

水分条件对锥连栎种子萌发及幼苗早期生长的影响

刘方炎^{1,2}, 张志翔¹, 王小庆², 张鑫¹, 李昆^{2*}, 孙永玉²

(1. 北京林业大学林木育种国家工程实验室, 林木花卉遗传育种教育部重点实验室, 国家林业局自然保护区研究与评价中心, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 国家林业局元谋荒漠生态系统定位观测站, 昆明 650224)

摘要: 对锥连栎(*Quercus franchetii* Skan)在4种施水量下的种子萌发、幼苗早期生长形态及生物量分配的响应特征进行了研究。结果表明,施水量对锥连栎的种子萌发过程具有显著影响。随着施水量增加,其种子萌发率、萌发指数以及萌发时间和萌发持续时间均呈明显的上升趋势,而萌发时滞和萌发速率系数呈下降趋势。锥连栎幼苗早期生长对施水量的适应幅度较大,每次施水4~12 mm时,幼苗均能存活,但生长状况存在明显差异,随着施水量的减少,幼苗生长和生物量的积累速度均出现显著减缓。同时,施水量对锥连栎幼苗生物量分配具有显著影响,随着施水量增加,幼苗根冠比呈显著下降趋势,表明在生物量分配上锥连栎幼苗具有极大的可塑性,施水量减少时,光合产物将向地下部分迁移,增加根冠比。

关键词: 干热河谷; 锥连栎; 施水量; 种子萌发; 幼苗生长

中图分类号: Q945.34

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2011)02-0105-08

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2011.02.002

Effects of Water Supply on Seed Germination and Early Seedling Growth of *Quercus franchetii*

LIU Fang-yan^{1,2}, ZHANG Zhi-xiang¹, WANG Xiao-qing²,
ZHANG Xing¹, LI Kun^{2*}, SUN Yong-yu²

(1. National Engineering Laboratory for Tree Breeding, Key Laboratory for Genetics and Breeding of Forest Trees and Ornamental Plants of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Nature Reserve Research and Assessment Center of State Forestry Administration, Beijing 100083, China; 2. Desert Ecosystem Station in Yuanmou County, State Forestry Administration of China, Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China)

Abstract: The effects of water supply on seed germination, seedling morphology, and biomass allocation of *Quercus franchetii* were studied. The results showed that water supply affected significantly the seed germination of *Q. franchetii*. With increment of water supply, the germination rate, germination index, germination time, and germination duration of seeds increased, but germination time lag and coefficient of germination rate decreased. All of seedlings could survive under water supply of 4–12 mm per times. However, the accruments of seedling growth and biomass accumulation rate of *Q. franchetii* reduced with decreasing water supply. Meantime, water supply level had significant effects on biomass allocation of seedlings. The ratio of root-to-shoot of seedlings declined substantially with increment of water supply. Under low water supply, seedlings could transport photosynthates from leaves to belowground for increasing root-to-shoot ratio.

Key words: Dry-hot valley; *Quercus franchetii*; Water supply; Seed germination; Seedling growth

收稿日期: 2010-07-27

接受日期: 2010-11-01

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD04; 2006BAD03A03)资助

作者简介: 刘方炎(1977~), 男, 湖北荆门人, 博士研究生, 主要从事生态脆弱区植被恢复、野生植物保护与利用等方面的研究,
email: lfyan701@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, email: caflikun@163.com

种子萌发和幼苗的早期生长阶段是植物繁衍的关键时期,受到多种环境因子,如光照、温度、水分以及土壤营养物质等的影响^[1-3]。植物种子萌发和幼苗早期生长状况最能反映环境因子的变化状况,以及植物对环境的适应能力。水分是植物体重要的组成物质,也是植物生理代谢活动的基础物质,水分是种子萌发、幼苗生长发育和存活等最为关键的因子。干热河谷地区,由于降雨量和蒸发量间的巨大差异导致干燥度极大,降水的季节性分配不均,常常出现漫长的旱季干旱和雨季间歇性干旱,从而使植物长期处于干旱状态^[4-5]。因此,水是影响该地区植物种子萌发和幼苗生长的最大限制因子,而光照、温度等的影响相对较小。

