

不同大豆 (*Glycine max*) 品种对根寄生杂草瓜列当 (*Orobanchae aegyptiaca*) 种子萌发的诱导作用

张 维¹, 马永清^{1,2}, 郝智强¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:以 10 个东北大面积推广的大豆品种(北豆 18、绥农 10、丰豆 3、黑农 28、东豆 339、中黄 13、合丰 55、垦鉴豆 35、黑农 44 和垦丰 16) 为材料, 采用盆栽试验探索大豆在不同生育时期(V1、V3、V5、R2 和 R4) 的根际土、根、茎和叶的甲醇提取液对瓜列当种子萌发的刺激效果。结果表明: 不同大豆品种的甲醇提取液对瓜列当的诱导效果存在显著差异; 中黄 13 的根际土对瓜列当的刺激作用显著高于其它品种; 大豆 V3 和 V5 期的植株提取液对瓜列当的诱导作用最强; 大豆的根、茎和叶对瓜列当的诱导效果为根 > 茎 > 叶。在瓜列当危害区, 大豆可以作为瓜列当的“诱捕”作物。

关键词:大豆; 瓜列当; “诱捕”作物; 甲醇提取液; 发芽

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2012)06-0956-05

Orobanchae aegyptiaca Seeds Germination Induced by Different Soybean (*Glycine max*) Varieties

ZHANG Wei¹, MA Yong-qing^{1,2}, HAO Zhi-qiang¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: Methanolic extracts of rhizosphere soils and plant tissues (roots, stems and leaves) from ten soybean varieties (Beidou 18, Suinong 10, Fengdou 3, Heinong 28, Dongdou 339, Zhonghuang 13, Hefeng 55, Kenjiandou 35, Heinong 44 and Kenfeng 16) were collected to research their allelopathic potential on stimulating *O. aegyptiaca* seeds germination at different growth stages (V1, V3, V5, R2 and R4) under pot experimental condition. The results displayed that there was a significant difference among soybean varieties on inducing *O. aegyptiaca* seeds germination. Rhizosphere soils of Zhonghuang 13 induced significantly higher germination rates of *O. aegyptiaca* than the other varieties. The soybean samples collected at V3 and V5 induced higher germination than the other stages. Seeds germination rates induced by methanolic extracts of roots were higher than that of stems and leaves. In conclusion, soybean could be used as a trap crop for *O. aegyptiaca* in the infected field.

Key words: *Glycine max*; *Orobanchae aegyptiaca*; Trap crop; Methanolic extracts; Germination

列当 (*Orobanchae spp.*) 是一种寄生在高等植物根部的全寄生性杂草, 具有极强的适应性^[1]。列当的生活史复杂, 包括种子的发芽、吸器的形成、吸器与寄主根部的相连、寄生关系的形成以及种子的产生^[2]。列当种子轻而小, 单个花序能够产生 50 万粒种子, 未发芽的种子能够在土壤中存活 20 年之久^[3]。列当寄生在寄主作物的根部, 因此通常在列当植株出土前已对寄主作物造成巨大伤害, 目前尚没有有效的方法来控制列当杂草的危害。

瓜列当主要危害瓜类和番茄等作物, 据报道, 被瓜列当寄生的西瓜、甜瓜和番茄分别减产 50%、13% ~ 52% 和 15%^[4]。向日葵被列当寄生后, 植株生长缓慢、株高下降、产量和品质降低, 严重时花盘枯萎凋落, 并导致全株枯死^[5]。目前对列当的防除

方法包括人工拔除、调整播种期^[6] 和使用除草剂^[7-8] 等。寄主植物和非寄主植物都能够产生一些发芽刺激物质, 从而诱导列当种子萌发^[11-12]。寄主植物所产生的发芽刺激物质能够刺激列当种子萌发并且使寄主和列当之间形成寄生关系, 最终产生列当种子。而非寄主植物能够产生发芽刺激物质但并不与列当形成寄生关系, 这类非寄主植物通常称之为“诱捕”作物。发芽却不能被寄生的列当种子会发生“自杀”发芽, 从而降低土壤中列当的种子库^[13]。Lins 等^[10] 应用不同的小麦品种作为“诱捕”作物, 有效地降低了小列当的寄生率。Fenández-Aparicio 等^[14] 将燕麦与蚕豆间作, 显著降低了圆齿列当 (*Orobanchae crenata*) 的寄生。Odhiambo 等^[15] 采用大豆与玉米 (*Zea mays*) 间作, 有效地降低了玉

