

紫茎泽兰气态挥发物对云南松种子萌发 及幼苗生长的化感作用

曹子林¹, 王晓丽², 杨桂英¹

(1. 西南林业大学 环境科学与工程学院, 云南 昆明 650224; 2. 西南林业大学 林学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 为了解紫茎泽兰气态挥发物的化感作用, 在透明密闭保鲜盒内用其不同质量新鲜茎叶对云南松种子进行处理, 质量浓度分别为高质量浓度(0.069 4 g/cm³)、中等质量浓度(0.023 1 g/cm³)和较低质量浓度(0.007 7 g/cm³)。结果表明: 气态挥发物对云南松种子发芽过程有明显影响, 随着处理质量浓度的提高, 开始发芽的天数、达到发芽高峰的天数推迟, 达到发芽高峰当天发芽数下降, 发芽数开始明显下降的天数延迟, 过程曲线由急升急降逐渐变缓, 到高质量浓度时几乎成一条直线。气态挥发物对云南松种子萌发(发芽率、发芽势、发芽速率)和幼苗生长(鲜质量、干质量、胚根长、胚轴长)的效应趋势基本相同, 呈现出高质量浓度抑制作用强烈, 随质量浓度降低, 抑制作用减弱的规律。林下紫茎泽兰的广泛分布, 可能通过化感作用影响云南松的天然更新和生长。

关键词: 紫茎泽兰; 气态挥发物; 云南松; 种子萌发; 幼苗生长; 化感作用

中图分类号: S791.257.01 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)01-0077-05

Allelopathic Effect of Volatiles of *Eupatorium adenophorum* on Seed Germination and Seedling Growth of *Pinus Yunnanensis*

CAO Zi-lin¹, WANG Xiao-li², YANG Gui-ying¹

(1. Faculty of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Forestry faculty, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: In order to know the allelopathy of stem and leave volatiles of *Eupatorium adenophorum*, *Pinus yunnanensis* seeds were treated by fresh stem and leave of *E. adenophorum* of different quality in transparent airtight boxes, the concentrations are high concentration(0.069 4 g/cm³), middle concentration (0.023 1 g/cm³) and lower concentration (0.007 7 g/cm³) respectively. The results showed that the volatiles had a significant influence on seed germination process of *P. yunnanensis*, the day on which seeds started to germinate, the day on which germination pinnacle came, the day on which germination number descended significantly, all delayed with the increase of concentrations, seed germination numbers of the day at the germination pinnacle also delayed with the increase of concentrations, so the germination process curves became gentle with the increase of concentrations, and nearly became a beeline at high concentration. The tendency of the effects of the volatiles on seed germination (seed germination rate, seed germination potential, seed germination speed) and seedling growth (fresh weight, dry weight, radicle length, hypocotyl length) of *P. yunnanensis* was similar, showing a rule that high concentration had a negative effect on seed germination and seedling growth, the negative effect became weaker and weaker with the descent of concentrations. *E. adenophorum* was widely

收稿日期: 2011-09-21 修回日期: 2011-11-06

基金项目: 国家自然科学基金(31060093)、西南林业大学生态学校级重点建设学科项目(XKX200902)和西南林业大学基金(200726M)

作者简介: 曹子林(1974—), 男, 副教授, 博士生, 主要从事生态学研究, E-mail: czl@swfu.edu.cn。

distributed on the ground under *P. yunnanensis* forest, and might influence natural regeneration and growth of *P. yunnanensis* by allelopathy.

Key words: *Eupatorium adenophorum*; volatile; *Pinus yunnanensis*; seed germination; seedling growth; allelopathy

紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)是一种世界性的恶性有害植物,此物种大约于 20 世纪 40 年代从中缅边境通过自然扩散传入我国云南省,约经半个世纪的扩散,现已在我国的云南、贵州、四川、广西、西藏、台湾 4 省 2 区广泛分布和危害^[1]。云南松(*Pinus yunnanensis*)以云南高原为起源和分布中心,其分布延伸到西南季风影响下的贵州西部、四川西南部,在云南的亚热带高原,从南到北,从东到西,从海拔 700 m 的河谷至 3 200 m 的山地阳坡,云南松均有大面积分布,约占云南省森林面积的 70%^[2]。目前,在云南松林下都普遍分布有紫茎泽兰。据研究紫茎泽兰有较强的化感作用^[3-4],化感作用(allelopathy)是指一植物种通过它产生并释放于环境的生化物质对另一植物产生直接或间接的作用,包括有利和有害的作用^[5]。紫茎泽兰对受体植物发生化感作用的过程中,其化感物质主要有地上部分挥发物和淋溶物对受体植物的直接作用物质,以及地上部分淋溶物质进入土壤后与根系分泌物混合的化感物质^[6]。这势必对云南松的生长发育及更新过程等会产生一定的影响。有关紫茎泽兰水提液、根系分泌物的化感作用已有较多报道^[7-11],但有关紫茎泽兰新鲜茎叶气态挥发物对云南松的化感作用未见报道。本研究以云南松为受体植物,研究紫茎泽兰新鲜茎叶气态挥发物对云南松种子萌发及幼苗生长的化感作用,为云南松林科学管理提供依据,并为紫茎泽兰化感作用研究提供新的资料。

1 材料与方法

1.1 材料

云南松种子购自云南省林木种苗站,产地昆明。试验用的紫茎泽兰植株地上部分新鲜茎叶(去除宿存在植株上的枯叶)取自西南林业大学后山云南松林下,所取植株高度约 0.6 m。取样长度约 27 cm,每次取样约 1 kg,分 3 次采样。为更接近自然状态,除剪口外不破坏植物组织。

1.2 方法

1.2.1 紫茎泽兰新鲜茎叶气态挥发物化感作用的测定 试验前用 $\varphi = 0.15\%$ 的福尔马林溶液擦洗光照培养箱,闷 2 d 后使用;培养皿在 120 °C 的烘干箱中高温灭菌 3 h。云南松种子用始温 45 °C 的水浸泡 24 h,然后用 $\varphi = 0.15\%$ 的福尔马林溶液浸泡 20 min,把溶液倒掉,在带盖的容器中闷 30 min 后将种子用蒸馏水清洗 3 次。将云南松种子放在铺有 2 层定性滤纸的培养皿(12 cm)中,每皿放 100 粒云南松种子,3 次重复。参照文献[12]中方法,称取新鲜茎叶 270,90,30 g 分别放入一个透明密闭保鲜盒(分 2 层,带 1 个透气隔板,长 27 cm、宽 12 cm、高 12 cm,体积为 3 888 cm³)的底部,对照保鲜盒的底部为空白,放上透气隔板后,将不加盖的培养皿放在隔板上,再扣上保鲜盒盖子。将密闭的保鲜盒放入光照培养箱中进行培养,培养温度为 25 °C,空气相对湿度 75% 左右,光照强度约 1 225 lx,每天光照 8 h,每隔 24 h 观察种子萌发状况,并通风约 20 min,等量添加蒸馏水。置床当天为第 1 天,第 9 天计算发芽势,第 8 天、第 15 天更换新鲜茎叶,第 21 天统计发芽率^[13],并计算发芽速率^[8]。

1.2.2 数据统计分析 化感效应敏感指数以 *RI* 值进行表示。

$$RI = 1 - C/T \quad (\text{当 } T \geq C) \quad (1)$$

$$RI = T/C - 1 \quad (\text{当 } T < C) \quad (2)$$

(1)(2)式中 *C* 为对照实测值, *T* 为处理实测值, *RI* > 0 时表示促进作用, *RI* < 0 为抑制作用, *RI* = 0 时表示无化感作用, *RI* 的绝对值代表作用强度的大小^[14],用 *t* 检验分析处理与对照间的差异显著性。采用 SPSS 处理软件进行不同浓度处理与对照间各测试指标实测值的方差分析和多重比较^[8-9]。

2 结果与分析

据研究紫茎泽兰挥发油中有许多萜类成分^[15],由于产生的气态挥发物量与茎叶质量有密切关系,通常情况下,紫茎泽兰茎叶越多,在单位空间内释放的气态挥发物越多,将会使单位空间内气态挥发物

浓度越高。限于条件,气态挥发物的量无法测定,本文以单位体积内紫茎泽兰的茎叶质量来表示气态挥发物质量浓度的高低。根据实验结果,分别将 270、90、30 g 紫茎泽兰茎叶产生的气态挥发物质量浓度定义为高质量浓度(0.069 4 g/cm³)、中等质量浓度(0.023 1 g/cm³)和较低质量浓度(0.007 7 g/cm³)。

