

中国科学技术大学国家级实验教学示范中心

中国科大—鹤落坪国家级自然保护区联合共建生物多样性野外实习基地

本科生《生态学》研究型野外实习报告集

(2017 级)

指导教师：罗建川 汪文革 沈显生

后勤保障：刘晓燕 张倩



中国科学技术大学生命科学学院印制

实习时间：2019年7月8日—13日

目 录

中国科大 2019 年夏季学期鹞落坪生态学研究型实习的安排	1
大别山鹞落坪女萎的传粉机制与访花昆虫多样性的初步观察	2
安徽鹞落坪几种植物光照强度与气孔等性状的关系探究	10
鹞落坪落叶乔木叶片面积与节间长度的探究	24
安徽鹞落坪不同海拔马褂木叶片形态特征的比较研究	31
鹞落坪夜行性昆虫对不同波长 LED 灯光趋光性的研究	41
鹞落坪大腹园蛛的捕食结构及捕食习性的初步观察	48

中国科大 2019 年夏季学期鹞落坪生态学研究型实习的安排

时间安排:

2019 年 7 月 8 日 7:30 从合肥出发(在生物楼前上车), 12:00 前到达, 安排住宿和搬运设备, 就餐; 午休后, 下午 2:30 在鹞落坪实验室集中培训, 介绍工作安排, 并再次进行安全教育, 调试仪器。

7 月 9 日-12 日野外作业, 根据天气情况, 安排各组开展实习和参观红军 28 军旧址, 每天活动统一作息时间(7:30 就早餐; 8:00 出发; 中餐 12:00; 下午 2:00 出发进行野外作业; 晚餐 6:30; 7:30-10:00 在实验室处理数据)。每天的考察地点根据各组任务统一安排。

7 月 13 日早晨用餐后退房, 行李集中放在某一房间。中餐后下午 2:00 出发, 返回合肥。晚上 6 点前到达学校。

参加实习学生: 2017 级共 14 名学生。5 男 9 女。大组长倪志伟, 小课题 6 个, 各小组长具体负责课题的选题实施工作。6 月 12 日下午 4:00 在 3A111 召开实习动员会。参加野外实习的指导教师 5-6 人。

实习工作地点: 鹞落坪自然保护区。室内工作在保护区综合楼的 3 楼实验室。在实验室可以上网, 已经配备路由器。学生可以带电脑自用。

住宿地点: 鹞落坪天外天宾馆, 标准间 2 人。住宿分配由班主任分配, 名单交刘晓燕老师。

实习内容与形式:

1. 实习内容是生态学实习, 围绕个体生态、种群生态和群落生态学进行选题。

2. 实习课题见附件。

3. 实习仪器清单见学院实验中心网站(仪器设备由刘晓燕负责)。

4. 提前做好文献资料准备, 在野外及时收集并整理数据。

5. 2019 年 9 月 1 日开学前提交正式的实习报告, 需经过 2 次修改。论文格式要求按照论文模板排版, 字体和编写格式按照《生物学与生态学野外实习教程》第 7 章严格执行, 最后装订成册。实习成绩进行综合评定。

安全及注意事项:

1、实习期间一定要有集体观念, 准时集合, 严格要求自己, 遵守纪律, 相互帮助, 有事缺勤需请假。

2、在野外时刻注意安全, 树立“安全第一, 实习第二”的思想, 采集样品时视环境安全程度决定是否采集。不准下河游泳! 在野外照相时一定要注意安全, 危险地段不准照相。单人不得独自外出。注意不要随便拍打脸部的虫子, 然后揉眼睛, 防止病原体感染。

3、就寝时关好门窗, 沐浴时注意安全, 防止地面跌滑。要爱护宾馆设施, 切记。保管好自己的物品。

4、集体就餐 10 人 1 桌, 不要浪费, 师生每人交 300 元伙食费, 由组长收齐, 交刘晓燕老师。返校后报帐时给予实习生活补助, 补助费直接进个人卡。中餐基本不在外面吃。在野外不准随便吃野果; 不准吃野生蘑菇。实习师生提供身份证号, 购买意外保险。负责后勤的老师买一点点常用药。

5、管理好教学仪器设备, 不准违规操作。保管好自己的贵重物品和身份证等证件。

6、带好雨具、水杯、衣服、鞋子等, 晚上山区有点凉, 带上一件夹克或薄毛衣。山袜统一发放, 用后一定要洗干净, 晒干后请交回给刘老师, 切记。刘老师准备一点野外常用药和季德胜蛇药。

7、刘老师安排就餐时, 跟饭店提出少数民族的特殊要求, 增加鱼类或蛋类菜肴。

指导教师: 罗建川 13865513430, 汪文革 18905569219, 沈显生 13339294637; 后勤工作: 刘晓燕 18856088926; 班主任: 张倩 15055161371。

中国科大生命学院鹞落坪实习组 2019 年 7 月 6 日

大别山鹞落坪女萎的传粉机制与访花昆虫多样性的初步观察

杨凌紫, 赖欣, 张菊梅

(中国科学技术大学生命科学学院, 安徽合肥, 230026)

摘要: 通常协同进化是指一个物种(或种群)的遗传结构由于回应于另一个物种(或种群)遗传结构的变化而发生的相应改变。生物之间特别是昆虫与植物间存在广泛的协同进化关系, 两者之间不断互相适应, 是其演化的动力之一。植物依赖昆虫传授花粉, 昆虫从植物获得花粉和花蜜作为食物, 两者在漫长的进化过程中形成了互惠共生关系。为了探究大别山鹞落坪女萎的传粉机制与访花昆虫多样性, 我们采用观察、捕捉和拍摄的方法对生长于河流旁边女萎的访花昆虫进行了观察记录, 并对其种类做了初步鉴别。结果表明: 鹞落坪地区的女萎的访花昆虫共有 38 种, 主要为双翅目、膜翅目和鳞翅目。蝇类、蜂类为主要的访花昆虫。此外, 对女萎花朵进行了解剖观察, 尝试从花的结构和昆虫访花行为揭示其传粉机制。

关键词: 女萎; 访花昆虫; 传粉机制; 昆虫多样性; 花部结构

中图分类号: Q968.1 **文献标识码:** A

A Preliminary Study on Pollination Mechanism and Diversity of Pollinating Insects of *Clematis apiifolia* DC. of Yaoluoping

Yang Lingzi, Lai Xin, Zhang Jumei

(School of Life Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: Coevolution usually refers to a change in the genetic structure of one species (or population) in response to a change in the genetic structure of another species (or population). There are extensive coevolutionary relationships between organisms, especially between insects and plants, and their constant mutual adaptation is one of the driving forces of their evolution. Plants depend on insects for pollination, and insects get pollen and flower density from plants for food. The two have formed a mutualistic and symbiotic relationship in the long process of evolution. In order to explore the pollination mechanism and diversity of *Clematis apiifolia* DC, we observed and recorded the *C. apiifolia* growing near the river by the methods of observation, capture and photography, and preliminarily identified its species. The results showed that there were 38 species of anemostoma in Yaoluoping area, mainly including diptera, hymenoptera and lepidoptera. Flies and bees are the main insect visitors. In addition, the anatomic observation was carried out to try to reveal the pollination mechanism from flower structure and insect visiting behavior.

