

朝天椒辣椒素含量及辣椒表型与亲代相关性分析

毛丹^{1,2}, 梁芳芳^{3*}, 孙朝霞⁴, 赵鹏飞¹ (1.河南鼎优农业科技有限公司, 河南郑州 450015; 2.河南省种子站, 河南郑州 450015; 3.河南农业职业学院, 河南中牟 451450; 4.河南红绿辣椒种业有限公司, 河南郑州 450004)

摘要 选用朝天椒品系 A1、B173 这 2 份材料的 F₂ 代群体, 运用 SSR 构建辣椒分子连锁图谱, 进行辣椒素、二氢辣椒素含量的 QTL 分析。结果表明, F₂ 个体的辣椒素含量和二氢辣椒素含量的变异范围超出亲本的范围, 为辣椒素和二氢辣椒素的 QTL 性状分子标记筛选提供了较好的遗传基础。利用筛选出来的 62 对 SSR 标记对群体 DNA 进行遗传分析, 共检测到 2 个辣椒素 QTL 位点, 3 个二氢辣椒素 QTL 位点; 将 10 个连锁群与辣椒染色体进行了对应, 以上 5 个 QTL 位点可能均位于 2 号染色体上。该研究对朝天椒辣椒素含量的遗传控制和分子标记辅助选择具有重要意义。

关键词 朝天椒; 辣椒素; 二氢辣椒素; 数量性状位点

中图分类号 S641.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)04-0048-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.04.015



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Capsaicin Content and Phenotype of Correlation Analysis with *Capsicum annuum* Parents

MAO Dan^{1,2}, LIANG Fang-fang³, SUN Chao-xia⁴ et al (1. Henan Dingyou Agricultural Technology Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450015; 2. Henan Seed Station, Zhengzhou, Henan 450015; 3. Henan Vocational College of Agriculture, Zhongmu, Henan 451450; 4. Henan Red and Green Pepper Seed Industry, Zhengzhou, Henan 450004)

Abstract In this experiment, F₂ populations of pepper strains A1 and B173 were selected to construct pepper molecular linkage map by SSR, and QTL analysis of capsaicin and dihydrocapsaicin content was carried out. The results showed that the variation range of capsaicin and dihydrocapsaicin content in F₂ individuals were beyond the range of parents. It provided a good genetic basis for molecular marker screening of capsaicin and dihydrocapsaicin trait QTL. The 62 pairs of SSR markers were used for genetic analysis of population DNA. A total of 2 capsaicin QTL loci and 3 dihydrocapsaicin QTL loci were detected. Five QTL locus related to capsaicin and dihydrocapsaicin content were detected on P2 chromosomes. The results will be of great significance for the genetic control of capsaicin content and molecular marker assisted selection.

Key words *Capsicum frutescens*; Capsaicin; Dihydrocapsaicin; QTL (Quantitative Trait Loci)

辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 为茄科 (Solanaceae) 辣椒属 (*Capsicum*) 作物, 目前在世界范围内都是主要的经济作物, 特别是在中国和韩国^[1-3]。朝天椒 (*Capsicum frutescens*) 是辣椒变种, 常作一年生栽培。与辣味相关的辣椒素类物质有辣椒素 (capsaicin)、二氢辣椒素 (dihydrocapsaicin)、高辣椒素、高二氢辣椒素和降二氢辣椒素 5 类^[4]。辣椒素和二氢辣椒素是起主要作用的辣椒素, 提供了约 90% 的辣感和热感, 约占总量的 90%^[5-6]。辣椒素 (capsaicin) 具有预防心血管疾病和消化道疾病、减肥等药理作用^[7-11]。Kim 等^[12] 研究证明辣椒素能改变细胞相关基因的表达。笔者选用朝天椒品系 A1、B173 这 2 份材料的 F₂ 代群体, 运用 SSR 构建辣椒分子连锁图谱, 进行辣椒素、二氢辣椒素含量的 QTL 分析, 以期检测辣椒素 QTL 位点和二氢辣椒素 QTL 位点, 明确辣椒素含量及辣椒表型与亲代相关性, 为加快高辣朝天椒新品种培育提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料 2019 年 4 月和 5 月, 以朝天椒品系 A1 为父本、品系 B173 为母本配制杂交组合, 2020 年获得 F₁ 单株, 进一步自交产生 F₂, 2021 年种植 F₂ 分离群体, 同时种植亲本朝天椒品系 A1、B173 和 F₁、F₂ 分离群体共 76 个单株。2019—

