

DOI:CNKI:61-1390/S.20111021.1707.013

网络出版时间:2011-10-21 17:07

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20111021.1707.013.html

百合根系分泌物中不同组分的化感作用

徐 鹏,程智慧,梁 静,孟庆玲

(西北农林科技大学,农业部西北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】明确百合根系分泌物不同组分的化感作用,为揭示百合连作障碍产生的机理奠定理论基础。【方法】通过水培法收集百合根系分泌物,分别用石油醚、乙醚、乙酸乙酯、氯仿萃取及甲醇层析 2 种方法分离百合根系分泌物,获得不同组分;采用生物测试法,以萝卜为受体检测百合根系分泌物不同组分的化感作用。【结果】各组分对萝卜发芽率、苗高和苗鲜质量均表现出抑制效应,而对根鲜质量均表现出促进效应;甲醇、氯仿和石油醚组分对萝卜发芽指数、发芽势、根长表现出抑制效应,而乙酸乙酯和乙醚组分则表现出促进效应;从化感效应指数来看,甲醇、氯仿、石油醚和乙醚组分对萝卜种子萌发和幼苗生长表现出抑制作用,而乙酸乙酯组分则表现出促进作用。各组分化感效应大小的顺序为甲醇组分>氯仿组分>石油醚组分>乙酸乙酯组分>乙醚组分。各组分均导致萝卜幼苗丙二醛含量增加,吲哚乙酸氧化酶活性升高;各组分对萝卜幼苗超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性影响不显著。【结论】百合根系分泌物的不同组分均具有化感效应,其中以甲醇和氯仿组分的化感效应较强。

【关键词】 百合;根系分泌物;组分分离;化感作用;萝卜

【中图分类号】 S682.2⁺65.04⁺6

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)11-0167-06

Allelopathy of different fractions of lily root exudates

XU Peng, CHENG Zhi-hui, LIANG Jing, MENG Qing-ling

(Key Laboratory of Horticultural Plant Germplasm Resource Utilization in Northwest China,

Ministry of Agriculture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The experiment was done to investigate the allelopathy of different components of lily root exudates. 【Method】 Lily root exudates were collected with the method of hydroponic cultivation. Petroleum ether, ethyl ether, ethyl acetate, chloroform and methanol were used to isolate lily root exudates by extracting or column chromatography, which was tested by bioassay with radish as the receiver crop. 【Result】 All fractions showed inhibitory effect on germination rate, shoot length and shoot fresh mass of radish, but promotion effect on root fresh mass. The fractions of methanol, chloroform, petroleum ether showed inhibitory effect on germination index, germination potentiality and root length, but the fractions of ethyl acetate and ethyl ether showed promotion. On the allelopathic index the fractions of methanol, chloroform, petroleum ether and ethyl ether showed inhibitory effect on seed germination and seedling growth of radish, but the ethyl acetate fraction showed promotion effect. At the same time, the allelopathy order of different fractions was methanol, chloroform, petroleum ether, ethyl acetate and ethyl ether. All fractions led to the increase of MDA content and the activity of IAA oxidase, then the change of protective enzymes SOD and POD activities did not show obvious tendency. 【Conclusion】 All fractions of lily root exudates

* [收稿日期] 2011-05-03

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD07B02-01)

[作者简介] 徐 鹏(1987—),女,山东肥城人,在读硕士,主要从事园林植物生理生态研究。

[通信作者] 程智慧(1958—),男,陕西兴平人,教授,博士生导师,主要从事园艺植物栽培生理生态研究。

E-mail:chengzh@nwsuaf.edu.cn

have allelopathy, however the methanol fraction and chloroform fraction have stronger effect.

