

求每人观看每张照片后完成 1 页问卷。测试者依次对 6 个照片进行打分。每个项目从程度非常低至程度非常高对应分值为 1~7 分。测试共发放 120 套问卷,回收有效问卷 113 套,有效率为 94.17%。

1.4 数据分析

采用 SPSS 19.0 软件对 113 份有效问卷进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 问卷信度情况

经统计分析,对 113 份有效问卷进行信度分析,可靠性系数 $\alpha=0.794$,大于 Cronbach alpha 的临界值 0.7,一致性较好^[14]。

2.2 配植设计表征认知情况

该类别的分值反映使用者对于照片中配植的认知情况(表 2)。各项得分符合正态分布,总体方差具有齐性($P>0.05$)。种类丰富度项分值较为接近,其

中,图 1 中照片 2、3、4、5、6 无显著性差异($P>0.05$)。而根据现场统计,照片 2、3、4、5、6 中的植物种类(包括乔木、灌木、草本)分别为 2、6、8、5、6 种,说明使用者对于多种植物种类混合配植不能很好地加以辨识。栽植密闭度项中,照片中植物枝叶越茂密、视觉受限越大,分值越高,分值情况和现场实际情况较为相符。植物层次丰富度项中分值依次为照片 3>照片 5>照片 6>照片 4>照片 2>照片 1(图 1),从乔木、亚乔木、大灌木、小灌木和草本的配植层次和植株高度上看,评价分值排序符合现场配植情况。色彩丰富度项中照片 4、5、6 得分较高,相比其它照片除了有木本植物还有草本花卉,花色色相较为丰富。其次分值较高的是照片 3,照片 3 中虽然没有花卉,但是金叶榆叶色为黄色系,其它乔灌木色相为绿色系,但色彩明度和纯度有一定差别。照片 1、2 中植物色彩单一,分值最低。色彩丰富度得分情况较符合现场实际情况。

表 2 各项评分均值
Table 2 Mean value of every item

项目 Item	照片 1 评分均值 Mean value of case 1	照片 2 评分均值 Mean value of case 2	照片 3 评分均值 Mean value of case 3	照片 4 评分均值 Mean value of case 4	照片 5 评分均值 Mean value of case 5	照片 6 评分均值 Mean value of case 6	F 值 F value	显著性 Sig.
种类丰富度 Species richness degree	3.47	2.93	3.06	3.31	3.05	3.11	4.260	0.001
栽植密闭度 Plants density degree	5.79	2.07	3.31	3.57	5.52	3.53	165.712	0.000
层次丰富度 Heights richness degree	1.57	1.94	5.91	4.62	5.46	5.08	295.266	0.000
色彩丰富度 Color richness degree	1.83	1.70	4.70	5.76	5.17	5.22	310.292	0.000
美观感 Aesthetic sense	1.94	2.20	5.87	4.95	5.87	5.44	414.669	0.000
休闲感 Leisure sense	5.01	4.83	5.07	5.21	5.04	4.95	1.783	0.114
辨识感 Identification sense	2.93	2.80	4.66	3.98	4.03	4.70	65.097	0.000
安全感 Security sense	3.38	4.85	3.45	3.96	4.11	4.73	38.714	0.000
等待 Wait	4.91	4.84	5.08	4.94	4.92	4.99	0.614	0.689
交谈 Talk	2.88	3.09	5.74	4.76	4.59	6.01	143.785	0.000
学习 Learn	2.14	3.23	5.55	4.69	5.44	5.74	209.850	0.000
休息 Rest	2.63	2.57	5.58	4.98	5.29	5.79	198.685	0.000

2.3 配植设计感受情况

该类别的分值反映使用者主体对于照片中配置设计的感受情况(表 2)。感受 4 项中美观感、辨识感和安全感有显著性差异($P\leq 0.05$)。在美观感项分值较低的是照片 1、2,得分较高的是照片 3、5 和 6。休闲感项分值总体偏高,经统计分析没有显著性差异($P>0.05$),表明 6 个配植照片给使用主体休闲感受差别不大。在辨识感项分值较低的是照片 1 和 2,照片 3 和 6 分值较高。照片 1 和 2 是采用单一树种的行列式栽植,得分低表明这种配植方式的辨识感不高。而照片 3 和 6 在配植方法上采用了混合式栽植方式,既有规则的剪形篱,也有自然式多株丛植的方式。另外,这 2 个照片中的种植池样式也富于变

化,表明这 2 种配植方式容易增加场所的辨识感。安全感项照片 6 和 2 分值较高,照片 1 分值最低,照片 1 是栽植密度较大的灌木,视线通透性较弱。之前研究者对公园景观安全感的研究认为,公园环境场景的开放度与视觉可及性呈现显著正相关,而开放度与环境安全呈负相关^[13],该研究结果与其有较强的相似性。

2.4 行为意愿情况

该项分值反映了使用者在照片的环境中对环境认知后产生的行为意愿情况(表 2)。在等待方面,分值普遍较高,差异性不显著($P>0.05$),表明在 6 张照片中学生普遍愿意在该环境中等待,也说明学生的等待行为对植物配植形式的要求不高。在交谈、

学习、休息方面,6张照片差异显著性较大($P \leq 0.05$),表明学生在进行上述3种行为时对于植物配植环境有一定倾向性和偏好性,学生更愿意在照片3和6的环境中进行聊天、交谈、休息行为,而在晨读、课间等户外阅读学习中喜欢照片3、5和6中的环境。

2.5 相关性分析

用Pearson对量表得分做相关性分析是常见的方法^[10,13],对配植设计表征认知类各项与感受类、行为意愿类各项做相关性分析,结果见表3。

表3 表征认知类和感受类相关性

Table 3 Correlations between characteristic cognition and sense on case

项目 Item	美观感 Aesthetic sense	休闲感 Leisure sense	辨识感 Identification sense	安全感 Security sense
种类丰富度 Species richness degree	0.071	0.014	0.009	-0.080
栽植密闭度 Plants density degree	0.084	0.738	0.828	0.051
层次丰富度 Heights richness degree	0.069	0.050	-0.036	-0.246 * *
色彩丰富度 Color richness degree	0.090	0.218	0.385	0.000
	0.744 * *	0.060	0.464 * *	-0.033
	0.000	0.141	0.000	0.421
	0.687 * *	0.064	0.434 * *	0.003
	0.000	0.119	0.000	0.934

注: * * 表示在0.01水平(双侧)上显著相关; * 表示在0.05水平(双侧)上显著相关。下同。

Note: * *, Correlation is significant at 0.01 level (2-tailed); *, Correlation is significant at 0.05 level (2-tailed). The same below.

表4 表征认知类和行为意愿类相关性

Table 4 Correlations between characteristic cognition and behavior intention

项目 Item	等待 Wait	交谈 Talk	学习 Learn	休息 Rest
种类丰富度 Species richness degree	-0.036	-0.052	-0.075	0.070
栽植密闭度 Plants density degree	0.376	0.202	0.068	0.087
层次丰富度 Heights richness degree	0.043	-0.077	-0.055	0.062
色彩丰富度 Color richness degree	0.289	0.060	0.189	0.132
	0.075	0.554 * *	0.654 * *	0.652 * *
	0.065	0.000	0.000	0.000
	0.004	0.535 * *	0.611 * *	0.614 * *
	0.919	0.000	0.000	0.000

3 讨论与建议

3.1 讨论

高校校园生活区最主要的使用者是学生,其园林植物配植设计要符合使用者的行为和心理需要,该研究探索了使用者接受生活区园林植物环境刺激后的认知、感知和行为意愿情况。测试结果表明,在生活区植物配植照片表征的认知上,学生对于植物配植丰富度认知不能和现场实际情况相符,而对于栽植密度、层次丰富度、色彩丰富度的认知情况较好。可见学生群体普遍具备一定的园林观察力和理解力,对于植物密度、层次丰富度,色彩丰富度的识别和认知较好,但是对于不同植物种类特征的差别不能很好的区分。植物种类丰富度的识别对于园林

表3表明,植物层次丰富度、色彩丰富度和美观感呈显著正相关,而种类丰富度和栽植密闭度和美观感未呈显著相关性。植物配植表征认知各项和休闲感未呈显著相关性,植物层次、色彩丰富度和辨识感均呈显著正相关,植物栽植密闭度和安全感呈显著负相关。表4表明,植物配植表征类4项和等待行为意愿未呈显著正相关性,植物层次丰富度与色彩丰富度均与交谈、学习、休息呈显著正相关。

设计者来说较为容易,园林设计者往往倾向于追求植物种类的丰富性,但是这种差别应该被设计者重视。

层次丰富度、色彩丰富度和美观感、辨识感呈显著正相关性,也与交谈、学习、休息行为意愿呈显著正相关性,其中照片3、5的上述2项得分较高,可以看到2张照片的特点是运用了乔木、灌木、草本的结合,并且绿色系基调搭配色彩优美的花卉或彩色叶植物,可见高校生活区的园林植物配植设计中层次丰富性和色彩丰富性是设计者应该重点把握的要点。

高校生活区在校园功能分区中属于相对安静区域,园林环境也是使用者学生群体的户外活动主要空间,使用者安全心理需求是不可忽视的问题。安

全感与栽植密闭度呈现显著负相关,可见植物配植过密会产生不安全感,因为密闭的植物配植会使空间自然光线通透性差,视觉闭郁性强,对环境内容(如人或动物)的预知性差,进而产生对安全的担心。

3.2 建议

该研究发现,哈尔滨高校生活区的园林植物的配植建议采用以下方法:1)提高层次丰富度和色彩丰富度。在配植层次处理上应该考虑乔木、亚乔木、大灌木、小灌木和草本植物相结合的搭配形式,植株高度上考虑区分出高、中、低档次,也应考虑到植物生长的高度动态变化。例如,植物配植中背景采用大乔木、亚乔木和灌木自然式多株丛植,结合剪型篱和花带前景。这样背景和前景在形态上有对比关系,在高度上丛植占据高、中层次层,剪型篱和花带占据低层次层,而且剪型篱和花带的高度方便进行控制,所以这种搭配形式很容易体现出植物配植的层次关系。在色彩处理上可以考虑增加彩色叶树木、秋色叶树木或草本花卉,例如金叶榆、紫叶李、五角枫等。同时也要考虑植物色彩的季相变化,哈尔滨冬季较长,还应该考虑冬季色彩的丰富性,例如增加常绿植物,或者增加观干的落叶植物,如白桦、红瑞木等。2)在植物种类丰富度上,由于使用者不能很好的认知,在满足植物生理要求的基础上不应刻意追究种类的繁多。植物种类的选择和数量把握应该把层次、色彩作为主要考虑因素,减少体态相近或枝、叶、花、果相似的植物的搭配。如果通过种类数量增加园林植物的丰富性,这样的高校生活区配植设计不但不能达到预期效果,反而增加了施工工作量和施工造价。3)高校生活区密集的植物配植方式会降低学生的安全感,因此在设计中应该以疏简的

形式为主,减少过于密集的植物搭配形式。尤其哈尔滨纬度较高,气温低寒季长,生活区园林环境适合增加阳光的透过性和减少视觉的闭郁性,配植设计的格调应该倾向于开敞、简洁、明快。

参考文献

- [1] 姜辉,孙磊磊,万正阳,等. 大学校园群体[M]. 南京:东南大学出版社,2006.
- [2] 于广春,徐世德. 高校不同园区的植物选择与配置[N]. 中国花卉报,2003-05-22.
- [3] 秦小苏. 基于植物配植的高校景观规划设计[J]. 设计,2015(3):126-127.
- [4] 陈晋. 现代高校植物景观配置研究[J]. 农业与技术,2010(4):20-23.
- [5] 鲁敏,杨盼盼,闫红梅,等. 高校生态校园植物配置概念设计:以山东建筑大学新校区为例[J]. 山东建筑大学学报,2014(1):9-27.
- [6] 张亚非,赵金鹏,赵衡,等. 乌鲁木齐市高校校园植物景观配置研究[J]. 安徽农业科学,2015(26):181-186.
- [7] 王答龙. 高校园林建设模式和方法[J]. 北方园艺,2008(4):177-179.
- [8] 聂晨曦,王云鹏. 哈尔滨高校植物景观现状分析及解决对策[J]. 山西建筑,2015(8):218-220.
- [9] CHOKOR B A, MENE S A. An assessment of preference for landscapes in the developing world; case study of Warri, Nigeria, and Environs[J]. Journal of Environmental Management, 1992, 34(4): 237-256.
- [10] 李红杰. 公路景观审美主体与评价方法研究[D]. 广州:华南理工大学,2011.
- [11] 戴晓玲,董奇. 设计师视线之外的全民健身路径研究[J]. 中国园林,2015(3):101-105.
- [12] PURCELL A T, LAMB R J. Preference and naturalness: An ecological approach[J]. Landscape and Urban Planning, 1998, 42(1): 57-66.
- [13] 蔡雄彬,谢宗添,林萍. 游人对城市公园场景安全性心理反应的评价研究[J]. 中国园林,2012(12):109-113.
- [14] (美)莱文, (美)福克斯,王卫东. 社会研究中的基础统计学[M]. 9版. 北京:中国人民大学出版社,2008.

Evaluation and Method of Landscape Plants Arrangement in Living Area of Campus in Harbin

CHEN Keping¹, ZHU Hangyong², XIONG Wei¹

(1. College of Art, Harbin University of Science and Technology, Harbin, Heilongjiang 150040; 2. Harbin City Forestry Academy, Harbin, Heilongjiang 150028)

Abstract: The functions of living areas landscape plants and their users in university campus are quite unique. It is a great helpful to have a specific design that by evaluating and studying on photos of plant arrangement cases from the users' perspective. Regarding to the evaluation deeply from the landscape plant arrangement characteristics cognition, cases experience and behavioral intentions in living areas of universities campus in Harbin were conducted through comprehensive analysis and exploration. The results indicated that the users had poor cognition about the abundance degree of plants species. The heights richness degree and color richness degree

银川平原草甸湿地三种禾草 构件特征及其土壤生境

乔 斌, 何彤慧, 吴春燕, 苏芝屯

(宁夏大学 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地,
宁夏 银川 750021)

摘 要:草甸湿地是银川平原干旱背景下特殊的湿地类型,对宁夏引黄灌区绿洲的健康发展至关重要。以银川平原草甸湿地常见禾草芨芨草(*Achnatherum splendens*)、赖草(*Leymus secalinus*)、拂子茅(*Calamagrostis epigejos*)为研究对象,通过野外采样、实验室分析,研究了3种禾草构件形态特征、构件生物量特征及配置比例,分析了3种禾草生境的土壤特征。结果表明:3种禾草的构件形态、构件生物量差异显著($P<0.05$),其中芨芨草各构件特征值最大,赖草和拂子茅次之;3种禾草构件生物量分配策略既有共性,又存在差异($P<0.05$),其生物量分配模式以种群能够实现持续生存和繁衍为终极目标;禾草生境的土壤理化性质在小尺度上各有不同,因而不同禾草常以单优群落分布,在景观格局上禾草生境则受制于银川平原草甸湿地盐渍化特征和土壤水分梯度差异。该研究为宁夏引黄灌区沟渠廊道生态建设和盐碱草地植被恢复提供了科学依据。

关键词:构件形态;构件生物量;土壤理化性质;草甸湿地

中图分类号:S 543⁺.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)04-0077-06

湿地作为发育于水陆环境过渡地带的生态系统,具有高度敏感性和脆弱性^[1]。我国西北干旱半干旱地区的湿地生态系统尤为敏感脆弱,一旦破坏很难恢复^[2]。地处干旱地区的银川平原湿地总面积达20.67万hm²,占区域国土面积的25.83%,远高于3.77%的全国平均水平^[3]。其中草甸湿地作为银川平原水陆过渡界面的特殊湿地类型^[4],在宁夏引黄灌区绿洲生态系统中发挥着重要的生态功能。湿地生态系统中,植被和土壤是重要的组成部分,也是重要的湿地生境质量指标^[1]。因此,探究银川平原草

甸湿地常见禾草的生态特征,分析其生境土壤理化性质,对于揭示其生态系统功能和了解其敏感脆弱性很有必要,是值得研究的科学命题。构件理论^[5-7]的提出和发展给群落水平的种群研究带来了新视角,从构件角度切入研究植物种群生态,是一种可行的方法。目前关于草地生态系统^[8-11]、森林生态系统^[12-13]、人工生态系统^[14-16]的植物种群构件和入侵植物构件^[17-18]的研究鲜有报道,但是关于湿地生态系统植物种群构件特征的研究尚鲜见报道。

在银川平原干旱背景下的草甸湿地中,禾本科的芨芨草(*Achnatherum splendens*)、赖草(*Leymus secalinus*)、拂子茅(*Calamagrostis epigejos*)为常见的草甸植物,一般分布在沟渠边坡、沟渠滞洪区、浅水滩地、田埂等中生或湿生环境。作为银川平原常见

第一作者简介:乔斌(1988-),男,甘肃天水人,硕士研究生,研究方向为植物生态和湿地恢复生态。E-mail:8807qiaobin@163.com.
收稿日期:2016-10-08

of the plant arrangement were significantly positive correlated with the aesthetic sense and identification. Moreover, they were significantly positive correlated with talk, learning and rest in the behavior intention. While, there was a significant negative correlation between plant density degree and security sense. Based on the evaluation results, it was recommended that the landscape plant arrangement design should not be blindly use more species in the campus life areas of universities in Harbin. It should be pay more attentions to apply plant arrangement strategies such as variety heights, rich colors and open visions to universities campus in Harbin.

