

# 大花金鸡菊水浸液对 6 种常见园林植物种子萌发的化感作用

杜明利<sup>1</sup>, 高岩<sup>2,3</sup>, 张汝民<sup>2,3</sup>, 高群英<sup>1</sup>, 傅杭飞<sup>2</sup>

(1. 浙江农林大学 园林学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300;  
3. 浙江农林大学 浙江省林学基础实验教学示范中心, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 为探讨外来种大花金鸡菊 *Coreopsis grandiflora* 对本地植物的化感作用, 采用生物测定方法研究了大花金鸡菊叶及根水浸液对狗牙根 *Cynodon dactylon*, 翦股颖 *Agrostis* spp., 结缕草 *Zoysia japonica*, 二月兰 *Orychophragmus violaceus*, 石竹 *Dianthus chinensis* 和鸡冠花 *Celosia cristata* 等 6 种植物种子萌发的影响。结果表明: 随着大花金鸡菊叶浸液质量浓度的增加, 受试植物种子发芽率逐渐降低, 质量浓度为 50.0 g·L<sup>-1</sup> 时抑制作用达到最大, 其中对狗牙根、翦股颖、结缕草和二月兰有极显著的抑制作用 ( $P < 0.01$ ), 抑制率分别为 39.33%, 56.0%, 53.33% 和 46.22%。大花金鸡菊水浸液对发芽指数的影响大于对发芽率的影响。受试植物种子总化感效应大小依次为结缕草 > 翦股颖和二月兰 > 狗牙根 > 石竹 > 鸡冠花。综合分析表明, 化感作用在外来种大花金鸡菊与本地植物生存竞争中起重要作用。图 2 表 2 参 25

**关键词:** 植物学; 大花金鸡菊; 园林植物; 水浸提液; 种子萌发; 化感作用

中图分类号: S718.3 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2011)01-0109-06

## Allelopathic effects from aqueous extracts of exotic *Coreopsis grandiflora* on seed germination of six native ornamental plant species

DU Ming-li<sup>1</sup>, GAO Yan<sup>2,3</sup>, ZHANG Ru-min<sup>2,3</sup>, GAO Qun-ying<sup>1</sup>, FU Hang-fei<sup>2</sup>

(1. School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. The General of Zhejiang Forestry Experiment Teaching Center, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** In order to make clear the allelopathic effects of the exotic *Coreopsis grandiflora* on the native plant species, we studied the effects from aqueous leaf and root extracts of *C. grandiflora* on the seed germination of *Cynodon dactylon*, *Agrostis* spp., *Zoysia japonica*, *Orychophragmus violaceus*, *Dianthus chinensis*, and *Celosia cristata* using the bioassay. Results showed that the aquatic leaf extract of *C. grandiflora* had significant allelopathic effects on seed germination of the six plant species, with the effects varying with the concentration of the extract. Foliar extracts at a concentration of 50.0 g·L<sup>-1</sup> were found to be inhibitory ( $P < 0.01$ ) to seed germination for *C. dactylon*, *Agrostis* spp., *Z. japonica* and *O. violaceus*, with inhibition rates of 39.33%, 56.0%, 53.33%, and 46.22%, respectively, compared with the control. In addition, the seed germination index was more sensitive to extract application than the germination percent, with allelopathic sensitivity in the order of *Z. japonica* > *Agrostis* spp. and *O. violaceus* > *C. dactylon* > *D. chinensis* > *C. cristata*. Results suggested that for the exotic *C. grandiflora* allelopathy may play an important role when competing with native plants. [Ch, 2 fig. 2 tab. 25 ref.]

**Key words:** botany; *Coreopsis grandiflora*; landscape plant; aqueous extract; seed germination; allelopathy

收稿日期: 2010-05-01; 修回日期: 2010-06-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30760193); 浙江农林大学科研发展基金资助项目(2010FR057)

作者简介: 杜明利, 从事园林植物栽培与管理研究。E-mail: dumingli121@163.com。通信作者: 高岩, 教授, 博士, 从事植物化学生态和植物发育生理学等研究。E-mail: gaoyan1960@sohu.com

