

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201404036

李青, 石锦安, 刘月婷, 等. 莴苣与高羊茅对蓝花楹花水浸液化感作用的响应[J]. 广西植物, 2015, 35(3):360—365

Li Q, Shi JA, Liu YT, et al. Responses of *Lactuca sativa* and *Festuca arundinacea* to the allelopathy of water extracts from *Jacaranda mimosifolia* flowers [J]. *Guihaia*, 2015, 35(3):360—365

莴苣与高羊茅对蓝花楹花水浸液化感作用的响应

李青, 石锦安*, 刘月婷, 孙莹, 邵小鹏

(四川农业大学 风景园林学院, 成都 611130)

摘要: 为探明蓝花楹是否存在对其它植物产生化感作用的相关物质, 以生长在四川温江地区的蓝花楹完整单花为供体材料、莴苣与高羊茅为受体材料、清水处理为对照(CK), 采用培养皿滤纸法进行种子萌发以及生物测定法培养幼苗, 研究浓度为 0.001、0.025、0.050 g · mL⁻¹ 的蓝花楹花水浸液对莴苣与高羊茅的种子萌发幼苗生长的化感作用。结果表明: 莴苣与高羊茅的种子萌发均受到该水浸液的抑制作用, 在萌发指数上表现较明显即综合化感效应(SE₂)分别表现为-0.13、-0.27; 莴苣的苗高受到促进作用而根长和根冠比却受到抑制作用, 其苗高 SE₃ = 0.13、根长 SE₄ = -0.36、根冠比 SE₅ = -0.16; 高羊茅的根冠比受到促进作用而苗高和根长却受到抑制作用, 其 SE₃ = -0.12、SE₄ = -0.08、SE₅ = 0.16; 莴苣叶片丙二醛含量和根系活力值均受到抑制作用, 其丙二醛含量的 SE₆ = -0.25 和根系活力 SE₇ = -0.44, 高羊茅的响应则相反, 分别表现为 SE₆ = 0.04 和 SE₇ = 0.34。当水浸液浓度为 0.025 g · mL⁻¹ 时, 多处出现 RI 极值或某种趋势的拐点, 特别是受体植物的叶片丙二醛含量和根系活力值的变化。研究结果表明蓝花楹花水浸液中存在化感物质, 莴苣与高羊茅对其均有不同响应, 这为蓝花楹在植物景观配置及养护上提供了理论依据。

关键词: 蓝花楹; 花水浸液; 莴苣; 高羊茅; 化感作用**中图分类号:** Q945.7; S685.99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2015)03-0360-06

Responses of *Lactuca sativa* and *Festuca arundinacea* to the allelopathy of water extracts from *Jacaranda mimosifolia* flowers

LI Qing, SHI Jin-An*, LIU Yue-Ting, SUN Ying, SHAO Xiao-Peng

(College of Landscape Architecture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: In order to verify whether there are relevant substances in *Jacaranda mimosifolia* that can produce the allelopathy to other plants. We studied the allelopathy of the concentration of 0.001, 0.025, 0.050 g · mL⁻¹ water extract of the flowers of *J. mimosifolia* for the seed germination and seedling growth, taking the complete single flowers of *J. mimosifolia* grown in Wenjiang region as materials, the seeds of *Lactuca sativa* and *Festuca arundinacea* as receptor materials, and the water treatment as the control CK. The results were as follows: firstly, the seed germination of *F. arundinacea* and *Lactuca sativa* was suppressed by the water extract, especially performance on the germination index, and the comprehensive allelopathies (SE₂) were -0.13 and -0.27 respectively; secondly, the seedling height of *L. sativa* was promoted but its root length and root-shoot ratio were suppressed, and the values of SE₃,

收稿日期: 2014-06-14 修回日期: 2014-09-22

基金项目: 国家农业科技成果转化项目(2011GB2F000016)

作者简介: 李青(1990-), 女, 四川射洪人, 硕士研究生, 主要从事园林植物配置与造景相关研究, (E-mail) lqgoing@163.com.

*通讯作者: 石锦安, 硕士, 高级实验师, 硕士生导师, 主要从事园林生态学及园林植物培育相关研究, (E-mail) shija5778@126.com.