Keywords: plants arrangement; assessment; campus; landscape; living area

的草甸禾草,芨芨草、赖草、拂子茅既是重要的景观成员,也是重要的饲草来源。一方面,草甸湿地植物能有效指示银川平原绿洲生态系统的基本特点和功能特性,另一方面,银川平原的草甸湿地出现了不同程度的退化,有必要探究植物的生态特征和生境土壤性状。因此,现以银川平原常见草甸禾草芨芨草、赖草、拂子茅为研究对象,通过种群构件层面研究 3 种禾草的构件特征、构件生物量特征、构件生物量配置格局及 3 种禾草土壤生境特征、土壤主要特征因子,以期对银川平原绿洲生态保护和恢复、宁夏引黄灌区沟渠廊道生态建设、盐碱草地植被恢复等提供理论基础和实践指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

银川平原位于贺兰山与鄂尔多斯高原之间,是在新生代断陷盆地基础上发育的堆积平原,自古以来就是黄河自流灌溉绿洲。地处温带干旱地区,属典型的中温带大陆性气候,年平均气温 $8\sim 9\text{ }^{\circ}\text{C}$,年降水量 200 mm 左右。银川平原深居西北内陆,干旱少雨,蒸发强烈,气候干旱,荒漠草原为该区的地带性植被,但便于引黄灌溉,光、热、水、土等农业自然资源配合较好,农林牧业在银川平原得以良好的发展。在银川平原,禾本科植物芨芨草、赖草、拂子茅广泛分布于沟渠边坡、沟渠滞洪区,浅水滩地、田埂等,由于临界水域地下水位高,往往出现土壤盐渍化现象。

1.2 研究方法

在银川平原唐徕渠干渠沿线、艾依河沿线、贺兰山山前滞洪带等地多处采样。分别选取具有代表性的人为干扰较小或无人干扰的芨芨草、赖草、拂子茅单优种群斑块作为样地。整个采样期从 6 月中旬芨芨草、拂子茅、赖草出穗期开始,直到 9 月下旬有性生殖期结束,每月上、下旬各采样一次。共设置了 41 个样点,其中芨芨草种群 11 个,赖草种群 13 个,拂子茅种群 17 个,每个样点做 3 个重复样方,调查样方为 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$,记录样方中种群株高、叶长、叶宽(叶片最宽处的宽度)、茎长、茎粗(近地面植株的直径)、花序长等构件形态特征指标。构件生物量取样为 $25\text{ cm}\times 25\text{ cm}\times 40\text{ cm}$ (长 \times 宽 \times 深)的样方,是在原来的草本群落调查样方中取样,对选好的构件生物量样方进行挖取后带回实验室处理。在进行植物种群样方取样的同时,在各样点用土钻分别取 $0\sim 10$ 、 $10\sim 20$ 、 $20\sim 30$ 、 $30\sim 40\text{ cm}$ 共 4 个土层的土壤(植物根系大部分分布在 30 cm 以上的土壤中)。取土样

时将同一层土样混匀后装入自封袋中带回实验室,每层 3 次重复,同时用铝盒盛装土样带回实验室用于测土壤含水量。

1.3 项目测定

种群构件形态指标在野外调查时测量完成,叶长、叶宽、茎长、花序长、株高等采用卷尺测定,茎粗采用游标卡尺测定。带回实验室的种群构件生物量,去除死去的分蘖株,用水将土冲洗干净,尽量保证地上和地下部分保持自然联系。按照植物体的功能构件将其分为茎秆构件(叶鞘分入茎秆构件)、叶构件、有性生殖构件(花、种)、根茎构件。然后将各构件分开装入纸袋中,放入 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干至恒重后称量其构件生物量。采用烘干法测定土壤含水量,采用 pH 计测定土壤 pH,采用电导率仪测定土壤全盐含量,采用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{-H}_2\text{SO}_4$ 外加热法测定土壤有机碳(SOC)含量,采用半微量凯氏定氮法测定土壤全氮(TN)含量,采用 NaOH 碱溶-钼锑抗比色法测定土壤全磷(TP)含量,采用 NaOH- H_3BO_3 法测定土壤碱解氮(AN)含量,采用 NaHCO_3 浸提-钼锑抗比色法测定土壤有效磷(AP)含量。计算叶长/叶宽(L/W)、株高/茎粗(H/D)、叶茎比(LSR)。 $\text{LSR} = S_L/S$,其中, S_L 为叶干生物量(g), S 为茎秆干生物量(g)。根冠比(R/S)采用烘干的地下生物量与地上生物量之比来表示。

1.4 数据分析

用 SPSS 19.0 软件中 Kolmogorov-Smirnov 检验数据,均符合正态分布($P>0.05$),再用 Levene's 检验方差齐性。数据差异性检验用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差法(Least-significant difference, LSD)或 Tamhane's T2 法进行,若方差齐性 $P>0.05$,用 LSD 法检验,若方差非齐性 $P<0.05$,采用 Tamhane's T2 法检验。采用主成分分析(PCA)方法对土壤因子进行分析。

2 结果与分析

2.1 构件特征比较

2.1.1 构件形态特征比较 从表 1 可以看出,3 种禾草构件形态指标差异显著($P<0.05$),其中叶长、茎长、茎粗、花序长、株高均以芨芨草最大,赖草除茎粗外,各形态指标均最小;3 种禾草的叶长差异显著($P<0.05$),茎长则差异不显著($P>0.05$),茎粗为芨芨草显著高于赖草和拂子茅($P<0.05$),赖草与拂子茅差异则不显著($P>0.05$);芨芨草花序长显著大于赖草和拂子茅的花序长($P<0.05$),同时赖草与拂子茅的花序长差异不显著($P>0.05$);株高则表现为芨

表 1

3 种禾草构件形态特征

Table 1

Morphological characteristic of modular of three gramineous species

植物名称 Plant name	叶长/cm	叶宽/cm	茎长/cm	茎粗/mm	花序长/cm	株高/cm	L/W	H/D
芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i>	62.13±17.87a	4.34±1.08	25.69±12.87a	3.14±0.88a	46.56±12.23a	166.00±37.91a	15.06±6.12	53.04±18.97a
赖草 <i>Leymus secalinus</i>	15.13±5.13c	—	18.72±6.31a	2.05±0.64b	10.81±2.66b	74.01±15.80b	—	33.74±6.57b
拂子茅 <i>Calamagrostis epigejos</i>	27.07±11.86b	5.30±1.06	21.53±14.87a	1.99±0.51b	15.25±2.72b	150.41±28.61a	5.41±2.83	57.16±14.33a

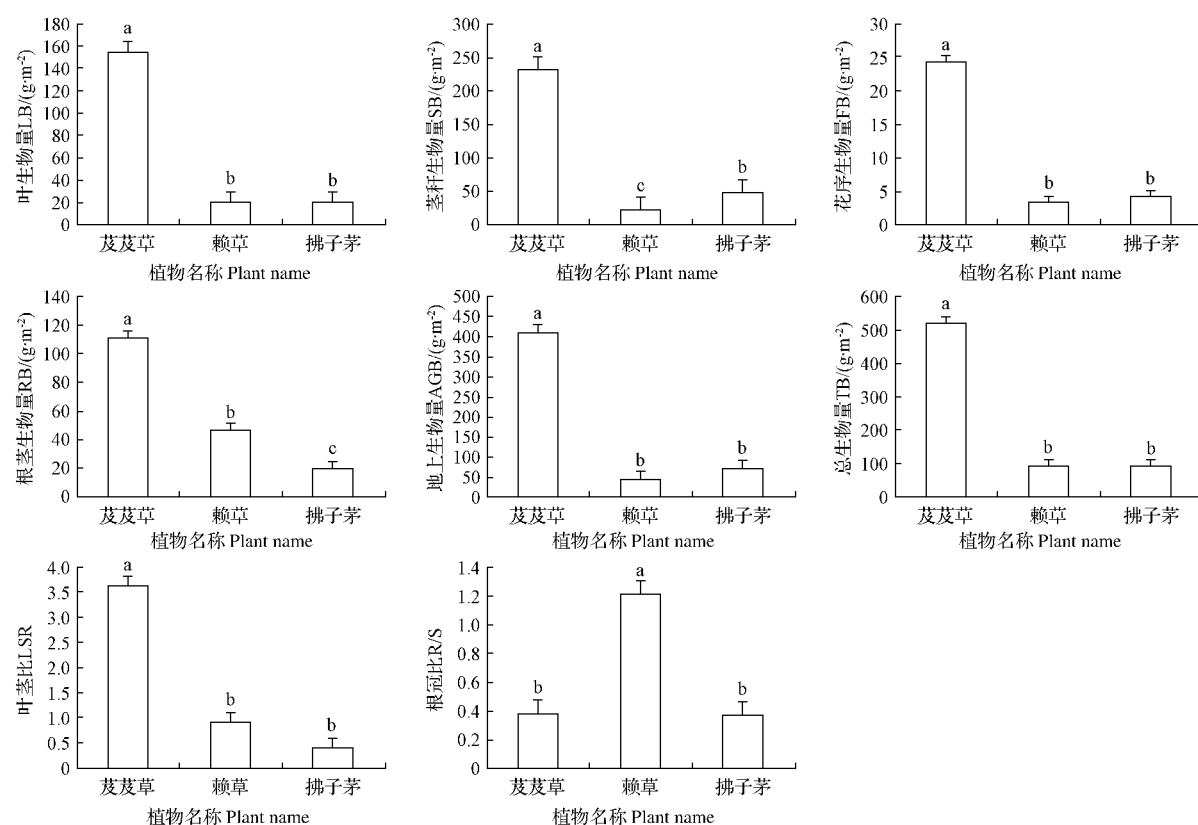
注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表 2 同。

Note: Different lowercase letters represent significant differences counterparts ($P<0.05$). Table 2 is the same.

芨芨草和拂子茅显著高于赖草($P<0.05$),同时芨芨草和拂子茅株高差异均不显著($P>0.05$);株高/茎粗(H/D)为拂子茅>芨芨草>赖草,且赖草与芨芨草、拂子茅差异显著($P<0.05$)。

2.1.2 构件生物量特征比较 从图 1 可以看出,3 种禾草各构件生物量、茎叶比、根冠比均存在不同的差异性($P<0.05$)。具体来说,叶生物量(LB)、茎秆

生物量(SB)、花序生物量(FB)、根茎生物量(RB)、地上生物量(AGB)、总生物量(TB)均是芨芨草最大,且与赖草、拂子茅存在显著差异($P<0.05$);赖草和芨芨草的 LB、FB、AGB、TB 差异均不显著($P>0.05$),但是 SB、RB 差异显著($P<0.05$);LSR 为芨芨草最大,与赖草、拂子茅差异显著($P<0.05$);R/S 则是赖草最大,与芨芨草、拂子茅差异显著($P<0.05$)。



注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters represent significant differences ($P<0.05$).

图 1 3 种禾草构件生物量、叶茎比及根冠比

Fig. 1 Modular biomass, leaf-stem ratio and root-shoot ratio of three gramineous species

2.2 生物量分配格局分析

由表 2 可知,芨芨草种群配置给茎秆的生物量

最大,比例为 31.92%~53.00%,其次是叶片和根茎,为 24.17%~33.07%和 10.92%~38.98%,有性

表 2

3 种禾草构件生物量配置格局

Table 2

Allocation patterns of modular biomass of three gramineous species

植物名称 Plant name	生物量分配格局 Biomass allocation/%				
	根茎生物量 RB	叶生物量 LB	茎秆生物量 SB	花序生物量 FB	地上生物量 AGB
芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i>	24.95±14.03b	28.62±4.45a	42.46±10.54a	3.98±2.77a	75.06±14.03a
赖草 <i>Leymus secalinus</i>	51.28±11.41a	21.35±7.88b	23.75±7.15b	3.61±1.40a	48.72±11.41b
拂子茅 <i>Calamagrostis epigejos</i>	24.35±13.56b	21.78±7.63b	49.58±11.13a	4.55±1.85a	75.65±13.56a

繁殖器官(花、种)的配置比例最小,为 1.21%~6.75%;芨芨草种群配置给地上部分的生物量为 61.03%~89.09%,显著高于地下生物量(根茎生物量)。赖草种群分配于根茎的比例最大,为 39.87%~62.69%,其次是茎秆和叶片,分别为 16.60%~30.90%和 13.47%~29.23%,有性繁殖器官(花、种)的配置比例最小,为 2.21%~5.01%;地上生物量为 37.31%~60.13%,与地下生物量相近。拂子茅种群配置给茎秆的生物量最大,为 38.45%~60.71%,其次是根茎和叶片,分别为 10.79%~37.91%和 14.15%~29.41%,有性繁殖构件(花、种)为 2.70%~6.40%;拂子茅种群地上部分的配置比例为 62.09%~89.21%。就各生物量指标的配置比例而言,赖草种群的根茎生物量配置比例最大,显著高于芨芨草种群和拂子茅种群($P<0.05$);叶生物量的配置比例为芨芨草种群显著高于赖草种群和拂子茅种群($P<0.05$);茎秆生物量的配置比例为拂子茅种群>芨芨草种群>赖草种群,赖草种群茎秆的配置比例显著低于拂子茅种群和芨芨草种群($P<0.05$);有性繁殖器官(花、种)的配置比例表现为 3 种禾草种群差异性均不显著($P<0.05$);地上生物量的配置比例呈现出赖草种群显著低于芨芨草种群和拂子茅种群($P<0.05$)。

2.3 土壤因子的主成分分析

对 3 种禾草生境的土壤含水量、全盐、pH、SOC、TN、TP、AN、AP 等进行主成分分析。表 3 表明,芨芨草种群生境的土壤因子主成分分析,共提取了 3 个主成分,特征值为 2.805、2.267、1.643,累积贡献率为 83.935%;第 1 主成分上全盐的因子载荷最高,为 0.810,TP 在第 2 主成分上全磷的因子载荷最高,为 0.929,第 3 主成分上土壤含水量的因子载荷最高,为 0.879;可以看出,全盐、TP、土壤含水量是芨芨草种群土壤生境的主要特征因子。由表 4 可知,赖草种群生境的土壤因子共提取了 4 个主成分,特征值均大于 1,分别为 2.706、1.901、1.344、1.070,4 个主成分的累积贡献率达到了 87.760%;从各土壤因子在第 1、2、3、4 主成分的载荷可以看出,TP 在第 1 主成分上的因子载荷最高,为 0.810,pH 在第 2 主成分上