2.1 紫茎泽兰气态挥发物对云南松种子发芽过程的影响

从图 1 可看出,对照组第 5 天开始发芽,发芽数为 2.3 粒/天,第 8 天达到发芽高峰为 25.7 粒/天,第 10 天发芽数明显下降为 3.3 粒/天,呈现出急升急降的趋势。较低质量浓度处理第 5 天开始发芽,发芽数为 0.3 粒/天,第 9 天达到发芽高峰为 15.0 粒/天,第 13 天发芽数明显下降为 1.0 粒/天,与对照相比急升急降的趋势变缓。中等质量浓度处理第 6 天开始发芽,发芽数为 0.7 粒/天,第 10 天达到发芽高峰为 10.7 粒/天,第 18 天发芽数明显

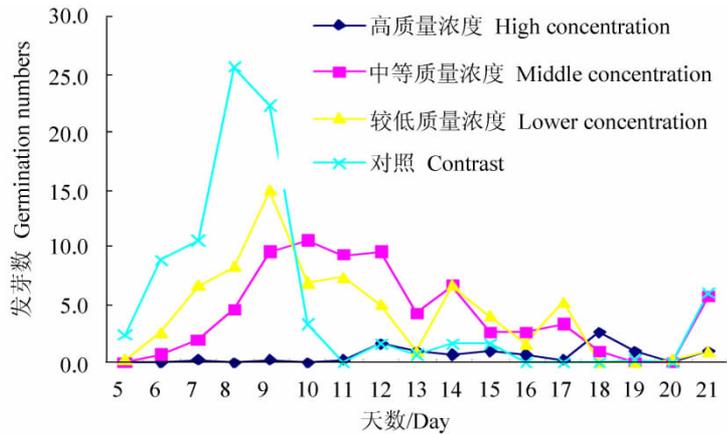


图 1 紫茎泽兰气态挥发物处理后云南松种子逐日发芽情况
Fig. 1 *P. yunnanensis* seed germination numbers of each day after treated by the volatiles

下降为 1.0 粒/天。此时,已没有明显的发芽高峰。高质量浓度处理第 7 天开始发芽,发芽数为 0.3 粒/天,发芽高峰不明显。由此可见,随着处理质量浓度的提高,开始发芽的天数、达到发芽高峰的天数推迟,达到发芽高峰当天发芽数下降,发芽数开始明显下降的天数延迟,过程曲线图由急升急降逐渐变缓,高质量浓度时几乎成一条直线。

2.2 紫茎泽兰气态挥发物对云南松种子萌发的化感作用

由表 1 分析可知,紫茎泽兰新鲜茎叶高质量浓度气态挥发物处理云南松种子后,发芽率、发芽势、发芽速率分别为 11.0%、0.7%、0.75,与对照的 85.3%、70.0%、10.24 相比,分别降低了 87.1%、99.0%、92.6%。中等质量浓度处理后,发芽率、发芽势、发芽速率分别为 73.0%、17.0%、6.45,与对照相比,分别降低了 14.5%、75.7%、37.0%,抑制作用明显减弱。较低质量浓度时,发芽率、发芽势、发芽速率分别为 72.3%、33.0%、7.26%,与对照相比,分别降低了 15.2%、52.9%、29.1%,抑制作用进一步减弱。呈现出高质量浓度抑制作用强烈,随质量浓度降低,抑制作用减弱的规律。*RI* 值都为负值,表现为抑制作用,随质量浓度升高其绝对值变小,说明抑制作用在减弱,该结果与前述一致。经方差分析及多重比较表明:处理质量浓度对这 3 个指标都有显著影响;对发芽率而言,高质量浓度处理与中等质量浓度、

表 1 紫茎泽兰气态挥发物对云南松种子萌发的化感作用

Tab. 1 Allelopathic effect of the volatiles on seed germination of *P. yunnanensis*