SE_4, SE_5 were 0.13, -0.36, -0.16, while the root-shoot ratio of *Festuca arundinacea* were promoted but its seedling height and root length were suppressed, and the values of SE_3, SE_4, SE_5 were -0.12, -0.08, 0.16 respectively. Meanwhile the MDA contents and root vigor of *Lactuca sativa* were also suppressed, whose values of SE_6 and SE_7 were -0.25 and -0.44, the values of *Festuca arundinacea* were 0.04 and 0.34 reversely. Most of all, when the concentration of the water extracts was $0.025 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, it showed the RI peak and inflection point of some trend in many places, especially the changes in MDA contents and root vigor of receiver plant's leaves. Thus, the experiment proved the existence of allelochemicals in water extract of *Jacaranda mimosifolia* flowers, *Lactuca sativa* and *Festuca arundinacea*, and they had different responses to the allelochemicals, which will provide the relevant theoretical basis to the plant landscape design and maintenance of *Jacaranda mimosifolia* in the future.

Key words: *Jacaranda mimosifolia*; water extracts from flowers; *Lactuca sativa*; *Festuca arundinacea*; allelopathy

化感作用(Allelopathy)是指植物通过向周围环境释放化学物质影响自身或周围其他植物生长发育的现象(Rice, 1984)。这些化学物质常常通过降水淋溶的方式影响群落中其他植物,从而对群落稳定(戚建华等, 2004; 刘忠玲等, 2011)。近年来, 园林植物有关化感作用的研究虽有增多, 但其花器官的报道多为测定植物不同组织化感活性时的结果, 如向日葵(*Helianthus annuus*)、百合(*Lilium brownii*)、复羽叶栎树(*Koelreuteria bipinnata*)、金银花(*Lonicera japonica*)和珍珠梅(*Sorbaria sorbifolia*)等植物的花器官(Ashrafi *et al.*, 2008; 董沁方, 2006; 罗小勇等, 2009)分别被发现具有不同的化感活性。可见, 对园林植物花器官化感作用的研究还在不断地深入, 这对研究花期长、花量大的园林植物在配置造景上具有一定理论意义, 在后期的养护也具有实际的指导意义。

蓝花楹(*Jacaranda mimosifolia*)系紫葳科(Bignoniaceae)蓝花楹属(*Jacaranda*)植物, 原产于热带南美洲, 是一种具有很高观赏价值的高大观花乔木(中国植物志编辑委员会, 1990); 在植物造景中适宜作为孤植树、庭园树和行道树(潘志刚等, 1994), 常与草坪草一起配置形成植物景观。据多年对四川温江和内江地区蓝花楹构建的人工植物群落结构的观察发现, 其林下植物的种类和数量均较周围地区明显减少, 而且蓝花楹在开花物候期(夏秋多雨季节)产生大量落花后其林下有刺激性气味, 这些现象是否与蓝花楹落花通过降水淋溶的方式对其林下植物产生化感作用有关。目前, 国内外报道蓝花楹体内含有多多种生物活性物质(Gambaro *et al.*, 1988; Rana *et al.*, 2012), 而未见蓝花楹花器官的具体化感作用确切报道。为此, 结合目前蓝花楹在四川省各城市绿化建设中不断扩大引用量的现状, 探明蓝花楹的大量落花是否会产生化感物质且对其他

植物产生影响。本研究以化感作用的敏感植物莠苣(*Lactuca sativa*)和蓝花楹所在群落中常见的草坪草高羊茅(*Festuca arundinacea*)为供试材料, 用蓝花楹完整单花的水浸液进行化感作用的生物测定试验, 旨在初步测定蓝花楹花器官的化感作用潜势, 探究蓝花楹落花对草坪草的影响, 为深入开展其相关研究及合理应用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料

