

# 外来植物日本落叶松凋落叶对卧龙乡土植物化感作用的研究

邱艳霞<sup>1</sup>, 杨舒婷<sup>1</sup>, 叶红<sup>1</sup>, 骆娟<sup>1</sup>, 马晓娜<sup>1</sup>,  
张傲来<sup>1</sup>, 白洁<sup>1</sup>, 何廷美<sup>2</sup>, 谭迎春<sup>2</sup>, 刘明冲<sup>2</sup>, 叶平<sup>2</sup>

(1. 四川大学生命科学学院生物资源与生态环境教育部重点实验室, 成都 610065;  
2. 四川卧龙国家级自然保护区管理局, 汶川 623000)

**摘要:** 为了探究外来植物日本落叶松(*Larix kaempferi*)凋落叶对乡土植物的化感作用, 本文以5种卧龙乡土植物为试材, 采用培养皿滤纸法及盆栽土培法, 研究了不同浓度(0.01、0.05、0.1 g/mL)的日本落叶松凋落叶水浸提液对乡土植物种子萌发及幼苗生长的影响. 结果表明: 日本落叶松凋落叶水浸提液对5种乡土植物种子萌发及幼苗生长均有影响. 1) 浸提液对种子萌发的化感作用综合效应的强度依次为紫花苜蓿(*Medicago sativa*) > 夏枯草(*Prunella vulgaris*) > 草木犀(*Melilotus officinalis*) > 车前(*Plantago depressa*) > 披碱草(*Elymus dahuricus*). 浸提液对紫花苜蓿、草木犀及夏枯草种子萌发主要表现出抑制作用, 且抑制程度与浸提液浓度正相关; 对披碱草及车前种子萌发表现出“低促高抑”的现象. 2) 浸提液对幼苗生长的化感作用综合效应的强度依次为紫花苜蓿 > 草木犀 > 夏枯草 > 披碱草 > 车前. 其中浸提液对紫花苜蓿及草木犀幼苗生长主要表现出抑制作用且与浓度呈正相关; 对披碱草及夏枯草幼苗生长表现出“低促高抑”的作用, 对车前幼苗的生长始终表现为促进作用. 研究结果为日本落叶松林下人工补植、增加植物多样性提出了营林管理措施.

**关键词:** 日本落叶松; 凋落叶水浸提液; 化感作用; 种子萌发; 幼苗生长

**中图分类号:** S791      **文献标识码:** A      **DOI:** 10.19907/j.0490-6756.2021.046001

## Allelopathic effects of exotic plant *Larix kaempferi* litters on Wolong native plants

QIU Yan-Xia<sup>1</sup>, YANG Shu-Ting<sup>1</sup>, YE Hong<sup>1</sup>, LUO Juan<sup>1</sup>, MA Xiao-Na<sup>1</sup>,  
ZHANG Ao-Lai<sup>1</sup>, BAI Jie<sup>1</sup>, HE Ting-Mei<sup>2</sup>, TAN Ying-Chun<sup>2</sup>, LIU Ming-Chong<sup>2</sup>, YE Ping<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Bio-Resources and Eco-Environment of Ministry of Education,  
College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Sichuan Wolong National Nature Reserve Administration, Wenchuan 623000, China)

**Abstract:** In order to explore the allelopathy of leaf litter of *Larix kaempferi* on native plants, the effects of different concentrations (0.01, 0.05, 0.1 g/mL) of water extracts of *Larix kaempferi* litters (LkLWE) on seed germination and seedling growth of native plants were studied using petri dish filter paper method and pot soil culture method with 5 native plants in Wolong. The results showed that

收稿日期: 2020-12-19

基金项目: 四川省重大科技专项课题(2018SZDZX0037)

