

Weed & Turfgrass Science was renamed from both formerly Korean Journal of Weed Science from Volume 32 (3), 2012, and formerly Korean Journal of Turfgrass Science from Volume 25 (1), 2011 and Asian Journal of Turfgrass Science from Volume 26 (2), 2012 which were launched by The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea founded in 1981 and 1987, respectively.

수수 지상부의 부산물과 추출물의 제초활성

박수혁¹ · 원옥재¹ · Le Thi Hien¹ · 엄민용¹ · 황기선¹ · 황재복^{2*} · 박기웅^{1*}

¹충남대학교 식물자원학과, ²농촌진흥청 국립식량과학원

Weed Control Efficacy of the Residues and its Aqueous Extract of Sorghum Shoots

Su Hyuk Park¹, Ok Jae Won¹, Le Thi Hien¹, Min Yong Eom¹,
Ki Seon Hwang¹, Jae-Bok Hwang^{2*}, and Kee Woong Park^{1*}

¹Department of Crop Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea

ABSTRACT. This study was conducted to investigate the ability for weed control of the shoot extract of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and developing a sustainable weed management in organic farming. When the dried shoot powder was mixed with soil and treated with 2 cm above the soil surface, the germination for *Echinochloa crus-galli*, *Digitaria ciliaris*, *Abutilon theophrasti* and *Amaranthus retroflexus* was inhibited maximum 40%. The growth inhibition of germinated seedlings in the *A. theophrasti* and *A. retroflexus* was maximum 30% while it was less than 30% in the *E. crus-galli* and *D. ciliaris*. Shoot extracts at rates above 25 mg ml⁻¹ was effective to inhibit germination of *D. ciliaris*, *A. theophrasti* and *A. retroflexus*. The shoot extract concentration required for 50% of germination inhibition was 60 mg ml⁻¹ in the *E. crus-galli*, while it was less than 10 mg ml⁻¹ in the *D. ciliaris*, *A. theophrasti* and *A. retroflexus*. For the foliar application, 11 adjuvants were tested at 0.5% and DOS70, TM15 and TDE7 were most effective adjuvants for the shoot extracts. DOS70 was most effective and provided up to 60% of weed control efficacy for the tested four weed species. Though herbicidal efficacy of sorghum shoot was not enough to give a proper weed control, it can be expected that long term use of sorghum shoots can provide gradual decrease in weed seeds and weed density.

Key words: Allelopathy, Extract, Sorghum shoot, Weed control

Received on September 01, 2015; Revised on September 08, 2015; Accepted on September 11, 2015

*Corresponding author: ¹Phone) +82-42-821-7823, Fax) +82-42-822-2631; E-mail) parkkw@cnu.ac.kr

²Phone) +82-63-238-5274, Fax) +82-63-238-5255; E-mail) hjb0451@korea.kr

© 2015 The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

농산물 생산에 있어서 제초제는 매우 중요한 역할을 담당해 왔으나 유기합성농약의 과다한 사용과 환경과 인체에 대한 안전성 우려가 점점 높아지고 있어 그 사용이 제한되고 있는 실정이다(Kim et al., 2003). 일부 국가에서는 엄격한 독성기준을 마련하여 자연환경에 위해 가능성이 있는 유기합성 제초제의 사용 양을 줄이는 추세이며, 또한 소비자들은 생활수준의 향상과 건강에 대한 관심이 높아지면서 보다 안전한 농산물 생산을 요구하고 있다(Kim et al.,

2001). 최근에는 제초제를 사용하지 않고 농사를 짓는 무농약 재배, 유기농업 등의 친환경농법들이 개발되어 왔으나 이러한 방법들은 잡초 및 병해충에 대한 피해가 커 작물의 생산성을 떨어뜨리며 특히 잡초방제에 많은 시간과 노력이 요구된다는 문제점이 있다. 따라서 제초제의 사용은 불가피하나, 제초제의 사용량을 줄이기 위해 예방적, 생태적, 물리적, 생물적, 종합적 측면 등의 다양한 방법들이 시도되고 있다(Ku et al., 2001). 그들 중의 하나가 식물들 사이의 경합 이상으로 인접 식물에 피해를 입히는 상호대립억제작용(allelopathy effect)으로부터 새로운 제초제를 개

발하거나 이러한 현상 자체를 이용하려는 연구이다. Allelopathy는 서로 다른 식물 종들이 서식지를 공유하면서 한 식물체가 만들어내는 식물생리활성물질로 인접한 종자의 발아 및 성장과 생산량, 토양 미생물의 번식에 영향을 주어 식물군락의 형성과 천이 등에 영향을 미치는 생화학적 상호작용을 말한다. 이 물질(allelochemical)은 성장조절 물질과 유사하며, 잡초와 작물 모두에 영향을 미칠 수 있는 것으로 알려져 있어 친환경 제초제로서의 이용가능성이 높은 것으로 알려져 있다(Putnam, 1988).