的因子载荷最高,达到了 0.933,第 3 主成分上土壤含水量的因子载荷最高,是 0.760,第 4 主成分上全盐的因子载荷最高,为 0.496;主成分分析全面的反映了赖草种群生境的主要土壤因子,根据各土壤因子的因子载荷情况,赖草种群生境的主要土壤因子是 TP、pH、土壤含水量、全盐。从表 5 可以看出,拂子茅种群生境的土壤因子主成分分析提取了 3 个主成分,特征值为 3.054、1.629、1.181,累积贡献率达到了 73.286%;SOC、AN、全盐在第 1 主成分的因子载荷占据前三,分别为 0.858、0.827、0.806,第 2 主成分上 AP 的因子载荷最高,是 0.837,土壤含水量在第 3 主成分的因子载荷最高,为 0.932。因此,拂子茅种群生境的主要土壤因子是 SOC、AN、全盐、AP 和土壤含水量。可见,土壤含水量、全盐是影响 3 种禾草土壤生境的共同特征因子,其次 SOC 和速效养分也是重要的特征因子。

表 3 芨芨草种群土壤生境因子主成分分析

Table 3 Principal component analysis of soil habitat factor of *Achnatherum splendens* population

主成分 Principal component	成分 1 Component 1	成分 2 Component 2	成分 3 Component 3
土壤含水量 Soil water content	-0.185	-0.048	0.879
全盐 Total salt content	0.810	0.297	0.459
pH	-0.727	0.450	-0.067
有机碳 SOC	0.636	0.661	-0.016
全氮 TN	-0.547	0.766	-0.044
全磷 TP	0.315	0.929	0.029
碱解氮 AN	-0.020	-0.163	0.750
有效磷 AP	0.885	-0.249	-0.300
特征值 Eigenvalue	2.805	2.267	1.643
方差的百分比 Percentage of variance	35.058	28.337	20.540
累积贡献率 Contribution rate/%	35.058	63.395	83.935

注:各离子对应的数据表示在各主成分上的因子载荷。下同。

Note: The data that ions correspond to show the main components of the load factor. The same below.

3 结论与讨论

植物的营养构件(根、茎、叶)和繁殖构件(花、果、种)都具有一定的形态特征,各构件的性状特征反映的是植物所在生态系统的功能^[19]。该研究中,3 种禾草构件形态特征差异显著,体现出不同的表达特征,各物种在银川平原草甸生态系统中也发挥着

表 4 赖草种群土壤生境因子主成分分析

Table 4 Principal component analysis of soil habitat factor of *Leymus secalinus* population

主成分 Principal component	成分 1 Component 1	成分 2 Component 2	成分 3 Component 3	成分 4 Component 4
土壤含水量 Soil water content	-0.451	-0.012	0.760	0.390
全盐 Total salt content	0.592	-0.288	-0.419	0.496
pH	0.114	0.933	0.006	-0.241
有机碳 SOC	0.760	-0.319	0.129	-0.380
全氮 TN	0.570	-0.464	0.663	-0.018
全磷 TP	0.807	-0.024	-0.160	0.122
碱解氮 AN	0.688	0.599	0.322	-0.158
有效磷 AP	0.333	0.520	0.067	0.655
特征值 Eigenvalue	2.706	1.901	1.344	1.070
方差的百分比 Percentage of variance	33.829	23.760	16.796	13.374
累积贡献率 Contribution rate/%	33.829	57.589	74.385	87.760

表 5 拂子茅种群土壤生境因子主成分分析

Table 5 Principal component analysis of soil habitat factor of *Calamagrostis epigejos* population

主成分 Principal component	成分 1 Component 1	成分 2 Component 2	成分 3 Component 3
土壤含水量 Soil water content	0.244	0.074	0.932
全盐 Total salt content	0.806	-0.015	-0.371
pH	0.379	0.631	-0.107
有机碳 SOC	0.858	0.138	0.248
全氮 TN	0.792	0.147	-0.219
全磷 TP	0.358	-0.684	0.178
碱解氮 AN	0.827	-0.125	0.039
有效磷 AP	-0.158	0.837	0.140
特征值 Eigenvalue	3.054	1.629	1.181
方差的百分比 Percentage of variance	38.171	20.357	14.758
累积贡献率 Contribution rate/%	38.171	58.529	73.286

不同的生态功能。构件形态的差异很大程度上决定着植株的结构和功能,反映了植物的生存策略。生物量作为植物最基本的生物学特性和功能性状,是物质和能量累积的直观反映^[11]。构件生物量分配格局则是植物对其所在环境长期适应和自然选择的结果。3种禾草中,芨芨草的各构件生物量、地上生物量、总生物量、叶茎比均最大,与赖草、拂子茅差异显著。由于3种禾草的遗传特性、个体大小存在差异,直接影响了生物量指标,前人的研究也证实不同物种间生物量差异显著^[9,20]。此外,禾草生物量指标的差异还可能与芨芨草是密集丛生型禾草,而赖草、拂子茅是根茎型禾草有关。从生物量分配格局来看,3种禾草叶生物量配置比例相近,作为光合构件,为植物提供了营养物质,承担着合成有机物和存储能量的功能,因此资源配置稳定;同为无性系构件植物,无性繁殖是种群实现扩展和延续的主要手段。因此,3种禾草花序生物量配置比例小且差异不显著,其主要通过根茎营养繁殖或分蘖繁殖来实现种群繁衍;3种禾草的根茎生物量和茎秆生物量配置比例出

现了明显的“偏斜”,但又各有侧重。根茎作为营养构件,承担着吸收含水量和养分的功能,发达的根茎是3种禾草种群资源投资的重要对策,茎秆作为支撑构件,对整个植物种群的有序繁衍起到支配作用。总之,3种禾草之间生物量分配存在共性,但也存在差异。植物构件之间存在协同机制,共同调控着植物的生存、生长和繁殖^[21],使植物向着有利于种群持续生存和繁衍的方向发展。从这个意义上讲,不同植物种群构件形态间、构件生物量间的协同机制会影响到群落水平、生态系统水平物种之间的协调,对于探讨植物物种进化机制^[22]、物质循环和能量流动^[23]都具有重要价值。

3种禾草土壤生境既存在差异的特征因子,也有共性的特征因子,正是因为3种禾草生境的土壤特征因子存在差异,表现出不同的小生境,使得3种禾草常呈现为单优势种群落分布特点,在小尺度上表现为不同的群落斑块。共性土壤特征因子为全盐和土壤含水量,土壤全盐含量解释了银川平原草甸湿地多为盐碱湿地类型^[4,24],与缙倩倩等^[2]关于西北地区的蒸散发强烈,湿地多为盐碱化湿地的论述一致。土壤含水量的梯度递减规律则客观的反映了拂子茅-赖草-芨芨草种群在景观格局上的更替分布特点。作为禾本科植物,芨芨草、赖草、拂子茅具有耐旱、耐盐碱、耐践踏等共同特点,但其对土壤生境的适应能力也存在差异。因此,在银川平原盐碱草地植被恢复和灌溉沟渠边坡生态廊道建设中,应充分考虑土壤小生境的斑块特点和景观格局上的更替效应,有序推进草甸湿地生态系统的保护与恢复。

参考文献

- [1] 章光新. 水文情势与盐分变化对湿地植被的影响研究综述[J]. 生态学报, 2012(13): 4254-4260.
- [2] 缙倩倩, 屈建军, 王国华, 等. 中国干旱半干旱地区湿地研究进

展[J]. 干旱区研究, 2015(2):213-220.

[3] 赵永全,何彤慧,夏贵菊,等. 不同控水条件下芦苇生长与光合特征研究[J]. 西北林学院学报, 2015(1):69-74.

[4] 夏贵菊,何彤慧,于骥,等. 银川平原草甸湿地表层土盐分累积特征[J]. 农业工程学报, 2016(5):142-148.

[5] HARPER J L, White J. The demography of plants[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1974(5):419-463.

[6] 苏磊,杨浩,徐杰. 木本植物构件生态学研究概述[J]. 世界林业研究, 2014(2):17-22.

[7] 黎云祥,刘玉成,钟章成. 植物种群生态学中的构件理论[J]. 生态学杂志, 1995(6):35-41.

[8] 李金花,李镇清. 不同放牧强度下冷蒿、星毛委陵菜的形态可塑性及生物量分配格局[J]. 植物生态学报, 2002(4):435-440.

[9] 杨昊天,李新荣,刘立超,等. 荒漠草地 4 种灌木生物量分配特征[J]. 中国沙漠, 2013(5):1340-1348.

[10] 谢然,陶冶,常顺利. 四种一年生荒漠植物构件形态与生物量间的异速生长关系[J]. 生态学杂志, 2015(3):648-655.

[11] 陶冶,张元明. 准噶尔荒漠 6 种短命植物生物量分配与异速生长关系[J]. 草业学报, 2014(2):38-48.

[12] 韩忠明,韩梅,吴劲松,等. 不同生境下刺五加种群构件生物量结构与生长规律[J]. 应用生态学报, 2006(7):1164-1168.

[13] 陈劲松,苏智先. 缙云山马尾松种群生物量生殖配置研究[J]. 植物生态学报, 2001(6):704-708.

[14] 李有涵,谢昭良,解新明. 5 个象草品种的构件生物量特征及分配动态[J]. 草业学报, 2011(5):11-18.

[15] 易自成,黎俏文,高嘉乐,等. 皇竹草的分株构件及其生物量分配的相关性研究[J]. 生态科学, 2015(5):1-7.

[16] 陈哲,周华坤,赵新全,等. 三江源区不同建植期人工草地甘肃马先蒿生物量分配[J]. 西北植物学报, 2011(5):995-1002.

[17] 王桔红,陈文. 四种菊科植物开花期构件生物量及表型可塑性比较[J]. 生态学杂志, 2014(8):2031-2037.

[18] 周兵,闫小红,肖宜安,等. 不同生境下入侵植物胜红蓟种群构件生物量分配特性[J]. 生态学报, 2015(8):2602-2608.

[19] PÉREZ - HARGUINDEGUY N, DÍAZ S, GARNIER E. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide[J]. Australian Journal of Botany, 2013, 61:167-234.

[20] XU B C, XU W Z, HUANG J, et al. Biomass allocation, relative competitive ability and water use efficiency of two dominant species in semiarid Loess Plateau under water stress[J]. Plant Science, 2011(6):644-651.

[21] 王国勋,于顺利,方伟伟,等. 植物群落构件的协同性研究进展[J]. 生态学杂志, 2014(10):2824-2833.

[22] REICH P B, WRIGHT I J, CAVENDER - BARES J, et al. The evolution of plant functional variation: Traits, spectra, and strategies[J]. International Journal of Plant Sciences, 2003, 164:143-164.

[23] 郑绍伟,唐敏,邹俊辉,等. 灌木群落及生物量研究综述[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2007(3):189-192.

[24] 吴春燕,夏贵菊,何彤慧,等. 银川平原草甸湿地土壤盐分组成特征研究[J]. 北方园艺, 2016(13):168-172.

Study on Modular Characteristic and Soil Habitat of Three Gramineous Species in Meadow Wetland in Yinchuan Plain

QIAO Bin, HE Tonghui, WU Chunyan, SU Zhitun

(Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem, Ministry of Education/Breeding Base of State Key Laboratory for Preventing Land Degradation and Ecological Restoration, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: In arid background, meadow wetland is a special wetland in Yinchuan Plain, which is essential for healthy development of Ningxia Yellow River Irrigation Region. In the study area, *Achnatherum splendens*, *Leymus secalinus*, *Calamagrostis epigejos* were the common species in the meadow wetlands of Yinchuan Plain. In this study, morphological characteristic of modular, modular biomass and allocation patterns of modular biomass of three species were discussed, and soil habitat factor of three species were also analyzed by field sampling and laboratory analysis. The results showed that modular morphology and modular biomass of different species had significant differences ($P < 0.05$), in which the characteristic values of *Achnatherum splendens* population was one of the largest, *Leymus secalinus* and *Calamagrostis epigejos* followed. Allocation strategy of modular biomass in different species was not only common, but there were differences ($P < 0.05$). Biomass allocation model was based on achieving sustained survival and reproduction of the species as the ultimate goal. From habitat soil physical and chemical properties, the presence on the small scale was different, and thus different gramineous species were often dominated community profile. On the landscape pattern, the soil habitat was subject to salinization of Yinchuan Plain meadow wetland and soil moisture gradient differences. The study could provide a scientific basis for ditches ecological construction of Ningxia Yellow River Irrigation Region and saline grassland restoration.

Keywords: modular morphology; modular biomass; soil physicochemical property; meadow wetland

复羽叶栎树育苗基质配方的筛选

钟军弟,蔡进改,张 涛,刘晚苟,周宏彬,袁长春

(岭南师范学院 生命科学与技术学院,广东 湛江 524048)

摘 要:将玉米芯、甘蔗渣、椰子纤维和花生壳 4 种粤西地区资源丰富的农林废弃物分别与消毒鸡粪按 1:1 的比例进行混合发酵腐熟形成 4 种基质: S_A (玉米芯+鸡粪)、 S_B (甘蔗渣+鸡粪)、 S_C (椰子纤维+鸡粪)、 S_D (花生壳+鸡粪),以 4 种基质为研究对象,运用单形重心设计基质配方方法,根据有机基质:无机基质=2:1 的体积比例,将腐熟的 4 种基质按照不同体积比例和无机基质($V_{\text{蛭石}}:V_{\text{珍珠岩}}=1:1$)混合配制成 15 个栽培基质配方;并以砖红壤、砖红壤+复合肥、 $V_{\text{草炭}}:V_{\text{蛭石}}:V_{\text{珍珠岩}}=4:1:1$ 3 组为对照组,测定基质理化性质,比较分析不同基质配方下复羽叶栎树幼苗生长情况,研究了基质配方对复羽叶栎树幼苗的影响,以期筛选复羽叶栎树生长的最佳栽培基质配方。结果表明:处理 13 ($VS_A:VS_C:VS_D:V_{\text{蛭石}}:V_{\text{珍珠岩}}=1.33:1.33:1.33:1:1$)基质配比的各项物理性质指标均在复羽叶栎树适生范围内,化学性质指标均衡且较良好,试验的复羽叶栎树幼苗的株高、茎粗等各项形态特征和生物量指标也生长良好;其次较良好的基质配方还有处理 1 ($VS_A:V_{\text{蛭石}}:V_{\text{珍珠岩}}=4:1:1$)和处理 12 ($VS_A:VS_B:VS_D:V_{\text{蛭石}}:V_{\text{珍珠岩}}=1.33:1.33:1.33:1:1$),较差的基质配方有处理 14 ($VS_B:VS_C:VS_D:V_{\text{蛭石}}:V_{\text{珍珠岩}}=1.33:1.33:1.33:1:1$)和处理 15 ($VS_A:VS_B:VS_C:VS_D:V_{\text{蛭石}}:V_{\text{珍珠岩}}=1:1:1:1:1$);另外,处理 13 和其它试验基质配方的生产成本较低,均约为草炭成本的 1/3;研究结果显示,处理 13 基质配方为复羽叶栎树最佳基质配方,可作为替代不可再生资源草炭的有机栽培基质。

关键词:复羽叶栎树;基质配方;理化性质;生长指标

中图分类号:S 684 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)04-0083-07

国际无土栽培学会(ISOSC)指出,凡是不用天然土壤,使用或不使用基质,或用营养液灌溉植物的根系,或用其它施肥方式来种植作物的方法统称为无土栽培^[1-2]。有机基质栽培为无土栽培的一种简易栽培方式,其不仅解决长期使用化肥和农药,造成土壤板结、次生盐渍化、环境污染、土壤连作障碍等问

题出现^[3],还具成本低、技术简单、易于管理、产品品质好等优点^[4]。性能良好的基质可以单独使用,但多数的基质单一使用都存在着缺点,需与其它基质混配在一起,才会有较好的理化性质,为作物根系的生长创造良好的环境^[5]。因此,研制并筛选适宜植物生长的基质配方十分必要。

复羽叶栎树(*Koelreuteria bipinnata* Franch)属无患子科栎树属落叶乔木,又名灯笼树,产于云南、贵州、四川、湖北、海南、广西、广东等地^[6]。其喜光,喜温湿性气候,能耐干旱,为适应性强的树种,也为石灰岩地区的适生树种^[7]。复羽叶栎树树形优美,枝叶茂密而秀丽,极具观赏价值^[6]。还能抗污染、抗病菌,净化空气等,为理想的景观绿化树种,也为工业污染区的指示树种^[8-9]。另外,其根可入药,又可作黄色染料^[6]。

有关有机质配方方面研究已有较多报道^[10-12],但以粤西地区较为常见、易得的农林废弃物如甘蔗

第一作者简介:钟军弟(1980-),男,广东遂溪人,硕士,实验师,现主要从事植物学与植物生态学等研究工作。E-mail:jundidi2001@163.com.