质量浓度/ (g · cm ⁻³) Concentration	发芽势 Germination potential		发芽率 Germination rate		发芽速率 Germination speed	
	实测值/% Measurement value	<i>RI</i> 值 <i>RI</i> value	实测值/% Measurement value	<i>RI</i> 值 <i>RI</i> value	实测值 Measurement value	<i>RI</i> 值 <i>RI</i> value
0.069 4	0.7 ± 0.6 Cd	-0.990**	11.0 ± 2.6 Bc	-0.871**	0.75 ± 0.19 Cc	-0.926**
0.023 1	17.0 ± 1.0 BCc	-0.757**	73.0 ± 3.5 Ab	-0.144*	6.45 ± 0.26 Bb	-0.370**
0.007 7	33.0 ± 6.6 Bb	-0.529*	72.3 ± 3.0 Ab	-0.152*	7.26 ± 0.53 Bb	-0.291*
0	70.0 ± 8.6 Aa		85.3 ± 7.4 Aa		10.24 ± 0.90 Aa	

表中同列数据标不同小写和大写字母分别表示在 5% 和 1% 水平上差异显著; *、** 表示经 *t* 检验不同处理与对照间分别在 5% 和 1% 水平上差异显著。

The data marked with different capital letters and different small letters in the same row indicate a significant difference at 0.05 level and 0.01 level respectively; *, ** express the mean difference between different treatment and contrast was significant at 0.05 level and 0.01 level respectively.

低质量浓度、对照之间差异达到极显著水平,对照与中等质量浓度、较低质量浓度之间达到显著水平。对发芽势来讲,不同质量浓度处理与对照之间差异都达到极显著或显著水平。对发芽速率来讲,除中等质量浓度与较低质量浓度之间差异未达到显著水平外,其它处理与对照间差异都达到极显著水平。

2.3 紫茎泽兰气态挥发物对云南松幼苗生长的化感作用

由表 2 分析可知,紫茎泽兰新鲜茎叶高质量浓度气态挥发物处理云南松种子后,云南松幼苗鲜质量、干质量、胚根长、胚轴长分别为 0.24 g、0.06 g、0.35 cm、0.92 cm,与对照 3.15 g、0.44 g、2.45 cm、2.41 cm 相比,分别降低了 92.3%、86.3%、85.9%、61.8%。中等质量浓度处理后,云南松幼苗鲜质量、干质量、胚根长、胚轴长分别为 2.52 g、0.38 g、1.44 cm、2.01 cm,与对照的相比,分别降低了 19.9%、12.5%、41.4%、16.7%,抑制作用明显减弱。较低质量浓度时,云南松幼苗鲜质量、干质量、胚根长、胚轴长分别为 2.56 g、0.39 g、1.87 cm、1.94 cm,与对照相比,分别降低了 18.6%、11.7%、23.8%、19.4%,抑制作用进一步减弱。呈现出高质量浓度抑制作用强烈,随质量浓度降低,抑制作用减弱的规律。*RI* 值都为负值,表现为抑制作用,随质量浓度升高其绝对值变小,说明抑制作用在减弱,该结果与前述一致。经方差分析及多重比较表明:处理质量浓度对这 4 个指标都有显著影响;对鲜质量、胚轴长而言,高质量浓度处理与中等质量浓度、较低质量浓度、对照之间差异达到极显著水平,对照与中等质量浓度、较低质量浓度之间达到显著水平。对干质量来讲,高质量浓度处理与中等质量浓度、较低质量浓度、对照之间差异都达到极显著水平。对胚根长来讲,高质量浓度处理与中等质量浓度、较低质量浓度、对照之间差异都达到极显著或显著水平,中等质量浓度与对照之间差异达到显著水平。

表 2 紫茎泽兰气态挥发物对云南松幼苗生长的化感作用

Tab. 2 Allelopathic effect of the volatiles on seedling growth of *P. yunnanensis*