Allelopathy를 가장 뚜렷하게 나타내는 것으로 보고되고 있는 작물 중 하나인 수수는 세계 5대 곡류작물 중에 속하고 흡비력이 높은 작물로 알려져 있으며, 최근에는 다양한 중금속을 생물적으로 축적하는 능력이 높고(Revathi et al., 2011), 수수의 탄닌과 페놀성분은 항산화작용 및 항암작용을 갖고 있는 것으로 보고된 바 있으며(Dykes and Rooney, 2006; Yoon et al., 2012), 앞으로도 재배면적이 지속적으로 증가할 것으로 예측된다(Yun et al., 2012).

수수로부터 allelochemical을 추출하여 제초활성을 검증하려는 실험들이 지금까지 꾸준히 이루어져왔다. 특히 수수 뿌리의 소수성 추출물인 sorgoleone (2-hydroxy-5-methoxy-3-((8'Z,11'Z)-8',11',14'-pentadecatriene)-p-benzoquinone)은 대표적으로 잘 알려진 allelochemical로 1986년 이래로 많은 연구가 진행되어왔다(Netzly and Butler, 1986). Yu et al. (1994)에 의하면 수수의 추출물은 작물과 잡초의 발아에 영향을 줄 수 있으며, 줄기와 뿌리 모두 allelochemical을 함유하고 있는 것으로 보고하였다.

수수 지상부의 생체 생산량은 10 t ha^{-1} 으로 단위면적당 건물 생산량이 높은 편으로(RDA, 2009), 지하부에 비해 상대적으로 지상부의 바이오매스 생산량이 월등히 높으며, 손쉽게 채취하여 이용할 수 있다는 장점이 있다. 수수 지상부에서 발견된 allelochemical은 4-hydroxybenzoic acid, p-coumaric acid, ferulic acid, trans-cinnamic acid, kaempferol 등이 보고된바 있으며, 지하부보다 지상부에서 더 큰 제초활성을 나타내는 것으로 알려져 있다(Won et al., 2011). 따라서 본 연구는 친환경 잡초방제의 일환으로 수수 지상부 부산물과 추출물의 제초활성을 조사하여 생물제초제로의 활용 가능성을 알아보고자 수행되었다.

재료 및 방법

수수 지상부 분말 및 추출물 제조

밀양 국립식량과학원 실험포장에서 재배한 수수(동안메)를 2013년 11월에 수확한 후 충남대학교 농업생명과학대학 비닐하우스에서 1주일간 자연 건조시켰다. 건조된 수수 지상부를 2-3 cm의 크기로 절단한 후, 믹서기(HMF-1100,

Hanil)를 이용하여 분말형태로 만들고 실험실내 상온에서 보관하였으며, 이를 본 연구의 잡초생장억제 실험재료로 사용하였다.

수수 지상부 건조분말 1 kg을 물 20 L에 24시간 침전시킨 후, 버너를 이용하여 2시간동안 100의 온도에서 가열하였다. 식물체 잔사를 여과망(0.2 mm)을 이용하여 일차 제거한 후, 감압여과를(Advantec NO. 2 여과지와 펌프(SM2000, SM electric motor)를 이용) 통해 미세한 고형물질을 한번 더 제거하였다. 얻어진 수수 물 추출물을 회전농축기(NE-1001, EYELA, 60, 60 rpm)를 이용하여 농축 하였으며, 동결건조기(TFD5503, Ilshin)를 통해 수분을 완전히 제거하였다. 동결건조 후 얻어진 갈색의 시료는 막자사발을 이용하여 분말형태로 분쇄하였고, 수분흡수방지를 위해 실리카겔과 함께 종이봉투에 넣어 실험실 내에서 보관하였다. 최종적으로 건조된 수수 지상부 건조분말 1 kg에서 추출물 동결건조 시료 약 30 g을 얻었으며 (3% 수율), 잡초종자의 발아실험과 경엽처리 효과 실험에 사용하였다.

