

王金耀, 杨 阳, 向云荣, 等. PEG 模拟干旱胁迫对耧斗菜叶片解剖结构的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(12): 121–124.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.12.029

# PEG 模拟干旱胁迫对耧斗菜叶片解剖结构的影响

王金耀<sup>1</sup>, 杨 阳<sup>1,2</sup>, 向云荣<sup>2</sup>, 李 森<sup>1</sup>, 邢国明<sup>1</sup>, 亢秀萍<sup>1</sup>

(1. 山西农业大学园艺学院/山西省设施蔬菜提质增效协同创新中心, 山西太谷 030801; 2. 吕梁学院生命科学系, 山西吕梁 033000)

**摘要:**以耧斗菜八音鸟(*Aquilegia* ‘Songbird’)为供试材料, 采用徒手切片法、石蜡切片法观察耧斗菜叶片气孔密度、气孔大小、栅海比、维管束直径等叶片解剖结构在干旱胁迫下的变化。结果显示, 干旱胁迫使耧斗菜叶片下表皮气孔平均大小显著增加; 气孔开度先显著减小后增大; 栅栏组织厚度显著增加, 从 8.20  $\mu\text{m}$  增加到 11.21  $\mu\text{m}$ , 海绵组织厚度显著减小, 从 12.60  $\mu\text{m}$  减小到 7.86  $\mu\text{m}$ ; 栅海比显著增加, 从 0.65 最大可增加到 1.34; 维管束直径从 9.00  $\mu\text{m}$  最大可增加到 10.77  $\mu\text{m}$ 。

**关键词:**耧斗菜; 干旱胁迫; 气孔; 栅海比; 维管束

**中图分类号:** S682.1<sup>+</sup>90.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)12-0121-04

耧斗菜八音鸟(*Aquilegia* ‘Songbird’)为毛茛科耧斗菜属多年生宿根植物, 株型多样, 花色丰富, 花期持久, 可作花坛花卉, 亦可作为草坪点缀花卉或者盆栽花卉, 在园林中利用前景广阔<sup>[1-2]</sup>。其花药可供药用, 根含糖类, 可制饴糖或酿酒, 种子含油, 可供工业用<sup>[3]</sup>。

对植物造成影响的天然因素有很多, 其中干旱影响了植物各个阶段的生长发育和植物各种生理代谢过程<sup>[4]</sup>。叶片是高等植物进行光合作用的核心, 也是对环境变动较敏感并且可塑性较大的器官<sup>[5]</sup>。目前关于植物干旱胁迫的研究越来越具体, 国际上对于植物的抗旱性研究已经十分成熟, 无论

是植株、器官、细胞还是基因层次都有涉及。干旱影响植物叶片的正常生长, 淡绿色和黄绿色叶比深绿色叶可以反射更多的光, 以便维持叶面较低的温度而减少水分散失。在解剖结构方面, 抗旱性较强的作物在叶片茸毛、蜡质、角质层厚度、气孔数和开度以及栅栏细胞的排列上都存在着差别, 一般情况下, 干旱胁迫会导致植物栅海比增加, 海绵组织减小。关于耧斗菜, 无论是其在园林美化中的应用还是其生长过程中的生理特征以及其药用价值等方面都有涉及并深入, 取得了不少的研究成果<sup>[2]</sup>。李森等在对耧斗菜的耐旱性评价研究中发现, 随着干旱胁迫时间的增加, 野生华北耧斗菜叶片脯氨酸含量逐渐增加<sup>[6]</sup>, 但干旱胁迫对耧斗菜叶片解剖结构的影响未见报道。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

耧斗菜于 2016 年 10 月定植在吕梁学院, 2017 年 3 月将返青植株从土壤中取出, 移栽到营养钵中缓苗 10 d, 长出新叶

收稿日期: 2017-10-19

基金项目: 山西农业大学青年科技创新基金(编号: J141602003)。

作者简介: 王金耀(1988—), 男, 山西晋城人, 硕士研究生, 助教, 主要从事园林植物种质资源与育种研究。E-mail: wangjinyao278@163.com。

