

艾蒿对大豆种子萌发和根系生长的化感作用研究

徐芬芬, 杨平, 刘华伟, 王世成

(上饶师范学院 生命科学学院, 江西 上饶 334000)

摘要: 采用不同浓度(0, 12.5, 25.0, 50.0 g·L⁻¹)的艾蒿水浸提液处理 5 个大豆品种鹤丰、辽鲜、沪宁、毛豆 29-2 和韩国-45, 通过测定发芽率、发芽势、发芽指数、主根长、根毛区宽度和根毛密度等指标, 研究了艾蒿对不同品种大豆种子萌发和根系生长的化感作用。结果表明: 艾蒿水浸提液对大豆化感效应的总体趋势为浸提液浓度越高, 对大豆种子萌发和根系分化的抑制作用越强, 且艾蒿对大豆生长的化感作用大小与品种有关, 大豆不同品种对艾蒿化感作用的敏感程度不同, 5 个供试品种以鹤丰最不敏感, 而毛豆 29-2 和韩国-45 较为敏感。此外, 大豆各发芽和根系生长指标对艾蒿的敏感程度也不同, 以发芽势和根毛区宽度对艾蒿较为敏感, 可以作为衡量艾蒿对大豆化感作用的品种评价指标。

关键词: 艾蒿; 种子萌发; 根系生长; 化感作用

中图分类号: S565.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.11861/j.issn.1000-9841.2017.05.0746

Study on Allelopathic Effect of *Artemisia* on Seed Germination and Root Growth of Soybean

XU Fen-fen, YANG Ping, LIU Hua-wei, WANG Shi-cheng

(Life Science College, Shangrao Normal University, Shangrao 334000, China)

Abstract: Five soybean varieties of Hefeng, Liaoxian, Huning, Maodou 29-2 and Korea-45 were treated with different concentrations (0, 12.5, 25.0, 50.0 g·L⁻¹) of *Artemisia* water extract. Germination rate, germination potential, germination index, root length, root hair width and root hair density were studied. The allelopathic effect of *Artemisia* on seed germination and root growth of different varieties were studied. The results showed that the general trend of the effect of the extract of *Artemisia* on the allelopathic effect of soybean was with the higher concentration of the extract, the stronger the inhibitory effect on the germination and root differentiation of soybean seeds, and the allelopathic effect of *Artemisia* on soybean growth was related with the variety, the sensitivity of different varieties of soybean to the allelopathy of *Artemisia* was different. The least sensitive of the five varieties was Hefeng, while the soybean 29-2 and Korea-45 were more sensitive. In addition, the sensitivity of soybean germination and root growth indexes to *Artemisia* was also different. The germination potential and root width were sensitive to *Artemisia*, which could be used as a measure of the allelopathy of *Artemisia*.

Keywords: *Artemisia*; Seed germination; Root growth; Allelopathic effect

化感作用是通过向环境中释放化学物质而实现的, 这些起作用的化学物质称为化感物质。化感物质可以对周围植物(包括微生物)代谢的一个或几个方面发生作用, 如影响植物种子萌发、幼苗生长、成株的开花与结实等^[1], 从而影响植物(或微生物)的生长发育, 进而影响植物种群的建立和更新^[2]。

栽培大豆[*Glycine max* (L.) Merr.] 是我国非常重要的粮食作物与经济类作物, 也是我国传统农作物之一, 每年栽培大豆的种植面积大约为 900 万 hm² 左右^[3], 豆田杂草是大豆减产的一个重要原因, 因此防治与大豆共生的杂草是大豆增产的重要环节。艾蒿为菊科蒿属多年生草本植物, 又名阿及艾、甜艾、香艾, 广泛分布于我国山东、安徽、湖北、

河南等省, 在山东省主要分布于沟壑、山坡、地头等。自然界中艾蒿很容易发展成为优势种群, 形成单一群落, 对周围植物的生长有明显影响。艾蒿是我国北方豆田的优势杂草, 艾蒿的适应力和再生力很强, 其蔓延会与大豆争夺养分、水分、光照等, 严重时覆盖整个地表造成田间荫蔽, 进而影响作物的生长。前人已经研究了花椒^[4]、曼陀罗^[5-6]、紫穗槐^[7] 和加拿大一枝黄花^[8] 等植物的化感作用对大豆生长的影响, 但未见艾蒿化感作用对大豆生长影响的报道。因此, 本试验拟研究艾蒿水浸提液对不同大豆品种种子萌发、幼苗生长的影响, 评价艾蒿水浸提液对不同大豆品种化感效应的差异, 并筛选指示化感效应的简单、有效、灵敏的生物检测指标, 为深入研究艾蒿化感作用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