供体材料为蓝花楹当年生新鲜完整的单花(2012年5月), 采于成都温江区金河谷。受体材料为商业标准的莠苣种子和高羊茅种子, 购于温江农资服务站。

1.2 试验方法

1.2.1 方法 蓝花楹花水浸液的制备: 取蓝花楹新鲜完整单花, 用蒸馏水清洗并自然风干后, 按 1 : 10 (m : V) 的比例用蒸馏水浸泡 48 h 并每 4 h 震荡 1 次, 过滤后备用。用电子天平(型号: AR124CN; 精度: 检定分度值为 0.001 g) 分别称定 30 朵蓝花楹单花的重量, 其平均值约为 0.21 g。按照蓝花楹每个花序平均 75 朵小花, 每 1 m² 冠幅平均有 4 个花序, 在蓝花楹开花物候期约 15 d 内, 其单株冠幅下(约 30 m²) 的落花总量为 1 500 ~ 2 000 g (李青等, 2012), 四川盆地的日均降雨量为 2 mm 以上(薛羽君等, 2012), 结合落花量和降雨量进行估算, 配制成质量浓度为 0.001、0.025、0.050 g · mL⁻¹ 的水浸液, 放入 4 °C 冰箱中备用。

化感作用的生物测定: 采用培养皿滤纸法进行种子萌发与培养。各取 5 mL 不同浓度的浸提液, 分别加入铺有 2 层滤纸直径为 11 cm 的培养皿中, 在每个培养皿中放入 50 颗均匀饱满的种子, 以等量

蒸馏水为对照(CK),每个处理浓度设3个重复,在温度25℃、周期性光照(光/暗:8 h/16 h),湿度60%的人工智能气候箱内培养。每天适量补充相应的浸提液或蒸馏水,每24 h记录发芽种子数,种子发芽标准是胚根突破种皮1~2 mm,连续4 d无种子萌发为止,计算其发芽率、发芽指数(中华人民共和国国家标准,1992)。播种20 d后,随机选取每处理的30株幼苗,测量其苗高、根长,称其地上部和下部的鲜重,以表示幼苗生长量(阎飞等,2000)。用硫代巴比妥酸法(TBA法)测定受体材料叶片丙二醛(MDA)含量;用氯化三苯基四氮唑法(TTC法)测定受体材料的幼苗根系活力(张志良等,2002)。

1.2.2 数据统计分析 发芽率(GR)=(发芽种子数/受试种子数) $\times 100\%$;发芽指数(GI)= $\sum Gt/Dt$,式中 Gt 为浸种后 t 日的发芽数, Dt 为相应的发芽日数;根冠比(R/S)=根鲜重(g)/地上部鲜重(g)(翟梅枝等,2009;曾任森,1999)。

化感效应数据分析方法参照 Williamson (1988)提出的衡量化感效应的敏感指数 RI ,其计算公式为 $RI=1-C/T$,当 $T\geq C$; $RI=T/C-1$,当 $T<C$ 。其中, C 为对照值, T 为处理值, RI 为化感效应指数。 $RI>0$ 为浸提液对受体植物具有促进作用, $RI<0$ 为浸提液对受体植物具有抑制作用, RI

的绝对值的大小与强度一致。

综合化感效应: SE 是供体材料对同一受体材料的相同测定项的 RI 的算术平均值(张茂新,2002),将同测定项不同浓度的 RI 的算术平均值设为 SE_i ,各 SE_i 值的算术平均值为 SE 。

数据采用DPS V7.05版进行方差分析、显著性检验和标准差计算并用Microsoft Excel 2003作图。

2 结果与分析

2.1 蓝花楹花水浸液对莴苣与高羊茅的种子萌发的化感作用

在不同浓度蓝花楹花水浸液影响下,莴苣种子发芽率均在98%以上(图1), RI 值为-0.01~0.01,基本不受蓝花楹花水浸液影响;但发芽指数均比CK值小,随着浓度的增加其 RI 值依次为-0.13、-0.06、-0.36(表1)。反映出莴苣种子自身具有很强的萌发力,但也会因该水浸液而延迟发芽时间。而高羊茅种子的发芽率和发芽指数均小于CK值,发芽率的 RI 值随浓度增加依次减小,其发芽指数的 RI 值也依次为-0.36、-0.26、-0.45(表1),由此可以看出该水浸液对高羊茅种子萌发的抑制作用明显并有随着浓度增加而增强的趋势。

表1 蓝花楹花水浸液影响下莴苣与高羊茅种子萌发和幼苗生长的化感效应指数(RI)