收稿日期: 2012-07-29

基金项目: “十二五” 国家科技计划课题 (2011BAD31B05)。

第一作者简介: 张维 (1988-), 女, 在读硕士, 研究方向为植物化感作用。E-mail: zwei1224@gmail.com。

通讯作者: 马永清 (1963-), 男, 教授, 博士, 主要从事植物化感作用与寄生植物生理生态研究。E-mail: mayongqing@ms.iswc.ac.cn。

米上独脚金(*Striga hermonthica*)的寄生,同时也提高了玉米的产量。

Yoneyama 等^[16]研究表明大豆的根系分泌物中存在列当醇的乙酸盐(*Orobanchyl acetate*),它是一种独脚金内酯类化合物。独脚金内酯类化合物(*Strigolactones*)是天然存在的能够刺激列当属植物种子萌发的发芽诱导物质。本文探讨了不同大豆品种在 5 个生育时期不同部位的甲醇提取液对瓜列当种子萌发的诱导作用,旨在研究大豆作为瓜列当“诱捕”作物的可行性。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2010 年在中国科学院宁夏回族自治区固原生态试验站内进行,10 个大豆品种(北豆 18、绥农 10、丰豆 3、黑农 28、东豆 339、中黄 13、合丰 55、垦鉴豆 35、黑农 44 和垦丰 16)购于黑龙江省双鸭山市。瓜列当种子于 2008 年采于新疆生产建设兵团农十一师加工番茄大田中。独脚金醇(*Strigol*)由日本宇都宫大学米山弘一教授提供。大豆在室外盆栽种植,试验用盆为高 25 cm,半径 20 cm 的火箭盆(中科环境工程有限公司)。6 月 22 日播种,每个品种 15 盆,每盆播种 10 粒,出苗后每盆保苗 6 株。将每个品种的 15 盆随机分为 3 组,作为 3 次重复。每个品种分 5 个时期取样,根据 Fehr 等^[17]对大豆生育时期的划分方法,取样时期分别为 V1(7 月 6 日)、V3(7 月 13 日)、V5(7 月 24 日)、R2(8 月 3 日)和 R4(8 月 13 日)。取样时,每个品种取 3 盆,分别采集根际土、根、茎和叶。

1.2 试验方法

1.2.1 样品制备 根际土采用抖土法^[18]取样,即在不伤害大豆根系的基础上,将靠近大豆根系的土抖落,过 1 mm 筛以去除土壤中的石块和根。大豆的根、茎和叶采集后放于冰箱中,用冻干机冻干,粉碎待用。

1.2.2 根际土提取液的制备 称取 5 g 根际土于三角瓶中,加入 10 mL 甲醇,超声波处理 30 min 后过滤,此为根际土原液(100% 根际土提取液,0.5 g·mL⁻¹),然后将原液稀释 10 倍(10% 根际土提取液,0.05 g·mL⁻¹)和 100 倍(1% 根际土提取液,0.005 g·mL⁻¹)。

1.2.3 根、茎、叶提取液制备 分别称取 0.1 g 粉碎样品于 1.5 mL 离心管中,加入 1 mL 甲醇,超声波处理 30 min 后离心,此为提取液的原液(100% 提

取液,0.1 g·mL⁻¹),然后将原液稀释 10 倍(10% 提取液,0.01 g·mL⁻¹)和 100 倍(1% 提取液,0.001 g·mL⁻¹)。

1.2.4 提取液的生物测试 试验在超净工作台内进行。每次用移液枪吸取 40 μL 提取液置于培养皿中直径 8 mm 的玻璃纤维滤纸上,待甲醇挥发后,将放有 30~40 粒瓜列当种子的相同大小的玻璃纤维滤纸盖于其上,再加入 40 μL 无菌水,每个浓度 3 次重复,培养皿用 Parafilm 封口膜密封,置于 25℃ 的恒温培养箱中培养 10 d 后,在 20×16 倍的显微镜下观察并统计瓜列当种子的发芽率。试验过程中采用 1 mg·L⁻¹的独脚金醇和无菌水作为瓜列当种子萌发的正对照和负对照,根际土提取液另外取与供试条件相同且不种植大豆的土壤为空白对照。