通信作者: 亢秀萍, 硕士, 副教授, 主要从事园林植物种质资源与育种研究。E-mail: sxndkxp@163.com。

实剥取种子时, 果肉不易与种皮分离, 此时清理干净种子上的果肉容易对种皮造成伤害, 而将果实放入塑料袋中密封 2~3 周进行发酵, 待果实变黄发软时取种相对容易, 且不会对种子造成伤害。本试验结果表明, 滇黄精成熟种子中的胚已有一定的分化, 胚与胚乳质量比为 1:129.73, 具有胚占种子比例相对较低的特性; 种子较耐低温, 4℃保湿条件下贮藏, 不影响滇黄精种子的萌发, 属于低度顽拗性种子<sup>[9]</sup>; 滇黄精种子萌发对温度的适应范围较大, 15℃时滇黄精种子的萌发生长及萌发后种子的分化较慢; 在 20~30℃范围内, 滇黄精种子的萌发率和分化率相对较高, 生长速度较快; 滇黄精种子干会大大降低种子的萌发率, 提高种子萌发的烂种率, 而采用含水率为 45% 的湿沙进行保湿贮藏, 可使滇黄精种子播种后的萌发率保持在 95.0% 以上。

## 参考文献:

[1] 徐 良. 中国名贵药材规范化栽培与产业化开发新技术[M].

北京: 中国协和医科大学出版社, 2001: 440–445.

[2] 张 洁, 杨立学, 王海南, 等. 紫椴树种皮透水性及种子浸提物生物效应研究[J]. 森林工程, 2015, 31(2): 2–4.

[3] 谢 明, 徐 丹, 于海媛, 等. 假色碱种子透水性及内源抑制物质的初步研究[J]. 中国农学通报, 2014(22): 53–58.

[4] 陈雪梅, 欧 静, 陈 训, 等. 雷山杜鹃种子特性及萌发试验研究[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(8): 184–186.

[5] 刘 行, 李成忠, 汤庚国, 等. 紫斑牡丹种子的萌发特性[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(8): 289–291.

[6] 李 谦, 刘益荣. 金光菊种子萌发影响因素研究[J]. 北方园艺, 2016(17): 73–76.

[7] 胡琦敏, 李勇毅, 黄云峰, 等. 海伦兜兰的无菌播种与快速繁殖[J]. 植物生理学报, 2016, 52(9): 1443–1448.

[8] 李雨晴, 杨嘉伟, 王康才, 等. 白芨种子无菌萌发特性[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(4): 253–355.

[9] 宋松泉, 傅家瑞. 顽拗性种子脱水敏感性的奥秘[J]. 种子, 1992, 59(3): 39–48.

待用。

1.2 试验设计

取 12 叶龄长势一致的茼蒿菜苗 150 株,分成 5 组,每组 30 株。试验共设 10%、20%、30%、40% 4 个聚乙二醇(PEG)胁迫梯度,以等量蒸馏水为对照。每 3 d 浇 1 次相应浓度的 PEG 溶液,每个营养钵加 50 mL。第 1、3、6、9、12 天取植物叶片进行测定,共取样 5 次,试验重复 3 次<sup>[7]</sup>。采用徒手切片法观察叶片的气孔,测量其大小、计算其密度并记录数据。采用石蜡切片法观察叶片的栅栏组织、海绵组织与维管组织,测量栅栏组织与海绵组织的厚度、维管束的直径,计算栅海比并记录数据。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 气孔指标的测定与计算 做茼蒿菜基生叶下表皮的徒手切片,观察叶片气孔并测量有关数据。

气孔密度 = 视野中气孔的数量/视野的面积。

1.3.2 栅海比与维管束直径的测定与计算 在显微镜下观察茼蒿菜叶片横切石蜡切片,在低倍镜下找到观察的视野拍照记录,再换高倍镜观察并拍照记录,用测微尺测量叶片横切栅栏组织、海绵组织厚度和维管束的直径,记录数据,求出每个 PEG 浓度梯度下 3 株茼蒿菜的栅栏组织、海绵组织厚度和