Table 1 Allelopathic index of seed germination and seedling growth of *Lactuca sativa* and *Festuca arundinacea* influenced by water extract of *Jacaranda mimosifolia* flowers

受体植物 Receptor plant	浓度 Concentration ($g \cdot mL^{-1}$)	发芽率 Germination Rate (RI)	发芽指数 Germination index (RI)	苗高 Seedling height(RI)	根长 Root length (RI)	根冠比 Root-shoot ratio (RI)	MDA含量 MDA concent (RI)	根系活力 Root vigor (RI)
莴苣 <i>Lactuca sativa</i>	CK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.001	-0.01	-0.13	0.17	-0.35	-0.01	-0.47	-0.39
	0.025	0.00	-0.06	0.07	-0.53	-0.15	-0.25	-0.85
	0.050	0.01	-0.36	0.27	-0.55	-0.51	-0.29	-0.51
高羊茅 <i>Festuca arundinacea</i>	CK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.001	-0.14	-0.36	-0.15	0.03	0.39	-0.24	0.29
	0.025	-0.16	-0.26	-0.19	-0.09	0.24	0.58	0.55
	0.050	-0.30	-0.45	-0.14	-0.25	0.04	-0.17	0.53

2.2 蓝花楹花水浸液对莴苣与高羊茅的幼苗生长的化感作用

除了表现出不同浓度的蓝花楹花水浸液对受体植物的种子萌发有化感作用外,还表现出对受体植物的苗高和根冠比均有显著性差异影响(表1)。莴苣的苗高较CK值有所增加即 $RI>0$,根长和根冠比却随着处理浓度增加依次减少即 $RI<0$,而苗高、根长和根冠比的 RI 绝对值均随浓度增加而有所增

加(图2)。可见该水浸液在莴苣幼苗生长期内对其地上部(苗高)有促进作用,对地下部(根长)和根冠比有明显的抑制作用,化感强度也有随着浓度增加而增强的趋势。此外,高羊茅的苗高和根长受到的显著性差异影响主要表现在处理值和CK值之间(表1),苗高较CK值小即 $RI<0$,根长在浓度0.001 $g \cdot mL^{-1}$ 处略有增加($RI=0.03$)但随后减少,而根冠比均大于CK值即 $RI>0$ (表1)。这说明在该水

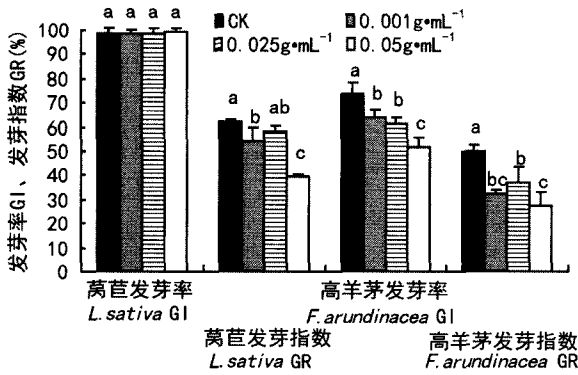


图 1 蓝花楹花水浸液对莴苣与高羊茅的种子萌发的影响 不同字母代表差异显著性分析结果($P < 0.05$); 相同字母表示差异不显著。下同。

Fig. 1 Effects of water extract from *Jacaranda mimosifolia* flowers on seed germination of *Lactuca sativa* and *Festuca arundinacea* The letters in the table represent significant differences ($P < 0.05$); the same letter indicates no significant difference. The same below.

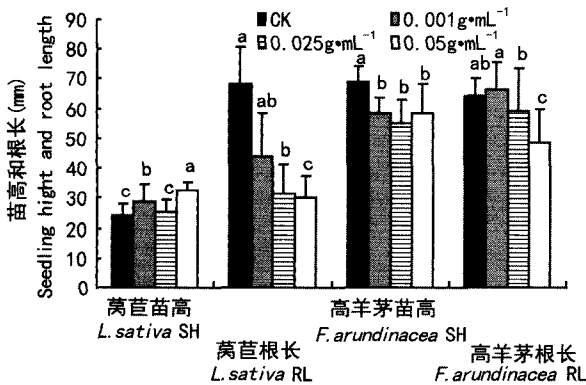


图 2 蓝花楹花水浸液对莴苣与高羊茅幼苗生长的影响
Fig. 2 Effects of water extract from *Jacaranda mimosifolia* flowers on seedling growth of *Lactuca sativa* and *Festuca arundinacea*