元谋干热河谷区位于金沙江流域中下游,属于半干旱气候类型区。由于恶劣的气候环境和强烈的人为干扰,天然植被受到了严重破坏。锥连栎(*Quercus franchetii* Skan)为壳斗科(Fagaceae)栎属常绿乔木,高可达 15 m,产于我国云南、四川,常生长于海拔 800~2600 m 的山地,是金沙江干热河谷区常绿阔叶林的代表类型,也是干热河谷区主要乔木树种之一。锥连栎为天然植被中主要的建群种之一,其种子萌发和幼苗早期生长关系到天然植被的更新。目前,有关锥连栎种子萌发和幼苗早期生长对水分的响应特征,以及幼苗早期生长过程中的生物量分配等报道较少。本研究以元谋干热河谷天然植被中锥连栎种子为材料,采用人工控制施水量的方法进行种子萌发和幼苗早期生长模拟研究,探讨锥连栎种子萌发和幼苗早期生长对水分条件的响应和差异,以了解锥连栎的种子萌发、幼苗生长及生物量分配的规律,为干热河谷区利用乡土树种进行植被恢复和生态治理提供依据和参考。

1 研究地概况

本研究地点设在国家林业局元谋荒漠生态系统定位观测站,位于 25°40′11″N, 101°51′47″E, 海拔 1120 m。该地处于金沙江干热河谷区,区域内年均温 21.9℃,最热月均温 28.5℃(6 月),最冷月均温 15.9℃(12 月),≥10℃的年积温为 8552.7℃,年均降雨量 615.1 mm,其中,94.6%的降雨集中在 5-10 月,75%的降雨集中在 6-9 月*。7 个月以上的旱季降水不足年降水量的 20%。特别是 4-5 月旱季

末期,气温高,蒸发强烈(如 2008 年 4 月和 5 月的蒸发总量为 352.2 mm,而同期降雨量仅为 79.8 mm),土壤严重干旱,极不利于植物生长。

2 材料和方法

2.1 材料

本研究所有实验均在观测站实验大棚内完成,实验期间将大棚两侧塑料薄膜卷起,以保持大棚内外空气流通,从而使温、湿度等气象因子尽可能不受大棚环境的影响。大棚内白天/夜晚平均气温约为 31℃/15℃,相对湿度为 40%~75%。

锥连栎(*Quercus franchetii* Skan)成熟种子于 2009 年 10 月采自元谋干热河谷的成年植株。采集后装入塑料网袋中置于观测站实验室内,通风良好,两周以后开始相关实验。

2.2 施水量的设置

元谋干热河谷区锥连栎种子成熟时期为每年 9-10 月,正值雨季即将结束旱季来临之时,降雨量已很少。以当地 9-11 月多年的平均降雨量(174.6 mm)及翌年雨季初期(5-7 月)多年平均降雨量(336.3 mm)为基础设立施水量梯度,共设置 4 个水平,即稀少(120 mm)、正常(180 mm)、充足(240 mm)和极充足(360 mm)。每种施水量的总施水次数相同,且每次施水均在同一天的 17:00-18:00。每隔 2 d 施水 1 次,每次施水量分别约为 4 mm、6 mm、8 mm 和 12 mm。锥连栎种子萌发与幼苗早期生长实验均在直径 18 cm,深 14 cm 的塑料钵中进行,因此,具体施水量换算后,4 个梯度的施水量分别约为 102 mL、153 mL、203 mL 和 305 mL,施水时用烧杯量取,均匀施于塑料钵内的土壤表面。种子萌发实验以连续两周不再有种子萌发结束。幼苗早期生长实验共施水 30 次,培养 90 d(从 2009 年 11 月 2 日至 2010 年 1 月 31 日)。为了确定不同处理间土壤水分含量差异,每次施水前用 TDR200 表层土壤水分速测仪对盆底土壤水分含量进行测量。在整个种子萌发期间,4 个施水量处理的平均土壤水分含量分别约为 6.6%、9.1%、13.7% 和 16.2%;而幼苗生长期间的土壤平均含水量分别约为 4.8%、6.1%、10.3% 和 14.1%。

2.3 种子萌发实验

种子播种于塑料钵中,每盆播种 30 粒,播种

* 数据统计引自云南省气象局 1956-1996 年气象资料。

时种子平放,覆土厚 30 mm,土壤取自元谋荒漠生态系统观测站附近山坡。种子萌发以幼苗第 1 对真叶出现作为萌发标准^[6],每天 8:00 左右观察记录种子萌发情况,并拔出萌发的种子。计算种子的平均萌发时间、萌发率(germination rate, GP)、萌发指数(germination index, GI)、萌发速率系数(coefficient of germination rate, CGR)、萌发时滞(germination time lag)和萌发持续时间(germination duration)。

平均萌发时间 = $\sum (Di \times Ai) / \sum Ai$, 式中 Di 为种子萌发天数, Ai 为种子萌发数;

萌发率 $GP = \text{萌发种子数} / \text{种子总数} \times 100\%$;

萌发指数 $GI = \sum Gt / Dt$, 式中 Gt 为第 t 日的种子萌发数, Dt 为萌发天数;

萌发速率系数 $CGR = [\sum (t \times n) / \sum n] \times 100$, 式中 t 为萌发实验的天数; n 为 t 天内萌发的种子数;

