

光照和土壤环境因子对羊角槭开花结实的影响

陈香波^{1,2}, 刘杨^{1,2,3}, 赵明水⁴, 吕秀立^{1,2}, 涂淑萍³

(1. 上海市园林科学规划研究院, 上海 200232; 2. 上海城市困难立地绿化工程技术研究中心, 上海 200232;
3. 江西农业大学园林与艺术学院, 江西 南昌 330045; 4. 浙江天目山自然保护区管理局, 浙江 杭州 311300)

摘要: 对浙江天目山国家级自然保护区人工栽植的羊角槭 *Acer yanjuechi* 进行了光照与土壤生境因子调查分析, 研究生境因子对其开花结实的影响, 为制定羊角槭人工栽植保护策略提供科学依据。结果表明, 各栽植地土壤理化因子变幅较大, 其中有机质含量为 52.24 ~ 217.25 g·kg⁻¹、碱解氮含量为 170.82 ~ 573.41 mg·kg⁻¹、有效磷含量为 7.85 ~ 20.25 mg·kg⁻¹、速效钾含量为 140 ~ 450 mg·kg⁻¹, 土壤电导率为 0.38 ~ 0.99 ms·cm⁻¹, pH 值为 4.7 ~ 7.1; 光照与土壤养分对羊角槭的生长发育与开花结实有一定的影响, 在阳光充足、土壤有机质含量高、速效养分丰富的地点羊角槭长势好、开花结实较多且种子饱满率较高, 有利于羊角槭种群的自然更新与生长发育。

关键词: 羊角槭; 土壤养分; pH; 生境条件; 结实

中图分类号: S718.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3776 (2021) 05-0090-05

Influence of Environmental Factors on the Growth and Seed Setting of *Acer yanjuechi*

CHEN Xiang-bo^{1,2}, LIU Yang^{1,2,3}, ZHAO Ming-shui⁴, LV Xiu-li^{1,2}, TU Shu-ping³

(1. Shanghai Academy of Landscape Architecture Science and Planning, Shanghai 200232, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Landscaping on Challenging Urban Sites, Shanghai 200232, China; 3. College of Landscape Architecture and Art, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045; 4. Management Office, National Nature Reserve of Tianmu Mountain, Hangzhou 311300)

Abstract: To provide scientific basis for the conservation of extremely endangered plants, *Acer yanjuechi*, the light and soil conditions of trees planted in Nature Reserve of Tianmu Mountain were investigated. The results showed that there existed large range of soil physiochemical indexes among the different sites, which were organic matter 52.24 ~ 217.25 g·kg⁻¹, alkali-hydrolyzed nitrogen 170.82 ~ 573.41 mg·kg⁻¹, available phosphorus 7.85 ~ 20.25 mg·kg⁻¹, rapidly available potassium 140 ~ 450 mg·kg⁻¹. The pH value from 4.7 to 7.1 and electric conductivity index 0.38 ~ 0.99 ms·cm⁻¹. It presented stronger growth and higher well-developed seeds percentage in sunny, higher soil nutrient sites with efficient organic matter and higher rapidly available nutrient which showed that light density and soil nutrient have influence on the growth and development of *Acer yanjuechi*.

Key words: *Acer yanjuechi*; soil nutrient; pH; habitat conditions; seed-setting

羊角槭 *Acer yanjuechi* 为槭树科 Aceraceae 槭属 *Acer* 落叶乔木, 特产于浙江省杭州市西天目山, 发现时仅存 4 株, 生于海拔 750 ~ 900 m 的亚热带常绿、落叶阔叶混交林中, 为我国特有的古老孑遗植物、国家二级保护植物^[1-2]。在《全国极小种群野生植物拯救保护工程规划 (2011—2015 年)》中, 羊角槭被列入一期拯救保护的 120 种极小种群植物, 为 9 种野外数量不足 10 株的野生植物之一, 属极度濒危、濒于灭绝的物种, 亟待加强保

收稿日期: 2021-03-14; 修回日期: 2021-08-05

基金项目: 上海市绿化与市容管理局专项“几种濒危植物致濒机制与种质资源保护研究”(G102406)

作者简介: 陈香波, 高级工程师, 博士, 从事植物资源与育种研究; E-mail: cxb7210@163.com。

护。近年来, 由于低温冻害、植株衰退等原因, 野生残存的几株羊角槭相继死亡, 所幸浙江天目山国家级自然保护区管理局经过多年繁育留存了少量种子繁殖后代而使该种幸免灭绝, 但生存形势依然严峻。