Key words: lily; root exudates; fractions isolation; allelopathy; radish

化感作用是一种植物或微生物(供体)向环境中释放某些化感物质,从而影响自身及其他有机体(受体,包括植物、微生物和动物)生长发育的现象^[1]。植物化感作用是生态生物化学研究内容的一部分。植物主要通过其地上部的挥发、雨水淋洗、根际分泌、植株残体的腐解以及花粉直感等途径,向环境中释放化感物质,从而对周围生物产生直接或间接有害或有利的影响^[2]。植物自毒及化感作用研究已成为化学生态学研究最活跃的领域之一,研究内容包括自毒或化感物质的分离与鉴定、自毒作用机理、化感作用研究方法与技术、克服自毒现象的对策等^[3]。

自然界很多植物根系能够分泌化感物质,如水稻、小麦、大豆、豌豆、豚草、牛鞭草、三叶鬼针草、胜红蓟、杨树、苹果、黄瓜、辣椒、大蒜、茄子等,这些植物根系分泌的化感物质能够对周围其他植物产生化感作用,有些情况下对自身也产生毒害,抑制其生长^[4-6]。

百合(*Lilium* spp.)为百合科百合属多年生草本植物^[7]。前人对百合的化感作用已有研究报道,证明百合有化感活性物质存在。然而有关百合化感活性成分分离的报道很少^[8-9],尤其缺乏对其根系分泌物组分的分析和研究。为此,本试验采用水培方式收集百合根系分泌物,分别用萃取和柱层析法分离百合根系分泌物,以化感作用敏感植物萝卜为受体,对不同组分的活性进行生物检测,旨在明确百合根系分泌物不同组分的化感作用,为揭示百合连作障碍产生的机理奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供体材料为西伯利亚百合(*Lilium* ‘Siberia’),购于江苏沭阳万诚花卉园艺场。

受体材料为萝卜(*Raphanus salivus*),品种为“满堂红”,种子购于陕西杨凌西北农林科技大学农城种业科技中心。

1.2 百合根系分泌物的收集

采用水培的方法获取百合根系分泌物。首先挑选大小一致的百合种球 300 个,用质量分数 0.1% 的多菌灵浸泡 30 min,自来水冲洗数次后,播于灭菌的珍珠岩中,待百合出苗后,将幼苗轻轻拔出,用自来水冲去附在根表面的珍珠岩,尽量不伤根,洗净后用塑料泡沫板固定,置于容积为 6 L 的塑料盆中

(每盆 12 株,共 20 盆),在室温下连续通气培养。因百合鳞茎中贮存有丰富的养分,可满足百合生长发育所需,因此直接加入蒸馏水培养即可。每盆保持 1.5 L 蒸馏水,培养 30 d。合并收集各盆百合培养液,即为含有百合根系分泌物的培养液,将其密封后,置于 4 ℃ 冰箱中保存。

1.3 百合根系分泌物不同组分的分离

将收集保存的含有百合根系分泌物的培养液减压浓缩至原体积的 1/20,取 50 mL 浓缩液分别用石油醚、乙醚、乙酸乙酯和氯仿 4 种有机溶剂按体积比 2:1 的比例萃取 3 次后,合并各次萃取液。另外,取 50 mL 浓缩液,通过 XAD-4 树脂吸附柱,用甲醇洗脱,分别收集洗脱液。将上述不同有机溶剂分离组分(下文简称组分)经无水硫酸钠干燥后,减压浓缩至干,溶于 5 mL 甲醇中,放入-20 ℃ 冰箱中保存,留待生物检测。

1.4 百合根系分泌物对萝卜种子发芽及幼苗形态和生理指标的影响

准确吸取百合根系分泌物不同溶剂萃取浓缩后的甲醇溶解液 2 mL,加入底部铺有滤纸的培养皿中,将培养皿置通风橱中烘至甲醇完全挥发后加 8 mL 蒸馏水,在滤纸上均匀摆放 100 粒萝卜种子(播种),以加甲醇试剂为对照,各处理重复 3 次。将全部培养皿放在人工智能培养箱中,恒温 25 ℃ 暗培养 2 d,从第 3 天起在 25 ℃、光照 12 h/d 条件下培养,播种后每 48 h 加蒸馏水 2 mL。播种后第 3~6 天统计发芽率(*GR*)、发芽势(*GE*)和发芽指数(*GI*);第 6 天测定幼苗根长、苗高、根鲜质量、苗鲜质量。 $GR = \text{发芽终期全部正常发芽的种子数} / \text{供试种子数} \times 100\%$; $GI = \sum (G_t / D_t)$,其中 G_t 为播种后 t d 的发芽数, D_t 为相应的发芽天数; $GE = \text{规定时间内的发芽种子数} / \text{供试种子总数} \times 100\%$ 。