维管束直径的平均值作为试验最终数据,然后计算茼蒿菜的栅海比<sup>[8-9]</sup>。栅海比 = 栅栏组织厚度/海绵组织的厚度。

1.4 数据统计及分析

采用 Excel 软件进行数据的录入、数据库的建立以及数据图表的制作,采用 SPSS 进行方差分析及显著检测<sup>[8,10]</sup>。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对茼蒿菜叶片气孔的影响

2.1.1 干旱胁迫对茼蒿菜叶片气孔密度的影响 从表 1 可以看出,干旱胁迫对茼蒿菜的下表皮气孔密度没有显著影响。

2.1.2 干旱胁迫对茼蒿菜叶片气孔大小的影响 由表 2 可知,与对照组相比,胁迫处理第 9 天,10%、20%、30% PEG 处理的茼蒿菜叶片气孔大小差异不显著,40% PEG 胁迫处理茼蒿菜叶片气孔大小显著增加,从对照的 523.75 μm<sup>2</sup> 增加到 753.92 μm<sup>2</sup>。40% PEG 的胁迫处理与 10%、20%、30% PEG 处理的茼蒿菜相比气孔大小显著增加。胁迫处理第 12 天,与对照组相比,30%、40% PEG 胁迫处理的茼蒿菜叶片气孔大小显著增加,从 510.45 μm<sup>2</sup> 分别增加到 665.15、757.76 μm<sup>2</sup>。且 40% PEG 与 30% PEG 处理相比,茼蒿菜叶片气孔大小显著增加。

表 1 干旱胁迫对茼蒿菜叶片下表皮气孔密度的影响

干旱胁迫	气孔密度(个/mm <sup>2</sup> )				
	第 1 天	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天
CK	19 ± 1.58a	19.4 ± 2.30a	18.6 ± 1.14a	21.2 ± 3.19a	21.6 ± 2.79a
10% PEG	19 ± 1.58a	22.8 ± 5.01a	20.8 ± 1.48a	17.2 ± 5.58a	20.2 ± 3.70a
20% PEG	19 ± 1.58a	23.2 ± 5.67a	23.6 ± 3.13a	19.4 ± 2.50a	18.4 ± 2.19a
30% PEG	19 ± 1.58a	19.2 ± 7.42a	22.6 ± 5.72a	17.8 ± 5.16a	16.2 ± 3.42a
40% PEG	19 ± 1.58a	17.8 ± 1.30a	15.8 ± 5.80a	17.4 ± 4.33a	15.2 ± 3.70a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。

表 2 干旱胁迫对茼蒿菜叶片气孔大小的影响

干旱胁迫	气孔大小(μm <sup>2</sup> )				
	第 1 天	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天
CK	526.68 ± 23.00a	520.00 ± 23.00a	518.32 ± 18.32b	523.75 ± 23.26b	510.45 ± 18.05c
10% PEG	526.68 ± 23.00a	524.30 ± 24.09a	494.29 ± 5.91b	500.07 ± 18.00b	478.05 ± 24.60c
20% PEG	526.68 ± 23.00a	495.00 ± 29.00a	485.76 ± 23.22b	495.54 ± 31.34b	492.31 ± 21.11c
30% PEG	526.68 ± 23.00a	447.50 ± 12.10a	455.02 ± 25.01b	568.76 ± 20.20b	665.15 ± 25.12b
40% PEG	526.68 ± 23.00a	598.20 ± 30.00a	731.83 ± 39.00a	753.92 ± 27.54a	757.76 ± 20.00a

