

钟军弟,陈 燕,刘锴栋,等.不同生境下假臭草的种子特性分析[J].江苏农业科学,2017,45(9):87-91.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.09.023

# 不同生境下假臭草的种子特性分析

钟军弟,陈 燕,刘锴栋,柯建飞,袁长春,刘金祥

(岭南师范学院生命科学与技术学院,广东湛江 524048)

**摘要:**为研究假臭草种子特性对异质环境的响应,从种子的形态特征、物理特性及种子萌发等方面指标入手,对空旷地、林缘、林内和公路边等 4 种不同生境下入侵植物假臭草的种子特性进行比较分析。结果发现,高光、高养分的空旷地生境种子的质量、比重、含水率、发芽率、发芽势、发芽指数、种子活力、胚根、胚轴等种子特性参数显著优于低光、高养分的林内和高光、低养分的公路边生境,揭示假臭草种子的质量及活力受光照或土壤养分因素的影响,高光照、高养分生境假臭草种子质量较高,活力较强。高光照的空旷地和公路边生境种子冠毛芒长、芒数、芒张开角度、沉降速度分别较低光照林缘和林内生境的长、多、大、小,揭示高光照生境假臭草种子的风媒传播能力较低光照生境的强。高光照、低养分的公路边生境种子芒张开角度最大,沉降速度最小,风媒传播能力最强,说明假臭草对恶劣环境具有较强的生存适应能力。

**关键词:**假臭草;种子特性;不同生境;种子活力;种子萌发

**中图分类号:** S451;Q945.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)09-0087-05

假臭草(*Eupatorium catarium*)别称猫腥菊,为菊科泽兰属一年生草本植物。该植物原产于南美洲,主要分布于阿根廷、巴西以及南美洲其他一些国家,现广泛散布于东半球热带地区<sup>[1]</sup>。在我国,假臭草主要分布于华南地区,尤其在广东、福建、澳门、香港、台湾、海南等地危害较为严重<sup>[2]</sup>。假臭草的入侵性极强,具较强的吸肥能力,常与庄稼、果树等争夺肥水,并迅速发展成为优势或单优种群,具有较强的化感作用,抑制其他本土植物的生长,严重影响了当地的畜牧业、农林业的经济收入,对当地生态系统生物多样性构成巨大的潜在威胁。假臭草已成为我国华南地区一种危害较严重的恶性杂草<sup>[3-5]</sup>。

随着社会的不断发展以及人类活动对自然界影响的日益加剧,外来植物入侵已成为一个越来越值得关注的问题,严重地影响和威胁了当地生物的多样性、生态系统的结构及功能<sup>[6-8]</sup>,并对环境产生了很大的影响。许多研究结果都表明,较多的外来入侵植物都跟其较强的繁殖能力有关,特别是有性繁殖能力的大小与入侵能力呈正相关关系<sup>[9-12]</sup>,对其入侵能否成功起到了重要的作用。相对于其他生长阶段而言,种子萌发为植物生长周期中非常重要的阶段,它对于种群个体的繁殖、扩展、更新和抵御不良环境有重大意义。目前,

大多数研究只侧重于单个环境因子对入侵植物种子特性的影响<sup>[13-15]</sup>,而关于综合的环境因子对入侵植物种子特性的影响方面的研究较少。因此,通过测定空旷地、公路边、林缘和林内等 4 个不同生境下假臭草种子的大小、质量、含水率、发芽率和发芽指数等种子质量及活力指标,比较分析不同生境下假臭草的种子特性,探讨外来入侵植物假臭草在不同生境条件下的种子活力及繁殖能力的差异,从而揭示入侵植物假臭草对环境的适应机制。

## 1 研究区自然概况

研究区位于广东省湛江市境内,地理位置为 110°20'02"~110°35'22"E,21°18'02"~21°33'07"N。该区气候资源丰富,为典型的湿润、亚湿润北热带季风气候;热量资源与北热带相当,年平均气温 22.7~23.4℃,月平均气温>15℃,春秋气候温和;年均降水量 1 381~1 690 mm,大概是高位内陆的 2~3 倍,且降水量较集中在 4—10 月;光能资源丰富,年均日照时间达 1 820~2 160 h;≥10℃年积温 8 182~8 498℃;夏季天气变化复杂,台风灾害频繁<sup>[16]</sup>。采集区土壤主要是由玄武岩发育而来的黏性砖红壤,土壤含有较丰富的有机质<sup>[17]</sup>。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料