浸液影响下,高羊茅幼苗生长期的地上部(苗高)受到抑制作用,地下部(根长)和根冠比受到相对促进且呈现低浓度促进而高浓度抑制的现象。

2.3 蓝花楹花水浸液对莴苣与高羊茅的叶片丙二醛(MDA)含量及根系活力(TTC)的影响

三种不同浓度的蓝花楹花水浸液还对受体植物的叶片丙二醛(MDA)含量值和根系活力(TTC)值都产生了显著性差异影响(图 3:a,b),表现出莴苣的叶片 MDA 含量和根系活力均较 CK 值明显减少即 $RI < 0$,而高羊茅的叶片 MDA 含量在除在浓度 $0.025 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 处出现最大值 $5.94 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1}$ ($RI =$

0.58)外有所减少,高羊茅的 TTC 值均较 CK 值明显增多即 $RI > 0$,但莴苣和高羊茅 TTC 值的 RI 绝对值均在浓度 $0.025 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 处最大(表 1)。由此看出,该水浸液对莴苣叶片产生丙二醛的抑制强度较大,说明在同等胁迫条件下莴苣叶片的膜过氧化程度减小即受到的伤害较小,高羊茅叶片的膜过氧化程度增强即受到的伤害较大。此外,莴苣根系活力受蓝花楹花水浸液抑制作用明显,而高羊茅根系活力受到的促进作用明显。特别是这两个指标都对浓度 $0.025 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 化感作用较为敏感。

2.4 蓝花楹水浸液对莴苣与高羊茅的综合化感效应

综合化感效应是一个较复杂和长期的过程,本研究综合化感效应的结果说明的仅是短时间内(20 d)对受体植物的部分指标的综合效应。由表 2 可知,蓝花楹花水浸液对受体植物的各 SE_i 指标均产生了不同程度的化感影响,特别是在 SE_3 、 SE_5 和 SE_7 上差异明显。这些结果反映出蓝花楹花水浸液对莴苣受体植物的苗高有促进作用($SE_3 = 0.13$)而对其根冠比和根系活力存在抑制作用($SE_5 = -0.16$ 、 $SE_7 = -0.44$);而对高羊茅在 SE_3 、 SE_5 、 SE_7 上则相反。但总体反应了蓝花楹花水浸液对莴苣的抑制作用($SE = -0.17$)强于高羊茅($SE = -0.01$)。

3 讨论与结论

化感物质(Allelochemical)指化感作用中供体向环境释放的用于传递信息或作为媒介的化学物质,多是由植物产生的次生代谢物(Minorsky, 2002)。雨雾等自然水分能从活体植物组织的表面将水溶性或脂溶性化感物质淋溶出来,而植物组织的死亡和损伤可加速化感物质的淋溶。淋溶出的化感物质渗入土壤中或落到其下层植物上而对周围生物产生影响(周伟佳等,2011;Bais *et al.*, 2003)。本试验采用化感作用常用的生物测定法,在实验室内尽量排除了其他因素的干扰(曾任森,1999),以蒸馏水浸提的方法对蓝花楹花器官的化感物质进行浸取,模拟蓝花楹落花在自然状态下降水淋溶释放化感物质的现象。

不同浓度的蓝花楹花水浸液处理 20 d 后,莴苣和高羊茅的综合化感效应(SE)值分别为 -0.17 、 -0.01 ,即莴苣和高羊茅在本试验中均受到了该水浸液的抑制作用,但莴苣受到的抑制作用更强。这说明了该水浸液对受体植物产生了影响从而直接证明