2021 年所有试验材料均种植在河南农业职业学院高新科技园试验基地。苗期取样提取基因组 DNA; 果实青熟时采集果实测定辣椒素和二氢辣椒素含量。

1.2 辣椒素和二氢辣椒素的测定 利用超高效液相色谱 (UPLC) 测定朝天椒辣椒素和二氢辣椒素含量。

1.3 辣椒素含量的 QTL 定位

1.3.1 基因组 DNA 的提取。 苗期取辣椒品系 A1、B173、F₁ 和 F₂ 分离群体的幼嫩真叶, F₂ 分离群体按单株取样。DNA 提取方法采用 CTAB 法^[13]。

1.3.2 SSR 标记引物。 利用 300 对均匀分布在辣椒染色体上的 SSR 引物对辣椒亲本进行多样性筛选^[14-17]。SSR 标记的 PCR 反应采用 25 μL 反应体系, 包括 20 ng 总 DNA、0.2 mmol/L dNTP、0.5 U Taq DNA 聚合酶、2 mmol/L Mg²⁺ (10×buffer)、正向和反向引物各 0.33 μmol/L。SSR 标记反应程序: 94 °C 预变性 3 min; 94 °C 30 s, 50 °C 30 s, 72 °C 1 min, 35 次循环; 72 °C 延伸 10 min。PCR 反应产物用 10% 变性聚丙烯酰胺凝胶进行电泳, 电泳缓冲液为 1 倍 TBE, 180 V 恒压电泳 1.0~1.5 h。

1.3.3 聚丙烯酰胺凝胶电泳和银染显色。 参考 Mimura 聚丙烯酰胺凝胶电泳和银染显色^[17]。

1.3.4 遗传连锁图谱构建和 QTL 定位。 筛选在父母本间表现多态的 SSR 标记; 利用获得的多态性引物分析 F₂ 群体各单株基因型; 将筛选到的亲本和 F₂ 群体中多态性标记数据导入软件进行分析并构建遗传连锁图^[18]。采用 Kosambi 函数计算遗传距离, 利用软件区间作图法进行 QTL 定位。

基金项目 郑州市第四批“智慧郑州”1125 聚才计划人才团队“朝天椒抗病优质基因资源挖掘及杂交优势利用”(郑政预[2019]673 号); 河南农业职业学院科研创新人才项目 (HNACS-RHR-2021-05)。

作者简介 毛丹(1975—), 男, 河南许昌人, 高级农艺师, 硕士, 从事农作物试验与示范研究。*通信作者, 副教授, 硕士, 从事蔬菜教学和研究。

收稿日期 2021-12-22; **修回日期** 2021-12-27

2 结果与分析

2.1 标准曲线 由图 1 和图 2 可知,辣椒素的回归方程为 $Y=10^6 X-568.73, R^2=0.9978$, 二氢辣椒素的回归方程为 $Y=6386890X+2962.65, R^2=0.9989$, 表明辣椒素和二氢辣椒素在 $0.01\sim 1.00$ mg/mL 线性关系良好, 即峰面积与进样量有良好的线性关系。