Key words: *Clematis apiifolia* DC.; flower visiting insect; pollination mechanism; insect diversity; floral syndrome

鹞落坪国家级自然保护区位于皖鄂两省三县(岳西、霍山、英山)交界处的安庆市岳西县包家乡境内, 介于东经 116°02'20"~116°10'53"、北纬 30°57'20"~31°06'10"之间, 面积为 123km²。鹞落坪保护区森林植被属于北亚热带落叶-常绿阔叶混交林带的组成部分, 鹞落坪生态良好, 植被覆盖率高, 物种丰富, 且具有自然生态系统代表性。

女萎(*Clematis apiifolia* DC.)是一种毛茛科(Ranunculaceae)、铁线莲属(*Clematis*)植物, 为藤本植物; 在我国分布于江西、福建、浙江、江苏南部和安徽大别山以南地区^[1]。中医认为女萎有活血调经, 健脾行水, 治疗月经不调, 乳少等功效。但是对女萎花的传粉昆虫的种类和传粉方式研究不多, 对于女萎的传粉机制的研究也对于我国传粉生物学的发展有重要意义^[2,3]。

2019年7月, 我们参加了中国科学技术大学在大别山鹞落坪的研究型生态学野外实习

教学活动，并以女娄的访花昆虫以及其传粉的原理作为探究课题，已经做出了相关的采样与观察，现对访花昆虫种类多样性以及传粉原理做出一些简要的论述。

1 调查物种与地点

1.1 物种介绍

女娄，是毛茛目、毛茛科、铁线莲属多年生草质藤本植物。小枝和花序梗、花梗密生贴伏短柔毛。三出复叶，连叶柄长5~17cm，叶柄长3~7cm；小叶片卵形或宽卵形，长2.5~8cm，宽1.5~7cm，常有不明显3浅裂，边缘有锯齿，上面疏生贴伏短柔毛或无毛，下面通常疏生短柔毛或仅沿叶脉较密。圆锥状聚伞花序多花；花直径约1.5cm；花被片4枚，开展，白色，狭倒卵形，长约8mm，两面有短柔毛，外面较密；雄蕊无毛，花丝比花药长5倍。瘦果纺锤形或狭卵形，长3~5mm，顶端渐尖，不扁，有柔毛，宿存花柱长约1.5cm。花期7月至9月，果期9月至10月^[1]。

1.2 研究地点

鹞落坪国家级自然保护区地处北亚热带，位于我国内陆第二、三级阶梯的交界处，在自然地理上具有“南北过渡，襟带东西”的显著特征。保护区地处大别山腹部，处古陆的腹心地带，是长江水系和淮河水系的分水岭，并分别为淮河流域淝河水系和长江流域皖河系多条河流的源头。

这里的气候特点可以概括为“夏雨冬雪春秋雾”。冬寒夏凉，年均气温仅为12.7℃，夏季最热的7月份气温也低于23℃，昼夜温差较大。保护区位于亚热带季风区内，区内雨量充沛，年平均降雨量为1400~2000mm，系大别山降水高值区。

安徽鹞落坪国家级自然保护区森林植被属于北亚热带落叶-常绿阔叶混交林带的组成部分。保护区的植物区系属于泛北极植物区、中国-日本森林植物亚区的华东区，是华中、西南、华北、东北及华南植物与华东植物区系的渗透、过渡和交汇地带，植物区系复杂，植物种类繁多^[8]。

1.3 研究对象

2019年7月9-11日，以生长于鹞落坪保护区河流附近的一株女娄及其访花昆虫为研究对象。

2 材料与方法

2.1 实验工具与材料

相机、体视镜、显微镜、笔记本电脑、捕虫网、广口瓶、海绵、标本盒、昆虫针、标签

纸、自封袋、乙醇、乙醚等。

2.2 实验方法

2.2.1 女娄花的解剖观察

取新鲜的不同花期的女娄花朵的各个部分解剖，在体视镜和显微镜下观察，并用笔记本电脑进行拍照。

2.2.2 访花昆虫调查

2019年7月9至7月11日，对正在开花的女娄植株吸引的访花昆虫进行观察，用相机拍照。

用捕虫网捕捉在花朵上有停留和访花行为的昆虫。捕捉到昆虫后立即用无水乙醚使其昏迷或者死亡，带回鹞落坪实验室使用体视镜和相机拍照。对难以捕捉的昆虫使用数码相机拍照，随后对照资料自行鉴定和请老师协助鉴定。

选择白天8:00~18:00进行持续观测，并记录温度光照等天气条件和访花昆虫的数量及其访花频率。

3 结果与分析

3.1 主要访花昆虫的行为观察

我们对处于河流附近的一株女娄进行了为期3天的观察，统计了观察时间内出现昆虫的种类和出现频率。在7月10日到7月12的3天中，访花昆虫主要属于双翅目、膜翅目和鳞翅目，其中属于双翅目的主要是蝇科，属于膜翅目的主要为蜂科的中华蜜蜂，属于鳞翅目的昆虫较少，只观察到4种。

3.1.1 双翅目

双翅目昆虫主要是果蝇和蚜蝇。

属于双翅目的红眼果蝇主要活动在雄蕊上，用附足抱住花丝，取食花粉，基本不往花朵下部活动。取食时停留在雄蕊上，但由于体积小，不会对花有太大影响。相比与其他体型较大的昆虫或是同目的蚜蝇昆虫，果蝇在取食时活动缓慢，在观察期间较少移动位置，因此推测果蝇可能不是女娄的主要传粉昆虫，但由于数量较多，可能也在传粉中有一定作用。