植物在其生长发育过程中,通过茎叶淋溶、根系分泌、地上挥发以及植株残株的腐解等途径向环境中释放次生代谢产物(化学物质),对本身或另一种植物(包括微生物)产生促进或抑制作用,这种现象称为植物化感作用(简称化感作用, allelopathy)<sup>[1-2]</sup>。化感作用一词自1937年提出以来<sup>[3]</sup>,科学工作者对其进行大量卓有成效的探索与研究<sup>[4]</sup>,但这些研究大多是集中在农业、作物、林业等方面<sup>[5]</sup>,对园林植物化感作用的研究鲜见报道。目前,园林植物配置大多是借鉴生产和生活经验,缺乏定性定量的科学依据<sup>[6]</sup>。随着近年来中国经济的快速发展和绿色环保意识的加强,城市园林建设越来越受到广泛关注和重视。利用化感作用来调整和改善植物之间的相互配置,将会使园林植物的配置更加具有科学性,植物群落演替向更合理的生态结构发展,同时也利于园林人工生态系统的稳定和功能发挥。所以,园林植物的化感作用日渐成为研究的热点和焦点之一<sup>[6]</sup>。外来种大花金鸡菊 *Coreopsis grandiflora* 为菊科 Compositae 金鸡菊属 *Coreopsis*, 多年生草本。原产美洲,作为观赏植物传入中国,目前在山东、浙江和云南等全国各地都常见栽培<sup>[7-8]</sup>。在有些地方因管理不善等原因,大花金鸡菊逸生成为野生植物,甚至形成了其单一存在模式,对同区域很多其他植物构成了生存威胁,成为中国主要外来杂草之一<sup>[9-11]</sup>。造成这种现象的原因可能有很多方面,大花金鸡菊对各种环境条件的适应性都比较强,在争夺水分、养分、阳光等方面也都比较有优势,还有可能就是大花金鸡菊的根叶等部位释放了化感物质,形成了化感作用。而最近研究表明,化感作用是外来植物入侵成功的最重要机制之一<sup>[5]</sup>。基于此,选择了园林常用的外来种大花金鸡菊作为研究对象。以大花金鸡菊叶及根水浸液为供体,6种本地园林常见地被花卉及草坪草为受体,在人工控制条件下,研究其化感影响,并为其园林配置提供更加符合生态学原理的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试植物大花金鸡菊幼苗由浙江虹越花卉有限公司提供。2009年5月栽植幼苗于浙江农林大学试验田中。8月大花金鸡菊盛花后期,采摘其生长健康的植株叶片,并挖取其根部,带回实验室冲洗干净,阴干后粉碎成粉末,装袋密封,储藏备用。

受试植物种子为二月兰 *Orychophragmus violaceus*, 鸡冠花 *Celosia cristata*, 石竹 *Dianthus chinensis*, 狗牙根 *Cynodon dactylon*, 结缕草 *Zoysia japonica* 和翦股颖 *Agrostis* spp., 由浙江虹越花卉有限公司提供。

### 1.2 大花金鸡菊水浸提液制备

准确称取大花金鸡菊根、叶干粉各5.0 g,分别置于三角瓶中,加入100.0 mL蒸馏水,在25℃条件下浸提48 h(隔12 h摇动5 min),再经4 000 r·min<sup>-1</sup>离心10 min,取上清液,然后用定量滤纸过滤,过滤得大花金鸡菊根、叶水浸提液,母液质量浓度为50.0 g·L<sup>-1</sup>(即100.0 mL水中含有5.0 g植物干物质),保存在4℃冰箱中备用。

### 1.3 种子培养及处理

将大花金鸡菊根、叶浸液稀释为0.5, 5.0, 25.0和50.0 g·L<sup>-1</sup>,用于处理受试植物种子。受试植物种子用10.0 g·L<sup>-1</sup>高锰酸钾溶液消毒处理15 min,后蒸馏水反复冲洗(5~6次)至高锰酸钾完全洗净。然后,将种子分别培养在底部垫2层滤纸的培养皿中,播种均匀一致的种子50粒·皿<sup>-1</sup>,各种受试植物种子分别加入不同质量浓度大花金鸡菊根、叶浸液5.0 mL,对照加入蒸馏水5.0 mL,盖上盖。置于温度为25℃,湿度70%的PQX多段人工气候箱中培养,加入蒸馏水1.0 mL·d<sup>-1</sup>。重复3次·处理<sup>-1</sup>。