萝卜幼苗中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性和丙二醛(MDA)含量的测定参照孙群等^[10]的方法进行;下胚轴中吲哚乙酸(IAA)氧化酶活性测定参照刘萍等^[11]的方法进行。

1.5 数据统计分析

参照 Williamson 等^[12]的方法,采用化感效应指数(*RI*)进行化感作用分析。化感效应指数计算式为: $RI = 1 - C/T$, $T \geq C$; $RI = T/C - 1$, $T < C$ 。式中: C 为对照指标值, T 为处理指标值。 $RI > 0$ 表示

起促进作用, $RI<0$ 表示起抑制作用,其绝对值大小与作用强度一致。

数据的方差分析采用 DPS 软件(V7.5 专业版)进行。

2 结果与分析

2.1 百合根系分泌物不同组分对萝卜种子发芽的影响

百合根系分泌物不同组分对萝卜种子发芽的影

表 1 百合根系分泌物不同组分对萝卜种子发芽指标的影响

Table 1 Effect of different fractions of lily root exudates on germination rate of radish

处理 Treatment	发芽率/% GR	发芽指数 GI	发芽势/% GE
对照 Control	95.33±0.88 a	87.78±1.11 a	82.67±1.20 ab
乙醚组分 Ethyl ether fraction	90.67±1.20 ab	89.43±1.21 a	85.33±2.03 a
乙酸乙酯组分 Ethyl acetate fraction	91.67±0.88 ab	88.50±1.26 a	85.33±1.33 a
石油醚组分 Petroleum ether fraction	89.67±1.86 ab	85.53±2.15 a	82.00±3.61 ab
氯仿组分 Chloroform fraction	86.67±3.38 b	80.55±1.35 b	76.00±3.21 b
甲醇组分 Methanol fraction	89.33±3.38 b	84.84±1.67 ab	82.00±1.15 ab

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著性达到邓肯氏多重极差测验 5%水平。下表同。

Note:Data in the same column with different small letters indicate significant differences at 5% by Duncan’s test. The same as below.

2.2 百合根系分泌物不同组分对萝卜幼苗生长指标的影响

由表 2 可知,与对照相比,乙醚、乙酸乙酯组分促进了萝卜根系的伸长,石油醚、氯仿、甲醇组分抑制了萝卜根系的伸长,但各处理与对照的差异均未达显著水平。各组分均对萝卜幼苗的苗高有抑制作用,与对照相比,乙醚、乙酸乙酯、石油醚、氯仿、甲醇

响结果见表 1。由表 1 可知,乙酸乙酯、乙醚、石油醚、甲醇、氯仿组分均对萝卜种子发芽率表现出抑制作用,与对照相比,甲醇和氯仿组分的抑制作用达到显著水平,而其余组分的抑制作用均不显著;除乙醚和乙酸乙酯组分处理萝卜的发芽指数和发芽势高于对照处理外,其他各组分处理萝卜的发芽指数和发芽势均低于对照,与对照相比,只有氯仿组分处理萝卜的发芽指数和发芽势受到显著影响。

组分的抑制率分别达到 26.58%,11.71%,15.51%,23.10%和 30.06%,其中乙醚、氯仿、甲醇组分与对照处理的差异达到显著水平。各组分均促进了萝卜幼苗根鲜质量的增加,除乙醚组分外,其余组分与对照相比差异均未达到显著水平;各组分均抑制了萝卜幼苗鲜质量的增加,除乙酸乙酯和石油醚组分外,其余各组分均与对照有显著性差异。

表 2 百合根系分泌物不同组分对萝卜幼苗生长的影响

Table 2 Effect of different fractions of lily root exudates on seedling growth of radish