萌发时滞,即开始萌发的时间,就是第 1 粒种子萌发所需时间;

萌发持续时间是指萌发实验持续的时间。

每个水分梯度设置 5 个重复处理。

2.4 幼苗早期生长实验

锥连栎幼苗早期生长实验采用当年产种子萌发的实生苗进行。2009 年 10 月 17 日选取生长良好、大小一致(苗高约 5~7 cm,具 2 枚子叶)的幼苗 60 株,随机分成 4 组,每组各 15 株,并将每组幼苗分别植入 5 个塑料钵中,每钵植 3 株幼苗。即 4 个水分梯度,每一梯度设置 5 个钵(重复),每钵种

植 3 株幼苗。土壤取自观测站附近山坡,统一浇水定植培养约两周后,开始实验。

2010 年 1 月 31 日实验结束时,所有幼苗均存活。2010 年 2 月 2 日,从每组处理中随机选取 12 株幼苗测量、记录其株高(seedling height, SH)、基径(basal diameter, BSD)、萌枝数(branch number, BN)、叶片数(leaf number, LN)。并将幼苗小心挖出洗净后,测量主根长(main root length, TRL)、最大叶片长(the biggest leaf length, LL)、叶面积(leaf area, LA)以及单株叶面积(total leaf area, TLA)。幼苗叶面积采用便携式激光叶面积仪 AM-300 测量,由于单株叶片数较少,单株叶面积为所有叶片叶面积的总和。最后,将幼苗的根、茎(含叶柄)和叶片分别在 85℃ 烘箱中烘干 48 h 后称量,并计算幼苗总干质量(total dry mass, TDM)、根冠比和比叶面积(specific leaf area, SLA)(比叶面积 = 叶片面积/叶片干质量)^[7-10]。

2.5 数据分析

实验结果用 SPSS11.5 的单因子方差分析方法进行差异性分析,用 LSD 多重比较对处理间进行比较分析。

3 结果和分析

3.1 不同施水量对种子萌发的影响

从图 1、图 2 可以看出,锥连栎种子在不同施水量条件下均能萌发,且种子萌发率以第 57 至 85 天增长最快,不同施水量条件下的种子萌发率、萌

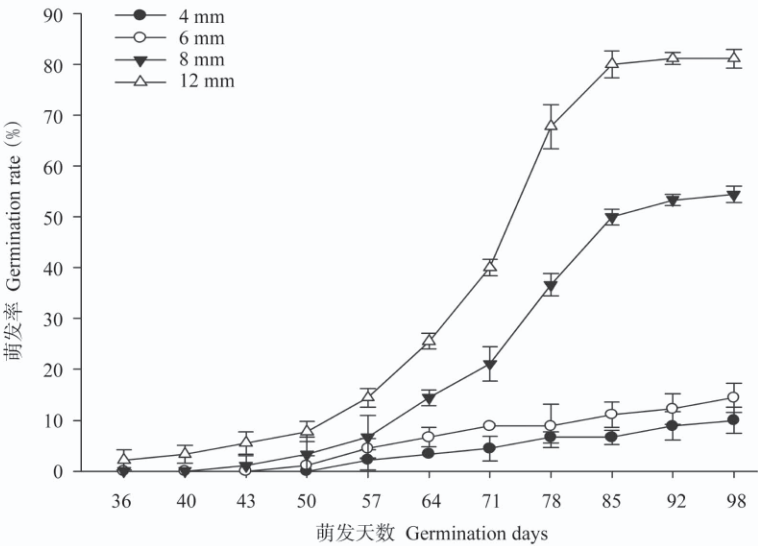


图 1 施水量对锥连栎种子萌发的影响

Fig. 1 Effect of water supply on seed germination rate of *Quercus franchetii*

发指数、萌发时滞以及萌发速率系数等均差异显著 ($P<0.05$)。锥连栎种子萌发率随着施水量的增加快速上升,施水量稀少(4 mm)的种子萌发率仅为 10.1%,而当施水量极充足(12 mm)时可达 81.1%;萌发指数也是随施水量增加呈快速上升趋势,施水

量稀少时仅为 0.13,而施水量极充足时可达 1.12;施水量稀少时萌发时滞最长(51 d),随施水量增加逐渐缩短,施水量极充足时 36 d 即能萌发;萌发速率系数随施水量增加逐渐减小,施水量稀少时最大,极充足时最小,为 7874.1。