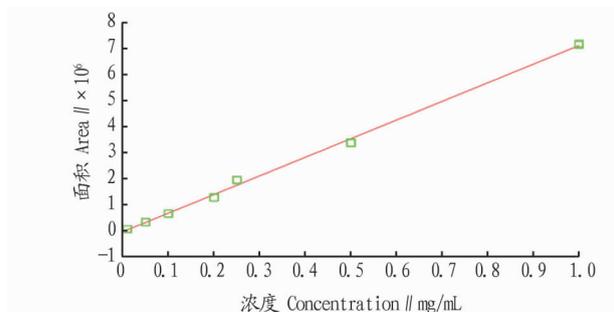


图 1 辣椒素标准曲线

Fig.1 Standard curve of capsaicin

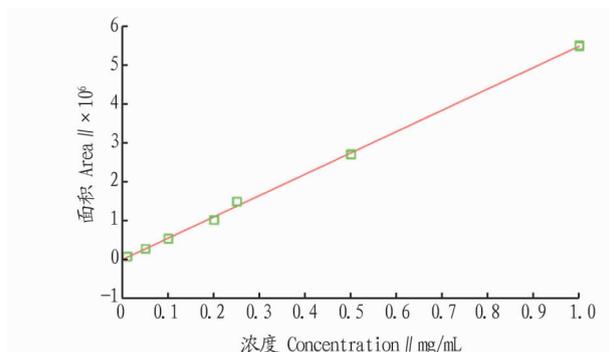


图 2 二氢辣椒素标准曲线

Fig.2 Standard curve of dihydrocapsaicin

2.2 辣椒素和二氢辣椒素含量 取亲本、杂交 F_1 和 F_2 分离群体的辣椒样品,测定峰面积,计算辣椒素和二氢辣椒素含

量,对 F_2 个体的辣椒素和二氢辣椒素含量分析表明,其性状的变异范围超出了亲本的范围(表 1),说明控制这 2 个性状的增效基因和减效基因在双亲中是分散的,这为辣椒素和二氢辣椒素性状 QTL 的分子标记筛选提供了较好的遗传基础。 F_2 群体的辣椒素和二氢辣椒素含量均表现出超亲分离现象,适合 QTL 的定位分析。

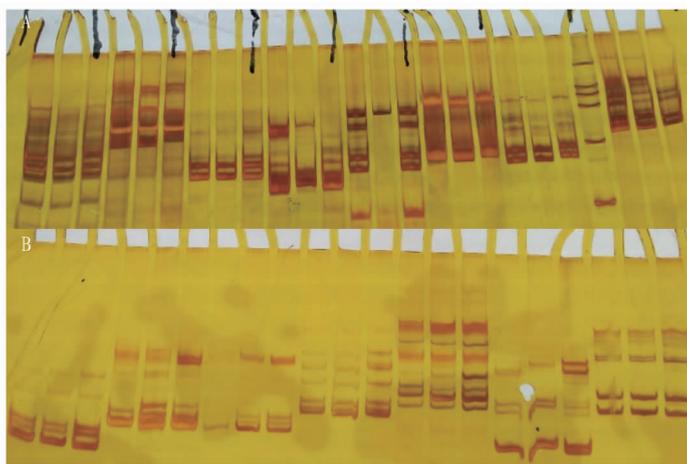
表 1 F_2 分离群体及亲本辣椒素和二氢辣椒素含量分析

Table 1 Phenotypic analysis of capsaicin and dihydrocapsaicin content in F_2 isolated population and its parents

成分 Component	亲本 Parent		F_2		
	P_1 (母本)	P_2 (父本)	群体变幅 Group variation	平均值 Average value	标准差 Standard deviation
辣椒素 Capsaicin	2.159	1.893	1.50~2.49	1.758 4	0.230 5
二氢辣椒素 Dihydrocapsaicin	1.663	1.740	1.40~2.52	1.625 9	0.190 0

2.3 标记的筛选 利用已公布的 300 对 SSR 引物对两亲本辣椒品系 A1、品系 B173 及其 F_1 进行差异引物筛选,在两亲

本间有差异的引物共有 62 对,占有用于扩增引物的 20.67%(图 3)。



注:在每对引物中的扩增顺序均为父本 A1、母本 B173、 F_1 。A. 从左向右 SSR 引物顺序依次为 Hpms₁-3、Hpms₁-5、Hpms₁-41、Hpms₁-43、Hpms₁-62、Hpms₁-69、Hpms₁-117、Hpms₁-139, 其中第 22 个泳道为 Marker DL2000。B. 从左向右 SSR 引物顺序依次为 CAEMS009、CAMS066、CAMS452、CAMS368、CAEMS073、EPMS310、CAMS117