责任作者:袁长春(1964-),男,博士,教授,研究方向为植物分子生物学。E-mail:yuanchangchun@163.com.

基金项目:国家科技部星火计划资助项目(2013GA780090);岭南师范学院校级培育资助项目(YL1502);岭南师范学院协同创新中心资助项目(CIL1503);广东省自然科学基金资助项目(2016A030307016)。

收稿日期:2016-09-27

渣、椰子纤维、花生壳和玉米芯等为材料,作为基质配方的筛选研究尚鲜见报道。因此,该试验立足于粤西地区的农业生物质资源和利用基础,以添加鸡粪发酵腐熟的甘蔗渣、椰子纤维、花生壳和玉米芯等为材料,按不同体积比配以珍珠岩和蛭石等无机基质,配制成栽培基质,研究不同基质配方对复羽叶栎树育苗的生长发育影响,筛选出适宜的基质配方,旨在为当地及石灰岩地区复羽叶栎树的有机基质栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试基质材料为玉米芯、甘蔗渣、椰子纤维、花生壳等农业生产废弃物,均采集或购于湛江市赤坎区周边地区,粉碎后以 1:1 的体积比例分别添加消毒的鸡粪进行 4 个月发酵腐熟成有机基质。鸡粪购自湛江市麻章区境内的养鸡场。草炭、珍珠岩和蛭石购自湛江市赤坎区境内的花卉市场。砖红壤采自岭南师范学院生物园内的表层土(0~20 cm)。供试硫酸钾复合肥由湖北鄂中化工有限公司生产(N:P₂O₅:K₂O 为 15:15:15)。供试材料为复羽叶栎树幼苗。

1.2 试验方法

试验于 2014 年 4 月至 2015 年 4 月于岭南师范学院生物园的塑料大棚内进行。根据单形重心设计基质配方方法^[13],以有机基质:无机基质=2:1 的体积比例,将与鸡粪混合腐熟的 4 种有机基质按照不同体积比例和无机基质(V 蛭石:V 珍珠岩=1:1)混合配制成 15 个栽培基质配方,以雷州地区较为普遍的砖红壤为对照组 CK1,砖红壤+复合肥为对照组 CK2,常规有机生态型栽培基质(V 草炭:V 蛭石:V 珍珠岩=4:1:1)为对照组 CK3,具体见表 1。

试验采用盆式(31.0 cm×18.5 cm×26.0 cm)栽培,每处理 3 次重复。随机区组排列,试验小区长 4 m、宽 1.2 m,共 6 个小区。于 2015 年 2 月播种复羽叶栎树种子,并于 2015 年 8 月取长势约一致的复羽叶栎树幼苗(茎粗(3.5±0.3) mm,株高(16.1±0.3) cm)进行定植,每盆栽 1 株,定植时浇透水,定植后 10 d 视植株的生长情况和天气浇水。对照组 CK2 的复羽叶栎树定植生长 10 d 后每隔 15 d 追施复合肥 1 次,每次每盆施肥 3 g。在复羽叶栎树生长期间,各处理统一进行除草、杀虫、浇灌等常规管理。

表 1 供试基质配方(体积比)

Table 1 The substrate formula for test (by volume)

处理 Treatment	基质配方 Substrate formula
T1	S _A :蛭石(vermiculite):珍珠岩(perlite)=4:1:1
T2	S _B :蛭石:珍珠岩=4:1:1
T3	S _C :蛭石:珍珠岩=4:1:1
T4	S _D :蛭石:珍珠岩=4:1:1
T5	S _A :S _B :蛭石:珍珠岩=2:2:1:1
T6	S _A :S _C :蛭石:珍珠岩=2:2:1:1
T7	S _A :S _D :蛭石:珍珠岩=2:2:1:1
T8	S _B :S _C :蛭石:珍珠岩=2:2:1:1
T9	S _B :S _D :蛭石:珍珠岩=2:2:1:1
T10	S _C :S _D :蛭石:珍珠岩=2:2:1:1
T11	S _A :S _B :S _C :蛭石:珍珠岩=1.33:1.33:1.33:1:1
T12	S _A :S _B :S _D :蛭石:珍珠岩=1.33:1.33:1.33:1:1
T13	S _A :S _C :S _D :蛭石:珍珠岩=1.33:1.33:1.33:1:1
T14	S _B :S _C :S _D :蛭石:珍珠岩=1.33:1.33:1.33:1:1
T15	S _A :S _B :S _C :S _D :蛭石:珍珠岩=1:1:1:1:1:1
CK1	砖红壤(latosol)
CK2	砖红壤(latosol)+复合肥(compound fertilizer)
CK3	草炭(peat):蛭石:珍珠岩=4:1:1

注:S_A:基质 A(玉米芯+鸡粪),S_B:基质 B(甘蔗渣+鸡粪),S_C:基质 C(椰子纤维+鸡粪),S_D:基质 D(花生壳+鸡粪)。

Note:S_A:Substrate A(corn cob+chicken manure),S_B:Substrate B(bagasse+chicken manure),S_C:Substrate C(coconut fibre+chicken manure),S_D:Substrate D(peanut shells+chicken manure).

1.3 项目测定

1.3.1 基质理化性质的测定 在复羽叶栎树幼苗栽培前测定各处理样品理化性质^[14]:基质的容重采用环刀法测定,通气孔隙度、持水孔隙度和总孔隙度采用饱和浸提法测定,大小孔隙度=通气孔隙度/持水孔隙度。土壤电导率 EC 值用电导仪(DDS-307A)测定,土壤 pH 采用 pH 计(pH-3C)测定,土壤有机质含量测定采用重铬酸钾氧化—硫酸亚铁还原滴定法,速效氮含量测定采用碱解—扩散吸收法,速效磷含量测定采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法,速效钾含量测定采用乙酸铵提取—火焰光度法。

1.3.2 幼苗生长指标测定 复羽叶栎树幼苗移栽基质种植 6 个月后,于 2015 年 4 月测定茎粗、株高、叶轴长、叶片数、小裂叶片面积等形态指标和生物量。采用游标卡尺测量每株的地径粗,直尺自地面至顶芽处测量每株幼苗的株高,记录每株的叶片数,并随机选取每株幼苗的 5 片叶子测量其叶轴长,随机摘取每株幼苗 10 片小裂叶片带回实验室,用激光扫描仪扫描叶轮廓,用 Arcviw 3.2 软件计算小裂叶片面积。挖掘各植株(挖掘时保证复羽叶栎树根的完整性),去泥,分置根、茎、叶各构件部分,称重,并带回实验室置于烘箱内 105 ℃杀青 30 min,70 ℃烘干至恒重,测量各构件的生物量。

1.4 数据分析

采用 SPSS 统计软件对试验数据进行 One-way ANOVA 方差分析和 LSD 多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同基质配方理化性质的比较

基质的理化性质是衡量基质品质的重要指标^[15],直接影响植物的生长发育^[16]。植物适宜生长的基质容重为 $0.10\sim 0.80\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ^[15,17],总孔隙度为 $60\%\sim 90\%$ ^[4],气、水大小孔隙度比适宜范围为 $1:(1.500\sim 4.000)$ ^[18-19]。由表 2 可知,容重为 $0.35\sim 0.47\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,总孔隙度为 $59.8\%\sim 78.3\%$,气、水大小孔隙度比范围为 $1:(1.542\sim 1.747)$,均在适宜或安全范围内。砖红壤对照组 CK1 和 CK2 的容重分别为 $1.27\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 和 $1.28\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、总孔隙度分别为 30.3% 和 30.7% 、大小孔隙比分别为 $1:6.047$ 和 $1:5.822$,均远大于或者小于植物生长适宜范围。可见配制的 15 种栽培基质和对照组 CK3 草炭基质的容重、总孔隙度、大小孔隙比均为植物适宜生长的基质。

表 2 不同配方基质的物理性质

Table 2 The physical properties of different substrate formula

处理 Treatment	容重 Bulk density /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	通气孔隙度 Air porosity /%	持水孔隙度 Water porosity /%	总孔隙度 Total porosity/%	大小孔隙比 Ratio of air to water space
T1	0.45	26.1	44.3	70.4	1:1.697
T2	0.44	25.5	45.2	70.7	1:1.773
T3	0.35	27.5	47.2	74.7	1:1.716
T4	0.40	21.2	39.1	60.3	1:1.844
T5	0.47	23.7	44.4	68.1	1:1.873
T6	0.39	22.1	38.6	60.7	1:1.747
T7	0.44	30.8	47.5	78.3	1:1.542
T8	0.38	22.3	37.5	59.8	1:1.682
T9	0.45	24.4	38.2	62.6	1:1.566
T10	0.37	26.7	47.0	73.7	1:1.760
T11	0.42	23.5	44.3	67.8	1:1.885
T12	0.41	24.9	46.6	71.5	1:1.871
T13	0.41	22.4	38.8	61.2	1:1.732
T14	0.45	26.5	43.2	69.7	1:1.630
T15	0.41	29.2	47.1	76.3	1:1.613
CK1	1.27	4.3	26.0	30.3	1:6.047
CK2	1.28	4.5	26.2	30.7	1:5.822
CK3	0.38	23.5	45.8	69.3	1:1.949

植物的 EC 值安全范围 $<2.60\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ^[20],适宜生长范围为 $0.75\sim 1.50\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ^[21-22]。由表 3 可知,该试验测定的 EC 值为 $0.78\sim 1.33\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$,均在适宜范围内。而 CK1 和 CK2 的 EC 值分别为

$(10.78\pm 0.07)\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 和 $(10.84\pm 0.09)\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$,均远大于植物生长适宜范围。可见,配制的 15 种栽培基质和对照组 CK3 草炭基质的 EC 值均为植物适宜生长的基质。

复羽叶栎树适宜生长的 pH 范围值为 $6.0\sim 7.8$ ^[23]。该试验测定的各配方基质的 pH 范围为 $7.10\sim 7.77$,均在复羽叶栎树生长的适宜范围内。而 CK1 和 CK2 的 pH 分别为 6.90 ± 0.04 和 6.86 ± 0.07 ,也在复羽叶栎树的适宜生长范围内。

各配方基质中有机质、氮、磷、钾速效养分含量有较大差异。处理 13 基质的有机质含量 $(27.59\pm 2.60)\%$ 和速效氮含量 $(1239.6\pm 40.6)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 最高,显著高于其它各配方基质,但与 CK3 无显著差异,其次较高的有处理 1、10 和 12,较低的有处理 6、7、14 和 15。CK1 和 CK2 的有机质分别为 $(5.50\pm 0.45)\%$ 和 $(5.83\pm 0.27)\%$,远低于其它各配方基质,CK1 的速效氮含量为 $(72.5\pm 9.8)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,显著低于其它各配方基质及 CK2 $(96.5\pm 10.3)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。处理 4 基质的速效钾含量最高,为 $(12682.2\pm 92.3)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,与处理 1 和 CK3 无显著差异,但显著高于其它各配方基质;其次较高的有处理 2、9 和 13,较低的有处理 6、11、15 和 CK2,最低的是 CK1,为 $(80.5\pm 14.6)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,显著低于其它各配方基质。处理 5 基质的速效磷含量最高,为 $(1518.7\pm 50.2)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,显著高于其它各配方基质;其次较高的有处理 6、12 和 13,较低的有处理 8、10、CK3 和 CK2,最低的是 CK1,为 $(3.7\pm 0.4)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,显著低于其它各配方基质。综合可见,处理 13 基质的各项化学指标含量较为优良和均衡,为最佳基质配方。

2.2 不同基质对比对复羽叶栎树形态特征的影响

由表 4 可知,处理 13 的茎粗、叶轴长、叶片数和小裂叶片面积等形态指标均为最佳,与其它处理均呈显著差异,分别为 $(11.81\pm 0.43)\text{ mm}$ 、 $(35.84\pm 0.29)\text{ cm}$ 、 (22 ± 1) 片、 $(25.93\pm 0.12)\text{ cm}^2$,其次较好的还有处理 1、12 和对照组 CK3,较差的有处理 14、15 和对照组 CK2,最差的为 CK1 其值分别为 $(4.51\pm 0.37)\text{ mm}$ 、 $(13.42\pm 0.16)\text{ cm}$ 、 (11 ± 1) 片、 $(3.48\pm 0.27)\text{ cm}^2$ 。处理 13 的株高也是最高,为 $(49.27\pm 1.76)\text{ cm}$,与对照组 CK3 和处理 1、5 无显著差异,但显著高于其它配方基质,其次较高的有基质处理 9、10 和 12,较低的有基质处理 14、15 和对照组 CK2,最低的是对照组 CK1,为 $(20.90\pm 0.61)\text{ cm}$,显著低于其它各配方基质。以上可见,处理 13 基质的复羽叶栎树各方面生长形态较好,为最佳基质配比。

表 3 不同配方基质的化学性质

Table 3 The chemical properties of different substrate formula

处理 Treatment	EC 值 EC value /(mS·cm ⁻¹)	pH	有机质含量 Organic matter content /%	速效氮含量 Available N content /(mg·kg ⁻¹)	速效钾含量 Available K content /(mg·kg ⁻¹)	速效磷含量 Available P content /(mg·kg ⁻¹)
T1	1.12±0.04e	7.13±0.05h	24.33±2.00bc	1 183.0±27.3b	12 679.3±95.7a	892.0±9.7f
T2	0.87±0.03i	7.68±0.04b	18.65±1.90f	873.8±16.3f	10 723.0±60.7c	668.4±10.9i
T3	0.78±0.04	7.58±0.03ce	16.12±2.46g	797.5±36.3g	8 782.6±64.5f	716.6±35.9h
T4	1.33±0.03d	7.22±0.05g	20.10±0.68ef	972.7±42.5d	12 682.2±92.3a	672.9±32.4i
T5	0.91±0.04g	7.60±0.02c	18.69±1.56f	883.2±29.4ef	8 698.0±97.5g	1 518.7±50.2a
T6	0.90±0.04gh	7.64±0.05bc	13.47±0.85i	765.8±53.1gh	6 675.4±77.4i	1 140.5±20.8c
T7	0.98±0.05f	7.76±0.03a	14.56±0.78h	777.4±27.8g	9 086.4±87.6f	878.2±20.8fg
T8	0.88±0.03h	7.61±0.04c	22.46±0.77d	999.5±13.7d	7 869.8±65.8g	630.9±45.6i
T9	1.05±0.03ef	7.56±0.03e	23.53±0.43c	997.5±17.3d	11 261.1±89.5b	986.0±42.5e
T10	1.02±0.04ef	7.43±0.02f	25.05±1.34b	1 050.8±25.1c	9 465.1±52.4e	569.3±37.8j
T11	0.91±0.05gh	7.54±0.04e	20.59±1.15e	905.5±34.6e	7 325.5±78.6h	1 054.1±16.9d
T12	0.97±0.02fg	7.10±0.03h	23.62±0.84c	1 038.1±30.2c	7 836.6±59.4g	1 119.2±30.6c
T13	1.00±0.05f	7.12±0.02h	27.59±2.60a	1 239.6±40.6a	11 241.4±50.7b	1 236.6±30.4b
T14	0.98±0.05f	7.53±0.04e	13.45±0.67i	746.3±25.7h	9 662.8±72.3d	748.6±25.8h
T15	0.95±0.04g	7.77±0.03a	15.41±1.75g	785.6±31.9g	7 751.3±92.7h	868.2±15.6g
CK1	10.78±0.07a	6.90±0.04i	5.50±0.45j	72.5±9.8j	80.5±14.6k	3.7±0.4m
CK2	10.84±0.09a	6.86±0.07i	5.83±0.27j	96.5±10.3i	100.5±8.4j	35.2±0.6l
CK3	1.69±0.05c	6.27±0.04j	26.88±1.98a	1 236.5±11.5a	12 638.2±75.6a	308.3±7.8k

注:表中数据为平均数±标准误;同一列内不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,以下同。

Note: Each value in the table represents mean±standard error; in the same column, different lowercase letters indicate distinct difference at the level of $\alpha=0.05$, the same as below.