另一些重要的双翅目昆虫属于蚜蝇科，大多数体型较小，大约3~5mm长。与果蝇不同的是体积较小的蚜蝇也不是在花药上取食花粉，而是将口器伸入雄蕊与花被片的缝隙处。我们推测可能此处有蜜腺，而蚜蝇是在取食花蜜。它们在取食时身体和附足可能会接触雄蕊而带走花粉，从而达到传粉的效果。

我们在观察过程中同时发现一种较大的蚜蝇，本来以为可能是蜂类，但经鉴别后发现是黑蜂蚜蝇^[4]。它体型较大，在取食过程中会落在整朵花上，可能有更大的几率进行传粉。但

是黑蜂蚜蝇出现频率较低，在我们为期3天的观察中只出现了两次。但是在它出现期间我们还观察到了一种捕食行为。女萎开花也引来了一种胡蜂，胡蜂发现正在取食花蜜的黑蜂蚜蝇后立马扑过去试图抓住黑蜂蚜蝇，但是黑蜂蚜蝇飞行速度也很快，逃脱了胡蜂的抓捕。

3.1.2 膜翅目

属于膜翅目的访花昆虫主要是中华蜜蜂，它们主要在晴天活动，数量很多，是女萎的主要传粉昆虫。访花时，中华蜜蜂整个身体趴在花上，三对足搭在花蕊、花被片或是临近的花上。中华蜜蜂在同一朵花上停留时间较短，但是有重复访花行为，即在一段时间后会重新回到原来的花上。在采集花蜜的过程中足部触碰女萎花的雄蕊和雌蕊，且停留时间短、移动速度快，可以达到较大的传粉的作用。但是在中华蜜蜂活动频繁的时间内，同是也有胡蜂活动，胡蜂中华捕食蜜蜂，并试图抢夺蜜蜂的采集的花粉或是花蜜，常常驱赶其他昆虫。

3.1.3 鳞翅目

鳞翅目昆虫有4种，分别为褐豹尺蛾，清新鹿蛾^[5]、弄蝶和一种由于捕捉时标本损坏无法分辨的蛾类。这几种鳞翅目昆虫分别属于尺蛾科、鹿蛾科和弄蝶科，它们均拥有虹吸式口器。鳞翅目昆虫每次出现时间较长，且会在附近的几朵花上移动，它们足部抓住花被片或是附近的其他花，并且反复将虹吸式口器伸入雄蕊与雄蕊之间、雄蕊与雌蕊之间，我们认为它们可能是在吸食花蜜，或吸食花粉，因为我们之后做的有关女萎花的研究并没有显示这种植物拥有蜜腺盘，所以这些昆虫的行为的原因仍需探讨。

3.2 访花昆虫的数量变化与天气条件的关系

鹞落坪海拔较高，日照强烈，天气变化频繁，观察时期内正好属于多云天气，光照强度和气温变化幅度很大。经过观察，访花昆虫活动频率和光照气温有较大关系。主要收到影响的是蜂科的昆虫，蜂科的昆虫主要是中华蜜蜂，其在天气晴朗，气温高的时候活动，推测可能是气温低会影响蜂科昆虫的活动能力。对于膜翅目和鳞翅目昆虫影响不大，而且观察到的鳞翅目昆虫，基本出现在光照情况不太良好的时间段。蝇科由于出现频率较高、个体较小，没有观察到明显的数量变化。

4 结论与讨论

4.1 女萎传粉昆虫与访花昆虫之间的关系是多样的

女萎的花比较小，为离瓣花，没有明显的蜜腺盘结构，因此其访花昆虫里并没有出现穿孔盗蜜的行为。

访花昆虫主要有3类，分别属于双翅目、膜翅目和鳞翅目。双翅目昆虫主要是果蝇和蚜蝇，他们拥有舔吸式口器，可以取食女萎好花粉和花蜜，在采食过程中会沾染到花粉，当它们移动位置时就可以完成传粉。第二类是膜翅目昆虫，主要是中华蜜蜂，是一种较常见的传

粉昆虫，数量多，活动频率高，喜欢在天气晴朗气温较高时活动。最后一类是鳞翅目昆虫，此类昆虫拥有虹吸式口器，采食花蜜时将长喙送入雄蕊之间或是雄蕊和雌蕊之间，此类昆虫仅有吻部，头部和腿部可能沾染花粉。

4.2 花的解剖结构对传粉机制的适应

通过野外观察发现，女娄属于两性异熟类花，即女娄花的雄蕊和雌蕊拥有不同的成熟顺序。开花时，雄蕊和雌蕊同时展露出来，但是雄蕊先发育，此时雌蕊还没有发育完全。开花一段时间后，雄蕊开始败育，颜色渐渐发黄发黑，此时雌蕊开始发育，渐渐长于雄蕊，此时雌蕊才成熟。女娄的花期相对集中，在同一株植物上，相近的时间有很多花开放，保证了在同一株植物上既有雄蕊成熟的也有雌蕊成熟的，从而在时间上阻止了自花传粉的可能性。访花昆虫落在花上时就有可能沾染上花粉，当它们拜访另一朵雌蕊发育成熟的花并触碰到柱头的时候，就完成了传粉。