1.3 数据分析

所有数据均采用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 大豆根际土甲醇浸提液对瓜列当种子萌发的影响

由表 1 可知,除 V3 外,V1、V5、R2 和 R4 期的根际土甲醇浸提液刺激瓜列当种子萌发的发芽率均低于 10%。在 V3 期,除绥农 10、丰豆 3 和黑农 28 外,其他品种随着根际土提取液浓度的降低,瓜列当的发芽率降低。不同大豆品种的根际土刺激瓜列当种子萌发的发芽率间存在显著差异。发芽率超过 15% 的处理包括北豆 18 的 100% 根际土提取液、中黄 13 的 100% 和 10% 根际土提取液、垦鉴豆 35 的 100% 根际土提取液,其它品种的根际土提取液处理下瓜列当发芽率较低。在 V3 期 1% 和 10% 提取液的作用下,中黄 13 对瓜列当的刺激作用显著高于其他品种。

2.2 大豆根甲醇浸提液对瓜列当种子萌发的影响

由表 2 可知,V3 和 V5 期大豆根提取液刺激瓜列当的发芽率高于 V1、R2 和 R4 期。大多数品种的 1% 根提取液刺激瓜列当的发芽率低于 10% 根提取液。发芽率超过 30% 的根提取液处理包括 V3 期黑农 44(10%)、V5 期绥农 10(1%)、东豆 339(10%)、中黄 13(1% 和 10%)、合丰 55(10%)、垦鉴豆 35(10%)、黑农 44(1% 和 10%)。各大豆品种 100% 根提取液刺激瓜列当的发芽率均低于 5% 提取液(表中未列出)。不同大豆品种的根提取液刺激瓜列当种子萌发的发芽率间存在显著差异。

表1 大豆在不同生育时期的根际土甲醇提取液刺激瓜列当种子的发芽率

Table 1 *O. aegyptiaca* seeds germination induced by methanolic extracts of soybean rhizosphere soils at different growth stages(%)

品种 Varieties	生育时期 Growth stages														
	V1			V3			V5			R2			R4		
	1%	10%	100%	1%	10%	100%	1%	10%	100%	1%	10%	100%	1%	10%	100%
北豆 18 Beidou 18	0	0	0	7.7 bc	8.7 b	19.9 a	0	0.4 a	2.4 ab	0	0	1.7 a	0	0	0.8 a
绥农 10 Suinong 10	0	0	0	6.6 cd	0.4 f	8.3 b	0	0.7 a	0.7 b	0	0	0.3 a	0	0	0 a
丰豆 3 Fengdou 3	0	0	0	3.9 de	3.5 cde	2.3 c	0	2.7 a	4.2 ab	0	0	0 a	0	0	0.4 a
黑农 28 Heinong 28	0	0	0	0.4 e	1.2 ef	0.9 c	0	0 a	0.9 b	0	0	0 a	0	0	1.7 a
东豆 339 Dongdou 339	0	0	0	3.3 de	5.7 c	8.4 b	0	2.5 a	6.0 a	0	0	0.8 a	0	0	0.4 a
中黄 13 Zhonghuang 13	0	0	0	13.6 a	18.3 a	18.8 a	0	0.5 a	1.0 b	0	0	1.6 a	0	0	1.1 a
合丰 55 Hefeng 55	0	0	0	1.8 e	4.0 cd	12.0 b	0	0.4 a	1.8 ab	0	0	0.3 a	0	0	0.5 a
垦鉴豆 35 Kenjiandou 35	0	0	0	10.4 b	10.8 b	17.7 a	0	0.4 a	2.0 ab	0	0	2.3 a	0	0	0.7 a
黑农 44 Heinong 44	0	0	0	0.7 e	1.0 ef	2.7 c	0	1.1 a	0.5 b	0	0	0 a	0	0	0 a
垦丰 16 Kenfeng 16	0	0	0	1.4 e	2.5 def	8.2 b	0	0 a	0.7 b	0	0	2.4 a	0	0	0 a

表中 100% 表示大豆根际土 0.5 g·mL⁻¹ 原液提取液, 1% 和 10% 分别表示原液的 100 倍稀释液和 10 倍稀释液; 表中同列数字后不同字母表示显著差异 ($P < 0.05$)。

100% means the concentration of 0.5 g·mL⁻¹ for the original extracts of rhizosphere soils, 1% and 10% mean 100-fold and 10-fold diluted solution of the original extracts. Data are shown as mean of three repetitions, values with different letters in the same column indicate a significant difference at $P < 0.05$ level according to Duncan's test.