假臭草种子,采自广东省湛江市赤坎区境内空旷地、公路边、林缘和林内等 4 种不同生境下的自然种群。采样时间为 2015 年 12 月。采集假臭草种子的 4 种不同生境的基本情况如表 1 所示。

### 2.2 试验方法

**2.2.1 种子外部形态观察** 随机选取 50 粒各个生境的成熟、饱满、干燥假臭草种子,利用 Olympus SZX7 体视显微镜观察种子形状、均匀度及种子冠毛情况等并拍照,利用 Image-Pro Plus 图像分析软件测量种身长、宽、高和冠毛芒长、芒数

收稿日期:2016-07-20

基金项目:国家星火计划(编号:2013GA780090);广东省省级科技计划(编号:2016A040402046、2014A0303040660);湛江市财政资金科技专项竞争性分配项目(编号:2014A06008、2015A030160);岭南师范学院校级培育项目(编号:YL1502);岭南师范学院协同创新中心项目(编号:CILI1503)。

作者简介:钟军弟(1980—),男,广东湛江人,硕士,主要从事植物学与植物生态学研究。E-mail:jundi2001@163.com。

通信作者:刘金祥,博士,教授,主要从事生态学与草业科学研究。

Tel:(0759)3183734;E-mail:lightlong@163.com。

表 1 4 种不同生境的基本情况

生境类型	土壤类型	群落郁闭度(%)	土壤含水量(%)	土壤养分(mg/kg)				土地利用方式及资源、养分情况
				有机质含量	速效氮含量	速效钾含量	速效磷含量	
空旷地	砖红壤	0	25.3±4.1a	14.8±3.4a	74.9±4.4a	61.7±4.9a	53.4±4.5a	幌伞枫( <i>Heteropanax fragrans</i> )林外空旷地,幌伞枫林被移植后撂荒一年,土壤资源、养分充裕
公路边	砖红壤	0	4.4±1.7b	3.7±1.1b	12.7±1.6b	11.9±1.4b	8.7±1.2b	325 国道路边,土壤板块,间杂乱石,资源养分极贫瘠,干旱
林缘	砖红壤	30~40	26.4±3.5a	15.3±2.7a	76.5±3.8a	63.6±5.3a	55.4±2.6a	幌伞枫林缘,幌伞枫树高 1.7~2.0 m,土壤资源、养分充裕
林内	砖红壤	60~70	28.5±2.6a	16.7±3.2a	79.3±4.7a	66.3±4.8a	56.2±3.9a	幌伞枫林内,幌伞枫树高 1.7~2.0 m,土壤资源、养分充裕

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。

及张开角度,利用根系分析系统 WINRHIZO Pro2009b 测得种身体积。

2.2.2 种子千粒质量及比重的测定 采集的种子自然风干后,每个生境随机选取 100 粒成熟、饱满的假臭草种子,用根系分析系统 WINRHIZO Pro2009b 测得其体积,并用电子分析天平称其质量,设 5 个重复,取平均值乘以 10 即可得到种子千粒质量,最后计算种子比重:

种子比重(g/cm<sup>3</sup>)=种子质量(g)/种子体积(cm<sup>3</sup>)。(1)

2.2.3 3 种菊科入侵植物种子沉降速度的测定 种子沉降速度的测定方法参考文献[11]。沉降速度的计算公式:

$$v=h/t。$$
(2)

式中:*h* 为种子释放高度,cm;*t* 为沉降时间,s。

2.2.4 种子含水率的测定 采用传统的烘干减质量法<sup>[18]</sup>。每个生境分别随机选取 100 粒成熟、饱满的种子,用电子分析天平称质量,记录质量(*m*<sub>1</sub>),然后将其置于干净烧杯中,在 75℃ 烘箱干燥至恒质量,记录质量(*m*<sub>2</sub>),每个生境设 5 个重复,最后计算种子含水率:

种子含水率=(*m*<sub>1</sub>-*m*<sub>2</sub>)/*m*<sub>1</sub>×100%。(3)