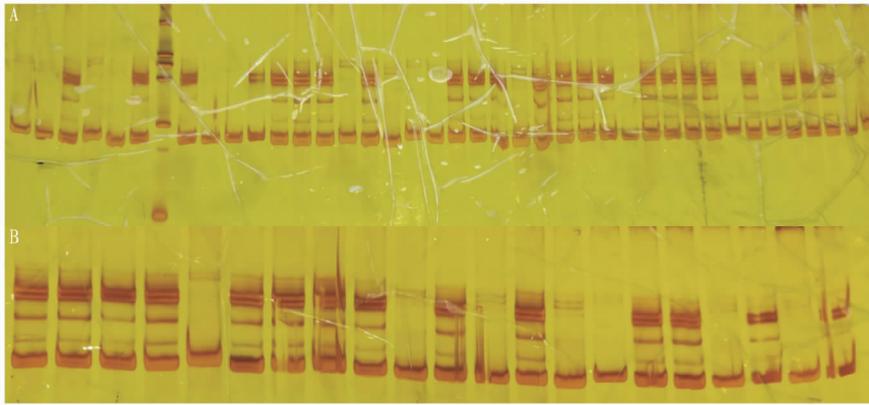
Note: The amplification sequence of each pair of primers is male parent A1, female parent B173 and F_1 . A. The sequence of SSR primers from left to right is Hpms₁-3, Hpms₁-5, Hpms₁-41, Hpms₁-43, Hpms₁-62, Hpms₁-69, Hpms₁-117 and Hpms₁-139, of which the 22nd lane is marker DL2000. B. The sequence of SSR primers from left to right is CAEMS009, CAMS066, CAMS452, CAMS368, CAEMS073, EPMS310, CAMS117

图 3 8 对 SSR 引物在父本 A1、母本 B173 和 F_1 中的扩增结果

Fig.3 Amplification results of 8 pairs of SSR primers in male parent A1, female parent B173 and F_1

2.4 群体分析、图谱构建 QTL 位点的定位分析 利用筛选出来的 62 对 SSR 标记对群体 DNA 进行遗传分析(图 4),对多态性标记位点的分离比例与孟德尔理论分离比例 3:1(完全显性)和 1:2:1(共显性)进行了 χ^2 测验,有 9 对引物表现偏分离,其余均符合孟德尔分离比例。采用 JionMap 4.0 对

标记统计数据进行遗传连锁性分析,构建了由 10 个连锁群构成的遗传连锁图谱,其上共有 65 个 SSR 标记。共检测到 2 个辣椒素 QTL 位点,3 个二氢辣椒素 QTL 位点。参照辣椒遗传连锁图谱,将 10 个连锁群与辣椒染色体进行了对应,以上 5 个 QTL 位点可能均位于 2 号染色体上。



注:A.从左向右第 1~3 个泳道分别为父本 A1、母本 B173 和杂交 F_1 ,第 7 个泳道为 Marker DL2000;A 上的其余泳道包括所有 B 均为 F_2 群体中的部分单株扩增

Note:A.The 1st-3rd lanes from left to right are male parent A1,female parent B173 and hybrid F_1 respectively,and the 7th Lane is Marker DL2000.The remaining lanes on A,including all B,are part of the single plant amplification in the F_2 population