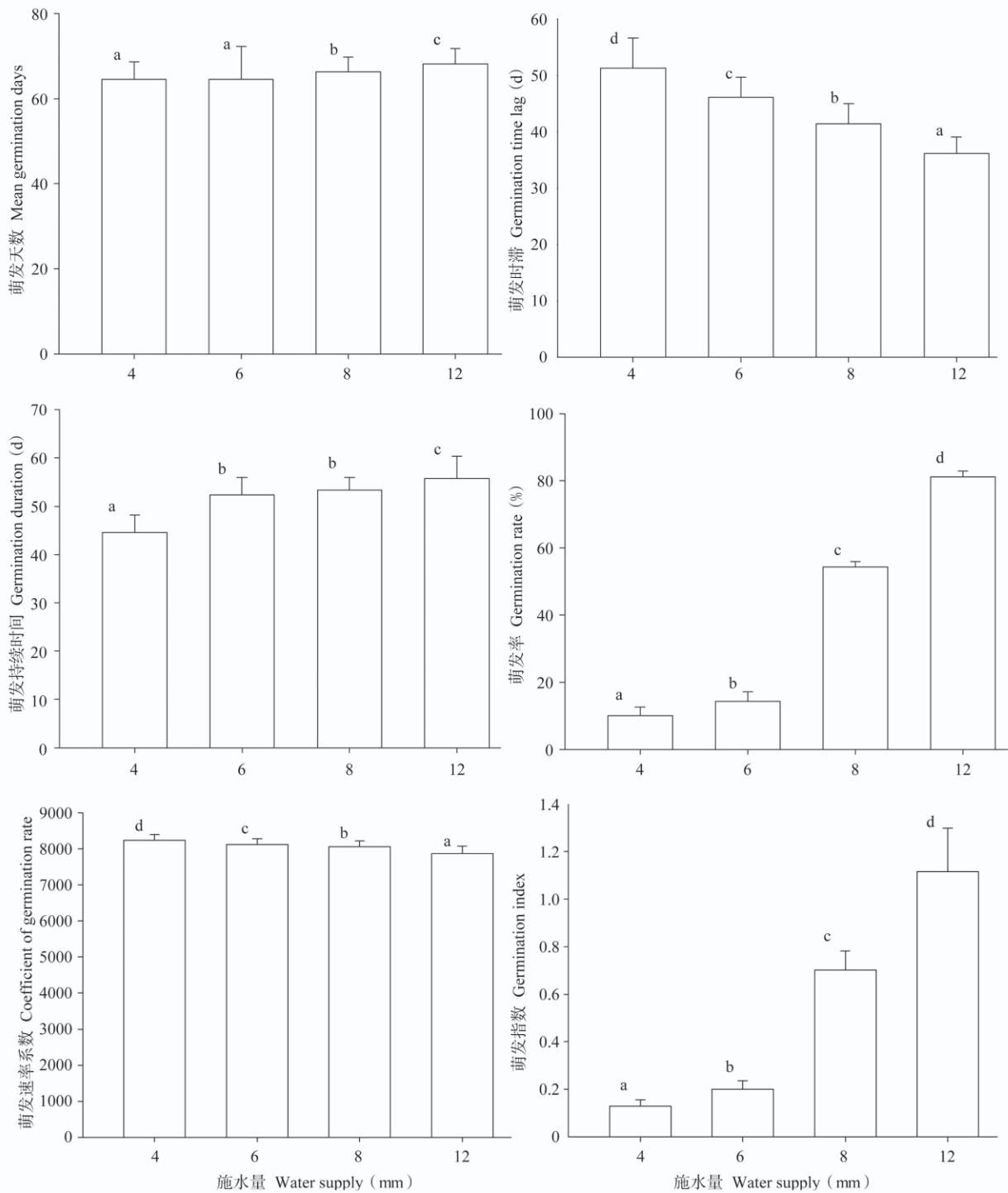


图 2 不同施水量对锥连栎种子萌发特征参数的影响

Fig. 2 Effect of water supply on parameters of germination characters of *Quercus franchetii*

柱上不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。Different letters above bars present significant difference at 0.05 level.

锥连栎种子的平均萌发时间和持续萌发时间在不同施水量间差异明显。平均萌发时间随施水量增加逐渐延长,施水量稀少和正常间不存在显著差异,而施水量充足和极充足时差异显著;萌发持续时间也随着施水量增加逐渐延长,施水量正常(6 mm)和充足(8 mm)间没有显著差异,其它处理间差异显著。可见,施水量能显著影响锥连栎种子萌发。

3.2 不同施水量对幼苗生长的影响

从表 1、表 2 可以看出,不同施水量下,锥连栎幼苗的株高、基径、主根长、萌枝数、叶片数以及最大叶片长度等均有较大差异,且随施水量的增加均呈现不同程度的增加。方差分析表明,不同施水量下幼苗株高、主根长、叶片数以及最大叶片长度均有显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)差异,而基径和萌枝数没有显著差异($P>0.05$)。可见,增加施水量可以显著促进锥连栎幼苗早期生长,包括株高、主根长、叶片数以及最大叶片长度等,但对其基径、萌枝数等的促进作用较小。同时,随着施水量的增加