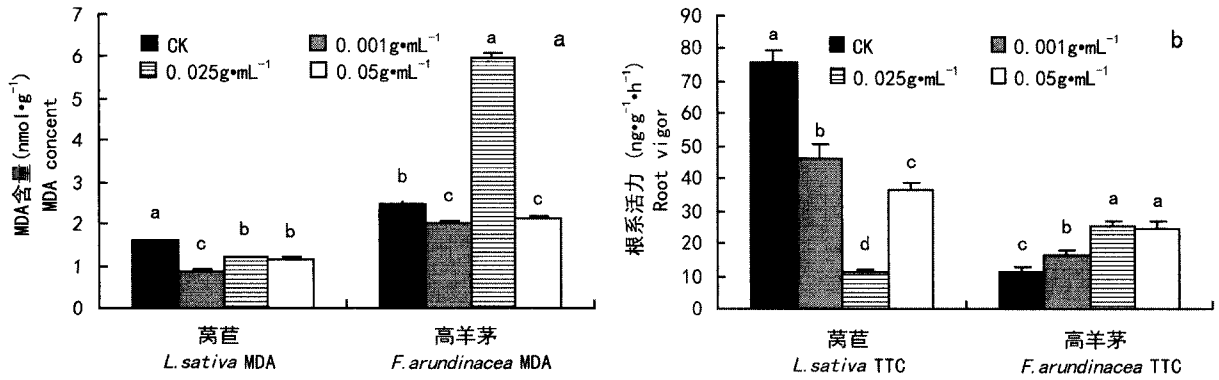


图 3 蓝花楹花水浸液对高羊茅与莴苣的叶片丙二醛(MDA)含量(a)及根系活力(TTC)(b)的影响
 Fig. 3 Effects of water extract from *Jacaranda mimosifolia* flowers on MDA content (a) and root vigor (b) of *Lactuca sativa* and *Festuca arundinacea* leaves

表 2 蓝花楹花水浸液对莴苣与高羊茅的综合化感效应 (SE)

Table 2 Comprehensive allelopathy of water extract from *Jacaranda mimosifolia* flowers on *Lactuca sativa* and *Festuca arundinacea*

项目 Item	发芽率 SE ₁ Seed rate	发芽指数 SE ₂ Seed index	苗高 SE ₃ Seedling height	根长 SE ₄ Root length	根冠比 SE ₅ Root-shoot ratio	MDA 含量 SE ₆ MDA content	根系活力 SE ₇ Root vigor	SE
莴苣 <i>Lactuca sativa</i>	0.00	-0.13	0.13	-0.36	-0.16	-0.25	-0.44	-0.17
高羊茅 <i>Festuca arundinacea</i>	-0.15	-0.27	-0.12	-0.08	0.16	0.04	0.34	-0.01

了其化感物质的存在,同时也说明了不同植物因自身不同的生物学特性对相同化感物质的响应是不同的(李美等,2010;王玲等,2012)。

本研究浓度为 0.025 g · mL⁻¹时多出现 RI 的最大值、最低值或某种变化趋势的拐点,特别是受体植物的 MDA 含量和 TTC 值的变化。反映出化感物质的浓度是影响化感作用的主要因素,化感作用性质和强度决定于其浓度大小(陈淑芳,2009),而该浓度很可能是蓝花楹花水浸液对植物产生化感作用的强度最大浓度。

综上所述,蓝花楹花器官存在化感物质且化感作用较强,化感作用敏感植物(莴苣)较蓝花楹林下常见草坪草(高羊茅)对供体化感物质的响应更明显。自然状态下,蓝花楹花器官的化感物质可引起相关植物生长发育变化,进而影响植物配置与造景的效果,这也与在四川温江与内江两地观察到的蓝花楹林下几乎没有其他植物的自然分布,且植物群落结构单一的现象时相吻合。这证明该水浸液浓度为 0.025 g · mL⁻¹会对周围植物产生显著影响,相当于蓝花楹林下垂直范围内(约 30 m²),在一定时间内落花量达 500 g 和降水量达 0.70 mm 时蓝花楹树下产生的化感作用,即在夏秋季短暂降雨后蓝花楹落花释放出的化感物质可能会对其周围植物产生较

明显的抑制作用,进一步表明这也是蓝花楹的生态对策(K-对策)之一。因此,建议在蓝花楹开花季节的园林养护应注意清理其落花而保证植物景观的相对稳定。本研究还有待对蓝花楹花器官中具体的化感物质种类和作用机理进一步作定性和定量研究,以及还应增加对受体植物受到长期影响的研究。