作者简介: 邱艳霞(1994-), 女, 硕士研究生, 主要研究领域为野生动植物保护. E-mail: 347847184@qq.com

通讯作者: 白洁. E-mail: baijie@scu.edu.cn

LkLWE had an effect on the seed germination and seedling growth of 5 native plants. 1) The intensity of the comprehensive effect of the allelopathy of LkLWE on seed germination was in order of *M. sativa* > *P. vulgaris* > *M. officinalis* > *P. depressa* > *E. dahuricus*. The LkLWE mainly inhibited the seed germination of *M. sativa*, *M. officinalis* and *P. vulgaris*, and the inhibition degree was positively correlated with the concentration of the extract; the seed germination of *E. dahuricus* and *P. dipressa* showed a phenomenon of low promotion and high inhibition. 2) The intensity of allelopathic comprehensive effect of LkLWE on the growth of seedlings was in the order of *M. sativa* > *M. officinalis* > *P. vulgaris* > *E. dahuricus* > *P. depressa*. Among them, the extract mainly inhibited the seedlings growth of *M. sativa* and *M. officinalis*, and was positively correlated with the concentration. The LkLWE has a low-promoting and high-inhibiting effect on the seedlings growth of *E. dahuricus* and *P. vulgaris*, and has always been a positive effect on the growth of *P. depressa* seedlings. The results suggest some management measures for artificial replanting under *Larix kaempferi* forest and increasing plant diversity.

**Keywords:** *Larix kaempferi*; Water extract from litters (LkLWE); Allelopathic; Seed germination; Seedling growth

## 1 引言

外来植物(alien plants)是指由于人类活动而克服地理障碍,被引入其自然分布区以外的植物<sup>[1]</sup>,其可以通过竞争、抢占生态位、分泌化学物质等方式影响本地植物的生长。化感作用(allelopathy)是指植物(包括微生物)向周围环境中释放自身代谢合成的化感物质,进而直接或间接对自身及其他生物的生长发育产生的抑制或促进作用<sup>[2]</sup>。研究表明外来植物能够通过化感作用减少当地的物种丰富度,从而对新生境生态系统的结构和功能产生影响<sup>[3]</sup>。同时,也有研究发现不同的乡土植物对外来植物的化感作用敏感性不同<sup>[4-6]</sup>。

卧龙自然保护区<sup>[7]</sup>位于西南山地生物多样性热点区的核心,自然条件复杂,珍稀动植物众多,生物多样性丰富,是国家级第三大自然保护区。日本落叶松(*Larix kaempferi*)原产日本,1971年引种到卧龙,因其速生丰产且在川西地区生物量高于其他树种的特点,在卧龙造林中大面积使用<sup>[8]</sup>。然而,在日本落叶松快速生长成林的40年间,林下混交的竹子和其他树木逐渐死亡,植被盖度、植物多样性急剧减少,土壤腐殖层变为单一松针,土壤肥力下降,大多数林分甚至变为日本落叶松纯林<sup>[9]</sup>。目前对影响日本落叶松林下植物多样性的研究主要集中在林窗<sup>[10]</sup>、间伐<sup>[11-12]</sup>及不同林龄<sup>[13]</sup>等方面,而对日本落叶松凋落叶化感作用的研究尚不多见。施研等<sup>[14]</sup>对大老岭自然保护区日本落叶松凋落物的化感作用做了初步研究,结果发现,日本落叶松林凋落物中的化感物质对狗牙根和胡枝子的种子

萌发和幼苗生长存在一定的化感效应,其中对胡枝子的影响要强于狗牙根。目前有关卧龙日本落叶松的化感作用及利用乡土植物修复生境的研究未见报道。为探究卧龙自然保护区日本落叶松人工林生境退化是否与化感作用有关,本研究模拟自然界淋溶现象,测试日本落叶松凋落叶水浸提液对乡土植物种子萌发以及幼苗生长的影响,分析日本落叶松人工林生境退化的原因;并根据植物种子萌发及幼苗长势,筛选适合日本落叶松林下生长的乡土植物,利用这些植物进行人工林生态环境的修复、提高林下植物多样性。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料