目前, 关于羊角槭的研究较少, 仅有个别光合荧光特性分析、基因组 DNA 提取反应体系优化以及种胚打破休眠促进萌发方面的报道^[3-5], 对其生态学和生物学特性的了解仍显缺乏, 制约着羊角槭种群恢复与保育长远目标的实现。本文对天目山人工栽植羊角槭进行了光照、土壤养分等生境因子调查, 研究生境因子对其开花结实的影响, 以探究羊角槭适宜生长的生境条件, 为制定羊角槭人工栽植保护策略提供科学依据。

1 调查方法

1.1 羊角槭分布区域概况

羊角槭野生分布于浙江省西天目山(119°24'11" ~ 119°28'21"E, 30°18'30" ~ 30°24'55"N), 该地气候多雾、潮湿, 年平均温度在 12℃左右, 相对湿度在 76% ~ 81%, 年降水量约为 1 600 mm, 土壤 pH 值在 4.0 ~ 5.0, 为山地红壤或黄壤^[6]。浙江天目山国家级自然保护区(以下简称天目山保护区) 人工栽培的羊角槭大苗有近 20 株, 零星栽植于禅源寺周边, 海拔在 344 ~ 428 m, 其中最大的 1 株有 40 余年树龄, 已开花株有 15 株。本研究选择其中 4 株已经开花结实的植株进行生境因子调查, 地点分别位于禅源寺、太子庵、老苗圃和画眉山庄, 具体情况见表 1。

表 1 不同分布地点羊角槭植株生长开花与结实情况
Table 1 The flowering and seed-setting condition of *Acer yanjuechi* trees growing in different sites

编号	地点	树龄/a	树高/cm	枝下高/cm	胸径/cm	冠幅/(cm × cm)
1	禅源寺	23	774	100	29	672 × 711
2	太子庵	33	910	180	23	955 × 818
3	老苗圃	33	806	160	27	840 × 860
4	画眉山庄	33	810	143	25	777 × 800

注: 表中数据为 2012 年调查数据。

1.2 分布地生境调查

2013 年 4 月 15—20 日, 进行羊角槭栽植点生境调查, 利用手持 GPS 定位仪测定海拔高度, 目测坡度、坡向, 测试土层厚度, 并记录林分郁闭状况及周边森林环境, 同时调查各栽植点植株周边有无羊角槭幼苗生长以确定种子自然更新情况。

1.3 土壤采集与测试

2013 年 4 月 20 日, 进行土壤样品采集: 分别在 4 株羊角槭树干周围 1 m 范围内不同方位采集 0 ~ 30 cm 土层 3 个土壤样品, 每个样品采集 300 g 左右, 全部采集后充分混合作 1 份待测样品备用, 4 株样株共 4 份待测样品。土壤理化性质测定: 按照常规分析方法进行。土壤按 1 : 2.5 的水土比充分混合摇匀后, 用 Thermo pH 仪和 DDS-11C 数显电导仪测定土壤 pH 值和电导率; 田间持水量用环刀法测定; 土壤有机质含量采用重铬酸钾氧化-容量法; 碱解氮含量用碱解扩散法测定; 有效磷含量用 0.5M 碳酸氢钠浸提(olsen)法; 速效钾含量用醋酸铵提取法^[7]。

1.4 开花结实

2013 年 4 月 15 日, 对调查的 4 株盛花期植株, 随机选取 10 个开花主枝统计枝条上的两性花数量(A_0), 并于 10 月 25 日果实成熟期再次统计这 10 个开花主枝上的坐果数量(A_1), 坐果率的计算公式为:

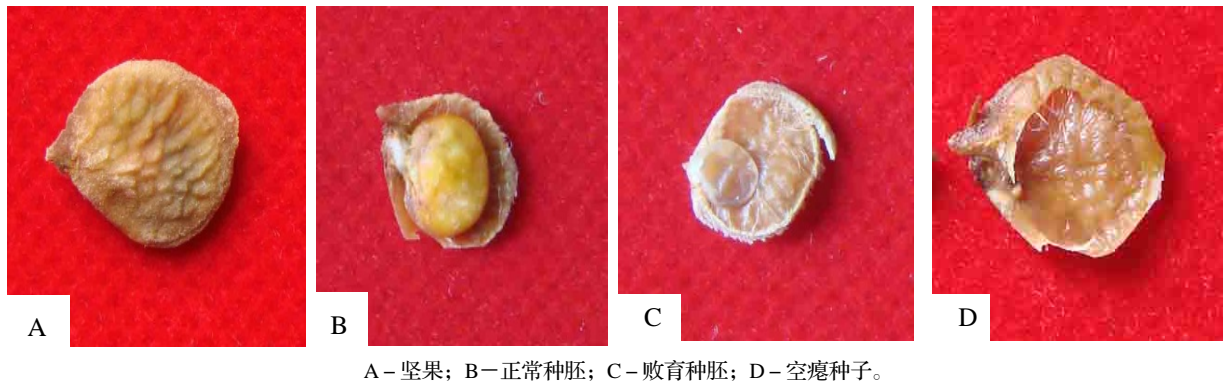
$$\text{坐果率}(\%) = A_1 / A_0 \times 100\%$$

