to weeds in the United States. Weed Science Society of America, Champaign, IL, USA, pp. 1-30.
- Brückner, D. J. 1998. The allelopathic effect of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) on the germination of cultivated plants. Novenytermeles 47:635-644.
- Canals, R. M., L. S. Emeterio and J. Peralta. 2005. Autotoxicity in *Lolium rigidum* : analyzing the role of chemically mediated interactions in annual plant populations. J. Theor. Biol. 235: 402-407.
- Chon, S. U., S. K. Choi, S. Jung, H. G. Jang, B. S. Pyo and S. M. Kim. 2002. Effects of alfalfa leaf extracts and phenolic allelochemicals on early seedling growth and root morphology of alfalfa and barnyard grass. Crop Prot. 21:1077-1082.
- Chung, I. M., and D. A. Miller. 1995. Natural herbicide potential of alfalfa residues on selected weed species. Agron. J. 87:920-925.
- Fischer, N. H. 1991. Plant terpenoids as allelopathic

- agents. In Harborne, J. B. and F. A. Thmas-Barberan (eds), Ecological chemistry and biochemistry of plant terpenoids. Clarendon Press, Oxford. pp. 377-398.
- Gergen, P. J., P. C. Turkeltaub and M. G. Kovar. 1987. The prevalence of allergic skin test reactivity to eight common aeroallergens in the U.S. population : results form the second national health and nutrition examination survey. J. Allergy Clin. Immunol. 80:669-679.
- Hagerman, A. E., and R. L. Nicholson. 1982. High-performance liquid chromatographic determination of hydroxycinnamic acids in the maize mesocotyl. J. Agric. Food Chem. 30:1098-1102.
- Hall, M. H., and P. R. Henderlong. 1989. Alfalfa autotoxic fraction characterization and initial separation. Crop Sci. 29:425-428.
- Inderjit, K. M., and M. Dakshini. 1992. Interference potential of *Pluched lanceolata* (Asteraceae) : Growth and physiological responses of asparagus bean, *Vigna unguiculata* var. *sesquipedalis*. Am. J. Bot. 79:979-981.
- Leather, G. R., and F. A. Einhellig. 1988. Bioassay of naturally occurring allelochemicals for toxicity. J. Chem. Ecol. 14:1821-1828.
- Li, H. H., M. Urashima, M. Amano, L. Lajide, H. Nishimura, K. Hasegawa and J. Mizutani. 1992. Allelopathy of barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* L. Beauv. var. *crus-galli*). Weed Res. 37: 151-157.
- Li, H. H., M. Inoue, H. Nishimura, J. Mizutani and E. Tsuzuki. 1993. Interactions of trans-cinnamic acid, its related phenolic allelochemicals, and abscisic acid in seedling growth and seed germination of lettuce. J. Chem. Ecol. 19: 1775-1787.
- Lodhi, M. A. K. 1976. Kolo of allelopathy as expressed by dominating tree in a low land forest in controlling the productivity and pattern of herbaceous growth. Am. J. Bot. 63:1-8.
- Miller, D. A. 1996. Allelopathy in forage crop systems. Agron. J. 88:854-859.
- Putnam, A. R., and C. S. Tang. 1986. Allelopathy : state of the science. In : The science of allelopathy (ed. by Putnam, A. R. and C. S. Tang). John Wiley and Sons, New York, pp. 1-19.
- Rashid, M. H., T. Asaeda and N. Uddin. 2010. The allelopathic potential of kudzu (*Pueraria montana*). Weed Sci. 58:47-55.
- Rice, E. L. 1984. Allelopathy. 2nd ed. Academic Press. New York.
- Shiple, B., and M. Parent. 1991. Germination responses of 64 wetland species in relation to seed size, minimum time to reproduction and seedling relative growth rate. Funct. Ecol. 5: 111-118.