### 1.4 研究方法

以胚根冲破种皮为发芽标准<sup>[12]</sup>,每天记录发芽种子的数量,待连续2 d无萌发时,统计发芽率并计算种子发芽指数。发芽率(%)=(规定时间内种子发芽数/供试种子数)×100%。发芽指数( $G_t$ )= $\sum G_t/D_t$ 。其中, $G_t$ 为在第 $t$ 天的发芽数, $D_t$ 为相应的天数<sup>[13]</sup>。测定结果参照Williamson等<sup>[14]</sup>的方法计算化感作用效应指数 $I_{RI} = 1 - C/T$  ( $T \geq C$ )或 $I_{RI} = T/C - 1$  ( $T < C$ )。 $I_{RI} > 0$ 为促进, $I_{RI} < 0$ 为抑制, $I_{RI}$ 绝对值的大小与作用强度一致(其中 $C$ 为对照值, $T$ 为处理值)。

参照马瑞君等<sup>[15]</sup>的方法处理 $I_{RI}$ 值,即采用相加平均法,所得结果用 $M$ 表示。 $M$ 值用于评价受体植物对化感作用敏感性或供体植物的化感效应,其含义不变,即 $M > 0$ 为促进, $M < 0$ 为抑制。数据的处理过程用式(1)表示:

$$M_R = \frac{\sum_{j=1}^n \alpha_j}{n} \quad (1)$$

式(1)中,  $R$  为平均敏感指数( $M$ )的级别或层次,  $\alpha$  为数据项,  $n$  为该级别或层次数据( $I_{Ri}$ )的总个数。本研究中  $M_1$  评价大花金鸡菊不同部位水浸液对 6 种植物发芽率和发芽指数的化感效应;  $M_2$  评价大花金鸡菊不同部位水浸液对 6 种植物在种子萌发水平的综合化感效应;  $M_3$  评价 6 种植物发芽率和发芽指数对大花金鸡菊全株水浸液的综合敏感性;  $M_4$  评价各受试植物在萌发水平的综合敏感性。

## 1.5 数据分析

采用 SPSS 13.0 软件进行数据处理, 用 Excel 做图。

## 2 研究结果

### 2.1 大花金鸡菊浸提液对 6 种植物种子发芽率的影响

狗牙根、翦股颖、结缕草、二月兰、石竹和鸡冠花等 6 种植物种子分别采用大花金鸡菊根浸液和叶浸液处理, 统计种子发芽率, 结果如图 1 所示。

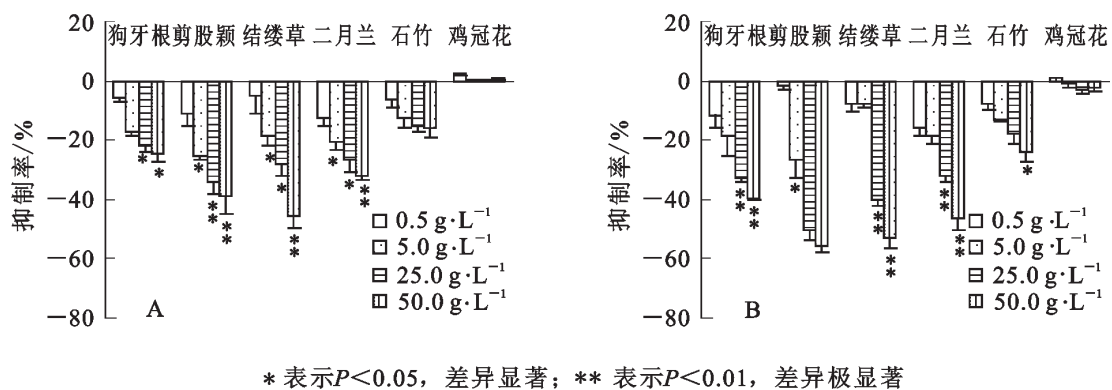


图 1 大花金鸡菊根浸液(A)和叶浸液(B)对发芽率的影响

Figure 1 Effects by aqueous extracts from roots(A) and leaves(B) of *Coreopsis grandiflora* on germination rate