日本落叶松凋落叶为2019年6月于四川省卧龙自然保护区收集。去除杂质并放在通风处阴干后粉碎备用。乡土植物紫花苜蓿(*M. sativa*)、草木犀(*M. officinalis*)、披碱草(*E. dahuricus*)、夏枯草(*P. vulgaris*)、车前(*P. depressa*)种子采集自四川省卧龙自然保护区。

### 2.2 试验方法

2.2.1 日本落叶松凋落叶水浸提液(LkLWE)的制备 称取日本落叶松凋落叶粉末100 g,置于1 L烧杯中,加1 000 mL蒸馏水在室温25 ℃下暗处浸提48 h(期间每隔12 h摇动5 min)。所得溶液用4层纱布过滤,将滤液以4 000 r/min离心10 min,合并滤液定容至1 L,再用0.2 μm孔径47 mm直径的微孔滤膜抽滤,即得到浓度为0.1 g/mL的母液。用蒸馏水将母液稀释为0.01、0.05 g/mL,置

于4℃冰箱密封保存、备用。

2.2.2 种子萌发试验 采用培养皿滤纸法进行种子发芽测定。选取籽粒饱满,大小均匀一致的紫花苜蓿、草木犀、披碱草、夏枯草及车前种子,用0.2%的次氯酸钠溶液消毒10 min,无菌水冲洗3~5次后,置于直径9 cm并铺有2层滤纸的培养皿中,每皿各50粒。定量加入5 mL不同浓度的水浸提液,以蒸馏水为空白对照(CK)。将培养皿放入人工气候箱内,恒温25℃,光照16 h,每天定量补充3 mL的相应水浸液以保持湿润。播种24 h后每天定时记录发芽数(以胚根冲破种皮1~2 mm为发芽标准),7 d以后停止萌发试验,并计算萌发率及萌发指数。同一浓度实验重复3次。

$$\text{萌发率} = (\text{萌发种子总数} / \text{供试种子总数}) \times 100\%$$

$$\text{萌发指数}(Gi) = \sum Gt / Dt$$

式中,Gt为在第t天的萌发数,Dt为相应的萌发天数。

2.2.3 幼苗生长试验 采用盆栽土培法进行培养。每盆装入2/3的已灭菌营养土(营养土:蛭石=1:1),挑选30粒已露白的种子播于φ15 cm的花盆内。每隔3 d定量加入100 mL对应浓度浸提液,以蒸馏水浇灌为对照。各处理重复3次,随机排列、常规管理。30 d后结束浇灌,不同处理各选取10株生长相对均匀一致的幼苗,进行生长指标如根长、株高及生物量的测定。

2.2.4 数据统计与分析 化感效应指数(RI)=1-C/T(T≥C)或RI=T/C-1(T<C);(式中,C为对照值,T为处理值。RI>0为促进作用,RI<0为抑制作用,其绝对值大小反映化感作用的强弱)。

化感综合效应(SE)为同一受体植物所测的生长指标的RI平均值,是对受体植物的化感效应进行综合评价的指标。

数据采用Excel 2010进行绘图分析,SPSS19.0软件进行单因素方差分析、差异显著性分析等。

## 3 结果与分析

### 3.1 日本落叶松凋落叶水浸提液(LkLWE)对乡土植物种子萌发的影响

LkLWE对5种乡土植物种子萌发有着不同的影响,其中紫花苜蓿、夏枯草的萌发率和萌发指数随着LkLWE浓度升高而降低,抑制作用与浓度正相关(表1)。LkLWE对草木犀的萌发率有轻微

的抑制作用,对披碱草的萌发率则表现出轻微的促进作用,但整体反应不敏感,各浓度处理与对照相比差异均不显著( $P>0.05$ );LkLWE显著降低草木犀的萌发指数( $P<0.05$ ),对披碱草的萌发指数而言,在0.1 g/mL处理下显著低于对照( $P<0.05$ ),在0.01、0.05 g/mL处理下与对照差异不显著( $P>0.05$ )。LkLWE对车前的萌发率及萌发指数呈现出低促高抑效应,其中LkLWE浓度为0.1 g/mL时显著降低了其萌发率和萌发指数( $P<0.05$ ),而0.01和0.05 g/mL浓度对其影响不显著( $P>0.05$ )。