2.2.5 种子发芽率和种子萌发后胚芽、胚根和胚轴长度的测定 采用培养皿滤纸法进行种子萌发试验<sup>[19]</sup>。从每个生境中随机选取 50 粒成熟饱满的种子,蒸馏水浸洗种子 2~3 次后,将种子均匀排列在铺有湿润滤纸的高温消毒的培养皿中,并加入蒸馏水保持湿度。将置床后的培养皿置于人工气候箱(RXZ 型)中培养,培养条件设置为相对湿度 70%、温度 25℃、光照度 1 级、光照时间 12 h/d。种子萌发统一以胚根露出种皮 1 mm 为准,每天统计发芽的种子数,并隔天换 1 次干净的水,直到连续 2 d 无种子萌发为止。测量幼苗胚芽、胚根和胚轴的长度,并统计和计算种子萌发率、发芽势和发芽指数。每个处理 4 次重复。

根据记录结果参照韩利红等的方法<sup>[9]</sup>计算种子发芽率、发芽势、发芽指数等。发芽率公式:

发芽率=发芽种子总数/供试种子总数×100%。(4)

种子发芽势是指发芽试验初期,在规定的日期内正常发芽的种子数占供试种子数的比例。发芽势、发芽指数计算公式如下:

发芽势=前 3 d 发芽数/供试种子总数×100%;(5)

发芽指数=Σ(*G<sub>i</sub>*/*D<sub>i</sub>*)。(6)

式中:*G<sub>i</sub>* 指在 *t* 时间内的发芽数,个;*D<sub>i</sub>* 指相应的发芽时间,d。平均发芽时间是供试种子发芽所需的平均时间,是种子

发芽快慢的一个指标。在不同生境下假臭草种子的同一个测量指标中,平均发芽时间的数值越小,表示该批种子发芽速度越快,发芽能力较好。相应公式:

平均发芽时间=Σ(*D*×*n*)/Σ*n*。(7)

式中:*D* 为从种子置床起算的时间,置床之日为 1 *d*; *n* 为相应各天的发芽数,粒。

2.2.6 种子活力的测定 采用 2,3,5-三苯基氯化四氮唑(TTC)法<sup>[20]</sup>,对不同生境下的假臭草种子进行活力测定。分别从每个生境中随机选取 50 粒成熟种子,置于 30~35℃ 温水中浸泡 24 h 后去皮,然后将种胚于 30℃ 的 0.1% TTC 溶液中浸泡 12 h,取出进行镜检,观察种胚染色的情况,种胚染成红色的为有活力的种子,试验设 4 个重复。

2.3 统计分析

本试验的所有数据均在 Excel 上处理,使用 SPSS Statistics19 进行方差分析;不同生境参数间比较用 One-Way ANOVA 和 LSD 多重比较分析法进行。

3 结果与分析

3.1 不同生境下假臭草种子形态特征及物理特性的比较

假臭草种子为黑色瘦果,条状,具 3~4 棱<sup>[1]</sup>。种子长 2~3 mm,宽 0.4~0.6 mm,高 0.3~0.4 mm,种子颜色、大小和均一度较一致。种子具白色冠毛,冠毛长 3~5 mm,种子冠毛为伞形,呈一定张力角度张开。由表 2 可知,高养分的空旷地、林内和林缘生境下假臭草种子的长、宽、高和体积均与低养分的公路边生境有显著差异(*P*<0.05),其种子长与体积均比公路边生境的长或大,而宽与高均不及公路边生境的,说明土壤养分是影响假臭草种子大小的重要因子,低养分生境的假臭草种子较高养分的宽但短。

高光照的空旷地和公路边生境的假臭草种子冠毛芒长、芒数、芒张力角度及沉降速度均分别较低光照的林缘和林内生境的长、多、大、小,说明光照是影响假臭草种子冠毛及沉降速度的一个重要因子,高光照生境的假臭草种子芒长、芒数、芒张力角度及沉降速度较低光照生境的长、多、大、小。高光照、高养分的空旷地生境假臭草的种子芒长和芒数与高光照、低养分的公路边生境均无显著性差异,但芒张力角度、沉降速度却分别较高光照、低养分公路边生境的小和大(*P*<0.05),说明土壤养分对假臭草种子芒长及芒数无显著影响,但对假臭草种子芒张力角度及沉降速度有显著影响,高光照、低养分的公路边生境假臭草种子的芒张力角度、沉降速度分别比土