수수 지상부 분말의 잡초생장 억제효과

본 실험은 충남대학교 농업생명과학대학 유리온실에서 수행되었으며, 수수 지상부 분말의 발아 및 생장억제 정도를 알아보기 위해 수수 지상부 분말과 상토를 20:80, 40:60, 60:40, 80:20의 비율로 혼합하여 실험에 사용하였다. 지름이 7 cm이고 높이가 9 cm인 원통형포트에 상토를 5 cm 채워 넣고 피(*Echinochloa crus-galli*), 바랭이(*Digitaria ciliaris*), 어저귀(*Abutilon theophrasti*), 털비름(*Amaranthus retroflexus*) 종자를 10립씩 파종 한 뒤, 상토와 혼합한 수수 지상부 분말을 2 cm 두께로 복토하였다. 실험은 완전임의배치법 3반 복으로 수행하였다. 파종 2주일 후에 발아율, 초장, 건물중을 측정하였으며 무처리구와 비교하여 수수 지상부 분말의 복토에 따른 잡초방제효과를 분석하였다.

수수 지상부 물 추출물의 잡초종자 발아억제효과

피, 바랭이, 어저귀, 털비름을 대상으로 수수 지상부 추출물의 잡초종자 발아억제효과 실험을 수행하였다. 페트리 디시(11060, SPL)에 여과지(Hyundai NO. 10) 2장을 넣은 후, 잡초 종자를 각각 10립씩 치상하였다. 동결건조한 수수 지상부 추출물 1 g과 3차 증류수 5 ml의 비율로 희석하여 최고농도 0.2 g ml^{-1} ($w v^{-1}$)로 제조하였으며, 두배씩 희석하여 가장 낮은 농도인 0.78 mg ml^{-1} 까지 9개 농도를 설정하였다. 이후 파라필름을 이용해 페트리디시를 밀봉한 후 생육실 (HB-103, Hanbaek Co.)에서 광조건 16시간 30°C , 암조건 8시간 25°C 에 보관하였으며, 파종 후 1주일에 발아율 및 유근의 길이를 측정하였다. 실험은 완전임의배치법 3반 복으로 수행하였다. 수수지상부 추출물 처리에 따른 잡초

종자의 발아율을 50% 저해하는 농도(GR₅₀) 값은 Sigmaplot의 log-logistic 모델을 이용한 비선형회귀분석을 사용하여 구하였다(Seefeldt et al., 1995).

수수 지상부 추출물의 경엽처리 활성

본 실험은 충남대학교 농업생명과학대학 유리온실에서 수행하였으며, 완전임의배치법 3반복으로 수행하였다. 105구 트레이(7×15구)에 상토를 넣고 피, 바랭이, 어저귀, 털비름을 각각 파종한 후 트레이 받침을 통해 전면관수로 토양에 수분을 충분히 공급하였다. 추출물의 처리 농도는 동결건조한 수수 지상부 추출물 1g과 3차 증류수 5 ml의 비율로 혼합하여 0.2 g ml⁻¹ (w v⁻¹)로 하였다. 전착제의 종류에 따른 활성을 알아보기 위해 DOS70, LA9, LES270, LS270, PE52, SF90, TDE7, TM15, Tween20, Tween80, Tween81와 같은 전착제 11개를 선정하여 0.5%의 농도로 혼합하여 사용하였다. 피, 바랭이, 어저귀, 털비름이 2-3엽기에 5000 L ha⁻¹의 양으로 처리하였다. 약제처리 1주일 후에 지상부를 수확하였으며 건물중을 측정하여 무처리에 대한 비율로 방제가를 계산하였다.

결과 및 고찰

수수 지상부 분말의 잡초생장 억제효과

토양과 수수 지상부 분말의 혼합처리결과 수수 분말의 비율이 증가함에 따라 피, 바랭이, 어저귀, 털비름의 발아율, 초장, 건물중이 감소하였다(Table 1). 수수 분말의 비율 40% 까지는 잡초의 발아 억제율이 10% 미만으로 낮게 나타났으며 수수 분말의 비율을 80%로 높였을 때는 40% 정도의 발아 억제율을 보였다. 피, 바랭이, 어저귀의 경우 발아한 개체들의 초장은 수수 분말의 비율이 증가함에 따라 20-25%까지 억제되었으나 털비름의 경우 초장이 55%까지 억제되었다. 수수 지상부 분말처리 후 발생한 잡초의 지상부 건물중을 측정하여 비교해 볼 때 제초효과는 피에서 가장 낮은 것으로 나타났으며 털비름에서 가장 높게 나타났다. Yu and Chung (1997)의 연구에 따르면 수수 지상부 분말 처리가 바랭이의 발아억제에 큰 효과가 없었지만, 강아지풀, 털진득찰, 개비름, 까마중에 대해서는 높은 방제효과를 보였다고 보고하였다. 토양과 수수 지상부 분말의 혼합처리에 따른 주요 잡초들의 발아율과 초장, 건물중 결과

Table 1. Effect of dried sorghum shoot powder mixed in soil on the germination and growth of several weed species in growth chamber experiment.