4.3 发现在访花活动中存在捕食传粉昆虫的行为

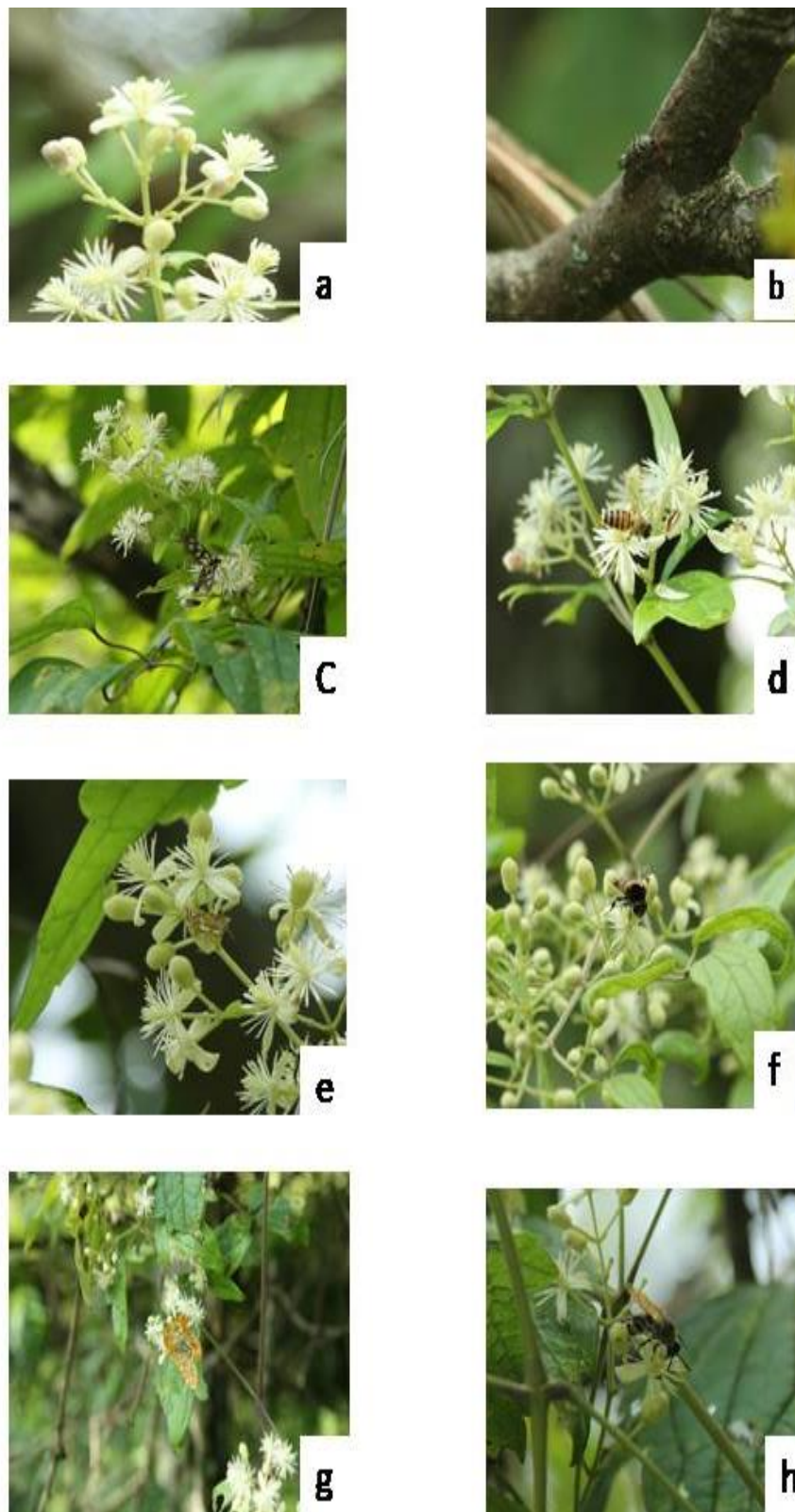
通过观察发现，访问女娄花的昆虫比较多。除了胡蜂捕食或驱赶蜜蜂和黑蜂蚜蝇外，在观察果蝇的访花活动时，我们竟然发现了另一种捕食行为。虽然果蝇体积小，但是果蝇数量较多，吸引了一种以果蝇为主要捕食对象的蜘蛛（属于跳蛛科），经拍照辨认，是宽胸蝇虎。这种蝇虎一般潜伏在与自身体色相近的褐色树枝上，但移动速度快，发现果蝇时会移动至花附近，待果蝇取食准备离开时跳出去抓住果蝇，然后迅速退回褐色树枝上。

参考文献

- [1] 陈艺林. 中国植物志[M]. 北京：科学出版社, 2001.
- [2] 黄双全, 郭友好. 传粉生物学的研究进展[J]. 科学通报, 2002, 45(3):225-234.
- [3] 龚燕兵, 黄双全. 传粉昆虫行为的研究方法探讨[J]. 生物多样性, 2007, (06):576-583.
- [4] 韩德民. 动植物野外识别摄影图鉴[Z]. 北京：高等教育出版社, 2014:131-277.
- [5] 中国科学院动物研究所. 中国蛾类图鉴[M]. 北京：科学出版社, 1983:402.
- [6] 谢宇锋, 蒋辰. 鹞落坪保护区牛皮消访花昆虫多样性及其传粉机制的研究(油印).
- [7] 章闻宇, 倪丰丰, 方贝贝. 鹞落坪地区睫毛萼凤仙花的访花昆虫多样性与其传粉机制的探索(油印).
- [8] 谢中稳, 吴国芳. 安徽省鹞落坪自然保护区的植被类型及其分布[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 1995, (03):93-100.