壤养分高生境的大、小。

高光照、高养分的空旷地生境下假臭草种子千粒质量、比重及含水率最高,分别为( $0.230 \pm 0.002$ ) g、( $1.000 \pm 0.000$ ) g/cm<sup>3</sup>、( $19.5 \pm 1.6$ )%,显著高于高光照、低土壤养分的公路边和低光照、高土壤养分的林缘、林内生境( $P < 0.05$ ),说明光照和土壤肥水均可能为影响假臭草种子质量、比重和含水率的重要因素,高光照、高肥水生境下假臭草种子的品质最好。

表 2 不同生境下假臭草种子形态特征及物理特性比较

生境类型	种身大小				种子冠毛性状		
	长(mm)	宽(mm)	高(mm)	体积(mm <sup>3</sup> )	芒长(mm)	芒数(条)	芒张开角度(°)
空旷地	2.41 ± 0.05a	0.49 ± 0.07b	0.31 ± 0.03b	0.24 ± 0.03a	4.54 ± 0.12a	27 ± 2a	118.9 ± 31.8b
公路边	2.15 ± 0.10b	0.59 ± 0.01a	0.38 ± 0.05a	0.20 ± 0.02b	4.39 ± 0.30a	27 ± 2a	149.8 ± 20.6a
林缘	2.35 ± 0.09a	0.52 ± 0.04b	0.34 ± 0.02b	0.23 ± 0.03a	3.87 ± 0.27b	25 ± 2b	93.6 ± 17.3c
林内	2.39 ± 0.12a	0.50 ± 0.05b	0.33 ± 0.02b	0.24 ± 0.04a	3.26 ± 0.33c	24 ± 2b	65.0 ± 18.4d

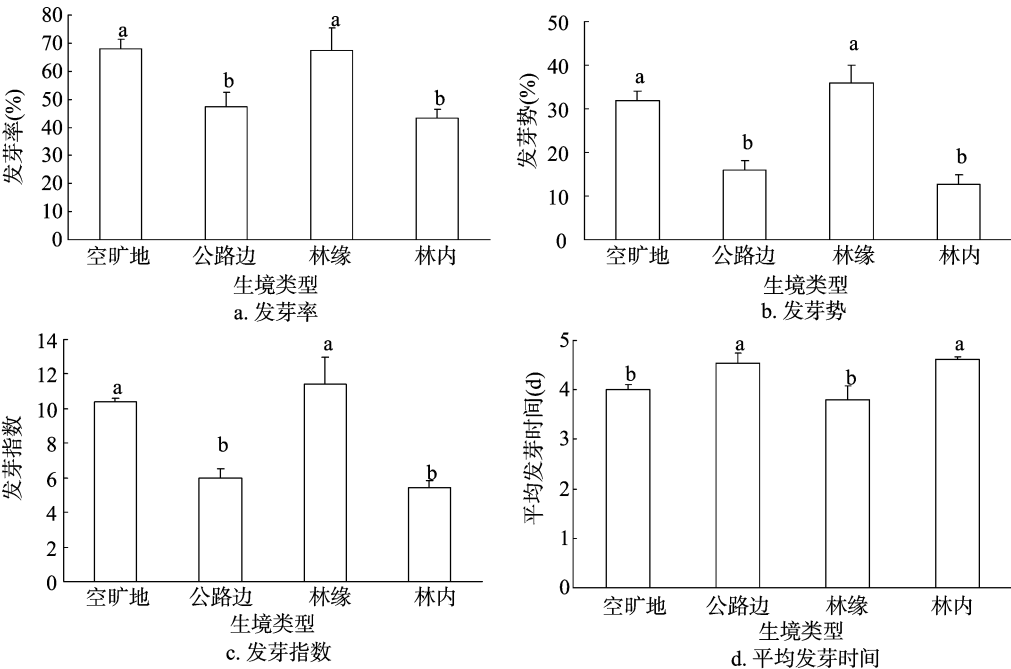
生境类型	种子物理特性			
	千粒质量(g)	种子比重(g/cm <sup>3</sup> )	沉降速度(cm/s)	含水率(%)
空旷地	0.230 ± 0.002a	1.000 ± 0.000a	42.7 ± 6.2c	19.5 ± 1.6a
公路边	0.191 ± 0.003b	0.960 ± 0.000b	32.5 ± 6.8d	13.6 ± 2.4b
林缘	0.192 ± 0.003b	0.850 ± 0.000c	65.8 ± 15.3b	12.2 ± 2.6b
林内	0.181 ± 0.001c	0.760 ± 0.000d	110.5 ± 25.9a	9.0 ± 1.4c