2.1.3 干旱胁迫对茼蒿菜叶片气孔开度的影响 从表 3 中可以看出,胁迫处理第 3 天,与对照组相比,20%、30%、40% PEG 胁迫处理的茼蒿菜平均气孔开度显著减小,并且随着 PEG 浓度增加平均气孔开度减小越明显,40% PEG 与 10%、20% PEG 胁迫组相比茼蒿菜叶片气孔开度显著减小。处理第 6 天,与对照组相比,胁迫处理的茼蒿菜平均气孔开度显著减小,且平均气孔开度随着 PEG 浓度的增大先减小后增大。处理第 9 天,与对照组相比,胁迫处理的茼蒿菜平均气孔开度显著减小,且平均气孔开度随着 PEG 浓度的增大先减小后增大。处理第 12 天,与对照组相比,10%、20% PEG 胁迫处理的茼蒿菜平均气孔开度显著减小,30%、40% PEG 处理组无显著差异。30%、40% PEG 处理组与 10%、20% PEG 处理组存在显著差异,前者较后者显著增大;10%、20% PEG 处理组差异不显著,40%、30% PEG 处理组无显著差异。

2.2 干旱胁迫对茼蒿菜叶片栅栏组织厚度、海绵组织厚度、栅海比的影响

2.2.1 干旱胁迫对茼蒿菜叶片栅栏组织厚度的影响 从表 4 中可以看出,干旱胁迫对茼蒿菜叶片栅栏组织厚度有显著影响。处理第 3、6、9 天,与对照组相比,胁迫处理的茼蒿菜的栅栏组织厚度没有显著差异。胁迫处理第 12 天,与对照组相比,10%、20%、30% PEG 处理的茼蒿菜栅栏组织厚度差异不显著,40% PEG 处理的茼蒿菜叶片栅栏组织厚度显著增加,从 8.10 μm 增加到 11.21 μm,此外 4 个处理组间无显著差异。不同处理的叶片切面中的栅栏组织见图 1。

2.2.2 干旱胁迫对茼蒿菜叶片海绵组织的影响 从表 5 中可以看出,干旱胁迫对茼蒿菜叶片海绵组织有显著影响。处理第 3、6、9 天,与对照组相比,胁迫处理对茼蒿菜的海绵组织厚度没有显著差异。胁迫处理第 12 天,与对照组相比,10%、

表 3 干旱胁迫对耧斗菜叶片气孔开度的影响

干旱胁迫	气孔开度(μm <sup>2</sup> )				
	第 1 天	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天
CK	69.35 ± 11.00a	58.75 ± 8.00a	56.34 ± 10.00a	59.92 ± 5.51a	56.77 ± 9.00a
10% PEG	69.35 ± 11.00a	44.65 ± 4.00ab	27.06 ± 2.00bc	21.45 ± 1.15c	34.56 ± 4.00b
20% PEG	69.35 ± 11.00a	39.18 ± 10.59b	23.22 ± 2.00c	33.60 ± 3.00c	32.98 ± 5.00b
30% PEG	69.35 ± 11.00a	33.18 ± 10.59bc	30.84 ± 5.14bc	40.35 ± 6.00b	54.34 ± 3.01a
40% PEG	69.35 ± 11.00a	28.64 ± 4.00c	39.21 ± 6.00b	47.02 ± 8.68b	58.20 ± 3.07a

表 4 干旱胁迫对耧斗菜叶片栅栏组织的影响

干旱胁迫	栅栏组织厚度(μm)				
	第 1 天	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天
CK	8.20 ± 1.92a	8.20 ± 1.64a	8.16 ± 0.89a	8.02 ± 1.22a	8.10 ± 1.79b
10% PEG	8.20 ± 1.92a	8.60 ± 3.36a	9.00 ± 1.73a	8.60 ± 1.14a	9.00 ± 1.52ab
20% PEG	8.20 ± 1.92a	9.20 ± 1.79a	8.30 ± 1.48a	8.20 ± 0.84a	9.43 ± 1.58ab
30% PEG	8.20 ± 1.92a	9.00 ± 1.87a	8.80 ± 2.91a	8.80 ± 0.45a	9.52 ± 1.58ab
40% PEG	8.20 ± 1.92a	9.40 ± 1.52a	9.26 ± 1.97a	9.40 ± 1.82a	11.21 ± 2.17a