### 3.2 日本落叶松凋落叶水浸提液(LkLWE)对乡土植物幼苗生长的影响

3.2.1 LkLWE对幼苗根长的影响 LkLWE对不同乡土植物的根长的影响存在一定差异(表2)。在试验浓度范围内,LkLWE对紫花苜蓿、草木犀、披碱草及夏枯草幼苗根长的影响达到显著水平( $P<0.05$ ),对车前幼苗根长有轻微的促进作用但不显著( $P>0.05$ )。不同浓度LkLWE对紫花苜蓿、披碱草、夏枯草幼苗根长表现为低促高抑的趋势,紫花苜蓿及夏枯草根长均在浓度为0.05、0.1 g/mL时幼苗根长受到抑制;披碱草在0.1 g/mL时幼苗根长显著受到抑制( $P<0.05$ )。草木犀幼苗根长随着LkLWE浓度的增加而受到抑制,但在浓度0.01、0.05 g/mL时与对照差异不显著,在浓度0.1 g/mL时显著低于对照( $P<0.05$ )。

3.2.2 LkLWE对幼苗株高的影响 LkLWE可显著影响紫花苜蓿、披碱草及夏枯草幼苗的株高,但对草木犀和车前的株高无显著影响( $P>0.05$ )(表2)。其中,LkLWE各浓度对紫花苜蓿幼苗株高的生长均呈现抑制作用,且与浓度正相关。然而LkLWE对披碱草及夏枯草幼苗株高的生长均表现为低促高抑的作用,当LkLWE浓度为0.1 g/mL时均显著抑制幼苗株高的生长( $P<0.05$ )。LkLWE对草木犀幼苗株高的生长呈现低促高抑的现象,但各浓度处理与对照相比无显著差异( $P>0.05$ )。不同浓度LkLWE对车前幼苗株高的生长始终表现出促进作用,但未达到显著水平( $P>0.05$ )。

3.2.3 LkLWE对幼苗生物量的影响 LkLWE对不同乡土植物幼苗的生物量表现出较大差异(表2)。在试验浓度范围内,LkLWE可显著影响紫花苜蓿、草木犀、披碱草、夏枯草幼苗的生物量,但对车前幼苗的生物量无显著影响。不同浓度LkLWE

对紫花苜蓿、草木犀生物量始终表现出抑制作用,且与浓度正相关.紫花苜蓿在 LkLWE 液浓度为 0.05 g/mL 时相照对照达显著水平( $P < 0.05$ ),草木犀在 LkLWE 浓度为 0.01 g/mL 时相照对照达

显著水平( $P < 0.05$ ).不同浓度 LkLWE 对披碱草、车前及夏枯草表现出低促高抑的趋势,当 LkLWE 浓度为 0.1 g/mL 时对披碱草及夏枯草幼苗的生物量达到显著的抑制作用( $P < 0.05$ ).

表 1 日本落叶松凋落叶水浸提液对乡土植物种子萌发的影响

Tab.1 Effects of water extraction from litters of *Larix kaempferi* on seed germination of native plants