对太子庵处位于林缘、半阴条件下种植的羊角槭植株, 于盛花期分别不同方位(向阳与背阴) 选取枝条统计枝条上的两性花数量, 并于果实成熟期再次统计定点枝条的坐果情况, 分别不同方位枝条计算其坐果率。

1.5 种子发育情况统计

2013 年 10 月 25 日, 抽样采集 4 株羊角槭的结果种子, 共采集到 1 900 粒小坚果(图 1A)。采集后立即剥

开种皮，将其中种仁饱满、占据大部分种皮内腔的视为正常种胚（图 1B），种仁体积明显偏小、呈干缩透明状的为败育种胚（图 1C），种皮剥开后未见任何种胚组织的为空瘪种子（图 1D）。分别统计正常种胚、败育种胚以及空瘪种子的数量，计算不同发育状况的种胚比率。



A—坚果；B—正常种胚；C—败育种胚；D—空瘪种子。

图 1 羊角槭种子及种胚发育

Figure 1 Seed and embryo development of *Acer yangjuechi*

2 结果与分析

2.1 不同立地环境对羊角槭植株生长与开花结实的影响

光照是重要的环境因子，也是植物进行光合作用的基础。羊角槭坐果率普遍不高，存在不同程度的落花落果现象，坐果率与树体生长地点的光照环境密切相关。

表 2 不同分布地羊角槭植株生长开花与结实情况
Table 1 The flowering and seed-setting condition of *Acer yangjuechi* trees growing in different sites.

编号	地点	海拔/m	坡度/(°)	坡向	光照	周边森林环境	林分郁闭情况	开花结实情况
1	禅源寺	350	10	南	全光照	建筑物旁空旷地	疏林	+++
2	太子庵	428	20	东南	半阴	半山腰密林中	中度郁闭	++
3	老苗圃	344	15	东	阴	山谷杂木林中	密林	+
4	画眉山庄	354	20	东	全光照	空旷台地	散生木	++++

注：“+”“++”“+++”“++++”分别表示“坐果率≤10%”“10% < 坐果率≤20%”“20% < 坐果率≤30%”“坐果率 > 30%”。

由表 2 可知，画眉山庄与禅源寺分布的羊角槭，四周较为开阔，接受阳光充足，开花结实好，而老苗圃处的羊角槭位置稍阴，结实欠佳。同一羊角槭植株不同方位受光不同，开花结实也有差异，如太子庵这株羊角槭的向阳面枝叶繁茂开花结果多，而在背阴面和植株下部阴处则开花结果少。由此可见，光照条件对于羊角槭开花结实影响明显，在阳光充足的地点，羊角槭生长健壮，开花结果多，稍阴处则长势欠佳，开花结实少。

2.2 羊角槭栽植点土壤理化性质

天目山土壤主要为凝灰岩和流纹岩发育的红壤或黄壤土，但人工栽植的羊角槭土壤可能有局部改良。4 个羊角槭栽植点土壤理化指标的差值较大，电导率在 0.38 ~ 0.99 ms·cm⁻¹ 之间，均在植物适宜生长正常值范围内；pH 值为 4.78 ~ 7.06，绝大多数栽植点的土壤偏酸性，仅禅源寺的羊角槭种植在建筑物附近，受特殊位置环境的影响，土壤稍偏碱（pH 值 7.06）；各立地土壤养分状况差别较大，分别为：有机质含量在 52.24 ~ 217.25 g·kg⁻¹、碱解氮含量在 170.82 ~ 573.41 mg·kg⁻¹、有效磷含量在 7.85 ~ 20.25 mg·kg⁻¹、速效钾含量在 140.31 ~ 450.06 mg·kg⁻¹，部分地点如太子庵处，土壤养分比例失调，表现为氮质量分数较高，而有效磷含量不足；田间持水量与土壤孔隙度有关，持水量大小可反映土壤保水能力的强弱，各立地的田间持水量差别明显，最小为 31.86%（禅源寺）、最大为 62.41%（画眉山庄），太子庵与老苗圃处的土壤田间持水量居中。综合分析表明，画眉山庄土壤的电导率高于其他分布地点的，土壤 pH 值最低（4.78），土壤有机质含量最高，土壤碱解氮含量、有效磷含量也较高，田间持水量为所有地点最高值，该处土壤中盐类离子丰富，养分充足且土壤保水能力强。