由图 1-A 可见, 大花金鸡菊根浸液对鸡冠花种子发芽率的影响略微, 无明显作用; 对石竹发芽率有一定程度的影响, 但与对照相比差异不显著, 其中在  $50.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  时抑制率最大, 为  $16.0\%$ ;  $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  的根浸液对其余 4 种植物略有抑制作用;  $5.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  的根浸液对翦股颖、结缕草和二月兰有显著的抑制作用 ( $P < 0.05$ );  $25.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  的根浸液对狗牙根和结缕草有显著的抑制作用 ( $P < 0.05$ ), 对翦股颖有极显著的抑制作用 ( $P < 0.01$ ); 而  $50.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  的根浸液对翦股颖、结缕草和二月兰均有极显著的抑制作用 ( $P < 0.01$ ), 对狗牙根、翦股颖、结缕草和二月兰发芽的抑制率分别为  $24.33\%$ ,  $38.67\%$ ,  $45.33\%$  和  $32.22\%$ , 其中对结缕草的抑制作用最强, 对鸡冠花的抑制作用最弱。

图 1-B 中, 大花金鸡菊叶浸液同样对鸡冠花发芽率无明显影响; 对石竹的抑制作用只在  $50 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  时达到显著水平 ( $P < 0.05$ ), 为  $24.0\%$ ;  $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  的叶浸液对这几种植物均无明显的抑制作用;  $5.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  叶浸液对翦股颖有显著的抑制作用 ( $P < 0.05$ );  $25.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $50.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  的叶浸液对其余 4 种植物的抑制作用均达到极显著水平 ( $P < 0.01$ ),  $50.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  水浸液对狗牙根、翦股颖、结缕草和二月兰发芽的抑制率分别为  $39.33\%$ ,  $56.0\%$ ,  $53.33\%$  和  $46.22\%$ , 其中对翦股颖的抑制作用最大, 对鸡冠花的抑制作用最小。

综合分析可知, 6 种植物中有 5 种的发芽率受到了不同程度的抑制作用, 受抑制程度由强至弱依次为翦股颖 > 结缕草 > 二月兰 > 狗牙根 > 石竹; 鸡冠花的发芽率几乎未受影响(表 2)。

### 2.2 大花金鸡菊浸提液对 6 种植物种子发芽指数的影响

不同质量浓度大花金鸡菊浸提液对几种受试植物种子发芽指数的抑制作用不同。大花金鸡菊根浸液对鸡冠花发芽指数无明显的抑制作用;  $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  根浸液对其余几种植物影响不明显;  $5.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  根浸液对狗牙根、翦股颖和石竹种子发芽指数的抑制作用较大, 呈显著水平 ( $P < 0.05$ );  $25.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  根浸液对结缕

草、二月兰和石竹发芽指数有显著的抑制作用( $P<0.05$ ),对狗牙根和翦股颖有极显著的抑制作用( $P<0.01$ ); $50.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 根浸液对5种植物的抑制水平呈极显著( $P<0.01$ ),其中对翦股颖的抑制率最大,为46.21%,二月兰的抑制率最小为30.85%(图2-A)。

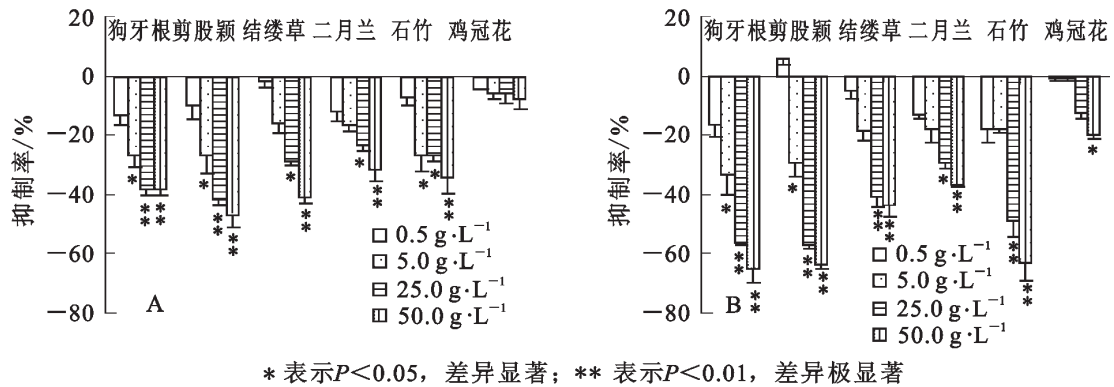


图2 大花金鸡菊根浸液(A)和叶浸液(B)对发芽指数的影响

Figure 2 Effects by aqueous extracts from roots(A) and leaves(B) of *Coreopsis grandiflora* on germination index