表 4 不同基质配比处理对复羽叶栎树幼苗形态特征的影响

Table 4 Effect of different substrate formula on morphological characteristics of *Koelreuteria bipinnata* seedling

处理 Treatment	茎粗 Stem diameter/mm	株高 Plant height/cm	叶轴长 Rachis length/cm	叶片数 Leaf number/片	小裂叶片面积 Crack blade area/cm ²
T1	9.91±1.26bc	49.07±0.25a	32.02±0.80c	20±1b	19.90±0.15c
T2	8.41±0.65cd	43.53±0.35c	28.76±0.56e	18±1c	12.80±0.17f
T3	7.57±0.81de	41.20±0.53d	26.37±0.49fg	19±1bc	13.90±0.42d
T4	8.68±0.65cd	37.47±0.70e	26.71±0.52fg	18±1c	9.98±0.07h
T5	6.69±0.16e	49.00±0.32a	26.31±0.77fg	19±1bc	9.05±0.15i
T6	8.69±0.43cd	36.47±0.75e	29.12±0.41e	19±1bc	13.42±0.81e
T7	7.77±0.24d	41.73±0.68d	28.20±0.75ef	17±1cd	14.32±0.06d
T8	7.73±0.39d	40.53±0.50d	24.14±0.81h	19±1bc	7.79±0.39k
T9	8.41±0.34cd	43.17±0.62c	29.88±0.35de	19±1bc	13.01±0.28ef
T10	8.98±0.23c	47.23±0.31b	25.51±0.49g	19±1bc	9.93±0.19h
T11	7.48±0.47de	40.30±0.05d	24.87±0.20gh	19±1bc	9.76±0.25h
T12	9.18±0.26c	43.90±0.50c	30.38±0.47d	20±1b	12.05±0.35g
T13	11.81±0.43a	49.27±0.76a	35.84±0.29a	22±1a	25.93±0.12a
T14	8.54±0.22cd	31.40±0.61g	25.31±0.87gh	16±1d	9.00±0.25i
T15	6.78±0.39e	37.02±0.70e	23.68±0.28h	15±1de	11.82±0.16g
CK1	4.51±0.37g	20.90±0.61h	13.42±0.16i	11±1f	3.48±0.27m
CK2	5.48±0.62f	34.93±0.51f	27.12±0.43f	14±1e	8.36±0.57j
CK3	10.17±0.61b	49.23±0.31a	34.51±0.72b	20±1b	20.82±0.14l

2.3 不同基质对比对复羽叶栎树幼苗生物量的影响

由表 5 可以看出,处理 13 的各个指标生物量均最佳,地上生物量(22.54±0.78)g,地下生物量(14.30±0.57)g,总生物量(36.84±0.73)g,与其它处理间差异显著,茎生物量为(10.34±0.78)g,与处

理 1 和 CK3 无显著差异。可见,处理 13 为无土轻基质栽培栎树幼苗的最佳配比。从各生物量综合情况来看,复羽叶栎树幼苗生长状况较好的还有处理 1 和对照组 CK3,较差的是处理 7、11、14、15 和对照组 CK2,最差的为 CK1,仅有(4.03±0.02)g。从根冠比来看,所有处理的根冠比均小于 1,但 CK1 的值较接

近 1, 为 0.82 ± 0.03 , 说明对照组的砖红壤不利于复羽叶栎树的生长, 复羽叶栎树为适应恶劣的土质环境, 增加根系资源的分配, 尽可能的获取更多的外界

资源。其余处理的根冠比均在 0.67 以下, 说明复羽叶栎树的生长较好, 复羽叶栎树各部分的资源分配较为均衡。

表 5 不同轻基质配方处理对复羽叶栎树生物量的影响

Table 5 Effect of different media formula on physiological characteristics of biomass of *Koelreuteria bipinnata*

处理	根生物量	茎生物量	叶生物量	地上生物量	地下生物量	总生物量	根冠比
Treatment	Root dry weight/g	Stem dry weight/g	Leaf dry weight/g	Shoot dry weight/g	Root dry weight/g	Whole plant dry weight/g	Root-shoot ratio
T1	$10.98 \pm 0.43c$	$10.09 \pm 0.24a$	$9.62 \pm 0.75c$	$19.71 \pm 0.52c$	$10.98 \pm 0.43c$	$30.7 \pm 0.50c$	$0.56 \pm 0.03cd$
T2	$10.26 \pm 0.14cd$	$8.46 \pm 0.41c$	$8.46 \pm 0.79d$	$16.92 \pm 0.47e$	$10.26 \pm 0.14cd$	$27.17 \pm 0.48d$	$0.61 \pm 0.02bc$
T3	$9.03 \pm 0.45e$	$6.68 \pm 0.28de$	$7.22 \pm 0.50e$	$13.90 \pm 0.78g$	$9.03 \pm 0.45e$	$22.93 \pm 0.83ef$	$0.65 \pm 0.05b$
T4	$6.88 \pm 0.44g$	$6.54 \pm 0.36e$	$10.74 \pm 0.08bc$	$17.28 \pm 0.42de$	$6.88 \pm 0.44g$	$24.16 \pm 0.74e$	$0.40 \pm 0.02e$
T5	$7.63 \pm 0.23fg$	$6.47 \pm 0.16e$	$8.49 \pm 0.14d$	$14.96 \pm 0.29fg$	$7.63 \pm 0.23fg$	$22.59 \pm 0.15f$	$0.51 \pm 0.02d$
T6	$7.20 \pm 0.75g$	$7.27 \pm 0.21d$	$8.55 \pm 0.54d$	$15.83 \pm 0.75f$	$7.20 \pm 0.75g$	$23.03 \pm 0.16ef$	$0.46 \pm 0.07d$
T7	$8.08 \pm 0.14f$	$4.62 \pm 0.52f$	$7.55 \pm 0.16e$	$12.17 \pm 0.49h$	$8.08 \pm 0.14f$	$20.25 \pm 0.63g$	$0.66 \pm 0.02b$
T8	$7.02 \pm 0.60g$	$7.28 \pm 0.99d$	$7.09 \pm 0.57ef$	$14.37 \pm 0.84g$	$7.02 \pm 0.60g$	$21.39 \pm 0.11fg$	$0.49 \pm 0.05d$
T9	$10.04 \pm 0.49d$	$5.96 \pm 0.25e$	$10.58 \pm 0.18bc$	$16.54 \pm 0.43ef$	$10.04 \pm 0.49d$	$26.58 \pm 0.90d$	$0.61 \pm 0.02bc$
T10	$9.00 \pm 0.42e$	$9.33 \pm 0.51b$	$8.22 \pm 0.73de$	$17.55 \pm 0.28de$	$9.00 \pm 0.42e$	$26.56 \pm 0.58d$	$0.51 \pm 0.02d$
T11	$8.05 \pm 0.30f$	$6.19 \pm 0.21e$	$6.41 \pm 0.29f$	$12.60 \pm 0.32h$	$8.05 \pm 0.30f$	$20.66 \pm 0.6g$	$0.64 \pm 0.01bc$
T12	$8.42 \pm 0.18ef$	$8.09 \pm 0.49c$	$10.19 \pm 0.22c$	$18.29 \pm 0.71d$	$8.42 \pm 0.18ef$	$26.71 \pm 0.59d$	$0.46 \pm 0.03d$
T13	$14.30 \pm 0.57a$	$10.34 \pm 0.78a$	$12.21 \pm 0.25a$	$22.54 \pm 0.78a$	$14.30 \pm 0.57a$	$36.84 \pm 0.73a$	$0.63 \pm 0.04bc$
T14	$7.21 \pm 0.64g$	$6.18 \pm 0.44e$	$6.03 \pm 0.41f$	$12.22 \pm 0.83h$	$7.21 \pm 0.64g$	$19.42 \pm 0.87g$	$0.59 \pm 0.05c$
T15	$6.03 \pm 0.19h$	$5.03 \pm 0.28f$	$5.29 \pm 0.15g$	$10.32 \pm 0.39i$	$6.03 \pm 0.19h$	$16.34 \pm 0.57h$	$0.58 \pm 0.01c$
CK1	$1.82 \pm 0.01j$	$1.14 \pm 0.01h$	$1.07 \pm 0.02i$	$2.21 \pm 0.02k$	$1.82 \pm 0.01j$	$4.03 \pm 0.02j$	$0.82 \pm 0.03a$
CK2	$2.56 \pm 0.51i$	$2.55 \pm 0.15g$	$3.76 \pm 0.44h$	$6.31 \pm 0.44j$	$2.56 \pm 0.51i$	$8.87 \pm 0.90i$	$0.40 \pm 0.06e$
CK3	$11.94 \pm 0.18b$	$9.93 \pm 0.48ab$	$11.21 \pm 0.04b$	$21.13 \pm 0.51b$	$11.94 \pm 0.18b$	$33.08 \pm 0.38b$	$0.57 \pm 0.02cd$

2.4 不同基质配比成本估算

由表 6 可知, 对照组草炭土的成本 ($450 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$) 最高, 约为其它试验基质成本的 3 倍。各试验基质

配比之间生产成本差异不大, 除了运输和粉碎的机械与人工等投入外, 其本身的成本较低, 因此, 较为适合推广作为无土栽培的固体基质。

表 6 不同基质配方成本估算

Table 6 The cost estimate in different substrates

处理 Treatment	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	CK3
基质成本 Substrates cost/(元 $\cdot \text{m}^{-3}$)	154	158	156	158	156	155	157	158	157	157	156	157	156	157	157	450

3 结论与讨论

在无土育苗过程中, 基质是幼苗培育的基础条件, 基质特性决定了对幼苗水分和营养的供给状况, 影响着幼苗的生长发育, 是决定幼苗质量的关键因素^[24-25]。该试验测定的 15 种基质配方物理性质均在复羽叶栎树生长适宜范围内, 各个基质配方的化学性质及各形态特征和生物量生长指标均优于对照组 CK1 砖红壤。CK2 砖红壤+复合肥通过追施复合肥在一定程度上可以改良土壤性质, 促进植物某些形态指标的生长, 但其并未按相应的比例积累植物各个构件生物量及总生物量。该试验的复羽叶栎树幼苗株高 (34.93 ± 0.51) cm 和叶轴长 (27.12 ± 0.43) cm 等形态指标较某些基质配方的高或长, 但其各构件生物量及总生物量均不及各基质配方。可见, 土培追施复合肥法虽然在一定程度上促进植物某些形态指标的生长, 但其并未按相应的比例积累

植物的生物量。说明, 有机基质栽培植物效果远优于土培法, 作物有机基质栽培方式的推广及发展势在必行。

优良的育苗基质应具有合理的理化性质和稳定的生物学特性^[26], 可为苗木生长发育提供均衡且充足的养分和水分^[25]。该试验处理 13 基质配方 ($VS_A : VS_C : VS_D : V_{\text{蛭石}} : V_{\text{珍珠岩}} = 1.33 : 1.33 : 1.33 : 1 : 1$) 的各项物理性质指标均在复羽叶栎树适生范围内; 处理 13 基质的有机质和速效氮含量最高, 显著高于其它各配方基质, 但与 CK3 无显著差异; 处理 13 基质的速效磷含量较高, 仅次于处理基质 5; 处理 13 基质的速效钾含量也相对较高, 次于处理 1 基质和 CK3, 与处理 9 无显著差异, 但显著高于其它各配方基质; 处理 13 基质的茎粗、叶片数、叶轴长和小裂叶片面积等形态指标及地上、地下生物量、总生物量均为最佳, 与其它处理均呈显著差异; 处理 13 基质的株高和茎的生物量也是最高, 与对照

组 CK3 和处理 1 无显著差异,但显著高于其它配方基质;处理 13 基质的根冠比为 0.63,小于 1,复羽叶栎树各部分的资源分配较为均衡。从基质成本来看,处理 13 基质配方的生产成本较低,为 $156 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$,约为草炭的 1/3。综上可知,处理 13 基质配方的物理性质合理,化学性质均衡且良好,试验的复羽叶栎树幼苗生长指标良好,生产的成本也较低,为该试验的最佳基质配方,可作为栽培复羽叶栎树的最佳有机栽培基质。另外,处理 1 基质的速效磷含量 $(892.0 \pm 9.7) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和处理 12 基质的速效钾含量 $(7\ 836.6 \pm 59.4) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 虽然相对较低,但二者其余各项理化指标、形态特征和生物量指标均较高或适宜。说明处理 1 和处理 12 基质配方的栽培效果也较良好。处理 14 和 15 基质的各项指标相对较低,栽培效果较差,应尽量弃用。研究结果只反映复羽叶栎树的栽培配方筛选方面上,是否适用于其它植物的配方栽培有待进一步研究。

参考文献

- [1] 尹秀丽,张喜春,范双喜,等.设施番茄无土栽培矿质元素养分变化动态[J].农业环境科学学报,2010,29(增刊):36-42.
- [2] 万红,陶磅,孔令明.草莓有机生态型盆栽基质研究[J].北方园艺,2014(8):149-152.
- [3] 刘建华,肖光辉,李青峰.蔬菜有机生态型无土栽培研究进展[J].湖南农业科学,2012(19):52-55,62.
- [4] 徐文俊,程智慧,孟焕文,等.农业废弃物有机基质配方对番茄生长及产量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(4):127-133.
- [5] 刘艳伟,吴景贵.有机栽培基质的研究现状与展望[J].北方园艺,2011(10):172-176.
- [6] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志:第 47 卷第 1 分册[M].北京:科学出版社,1985.
- [7] 蔡喜悦,陈晓德,刘成,等.外源钙对于旱胁迫下复羽叶栎树幼苗水分及光合特性的影响[J].北方园艺,2013(10):58-62.
- [8] 中国科学院植物研究所.中国高等植物图鉴[M].4 版.北京:科学出版社,2002.
- [9] 国家药典委员会.中华人民共和国药典[M].北京:化工出版

社,2005.