图 4 引物 Hpms₁-43 在部分 F_2 群体中的扩增图

Fig.4 Amplification of primer Hpms₁-43 in some F_2 populations

3 结论与讨论

通过采集青熟时果实,对亲本朝天椒品系 A1、B173 和 F_1 、 F_2 分离群体的辣椒素和二氢辣椒素含量进行分析,结果表明, F_2 群体的辣椒素和二氢辣椒素含量均表现出超亲分离现象,适合 QTL 的定位分析。利用已公布的 300 对 SSR 引物对两亲本朝天椒品系 A1、品系 B173 及其 F_1 进行差异引物筛选,在两亲本间有差异的引物共有 62 对,占有用于扩增引物的 20.67%。利用筛选出来的 62 对 SSR 标记对群体 DNA 进行遗传分析,对多态性标记位点的分离比例与孟德尔理论分离比例 3:1(完全显性)和 1:2:1(共显性)进行了 χ^2 测验,有 9 对引物表现偏分离,其余均符合孟德尔分离比例。偏分离位点的发现、标记定位和遗传效应研究都需要有高密度的分子遗传图谱为基础,目前绝大多数重要植物上开展了遗传作图^[19]。构建了由 10 个连锁群构成的遗传连锁图谱,其上共有 65 个 SSR 标记。共检测到 2 个辣椒素 QTL 位点,3 个二氢辣椒素 QTL 位点。参照辣椒遗传连锁图谱,将 10 个连锁群与辣椒染色体进行了对应,以上 5 个 QTL 位点可能均位于 2 号染色体上。5 个 QTL 位点的发现,初步明确了辣椒素含量及辣椒表型与亲代相关性,为加快高辣朝天椒新品种培育提供理论基础。

参考文献

[1] CHEN C M,HAO X F,CHEN G J,et al.Characterization of a new male sterility-related gene *Camf1* in *Capsicum annuum* L.[J].Molecular biology reports,2011,39(1):737-744.
[2] 邹学校,张竹青,陈文超,等.辣椒果实性状的遗传分析[J].西北植物学报,2007,27(3):497-501.
[3] 刘辰,马宁,付楠,等.辣椒 GMS 育性相关候选基因的克隆及表达分析[J].中国农业科学,2014,47(16):3264-3276.

[4] KORKUTATA N F,KAVAZ A.A comparative study of ascorbic acid and capsaicinoid contents in red hot peppers (*Capsicum annuum* L.) grown in Southeastern Anatolia Region[J].International journal of food properties,2015,18(4):725-734.
[5] USMAN M G,RAFII M Y,ISMAIL M R,et al.Capsaicin and dihydrocapsaicin determination in chili pepper genotypes using ultra-fast liquid chromatography[J].Molecules,2014,19(5):6474-6488.
[6] WU S X,ZENG J M,XIE H,et al.Capsaicin determination and chili sauce discrimination using low-cost and portable electrochemical sensors based on all graphite pencil electrodes[J].Analytical methods,2016,8(39):7025-7029.
[7] MAIHÖFNER C,SCHMELZ M,FORSTER C,et al.Neural activation during experimental allodynia: A functional magnetic resonance imaging study [J].European journal of neuroscience,2004,19(12):3211-3218.
[8] KEMPAIAH R K,MANJUNATHA H,SRINIVASAN K.Protective effect of dietary capsaicin on induced oxidation of low-density lipoprotein in rats [J].Molecular and cellular biochemistry,2005,275(1/2):7-13.
[9] KATAGIRI F,INOUE S,SATO Y,et al.Ecabet sodium raises plasma levels of calcitonin gene-related peptide and substance P in healthy humans[J].Journal of pharmacy and pharmacology,2010,57(6):799-805.
[10] BARTNESS T J,SONG C K,SHI H F,et al.Brain-adipose tissue cross talk[J].Proceedings of the nutrition society,2005,64(1):53-64.
[11] 姜越君,刘素纯,李佳莲,等.辣椒素的生理功能及提取研究进展[J].安徽农业科学,2009,37(31):15426-15428.
[12] KIM J D,KIM J M,PYO J O,et al.Capsaicin can alter the expression of tumor forming-related genes which might be followed by induction of apoptosis of a Korean stomach cancer cell line,SNU-1[J].Cancer letters,1997,120(2):235-241.
[13] KUMAR S,RAI M.Chile in India[J].Theoretical and applied genetics,2005,75:224-228.
[14] LEE J M,NAHM S H,KIM Y M,et al.Characterization and molecular genetic mapping of microsatellite loci in pepper[J].Theoretical and applied genetics,2004,108(4):619-627.
[15] YI G,LEE J M,LEE S,et al.Exploitation of pepper EST-SSRs and an SSR-based linkage map [J].Theoretical and applied genetics,2006,114(1):113-130.