3.2 不同生境下假臭草的种子萌发参数的比较

由图 1 可知,高光照、高土壤养分的空旷地生境下假臭草种子的发芽率、发芽势及发芽指数与林缘生境的无显著差异,但显著高于高光照、低土壤养分的公路边生境及低光照、高土壤养分的林内生境( $P < 0.05$ ),说明光照和养分都可能是影响假臭草种子发芽率、发芽势和发芽指数的重要因子。

在不同生境下假臭草种子的同一个测量指标中,平均发芽时间的数值越小,表示该批种子发芽速度越快,发芽能力较

好。从图 1 - d 可知,低光照、高养分的林内生境下假臭草种子的平均发芽时间最多,为( $4.61 \pm 0.05$ ) d,发芽最慢,与高光照、低养分的公路边生境无显著差异,但与高光照、高养分的空旷地和林缘生境呈显著性差异( $P < 0.05$ ),说明光照和土壤养分均可影响假臭草种子的平均发芽速度,高光照、高土壤养分生境假臭草种子平均发芽时间比低光照、低养分生境的少,种子发芽能力较强。



不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。图 2 同

图1 不同生境下假臭草种子的萌发参数

3.3 不同生境下假臭草的种子活力的比较

由图 2 可知,高肥水养分、低光照的林内生境的假臭草种子活力最弱,为( $40.0 \pm 2.2$ )%,与其他 3 种生境差异显著( $P < 0.05$ ),说明光照是影响假臭草种子活力的重要因素,在极度的光照胁迫下,假臭草种子活力表现较低。另外,高光

照、低肥水养分的公路边生境下假臭草种子的活力显著低于高光照、高土壤养分的空旷地生境,说明土壤养分也是影响种子活力的另一重要因素。可见,假臭草的种子活力与光照及肥水养分等因素有关,高光照、高肥水养分生境下假臭草的种子活力较高,反之,低光照、低肥水养分生境下假臭草的种子

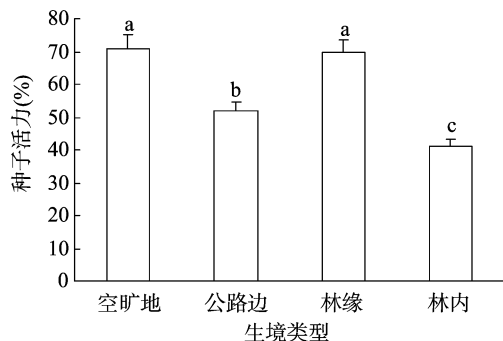
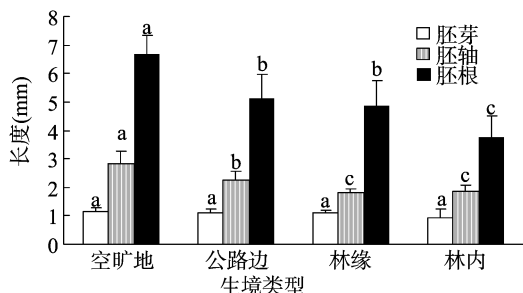


图2 不同生境下假臭草种子的活力

活力则较低。

### 3.4 不同生境下假臭草种子的胚芽、胚根及胚轴长度的比较

种子胚芽、胚轴和胚根在一定程度上反映幼苗的生活能力,也与种子质量和活力相关<sup>[21]</sup>。由图3可知,各生境假臭草的胚芽长度差异不显著;高光照、高土壤养分的空旷地生境下假臭草种子的胚轴、胚根长度最大,分别为 $(2.8 \pm 0.5)$ 、 $(6.7 \pm 0.7)$  mm,与较低光照、高养分的林缘和林内生境及高光照、低养分的公路边生境均存在显著性差异( $P < 0.05$ ),说明光照和土壤养分均可能是影响假臭草种子胚根、胚轴的主导因素。在低光照或土壤养分胁迫状态下,假臭草种子胚轴、胚根的长度较短,说明假臭草种子萌发成幼苗初期的生活能力较差。