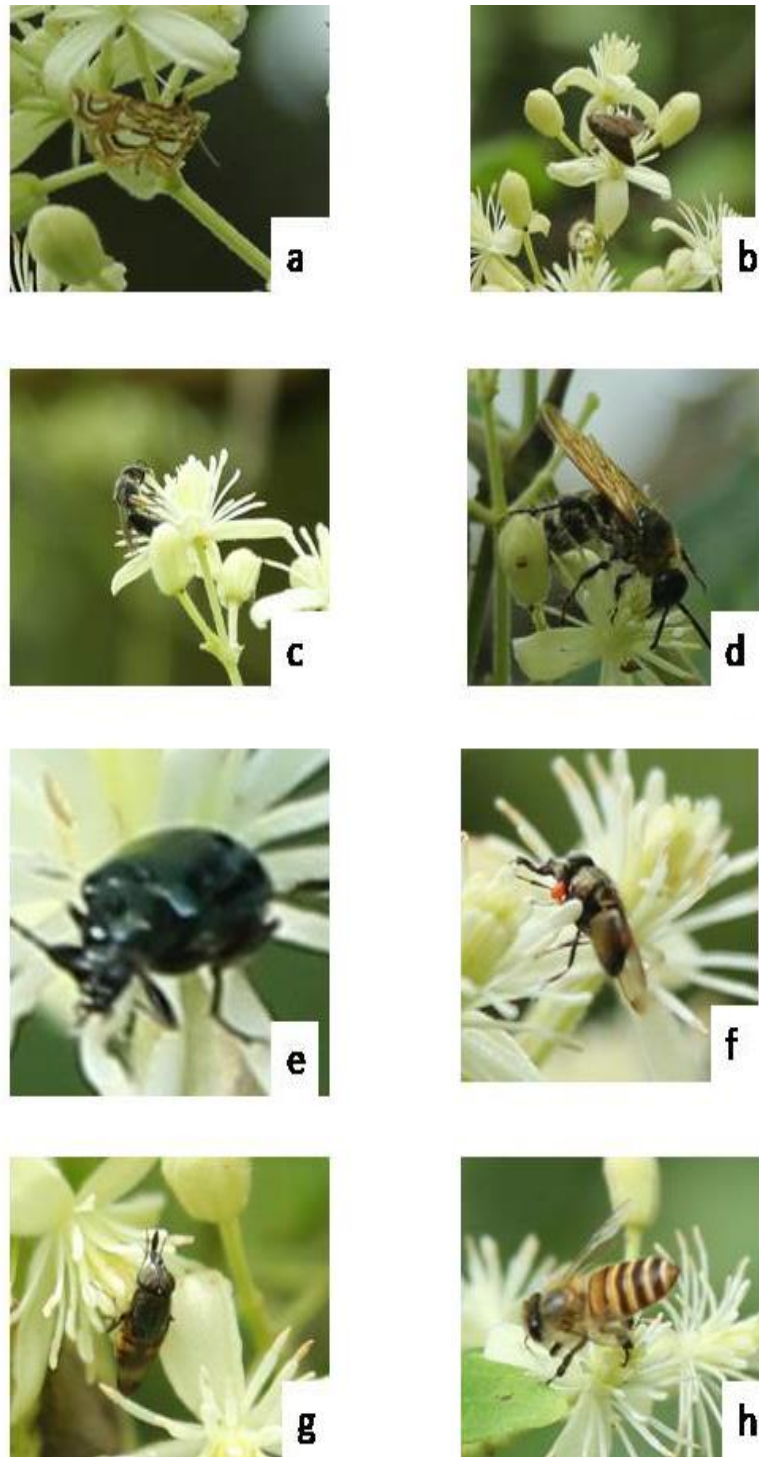
致谢：本次野外实习承蒙中国科学技术大学生命学院沈显生教授和罗建川老师指导，安徽省岳西县环境保护局汪文革老师、中国科学技术大学生命学院张倩老师和刘晓燕老师在实地观察、设备购置和安装、标本采集和物种鉴定方面给予的帮助和支持，特此谢忱。

图版 I 杨凌紫等. 大别山鹤落坪女娄的传粉机制与访花昆虫多样性的初步观察



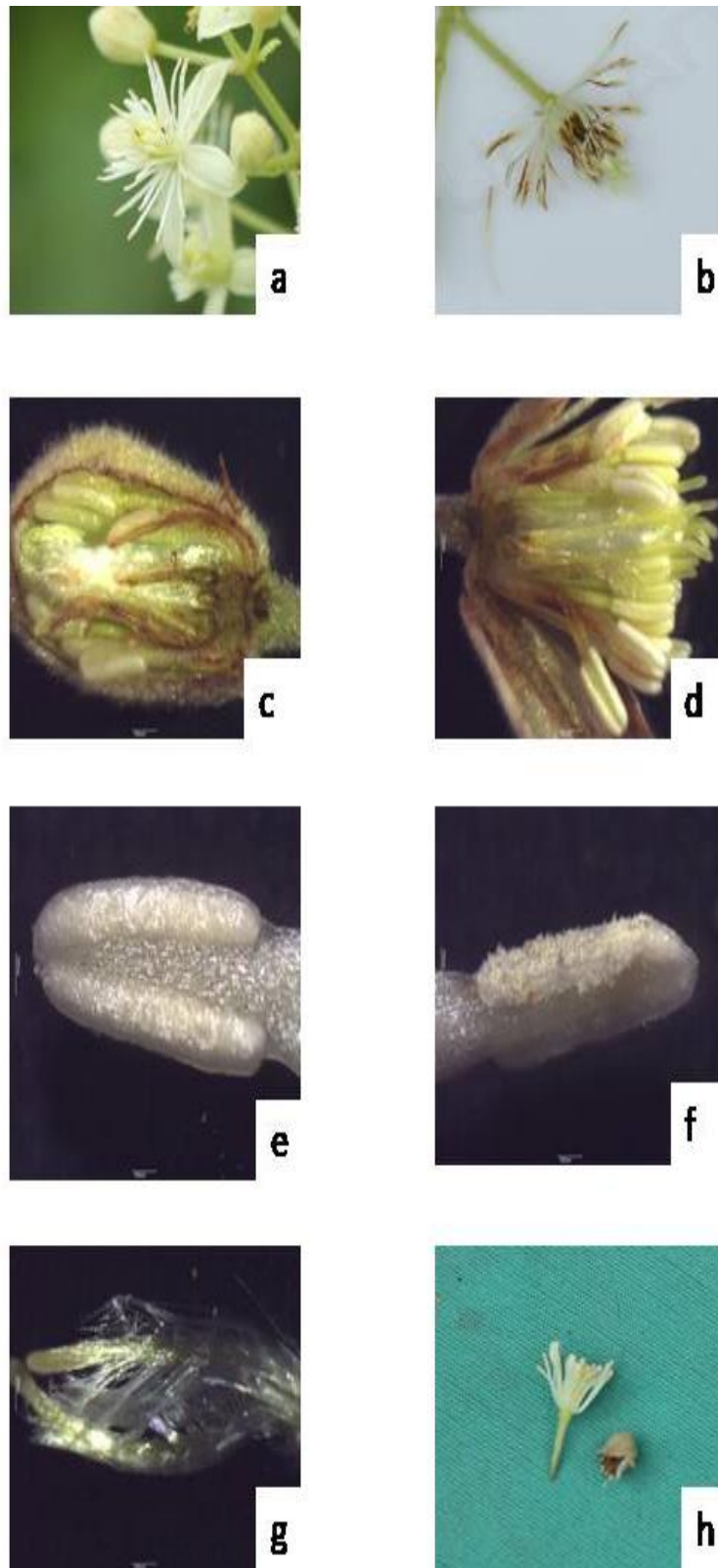
图版 I 说明: a.女娄花照图; b.宽胸蝇虎(跳蛛科)照图; c.清新鹿蛾照图; d.中华蜜蜂照图; e.弄蝶照图;
f.黑锋蚜蝇照图; g.褐豹尺蛾照图; h.胡蜂照图。