$0.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 大花金鸡菊叶浸液对翦股颖种子发芽指数略有促进作用,对其他植物无明显影响; $5.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 叶浸液对狗牙根和翦股颖发芽指数有显著的抑制作用( $P<0.05$ ),对其他植物有一定程度的影响,但作用不明显; $25.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 叶浸液对二月兰的抑制作用呈显著水平( $P<0.05$ ),对狗牙根、翦股颖、结缕草和石竹呈极显著水平( $P<0.01$ ); $50.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 叶浸液对鸡冠花有显著的抑制作用( $P<0.05$ ),对其余植物发芽指数的抑制作用达到了极显著水平( $P<0.01$ ),其中对狗牙根抑制作用最大,抑制率为65.39%,对鸡冠花抑制作用最小,抑制率为19.67%(图2-B)。

水浸液对发芽指数的影响普遍强于对发芽率的影响(表1)。综合分析各处理对6种植物发芽指数 $I_{\text{RI}}$ 值可知,有5种植物受抑制程度大于发芽率 $I_{\text{RI}}$ 值。不同植物的发芽指数值相互间差异较大,化感作用最明显的是石竹,为-0.65,而鸡冠花仅为-0.08。大花金鸡菊浸提液对6种植物种子萌发的综合影响(表1),受试植物种子总化感效应大小依次为结缕草>翦股颖和二月兰>狗牙根>石竹>鸡冠花。

表1 6种植物对大花金鸡菊水浸液化感作用的敏感指数

Table 1 Assessment of sensitivity of 6 plants to allelopathy of aqueous extracts from leaves and roots of *Coreopsis grandiflora*

项目	狗牙根	翦股颖	结缕草	二月兰	石竹	鸡冠花
发芽率( $M_3$ )	-0.45	-0.49	-0.48	-0.46	-0.13	0.00
发芽指数( $M_3$ )	-0.51	-0.49	-0.55	-0.51	-0.65	-0.08
均值( $M_3$ )	-0.48	-0.49	-0.51	-0.49	-0.39	-0.04

说明:表中数据为各项测定指标的 $I_{\text{RI}}$ 值,其由式(1)计算所得。

### 2.3 大花金鸡菊根、叶水浸液的作用差异

综合分析根和叶水浸液对6种植物发芽率和发芽指数的化感作用表明(表2),大花金鸡菊2种水浸液分别对发芽率和发芽指数的影响,均是叶浸液比根浸液作用较大,其中,对发芽率的平均 $I_{\text{RI}}$ 值根浸液和叶浸液分别为-0.29和-0.38,对发芽指数为-0.40和-0.53。2种水浸液对发芽率和发芽指数的总体化感效应同样是叶略强于根,叶片 $I_{\text{RI}}$ 均值为-0.45,而根为-0.34,叶的化感作用强度是根的1.3倍。

## 3 讨论

化感作用普遍存在于植物群落演替中,是植物生存竞争的重要手段之一,尤其是对外来入侵植物而言,化感作用是其与本土物种竞争的一项重要优势<sup>[5]</sup>。菊科植物的许多属、种普遍存在化感作用,而对中国生态环境造成极大危害的16种外来物种中,紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum*, 豚草 *Ambrosia artemisiifolia*, 微甘菊 *Mikania micrantha*, 飞机草 *Eupatorium odoratum* 均为菊科植物<sup>[16]</sup>。本研究证明,同

表 2 大花金鸡菊根、叶水浸液化感作用效应比较

Table 2 Comparison of allelopathic potentials of aqueous extracts from roots and leaves of *Coreopsis grandiflora* to 6 plants

项目	一级指标 $M_1$				二级指标 $M_2$	
	发芽率		发芽指数		根	叶
	根	叶	根	叶		
狗牙根	- 0.35	- 0.55	- 0.41	- 0.61	- 0.38	- 0.58
剪股颖	- 0.44	- 0.54	- 0.45	- 0.53	- 0.45	- 0.54
结缕草	- 0.45	- 0.50	- 0.49	- 0.61	- 0.47	- 0.56
二月兰	- 0.42	- 0.51	- 0.47	- 0.55	- 0.44	- 0.53
石竹	- 0.11	- 0.15	- 0.51	- 0.78	- 0.31	- 0.47
鸡冠花	0.01	- 0.01	- 0.06	- 0.10	- 0.02	- 0.05
均值	- 0.29	- 0.38	- 0.40	- 0.53	- 0.34	- 0.45