乡土植物 Native plant	浸提液浓度 Concentration/(g/mL)	萌发率 Germination rate/%	RI	萌发指数 Germination index	RI
紫花苜蓿	0(CK)	82.33±2.02a		28.23±2.54c	
<i>M. sativa</i>	0.01	77.78±1.92ab	-0.06	25.20±2.77c	-0.11
	0.05	73.33±0.00b	-0.11	18.97±1.55b	-0.33
	0.1	53.56±5.59c	-0.35	10.67±1.94a	-0.62
草木犀	0(CK)	81.11±1.92a		32.55±3.20a	
<i>M. officinalis</i>	0.01	80.00±3.33a	-0.01	26.05±3.24b	-0.2
	0.05	77.78±1.92a	-0.04	23.45±1.79b	-0.28
	0.1	77.78±3.85a	-0.04	23.28±3.01b	-0.28
披碱草	0(CK)	88.33±5.77a		29.47±1.63a	
<i>E. dahuricus</i>	0.01	93.33±2.87a	0.05	32.29±0.63a	0.09
	0.05	90.00±5.00a	0.02	29.70±1.43a	0.01
	0.1	85.00±5.00a	-0.04	25.41±3.26b	-0.14
夏枯草	0(CK)	45.55±3.85a		12.71±0.34a	
<i>P. vulgaris</i>	0.01	40.00±3.33b	-0.12	8.57±2.47b	-0.33
	0.05	34.44±1.93c	-0.24	7.52±1.96b	-0.41
	0.1	32.22±1.92c	-0.29	4.31±1.08c	-0.66
车前	0(CK)	67.78±7.70a		14.83±3.10a	
<i>P. depressa</i>	0.01	71.11±3.85a	0.05	15.83±3.25a	0.06
	0.05	68.89±5.09a	0.02	15.42±0.56a	0.04
	0.1	57.78±1.92b	-0.15	10.24±1.17b	-0.31

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ),下同.

Note: Different lowercases within the column indicate significant differences between treatments ( $P < 0.05$ ). The same as follow.

### 3.3 日本落叶松凋落叶水浸提液(LkLWE)对乡土植物化感综合效应的比较

3.3.1 LkLWE 对乡土植物种子萌发的化感综合效应 采用萌发率、萌发指数 2 个指标的 RI 值计算 LkLWE 对乡土植物种子萌发的化感综合效应(SE),综合分析 LkLWE 对乡土植物种子萌发的影响(图 1). LkLWE 对紫花苜蓿、草木犀及夏枯草种子萌发均表现为抑制作用,随着 LkLWE 浓度的升高其受到的抑制作用增强,表现出剂量效应,SE 最大值分别为 -0.49、-0.16、-0.48. 而 LkLWE 对披碱草及车前种子萌发则表现出低促高抑效应,均在 LkLWE 浓度 0.1 g/mL 处理受到

抑制,SE 值为 -0.09、-0.23. LkLWE 处理对乡土草本植物的化感作用由强到弱依次为紫花苜蓿 > 夏枯草 > 草木犀 > 车前 > 披碱草.

3.3.2 LkLWE 对乡土植物幼苗生长化感综合效应 根长、株高、生物量 3 个指标的 RI 值计算化感综合效应 SE,综合分析 LkLWE 对乡土植物幼苗生长的影响,结果表明 SE 差异较大(图 2). 在试验浓度范围内,LkLWE 对紫花苜蓿和草木犀幼苗生长始终表现为抑制作用,且随 LkLWE 浓度的升高受到的抑制作用增强,表现出剂量效应. 对披碱草和夏枯草幼苗生长表现出低促高抑,在 0.01、0.05 g/mL 浓度时对披碱草幼苗生长表现为促进作用,

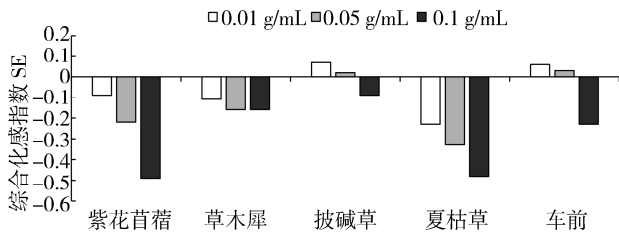


图 1 日本落叶松凋落叶水浸提液对乡土植物种子萌发的化感综合效应  
Fig. 1 Comprehensive allelopathic effect of water extract from litters of *Larix kaempferi* on seed germination of native plants

当浓度为 0.1 g/mL 时则表现为抑制作用;在 0.01 g/mL 浓度时对夏枯草幼苗生长表现为促进作用,当浓度进一步增加时,则表现为抑制作用,临界阈值为 0.05 g/mL. 对车前幼苗生长则始终表现为促进

作用. LkLWE 对乡土草本植物幼苗生长的化感综合效应由强到弱依次为:紫花苜蓿>草木犀>夏枯草>披碱草>车前.