同一部位不同生境处理间标有不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

图3 不同生境下假臭草种子的胚芽、胚根及胚轴长度的比较

## 4 结论和讨论

植物器官的资源优化配置反映植物对异质环境的选择性响应<sup>[22-23]</sup>。为适应环境的多样化,植物常通过调整优化各个器官的资源配置来提高种群的竞争能力和生存适合度<sup>[17,24]</sup>。通常,当植物受到光照条件的限制时,植物就会通过增加地上部分茎、叶器官的生物量的分配,减少地下部分根器官和生殖器官的生物量分配,来获得更多的光照资源,提高其光竞争能力和生存适合度<sup>[17,25-26]</sup>。本研究表明,光照是影响假臭草种子质量、种子比重、含水率、种子冠毛及沉降速度的重要因子。与高光照空旷地、公路边生境相比,低光照生境林内假臭草种子质量、种子比重及含水率较小,种子冠毛较短和少,芒张力角度较小,沉降速度较大。主要原因可能是,在光照水平的极度胁迫下,假臭草可能把更多的养分资源分配到地上部分营养器官上,通过增加茎枝和叶的生物量,减少地下部分和生殖器官生物量的分配比,从而获得更多的光照资源,提高它与其他物种的光竞争能力和生存适应度,因此,种子质量、比重

及含水率较小,种子冠毛较短和少、芒张力角度较小,沉降速度较大。可见,低光照生境下的假臭草种子品质较差,种子的风媒传播能力较弱,种群多以克隆生长维持种群的生存、发展及延续。

植物对土壤养分的适应也是通过各器官资源优化配置来实现的,养分水平低时,植物将更多的资源分配到地下部分营养器官上,较少分配到茎、叶地上部分器官和种子生殖器官上。反之,养分水平高时,植物则增加茎、叶地上部分器官生物量分配,减少地下部分和种子生殖器官的生物量分配<sup>[17,21,27]</sup>。本研究表明,土壤养分条件是影响假臭草种子大小、种子质量、比重和含水率的另一个重要因素。高养分生境空旷地的假臭草种子大小、种子质量、比重和含水率均比低养分生境的大,主要原因可能是假臭草的资源配置适应性较强,在光照充足、养分较为充裕的生境下,生长能力较强的假臭草各个器官均能充分利用足够多的环境资源,因而其种子的大小、质量、比重和含水率也较高。而在养分较低或极度胁迫条件下,假臭草调整其各个器官的资源分配量,尽可能把较多的养分资源分配到根部营养器官上,较少分配到地上部分及种子生殖器官上,以获得更多的水分和养分资源,提高其贫瘠恶劣环境的生存适应度,因此,其种子的大小、质量、比重和含水率相对较低,种子品质较差。

种子沉降速度越小,种子在空气中的漂浮时间越长,种子扩散的距离就越远<sup>[28]</sup>,种子的风媒传播能力就越强。有研究表明,沉降速度与种子上的冠毛数量、长度和张开角度均呈直接的负相关关系<sup>[29-30]</sup>。本研究表明,土壤养分条件也是影响假臭草种子芒张力角度和沉降速度的另一个重要因素。土壤养分对假臭草种子芒长及芒数无显著影响,但对假臭草种子芒张力角度及沉降速度有显著影响,高光照、土壤贫瘠恶劣生境的假臭草种子芒张力角度、沉降速度分别较土壤养分较高生境的大、小。这可能与土壤贫瘠恶劣生境下假臭草种群为谋求进一步的种群生存及发展有关。在贫瘠的土壤生境下,假臭草种子可能为谋求进一步的种群生存、扩散及发展,对资源进行进一步的优化配置及利用,将有限的养分资源相对较多地分配到种子芒张力建成方面上,因而种子芒张力角度较大,种子沉降速度较小,种子的风媒传播能力较强,种群谋求生存及发展的机会较大。