Weed species	Treatment ^z (%)	Germination rate (%)	Shoot length (cm)	Shoot dry weight (g)	Herbicidal efficacy (%)
<i>Echinochloa crus-galli</i>	0	100.0	13.2	0.023	-
	20	86.6	12.0	0.020	13.0
	40	90.9	12.1	0.022	4.3
	60	86.6	10.4	0.018	21.7
	80	63.3	10.5	0.019	17.4
<i>Digitaria ciliaris</i>	0	100.0	7.0	0.018	-
	20	93.3	6.8	0.016	11.1
	40	90.0	6.8	0.016	11.1
	60	70.0	5.5	0.015	16.7
	80	70.0	5.2	0.013	27.8
<i>Abutilon theophrasti</i>	0	100.0	8.1	0.017	-
	20	96.6	7.2	0.016	5.9
	40	90.0	7.1	0.015	11.8
	60	60.0	6.6	0.012	29.4
	80	63.3	6.5	0.012	29.4
<i>Amaranthus retroflexus</i>	0	100.0	3.3	0.012	-
	20	90.3	2.5	0.010	16.7
	40	90.0	2.8	0.011	8.3
	60	70.3	1.4	0.008	33.3
	80	60.6	1.5	0.008	33.3

^zVolume percentage of dried sorghum shoot powder to soil. Mixture of soil and dried sorghum shoot powder was layered 2 cm above the soil.

Table 2. Effect of aqueous extract of dried sorghum shoot powder mixed in soil on the germination of several weed species in growth chamber experiment. Inhibition of germination of four weed species as affected by concentrations of sorghum shoot extracts in growth chamber study.

Aqueous extract (mg ml ⁻¹)	Inhibition of germination (%) ^z				
	<i>Echinochloa crus-galli</i>	<i>Digitaria ciliaris</i>	<i>Abutilon theophrasti</i>	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Average
0.78	0.0±0.0	3.3±4.5	24.0±4.7	6.4±3.4	8.4±1.0
1.56	0.0±0.0	5.0±4.4	36.0±4.0	6.5±2.8	11.9±1.5
3.12	0.0±0.0	28.6±24.0	44.3±26.7	22.4±3.4	23.8±13.3
6.25	0.0±0.0	45.7±18.7	54.4±24.8	35.2±4.4	33.8±10.7
12.5	0.0±0.0	70.6±21.3	79.8±19.3	72.2±20.1	55.7±13.5
25	8.9±11.3	88.0±16.6	94.9±7.2	96.4±1.8	72.1±8.1
50	33.3±20.2	97.6±4.2	99.4±1.0	100.0±0.0	82.6±6.3
100	93.9±7.9	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0	98.5±2.0
200	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0

^zThe values are the mean ± SD.

Table 3. Effect of various adjuvants on the herbicidal efficacy of aqueous extract of dried sorghum shoot powder at foliar treatment to several weed species.

Adjuvants ^z	Efficacy of weed control (%) ^z				
	<i>Echinochloa crus-galli</i>	<i>Digitaria ciliaris</i>	<i>Abutilon theophrasti</i>	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Average
DOS70	41.0±3.58	48.3±1.61	66.8±0.57	43.3±2.90	58.0±0.43
TM15	42.6±1.40	55.0±1.84	50.2±0.43	40.0±2.68	49.0±1.02
TDE7	37.7±1.24	41.7±1.39	53.6±0.46	40.0±2.68	48.2±1.00
LES270	4.6±1.71	13.3±0.45	58.7±0.50	60.0±4.02	41.5±0.95
SF90	3.3±0.11	48.3±1.61	52.8±0.45	10.0±0.67	40.9±0.85
LS270	3.3±0.11	53.3±1.78	44.3±0.38	43.3±2.90	39.1±0.81
Tween81	8.3±0.70	28.3±0.95	57.9±0.49	20.0±1.34	37.8±0.78
LA9	52.5±3.20	43.3±1.45	27.2±0.23	6.7±0.45	32.1±0.11
Tween80	24.6±0.81	8.3±0.28	38.7±0.33	36.7±2.46	31.6±0.66
Tween20	39.3±1.29	25.0±0.83	18.7±0.16	10.0±0.67	22.3±0.46
PE52	39.3±1.29	23.3±0.78	4.3±0.04	40.0±2.68	15.5±0.32
No adjuvant	0.0±0.00	18.3±0.61	37.9±0.32	40.0±2.68	29.0±0.60

^zThe values are the mean ± SD.