表2 大豆在不同生育时期的根甲醇提取液刺激瓜列当种子的发芽率

Table 2 *O. aegyptiaca* seeds germination induced by methanolic extracts of soybean roots at different growth stages(%)

品种 Varieties	生育时期 Growth stages									
	V1		V3		V5		R2		R4	
	1%	10%	1%	10%	1%	10%	1%	10%	1%	10%
北豆 18 Beidou 18	8.1 b	22.5 a	17.3 bc	27.6 ab	17.7 f	25.1 e	4.9 ab	11.2 abc	6.8 d	12.7 cde
绥农 10 Suinong 10	6.9 bc	4.8 cd	10.3 e	19.8 cd	39.8 a	28.4 cde	6.9 ab	11.8 abc	6.4 d	16.7 bc
丰豆 3 Fengdou 3	0.3 c	1.2 d	10.9 de	18.6 d	19.2 ef	29.5 cd	8.5 ab	8.6 cd	15.7 a	16.1 bc
黑农 28 Heinong 28	0 c	2.1 d	16.8 bcd	22.6 bcd	21.6 def	26.8 de	3.9 ab	6.5 d	9.4 bcd	11.8 de
东豆 339 Dongdou 339	6.4 bc	9.4 c	11.5 cde	15.7 d	29.9 bc	31.7 bc	9.0 ab	10.3 abcd	13.1 ab	24.0 a
中黄 13 Zhonghuang 13	10.0 b	17.3 b	10.2 e	15.9 d	32.3 bc	34.7 ab	10.1 a	9.1 bcd	13.4 ab	19.9 b
合丰 55 Hefeng 55	7.6 bc	8.5 c	20.1 ab	25.6 bc	26.6 bcd	31.3 bcd	7.8 ab	13.7 ab	14.5 ab	14.7 cd
垦鉴豆 35 Kenjiandou 35	19.1 a	24.0 a	12.9 cde	6.3 e	26.6 bcd	31.1 bcd	7.4 ab	14.5 a	7.6 cd	11.5 de
黑农 44 Heinong 44	20.3 a	24.2 a	25.3 a	32.6 a	33.1 b	38.2 a	2.0 b	6.1 d	12.4 abc	13.8 cd
垦丰 16 Kenfeng 16	7.7 b	2.2 d	23.8 a	22.4 bcd	25.6 cde	18.7 f	6.9 ab	12.4 abc	5.1 d	9.3 e

表中 100% 表示 0.1 g·mL⁻¹ 原液提取液, 1% 和 10% 分别表示原液的 100 倍稀释液和 10 倍稀释液; 表中同列数值后不同字母间存在显著差异 ($P < 0.05$)。下表同。

100% means the concentration of 0.1 g·mL⁻¹ for the original extracts of roots, 1% and 10% mean 100-fold and 10-fold diluted solution of the original extracts. Data are shown as mean of three repetitions, values with different letters in the same column indicate a significant difference at $P < 0.05$ level according to Duncan's test. The same below.

2.3 大豆茎甲醇浸提液对瓜列当种子萌发的影响

与根提取液类似, 大豆 100% 茎提取液对瓜列当的刺激作用可以忽略。由表 3 可知, 在 V1、V3、R2 和 R4 期, 各大豆品种的茎提取液处理瓜列当的发芽率均低于 30%。而 V5 期, 发芽率超过 30% 茎提取液处理包括北豆 18 (1% 和 10%)、绥农 10 (1%)、中黄 13 (1% 和 10%)、合丰 55 (1%)、垦鉴豆 35 (10%)。不同品种大豆的茎提取液刺激瓜列

当种子萌发的发芽率间存在显著差异。

2.4 大豆叶甲醇浸提液对瓜列当种子萌发的影响

大豆 100% 叶提取液同样不能刺激瓜列当种子的萌发。由表 4 可知, 仅 V1 期叶浸提液对瓜列当的刺激作用较强, 其它时期较弱。1% 叶提取液刺激瓜列当的发芽率高于 10% 叶提取液。不同品种大豆的叶提取液刺激瓜列当种子萌发的发芽率间存在显著差异。

表 3 大豆在不同生育时期的茎甲醇提取液刺激瓜列当种子的发芽率
Table 3 *O. aegyptiaca* seeds germination induced by methanolic extracts of soybean stems at different growth stages(%)