成株期的野生艾蒿采自上饶市郊区,5 个栽培大豆品种分别为:鹤丰、辽鲜、沪宁、毛豆 29-2 和韩国-45,市售。

1.2 方法

1.2.1 浸提液的制备 将艾蒿全株采回,清水洗净泥土,室内自然晾干后,用粉碎机粉碎,过 40 目筛,称取 1 kg 的植株粉末加入 10 L 蒸馏水,浸泡 48 h,双层纱布过滤 2 次后获得质量浓度为 100 g·L⁻¹ 的艾蒿水浸提液,再稀释成质量浓度为 50.0,25.0,12.5 g·L⁻¹ 的浸提液备用。

1.2.2 化感活性生物测定 采用种子萌发法^[9]测定艾蒿化感活性,选取籽粒饱满、大小均一的大豆种子,1% 次氯酸钠溶液消毒,蒸馏水清洗干净后备用。在培养皿(2 层滤纸)中加入 10 mL 不同浓度的艾蒿水浸提液,以等量蒸馏水为对照,然后放入 30 粒大豆种子。重复 3 次,在(25 ± 1)℃ 恒温箱中暗培养,每天调查各处理种子发芽数,96 h 后统计发芽率、发芽势和发芽指数等指标。

1.2.3 根长和根毛生长观察与测定 材料培养 4 d 后,取不同梯度艾蒿浸提液培养的大豆根,测量主根长和根毛区宽度后,于体式显微镜下测定靠近胚轴端 1.5 cm 根段内的根毛密度,在特定根段的两端和中间区域分别测定 1 次,并取平均值。

1.3 数据分析

抑制率 IR(%) = (对照值 - 处理值)/对照值 × 100;综合效应为上述各指标抑制率的平均值。采用 SPSS 13.0 统计分析软件进行方差分析,采用 Duncan 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 艾蒿化感作用对大豆种子萌发的影响

由不同质量浓度艾蒿水浸提液对大豆种子萌发的影响可以看出(表 1),随着艾蒿水浸提液浓度的升高,5 个品种大豆种子的发芽率、发芽势、发芽指数均表现为逐渐降低,各指标的抑制率(IR)则表现为逐渐增大。在低浓度(12.5 g·L⁻¹)艾蒿水浸提液处理下,除鹤丰和辽鲜的发芽指标值与 CK 差异不显著外,其它 3 个品种均显著低于 CK(P < 0.05)。不同品种间比较,以鹤丰各发芽指标值与 CK 的抑制率(IR)在所有品种中均表现为最低(12.5 ~ 50 g·L⁻¹ 处理浓度下均不超过 30%),其次为辽鲜。上述分析表明,大豆种子萌发的化感抑制作用随着艾蒿水浸提液浓度的升高逐渐增强,且不同品种对艾蒿水浸提液的敏感程度不同,鹤丰和辽鲜两个品种种子萌发更不敏感。

从各指标的 IR 值可以看出,不同萌发指标对艾蒿化感作用的影响大小不同,每个浓度处理下均为发芽势 > 发芽指数 > 发芽率。可以看出,发芽势对艾蒿的化感作用最敏感,发芽指数次之,发芽率最不敏感。说明,发芽势可以作为艾蒿对大豆化感作用的评价指标。

表 1 艾蒿水浸提液对不同品种大豆种子萌发的影响
Table 1 Effect of *Artemisia* water extract on soybean seed germination