를 종합적으로 볼 때 단일 처리에 의한 효과적인 잡초방제를 기대하기는 어려울 것으로 판단된다. Yu and Chung (1997)의 연구결과와 상이한 것은 수수품종, 분말상태와 처리심도, 관수방법 등 여러 가지 요인이 있을 수 있으며 향후 최적조건을 구명할 필요가 있다.

수수 지상부 물 추출물의 잡초종자 발아억제효과

수수 지상부 물 추출물을 이용한 잡초의 발아억제효과를 화분과 잡초인 피와 바랭이, 광엽잡초인 어저귀와 털비름

을 대상으로 조사해 보았다. 추출물 100 mg ml⁻¹ 이상의 농도에서 피의 발아율은 90%이상 저해되었으나 50 mg ml⁻¹ 이하의 농도에서는 발아억제효과가 크게 떨어졌다(Table 2). 바랭이, 어저귀, 털비름의 경우는 비슷한 발아억제 경향을 보였으며, 25 mg ml⁻¹의 농도에서도 90% 정도의 높은 발아억제 효과를 나타냈다. 추출물의 농도에 따른 발아율 억제 결과를 통해 피, 바랭이, 어저귀, 털비름에 대한 GR₅₀ 값을 구한 결과 각각 58.9, 6.7, 7.5, 8.6 mg ml⁻¹로 나타났다. 이러한 결과로 보았을 때, 수수 지상부에는 잡초의 발아를 억

제하는 allelochemical이 포함되어 있으며 분말형태로 토양에 혼화처리했을 경우 이러한 성분의 용출 속도와 농도가 낮아 발아억제효과가 떨어지는 반면(Table 1), 수수 지상부에서 allelochemical을 추출하여 농축시켜 처리할 경우 상당히 높은 주요 잡초종의 발아억제 효과를 볼 수 있었다.

수수 지상부 물 추출물의 경엽처리 활성

제초활성물질의 물리화학적 특성에 따라 전착제의 종류도 달라져야 한다. 수수지상부 추출물(200 mg ml⁻¹)의 경엽처리 활성을 높이기 위해 11개의 전착제를 선발하여 0.5%의 농도로 추출물과 함께 처리하였으며 전착제를 사용하지 않은 처리구와 활성을 비교하였다.

대부분의 전착제의 경우 40%이하의 낮은 방제율을 보였으며, DOS70, TM15, TDE7에서는 48%이상의 상대적으로 높은 방제효과를 보였다. 특히 DOS70의 경우 평균적으로 58%로 가장 높은 방제효과를 보였다. 그러나 Tween20과 PE52의 경우는 피, 바랭이, 어저귀, 털비름에 대한 평균 방제율이 전착제를 처리하지 않았을 때의 평균 방제율(29%)보다 낮게 나타났다(Table 3). 한편 피와 바랭이의 경우는 TM15, 어저귀의 경우는 DOS70, 털비름의 경우 LES270에서 가장 높은 방제효과를 보였다. LA9의 경우는 화분과 잡초인 피와 바랭이에 효과적인 반면 광엽잡초인 어저귀와 털비름에는 효과가 낮은 것으로 나타났다.

이러한 결과는 Won (2011)의 연구와 비교해 볼 때 경엽처리 제초활성이 낮은 것으로, 추출과정이나 동결건조 과정에서 제초활성 물질의 감소, 수수품종에 따른 제초활성 물질의 차이 등이 원인으로 판단된다.