幼苗单株叶面积和比叶面积均增加,方差分析和 LSD 多重分析结果表明,不同施水量下锥连栎幼苗的单株叶面积和比叶面积均存在显著差异($P<0.05$)。

3.3 不同施水量对生物量分配的影响

随着施水量的增加,锥连栎幼苗的茎、根、叶片、地上部分以及全株生物量干重均有不同程度的增加(表 3、4)。方差分析和 LSD 多重比较结果表明,不同施水量之间的生物量特征表现出显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)差异,说明幼苗的生物量受到施水量的显著影响。根冠比表明了植物地上部分与地下部分生物量的分配特征,反映了植物对环境变化的适应能力。从表 3 可以看出,锥连栎幼苗的根冠比随施水量增加明显减少,方差分析和 LSD 多重比较表明,不同施水量间差异极为显著($P<0.01$),说明锥连栎幼苗在受到水分胁迫时,为了从土壤中获得更多的水分和营养物质,减少了地上部分干物质的积累,把更多的资源分配到根系上,这与其它植物的研究结果^[11-12]一致。

表 1 不同施水量对锥连栎幼苗生长的影响

Table 1 Effect of water supply on seedling growth of *Q. franchetii*

	施水量 Water supply (mm)			
	4	6	8	12
株高 Height (cm)	17 ± 4.362a	19.85 ± 2.316b	21.69 ± 5.243b	28.04 ± 9.899c
基径 Basal diameter (mm)	1.545 ± 0.245a	1.562 ± 0.295a	1.586 ± 0.300a	1.628 ± 0.215b
主根长 Main root length of (cm)	8.585 ± 2.690a	9.04 ± 2.038a	9.74 ± 7.331b	10.79 ± 3.084c
萌枝数 Respouting number	0 ± 0a	0 ± 0a	0.2 ± 0.447a	0.2 ± 0.447a
叶片数 Leaf number	5.2 ± 0.918a	5.714 ± 2.497b	7.1 ± 2.846c	10.4 ± 3.577d
最大叶片长 The biggest leaf length (mm)	27.4 ± 9.569a	27.471 ± 7.439a	31.32 ± 6.482b	33.28 ± 7.868c
单株叶面积 Total leaf area (mm ²)	791.8 ± 758.5a	1113.6 ± 404.2b	1887.6 ± 618.8c	3688.9 ± 1454.9d
比叶面积 Specific leaf area (m ² kg ⁻¹)	7.68 ± 1.14a	9.28 ± 1.94b	11.44 ± 3.18c	12.59 ± 1.68d

同行数据后不同字母表示差异显著。Data followed different letters within lines present significant difference at 0.05 level.

表 2 不同施水量下锥连栎幼苗形态特征的单因素方差分析

Table 2 One-way ANOVA analysis on seedling morphological characters in different water supply

变量 Variance	组间自 由度 df	组间均方差 MS	组内自 由度 df	组内均方差 MS	F	P
株高 Height	3	247.467	36	34.868	7.097	**
基径 Basal diameter	3	0.055	36	0.07	0.782	NS
主根长 Main root length	3	43.877	36	16.515	2.505	*
萌枝数 Respouting number	3	0.048	36	0.095	0.500	NS
叶片数 Leaf number	3	53.958	36	6.374	8.501	**
最大叶片长 The biggest leaf length	3	100.092	36	58.576	1.709	*
单株叶面积 Total leaf area	3	9185159.425	36	713237.325	12.88	**
比叶面积 Specific leaf area	3	13.7	36	4.003	4.173	**

NS: $P>0.05$; *: $P<0.05$; **: $P<0.01$.

表 3 不同施水量对锥连栎幼苗生物量分配的影响

Table 3 Effect of water supply on seedling dry biomass allocation of *Q. franchetii*

生物量 Biomass (g)	施水量 Water supply (mm)			
	4	6	8	12
茎 Stem (g)	0.043 ± 0.015a	0.066 ± 0.026b	0.081 ± 0.028c	0.119 ± 0.066d
根 Root (g)	0.167 ± 0.028a	0.174 ± 0.028a	0.185 ± 0.038b	0.200 ± 0.050c
叶片 Leaf (g)	0.103 ± 0.074a	0.120 ± 0.061b	0.165 ± 0.045c	0.293 ± 0.164d
地上部分 Aerial part (g)	0.146 ± 0.093a	0.186 ± 0.049b	0.246 ± 0.075c	0.413 ± 0.224d
总干重 Total dry weight (g)	0.314 ± 0.119a	0.360 ± 0.101b	0.431 ± 0.086c	0.613 ± 0.272d
根冠比 Roots/shoot	1.143 ± 0.094a	0.935 ± 0.102b	0.752 ± 0.060c	0.484 ± 0.099d

同行数据后不同字母表示差异显著。Data followed different letters within lines present significant difference at 0.05 level.