品种名称 Cultivar	艾蒿水浸提液浓度 Concentration of <i>Artemisia</i> water extract/(g·L ⁻¹)	发芽率 Germination rate/%	抑制率 IR/%	发芽势 Germination potential/%	抑制率 IR/%	发芽指数 Germination index	抑制率 IR/%
毛豆 29-2 Maodou 29-2	0 (CK)	43.3 ± 2.1 aA		3.3 ± 0.3 aA		9.42 ± 0.40 aA	
	12.5	37.2 ± 1.0 bB	14.1	1.7 ± 0.5 bA	48.50	7.75 ± 0.62 bA	17.73
	25.0	31.4 ± 2.1 bB	27.5	1.0 ± 0.3 bB	69.70	5.08 ± 0.43 cB	46.07
	50.0	23.0 ± 1.9 cC	46.9	0.0 ± 0.0 bB	100.00	3.08 ± 0.20 dB	67.30
沪宁 Huning	0 (CK)	100.0 ± 0.0 aA		33.3 ± 1.8 aA		35.80 ± 1.9 aA	
	12.5	90.0 ± 1.0 bA	10.0	23.0 ± 2.1 bB	30.93	27.35 ± 1.3 bB	23.60
	25.0	87.7 ± 1.1 bA	12.3	7.0 ± 0.6 cC	78.98	23.50 ± 2.1 cB	51.12
	50.0	83.0 ± 3.0 bB	17.0	4.5 ± 0.5 cC	86.49	18.00 ± 1.10 dC	49.72
鹤丰 Hefeng	0 (CK)	100.0 ± 0.0 aA		24.0 ± 0.6 aA		29.83 ± 1.21 aA	
	12.5	96.4 ± 2.2 aA	3.6	23.0 ± 0.5 abA	4.17	28.58 ± 0.54 aA	15.75
	25.0	83.4 ± 3.0 bB	16.6	20.7 ± 1.6 bA	13.75	24.08 ± 0.46 bA	20.99
	50.0	80.5 ± 2.5 bB	19.5	17.0 ± 1.5 cB	29.17	22.58 ± 0.50 bB	22.43

续表 1

品种名称 Cultivar	艾蒿水浸提液浓度 Concentration of <i>Artemisia</i> water extract/(g·L ⁻¹)		发芽率 Germination rate/%	抑制率 IR/%	发芽势 Germination potential/%	抑制率 IR/%	发芽指数 Germination index	抑制率 IR/%
辽鲜 Liaoxian	0 (CK)		87.5 ± 2.1 aA		20.3 ± 1.6 aA		22.17 ± 1.19 aA	
	12.5		83.1 ± 2.0 aA	5.0	18.0 ± 1.5 aA	11.33	20.42 ± 0.64 aA	7.89
	25.0		76.7 ± 3.1 bB	12.3	14.3 ± 1.1 bAB	29.60	17.58 ± 1.14 bB	20.70
	50.0		56.3 ± 2.0 cC	35.7	11.7 ± 0.7 cB	42.40	16.42 ± 1.04 cB	25.94
韩国-45 Korea-45	0 (CK)		100.0 ± 0.0 aA		44.0 ± 1.3 aA		41.00 ± 2.70 aA	
	12.5		90.3 ± 3.0 bAB	9.7	24.0 ± 2.1 bB	45.45	26.50 ± 2.40 bB	35.37
	25.0		80.4 ± 5.0 cB	19.6	6.5 ± 0.8 cC	85.23	17.58 ± 0.54 cC	57.12
	50.0		70.4 ± 4.0 dB	29.6	0.0 ± 0.0 dC	100.00	11.41 ± 0.53 dC	72.17

2.2 艾蒿化感作用对大豆根系发育的影响

研究表明艾蒿水浸提液对油菜、萝卜、小麦根生长的影响明显强于对茎生长的影响^[10]。棉花植株水浸提液可抑制幼苗期棉花根系的生长发育,表现在根长、侧根数、干重降低,根系活力下降,而 MDA 含量升高,制约了根系对养分和水分的吸收,从而直接影响到幼苗的生长发育^[11]。前人研究可以看出化感物质对根系生长的影响很大,考虑到根毛区是作物根系吸水 and 吸肥的主要区域,因此,本试验考察了艾蒿水浸提液对大豆根系长度和根毛发育的影响。

由表 2 可以看出,随着艾蒿水浸提液浓度的升高,5 个品种大豆的主根长、根毛区宽度、根毛密度等指标均表现为逐渐降低,各指标的抑制率 (IR) 逐渐增大。在低浓度 (12.5 g·L⁻¹) 艾蒿水浸提液处理下,与 CK 相比,大豆主根长、根毛区宽度、根毛密度等指标值在除韩国-45 显著 ($P < 0.05$) 降低外,其它 4 个品种均与 CK 无显著差异;在中等浓度 (25.0 g·L⁻¹) 艾蒿水浸提液处理下,5 个品种大豆根毛区