品种 Varieties	生育时期 Growth stages									
	V1		V3		V5		R2		R4	
	1%	10%	1%	10%	1%	10%	1%	10%	1%	10%
北豆 18 Beidou 18	10.8 c	12.1 abc	5.8 ab	9.9 ab	43.3 a	37.6 a	0 c	0 e	1.2 a	0 c
绥农 10 Suinong 10	3.4 def	12.8 abc	5.7 ab	9.6 ab	44.8 a	25.8 abc	14.5 b	6.8 c	1.5 a	0.9 bc
丰豆 3 Fengdou 3	4.3 de	15.9 ab	7.0 ab	6.4 ab	29.4 bcd	29.2 bc	1.8 c	1.7 d	1.6 a	2.1 abc
黑农 28 Heinong 28	5.6 d	1.6 ef	8.8 a	9.2 ab	22.7 cd	13.4 e	0 c	0 e	0.8 a	0.4 c
东豆 339 Dongdou 339	14.9 b	8.2 cde	9.4 a	9.2 ab	20.0 d	20.7 d	0 c	0 e	2.5 a	4.0 a
中黄 13 Zhonghuang 13	0 f	0 f	2.2 b	5.2 b	32.9 b	31.0ab	0 c	0 e	0.4 a	0.5 c
合丰 55 Hefeng 55	19.9 a	9.0 bcd	7.7 a	11.1 a	31.2 bc	26.7 bcd	0 c	1.1 de	0 a	0 c
垦鉴豆 35 Kenjiandou 35	1.8 ef	8.7 cd	9.5 a	10.2 a	29.0 bcd	37.4 a	0 c	0 e	0 a	0 c
黑农 44 Heinong 44	1.3 ef	4.0 def	7.0 ab	9.7 ab	27.7 bcd	19.3 de	11.6 b	13.1 b	1.2 a	1.2 abc
垦丰 16 Kenfeng 16	12.6 bc	18.6 a	2.1 b	0.2 c	27.2 bcd	23.3 cd	27.5 a	35.9 a	2.2 a	3.7 ab

表 4 大豆在不同生育时期的茎甲醇提取液刺激瓜列当种子的发芽率
Table 4 *O. aegyptiaca* seeds germination induced by methanolic extracts of soybean leaves at different growth stages(%)

品种 Varieties	生育时期 Growth stages									
	V1		V3		V5		R2		R4	
	1%	10%	1%	10%	1%	10%	1%	10%	1%	10%
北豆 18 Beidou 18	29.5 a	8.2 bcd	0 f	0 c	6.0 c	4.2 ab	0	0	0	0
绥农 10 Suinong 10	22.1 bc	14.6 a	1.6 ef	0 c	9.2 bc	4.3 ab	0	0	0	0
丰豆 3 Fengdou 3	24.4 ab	10.6 ab	0.5 ef	0.7 c	11.2 b	5.9 a	0	0	0	0
黑农 28 Heinong 28	22.1 bc	3.3 e	9.2 bc	1.7 bc	0 d	0 d	0	0	0	0
东豆 339 Dongdou 339	8.9 e	4.6 de	11.3 b	5.5 abc	0 d	1.9 bcd	0	0	0	0
中黄 13 Zhonghuang 13	16.9 cd	9.8 bc	4.3 de	8.7 a	5.2 c	2.2 bcd	0	0	0	0
合丰 55 Hefeng 55	17.0 cd	9.7 bc	6.9 cd	6.2 ab	20.4 a	1.2 cd	0	0	0	0
垦鉴豆 35 Kenjiandou 35	18.6 bcd	10.8 ab	16.9 a	7.4 a	0 d	0 d	0	0	0	0
黑农 44 Heinong 44	15.7 d	5.3 cde	5.5 cd	4.2 abc	0 d	0 d	0	0	0	0
垦丰 16 Kenfeng 16	24.4 ab	9.8 bc	0 f	0.5 c	0 d	3.2 bc	0	0	0	0