- [10] 邓华平,杨桂娟.不同基质配方对金叶榆容器苗质量的影响[J].林业科学研究,2010,23(1):138-142.
- [11] CABALLERO R, PAJUELO P, ORDOVAS J, et al. Evaluation and correction of nutrient availability to *Gerbera Jamesonii* H. Bolus in various compost-based growing media[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 122:244-250.
- [12] 欧建德,吴志庄.南方红豆杉盆栽轻型基质配方优化[J].东北林业大学学报,2015,43(9):52-55,89.
- [13] 王玉杰.单形格子和单形重心设计统计模型的优化分析方法[J].生物数学学报,1998,13(1):124-128.
- [14] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [15] 贾荣,程智慧,徐文俊,等.辣椒穴盘育苗有机基质配方的筛选[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(7):136-140.
- [16] 吴志行,凌丽娟,张义平.蔬菜无土育苗基质选用理论与技术的研究[J].农业工程学报,1988(3):21-25.
- [17] De BOODT M, VERDONCK O. The physical properties of the substrates in hort[J]. Acta Horticulturae, 1972(26):37-44.
- [18] 杨梅,刘建辉,李世栋,等.基质配方和施肥量对厚皮甜瓜幼苗生长及生理特性的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(7):169-173.
- [19] 李天林,沈兵,李红霞.无土栽培中基质培料的参考因素与发展趋势(综述)[J].石河子大学学报(自然科学版),1999,3(3):250-255.
- [20] 程斐,孙朝晖,赵玉国,等.芦苇末有机栽培基质的基本理化性能分析[J].南京农业大学学报,2001,24(3):19-22.
- [21] 龚小强,孙向阳,张璐,等.复合型有机改良剂对园林废弃物堆肥基质改良研究[J].西北林学院学报,2013,28(2):196-201.
- [22] 国家环境保护总局.土壤环境质量标准:GB15618-1995[S].北京:中国标准出版社,1995.
- [23] 雷宏儒,梁学云,张安刚,等.四川盆地丘陵区桉树经营技术探讨[J].四川林勘设计,2015(2):94-96.
- [24] 吴君,吴冬,楼雄珍.不同基质配比及复合肥处理对 3 年生楠木容器苗生长的影响[J].西部林业科学,2015,44(1):109-120.
- [25] 秦爱丽,郭泉水,简尊吉,等.不同育苗基质对圃地崖柏出苗率和苗木生长的影响[J].林业科学,2015,51(9):9-17.
- [26] 李婧,郁继华,颜建明,等.不同配比基质对番茄穴盘苗品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(11):165-171.

Screening of Substrate Formula for Seedling of *Koelreuteria bipinnata*

ZHONG Jundi, CAI Jingai, ZHANG Tao, LIU Wangou, ZHOU Hongbin, YUAN Changchun

(School of Life Science and Technology, Lingnan Normal University, Guangdong, Zhanjiang 524048)

Abstract: Taking four mixed-substrates: S_A (corn-cob + chicken manure), S_B (bagasse + chicken manure), S_C (coconut fibre + chicken manure), S_D (peanut shells + chicken manure) as test material, fermented by agriculture-forestry organic wastes rich in western part of Guangdong such as corn cob, bagasse, coconut fibre, peanut shells with disinfected chicken manure at the ratio of 1 : 1, and applying the statistical method of Simplex Centre and according to the volume ratio = 2 : 1 of organic and inorganic matrix, 15 treatments were mixed by different

宿根福禄考幼苗对盐胁迫的生理响应

姜云天¹, 李玉梅², 张秋菊¹, 孙忠林¹

(1. 通化师范学院 生命科学学院, 吉林 通化 134002; 2. 吉林师范大学 生态环境研究所, 吉林 四平 136000)

摘要:以盆栽宿根福禄考幼苗为试材,研究了不同浓度的 NaCl 胁迫处理对其叶片丙二醛、可溶性糖、可溶性蛋白质和游离脯氨酸含量的影响,以探讨宿根福禄考幼苗对盐胁迫的生理适应特性。结果表明:在低于 $120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫处理下,宿根福禄考幼苗丙二醛含量增加幅度并不大;当胁迫浓度超过 $120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,其含量骤然增加;随着 NaCl 胁迫浓度的升高,可溶性糖、游离脯氨酸、可溶性蛋白质含量均呈“先升高后下降”的趋势;可溶性糖和游离脯氨酸二者同步积累,共同发挥其渗透调节功能。

关键词:宿根福禄考; NaCl 胁迫; 丙二醛(MDA); 渗透调节

中图分类号:S 682.1⁺9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)04-0089-05

土壤是植物赖以生存的物质基础,而土壤中的盐分则是植物生长所必需的营养元素。适量的盐分

第一作者简介:姜云天(1975-),男,硕士,讲师,现主要从事园艺植物逆境生理等研究工作。E-mail:wwwjyt@126.com.

责任作者:李玉梅(1976-),女,博士,副研究员,现主要从事植物逆境生理与生态等研究工作。E-mail:mmmlym@126.com.

基金项目:通化师范学院自然科学基金资助项目(201248);吉林省大学生创新创业训练计划资助项目(thsyl135);吉林省科技计划资助项目(20141705)。

收稿日期:2016-09-29

促进植物的生长,一旦土壤中的盐分积累过量则会对植物的生长发育造成水分亏缺^[1]、离子毒害^[2-3]、营养失衡^[4]和氧化胁迫^[5-6]等系列伤害,最终导致植物生理代谢功能紊乱^[7]、生长受到抑制^[8-9],甚至植株死亡。因此,研究植被对盐碱胁迫的生理响应特征,明确其耐盐碱机理,对今后合理开发及利用盐碱地及园林绿化植被的选择具有重要意义。

宿根福禄考(*Phlox paniculata* L.)属花忍科福禄考属多年生宿根草本植物,又名天蓝绣球、锥花福禄考,原产北美洲。由于其花期长、花色艳丽,耐寒

proportions with inorganic medium composed of vermiculite and perlite at the volume ratio of 1 : 1. Taking latosol, latosol plus compound fertilizer and V(peat) : V(vermiculite) : V(perlite) = 4 : 1 : 1 as the control groups, the physical and chemical property of the substrates and growth index of *Koelreuteria bipinnata* seedling were investigated to study the effects of different substrate formulations on the growth of *Koelreuteria bipinnata* seedling, and then to screen the best culture medium formula for *Koelreuteria bipinnata*. The results showed that the physical properties of treatment 13 (VS_A : VS_C : VS_D : V(vermiculite) : V(perlite) = 1.33 : 1.33 : 1.33 : 1 : 1) were all suitable for the growth of *Koelreuteria bipinnata*. The chemical property of treatment 13 were better and more balanced than other substrates, and the morphological characteristics such as plant height and stem diameter, and biomass indices of *Koelreuteria bipinnata* seedlings on treatment 13 substrate grew better too. In addition, the indexes of substrate were more favorable in treatment 1 (VS_A : V(vermiculite) : V(perlite) = 4 : 1 : 1) and treatment 12 (VS_A : VS_B : VS_D : V(vermiculite) : V(perlite) = 1.33 : 1.33 : 1.33 : 1 : 1), but poorer in treatment 14 (VS_B : VS_C : VS_D : V(vermiculite) : V(perlite) = 1.33 : 1.33 : 1.33 : 1 : 1) and treatment 15 (VS_A : VS_B : VS_C : VS_D : V(vermiculite) : V(perlite) = 1 : 1 : 1 : 1 : 1). Production costs of treatment 13 and other test substrates were lower, which were about 1/3 of the peat's cost. Treatment 13 was the best substrate for the growing of *Koelreuteria bipinnata* seedlings, which can substitute non-renewable resources of peat.

Keywords: *Koelreuteria bipinnata*; substrate formulism; physicochemical properties; growth index

性、耐旱性极强等优点,在地面覆盖、公路 2 侧绿化以及桥体的垂直绿化等方面具有草坪不可替代的优势,目前已成为北方城市园林绿化的优良地被植物。近年来随着我国各行各业对道路交通的要求越来越高,使用化学融雪剂高效除雪保证交通通畅成为主要手段。而化学融雪剂的主要成分是盐类,由于人们不合理或长期使用化学融雪剂给绿化植物带来严重的盐胁迫危害。因此,盐胁迫限制了园林植物的应用,对城市绿化带来巨大的阻力。

目前,有关宿根福禄考的研究主要集中在组织培养^[10-12]、栽培管理^[13-14]、扦插繁殖^[15]等方面。有关福禄考属耐盐性方面的研究还处于初级阶段,仅 2009 年甄伟玲等^[16]在 4 种宿根草本花卉的耐盐性研究中涉及到福禄考,结果表明 4 种宿根草本花卉的耐盐性强弱为荷兰菊>四季菊>大花萱草>福禄考。除此之外针对福禄考属植物耐盐性的研究尚鲜见报道。为了了解宿根福禄考对盐胁迫的生理适应特性,现以北方城市园林绿化广泛栽培的宿根福禄考幼苗为盆栽试材,初步探讨了 NaCl 胁迫下福禄考叶片丙二醛、可溶性糖、游离脯氨酸、可溶性蛋白质含量的变化规律及其渗透调节机制,以期为福禄考属植物耐盐性研究提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以北方宿根福禄考 1 年生实生苗为盆栽试材,实生苗购自通化市花卉苗圃。2016 年 6 月初将购买的福禄考幼苗移入塑料盆中(口径 20 cm、底径 10 cm、盆高 15 cm),每盆 1 株,对盆栽苗进行浇水、除草等常规养护管理。缓苗后对其进行盐胁迫处理。

1.2 试验方法

选取长势基本一致的幼苗随机分成 6 组,每组 5 盆。其中 1 组为对照组(CK),另外 5 组进行盐胁迫处理。采用 NaCl 溶液对福禄考幼苗进行处理,浓度分别设定为 0(CK)、30、60、90、120、150 mmol·L⁻¹。为了防止盐分流失,盆底垫托盘,并及时将流出的盐溶液倒回盆内。胁迫处理 10 d(叶片出现盐害症状)后,分别选取相同部位的叶片测定可溶性糖、可溶性蛋白质、游离脯氨酸及丙二醛含量。

1.3 项目测定

可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[17];可溶性蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝 G-250 法^[17];脯氨酸含量采用磺基水杨酸法提取,酸性茚三酮比色法^[18]测定;丙二醛含量测定采用硫代巴比妥酸

(TBA)法^[19]。

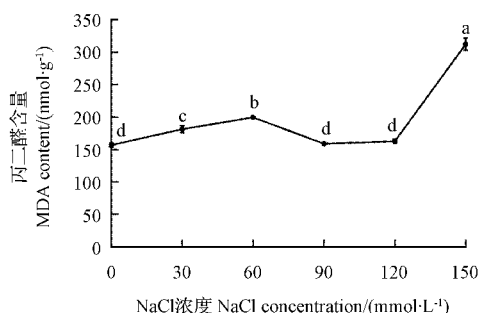
1.4 数据分析

采用 Excel 2007 软件进行数据整理、作图;采用 SPSS 20.0 软件进行曲线回归和相关性分析,LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫对宿根福禄考叶片丙二醛(MDA)含量的影响

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化产物^[20],其含量的高低常用来代表植物组织(器官)膜脂氧化的程度以及植物对逆境的反应^[21]。由图 1 可知,随着 NaCl 胁迫浓度的升高,宿根福禄考幼苗叶片中 MDA 含量呈“升高-下降-升高”的变化规律,但各胁迫浓度下的 MDA 含量均较对照呈不同幅度的增加。经方差分析表明,30 mmol·L⁻¹和 60 mmol·L⁻¹NaCl 胁迫处理下的 MDA 含量均显著高于对照($P<0.05$),分别较对照提高了 15.58%和 27.28%;其后随着胁迫浓度的升高,MDA 含量则呈缓慢下降趋势,且与对照之间无显著差异;当胁迫浓度超过 120 mmol·L⁻¹时,MDA 含量骤然升高。说明高浓度盐胁迫下,宿根福禄考叶片严重受损,细胞膜脂过氧化加剧,产生大量 MDA。



注:小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters show significant differences between treatments at 0.05 levels. The same as below.

图 1 NaCl 胁迫下宿根福禄考叶片丙二醛含量的变化

Fig. 1 The changes of leaf MDA content in *Phlox paniculata* under NaCl stress

经曲线回归和相关性分析表明,MDA 与盐浓度之间呈三次曲线回归关系,其回归方程为 $y = 150.471 + 3.483x - 0.071x^2 + 0.000x^3$, $R^2 = 0.931^{**}$;二者之间的相关性达到极显著正相关($r = 0.606^{**}$)。综上所述,MDA 含量的高低可作为评价宿根福禄考幼苗对 NaCl 胁迫耐受程度的评价指标。

2.2 NaCl 胁迫对宿根福禄考叶片可溶性糖含量的影响

从图 2 可以看出,随着 NaCl 胁迫浓度的升高,宿根福禄考叶片中可溶性糖含量呈“先升高后下降”的趋势,且各胁迫浓度下叶片中的可溶性糖含量均显著高于对照($P<0.05$)。其中,胁迫浓度为 $90 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,叶片中可溶性糖含量达到最大值,为对照的 2.52 倍;其后随着胁迫浓度的升高,可溶性糖含量呈下降趋势,但其含量在 $120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处仍为对照的 2.30 倍和 2.13 倍。以上结果表明,在一定浓度的盐碱胁迫下,宿根福禄考幼苗可通过增加叶片中的可溶性糖含量来维持渗透平衡,以缓解其受到的伤害,这也是宿根福禄考幼苗对盐胁迫的一种适应性生理响应,而胁迫浓度超出一定范围时,可溶性糖的渗透调节能力便会下降。

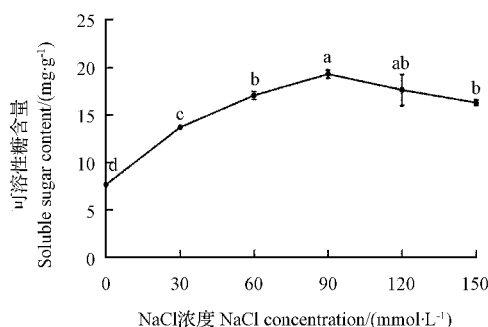


图 2 NaCl 胁迫下宿根福禄考叶片可溶性糖含量的变化

Fig. 2 The changes of leaf soluble sugar content in *Phlox paniculata* under NaCl stress

进一步经曲线回归和相关性分析表明,可溶性糖含量与盐浓度之间呈二次曲线回归关系,其回归方程为 $y=7.788+0.224x-0.001x^2$, $R^2=0.921^{**}$;二者之间的相关性达到极显著正相关($r=0.711^{**}$)。因此,可用可溶性糖含量的高低来评价宿根福禄考对盐胁迫的耐受程度。

2.3 NaCl 胁迫对宿根福禄考叶片可溶性蛋白质含量的影响

图 3 表明,随着 NaCl 胁迫浓度的升高,宿根福禄考幼苗叶片中可溶性蛋白质含量呈“先升高后下降”的趋势,并且各胁迫浓度下叶片中的可溶性蛋白质含量均与对照间无显著差异($P>0.05$)。其中,胁迫浓度为 $120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,叶片中可溶性蛋白质含量达到最大值,相比对照增加了 8.37%。

经曲线回归和相关性分析表明,可溶性蛋白质含量与盐浓度之间的所有曲线模型均未达到显著水平,并且与盐浓度之间无显著相关性。说明 NaCl 胁迫下可溶性蛋白质含量的变化可能是宿根福禄考幼苗对盐胁迫的一种生理响应,而可溶性蛋白质含量的高低能否作为宿根福禄考耐盐性评价指标还有待进一步研究。