宽度和根毛密度均极显著低于 CK ($P < 0.05$),毛豆 29-2 和韩国-45 无根毛分化;在高浓度 (50.0 g·L⁻¹) 艾蒿水浸提液处理下,毛豆 29-2、沪宁和韩国-45 均无根毛分化,鹤丰和辽鲜根毛正常分化。从各指标值的抑制率 (IR) 来看,以鹤丰和辽鲜低于其它品种,上述分析表明,大豆幼苗根系生长的化感抑制作用随着艾蒿水浸提液浓度的升高逐渐增强,中等浓度 (25.0 g·L⁻¹) 艾蒿水浸提液就显著抑制大豆根毛生长。不同品种对艾蒿化感作用的敏感程度不同,鹤丰和辽鲜在高浓度 (50.0 g·L⁻¹) 艾蒿水浸提液处理下根毛仍能正常分化,而毛豆 29-2 和韩国-45 在中等浓度 (25.0 g·L⁻¹) 艾蒿水浸提液处理下根毛就已经停止发育。说明,鹤丰和辽鲜这两个品种根毛生长对艾蒿化感作用不敏感,而毛豆 29-2 和韩国-45 更敏感。

从各指标的 IR 值可以看出,根毛区宽度受影响最大,对艾蒿化感作用更敏感,而主根长更不敏感,说明,根毛区宽度可以作为大豆艾蒿化感作用的评价指标。

表 2 艾蒿水浸提液对大豆根系发育的影响

Table 2 Effect of *Artemisia* water extract on root growth of soybean

品种名称 Cultivar	艾蒿水浸提液浓度 Concentration of <i>Artemisia</i> water extract/(g·L ⁻¹)		主根长 Root length/cm	抑制率 IR/%	根毛区宽度 Root hair width/cm	抑制率 IR/%	根毛密度 Root hair density/(No. per mm)	抑制率 IR/%
毛豆 29-2 Maodou 29-2	0 (CK)		5.7 ± 0.3 aA		0.31 ± 0.04 aA		26.4 ± 1.8 aA	
	12.5		4.3 ± 0.4 ab AB	-35.8	0.22 ± 0.03 aA	-33.3	15.7 ± 2.3 bB	-40.5
	25.0		3.8 ± 0.4 bBC	-43.3	0.0 ± 0.00 bB	-100.0	0.0 ± 0.0 cC	-100.0
	50.0		2.5 ± 0.3 cC	-62.7	0 ± 0.00 bB	-100.0	0.0 ± 0.0 cC	-100.0
沪宁 Huning	0 (CK)		6.4 ± 0.5 aA		0.82 ± 0.08 aA		43.7 ± 3.5 aA	
	12.5		6.0 ± 0.5 aAB	-6.3	0.66 ± 0.05 aA	-50.0	32.6 ± 2.7 bB	-25.4
	25.0		4.5 ± 0.4 bBC	-29.7	0.23 ± 0.03 bB	-75.0	11.7 ± 1.1 cC	-73.2
	50.0		3.3 ± 0.3 cC	-48.4	0.00 ± 0.00 cB	-100.0	0.0 ± 0.0 dD	-100.0

续表 2

品种名称 Cultivar	艾蒿水浸提液浓度 Concentration of <i>Artemisia</i> water extract/(g·L ⁻¹)	主根长 Root length/cm	抑制率 IR/%	根毛区宽度 Root hair width/cm	抑制率 IR/%	根毛密度 Root hair density/(No. per mm)	抑制率 IR/%
鹤丰 Hefeng	0 (CK)	7.7 ± 0.6 aA		1.1 ± 0.08 aA		65.7 ± 5.7 aA	
	12.5	7.4 ± 0.5 abA	-3.9	0.8 ± 0.05 abAB	-27.3	54.6 ± 2.5 bAB	-16.9
	25	6.8 ± 0.4 bAB	-11.7	0.6 ± 0.05 bcAB	-45.5	43.7 ± 3.1 cBC	-33.5
	50	5.7 ± 0.3 cB	-26.0	0.4 ± 0.04 cB	-63.6	32.5 ± 2.3 dC	-50.5
辽鲜 Liaoxian	0 (CK)	6.8 ± 0.6 aA		0.9 ± 0.12 aA		57.8 ± 2.7 aA	
	12.5	6.4 ± 0.4 abA	-5.9	0.7 ± 0.06 aA	-22.2	45.7 ± 3.8 bA	-20.9
	25	5.6 ± 0.5 bcA	-17.6	0.4 ± 0.04 bB	-55.6	32.6 ± 2.2 cB	-43.6
	50	4.8 ± 0.5 cA	-29.4	0.2 ± 0.03 bB	-77.8	21.7 ± 1.4 dB	-62.5
韩国-45 Korea-45	0 (CK)	6.7 ± 0.6 aA		0.8 ± 0.05 aA		33.7 ± 3.7 aA	
	12.5	5.3 ± 0.5 bAB	-6.0	0.4 ± 0.04 bB	-50.0	20.7 ± 2.5 bB	-38.6
	25.0	4.8 ± 0.5 bcAB	-13.4	0.0 ± 0.00 cC	-100.0	0.0 ± 0.0 cC	-62.6
	50.0	3.5 ± 0.3 cB	-47.8	0.0 ± 0.00 cC	-100.0	0.0 ± 0.0 cC	-100.0