处理 Treatment	根长/cm Root length	苗高/cm Shoot length	根鲜质量/(mg·株 ⁻¹) Fresh mass of root	苗鲜质量/(mg·株 ⁻¹) Fresh mass of shoot
对照 Control	2.79±0.32 ab	3.16±0.07 a	0.010±0.002 b	0.059±0.002 a
乙醚组分 Ethyl ether fraction	3.29±0.46 a	2.32±0.03 b	0.015±0.001 a	0.046±0.003 b
乙酸乙酯组分 Ethyl acetate fraction	3.04±0.43 ab	2.79±0.07 ab	0.014±0.002 ab	0.050±0.003 ab
石油醚组分 Petroleum ether fraction	2.34±0.12 ab	2.67±0.26 ab	0.012±0.001 ab	0.049±0.006 ab
氯仿组分 Chloroform fraction	2.75±0.42 ab	2.43±0.34 b	0.011±0.002 ab	0.045±0.005 b
甲醇组分 Methanol fraction	1.97±0.01 b	2.21±0.18 b	0.011±0.001 ab	0.046±0.001 b

2.3 百合根系分泌物不同组分对萝卜种子发芽和幼苗生长 RI 的影响

RI 是评价化感作用的重要指标。由图 1 可知,各组分对萝卜种子的发芽率、苗高、苗鲜质量均表现出抑制作用,对根鲜质量均表现出促进作用,对发芽指数、发芽率、根长的影响不一致。乙醚、乙酸乙酯、石油醚、氯仿、甲醇组分的综合 RI 分别为-0.038,0.05,-0.48,-0.79 和-1.17,可见除乙酸乙酯组分外,其他各组分均表现出抑制作用。各组分化感作用的大小顺序为甲醇组分>氯仿组分>石油醚组

分>乙酸乙酯组分>乙醚组分。

2.4 百合根系分泌物不同组分对萝卜幼苗生理指标的影响

2.4.1 IAA 氧化酶活性 IAA 在植物体内普遍存在,是活性最强的生长素,具有促进植物生长的作用,尤其是促进植物的延伸生长。IAA 氧化酶是一种催化降解 IAA 的酶。植物体内 IAA 氧化酶活性对调节体内 IAA 水平起着重要作用。由图 2 可知,经乙醚、乙酸乙酯、石油醚、氯仿、甲醇组分处理的萝卜幼苗下胚轴中 IAA 氧化酶活性分别较对照高

89.11%,40.51%,52.99%,100.87%和48.64%,其中氯仿和乙醚组分处理后萝卜幼苗下胚轴中 IAA 氧化酶活性均显著高于对照($P<0.05$)。以上分析

表明,百合根系分泌物可通过促进 IAA 氧化酶的活性来影响萝卜幼苗的生长发育。

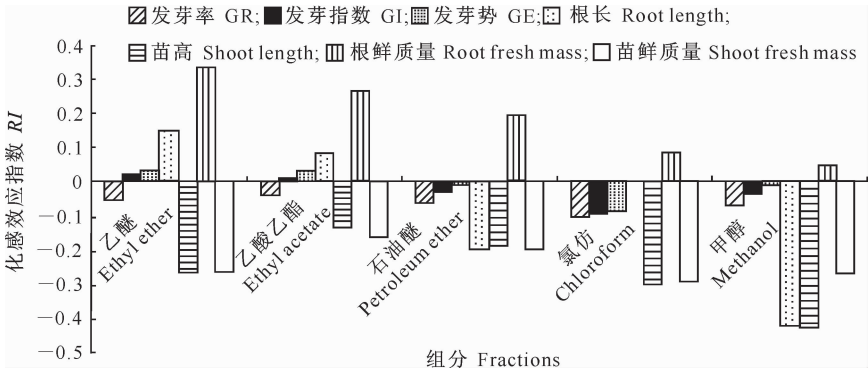


图 1 百合根系分泌物不同组分对萝卜种子发芽和幼苗生长的 RI

Fig. 1 Effect of different fractions of lily root exudates on RI of germination rate and seedling growth of radish