不同类型的少花蒺藜草种子萌发对水分和光照的响应

霍艳利, 曲婷, 高凯, 周立业* (内蒙古民族大学农学院, 内蒙古通辽 028000)

摘要 [目的]了解少花蒺藜草(*Cenchrus incertus*)异型种子对水分和光照的要求。[方法]以少花蒺藜草异型种子为研究对象,采用10个水分梯度(依次为土壤最大持水量的10%~100%)和5种光照强度(全光照、50%光照、25%光照、15%光照、全黑暗),观察少花蒺藜草异型种子的萌发特性。[结果]各水分梯度少花蒺藜草发芽率表现为刺苞>M型种子>P型种子(除50%水分梯度外),随着水分梯度的提高,刺苞及两异型种子的发芽率均呈现先升高后降低的趋势,刺苞在水分梯度60%、M型种子和P型种子在水分梯度50%时发芽率达到最大;发芽势、发芽指数和活力指数呈先升高后降低的趋势,在水分梯度为土壤最大持水量的50%~60%时达到最高值;随着水分梯度的提高,刺苞、M型种子与P型种子的胚根长和胚芽长呈先升高后降低的变化趋势;各光照强度下少花蒺藜草发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均表现为M型种子>P型种子>刺苞,随着光照强度的增加,发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数呈现上升趋势,在全光照下达到最高值,胚根长和胚芽长均在全光照条件下达到最高值。

关键词 少花蒺藜草;异型种子;萌发;水分;光照

中图分类号 X173 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)04-0051-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.04.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Response of Seed Germination of Different Types of *Cenchrus incertus* to Water and Light

HUO Yan-li, QU Ting, GAO Kai et al (College of Agriculture, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028000)

Abstract [Objective] To understand the water and light requirements of heterotypic seeds of *Cenchrus incertus*. [Method] Taking the heteromorphous seeds of *Cenchrus incertus* as the research object, 10 water gradients (10%–100% of the maximum water holding capacity of soil) and 5 light intensities (full light, 50% light, 25% light, 15% light and full dark) were used, the germination characteristics of heterotypic seeds of *Cenchrus incertus* were observed. [Result] The germination rate of *Cenchrus incertus* under each water gradient was in the order of bract > M-type seed > P-type seed (except for the 50% water gradient). With the increase of water gradient, the germination rate of bur and two heterotypic seeds both increased first and then decreased, the germination rate reached the maximum when the water gradient of bract was 60%, and the water gradient of M-type seeds and P-type seeds was 50%. The germination potential, germination index and vigor index increased first and then decreased, and reached the highest value when the water gradient was 50%–60% of the maximum soil water holding capacity. With the increase of water gradient, the radicle and germ length of bract, M-type and P-type seeds increased at first and then decreased; the germination rate, germination potential, germination index and vigor index of *Cenchrus incertus* under different light intensities were M-type seed > P-type seed > bract. With the increase of light intensity, the germination rate, germination potential, germination index and vigor index showed an upward trend, reaching the highest value under full light, and the length of radicle and germ reached the highest value under full light.

Key words *Cenchrus incertus*; Heteromorphism seed; Germination; Water; Light

少花蒺藜草(*Cenchrus incertus* M.A.Curtis),禾本科蒺藜草属一年生草本植物,原产北美洲的美国和墨西哥、中美洲、欧洲及热带沿海地区,20世纪40年代传入我国^[1-2],现已成为科尔沁沙地危害严重的恶性杂草之一^[3]。少花蒺藜草以种子进行繁殖,种子具异型性,每个刺苞含1~3粒种子,多为2粒,其中一粒相对较大、外形似芒果且有一小部分外露在刺苞中称为M型种子,另一粒较小、外形似李子的种子称之为P型种子^[4]。

种子萌发是种子植物生活史中实现种群更新和物种延续的关键环节之一^[5],且会受到很多因素如温度、光照、水分、氧气等的影响^[6]。种子异型性是干旱区一年生植物的一种普遍现象,并被认为是许多一年生植物对异质性环境的独特适应方式,在植物生活史对策和生态适应机制方面具有重要的研究价值^[7]。异型种子在萌发过程因环境因素的影响会采取相应的生长策略,以确保在严酷的环境中成功定居与繁衍。有研究发现,盐角草(*Salicornia europaea*)异型种子萌发在受到温度的影响时,A、B型种子采取“机会主义”策略,