发芽率、发芽势、发芽指数、平均发芽速度等参数也反映了假臭草种子的发芽能力及种子品质<sup>[9]</sup>。种子的平均发芽时间的数值越大,表示该批种子发芽所需的平均时间越长;种子发芽速度越慢,发芽能力越差<sup>[9]</sup>。本研究结果表明,光照和土壤养分均为影响假臭草种子发芽率、发芽势、发芽指数、平均发芽时间、种子活力等种子萌发及活力参数的重要因素,高光照、高土壤养分的生境空旷地假臭草种子的发芽率、发芽势、发芽指数及种子活力均较高,种子平均发芽时间也较少,与低养分生境公路边及低光照生境林内均呈显著性差异。主要原因可能是,在光照水平的极度胁迫下,假臭草可能把更多的养分资源分配到地上部分营养器官上,较少分配到地下部分和种子生殖器官上,从而对资源进行更合理的分配及利用,提高其对光的竞争力,因而种子品质及活力较低,种子发芽率、发芽势、发芽指数等种子活力参数则相应较低,种子平均发芽时间相应较多。而在养分水平的胁迫下,为了提高植物

对地下部分资源的吸取,假臭草也可能把更多的资源分配在根系部分,所以减少了生殖器官等生物量的资源分配,种子品质及活力较低,种子发芽率、发芽势、发芽指数等种子活力参数则相应较低,种子平均发芽时间相应较多。而高光照、高养分的生境下,假臭草可利用的资源、空间较充足,因而各部分的生物量尽可能都较大,各部分生长状况良好,种子品质及活力也较高,种子发芽率、发芽势、发芽指数等种子活力参数相应较高,种子平均发芽时间相应较少。可见,高光照、高肥水养分的生境是假臭草种子生长发育及建成的最适生境。

不同生境下植物种子的胚根和胚轴,能在一定程度上体现植物种子在不同生境下幼苗的生活能力及种子活力<sup>[9]</sup>。光照和土壤养分均可能是影响假臭草种子胚根、胚轴生长的主导因素。高光照、高土壤养分生境空旷地假臭草种子的胚轴与胚根长度均显著大于低光照、高养分的林缘和林内生境及高光照、低养分的公路边生境。可能与不同生境下假臭草具不同种子质量、比重及活力有重要的直接关系。在高光照、高土壤养分生境下,环境资源较为充裕,假臭草各个器官获得的可利用资源较为充分,种子品质和活力较高,种子幼苗初期生活能力较强。而在光照或者土壤养分极度胁迫下以及资源优化配置过程中,假臭草种子生殖器官获得其自身建成的资源较少,种子品质和活力较低,种子幼苗初期生活能力表现较弱。

本研究通过对4种不同生境下假臭草种子特性的比较分析,发现假臭草在光照充足、土壤养分充裕的生境下生长情况良好,假臭草种子风媒传播能力较强,种子质量、比重和含水率、发芽率、发芽指数等种子品质和活力参数较高,种子萌发的幼苗初期生活能力较强。可见,高光照、高土壤养分生境是假臭草种子建成的最适生境。另外,在较低光照或土壤较贫瘠的生境下,假臭草种子各个参数虽在一定程度上受到限制,但其种子繁殖、传播、扩散能力及对生境的适应性和可塑性仍较强,这可能是假臭草能成功入侵各种生境的重要原因之一。