参考文献:

Ashrafi YZ, Sadeghi S, Mashhadi RH, et al. 2008. Allelopathic effects of sunflower (*Helianthus annuus*) on germination and growth of wild barley (*Hordeum spontaneum*) [J]. *J Agric Technol*, **4**(1):219-229

Bais HP, Vepachedu R, Gilroy S. 2003. Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions [J]. *Science*, **301**:1 377-1 380

Chen SF(陈淑芳). 2009. Discussion on influencing factors of plant allelopathy(植物化感作用影响因素的探讨)[J]. *Chin Agric Sci Bull*(中国农学通报), **25**(23):258-261

China Flora Editorial Board(中国植物志编辑委员会). 1990. *Flora Republicae Popularis Sinicae*(中国植物志)[M]. Beijing(北京): Science Press(科学出版社),69

Dong QF(董沁方). 2006. Research on allelopathy of the aqueous extracts and the root exudates of *lilium*(百合植株水浸液及根系分泌物的化感作用研究)[D]. Yangling(杨凌): Northwest A & F University(西北农林科技大学)

Gambaro V, Garbarino JA, Galeffi C, et al. 1988. Constituents of *Jacaranda mimosifolia* [J]. *Revista Latinoamericana de Quimica(Mexico)*, **19**:17-19

Li M(李美), Gao XX(高兴祥), Gao ZJ(高宗军), et al. 2010. A

- primary study on allelopathy of *Artemisia vulgaris* (艾蒿对不同植物幼苗的化感作用初探)[J]. *Acta Pratac Sin* (草业学报), **19**(6):114-119
- Li Q(李青), Liu YT(刘月婷), Li F(李帆), et al. 2012. Observation on flowering habit and floral organ structural characterization of *Jacaranda mimosifolia* (蓝花楹开花特性及其花器官构造特征观察)[J]. *Guangdong Agric Sci* (广东农业科学), **9**:44
- Liu ZL(刘忠玲), Wang QC(王庆成), Hao LF(郝龙飞). 2011. Interspecific allelopathic effect of different organs' aqueous extracts of *Betula platyphylla* and *Larix olgensis* on their seed germination and seedling growth(白桦、落叶松不同器官水浸液对种子萌发和播种苗生长的种间化感作用)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **12**(22):3 138-3 144
- Luo XY(罗小勇), Miao RR(苗荣荣), Zhou SJ(周世军). 2009. Allelopathic activities of different organs of 16 species garden plants(16种园林植物不同器官的化感活性)[J]. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), **25**(21):266-271
- Minorsky PV. 2002. Different roles for Catechin enantiomers secreted into rhizosphere[J]. *Plant Physiol*, **128**(4):1 163-1 164
- Pan ZG(潘志刚), You YT(游应天). 1994. Growing Exotic Trees in China(中国主要外来树种引种栽培)[M]. Beijing(北京): Science and Technology Press(科学技术出版社):684-686
- Rana A, Bhargalia S, Singh HP, et al. 2012. A new phenylethanoid glucoside from *Jacaranda mimosifolia*[J]. *Natural Prod Res*, **13**(27):1 167-1 173
- Rice EL. 1984. Allelopathy(2nd ed.)[M]. New York: Academic Press Inc:309
- Qi JH(戚建华), Liang YL(梁银丽), Liang ZS(梁宗锁). 2004. The review of researching allelopathy in agro-ecosystem(农业生态系统中化感作用研究综述)[J]. *Acta Agric Boreal-Occident Sin* (西北农业学报), **13**(2):115-118
- Wang L(王玲), Ma XJ(马喜娟), Zhang LZ(张秀珍). 2012. Allelopathy of *Thymus manschuricus* (东北百里香化感作用)[J]. *J Northeast For Univ* (东北林业大学学报), **7**(40):41-44
- Termoplastics(中华人民共和国国家标准).1992.Methods For Trees Seed Test(林木种子检验方法 GB2272-81)[S]. Beijing(北京): State General Bureau of Standardization(国家标准总局):7-14
- Williamson G B. 1988. Bioassays for allelopathy measuring treatment responses with independent controls[J]. *J Chem Ecol*, **14**(1):181-187
- Xue YJ(薛羽君), Bai AJ(白爱娟), Li D(李典). 2012. Analysis and numerical simulation of diurnal variation of precipitation in Sichuan Basin(四川盆地降水日变化特征分析和个例模拟)[J]. *Adv Earth Sci* (地球科学进展), **27**(8): 885-894
- Yan F(阎飞), Yang ZM(杨振明), Han LM(韩丽梅). 2000. Review on research methods for alelopathy and allelochemicals in plants(植物化感作用及其作用物的研究方法)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **20**(4):692-696
- Zeng LS(曾任森). 1999. Review on bioassay methods for allelopathy research(化感作用研究中的生物测定方法综述)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **10**(1):123-126
- Zhai MZ(翟梅枝), Zhu TH(朱天慧), Jia CX(贾彩霞). 2009. Effects of low polar practions from *Walnut* green husk on the growth of seedlings(核桃青皮中的低极性组分对几种植物种子萌发及幼苗生长的影响)[J]. *J Northwest For Univ* (西北林学院学报), **24**(4):156-159
- Zhang MX(张茂新), Lin B(凌冰), Kong CH(孔垂华), et al. 2002. Allelopathic potential of volatile oil from *Mikania micrantha* (薇甘菊挥发油的化感潜力)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(10):1 300-1 302
- Zhou WJ(周伟佳), Wu YY(吴颖胤), Zhen SS(郑思思), et al. 2011. Allelopathic effect of *Acacia mearnsion* the seed germination of several plants(黑荆对几种林下植物种子萌发的化感作用)[J]. *Bull Bot Res* (植物研究), **31**(2):235
- Zhang ZL(张志良), Zhai WJ(翟伟菁). 2002. Pedagogy about Plant Physiology Experiment(植物生理学实验指导)[M]. 3rd Ed(第3版). Beijing(北京): Higher Education Press(高等教育出版社):274-276