说明：表中数据为各项测定指标的  $I_{\text{H}}$  值，其由式(1)计算所得。

属菊科植物的外来种大花金鸡菊对 6 种本地常见植物种子萌发存在明显的抑制作用，这与前人的研究结果一致<sup>[17-20]</sup>。据此推断，大花金鸡菊具有化感作用潜势，这与其扩散快，易形成单优群落可能密切相关。

种子萌发是种子植物生长、繁衍的重要途径，是其生命进程的开始。种子发芽数减少和发芽速度减慢必然会影响植物种群的生存竞争与扩大繁衍<sup>[15]</sup>。梅玲笑等<sup>[21]</sup>，方芳等<sup>[22]</sup>研究发现加拿大一枝黄花 *Solidago canadensis* 具有明显的化感作用，对其他植物的生长发育造成了严重影响；佛罗里达迷迭香 *Ceratiola ericoides* 提取液对本地共存植物种子萌发具有抑制作用，化感作用可能是佛罗里达迷迭香生长区砂土裸露的部分原因<sup>[23]</sup>。大花金鸡菊浸提液对 6 种植物均产生了不同程度的抑制作用，而且多数达到了显著及极显著水平，说明大花金鸡菊可能具有较普遍的化感作用。不同受体植物对化感作用的反应不同，其中鸡冠花的种子萌发几乎未受影响，这可以为大花金鸡菊与其他植物配置提供一定参考，但还需要进一步的研究。

大花金鸡菊根浸液和叶浸液均对浙江 6 种园林植物存在显著化感作用。化感效应随提取液质量浓度增加而增强，与根相比，叶浸液对几种植物的抑制作用更明显，这可能与不同器官化感物质种类及含量不同有关<sup>[19]</sup>。说明大花金鸡菊叶片含有更多或活性更强且较稳定的化感物质，这与已有研究结果相同<sup>[24-25]</sup>。在自然条件下，植物地上部分化感物质可以通过雨水淋溶方式进入周围土壤；地下部在雨水或雪水浸泡下，体内化感物质也可以逐渐渗入土壤。由此，可以推断雨水淋溶可能是大花金鸡菊向环境释放化感物质的有效途径之一，当土壤中化感物质积累到一定质量浓度时，将对周边植物种子萌发产生影响。

#### 参考文献：

- [1] RICE E. *Allelopathy* [M]. 2nd ed. New York: Academic Orlando, 1984.
- [2] INDERJIT K L, DUKE S O. Ecophysiological aspects of allelopathy [J]. *Planta*, 2003, **217**: 529 - 539.
- [3] 孔垂华. 植物化感作用研究中应注意的问题[J]. *应用生态学报*, 1998, **9** (3): 332 - 336.  
KONG Cuihua. Problems needed attention on plant allelopathy research [J]. *Chin J Appli Ecol*, 1998, **9** (3): 332 - 336.
- [4] 孔垂华, 胡飞. 化感作用及其应用[M]. 北京: 农业出版社, 2001.
- [5] ZENG Rensen, MALLIK A U, LUO Shiming. *Allelopathy in Sustainable Agriculture and Forestry* [M]. Berlin: Springer Verlag, 2008.
- [6] 张岚, 高素萍. 园林植物化感作用研究现状与问题探讨[J]. *浙江林学院学报*, 2007, **24** (4): 497 - 503.  
ZHANG Lan, GAO Suping. Review of researches on allelopathy of ornamental plants [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, **24** (4): 497 - 503.
- [7] 林榕, 陈艺林, 石铸. 中国植物志: 第 75 卷[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 364 - 365.
- [8] 郑朝宗. 浙江植物志: 第 6 卷[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1993: 257.
- [9] 赖秀雅, 吴庆玲, 李想, 等. 浙江归化植物新资料[J]. *温州大学学报*, 2008, **29** (5): 13 - 16.