图版II 杨凌紫等. 大别山鷓落坪女娄的传粉机制与访花昆虫多样性的初步观察



图版II说明: a.鳞翅目照图; b.毛翅目照图; c.膜翅目照图; d.膜翅目土蜂科照图; e.鞘翅目照图; f.双翅目照图; g.双翅目食蚜蝇科照图; h.膜翅目蜜蜂科照图。

图版III 杨凌紫等. 大别山鹤落坪女娄的传粉机制与访花昆虫多样性的初步观察



图版III说明: a.女娄花盛开照图; b.女娄花败育照图; c.女娄花花蕾较长时间照图; d.女娄花花蕾较短时间照图; e.女娄花雌蕊照图; f.女娄花雄蕊照图; g.女娄花子房结构照图; h.女娄花帽状结构照图。

安徽鹞落坪几种植物光照强度与气孔等性状的关系探究

张伯因¹, 王 田¹, 董 彤²

(1. 中国科学技术大学生命科学学院, 安徽合肥, 230026; 2. 新疆师范大学生命科学学院, 新疆乌鲁木齐, 830001)

摘要: 本文主要探究了光照强度的变化对植物气孔、叶绿体以及叶片内部结构几方面带来的影响。通过选取不同强度光照下的鹞落坪 4 种常见植物的样本, 用撕片法和切片法制作装片在显微镜下观察, 拍摄照片, 并进行数据处理和比较等, 我们发现当光照强度增强时, 植物的气孔密度相应提高, 叶绿体也随之变小, 叶肉中的栅栏组织和海绵组织分化更加明显。

关键词: 光照强度; 叶绿体大小; 气孔密度; 气孔大小; 栅栏组织与海绵组织

中图分类号: Q948.112+1

文献标识码: A

Study on the Relationship Between Light Intensity in the Habitat of Plants and Physiological Traits such as Stomatal Size in Yaoluoping

Zhang Bonan¹, Wang Tian¹, Dong Tong²

(1. School of Life Sciences, Univ. of Sci. and Tech. Of China, Hefei 230026, China; 2. School of Life Sciences, Xinjiang Normal University, Urumqi 830001, China)

Abstract: The effects of light intensity on stomata, chloroplast and internal structure of leaves were studied in this paper. By choosing the samples of four common plants under different light intensities, making slides by tearing method and slicing method for observation under the microscope, taking photos, processing data and making comparison, we found that when the light intensity increases, the stomatal density of plants increases correspondingly, the chloroplasts become smaller, and the differentiation of columnar and spongy tissues becomes more obvious.

Key words: Light intensity; chloroplast size; stomatal density; stomatal size; palisade tissue and spongy tissue

引言

作为植物生长发育中必不可少的环境因子之一, 光对植物的生长发育和生理功能起着至关重要的调控作用^[1]。生长在不同光照强度下的植物, 往往演化出不同的外部形态及内部解剖结构特征^[2]。而气孔作为植物体内水气与外界环境交换的主要通道^[3], 其大小和密度会因植物所处生境的不同而有所差异, 从而调节气孔导度和同化速率, 达到适应环境的目的^[4]。与此同时, 叶绿体的大小以及叶肉细胞的形态结构也会因植物所处环境条件的不同而发展出差异。

本文以鹞落坪 4 种生长在不同光照强度下的植物的叶片作为研究对象, 在野外调查的基础上, 选择气孔密度、气孔大小以及潜在气孔导度指数等作为气孔性状指标, 叶绿体大小为叶绿体性状指标, 并拍摄了显微镜下几种植物叶片的横切结构图。旨在研究光照强度变化对植物叶片的气孔性状、叶绿体性状以及叶肉组织的形态结构有何影响, 以期更深入地理解光强对植物性状产生的影响, 为寻找植物最适生长条件提供理论基础。

1 研究对象和地点

1.1 研究对象

待宵草 (*Oenothera stricta*), 又称月见草、夜来香、山芝麻, 为柳叶菜科月见草属植物。一年生或二年生草本。株直立或斜上, 少分枝, 具毛。基生叶狭椭圆形至倒线状披针形, 茎生叶绿色无柄。花序穗状, 花疏生茎及枝中部以上叶腋, 花瓣黄色, 花香美丽。种子在果内斜伸, 宽椭圆状, 褐色无棱角。喜微潮偏干的土壤环境, 喜日光充足, 喜温暖, 怕低温。原产南美, 现在许多国家均有分布^[5]。

狼把草 (*Bidens tripartita*), 又名鬼叉、鬼针、鬼刺等, 菊科鬼针草属植物。一年生草本, 茎高 20-150 厘米。叶对生, 长椭圆状披针形, 边缘具锯齿。头状花序单生茎端及枝端, 总苞盘状, 托片条状披针形, 筒状两性花。生于路边荒野及水边湿地。广布于亚洲、欧洲和非洲北部^[6]。

五台金腰 (*Chrysosplenium serreanum*), 为虎耳草科金腰属植物。多年生草本, 高 6.5-19.5cm, 无单宁质斑纹。鞭匐枝具鳞片状叶, 聚伞花序, 花黄色, 蒴果, 种子黑棕色卵球形。生长于海拔 1707-2800m 的林区湿地或溪畔。分布于黑龙江、吉林、内蒙古、河北、山西等地。可入药, 具有清热利湿之功效^[7]。

楼梯草 (*Elatostema involucratum*), 又称半边伞、养血草、冷草、鹿角七等, 为荨麻科楼梯草属植物。多年生草本。茎肉质, 高 25-60cm, 少有分枝。叶片草质, 斜倒披针状长圆形或斜长圆形, 有时稍镰状弯曲。生长于海拔 200-2000m 的山谷沟边石上、林中或灌丛中。在我国分布于云南东北部、贵州、四川、湖南等地^[8]。

1.2 研究地点

鹞落坪国家级自然保护区位于安徽省西部, 北与安徽省霍山县接壤, 西与湖北省英山县毗邻, 地理位置为北纬 30°57'~31°06', 东经 116°02'~116°11', 属大别山主峰分水岭主段, 主峰多枝尖 (1721m)。该区总面积为 123 平方公里, 森林植被覆盖率达 90% 以上, 地跨北亚热带向暖温带过渡地带, 降雨量丰富, 年降水为 1400~2000mm, 处于“南北过渡, 襟带东西”的地理位置。

这里的森林植被属于北亚热带落叶-常绿阔叶混交林带的组成部分。是华中、西南、华北、东北及华南植物与华东植物区系的渗透、过渡和交汇地带, 植物区系复杂, 植物种类繁多。据初步调查, 这里有维管束植物 2200 余种 (含栽培种), 占安徽省总种数的 2/3, 有野生种子植物约 134 科, 590 属, 1430 种。