表 4 不同施水量下锥连栎幼苗生物量分配差异的单因素方差分析

Table 4 One-way ANOVA analysis on seedling dry biomass allocation of *Q. franchetii* in different water supply

变量 Variance	组间自由度	组间均方差	组内自由度	组内均方差	<i>F</i>	<i>P</i>
	df	MS	df	MS		
茎重 Stem weight	3	0.006	36	0.001	4.996	**
根重 Root weight	3	0.005	36	0.001	3.482	*
叶片重 Leaf weight	3	0.088	36	0.008	10.33	**
地上部分 Aerial part weight	3	0.159	36	0.015	10.6	**
总干重 Total dry weight	3	0.209	36	0.024	8.723	**
根冠比 Root/shoot	3	0.084	36	0.008	10.93	**

P > 0.05; * : *P* < 0.05; ** : *P* < 0.01.

4 讨论

锥连栎林是元谋干热河谷重要天然植被类型之一。本研究结果表明,不同施水量下种子均能萌发,但萌发特征有显著差异。实验所用种子均为从树上采集的成熟种子,说明锥连栎种子萌发不存在休眠期,凋落以后只要有适宜的环境条件,尤其是水分条件即能迅速萌发。这与栎属植物的种子萌发特征一致^[13]。随着施水量的增加,种子萌发率、萌发指数以及萌发时间和萌发持续时间均呈上升趋势,而萌发时滞和萌发速率系数呈下降趋势。表明水分明显影响锥连栎种子的萌发特征。元谋干热河谷降雨极为稀少,且干湿季分明,干季(11月至翌年5月)降雨仅为全年的8%左右。而锥连栎种子成熟期约在9月中旬左右,9月底10月初开始凋落,此时雨季即将结束,紧接着长达7个月的旱季,即锥连栎种子凋落时已经面临干旱胁迫。本研究的正常施水量处理为元谋干热河谷9月至11月间多年的平均降水量,正常和稀少施水量时的种子萌发率分别为14.4%和10.1%,而萌发开始时间(萌发时滞)分别为46.1 d和51.3 d,而野外环境中还受其它因素的影响,种子萌发率可能更低,但实际调

查可见,锥连栎天然林下幼苗还是大量存在的。由此可推测,锥连栎种子大量萌发并不是在种子凋落后的几个月发生的,而是在第二年雨季来临时开始的。栎属植物种子中含有大量的淀粉等物质,容易被动物,尤其是小型啮齿类动物啃食,在长期的环境适应过程中,植物为了避免种子数量损失形成了一种凋落即开始萌发的适应性机制^[14-16]。由于干热河谷环境极为特殊,原生植被已不复存在了,现有的天然植被均是受到严重干扰后形成的次生林。有研究表明,在原生林中栓皮栎(*Quercus variabilis*)受到的捕食压力很大,基本没有发现有活力的种子,而次生林中相对较好,少量有活力的种子能够存留在落叶层中^[14]。因此,恶劣环境下以种子为食的动物数量相对较少,种子凋落以后受到动物取食破坏的数量也较少,大量种子能够顺利地进入土壤种子库可能是其雨季大量萌发的重要原因之一。

本研究表明,锥连栎幼苗在不同施水量条件下均能存活,表明锥连栎幼苗的生长对水分的适应性较强,它既能在极干旱的环境中存活,也能在较湿润的环境下生长,生态适应性极强。这与锥连栎植被分布区的气候环境正好吻合,且较好地解释了其天然植被既能分布在干旱的河谷区域,也能分布在