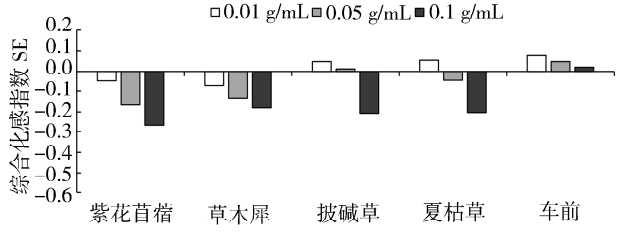


图 2 日本落叶松凋落叶水浸提液对乡土植物幼苗生长的化感综合效应  
Fig. 2 Comprehensive allelopathic effect of water extract from litters of *Larix kaempferi* on seedling growth of native plants

表 2 日本落叶松凋落叶水浸提液对乡土植物幼苗生长的影响

Tab. 2 Effects of water extraction from litters of *Larix kaempferi* on seedling growth of native plants

乡土植物 Native plant	浸提液浓度 Concentration/(g/mL)	根长 Root length/cm	RI	株高 Plant height/cm	RI	生物量 Biomass/g	RI
紫花苜蓿 <i>M. sativa</i>	0(CK)	8.62±0.21b		6.53±0.18a		0.7704±0.0390a	
	0.01	10.16±1.15a	0.15	5.20±0.14b	-0.2	0.7042±0.0676ab	-0.09
	0.05	7.98±0.38bc	-0.07	4.91±0.48bc	-0.25	0.6283±0.0716bc	-0.18
	0.1	6.76±0.87c	-0.22	4.47±0.21c	-0.32	0.5736±0.0517c	-0.26
草木犀 <i>M. officinalis</i>	0(CK)	10.39±1.08a		5.59±0.10ab		0.7131±0.0261a	
	0.01	9.73±0.38ab	-0.06	5.81±0.29a	0.04	0.5805±0.0485b	-0.19
	0.05	8.37±1.12bc	-0.19	5.38±0.18b	-0.04	0.5915±0.0234b	-0.17
	0.1	7.39±0.60c	-0.29	5.39±0.09b	-0.04	0.5665±0.0278b	-0.21
披碱草 <i>E. dahuricus</i>	0(CK)	11.10±0.35a		22.16±1.28a		0.7351±0.0159a	
	0.01	11.84±0.76a	0.06	23.17±1.31a	0.04	0.7660±0.0031a	0.04
	0.05	11.20±0.54a	0.01	22.06±1.06a	-0.005	0.7562±0.0097a	0.03
	0.1	8.21±1.22b	-0.26	19.14±0.31b	-0.14	0.5714±0.0787b	-0.22
夏枯草 <i>P. vulgaris</i>	0(CK)	6.57±0.08a		3.5±0.29a		0.4612±0.0049a	
	0.01	6.85±0.15a	0.04	3.84±0.09a	0.09	0.4739±0.0060a	0.03
	0.05	5.56±0.27b	-0.15	3.58±0.15a	0.02	0.4603±0.0101a	-0.002
	0.1	5.24±0.10b	-0.20	2.97±0.12b	-0.15	0.3648±0.0093b	-0.26
车前 <i>P. depressa</i>	0(CK)	5.57±0.53a		3.11±0.48a		0.3927±0.0050ab	
	0.01	5.92±0.10a	0.06	3.72±0.18a	0.16	0.4005±0.0039a	0.02
	0.05	5.91±0.20a	0.06	3.43±0.30a	0.09	0.3903±0.0123ab	-0.01
	0.1	5.81±0.23a	0.04	3.29±0.26a	0.05	0.3816±0.0095b	-0.03