表 5 干旱胁迫对耧斗菜叶片海绵组织的影响

干旱胁迫	海绵组织厚度(μm)				
	第 1 天	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天
CK	12.60 ± 1.64a	11.40 ± 1.14a	12.24 ± 0.89a	11.40 ± 1.52a	11.20 ± 2.07a
10% PEG	12.60 ± 1.64a	10.80 ± 2.77a	9.56 ± 2.43a	9.60 ± 2.07a	9.20 ± 0.84ab
20% PEG	12.60 ± 1.64a	9.40 ± 4.77a	10.80 ± 1.64a	9.02 ± 1.61a	8.84 ± 2.41ab
30% PEG	12.60 ± 1.64a	11.20 ± 2.17a	10.60 ± 2.61a	9.00 ± 1.41a	8.00 ± 2.00ab
40% PEG	12.60 ± 1.64a	9.10 ± 0.74a	8.48 ± 1.34a	8.24 ± 1.70a	7.86 ± 2.01b

20%、30% PEG 处理的耧斗菜海绵组织厚度无显著差异,40% PEG 处理的耧斗菜叶片海绵组织厚度显著减小,从 11.20 μm 减小到 7.86 μm,此外 4 个处理组间无显著差异。不同处理的叶片切面中的海绵组织见图 1。

2.2.3 干旱胁迫对耧斗菜叶片栅海比的影响 从表 6 中可

以看出,干旱胁迫对耧斗菜叶片栅海比有显著影响。胁迫处理第 3 天,与对照组相比,10%、20%、30% PEG 处理的耧斗菜栅海比差异不显著,40% PEG 处理的耧斗菜栅海比显著增加,从 0.62 增加到 1.00,且 4 个处理组间差异不显著。胁迫处理第 6 天,与对照组相比,30%、40% PEG 处理的耧斗菜栅

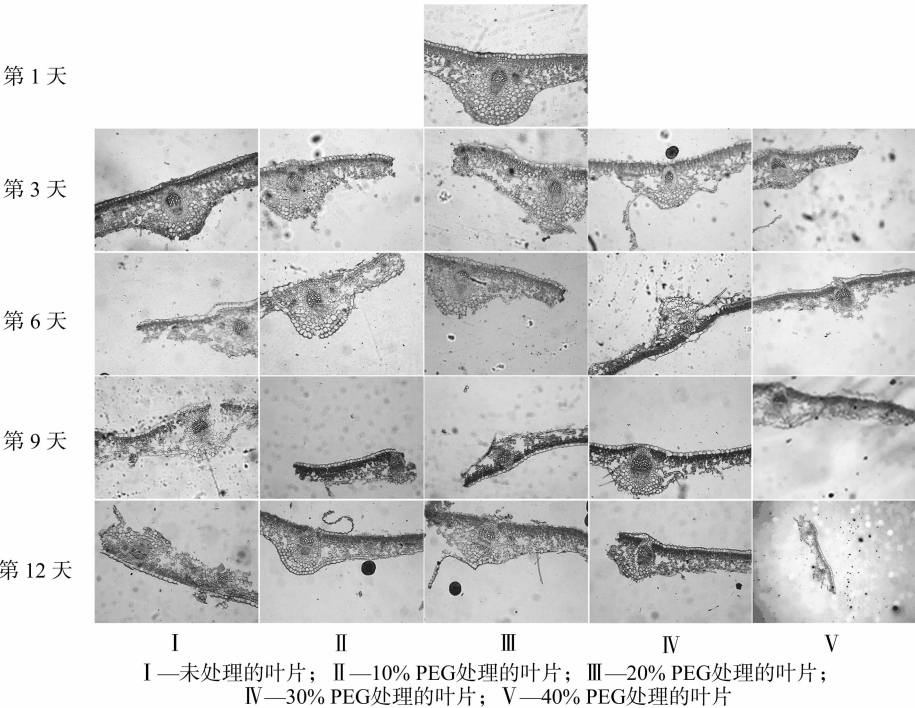


图1 PEG 模拟干旱胁迫下耧斗菜叶片切面

海比显著增加,从 0.62 分别增加到 0.92、1.08,且 4 个处理组间差异不显著。胁迫处理第 9 天,与对照组相比,30%、40% PEG 处理的耬斗菜气孔开度显著增加,从 0.69 分别增加到 1.04、1.11。胁迫处理第 12 天,与对照组相比,30%、40% PEG 处理的耬斗菜栅海比显著增加,30% PEG 处理的植株栅海比增加 0.37,40% PEG 处理的植株栅海比增加 0.58。