较湿润的滇中高原地区,还可成为其它森林植被的下层植物或与其它种类混交,能够在生态条件差异极大的地区出现。但幼苗在不同水分条件下的生长状况存在较大差异,株高、基径、根系长、萌枝数、叶片数、叶片长度、叶面积、比叶面积以及地上、地下部分生物量等均随施水量的减少呈下降趋势,表明锥连栎幼苗生长在较低施水量下虽然没有完全受到抑制,但也显著影响了其生物量的积累速度。生物量是植物生长最主要的参数之一,在研究水分变化对植物生物量积累的影响时首先应关注植物各部分之间干物质的产生和分配^[12]。对许多旱生植物来说,当可用资源受到限制时,植物会通过调节地上、地下生物量资源投资来适应环境变化^[11,21]。锥连栎幼苗在早期生长过程中,随着施水量的增加,各器官以及植株总干重均呈快速增长趋势,但其根冠比则呈显著减小的趋势,表明锥连栎幼苗在受到水分胁迫时,在生物量的分配具有极大的可塑性,在较高施水量下,幼苗将较多资源投入到了地上部分的生长,以加快光合作用积累更多的物质;而在低施水量下,将更多的资源投到了地下根系的生长以保证其能够顺利度过水分胁迫时的困境。根冠比是植物在环境因子的作用下,通过自我适应、自我调节过程的最终表现,是植物地上/地下生物量光合产物分配关系的体现,同时也是植物对立地环境适应状况的重要指示^[17],其在一定程度上反映了植物应对不同环境条件的生存策略。当锥连栎幼苗根部土壤水分含量降低时,其主动将光合有机物质较多地输送到根系,以加速根系的生长,从而使根系扩大吸水面积,提高竞争力。这与沙漠植物梭梭(*Haloxylon ammodendron*)幼苗在水分胁迫下光合产物向地下部分迁移,使地下部分的分配比例增加,最终改变了幼苗光合产物的分配格局,增加根冠比的结果^[18]一致。

叶片是植物进行光合作用的重要场所。通常,相对植物其它器官来说,叶片形态特征,如叶片大小和厚度等更容易受到环境因子变化的影响^[12]。叶面积、比叶面积是反映植物叶片结构形态特征的重要指标,它揭示了植物一些重要的生态特点。水分条件相对丰富的环境中,植物获得水分的机会多且容易,植物叶面积和比叶面积就越大,而水分条件减少时就相对较小^[19-20,22]。较大的叶片面积有利于捕获更多的光能,使植物具有更快生长速度的可能性^[9,23]。但较大的叶面积同时也会导致蒸腾量加

大,从而增加幼苗对土壤水分的吸收量。本研究表明中,施水量减少,锥连栎幼苗总叶面积和比叶面积也急剧减少,应是其减少对土壤水分吸收,适应干旱环境的一种积极的生态策略,这与沙柳(*Salix psammophila*)、杨柴(*Astragalus mongolicum*)等许多荒漠地区植物^[12]极为相似。但与沙漠旱生植物相比,锥连栎幼苗在应对土壤水分变化时也表现出了较大的差异。锥连栎幼苗尽管具有大量旱生特征,如叶片革质、具绒毛等,但在土壤水分变化时,其叶片形态特征仍然受到了显著影响。这就与沙漠旱生植物柠条(*Caragana intermedia*)有较大不同,柠条具有明显的旱生结构特征,如叶片小、具绒毛等,其幼苗生长并没有受到土壤水分变化的明显影响^[12]。因此,锥连栎的这种对干旱的适应方式可能是其幼苗在受到水分胁迫时,通过加强叶片的旱生结构特征,阻碍水分丢失,进而减少对土壤中水分的吸收,并有效利用土壤中有限的水资源。栓皮栎叶片的形态特征随生态环境而变化,旱生环境中,其叶片表现出偏向旱生植物叶的结构特征,而湿润环境中,则表现出偏向水生植物叶的特征^[24]。锥连栎的叶片是否具有类似特征还有待进一步研究,这也能很好地解释当施水量提高3倍时,其幼苗叶片数、叶面积以及叶片干重等特征仍得到了显著提高,并没出现生长受抑制的现象。

参考文献

- [1] Schupp E W. Seed-seedling conflicts, habitat choice, and patterns of plant recruitment [J]. Amer J Bot, 1995, 82(3): 399-409.
- [2] Russell S K, Schupp E W. Effects of microhabitat patchiness on patterns of seed dispersal and seed predation of *Cercocarpus ledifolius* (Rosaceae) [J]. Oikos, 1998, 81(3): 434-443.
- [3] Wen B(文彬), Lan Q Y(兰芹英), He H Y(何惠英). Effects of illumination, temperature and soil moisture content on seed germination of *Hopea hainanensis* [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 2002, 10(3): 258-262.(in Chinese)
- [4] Chai Z X(柴宗新), Fan J R(范建容). Study on the restoration of vegetation in Arid-hot Valleys along the Jinshajiang River [J]. J Mount Sci(山地学报), 2001, 19(4): 381-384.(in Chinese)
- [5] Huang C M(黄成敏), He Y R(何毓蓉). Evaluation on soil drought assistant of Dry-hot Valley, Yuanmou County, Yunnan Province [J]. J Mount Res(山地研究), 1995, 13(2): 79-84.(in Chinese)
- [6] Pammenter N W, Farrant J M, Berjak P. Recalcitrant seeds: Short-term storage effects in *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. may be germination-associated [J]. Ann Bot, 1984, 54(6): 843-846.
- [7] Zhang F J(张凤娟), Li J Q(李继泉), Xu X Y(徐兴友), et al. Influence of environmental factors on seed germination of *Flavera bidentis* (L.) Kuntze [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2009, 29(4):