### 4 讨论

种子萌发和幼苗建成是植物生活史的重要阶段,化感作用对这两个阶段的影响较强,尤其种子萌发对物种的更新和多度至关重要,且影响植物对

水、矿质元素的吸收,植株高度和生物量显著降低也会直接导致植物对空间、光照、水分以及营养物质的竞争能力下降,从而直接影响植物的生长发育以及在植物群落中的地位和作用<sup>[15]</sup>. 外来植物通过向环境释放化感物质抑制或促进种子萌发及幼

苗生长,进而影响植物种群的建立与更新.研究植物种子萌发与幼苗建成对外来植物凋落物的响应能有效揭示外来植物潜在的化感作用<sup>[16]</sup>.

化感作用强度不仅与化感物质种类、供体植物的处理方式有关,还与受体植物种类及供体浓度有关<sup>[17-19]</sup>.在供体浓度方面,植物化感作用对种子萌发及幼苗生长的效果主要有“剂量效应”、“低促高抑”效应以及“低浓度无影响、高浓度抑制”效应<sup>[20]</sup>.本研究发现不同浓度日本落叶松凋落叶水浸提液对乡土植物种子萌发及幼苗生长均存在化感作用,但对不同乡土植物有不同的响应.具体而言,浸提液对披碱草及车前种子萌发表现出低促高抑效应,对其他几种乡土植物种子萌发则表现出抑制作用,且随着浓度的升高抑制作用增强,表现出一定的剂量效应.浸提液对披碱草及夏枯草幼苗生长表现出低促高抑的效应,对紫花苜蓿、草木犀幼苗生长始终表现为抑制作用.结果表明不同乡土植物的种子萌发及幼苗生长对日本落叶松凋落叶水浸提液有不同的敏感性,这与黄玉梅等<sup>[21]</sup>、陈林等<sup>[22]</sup>的研究结果一致.这可能是因为化感作用对受体植物具有专一性和选择性,不同受体植物的遗传学和生物学特性不同,导致其对相同浓度下的化感反应不同<sup>[23-24]</sup>.综合日本落叶松凋落叶水浸提液对乡土植物种子萌发及幼苗生长的化感影响,建议选择披碱草、车前等乡土植物作为修复日本落叶松林下生境的优选植物.

外来植物对植物群落的影响既有不同物种对其化感作用的差异响应,又有资源竞争等其他因素复杂交织作用.研究证实凋落叶的化感作用是影响日本落叶松林下物种多样性的关键因素之一.乡土植物作为一种容易在当地环境生存的植物,在林业生态脆弱的环境下,选择与配置乡土植物,对提高生物多样性和恢复生境具有重要意义.因此在今后的日本落叶松营林管理中,应根据其化感作用的特点选择适宜的乡土植物,并结合间伐等方式降低日本落叶松的种植密度减少化感强度,促进其林下植物的定居及更新,恢复其林下生境.

#### 参考文献:

[1] 严靖, 闫小玲, 王樟华, 等. 安徽省外来入侵植物的分布格局及其等级划分[J]. 植物科学学报, 2017, 35: 679.

[2] Dias L S, Pereira I P, Dias A S. Allelopathy, seed germination, weed control and bioassay methods

[J]. Allelopathy J, 2016, 37: 31.

[3] Abhilasha D, Quintana N, Vivanco J, et al. Do allelopathic compounds in invasive *Solidago canadensis* s. l. restrain the native European flora[J]. J Ecol, 2008, 96: 933.

[4] 李苇洁, 罗开源, 吴迪, 等. 乡土植物白刺花对紫茎泽兰化感作用的响应[J]. 生态学报, 2017, 37: 5361.

[5] 刘丛彬, 何爱芳, 吴慧芬, 等. 苍耳属外来入侵植物与本土苍耳化感作用研究[J]. 种子, 2018, 37: 4.

[6] Pablo I, Becerra, Catford JA, et al. Inhibitory effects of *Eucalyptus globulus* on understorey plant growth and species richness are greater in non - native regions [J]. Global Ecol Biogeogr, 2018, 27: 68.