상업적으로 이용되고 있는 유기합성 제초제의 발아억제 및 경엽처리효과와 비교해 볼 때 수수 지상부 분말의 잡초생장억제효과와 수수 추출물의 발아억제 및 경엽처리효과는 미비하였지만 수수 부산물을 장기적으로 꾸준히 처리한다면 친환경농경지에서 잡초종자를 지속적으로 제거하거나 잡초밀도를 점진적으로 경감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

본 연구는 수수 지상부 부산물을 이용하여 제초활성을 검정하며 생물제초제로서의 개발 가능성을 알아보고자 수행되었다. 수수 지상부 분말을 토양과 혼합하여 처리했을 때 피, 바랭이, 어저귀, 털비름의 발아 억제율은 최대 40% 정도였으며 발아한 개체들의 지상부 생육억제율은 광엽잡초인 어저귀와 털비름에서 최대 30%, 화분과잡초인 피와 바랭이에서는 30% 이하로 낮게 나타났다. 수수 지상부 추출물의 발아억제 효과는 피를 제외한 바랭이, 어저귀, 털비

름에서는 25 mg ml⁻¹ 이상의 농도에서 크게 나타났으며, 50%의 발아를 저해하는 농도가 피에서는 60 mg ml⁻¹였으나 나머지 세 초종에서는 10 mg ml⁻¹ 이하로 작게 나타났다. 경엽처리활성을 높이기 위해 선발한 11개 전착제 중 DOS70, TM15, TDE7이 가장 효과적인 것으로 나타났으며, 그 중 DOS70는 주요 잡초종을 60%까지 방제할 수 있었다. 비록 수수 지상부 부산물의 잡초방제효과가 크지는 않은 것으로 나타났지만 장기적인 처리에 의한 잡초종자 및 개체밀도의 점진적인 경감이 기대된다.

주요어: Allelopathy, 잡초방제, 추출물, 수수 지상부

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project title: “Development of bio-herbicide using a grain sorghum by-product exudates”, Project No. PJ0113072015)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Dykes, L. and Rooney, L.W. 2006. Sorghum and millet phenols and antioxidants. *J. Cereal Sci.* 44:236-251.
- Kim, H.Y., Choi, H.J., Yu, Y.M., Heo, S.J., Lim, S.H., et al. 2003. Plant-derived herbicidal compounds. *Kor. J. Weed Sci.* 23(3):190-212. (In Korean)
- Kim, S.M., Heo, S.J., Yong, S.H., Kim, J.S. and Hur, J.H. 2001. Natural compounds as leads for novel herbicides. *Kor. J. Weed Sci.* 21(3):199-212. (In Korean)
- Ku, Y.C., Im, I.B., Kim, S.D., Kim, S.C. and Guh, J.O. 2001. Weed management strategy for Sustainable agriculture. *Kor. J. Weed Sci.* 21(2):191-198. (In Korean)
- Netzly, D.H. and Butler, L.G. 1986. Roots of sorghum exude hydrophobic droplets containing biologically active components. *Phytochem.* 59:775-778.
- Putnam, A.R. 1988. Allelochemicals from plants as herbicides. *Weed Technol.* 2:510-518.
- RDA (Rural Development Administration, National Institute of Crop Science). 2009. The culture and information of minor cereals. A Book Concern Milyang Co., Ltd., Milyang, Korea. pp. 8-14. (In Korean)
- Revathi, K., Haribabu, T.E. and Sudha, P.N. 2011. Phytoremediation of chromium contaminated soil using sorghum plant. *Int. J. Environ. Sci.* 2(2):417-428.

- Seefeldt, S.S., Jensen, J.E. and Feurst, E.P. 1995. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. *Weed Tech.* 9:218-227.
- Won, O.J. 2011. Herbicidal activity of leaf extracts of Sorghum (*sorghum bicolor*). MS Diss., CNU Univ., Daejeon, Korea. (Diss. Abstr. 1-77)
- Won, O.J., Uddin, M.R. and Pyon, J.Y. 2011. Herbicidal activity and crop injury of aqueous extracts of sorghum leaves. *CNU J. Agric Sci.* 38(2):191-198.
- Yoon, S.T., Kim, T.H., Nam, J.C., Kim, T.Y., Kim, H.R., et al. 2012. Comparison of functional materials in organic cultivated minor cereal crops. *Kor. J. Organic Agri.* 20(4):619-630. (In Korean)
- Yu, C.Y., Chang, B.H., Cho, D.H., Ahn, S.D., Kim, E.H., et al. 1994. In vitro bioassay for allelopathic substances of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *J. Oriental Bot. Res.* 7(2):115-120.
- Yu, C.Y. and Chung, I.M. 1997. The evaluation of allelopathic potential barley and sorghum residues on germination and early growth of some weeds. *Kor. J. Environ. Agric.* 16(1):67-71. (In Korean)
- Yun, E.S., Jung, K.Y., Park, C.Y., Hwang, J.B., Choi, Y.D., et al. 2012. Characteristics of nutrient uptake and stubble regrowth of grain sorghum in plastic film house. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 45(6):992-997. (In Korean)