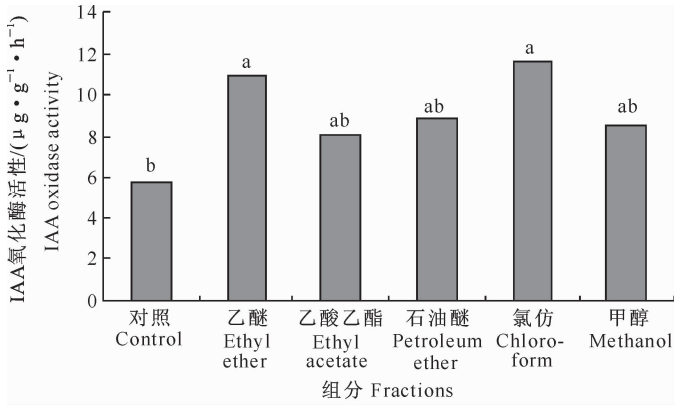


图 2 百合根系分泌物不同组分对萝卜幼苗下胚轴 IAA 氧化酶活性的影响

柱子上标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)

Fig. 2 Effect of different fractions of lily root exudates on IAA oxidase in the hypocotyls of radish

Different small letters above column mean significant difference($P<0.05$)

2.4.2 MDA 含量 MDA 是膜脂过氧化产物,当膜脂过氧化作用增强时,MDA 含量随之升高,细胞膜透性加大,细胞受伤害程度加重,因此 MDA 含量可表示细胞受伤害的程度。由表 3 可以看出,经百合根系分泌物不同组分处理后,萝卜幼苗的 MDA

含量均较对照组显著增加($P<0.05$),乙醚、乙酸乙酯、石油醚、氯仿、甲醇组分处理萝卜幼苗的 MDA 含量较对照分别增加了 202.46%,188.27%,175.93%,140.74%和 113.58%。可见,乙醚组分对萝卜幼苗细胞的伤害最大,甲醇组分的伤害最小。

表 3 百合根系分泌物不同组分对萝卜幼苗 MDA 含量和保护酶活性的影响

Table 3 Effect of different fractions of lily root exudates on MDA content and activities of protective enzymes in radish seedlings

处理 Treatment	MDA/(mmol · g ⁻¹)	SOD/(U · g ⁻¹ · h ⁻¹)	POD/(U · g ⁻¹ · h ⁻¹)
对照 Control	1.62±0.36 b	1 419.33±60.24 a	11.88±0.43 a
乙醚组分 Ethyl ether fraction	4.90±0.27 a	1 330.00±48.50 a	10.53±0.56 a
乙酸乙酯组分 Ethyl acetate fraction	4.67±0.17 a	1 418.00±90.72 a	12.00±1.31 a
石油醚组分 Petroleum ether fraction	4.47±0.48 a	1 310.00±78.52 a	11.76±1.85 a
氯仿组分 Chloroform fraction	3.90±0.57 a	1 238.00±121.48 a	13.08±0.99 a
甲醇组分 Methanol fraction	3.46±0.67 a	1 247.33±30.75 a	13.90±0.80 a

2.4.3 保护酶活性 SOD 和 POD 是植物体内广泛存在的能清除活性氧的保护酶,其能将活性氧转

变为低活性物质,从而保护细胞膜系统,避免活性氧对有机体的伤害,其活性的高低反映了有机体的自

我解毒能力。由表 3 可知,百合根系分泌物各组分对萝卜幼苗的保护酶活性虽有不同程度的影响,但与对照差异均未达到显著水平($P>0.05$)。

3 讨 论

3.1 百合根系分泌物化感作用的选择性

化感物质对植物的各项生长指标表现出不同的化感作用^[13]。例如,油菜根系分泌物对小麦种子发芽率、幼苗根长、芽干物质质量、POD 活性、根系活力均表现出促进作用,而对其他生长指标均表现出抑制作用^[14];大蒜根系分泌物对番茄、白菜、莴苣等蔬菜的不同生长指标也表现出不同的化感作用^[15]。