2.3 艾蒿对大豆化感作用的综合效应指数

不同质量浓度艾蒿水浸提液对大豆影响的综合效应见表 3。在 12.5 ~ 50.0 g·L⁻¹ 的处理浓度下,艾蒿水浸提液对 5 个大豆品种种子萌发和根系生长均有抑制作用。各浓度下均以毛豆 29-2 受到的综合效应指数最高,其次为韩国-45 和沪宁,以鹤丰的综合抑制效应最低。在 50.0 g·L⁻¹ 处理浓度下,毛豆 29-2、韩国-45、沪宁、辽鲜和鹤丰的综合效应指数分别为 79.5%、74.9%、67.0%、45.6% 和 34.8%。

表 3 艾蒿对大豆化感作用的综合效应指数
Table 3 The comprehensive effect of *Artemisia* on soybean

品种名称 Cultivar	艾蒿水浸提液浓度 Concentration of <i>Artemisia</i> water extract/(g·L ⁻¹)		
	12.5	25.0	50.0
毛豆 29-2 Maodou 29-2	31.7	64.4	79.5
沪宁 Huning	24.4	53.4	67.0
鹤丰 Hefeng	11.5	23.1	34.8
辽鲜 Liaoxian	12.2	29.9	45.6
韩国-45 Korea-45	30.8	56.3	74.9

3 结论与讨论

前人研究表明,化感物质对植物根生长的影响明显强于茎^[10-13]。根系生长抑制以及根系膜质过氧化程度的增大制约了根系对养分和水分的吸收,从而直接影响到幼苗的生长发育。目前关于化感

物质对植物根系生长的影响仅限于对根长的考察,考虑到根毛区是作物根系吸水 and 吸肥的主要区域,本试验在种子萌发的基础上,补充考察了艾蒿水浸提液对大豆根系长度和根毛发育的影响。

本研究通过采用不同浓度(0,12.5,25.0,50.0 g·L⁻¹)的艾蒿水浸提液处理 5 个大豆品种鹤丰、辽鲜、沪宁、毛豆 29-2 和韩国-45,研究了艾蒿对不同品种大豆种子萌发和根系生长的化感作用。结果表明:艾蒿水浸提液对大豆化感效应的总体趋势为浸提液浓度越高,对大豆种子萌发和根系分化的抑制作用越强。这与李美等^[10]和张中信等^[14]的研究结果一致。从各指标的 IR 值可以看出艾蒿化感作用对各指标的影响大小,发芽指标在每个浓度处理下均为发芽势 > 发芽指数 > 发芽率,可以看出,发芽势可能是衡量化感作用更敏感的指标。根系生长指标表现为根毛区宽度更敏感,主根长不敏感。上述分析说明,发芽势和根毛区宽度可以作为艾蒿对大豆化感作用的评价指标。艾蒿对大豆生长化感作用的综合效应与品种有关,5 个参试品种以毛豆 29-2 的综合效应指数最高,其次为韩国-45 和沪宁,以鹤丰的综合抑制效应最低。表明,毛豆 29-2 和韩国-45 对艾蒿化感作用较为敏感,鹤丰对艾蒿化感作用最不敏感,因此在艾蒿发生较多的土地可以选择鹤丰作为大豆栽培品种。

研究表明菊科蒿属植物含有黄酮类及萜类化感物质^[15]。艾蒿具有较强的化感作用,可能是它在与其它植物竞争中占据优势,从而形成优势种群的原因之一。但艾蒿化感物质的具体化学成分还有待进一步研究。

参考文献

[1] 杨期和,叶万辉,廖富林,等. 植物化感物质对种子萌发的影响[J]. 生态学杂志,2005,24(12): 1459-1465. (Yang Q H. Ye W H, Liao F L, et al. Effects of allelochemicals on seed germination [J]. Journal of Ecology, 2005, 24 (12): 1459-1465.)