质量浓度/ (g·cm ⁻³) Concentration	鲜质量 Wet weight		干质量 Dry weight		胚根长 Hypocotyl length		胚轴长 Radicle length	
	实测值/g Measurement value	<i>RI</i> 值 <i>RI</i> value	实测值/g Measurement value	<i>RI</i> 值 <i>RI</i> value	实测值/cm Measurement value	<i>RI</i> 值 <i>RI</i> value	实测值/cm Measurement value	<i>RI</i> 值 <i>RI</i> value
0.069 4	0.24 ± 0.07 Bc	-0.923 **	0.06 ± 0.02 Bb	-0.864 **	0.35 ± 0.12 Bc	-0.859 **	0.92 ± 0.23 Bc	-0.618 **
0.023 1	2.52 ± 0.20 Ab	-0.199 *	0.38 ± 0.02 Aa	-0.129 *	1.44 ± 0.17 Ab	-0.414 **	2.01 ± 0.07 Ab	-0.167 **
0.007 7	2.56 ± 0.21 Ab	-0.186 *	0.39 ± 0.03 Aa	-0.121	1.87 ± 0.61 Aa	-0.241	1.94 ± 0.11 Ab	-0.194 *
0	3.15 ± 0.32 Aa		0.44 ± 0.04 Aa		2.45 ± 0.28 Aa		2.41 ± 0.12 Aa	

表中同列数据标不同小写和大写字母分别表示在 5% 和 1% 水平上差异显著; *、** 表示经 *t* 检验不同处理与对照间分别在 5% 和 1% 水平上差异显著。

The data marked with different capital letters and different small letters in the same row indicate a significant difference at 0.05 level and 0.01 level respectively; *, ** express the mean difference between different treatment and contrast was significant at 0.05 level and 0.01 level respectively.

3 结论与讨论

杨铁耀等^[16]分离出 41 种挥发性成分并鉴定了其中 11 种成分,据报道紫茎泽兰挥发油中有许多萜类^[15]。萜类是自然界存在的一类具有(C₅H₈)_n通式的碳氢化合物及其含氧饱和程度不等的衍生物总称,是第二大类化感物质^[17]。Fischer 等^[18]总结萜类化合物在植物群落中的主要作用及其作用特点,主要表现为:在群落中萜类的化感毒性具有选择作用;萜类的毒性表现为对植物发芽和生长的抑制,且呈季节性变化,一般在夏季毒性较强;萜类混合物对发芽具有高抑制作用;与之相反,其纯物质在低质量浓度下又表现出促进作用,即“低促高抑”现象。

种子发芽试验是评价化感作用较常采用的一种方法^[19]。本研究在透明密闭的保鲜盒内用不同质量新鲜茎叶对云南松种子进行处理,探讨了紫茎泽兰茎叶不同质量浓度气态挥发物对云南松种子萌发的化感作用规律。结果表明:紫茎泽兰茎叶高质量浓度气态挥发物可以极显著降低种子发芽率、发芽速率及幼苗胚根长、胚轴长、鲜质量、干质量,随质量浓度降低,抑制作用减弱。同时,气态挥发物对种子发芽过程也产生影响,随着处理质量浓度增大,开始发芽的天数、达到发芽高峰的天数推迟,达到发芽高峰当天发芽数下降,发芽数开始明显下降的天数延迟,过程曲线图由急升急降逐渐变缓,到高质量浓度时几乎成一条直线(图 1)。这可能是高质量浓度时新鲜茎叶产生的挥发性萜类等化感物质较多、质量浓度

较高,影响了种子发芽时 ATP 的产生和呼吸作用^[18],抑制种子内贮藏淀粉和蛋白质的分解,从而影响种子萌发所需要的物质和能量,致使种子萌发及幼苗生长受抑制^[20],进而显示了强的化感抑制作用,随质量浓度降低这种作用在减弱。萜类混合物有“低促高抑”现象^[18],质量浓度为 0.007 7 g/cm³,仍为表现为抑制作用,说明该质量浓度还不够低。据此,本研究把该质量浓度定义为较低质量浓度。

种子萌发对物种更新至关重要,种子发芽率降低可能会降低植物在群落中的多度。种子发芽速率降低,发芽时间延长,出苗延后,将严重影响植物对地上和地下资源的竞争能力^[8,21]。化感物质对胚根生长的抑制导致植株根系变小,吸水、吸肥能力降低,对胚轴生长的抑制导致植株矮小、瘦弱,影响其对光的竞争,这些均会直接影响未来植株的生长发育及其在群落中的地位和作用^[8]。在云南松天然更新过程中,种子处于林地表面,在林地表面附近紫茎泽兰气态挥发物能否达到试验测定时起抑制作用的浓度、起直接抑制作用还有待进一步研究。当然,许多化感物质是可以同时通过雨雾淋溶和自然挥发两种途径进入环境的,而且在雨雾条件下,挥发途径可以转变成淋溶途径^[22]。据报道萜类化合物在水中的溶解度很低^[17],但有研究表明,萜类在水中的溶解性,远远在它们能够表现生物活性的浓度之上^[23]。当挥发性化感物质在土壤中积累一定量后,就会抑制植物种子萌发^[124]及幼苗生长^[25]。在云南松林下广泛分布的紫茎泽兰,可能通过化感作用影响云南松的天然更新和生长。