- 1947–1953.(in Chinese)
- [8] Yan X F(闫兴富), Cao M(曹敏), Effects of light intensity on seed germination and seedling early growth of *Shorea wantianshuae* [J]. Chin J Appl Ecol(应用生态学报), 2007, 18(1): 23–29.(in Chinese)
- [9] Li X R(李轩然), Liu Q J(刘琪璟), Cai Z(蔡哲), et al. Specific leaf area and leaf area index of conifer plantations in Qianyanzhou Station of subtropical China [J]. Acta Phytoecol Sin(植物生态学报), 2007, 31(1): 93–101.(in Chinese)
- [10] Zhang Z S(张志胜), Dorna Ha. The effects of ABA priming on germination of *Matthiola bicornis* seeds [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 2005, 13(3): 224–228.(in Chinese)
- [11] Wu J R(吴锦容), Zhao H B(赵厚本), Pan W Y(潘浣钰). Effects of soil water regimes on the growth of the exotic invasive plant: *Chromolaena odorata* [J]. Ecol Environ(生态环境), 2007, 16(3): 935–938.(in Chinese)
- [12] Xiao C W(肖春旺), Zhou G S(周广胜), Ma F Y(马风云). Effect of water supply change on morphology and growth of dominant plants in Maowusu sandland [J]. Acta Phytoecol Sin(植物生态学报), 2002, 26(1): 69–76.(in Chinese)
- [13] Fox J F. Adaptation of gray squirrel behavior to autumn germination by white oak acorns [J]. Evolution, 1982, 36(4): 800–809.
- [14] Xiao Z S(肖治术), Wang Y S(王玉山), Zhang Z B(张知彬). Seed bank and the factors influencing it for three Fagaceae species in Dujiangyan Region, Sichuan [J]. Biodiv Sci(生物多样性), 2001, 9(4): 373–381.(in Chinese)
- [15] Sun S C(孙书存), Chen L Z(陈灵芝). Establishment and spatial distribution of *Quercus liaotungensis* Koidz. seedlings in Dongling Mountain [J]. Acta Phytoecol Sin(植物生态学报), 2000, 24(2): 215–221.(in Chinese)
- [16] Crawley M J, Long C R. Alternate bearing, predator satiation and seedling recruitment in *Quercus robur* L. [J]. J Ecol, 1995, 83: 683–696.
- [17] Wang F X(王凤仙), Chen Y(陈研), Li Y Z(李韵珠). Use and management of soil water and nitrogen resources II. The simulation of use, loss and annual use efficiency of soil water and nitrogen resources [J]. Plant Nutr Fert Sci(植物营养与肥料学报), 1999, 5(4): 297–306.(in Chinese)
- [18] Shan L S(单立山), Zhang X M(张希明), Wang Y K(王有科), et al. The effects of water condition on growth and biomass allocation of plant seedlings of highway protective forest in Tarim Desert [J]. Chin Sci Bull(科学通报), 2008, 53(Suppl.): 82–88.(in Chinese)
- [19] Schulze E, Kelliher F M, Korner C, et al. Relationships among maximum stomatal conductance, ecosystem surface conductance, carbon assimilation rate, and plant nitrogen nutrition: A global ecology scaling exercise [J]. Ann Rev Ecol Syst, 1994, 25: 629–662.
- [20] Garnier E, Laurent G, Bellmann A, et al. Consistency of species ranking based on functional leaf traits [J]. New Phytol, 2001, 152(1): 69–83.
- [21] Wright I J, Westoby M. Cross-species relationships between seedling relative growth rate, nitrogen productivity and root vs. leaf function in 28 Australian woody species [J]. Funct Ecol, 2000, 14(1): 97–107.
- [22] Dong M(董鸣), Alatang B(阿拉腾宝). Genet features and ramet population features in the rhizomatous grass species *Psammodloa villosa* [J]. Acta Phytoecol Sin(植物生态学报), 1999, 23(4): 302–310.(in Chinese)
- [23] Shipley B. Trade-offs between net assimilation rate and specific leaf area in determining relative growth rate: Relationship with daily irradiance [J]. Funct Ecol, 2002, 16(5): 682–689.
- [24] Wang J Z(王金照), Zhang W H(张文辉). The research on form dissecting of *Quercus variabilis* leaf in different habitats [J]. J NW For Univ(西北林学院学报), 2004, 19(2): 44–46.(in Chinese)