[2] 孔垂华,胡飞. 植物化感(相生相克)作用及其应用[M]. 北京:中国农业出版社,2001: 3-4. (Kong C H, Hu F. Allelopathy (allelopathy) and its application [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001: 3-4.)

[3] 权静,卢定强,张筱,等. 大豆功能性成分的研究现状[J]. 大豆通报,2004(3):27-29. (Qian J, Lu D Q, Zhang X, et al. Research status of functional components of soybean [J]. Soybean Bulletin, 2004(3): 27-29.)

[4] 韩志军,陈静,郑寒,等. 花椒叶浸提液对大豆种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 应用与环境生物学报,2011,17(4): 585-588. (Han Z J, Chen J, Zheng H, et al. Allelopathy of prickly ash leaf extract on soybean seed germination and seedling growth [J]. Application and Environmental Biology, 2011, 17 (4): 585-588.)

[5] 蔡世林,慕小倩,毛立彦,等. 曼陀罗叶水浸液对大豆幼根生长及细胞分裂的影响[J]. 西北植物学报, 2012,32(1):117-123. (Cai S L, Mu X Q, Mao L Y, et al. Effects of aqueous extracts from MANDALA on the growth and cell division of soybean radicle [J]. Journal of Northwest Flora, 2012, 32 (1): 117-123.)

[6] 段磊,梁婷婷,冉俊祥,等. 曼陀罗对大豆的化感作用研究[J]. 西北农业学报,2012,21(2):83-87. (Duan L , Lian T T, Ran J X, et al. Allelopathic effect of *Dature stramonium* on soybean[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2012, 21 (2):83-87.)

[7] 郭忠录,蔡崇法,郑珉娇. 紫穗槐茎叶水浸液对大豆和蚕豆的化感作用[J]. 华中农业大学学报,2010,29(4): 452-456. (Guo Z L, Cai C F, Zheng M J. Allelopathy of stem and leaf of *Amorpha fruticosa* on soybean and broad bean [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2010, 29 (4): 452-456.)

[8] 刘君,周嘉伟,肖鸿光,等. 加拿大一枝黄花和小飞蓬叶浸提液对大豆幼苗生长的复合化感效应[J]. 生态毒理学报, 2016,11(4):239-244. (Liu J, Zhou J W, Xiao H G, et al. Combined allelopathic effects of *Solidago canadensis* and small fly canadensis on the growth of soybean seedlings [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2016, 11 (4): 239-244.)

[9] 曾任森. 化感作用研究中的生物测定方法综述[J]. 应用生态学报,1999,10(1): 123-126. (Zeng R S. Review of the method of bioassay in the study on allelopathy [J]. Journal of Applied Ecology, 1999, 10(1): 123-126.)

[10] 李美,高兴祥,高宗军,等. 艾蒿对不同植物幼苗的化感作用初探[J]. 草业学报,2010,19(6):114-119. (Li M, Gao X X, Gao Z J, et al. A primary study on allelopathy of *Artemisia vulgaris* [J]. Acta Prataculturae Sinica,2010,19(6):114-119.)

[11] 李彦斌. 棉花化感作用机制的初步研究[D]. 石河子:石河子大学,2008. (Li Y B. Preliminary studies on allelopathy mechanism of cotton [D]. Shihezi: Shihezi University, 2008.)

[12] Turk M A, Tawaha A M. Inhibitory effects of aqueous extracts of black mustard on germination and growth of lentil[J]. Pakistan Journal of Agronomy, 2002, 1(1): 28-30.

[13] Gatti A B, Ferreira A G, Arduin M, et al. Allelopathic effects of aqueous extracts of *Artistolochia esperanzae* O. Kuntze on development of *Sesamum indicum* l. seedlings[J]. Acta Botanica Brasili-ca, 2010, 24(2): 454-461.

[14] 张中信,张小平,刘慧君,等. 野艾蒿化感作用初步研究[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版),2006,29(6): 579-581. (Zhang Z X, Zhang X P, Liu H J, et al. Preliminary study on wild mugwort allelopathy [J]. Journal of Anhui Normal University (Natural Science Edition), 2006, 29 (6) : 579-581.)

[15] 张新龙. 茼蒿粗提物对西瓜黄萎病化感作用及作用机制的初步研究[D]. 南昌:江西农业大学,2016. (Zhang X L. Preliminary studies on allelopathy and mechanism of extracts from garland chrysanthemum n watermelon fusarium hilt[D]. Nanchang: Jian-gxi Agricultural University, 2016.)