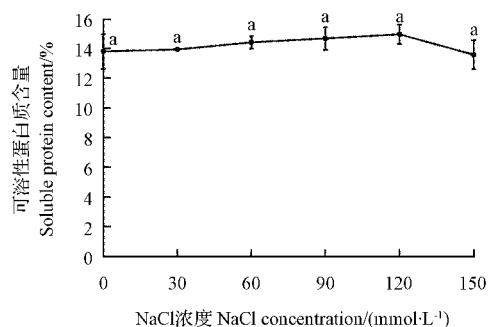


图 3 NaCl 胁迫下宿根福禄考叶片可溶性蛋白质含量的变化

Fig. 3 The changes of leaf soluble protein content in *Phlox paniculata* under NaCl stress

2.4 NaCl 胁迫对宿根福禄考叶片游离脯氨酸含量的影响

由图 4 可知,随着 NaCl 胁迫浓度的升高,宿根福禄考叶片中游离脯氨酸含量呈“先升高后下降”的趋势,且各胁迫浓度下叶片中的脯氨酸含量均显著高于对照($P<0.05$)。其中,胁迫浓度为 $120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,叶片中游离脯氨酸含量达到最大值,为对照的 18.63 倍;其后随着胁迫浓度的升高,其含量骤然下降。说明高浓度盐胁迫下,宿根福禄考幼苗受到严重伤害,游离脯氨酸的渗透调节能力失衡。

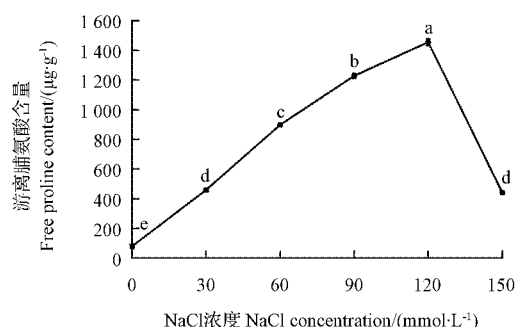


图 4 NaCl 胁迫下宿根福禄考叶片游离脯氨酸含量的变化

Fig. 4 The changes of leaf free proline content in *Phlox paniculata* under NaCl stress

经曲线回归和相关性分析表明,游离脯氨酸含量与盐浓度之间呈三次曲线回归关系,其回归方程为 $y=107.603+0.781x+0.345x^2-0.002x^3$, $R^2=0.969^{**}$;二者之间达到显著正相关($r=0.522^{*}$)。

说明游离脯氨酸可作为宿根福禄考幼苗对 NaCl 的耐盐性评价指标。

2.5 可溶性糖、游离脯氨酸和可溶性蛋白质三者之间的渗透调节作用

由表 1 可以看出,仅游离脯氨酸含量与可溶性糖含量之间的相关性达到极显著正相关($P < 0.01$),而可溶性蛋白质与可溶性糖和游离脯氨酸之间的相关性均不显著。进一步对其进行曲线回归分析表明,可溶性糖与游离脯氨酸之间呈良好的三次曲线

回归关系,其回归方程为 $y = 5.790 + 0.028x - 2.121 \times 10^{-5}x^2 + 5.195 \times 10^{-9}x^3$, $R^2 = 0.860^{**}$,其中 y 和 x 分别代表可溶性糖含量和游离脯氨酸含量,而可溶性蛋白质与可溶性糖和游离脯氨酸之间的所有曲线模型均未达到显著水平。以上结果说明,在 NaCl 胁迫处理下游离脯氨酸的积累与可溶性糖的合成呈三次曲线变化,二者同步增加,共同发挥渗透调节作用;而可溶性蛋白质的渗透调节作用有待进一步研究。

表 1 有机渗透调节物质之间的相关性分析

Table 1	The correlation analysis each of organic osmotic		
指标 Index	可溶性糖含量 Soluble sugar content	游离脯氨酸含量 Free proline content	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content
可溶性糖含量 Soluble sugar content	1.000		
游离脯氨酸含量 Free proline content	0.808**	1.000	
可溶性蛋白质含量 Soluble protein content	0.319	0.337	1.000

注:** 在 0.01 水平上显著相关。

Note:** Correlation is significant at 0.01 level.

3 结论与讨论

植物受到盐碱逆境胁迫时,细胞膜脂过氧化加剧,MDA 含量增加^[16]。该研究结果表明,在低浓度($<120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)盐胁迫处理下,宿根福禄考叶片中 MDA 含量的增幅并不大,之后随着胁迫浓度的升高,其含量则骤然升高。说明宿根福禄考幼苗对盐胁迫具有一定的适应性,其能通过自身的调节能力来抵御细胞膜脂过氧化作用对植株造成的伤害;而一旦胁迫浓度超出自身的调控范围,细胞膜则受到严重损害,MDA 大量累积。

渗透调节作用是植物增强自身抗逆性的基础^[22],也是植物对盐胁迫的主要适应机制之一^[6]。可溶性有机物质在植物的盐碱适应过程中发挥着重要的作用^[23]。植物遭受盐碱逆境胁迫时,体内会合成或积累可溶性有机物质(可溶性糖、游离脯氨酸和可溶性蛋白质等)来降低细胞渗透势^[24],以适应盐渍环境。该研究表明,在 NaCl 胁迫条件下,宿根福禄考叶片中可溶性糖、游离脯氨酸、可溶性蛋白质均发挥着不同的渗透调节作用。随着胁迫浓度的升高,可溶性糖和游离脯氨酸几乎同步升降,二者呈极显著正相关,而可溶性蛋白质增加幅度一直处于平缓状态,说明在 NaCl 胁迫处理下,可溶性糖和游离脯氨酸起着重要的渗透调节作用,二者彼此协同来降低盐胁迫对宿根福禄考幼苗的伤害,可溶性蛋白质仅在渗透调节过程中起补充作用。综合三者的变化规律来看,可溶性糖含量在 $90 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处达到峰值,而可溶性蛋白质含量和游离脯氨酸含量均在

$120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处达到最大值,之后三者均随着胁迫浓度的升高呈不同幅度的下降。说明在一定的胁迫浓度范围内,宿根福禄考幼苗能通过积累或合成大量的有机渗透调节物质来调控盐胁迫对自身的伤害;当胁迫浓度超过自身调控范围后,有机渗透调节物质的合成受阻,宿根福禄考幼苗则受到不同程度的伤害。

综合 NaCl 胁迫下 4 项生理指标的变化规律发现,当胁迫浓度超过 $120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,MDA 含量急剧增加,而可溶性糖、可溶性蛋白质和游离脯氨酸含量均呈不同幅度的下降。由此可推断, $120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 浓度可能是宿根福禄考幼苗对盐胁迫的耐受拐点。

参考文献

- [1] SLAMA I, GHNAYA T, MESSEDI D. Effect of sodium chloride on the response of the halophyte species *Sesuvium portulacastrum* grown in mannitol induced water stress[J]. Journal of Plant Research, 2007, 120: 291-299.
- [2] YANG C, CHONG J, LI C. Osmotic adjustment and ion balance traits of an alkali resistant halophyte *Kochia sieversiana* during adaptation to salt and alkali conditions[J]. Plant and Soil, 2007, 294: 263-276.
- [3] 姚瑞玲, 方升佐. 盐胁迫对青钱柳根部离子分布及幼苗生长的影响[J]. 林业科学, 2008, 44(6): 66-72.
- [4] ALI H, TUCHER T C, THOMPSON T L, et al. Effects of salinity and mixed ammonium and nitrate nutrition in the growth and nitrogen utilization of barley[J]. Agro Crop Sci, 2001, 186: 223-228.
- [5] TALEI D, VALDIANI A, YUSOP M K, et al. Estimation of salt tolerance in *Andropogon paniculata* accessions using multiple regression model[J]. Euphytica, 2013, 189: 147-160.
- [6] 李志萍, 张文辉. NaCl 胁迫对栓皮栎幼苗生长及其生理响应

- [J]. 西北植物学报, 2013, 33(8): 1630-1637.
- [7] LIU Y M, DU H M, HE X X, et al. Identification of differentially expressed salt-responsive proteins in roots of two perennial grass species contrasting in salinity tolerance[J]. Journal of Plant Physiology, 2012, 169: 117-126.
- [8] ALSHAMMARY S F, QIAN Y L, WALLNER S J. Growth response of four turfgrass species to salinity[J]. Agricultural Water Management, 2004, 66: 97-111.
- [9] 王殿, 袁芳, 王宝山, 等. 能源植物杂交狼尾草对 NaCl 胁迫的响应及其耐盐阈值[J]. 植物生态学报, 2012, 36(6): 572-577.
- [10] 张淑华. 宿根福禄考快速繁殖方法的研究[J]. 黑龙江农业科学, 2008(4): 162.
- [11] 郭旭欣. 宿根福禄考组织培养及快繁技术[J]. 北方园艺, 2009(3): 117-118.
- [12] 曲彦婷, 唐焕伟, 左豫虎. 俄罗斯宿根福禄考繁殖技术研究[J]. 国土与自然资源研究, 2013(3): 86-87.
- [13] 历彦彬. 宿根福禄考的栽培技术与管理[J]. 中国林副特产, 2011(2): 43-44.
- [14] 张绍良, 赵佳, 刘桂英, 等. 宿根福禄考栽培技术[J]. 防护林科技, 2013(3): 91-92.
- [15] 张彦妮, 沈鸿渐, 李瑞燕. 宿根福禄考嫩枝的扦插繁殖[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(3): 45-46, 56.
- [16] 甄伟玲, 王文, 孔东升, 等. 4 种宿根草本花卉的耐盐性[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(11): 61-63.
- [17] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006: 24-25, 141-142.
- [18] 李合生, 孙群, 赵世杰, 等. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 258-260.
- [19] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2009: 227-228.
- [20] 艾力江·麦麦提, 齐曼·尤努斯, 公勤. NaCl 胁迫对尖果沙枣实生苗膜脂过氧化与抗氧化酶系的影响[J]. 果树学报, 2008, 25(4): 531-536.
- [21] 毛桂莲, 郑国琦, 戴珍珍. NaCl 和 Na_2CO_3 胁迫对枸杞愈伤组织生理效应的影响[J]. 西北农业学报, 2006, 15(6): 153-157.
- [22] 艾力江·麦麦提, 齐曼·尤努斯, 公勤. NaCl 胁迫对三种胡颓子属植物幼苗活性氧清除酶与渗透调节物质含量的影响[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(6): 1069-1075.
- [23] 樊秀彩, 张亚冰, 刘崇怀, 等. NaCl 胁迫对葡萄幼苗叶片有机渗透调节物质和膜脂过氧化的影响[J]. 果树学报, 2007, 24(6): 765-769.
- [24] 王锴, 张立新, 高梅, 等. 盐胁迫对 2 种苹果属植物愈伤组织及组培苗生长和有机渗透调节物质累积的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(2): 112-118.

Physiological Response of *Phlox paniculata* Seedlings to Salt Stress

JIANG Yuntian¹, LI Yumei², ZHANG Qiuju¹, SUN Zhonglin¹

(1. College of Life Science, Tonghua Normal University, Tonghua, Jilin 134002; 2. Institute of Ecological Environment, Jilin Normal University, Siping, Jilin 136000)

Abstract: In order to learn the physiological adaptability of *Phlox paniculata* seedlings to salt stress, the effects of NaCl stress with different concentrations on the contents of malondialdehyde, soluble sugar, soluble protein and free proline in leaves were studied with potted *Phlox paniculata* seedlings. The results showed that the MDA content of *Phlox paniculata* seedlings did not remarkable increase under the stress of NaCl with concentration below $120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, while its content increased sharply when NaCl concentration was more than $120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. With increasing of NaCl concentration, contents of soluble sugar, soluble protein and free-proline were all increased then decreased. Soluble sugar content and free-proline content synchronously accumulated to play their osmotic adjustment functions under NaCl stress.

Keywords: *Phlox paniculata*; NaCl stress; MDA; organic osmotic

《北方园艺》2017 年度新闻记者证领取人员公示

根据《新闻记者证管理办法》和《报刊记者站管理办法》的有关规定,及国家新闻出版广电总局《关于开展新闻记者证 2016 年度核验工作的通知》要求,我单位新闻记者证年度报告工作小组对 2 名已持有新闻记者证人员资格进行了严格审查。经查,2016 年度无任何违法违规行为,现将核验新闻记者证人员名单公示如下(2 人):

毕洪文 黄峰华

2017 年度新增一位持有新闻记者证人员,经我单位新闻记者证年度报告工作小组严格自查,符合新广出发〔2014〕59 号《关于 2014 年换发新闻记者证的通知》文件要求,现将新增领取记者证人员名单公示如下:

王冠

报刊媒体举报电话:0451-88622722(黑龙江省新闻出版广电局)

《北方园艺》编辑部 2017 年 2 月 13 日

DOI:10.11937/bfyy.201704021

辣椒轻斑驳花叶病毒寿光分离物的 RT-PCR 检测及其序列分析

唐玉海¹, 乔 宁², 孙晓辉²(1. 潍坊科技学院 贾思勰农学院, 山东 寿光 262700; 2. 山东农业大学 植保学院,
山东省蔬菜病虫害生物学重点实验室, 山东 泰安 271018)

摘 要:以山东寿光地区感染辣椒轻斑驳花叶病毒的辣椒为试材,采用试剂盒提取感病辣椒的总 RNA 并进一步反转录成 cDNA,参照已报道的 PMMoV 检测引物合成特异性引物 PMMoV-F 和 PMMoV-R;以获得的 cDNA 为模板进行 PCR 扩增,研究了辣椒轻斑驳花叶病毒寿光分离物。结果表明:得到分子量约是 576 bp 的条带,纯化后进行基因测序;通过测序结果分析比对可知, PMMoV 寿光分离物序列与诸多地区的分离物同源性较高,可达到 99%~100%。

关键词:辣椒轻斑驳花叶病毒;寿光分离物;RT-PCR;序列分析

中图分类号:S 641.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)04-0094-04

寿光是我国重要的蔬菜出口生产基地之一,辣椒是寿光地区种植面积最大的蔬菜品种之一,常年种植面积高达 3 300 hm²,目前我国辣椒栽培面积和总产量均位居世界第一位^[1]。但近年来随着辣椒种植面积的扩大,辣椒病虫害的发生也越来越严重,其中辣椒病毒病发生相当严重,表现为叶片斑驳、黄化、病死等,严重影响了大棚辣椒的产量和品质^[2-3]。辣椒轻斑驳花叶病毒(pepper mild mosaic virus, PMMoV)就是其中一种严重的种传病毒,严重危害了辣椒的生产,因此辣椒轻斑驳花叶病毒的检测和变异分析变得愈加重要。

辣椒轻斑驳花叶病毒最早报道发生在美国,目前很多国家都有辣椒轻斑驳花叶病毒发生的报道。1994 年首次在新疆辣椒上发现辣椒轻斑驳花叶病毒^[4]。谭根堂等^[5]在陕西发现该病毒为线椒上的优

势病原。黄粤等^[6]在山东青岛发现了类似病毒,并通过研究和调查发现,这种病毒就是 PMMoV 病毒,梁洁等^[7]在甜椒上也发现了与甜椒脉斑驳病毒同源性高达 99%的一类病毒,吴淑华等^[8]在南京辣椒上也发现了此类病毒。该病毒同样能侵染黄瓜、甜椒、茄子等^[9],该病毒对辣椒种植和产业发展造成了严重破坏^[10-14]。现通过 RT-PCR 技术检测采集到的辣椒病样,并与部分区域的病毒序列进行分析比较,以期发现 PMMoV 寿光分离物的同源性关系,为下一步研究该病毒的基因特征、抗性及生物学特性奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在山东省寿光市潍科种业公司的辣椒种植大棚内进行。采集具有辣椒轻斑驳花叶病毒的典型症状的辣椒叶片为供试材料。

Trizol 总 RNA 抽提试剂盒、cDNA 合成试剂盒、PCR 扩增试剂盒、凝胶琼脂快速纯化试剂盒均购自北京市天根生物科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 引物设计 按照 GenBank 已经报道的辣椒轻斑驳花叶病毒基因的保守序列设计特异引物,均由北京市天根生物科技有限公司合成。引物序列如下, PMMOV-F: 5'-AGAACTCGGAGTCATCGGAC-3';

第一作者简介:唐玉海(1982-),男,博士,讲师,现主要从事蔬菜栽培生理及分子生物学等研究工作。E-mail:tangyh209@163.com.