本研究结果表明,百合根系分泌物的 5 种组分对萝卜幼苗根鲜质量、下胚轴 IAA 氧化酶活性和 MDA 含量均表现出促进作用,而对种子发芽率、苗高以及苗鲜质量均表现出抑制作用,对其余指标作用不一致。其中乙醚和乙酸乙酯组分对萝卜种子发芽指数、发芽势以及幼苗根长、根鲜质量表现出促进作用,而对发芽率、苗高、苗鲜质量表现出抑制作用;其余组分除对幼苗根鲜质量、下胚轴 IAA 氧化酶活性、POD 活性和 MDA 含量有促进作用外,对其他指标均表现出抑制作用。董小艳等^[9]采用滤纸收集百合根系分泌物,研究了其化感作用,结果发现“波利安娜”百合根系分泌物对莴苣和满天星的根长和侧根数抑制作用显著,但对这 2 种植物其他指标的抑制作用均未达显著水平;对金鱼草的化感抑制作用除发芽率和根鲜质量未达显著水平外,其他指标均达显著水平;对千日红的化感抑制作用除根鲜质量外,其余指标均达显著水平。由此可知,化感物质对不同作物和同一作物的不同生长指标具有不同的化感作用,这种现象具有普遍性。

3.2 百合根系分泌物不同组分的化感效应

本研究结果表明,百合根系分泌物各组分均对萝卜幼苗细胞膜造成了伤害,加快了 IAA 的降解速度,但是不同形态指标对百合根系分泌物的敏感性不同。综合各项指标的变化情况可知,百合根系分泌物的甲醇、氯仿和石油醚组分对萝卜种子或幼苗生长均表现出较明显的抑制效应,其中以甲醇组分的抑制作用最强,乙醚组分的抑制作用较弱;而乙酸乙酯组分表现微弱的促进作用。乙醚、乙酸乙酯、石油醚、氯仿、甲醇 5 种有机溶剂的极性不同,所萃取的化感活性物质亦不同,从而导致化感效应出现差异。

3.3 百合根系分泌物中的化感物质

Rice^[16]将化感物质分为 14 类,主要是一些次生

代谢物质,包括水溶性有机酸、直链醇、脂肪族醛和酮、简单不饱和内酯、长链脂肪酸和多炔、萘醌、蒽醌和复合醌、简单酚、苯甲酸及其衍生物、肉桂酸及其衍生物、香豆素类、类黄酮、单宁、类萜和甾类化合物、氨基酸和多肽、生物碱和氰醇、硫化物和芥子油苷、嘌呤和核苷。本试验结果表明,氯仿和甲醇组分化感作用较强,可能含有较多化感活性物质。氯仿和甲醇分属于中极性溶剂和强极性溶剂,因此氯仿和甲醇组分中可能含有甾醇、三萜、有机酸、香豆素、蒽醌、生物碱等物质^[17],但究竟是哪类物质,还需进一步研究和鉴定。

[参考文献]

- [1] Rice E L. Allelopathy [M]. New York: Academic Press, 1984.
- [2] Gao Y M, Li J S, Apahidean A L S. The study of priming of carrot seed on solid medium [J]. Buletln University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, 2005, 29(6): 31-35.
- [3] 周 凯,郭维明,徐迎春. 菊科植物化感作用研究进展 [J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1780-1788.
Zhou K, Guo W M, Xu Y C. Advances of research on allelopathic potential in Compositae [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(8): 1780-1788. (in Chinese)
- [4] Yu J Q, Ye S F, Zhang M F. Effects of root exudates and aqueous root extracts of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals on photosynthesis and antioxidant enzymes in cucumber [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2003, 31(1): 129-139.
- [5] 何海斌,王海斌,陈祥旭,等. 化感水稻苗期不同器官水浸提液及根系分泌物对稗草的化感作用 [J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 14-17.
He H B, Wang H B, Chen X X, et al. Allelopathic effects of aqueous extracts from different parts and root exudates of rice on barnyardgrass [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(2): 14-17. (in Chinese)
- [6] 杨广君,赵尊练,巩振辉,等. 线辣椒根系分泌物对辣椒等受体作物的化感效应 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(10): 146-152.
Yang G J, Zhao Z L, Gong Z H. Allelopathy functions of the root exudates of line pepper to pepper and other crops [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2008, 36(10): 146-152. (in Chinese).
- [7] 穆 鼎. 观赏百合 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 157-159.
Mu D. Ornamental lily [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2005: 157-159. (in Chinese)
- [8] 董沁芳,程智慧. 百合地上部分水浸液的化感效应研究 [J]. 西北农业学报, 2006, 15(2): 144-147, 151.
Dong Q F, Cheng Z H. Study on allelopathy of top part aqueous extracts of lily plant [J]. Acta Agriculture Boreali Occidentalis Sinica, 2006, 15(2): 144-147, 151. (in Chinese)
- [9] 董小艳,程智慧,张 亮. 百合根系分泌物对 4 种观赏植物的化