保护区动物区系在动物地理区划上属于东洋界, 既是一些古北界种类分布的南限, 同时又是不少东洋界种类分布的北限, 具有南北过渡的特点, 野生动物多样性相当丰富。初步查明区内有两栖动物 2 目 8 科 16 种; 有爬行动物 3 目 7 科 24 种; 有鸟类 11 目 30 科 108

种；有兽类 7 目 18 科 43 种。

鹞落坪自然保护区凭借其古老的地质历史，复杂的生态环境，形成了独特多样的生物资源及自然景观。这里有大别山区典型的代表性的森林生态系统，以及众多国家级珍稀濒危野生动植物，吸引了许多科研院所到此展开研究，并进行交流合作^[9]。

2 材料与amp;方法

2.1 实验材料

安徽省鹞落坪不同生境下的野生待宵草、狼把草、五台金腰和楼梯草。

2.2 仪器

2.2.1 测量设备

DJL-18 温湿光三参数速测仪。

2.2.2 观察设备

motic2.0 显微镜。

2.3 实验方法

为防止气孔变形气孔密度和气孔大小开合度的测定采用固定法^[10]。2019 年 7 月 10 号 10:30-12:00 之间，选取鹞落坪地区的待宵草、狼把草、五台金腰、楼梯草的成熟植株，对每个物种不同生境下的温湿光进行测量并选取 2-3 片成熟叶片，用无水乙醇固定保存。选择叶片中部靠近叶脉的部位进行气孔密度和大小的测量。经实验可获得 4 种植物的表皮。

再采取每个物种不同生境下的成熟植株叶片，放到清水中保存。选择叶片中部靠近叶脉的部位进行对叶绿体大小的测定和栅栏组织和海绵组织的观察。经实验方法获得 4 种植物表皮和切片。

直接撕取表皮法^[10]：直接用镊子撕取叶片上下表皮，撕取面用毛刷刷去多余叶肉细胞，制成装片观察。

石蜡切片法：将清水浸泡的植物叶片用石蜡包埋(注：条件有限使用的土豆块)切片 10-15 μm ，将切好的薄片在清水中摊开，用镊子夹取所需观察的切片放到滴有一滴清水的载玻片上摊平，然后盖上盖玻片。

所有的叶片表皮及切片在 Motic 显微成像系统(Motic BA200, 中国)及软件(Motic Images Advanced 3.2)拍照测量。在 100 倍的放大率下选择 3-4 个视野(总面积为 3-5 mm^2)用于气孔密度测量。气孔大小用气孔长度和宽度表示，即两保卫细胞围成的小孔的长径和短径，而气孔开合度即为气孔宽度。选择至少 5-6 个气孔用于气孔大小及开合度的测量。选择至少 10-20 个叶绿体用于叶绿体大小的测量。

2.4 数据处理方法

气孔密度和气孔大小共同决定最大气孔导度，采用 Holland 等人方法将气孔长度的平方作为气孔大小的代用指标，与气孔密度乘积定义为潜在气孔导度指数 (potential conductance index, PCI)。公式如下：

$$PCI=SL^2 \times SD \times 10^{-4}$$

以叶绿体长径和短径作为叶绿体大小的衡量指标，以气孔长度、气孔宽度、气孔密度以及潜在气孔导度作为气孔的性状指标，将测量的数据取平均值，并计算标准误差，制成表格并使用 Origin 2018 软件绘制相应的柱状图，以便于进行比较和分析讨论。

3 结果与分析

3.1 四种植物叶绿体大小对不同光照强度的响应

同一种物种在不同光照强度下的叶绿体大小差异很大，见表 1、图 1。无论是喜阳植物-待宵草和狼把草，还是喜阴植物-五台金腰和楼梯草，其在光照强度小的环境下的叶绿体均比光强大的环境下的叶绿体大。

同样，当光照强度差异较大时，即便是在不同物种之间进行比较，弱光下的植物叶绿体依然普遍大于强光下的植物叶绿体。

总而言之，当湿度和温度相差不大时，光强与叶绿体大小之间的一般规律是：光照强度越小，植物叶绿体越大。

表 1 四种植物不同环境下叶绿体性状特征的数据描述

	待宵草		狼把草		金腰		楼梯草	
	阴生环境	阳生环境	阴生环境	阳生环境	滴水环境	流水环境	阴生环境 (狭缝)	阴生环境 (路边)
光照强度/lux	15400	150000	5000	100000	3500	7800	540	6400
湿度	74.5%	77%	75.3%	77%	80.4%	80.5%	79.3%	79%
温度/℃	23.5	26.4	23.2	26.2	19.3	19.1	19.4	21.6
叶绿体长径/um	20.38	10.44	27.05	15.71	20.01	23.19	21.86	17.56
长径的标准偏差/um	3.48	4.33	3.91	1.73	2.47	5.40	4.02	1.78
叶绿体短径/um	13.56	6.82	17.71	8.15	15.26	18.01	17.04	13.71
短径的标准偏差/um	1.31	0.46	3.18	0.93	2.59	5.87	2.28	1.01