而C型种子采取“保守主义”策略^[8];盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)异型种子萌发对光照敏感不同,黑色种子萌发被黑暗所抑制,光条件下萌发更好,而棕色种子对光照不敏感^[9];异子蓬(*Suaeda aralocaspica*)异型种子对盐分的响应采取耐盐与避盐策略,棕色种子没有休眠且有耐高盐能力采取“耐盐”策略,而黑色种子的耐盐能力差采取“避盐”策略^[10];褐色猪毛菜(*Salsola korshinskyi*)C型种子在应对温度与降雨时采取“谨慎”萌发策略^[11]。王坤芳等^[12]认为少花蒺藜草异型种子在相同条件下M型种子发芽率高于P型种子;田迅等^[13]研究发现少花蒺藜草异型种子对温度的感应不同,M型种子萌发可以适应高温,P型种子萌发较低采取“保守主义”策略。水分和光照是种子萌发的必要条件,为了更深入了解少花蒺藜草异型种子对水分和光照的要求,该研究采用培养皿沙培法和水培法,以科尔沁沙地少花蒺藜草两异型种子为研究对象,观察其不同光照与水分下的萌发与生长情况,探究少花蒺藜草异型种子对水分和光照条件的响应策略,了解其在科尔沁沙地的适应和入侵机制。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验地概况 该试验所用刺苞和砂土取自于通辽市丰田镇(122°02'E、43°03'N),该地区属于中温带半干旱的大陆性季风气候,春季干旱多风,夏季炎热,降水多集

基金项目 国家自然科学基金项目(31460634)。

作者简介 霍艳利(1996—),女,内蒙古通辽人,硕士研究生,研究方向:草地生态。*通信作者,教授,博士,硕士生导师,从事草地生态方面的研究。

收稿日期 2021-05-30

中在6—8月份,年日照时数3 113 h,是少花蒺藜草的重度入侵区。

1.2 试验设计

1.2.1 水分设置。该试验采集砂土过筛去杂并在105℃下烘干24 h至恒重(土壤田间最大持水量为18.37%)。按照最大持水量设定10个水分浓度梯度,依次为土壤最大持水量的10%~100%,将带刺苞的种子以及去除刺苞的M型种子和P型种子分别在不同水分梯度的培养皿(土壤基质为砂土,Φ=9 cm)中进行萌发试验,将刺苞作为对照,每个培养皿中30个种子,覆土深度为刚好没过种子,试验共计30个处理,每个处理设置6个重复,用喷壶浇水后称重并置于光照培养箱中(SPX-250-GB)培养,每日称重保持持水量相同(减去30粒刺苞重量),观察并记录种子发芽数。以胚根长为种子的长度、胚芽长为种子的1/2长度作为萌发标准,以连续3 d内无新增发芽数视为发芽结束。

1.2.2 光照条件。取30粒种子置于铺有一层滤纸的培养皿中,加入不定量蒸馏水(隔天补足水分),水分没过种子的50%,分别进行全光照(6 000 lx)、50%光照(3 000 lx,1层纱布覆盖)、25%光照(1 500 lx,2层纱布覆盖)、15%光照(900 lx,3层纱布覆盖)处理,(25±1)℃,12 h光照/12 h黑暗,每个处理设6次重复,观察并记录种子发芽数。以连续3 d内无新增发芽数视为发芽结束。

1.3 测定指标 发芽率(GP)、发芽势(GE)、发芽指数(GI)和活力指数(VI)的计算公式如下:

$$GP = \frac{\text{最终发芽种子数}}{\text{种子总数}} \times 100\% \quad (1)$$

$$GE = \frac{\text{第3天发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\% \quad (2)$$

$$GI = \sum (Gt/Dt) \quad (3)$$

$$VI = S \times GI \quad (4)$$

式中,Dt为萌发天数,Gt为Dt相对应的每天萌发种子数。S为平均胚根长,GI为发芽指数。

胚根长、胚芽长:种子萌发7 d后将根部砂土清洗干净,使用直尺测定胚根和胚芽在舒展状态下的长度,记录数据。根芽比=胚根长/胚芽长。

1.4 数据处理与统计方法 该试验所有数据均用Microsoft Office Excel 2010制作图表,SPSS 19.0数据处理系统分析差异显著性,显著性水平为0.05。