- LAI Xiuya, WU Qingling, LI Xiang, *et al.* New records of naturalized plant in Zhejiang Province [J]. *J Wenzhou Univ*, 2008, **29** (5): 13 – 16.
- [10] 傅俊范. 中国外来有害生物入侵现状及控制对策[J]. 沈阳农业大学学报, 2005, **36** (4): 387 – 391.  
FU Junfan. Current status of invasive alien pests in China and control strategies [J]. *J Shenyang Agric Univ*, 2005, **36** (4): 387 – 391.
- [11] 梁玉. 外来种大花金鸡菊入侵的影响因子及其遗传多样性研究[D]. 济南: 山东大学生命科学学院, 2007.  
LIANG Yu. *The Study on Factors Influencing Invasions and Genetic Diversity in Alien Species Coreopsis grandiflora Hogg* [D]. Jinan: Shandong University. College of Life Science, 2007.
- [12] 金银根. 植物学[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [13] LEATHER G R, EINHELLIG F A. *Bioassays in the Study of Allelopathy* [M]. New York: John Wiley & Sons, 1986: 133 – 145.
- [14] WILLIAMSON G B, RICHARDSON D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls [J]. *J Chem Ecol*, 1988, **14** (1): 181 – 187.
- [15] 马瑞君, 王明理, 赵坤, 等. 高寒草场优势杂草黄帚橐吾水浸液对牧草的化感作用[J]. 应用生态学报, 2006, **17** (5): 845 – 850.  
MA Ruijun, WANG Mingli, ZHAO Kun, *et al.* Allelopathy of aqueous extract from *Ligularia virgaurea*, a dominant weed in psychrograssland on pasture plants [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, **17** (5): 845 – 850.
- [16] 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): 1776 – 1784.  
ZHOU Kai, GUO Weiming, XU Yingchun. Advances of research on allelopathic potential in compositae [J]. *Acta Ecol Sin*, 2004, **24** (8): 1776 – 1784.
- [17] 王大力, 祝心如. 三裂叶豚草的化感作用研究[J]. 植物生态学报, 1996, **20** (4): 330 – 337.  
WANG Dali, ZHU Xinru. Allelopathic research of *Ambrosia trifid* [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 1996, **20** (4): 330 – 337.
- [18] 聂呈荣, 曾任森, 骆世明, 等. 三裂叶蟛蜞菊对水稻化感作用的初步研究[J]. 作物学报, 2004, **30** (9): 942 – 946.  
NIE Chengrong, ZENG Rensen, LUO Shiming, *et al.* Allelopathic potentials of *Wedelia trilobata* L. on rice [J]. *Acta Agron Sin*, 2004, **30** (9): 942 – 946.
- [19] 胡飞, 孔垂华. 胜红蓟化感作用研究(I)水溶物的化感作用及其化感物质分离鉴定[J]. 应用生态学报, 1997, **8** (3): 304 – 308.  
HU Fei, KONG Chuihua. Allelopathy of *Ageratum conyzoides* (I) allelopathy of *Ageratum conyzoides* aqueous extract and isolation and identification of its allelochemicals [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1997, **8** (3): 304 – 308.
- [20] 马瑞君, 李刚, 朱慧, 等. 箭叶橐吾水溶物对9种牧草种子化感作用研究[J]. 草业学报, 2007, **16** (6): 83 – 93.  
MA Ruijun, LI Gang, ZHU Hui, *et al.* Allelopathic effects of aqueous extracts from *Ligularia sagitta* on seed of nine pasture plants [J]. *Acta Pratac Sin*, 2007, **16** (6): 83 – 93.
- [21] 梅玲笑, 陈欣, 唐建军. 外来杂草加拿大一枝黄花对入侵地植物的化感效应[J]. 应用生态学报, 2005, **16** (12): 2379 – 2382.  
MEI Lingxiao, CHEN Xin, TANG Jianjun. Allelopathic effects of invasive weed *Solidago canadensis* on native plants [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2005, **16** (12): 2379 – 2382.
- [22] 方芳, 郭水良, 黄华, 等. 开花期加拿大一枝黄花水浸提液对3种作物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 植物研究, 2007, **27** (5): 569 – 573.  
FANG Fang, GUO Shuiliang, HUANG Hua, *et al.* On effects of maceration extract from *Solidago canadensis* in flower period on seed germination and grow of three crops [J]. *Bull Botl Res*, 2007, **27** (5): 569 – 573.
- [23] REBECCA E H, ERIC S M. Allelopathic effects of *Ceratiola ericoides* (Empetraceae) on germination and survival of six Florida scrub species [J]. *Plant Ecol*, 2008, **198**: 47 – 59.
- [24] TURK M A, TAWAHA A M. Inhibition effect of aqueous extract of black mustard on germination and growth of lentil park [J]. *J Agron*, 2002, **1** (1): 28 – 30.
- [25] TURK M A, TAWAHA A M. Allelopathy effect of black mustard (*Brassica nigra* L.) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.) [J]. *Crop Prot*, 2003, **22**: 673 – 677.