3 结论与讨论

试验过程中,独脚金醇处理瓜列当种子的发芽率为 49.2%,而无菌水和空白土不能刺激瓜列当种子萌发,由此说明大豆根际土和植株提取液中存在能够刺激瓜列当种子萌发的发芽刺激物质。大豆根际土提取液对瓜列当种子的刺激作用仅在 V3 期和 V5 期,且发芽率较高。这说明大豆在不同生育时期释放化感物质的能力有所差异,这可能与自身的遗传特性有关。董淑琦等^[19]研究表明拔节期的小麦根际土甲醇浸提液处理小列当种子的发芽率最高,而郎明等^[20]证明二叶一心期的棉花根际土和植株提取液处理小列当种子的发芽率最高。到目前为止,天然存在的列当发芽刺激物质都是在根际分泌物中发现的。由于部分品种大豆根际土刺激瓜列当种子萌发的发芽率较高,包括中黄 13 和北豆 18,可进一步试验验证大豆在瓜列当危害严重区作为其“诱捕”作物的效果。根际分泌物中存在的发芽刺激物质能够诱导土壤中瓜列当产生“自杀”发芽,从而能够减少土壤中瓜列当的种子量,进而

有效避免因土壤中瓜列当种子过多而产生的恶性循环。研究发现,植物的根际分泌活动与土壤结构、颗粒类型、土壤含水量和缓冲能力有关^[21]。而且,植物在受到营养胁迫时根际分泌物的量会增加^[22]。本试验中根际土诱导瓜列当发芽率较低的原因可能是盆栽条件较为优越,植物本身释放的次生代谢产物较少。

10% 大豆根提取液 V5 和 V3 期的刺激效果高于其它时期,可以推测 V5 和 V3 期大豆根部积累的发芽刺激物质较多。根部积累的发芽刺激物质的量高于根际土。研究指出,列当的发芽刺激物质是由植物根部合成,之后运输到植物地上和根际部位^[23]。因此,茎和叶中的发芽刺激物质含量少于根部。同时,由于大豆营养生长期的生长速度较快,运送到大豆地上植株的发芽刺激物质也较多。因此,大豆的茎和叶提取液在 V1、V3 和 V5 期对瓜列当的诱导作用更强。

根、茎和叶提取液 100% 浓度处理刺激瓜列当的发芽率低于 10% 和 1% 浓度处理,可能是由于浓度过高所产生的抑制作用,即化感物质对受体种子

“低促高抑”的现象。同时,也可能是大豆植株中含有某种抑制瓜列当种子萌发的发芽抑制物质,但随着提取液被稀释,抑制作用减弱,从而导致低浓度的大豆植株提取液刺激瓜列当的发芽率较高。Leather^[24]早在1983年通过生物测试发现向日葵植株中不同部位存在的杂草发芽刺激物质不同,并且茎中的发芽抑制物质较多,其次是叶和根际分泌物。但本试验中这一结论有待于进一步研究证明。

在10个大豆品种中,中黄13的根际土对瓜列当的发芽刺激作用最强,可作为“诱捕”作物的优选品种。不同大豆品种的各个部分(根际土、根、茎、叶)刺激瓜列当的发芽率存在显著差异,其中根提取液的刺激作用最强。V3和V5期植物体内积累的瓜列当的发芽刺激物质较多,这两个时期可作为列当防除期。可以于主栽作物栽培前在列当发生地种植大豆,然后将大豆收割,使大豆根部释放出萌发刺激物,使土壤中的瓜列当种子“自杀”发芽,从而达到生物防除的目的。