表 3 羊角槭不同分布地土壤理化性质
Table 3 The physiochemical indexes of soil sampled from different growing sites of *Acer yanjuechi*

地点	电导率/(ms·cm ⁻¹)	pH	有机质/(g·kg ⁻¹)	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	田间持水量/%
禅源寺	0.49	7.06	61.15	200.17	11.21	445.52	31.86
太子庵	0.38	5.78	52.24	237.79	7.85	140.31	40.58
老苗圃	0.55	5.75	83.06	170.82	15.46	450.06	36.81
画眉山庄	0.99	4.78	217.25	573.41	20.25	315.45	62.41

2.3 不同生境条件下羊角槭种胚发育

羊角槭果实由两枚相连的小坚果组成，每个坚果中含有 1 粒种子。各栽植地羊角槭结实差别较大，至 9 月底种子成熟时期，老苗圃处植株所结果实绝大部分落果，仅剩极个别果实挂于树上，而画眉山庄处植株则挂果较多。统计采收到的坚果数，剥去外种皮，统计种胚发育情况，结果如表 4。

表 4 不同分布地羊角槭种胚发育情况
Table43 The embryo development of different *Acer yanjuechi* trees

地点	坚果数/粒	正常种胚		败育种胚		空籽	
		数目/粒	百分比/%	数目/粒	百分比/%	数目/粒	百分比/%
禅源寺	132	2	19.70	21	15.91	85	64.39
太子庵	121	2	23.97	34	28.10	58	47.93
老苗圃	19	2	10.53	3	15.79	14	73.68
画眉山庄	1 628	4	26.84	454	27.89	737	45.27
合计	1 900	4	26.00	512	26.95	894	47.05

由表 4 可知，在 4 个分布地中，羊角槭正常发育的种子的比例极低，最高为 26.84%（画眉山庄），最低为 10.53%（老苗圃），而败育种子和空籽较多，空籽率最高达 73.68%（老苗圃）。同时，经对同为槭属植物的鸡爪槭 *A. palmatum*、元宝枫 *A. truncatum*、三角枫 *A. buergerianum* 和红枫 *A. palmatum* ‘*Atropurpureum*’ 成熟种子的种胚发育情况测试后发现，这 4 个种的正常种胚率分别为 92%、81%、94%、95%，均大于 80%，由此可见，羊角槭的结实率非常低。不同生境类型的羊角槭结实率差异较大，其中，画眉山庄种植点光照充足、环境空旷，周围无高大林木庇荫，土壤湿润偏酸性、养分富足均衡，羊角槭生长良好、正常种胚结实率高；禅源寺种植点阳光充足、地域较开阔但其土壤偏碱、土壤养分不均衡导致其正常种胚结实率较低；太子庵种植点的羊角槭植株下土壤养分比例失调，处于半阳半阴、郁闭的环境中影响了其结实；老苗圃环境对于羊角槭的生长发育极为不利，处于密林中，田间持水量较低、保水性差，土壤养分不足且不均衡，严重影响了种胚的正常发育与结实。调查中也发现，4 株羊角槭母树周边均未见天然更新的小苗，这是由于正常种胚发育率低加之种子含有较高的萌发抑制物质^[5]，限制了羊角槭种群的自然更新。

综合以上分析结果表明，位于画眉山庄处的羊角槭长势强健、开花结实多且种胚饱满率最高，表明羊角槭更适于在光照充足、环境空旷、土壤肥沃而偏酸性、速效养分含量较高的环境中生长。

3 结论与讨论

濒危植物的生长发育易受环境因子的影响^[8]，应根据气候和环境的特点，选择适合的栽植环境或者采取合理的管理措施。多数槭属植物属喜光树种^[9]，光照影响到槭属植物的生长与正常结实。杈叶槭 *A. robustum* 为中等喜光树种，在郁闭度大的沟谷林分中不能开花结实，但苗期较耐庇荫，在林下或林缘可见到生长良好的种子更新小苗^[10]。根据羊角槭的光补偿点测试数据，羊角槭对弱光的利用能力较之天目铁木 *Ostrya rehderiana* 和普陀鹅耳枥 *Carpinus putoensis* 强^[3]，这说明羊角槭营养生长可以适应稍荫条件，但对于种子结实生殖生长则需要阳光充足的环境。在开阔空旷、土壤湿润偏酸性而养分充足的地带，羊角槭生长健壮、开花结实多，且正常种胚率高，而半阴至全阴处羊角槭长势不好、开花结果少。

不同分布地生境条件的差异影响着羊角槭的生长发育，在开花结实方面表现出显著的差异。羊角槭栽植地