(上接第342页 Continue from page 342)

- Effect of light quality on the organization of photosynthetic electron transport chain of pea seedlings[J]. *Plant Physiol*, **59**(2): 151-154
- Voskresenskaya NP, Nechaeva EP, Vlasova MP, et al. 1968. Significance of blue light and kinetin for restoration of the photosynthetic apparatus of aging barley leaves[J]. *Sov Plant Physiol*, **15**:890
- Wu XX(吴雪霞), Yang XC(杨晓春), Zhu ZW(朱宗文), et al. 2013. Effects of exogenous 6-BA on photosynthesis, chlorophyll fluorescence characteristics and the allocation of absorbed light in eggplant seedlings under low temperature stress(外源6-BA对低温胁迫下茄子幼苗光合作用、叶绿素荧光参数及光能分配的影响)[J]. *Plant Physiol J* (植物生理学报), **49**(11):1 181-1 188
- Xu JZ(徐景智), Li TK(李同错), Liao XR(廖祥儒), et al. 2002. Study advances on selective absorption to light wavelengths in the development of plants(温室大棚作物生长发育对光色选择性吸收的研究进展)[J]. *J Hebei Univ: Nat Sci Ed* (河北大学学报·自然科学版), **22**(2):202-207
- Xu K(徐凯), Guo YP(郭延平), Zhang SL(张上隆), et al. 2004. Effect of light quality on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in strawberry leaves(不同光质对草莓叶片光合作用和叶绿素荧光的影响)[J]. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), **38**(2): 369-375
- Yang XQ(杨晓青), Zhang SQ(张岁岐), Liang ZS(梁宗锁), et al. 2003. Effects of water stress on chlorophyll fluorescence parameters of different drought resistance winter wheat cultivars seedlings(水分胁迫对不同抗旱类型冬小麦幼苗叶绿素荧光参数的影响)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), **24**(5):812-816
- Zhang CH(张赤红), Wang SM(王述民). 2005. The genetic diversity assessment of common bean germplasm resources by using SSR markers(应用SSR标记对普通菜豆种质资源遗传多样性的评价)[J]. *Acta Agron Sin* (作物学报), **31**(5):619-627