[7] 胡冬梅, 叶红, 邱艳霞, 等. 卧龙亚高山公路沿线外来植物入侵风险评估[J]. 四川大学学报:自然科学版, 2020, 57: 1002.

[8] 刘兴良, 马钦彦, 杨冬生, 等. 川西山地主要人工林种群根系生物量和生产力[J]. 生态学报, 2006, 26: 542.

[9] 王永峰, 张清涛, 余小英, 等. 卧龙人工林与次生林大熊猫生境监测初探[J]. 四川林勘设计, 2019 (1): 12.

[10] 汤景明, 孙拥康, 徐红梅, 等. 林窗对日本落叶松人工林林下植物多样性的短期影响[J]. 西南林业大学学报, 2016, 36: 103.

[11] 汤景明, 孙拥康, 冯骏, 等. 不同强度间伐对日本落叶松人工林生长及林下植物多样性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38: 90.

[12] 谢锦, 闫巧玲, 张婷. 间伐对日本落叶松人工林林下更新木本植物组成和生长影响的时间效应[J]. 应用生态学报, 2020, 31: 2481.

[13] 牛小云, 孙晓梅, 陈东升, 等. 辽东山区不同林龄日本落叶松人工林土壤微生物、养分及酶活性[J]. 应用生态学报, 2015, 26: 2663.

[14] 施妍, 陈芳清. 日本落叶松林凋落物对狗牙根、胡枝子种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46: 274.

[15] Mahla N, Mlamo D. Influence of two co-occurring invasive plant species on resident woody species and surface soil properties in Chipinge Safari Area, Zimbabwe [J]. Trop Ecol, 2019, 60: 271.

[16] 任元丁, 尚占环, 龙瑞军. 中国草地生态系统中的化感作用研究进展[J]. 草业科学, 2014, 31: 993.

[17] Ahmad M, Singh S D, Muralikrishna K S. Allelopathy in jatropha plantation: Effects on seed germi-

- nation, growth and yield of wheat in north-west India [J]. *Agr Ecosyst Environ*, 2016, 231: 240.
- [18] 王云,符亮,龙凤玲,等. 2种婆婆纳属植株水浸提液对6种受体植物的化感作用[J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2013, 41: 178.
- [19] 李俊,刘增文. 4种针叶纯林枯落叶对3种豆科灌草的化感效应[J]. *草业科学*, 2013, 30: 1057.
- [20] 李雪枫,王坚,许文博,等. 冷蒿对三种禾本科植物种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. *应用生态学报*, 2010, 21: 1702.
- [21] 黄玉梅,张杨雪,刘庆林,等. 孔雀草水浸提液对4种园林植物化感作用的研究[J]. *草业学报*, 2015, 24: 150.
- [22] 陈林,杨新国,宋乃平,等. 中间锦鸡儿根水浸提液对7种灌草的化感作用及其化学成分分析[J]. *浙江大学学报:农业与生命科学版*, 2016, 42: 150.
- [23] Gomaa N H, Hassan M O, Fahmy G M, *et al.* Allelopathic effects of *Sonchus oleraceus* L. on the germination and seedling growth of crop and weed species [J]. *Acta Bot Bras*, 2014, 28: 408.
- [24] 毛美琴,赵燕,魏玉兰,等. 滇重楼根水浸液对四种园林植物的化感作用研究[J]. *浙江农业学报*, 2018, 30: 85.

#### 引用本文格式:

中文:邱艳霞,杨舒婷,叶红,等. 外来植物日本落叶松凋落叶对卧龙乡土植物化感作用的研究[J]. *四川大学学报:自然科学版*, 2021, 58: 046001.

英文:Qiu Y X, Yang S T, Ye H, *et al.* Allelopathic effects of exotic plant *Larix kaempferi* litters on Wolong native plants [J]. *J Sichuan Univ: Nat Sci Ed*, 2021, 58: 046001.