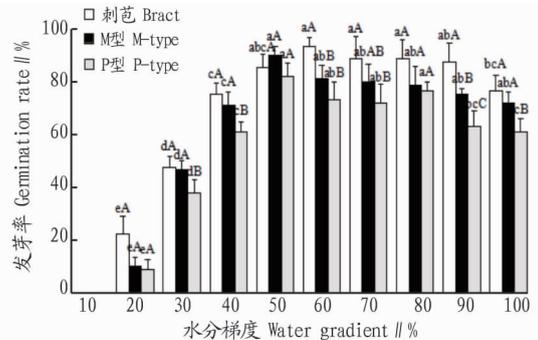
2 结果与分析

2.1 水分梯度对少花蒺藜草种子萌发和胚根、胚芽生长的影响

2.1.1 不同水分梯度下少花蒺藜草种子的发芽率、发芽势。由图1可知,除50%水分梯度外,在同一水分梯度下的发芽率均表现为刺苞>M型种子>P型种子。刺苞与两异型种子的发芽率随着水分梯度的增加均表现为先升高后降低的趋势,且在水分梯度为土壤田间最大持水量的10%时发芽率均为0。当水分梯度为60%时刺苞发芽率最高,为93.33%,显著高于20%、30%、40%、100%水分梯度($P<0.05$),在此梯度下,刺苞与两异型种子差异显著($P<0.05$);M型种子与P型种子在水分梯度为50%时发芽率最高,分别为90.00%和

82.22%,与20%、30%、40%水分梯度具有显著性差异($P<0.05$),在此梯度下,三者差异不显著($P>0.05$)。此后,随着水分梯度的提高发芽率呈下降趋势。

由图2可知,各水分梯度下刺苞、M型种子、P型种子的发芽势均表现为先增加后降低的趋势,在水分梯度为10%时三者发芽势均为0。刺苞和M型种子在水分梯度为60%时发芽势最高,分别为71.11%、70.00%,除与70%水分梯度无显著差异,显著高于其他水分梯度($P<0.05$);在此梯度下,刺苞、M型种子与P型种子差异不显著($P>0.05$);P型种子在水分梯度为50%发芽势最高,为72.22%,在此梯度下,三者差异不显著($P>0.05$)。此后,发芽势随着水分梯度的提高呈下降趋势。

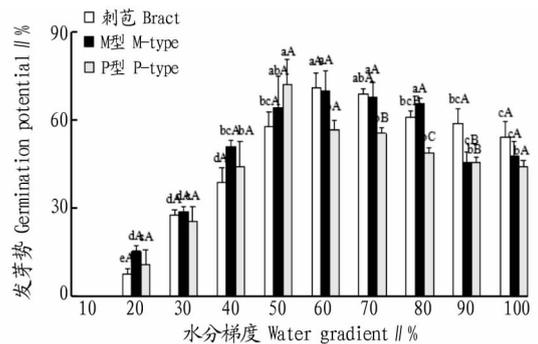


注:不同小写字母表示同一类型种子不同水分梯度间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一水分梯度下不同类型种子间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different water gradients of the same type of seeds ($P<0.05$); different capital letters indicate significant differences between different types of seeds under the same water gradient ($P<0.05$)

图1 不同水分梯度下少花蒺藜草种子的发芽率

Fig.1 Germination rate of *C. incertus* seeds under different water gradients



注:不同小写字母表示同一类型种子不同水分梯度间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一水分梯度下不同类型种子间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different water gradients of the same type of seeds ($P<0.05$); different capital letters indicate significant differences between different types of seeds under the same water gradient ($P<0.05$)

图2 不同水分梯度下少花蒺藜草种子的发芽势

Fig.2 Germination potential of *C. incertus* seeds under different water gradients