责任作者:乔宁(1978-),男,硕士,讲师,现主要从事蔬菜育种及病虫害防治等研究工作。E-mail:304754522@qq.com.

基金项目:公益性行业(农业)科研专项资助项目(201303028);山东省自然科学基金资助项目(ZR2012CM032);山东省科技发展计划资助项目(2010GNC10915)。

收稿日期:2016-09-26

PMMoV-R; 5'-GAGTTATCGTACTCGCCACG-3'。

1.2.2 总 RNA 的提取 采取 Trizol 总 RNA 抽提试剂盒提取总 RNA, 检测备用。

1.2.3 反转录第一链 cDNA 合成 按照以下反应体系进行扩增: $2 \times \text{RT-Mix}$ 10 μL , 引物 N6 1 μL , RNA 3 μL , 逆转录酶 1 μL , 无菌水 5 μL , 共 20 μL ; 依次加入后混匀, 离心 15 s; 42 $^{\circ}\text{C}$ 孵育 30 min 后 85 $^{\circ}\text{C}$ 加热 5 min。

1.2.4 病原分子的 PCR 鉴定 以得到的 cDNA 为模板, 按以下反应体系进行 PCR 扩增: $2 \times \text{RT Mix}$ 12.5 μL ; cDNA 1 μL ; 引物 PMMoV-R1 μL ; 引物 PMMoV-F 1 μL ; 加 9.5 μL ddH₂O 补至 25 μL ; 依次加入后混匀, 离心 15 s。反应程序为 94 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 5 min, 94 $^{\circ}\text{C}$ 变性 1 min, 53 $^{\circ}\text{C}$ 退火 45 s, 72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸, 45 s, 在 35 个循环后, 在 72 $^{\circ}\text{C}$ 下最终延长 10 min, 最后 4 $^{\circ}\text{C}$ 保存备用, 用 1% 的琼脂糖凝胶电泳检测 PCR 产物。

1.2.5 PCR 产物的回收提纯与序列分析 使用快速琼脂糖凝胶 DNA 回收试剂盒对 PCR 产物进行纯化, 并将其与 pUC-T 克隆载体连接, 经筛选后将阳性克隆送往北京市天根生物科技有限公司进行双向测序, 将得到的基因序列利用 MEGA 5.0 与其它 PMMoV 序列进行比对分析。

2 结果与分析

2.1 田间病株的调查结果

从山东省寿光市潍科种业公司辣椒种植大棚内采集到疑似感染辣椒轻斑驳花叶病毒的辣椒植株 (图 1), 该病害主要在种植大棚内少量分布, 目前并没有形成大规模爆发的症状。该病在辣椒上主要表现为叶片不规则褪绿, 叶片发黄而且叶面凹凸不平、皱缩, 有时叶缘上卷, 有些辣椒品种的果实上也出现褪绿的斑驳, 果实较小且畸形, 对果实的品质和产量产生较大影响。



图 1 感染 PMMoV 辣椒叶片症状

Fig. 1 Symptoms of leaf caused by PMMoV

2.2 RNA 的提取结果

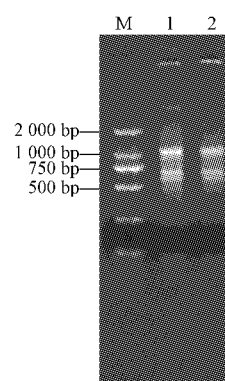
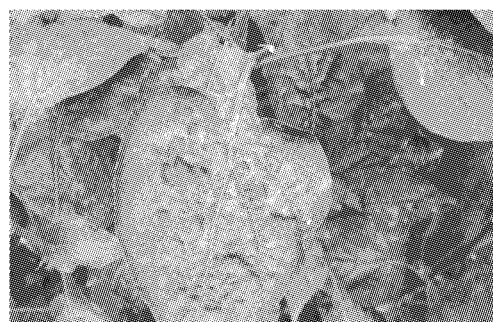
用 RNA 提取试剂盒提取采集的辣椒病叶中的植物总 RNA, 电泳检测结果显示, 得到纯度较高的植物总 RNA (图 2), 说明可以利用该结果进行后续试验。

2.3 RT-PCR 的扩增结果

以获得的辣椒病叶总 RNA 作为模板, 利用随机引物 N6 进行反转录得到相应的 cDNA; 并以此为模板进行 PCR 扩增, 由图 3 可知, 得到一条长度为 576 bp 的目的条带, 与预期结果一致。

2.4 序列分析

双向测序结果显示, PCR 产物长度为 576 bp, 包含完整的 PMMoV CP 基因及两翼序列。利用 MegAlign 方法, 选取 GenBank 中登陆的 PMMoV 核苷酸序列进行相似性比较分析。由表 1 可知,

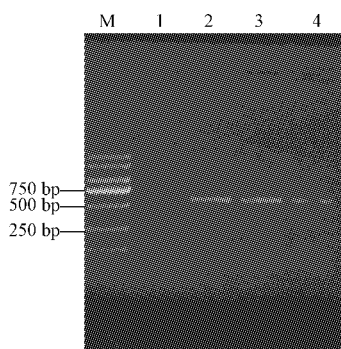


注: M, DL 2 000 DNA Marker; 1~2. 辣椒病叶总 RNA。

Note: M, DL 2 000 DNA Marker; 1~2. Total RNA of leaf caused by PMMoV.

图 2 辣椒病叶总 RNA 提取结果

Fig. 2 Extraction result of total RNA of leaf caused by PMMoV



注: M, DL 2 000 DNA Marker; 1. 健康对照; 2. 阳性对照; 3~4. PMMoV 的 RT-PCR 结果。

Note: M, DL 2 000 DNA Marker; 1. Healthy control; 2. Positive control; 3~4. RT-PCR result of PMMoV.

图 3 PMMoV 的 RT-PCR 结果

Fig. 3 RT-PCR result of PMMoV

PMMoV 山东寿光分离物与选择的序列(除外组外)的同源性均在 94.4% 以上,且与中国贵州分离物 Guizhou-Liupanshui(KP877411)、加拿大分离物 PMMVOU2(KU311159)等序列的同源性最高为 100.0%,可见 PMMoV 寿光分离物与世界部分地区的分离物有着较高的同源性。

表 1 PMMoV-SGPM 核苷酸序列同源性比较

Table 1 Nucleotide sequence alignment between Shouguang isolate and other 17 PMMoV isolates previously reported

分离物	登录号	来源	一致率
Isolate	GenBank number	Sources	Consistent rate/%
SGPM	—	China	—
Guizhou-Liupanshui	KP877411	China, Guizhou	100.0
PMMVOU2	KU311159	Canada	100.0
Hunan-Hengyang	KP877420	China, Zhejiang	99.6
PMMoV-Iw	AB254821	Japan	99.6
PMMoV-Kr	AB126003	South Korea	99.6
P-60-09	KC288151	Serbia	99.6
PMMV1.2	AJ429088	Italy	99.6
PMMoV-IRNPM1	JX976585	Iran	99.4
XJ-01	KC020357	China, Xinjiang	98.3
PMMoV-BD	HQ699079	China, Hebei	98.1
Guizhou	KC571248	China, Guizhou	97.7
PMMoV-HP1	JX173808	India	97.7
PMMoV-CN	AY859497	China, Beijing	97.3
PMMoV-Is	EF422083	Israel	94.6
PMMoV-Ia	AJ308228	Spain	94.4
PMMoV-TW	HQ452339	China, Taiwan	94.4
ToMV	NC_002692	Australia	68.4

为了更好的分析其进化历程和亲缘关系,选取世界各地有代表性的 PMMoV 分离物的 CP 基因核苷酸序列构建系统进化树。由图 4 可知,山东寿光分离物 SGPM 的核苷酸序列与中国贵州分离物

Guizhou-Liupanshui(KP877411)和加拿大分离物 PMMVOU2(KU311159)亲缘关系最近,与同源性比对结果相一致,同处于一个大分支上。

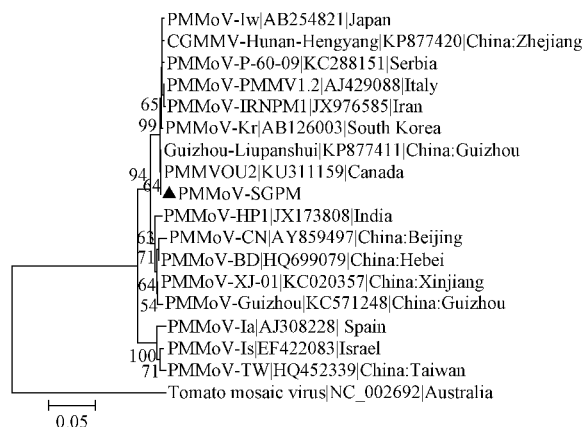


图 4 基于 CP 基因核酸序列的系统进化分析

Fig. 4 Phylogenetic analysis based on nucleic acid sequence of CP gene

3 讨论

目前,PCR 技术已经成功为植物病毒检测提供了可靠手段,并普遍应用在一般的植物病毒检测中。特别是在一些常规方法无法完成,或者一般方法的特异性、灵敏度都没法满足检疫的需求时,PCR 技术的应用有非常独特的优势,ALONSO 等^[15]研究表明利用 RT-PCR 技术来检测植株体内的 PMMoV 病毒是非常有优势的方法。李晓冬等^[16]应用此方法对辣椒轻斑驳病毒辽宁分离物进行了鉴定及序列分析,发现此分离物和亚洲分离物亲缘关系密切。

根据黄粤等^[6]在山东青岛等地的研究结果,推测近年寿光地区发现的辣椒叶片上出现的不规则斑点和果实上出现的凹凸现象,应该是由 PMMoV 引起的。PMMoV 的传播,严重的影响了叶片和果实的生长发育,使植株不再进行花芽分化,严重影响了果实的品质和产量,使菜农的经济收入严重降低^[17-18]。所以课题组对该病毒病展开了调查研究,从潍科种业辣椒大棚内采集感病植株,并通过分子生物学检测方法对该植株进行 RNA 提取检测,结果表明,在寿光发现的这种病毒病就是由 PMMoV 病毒引起的。在证实病原为 PMMoV 病毒后,又进一步对该病毒的防治措施和传播途径展开深入研究,经证实该病毒主要是通过种子和汁液摩擦传播,带有病毒的籽粒、感病地块和带病植株为最重要的影响物,这与前人的研究结果一致^[9,19]。

该试验结果表明,大棚内辣椒叶片和果实表现

出的症状就是由 PMMoV 病毒引起的,所以必须加快研究该病毒病的发病规律和特点,并且要采取一定的措施控制辣椒轻斑驳花叶病毒的发生,防治辣椒轻斑驳花叶病毒的大范围传播蔓延^[20-21]。减轻辣椒轻斑驳花叶病毒给菜农造成的亏损,减少菜农的经济损失。

参考文献

- [1] 邹学校. 中国辣椒[M]. 北京:中国农业出版社,2002.
- [2] 张建云. 新疆辣椒和茄子上两种病毒的分子鉴定[D]. 石河子:石河子大学,2013.
- [3] 高苇,王勇,张春祥,等. 天津地区辣椒病毒病调查及毒源种类初步鉴定[J]. 山东农业科学,2016,48(3):91-94.
- [4] 向本春,谢浩,崔星明,等. 新疆辣椒轻微斑驳病毒的分离鉴定[J]. 病毒学报,1994(3):240-244.
- [5] 谭根堂,史联联,尚惠兰,等. 陕西线辣椒病毒病病原检测简报[J]. 辣椒杂志,2003(3):32-33.
- [6] 黄粤,马荣群,岳文辉. 应用 RT-PCR 方法检测辣椒轻微斑驳病毒[J]. 山东农业科学,2004(5):56-57.
- [7] 梁洁,王健华,章绍延,等. 甜椒脉斑驳病毒(PVMV)在海南的发现与检测[J]. 热带作物学报,2015,36(5):966-971.
- [8] 吴淑华,赵文浩,李廷芳,等. 南京辣椒上一种斑驳类型病毒病的分子鉴定[J]. 江苏农业学报,2015,31(6):1284-1290.
- [9] VELASCO L, JANSSEN D, RUIZ-GARCIA L, et al. The complete nucleotide sequence and development of a differential detection assay for a pepper[J]. Journal of Virological Methods, 2002, 106: 135-140.
- [10] 郭广君,刁卫平,刘金兵,等. 辣椒抗黄瓜花叶病毒病研究进展[J]. 华北农学报,2014(s1):77-84.
- [11] 杨锦华,李进,张雪峰,等. 我国辣椒抗病毒病育种进展及方向[J]. 现代园艺,2014(15):7-8.
- [12] 王立浩,王萱,张宝玺,等. 利用 CAPS 标记辅助辣椒 PVY 抗性基因转育的研究[J]. 辣椒杂志,2006(4):1-9.
- [13] 扈新民,李亚利,高彦辉,等. 航天诱变及其在辣椒育种中的应用及展望[J]. 中国蔬菜,2010(24):14-18.
- [14] LEWANDOWSKI D J, van REGENMORTEL M H V, FAUQUET C M, et al. Virus taxonomy seventh report of the international committee on taxonomy of virus[C]. New York: Academic Press, 1999: 889-894.
- [15] ALONSO E, GARCIA-LUQUE I, de la CRUZ A, et al. Nucleotide sequence of the genomic RNA of pepper mild mottle virus, a resistance-breaking to tobamovirus in pepper[J]. J J Gen Virol, 1991, 72: 2875-2884.
- [16] 李晓冬,安梦楠,王冠中,等. 辣椒轻斑驳病毒辽宁分离物的鉴定及序列分析[J]. 沈阳农业大学学报,2016,47(1):29-34.
- [17] 林燕春,罗明云,林江,等. 辣椒病毒病发生规律与防治技术研究[J]. 湖北农业科学,2009(9):2142-2144.
- [18] 姚玉荣,陈国华,冯兰香,等. 北运蔬菜基地辣椒病毒病病原种类的分子检测[J]. 中国蔬菜,2013(10):84-89.
- [19] IKEGASHIRA Y, OHKI T, LCHIKI U T, et al. An immunological system for the detection of pepper mild mottle virus in soil from green pepper fields[J]. Plant Disease, 2004, 88: 650-656.
- [20] 陈言. 辣椒病毒病发生的综合治理[J]. 蔬菜,2003(9):67-68.
- [21] 蔡亲吉. 辣椒病毒病发生原因及综合防治对策[J]. 植物保护, 2013(1):34-35.

Identification and Sequence Analysis of Shouguang Isolate by RT-PCR of Pepper Mild Mottle Mosaic Virus

TANG Yuhai¹, QIAO Ning², SUN Xiaohui²

(1. Jiasixie Agricultural College, Weifang University of Science and Technology, Shouguang, Shandong 262700; 2. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University/Shandong Provincial Key Laboratory for Biology of Vegetable Diseases and Insect Pests, Tai'an, Shandong 271018)

Abstract: Peppers infected by PMMoV in Shouguang city, Shandong Province were used as test material and kit was used to extract total RNA from infected pepper and total RNA was further reversed into cDNA by reverse transcription. PMMoV-F and PMMoV-R was synthesized according to reported specific primers. The cDNA of PMMoV isolate was used for PCR amplification. The results showed that the molecular weight of band was 576 bp. Sequence analysis showed that PMMoV infected pepper in Shouguang had closer genetic relationship with PMMoV isolated in other areas, which could achieve 99%—100%.

Keywords: pepper mild mottle mosaic virus; Shouguang isolate; RT-PCR; sequence analysis