表 6 干旱胁迫对耬斗菜叶片栅海比的影响

干旱胁迫	栅海比				
	第 1 天	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天
CK	0.65 ± 0.10a	0.62 ± 0.11b	0.62 ± 0.02b	0.69 ± 0.09c	0.76 ± 0.04c
10% PEG	0.65 ± 0.10a	0.75 ± 0.08ab	0.84 ± 0.02ab	0.80 ± 0.04bc	0.81 ± 0.03c
20% PEG	0.65 ± 0.10a	0.90 ± 0.12ab	0.85 ± 0.06ab	0.86 ± 0.08abc	0.87 ± 0.04c
30% PEG	0.65 ± 0.10a	0.90 ± 0.04ab	0.92 ± 0.10a	1.04 ± 0.10ab	1.13 ± 0.06b
40% PEG	0.65 ± 0.10a	1.00 ± 0.06a	1.08 ± 0.04a	1.11 ± 0.11a	1.34 ± 0.12a

表 7 干旱胁迫对耬斗菜叶片主脉维管束直径的影响

干旱胁迫	维管束直径(μm)				
	第 1 天	第 3 天	第 6 天	第 9 天	第 12 天
CK	9.00 ± 1.00a	9.33 ± 1.15a	9.33 ± 0.58a	9.17 ± 1.26a	9.50 ± 1.01a
10% PEG	9.00 ± 1.00a	9.67 ± 0.58a	9.50 ± 0.50a	9.67 ± 0.58a	9.83 ± 0.29a
20% PEG	9.00 ± 1.00a	9.67 ± 0.58a	9.67 ± 0.29a	9.83 ± 0.76a	10.00 ± 1.00a
30% PEG	9.00 ± 1.00a	9.83 ± 0.76a	9.33 ± 0.89a	10.00 ± 1.00a	10.17 ± 1.04a
40% PEG	9.00 ± 1.00a	9.83 ± 0.76a	10.00 ± 0.50a	10.17 ± 0.76a	10.77 ± 0.40a

3 结论与讨论

干旱胁迫对耬斗菜叶片解剖结构的影响主要表现在气孔大小、气孔开度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、栅海比 5 个方面,对气孔密度、维管束直径无显著影响。随着干旱胁迫的增强,叶下表皮的气孔大小整体上先减小后增大,叶下表皮的气孔开度先减小后增大,栅栏组织厚度从 8.20 μm 增加到 11.21 μm(第 12 天),海绵组织厚度从 12.60 μm 减少到 7.86 μm(第 12 天),栅海比从 0.65 增加到 1.34(第 12 天)。本研究所用的耬斗菜植株,在干旱胁迫下,其气孔大小、栅海比增加这些变化充分反映了耬斗菜对干旱环境的适应性,也符合大多数耐旱植物在干旱下叶片解剖结构的变化趋势<sup>[11]</sup>。

气孔密度、气孔大小、气孔开度是植物调节自身蒸腾作用的反应<sup>[12]</sup>。轻度干旱胁迫导致植物气孔密度增加,叶片能从周围环境中吸收更多的水分用于光合作用,重度干旱胁迫导致植物气孔密度减小,减小蒸腾作用<sup>[11]</sup>。本试验中耬斗菜上表皮几乎没有气孔,是耐旱植物的一种表现;下表皮气孔密度先增加后减小,但没有显著变化。胁迫处理第 3 天气孔开度出现了显著下降,说明干旱胁迫对植株造成了一定的影响,所以植株气孔开度减小,减少自身的蒸腾作用,胁迫处理第 6 天及以后,气孔开度随着干旱胁迫程度的增加先减小后增加,说明 40% PEG 浓度模拟的干旱对植株造成了较大的影响,植株从土壤中获取的水分不足以支持自身的生命活动,所以增大气孔开度从外界吸收 CO<sub>2</sub> 进行光合作用生产 H<sub>2</sub>O。