参考文献:

- [1]李振宇,谢焱.中国外来入侵种[M].北京:中国林业出版社,2002:163.
- [2]吴征镒,朱彦承,姜汉侨.云南植被[M].北京:科学出版社,1987:417-419.
- [3]钟声,段新慧.紫茎泽兰对两种牧草发芽的化感克异作用[J].种子,2006,25(6):18-20.
- [4]韦美玉,陈世军.紫茎泽兰叶片对两种土著辣椒的化感效应[J].种子,2009,28(10):50-53.
- [5]Rice E L. Allelopathy [M]. New York: Academic Press, 1974: 1.
- [6]杨国庆,万方浩,刘万学.入侵杂草紫茎泽兰的化感作用研究进展[J].植物保护学报,2008,35(5):463-468.
- [7]曹子林,王晓丽,涂璟.紫茎泽兰不同处理方法水提液对云南松种子萌发的化感作用[J].种子,2011,30(8):46-50,55.
- [8]郑丽,冯玉龙.紫茎泽兰叶片化感作用对 10 种草本植物种子萌发和幼苗生长的影响[J].生态学报,2005,25(10):2782-2787.
- [9]王晓丽,曹子林,朱霞.紫茎泽兰不同处理方法水提液对蓝桉种子发芽的化感效应[J].云南大学学报:自然科学版,2010,32(3):346-351.
- [10]吕霞,张汉波,张婷,等.紫茎泽兰根分泌物的化感潜力[J].云南大学学报:自然科学版,2008,30(3):314-317.
- [11]曹子林,王晓丽,郭盘江,等.紫茎泽兰植株不同部位及浓度的水提液对蓝桉种子萌发和幼苗生长的化感效应[J].西部林业科学,2009,38(1):91-95.
- [12]王大力,祝心如.豚草的化感作用研究[J].生态学报,1996,16(1):11-19.
- [13]孙时轩.林木种苗手册[M].北京:中国林业出版社,1985:140-142.
- [14]Williamson G B. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls [J]. Journal of Chemical Ecology, 1998, 14(1): 181-187.
- [15]田宇,侯婧,吴建平,等.紫茎泽兰挥发性成分及抑菌活性研究[J].农药学学报,2007,9(2):137-142.
- [16]杨铁耀,杨海恩,葛发欢.紫茎泽兰挥发性成分分析[J].中药材,1999,22(8):407.
- [17]谢志军,厚毅清,王炜,等.萜类化合物的化感功能及其开发应用前景[J].中国农学通报,2010,26(24):233-237.
- [18]Fischer N H, Williamson G B, Weidenhamer J D, et al. In search of allelopathy in the Florida scrub: The role of terpenoids [J]. Journal of Chemical Ecology, 1994, 20(6): 135-138.
- [19]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.
- [20]朱宇林,谭萍,陆绍锋,等.桉树化感效应下 Si 对植物种子萌发的影响[J].种子,2010,29(8):19-22.
- [21]Turk M A, Tawaha A M. Allelopathic effect of black mustard (*Brassica nigra* L.) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.) [J]. Crop Protection, 2003, 22: 673-677.
- [22]孔垂华,徐涛,胡飞.胜红蓟化感作用研究II.主要化感物质的释放途径和活性[J].应用生态学报,1998,9(3):257-260.
- [23]Weidenhamer J D, Macias F A, Fischer N H, et al. Just how insoluble are monoterpenes [J]. Journal of Chemistry Ecology, 1993, 19(8): 1799-1807.
- [24]Ross M A, Harper J L. Occupation of biological space during seedling establishment [J]. Journal of Ecology, 1972, 60: 77-88.
- [25]Witkowski E T F. Growth and competition between seedlings of *Protea repens* (L.) and the alien invasive, *Acacia saligna* (Labill.) Wendl. In relation to nutrient availability [J]. Functional Ecology, 1991, 5: 101-110.