参考文献

- [1] Musselman L J. The biology of *Striga*, *Orobanche*, and other root-parasitic weeds [J]. Annual Review of Phytopathology, 1980, 18 (1): 463-489.
- [2] Bouwmeester H J, Matusova R, Zhongkui S, et al. Secondary metabolite signalling in host-parasitic plant interactions [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2003, 6 (4): 358-364.
- [3] Pieterse A. The broomrapes (*Orobanchaceae*): a review [J]. Abstract on Tropical Agriculture, 1979, 5: 9-35.
- [4] Press M C, Graves J D. Parasitic plants [M]. London: Chapman & Hall, 1993: 240.
- [5] 任文义, 李毅. 向日葵列当对向日葵主要经济性状的影响及防治方法研究 [J]. 河北农业大学学报, 1992, 15 (3): 63-66. (Ren W Y, Li Y. Study on the effect of *Orobanche cumana* W. on main economic properties of sunflower and its control [J]. Journal of Hebei Agricultural University, 1992, 15 (3): 63-66.)
- [6] Mesa-García J, García-Torres L. A competition index for *Orobanche crenata* Forsk. effects on broadbean (*Vicia faba* L.) [J]. Weed Research, 1985, 24 (6): 129-134.
- [7] Nadal S, Moreno M T, Román B. Control of *Orobanche crenata* in *Vicia narbonensis* by glyphosate [J]. Crop Protection, 2008, 27 (3-5): 873-876.
- [8] Jurado-Expósito M, García-Torres L, Castejón-Muñoz M. Broad bean and lentil seed treatments with imidazolinones for the control of broomrape (*Orobanche crenata*) [J]. The Journal of Agriculture Science, 1997, 129 (3): 307-314.
- [9] Rubiales D, Pérez-de-Luque A, Fernández-Aparicio M, et al. Screening techniques and sources of resistance against parasitic weeds in grain legumes [J]. Euphytica, 2006, 147 (1-2): 187-199.
- [10] Lins R D, Colquhoun J B, Mallory-Smith C A. Investigation of wheat as a trap crop for control of *Orobanche minor* [J]. Weed Research, 2006, 46 (4): 313-318.
- [11] Acharya B D, Khattri G B, Chettri M K, et al. Effect of *Brassica campestris* var. *toria* as a catch crop on *Orobanche aegyptiaca* seed bank [J]. Crop Protection, 2002, 21 (7): 533-537.
- [12] Matusova R, Rani K, Verstappen F W A, et al. The strigolactone germination stimulants of the plant-parasitic *Striga* and *Orobanche* spp. are derived from the carotenoid pathway [J]. Plant Physiology, 2005, 139 (2): 920-934.
- [13] Press M C, Graves J D. Parasitic plants [M]. London: Chapman & Hall, 1993: 262-263.
- [14] Fernández-Aparicio M, Sillero J C, Rubiales D. Intercropping with cereals reduces infection by *Orobanche crenata* in legumes [J]. Crop Protection, 2007, 26 (8): 1166-1172.
- [15] Odhiambo J A, Vanlauwe B, Tabu I M, et al. Effect of intercropping maize and soybeans on *Striga hermonthica* parasitism and yield of maize [J]. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2011, 44 (2): 158-167.
- [16] Yoneyama D, Sato Y, Takeuchi H, et al. Search for germination stimulants and inhibitors for root parasitic weeds [A]. In: Duke S O, Rimando A (Eds), Natural Products for Pest Management [C]. Oxford: ACS Symposium Series, 927. American Chemical Society, 2006: 88-98.
- [17] Fehr W R, Caviness C E. Stage of soybean development. Special Report 80. [M]. Iowa: Iowa State University, 1977.
- [18] Riley D, Barber S A. Bicarbonate accumulation and pH changes at the soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] root-soil interface [J]. Soil Science Society of America Journal, 1969, 33 (6): 905-908.
- [19] 董淑琦, 马永清, 税军峰, 等. 不同年代冬小麦品种根际土浸提液诱导小列当种子发芽的化感作用研究 [J]. 中国农业大学学报, 2009, 14 (2): 59-63. (Dong S Q, Ma Y Q, Shui J F, et al. Germination of *Orobanche minor* seeds as induced by rhizosphere soil extracts from winter wheat of different historical periods [J]. Journal of China Agricultural University, 2009, 14 (2): 59-63.)
- [20] 郎明, 马永清, 董淑琦, 等. 苗期棉花对向日葵列当种子萌发的诱导作用初探 [J]. 生态环境学报, 2011, 20 (1): 79-83. (Lang M, Ma Y Q, Dong S Q, et al. Allelopathic effect of cotton in seedling stage on sunflower broomrape [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2011, 20 (1): 79-83.)
- [21] Nye P H. On estimating the uptake of nutrients solubilized near roots or other surfaces [J]. European Journal of Soil Science, 1984, 35 (3): 439-446.
- [22] Bertin C, Yang X, Weston L A. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere [J]. Plant and Soil, 2003, 256 (1): 67-83.
- [23] Kohlen W, Charnikhova T, Liu Q, et al. Strigolactones are transported through the xylem and play a key role in shoot architectural response to phosphate deficiency in nonarbuscular mycorrhizal host arabidopsis [J]. Plant Physiology, 2011, 155 (2): 974-987.
- [24] Leather G R. Sunflowers (*Helianthus annuus*) are allelopathic to weeds [J]. Weed Science, 1983, 31 (1): 37-42.