随着干旱胁迫的增加,栅栏组织增厚、海绵组织减小、栅海比增大是典型的耐旱植物特征,栅海比越大其抗旱能力越强<sup>[13]</sup>。本试验中,胁迫处理第 12 天耬斗菜栅栏组织厚度显著增大,海绵组织厚度显著减小,栅海比增大,符合这一特征。

叶片主脉维管束直径变大,有利于将足量的水分运输至叶片维持生命活动<sup>[12]</sup>。本试验中叶片维管束直径虽然在增

10%、20% PEG 处理的耬斗菜栅海比差异不显著,40%、30%与 10%、20% PEG 处理组相比栅海比显著增加,40%与 30%PEG 处理组相比栅海比显著增加。

2.3 干旱胁迫对耬斗菜叶片主脉维管束直径的影响

从表 7 可以看出,PEG 模拟干旱胁迫对耬斗菜叶片主脉维管束直径无显著影响。

大但没有显著变化,可能是因为叶片取材为老叶且取材植株间存在差异,导致本试验中所得到的数据显示,耬斗菜叶片维管束直径没有显著变化。

参考文献:

[1] Nold R. Columbinces: *Aquilegia*, *Paraquilegia*, and *Semiaquilegia* [M]. Cambridge: Timber Press, 2003: 90 – 91.

[2] 刘 燕. 园林花卉学 [M]. 3 版. 北京: 中国林业出版社, 2016: 166 – 167.

[3] 陈四保, 王立为, 杨峻山, 等. 耬斗菜族药用植物化学成分及资源利用概况 [J]. 中草药, 2001, 32(11): 附 3 – 附 5.

[4] 刘 球, 李志辉, 吴际友. 干旱胁迫对植物叶片解剖结构影响研究进展 [J]. 农业科学与技术 (英文版), 2016, 17(1): 4 – 7, 14.

[5] 李芳兰, 包维楷. 植物叶片形态解剖结构对环境变化的响应与适应 [J]. 植物学通报, 2005, 22(增刊 1): 118 – 127.

[6] 李 森, 袁晓娜, 侯非凡, 等. 华北耬斗菜 (*Aquilegia yabeana* Kitag) 的引种驯化及耐旱性评价 [J]. 河北农业大学学报, 2015, 38(2): 48 – 52, 71.

[7] 张彦妮, 李 博, 何 森. PEG 干旱胁迫对大花飞燕草幼苗生理特性的影响 [J]. 草业科学, 2013, 31(3): 446 – 450.

[8] 郭爱华, 杨 阳, 史晓霞. 光照强度对华北耬斗菜叶片解剖结构的影响 [J]. 农业与技术, 2016, 36(20): 252.

[9] 陈 阳, 陈雅君, 周 阳, 等. 三叶草不同品种茎结构特征与抗旱性的关系 [J]. 草地学报, 2012, 20(4): 686 – 691.

[10] 杨 阳, 亢秀萍. 耬斗菜花芽分化及发育的初步研究 [J]. 山西农业大学学报 (自然科学版), 2015(5): 474 – 477, 513.

[11] 陈雅君, 冯淑华, 陈桂芬. 植物抗旱性鉴定指标的研究现状与进展 [J]. 中国林副特产, 2005(6): 62 – 63.

[12] 吴建慧, 郭 瑶, 赵倩竹, 等. 干旱胁迫对绢毛委陵菜叶片解剖结构和生理指标的影响 [J]. 草业科学, 2012, 29(8): 1229 – 1234.

[13] 李中华, 刘进平, 谷海磊, 等. 干旱胁迫对植物气孔特性影响研究进展 [J]. 亚热带植物科学, 2016, 45(2): 195 – 200.