感作用 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36 (9): 113-117.

Dong X Y, Cheng Z H, Zhang L. Allelopathy of lily root exudates on some receiver ornamental plants [J]. Journal of Northwest A&F University, Nat Sci Ed, 2008, 36(9): 113-117. (in Chinese)

[10] 孙 群, 胡景江. 植物生理学研究技术 [M]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2006: 165-171, 168-170, 176-177.

Sun Q, Hu J J. Research technology of plant physiology [M]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University Press, 2006: 165-171, 168-170, 176-177. (in Chinese)

[11] 刘 萍, 李明军. 植物生理学实验技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 144-146.

Liu P, Li M J. Experiment technology of plant physiology [M]. Beijing: Science Press, 2007: 144-146. (in Chinese)

[12] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment response with independent contrds [J]. J Chem Ecol, 1988, 14(1): 181-187.

[13] 周艳丽. 大蒜根系分泌物化感作用研究及化感物质鉴定 [D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2007: 4-5.

Zhou Y L. Research on allelopathy and identification of allelochemicals of garlic root exudates [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2007: 4-5. (in Chinese)

[14] 杨瑞吉. 油菜根系分泌物对不同作物幼苗生长的化感效应 [J]. 生态环境, 2006(5): 1062-1066.

Yang R J. Allelopathic effects of rape root exudates on growth of seedlings of different crops [J]. Ecology and Environment, 2006(5): 1062-1066. (in Chinese)

[15] 周艳丽, 程智慧, 孟焕文. 大蒜根系分泌物对不同受体蔬菜的化感作用 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(1): 81-86.

Zhou Y L, Cheng Z H, Meng H W. Allelopathy of garlic root exudates on different receiver vegetables [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(1): 81-86. (in Chinese)

[16] Rice E L. Biological control of weeds and plant diseases: Advances in applied allelopathy [M]. Oklahoma: University of Oklahoma Press, 1990: 23-27.

[17] 董慧茹, 柯以侃, 王志华. 复杂物质剖析技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 177-179.

Dong H R, Ke Y K, Wang Z H. Analysis technology of comprehensive compounds [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 177-179. (in Chinese)

(上接第 166 页)

[21] 李绍文. 生态生物化学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2001: 7-20.

Li S W. Ecological biochemistry [M]. Beijing: Beijing University Press, 2001: 7-20. (in Chinese)

[22] 吴寿金, 赵 泰, 秦永祺. 现代中草药成分化学 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2002: 805.

Wu S J, Zhao T, Qin Y Q. Modern Chinese herbal medicine composition chemistry [M]. Beijing: Chinese Medical Science and Technology Press, 2002: 805. (in Chinese)

[23] 苏焕然. 花色与色素 [J]. 生物学杂志, 1996, 13(5): 46-47.

Su H R. Color and pigment [J]. Journal of Biology, 1996, 13 (5): 46-47. (in Chinese)

[24] 吴 瑛, 邱红梅, 王小明. 多种植物色素酸碱特性研究 [J]. 塔里木农垦大学学报, 2004(2): 9-12.

Wu Y, Qiu H M, Wang X M. Study on quality of plants pigment in acid solution and basic solution [J]. Journal of Tarim University of Agricultural Reclamation, 2004 (2): 9-12. (in Chinese)