#### 参考文献:

- [1] 吴海荣,胡学难,钟国强,等. 外来杂草假臭草的特征特性[J]. 杂草科学,2008(3):69-71.
- [2] 王真辉,安 锋,陈秋波. 外来入侵杂草——假臭草[J]. 热带农业科学,2006,26(6):33-37.
- [3] 李振宇,解 焱. 中国外来入侵种[M]. 北京:中国林业出版社,2002:166.
- [4] 阚丽艳,谢贵水,安 锋,等. 海南省入侵植物假臭草种子萌芽分析[J]. 中国农学通报,2008,24(2):425-432.
- [5] 邓世明,王 宁,汤丽昌,等. 外来入侵植物假臭草的化感作用研究[J]. 中国农学通报,2010,26(16):277-280.
- [6] 范继辉,蒋 莉,程根伟. 我国南方生物入侵的问题与对策[J]. 应用生态学报,2005,16(3):568-572.
- [7] 丁 丹,陈 超. 红毛草(*Rhynchelytrum repens*)入侵特性、地理分布和风险评估[J]. 杂草学报,2016,34(2):29-33.
- [8] 林春华,唐赛春,韦春强,等. 广西来宾市外来入侵植物的调查研究[J]. 杂草科学,2015,33(1):38-44.
- [9] 韩利红,刘 潮,郑玉龙. 紫茎泽兰与3种同属本地植物种子特性比较[J]. 种子,2010,29(2):73-76.
- [10] Barrett S H. Crop mimicry in weeds[J]. Economic Botany,1983,37(3):255-282.
- [11] 王四海,孙卫邦,成 晓. 逃逸外来植物肿柄菊在云南的生长繁殖特性、地理分布现状及群落特征[J]. 生态学报,2004,24(3):119-444.
- [12] 徐汝梅,叶万辉. 生物入侵:理论与实践[M]. 北京:科学出版社,2003:45-50.
- [13] 阚丽艳,谢贵水,王纪坤. 盐胁迫对假臭草种子萌芽特性的影响[J]. 热带农业科学,2009,29(8):26-31.
- [14] 王亚庆,刘 敏,张守栋,等. 盐胁迫对盐角草种子萌发与幼苗生长效应的研究[J]. 江苏农业科学,2002(2):69-71.
- [15] 阚丽艳,谢贵水,王纪坤. 干旱胁迫对入侵植物假臭草幼苗生长和生理生态指标的影响[J]. 热带作物学报,2009,30(5):608-612.
- [16] 李剑兵,李昆飙. 湛江海湾气候资源分析及开发利用建议[J]. 广东气象,2003(2):43-46.
- [17] 钟军弟,徐意媚,曾富华,等. 不同生境下假臭草生长特征分析[J]. 广西植物,2014,34(1):68-73.
- [18] 郝晓莉,张本华,王建忠. 种子含水率快速检测方法比较分析[J]. 中国种业,2006(1):11-12.
- [19] 全国明,毛丹鹏,章家恩,等. 飞机草的繁殖能力与种子的萌发特性[J]. 生态环境学报,2011,20(1):72-78.
- [20] 李 晖. TTC法在高原植物种子活力测定中的应用[J]. 西藏科技,2006(6):59.
- [21] Mcconnaughay K D M, Coleman J S. Can plants track changes in nutrient availability via changes in biomass partitioning? [J]. Plant and Soil,1998,202(2):201-209.
- [22] 赵孟良,王丽慧,孙雪梅,等. 干旱胁迫下菊芋可溶性碳水化合物积累及分配规律[J]. 江苏农业科学,2015,43(2):340-343.
- [23] 赵 琦,郭 伟,王存国,等. 不同供硅条件下稗草生物量生殖分配及生殖分株数量特征[J]. 江苏农业科学,2016,44(6):205-210.
- [24] 蒲高忠,唐赛春,潘玉梅,等. 入侵植物银胶菊在不同生境下表型可塑性和构件生物量[J]. 广西植物,2010,30(5):641-646.
- [25] Nishimura E, Suzuki E, Irie M, et al. Architecture and growth of an annual plant *Chenopodium album*, in different light climates [J]. Ecological Research,2010,25(2):383-393.
- [26] 郭志华,王 荣,肖文发. 不同光环境下喜树与四川大头茶幼苗的表型可塑性[J]. 林业科学,2009,45(9):6-12.
- [27] 王满莲,孔德鑫,邹 蓉,等. 不同土壤环境对地枫皮幼苗生长和生物量分配的影响[J]. 作物杂志,2013(3):67-71.
- [28] Schulz B, Döring J, Gottsberger G. Apparatus for measuring the fall velocity of anemochorous diaspores, with results from two plant communities[J]. Oecologia,1991,86(3):454-456.
- [29] Andersen M C. An analysis of variability in seed settling velocities of several wind-dispersed Asteraceae [J]. American Journal of Botany,1992,79(10):1087-1091.
- [30] Andersen M C. Diaspore morphology and seed dispersal in several wind-dispersed Asteraceae[J]. American Journal of Botany,1993,80(5):487-492.