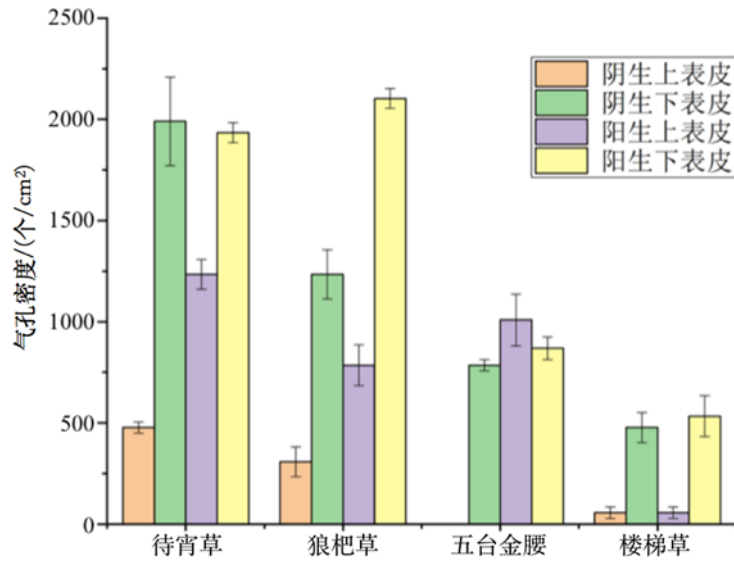


图2 四种植物不同环境下气孔密度图

3.3 四种植物的气孔大小及开合度对不同光照强度的响应

根据表2和图3、4，得出以下结论：

首先，同一物种在不同光照强度下的气孔大小差异较小，即便存在微小差异，也未能将其与光强变化之间得出统一规律。

其次，对于相同生境下的同种植物，上表皮气孔普遍小于下表皮气孔，且这种差距随着植物所处环境光照强度的减小而缩小。

在不同种植物之间，我们未能得出有说服力的气孔大小的变化规律。由于调查物种种数的局限，这些数据的变化具有很大的随机性，不便于我们得出结论。

但是，结合气孔密度和气孔开度，我们比较了几种植物的潜在气孔导度，发现当光照强度变大时，潜在气孔导度基本随之变大。

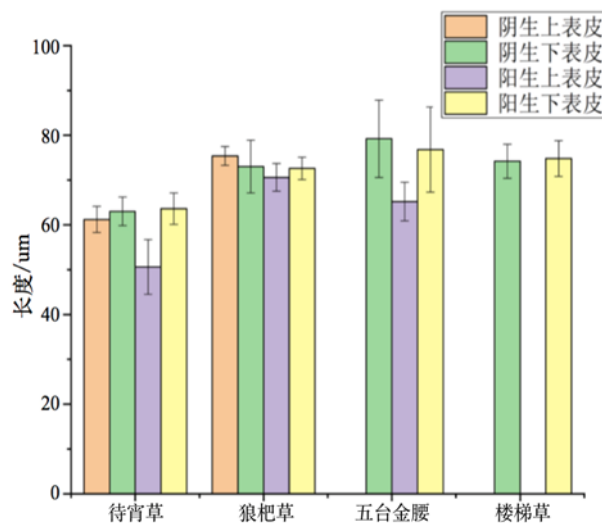


图3 四种植物不同环境下气孔长度柱状图

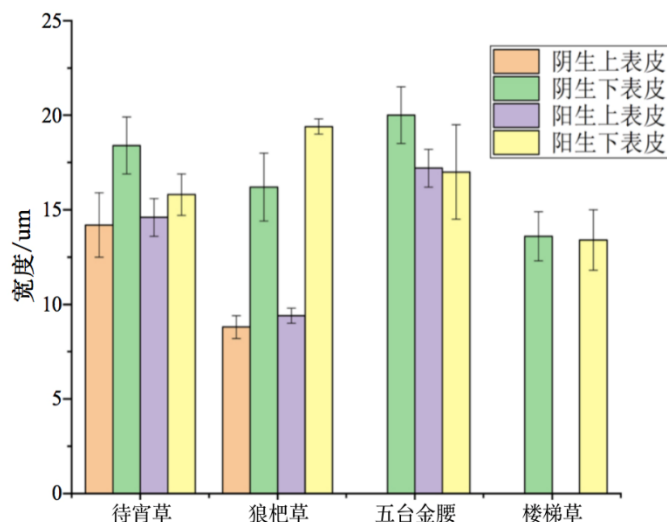


图 4 四种植物不同环境下气孔宽度柱状图

3.4 光照强度对植物叶肉细胞组织形态的影响

四种植物在不同光照强度下的栅栏组织、海绵组织的结构形态、层数、紧密程度见表 3。

对于同种植物阴生环境中的海绵组织与栅栏组织较疏松。对于不同种植物，整体来看，喜阴植物都没有明显的栅栏组织和海绵组织且整体排列较喜阳植物疏松。

表 3 四种植物不同环境下栅栏组织和海绵组织的差异

	阳生待宵草	阴生待宵草	阳生狼把草	阴生狼把草
栅栏组织形态	长条形，较长较细	长条形，短而粗	长条形，长而细	长条形，较短较粗
栅栏组织层数	2-3	2	1	1
栅栏组织紧密程度	紧密	较紧密	紧密	较疏松
海绵组织形态	无规则性状，较少	无规则性状，少	无规则形状，较多	无规则形状，较多
海绵组织紧密程度	较疏松	疏松	较紧密	较疏松
	滴水五合金腰	流水五合金腰	阳生楼梯草	阴生楼梯草
整体组织形态	无明显栅栏组织和海绵组织之分，上表皮组织排列紧密，下表皮无明显组织，整体较疏松	无明显栅栏组织和海绵组织之分，但明显看到组织排列，上表皮组织排列紧密，下表皮无明显组织，整体较紧密	无明显栅栏组织和海绵组织之分，上表皮组织排列紧密，下表皮组织排列疏松，整体较紧密且组织较薄	无明显栅栏组织和海绵组织之分，上表皮组织排列紧密，下表皮组织排列疏松，整体疏松且组织较厚

4 结论与讨论

4.1 结论

在此次调查中，对于光照强度变化对植物一些性状的影响，我们取得了初步结果。一般而言，在一定范围内光照强度变强，植物气孔大小变化不大但是气孔密度会增大，从而使气孔导度变大。同时光强变大，也会使植物的叶绿体变小，叶肉变厚，栅栏组织和海绵组织分化更加明显。受调查时间和范围所限，这些结果还有待更进一步的研究和讨论。我们也希望

能在更广的范围证实我们所得到的结论。

4.2 讨论

根据我们所得到的实验结果，我们发现，在我们所调查的四种植物中，无论是同种植物还是不同种植物之间，生长在弱光环境下的植物的叶绿体都比强光环境下的更大些。我们推测，这可能是因为在弱光下生长的植物需要发育出更强大的捕光系统来获得更多的光能，而强光下的植物则需要尽量减少光能捕获以避免产生光抑制，所以阴生叶的叶绿体中有更多更大的基粒，垛叠出更大的光合膜，使叶绿体更大^[11]。

同时，我们发现强光下生长的植物拥有更多更密的气孔和更厚的叶肉，形成这种差异的原因可能是高光强下的叶片需要更多的 CO_2 和更大的空间将丰富的光能转化为化学能，提高光能的利用率^[11]。另外，高光强下植物叶片的栅栏组织和海绵组织分化更为明显，且上下表气孔开合度差异更大，这可能是由于阳生环境植物叶片上下表皮接收光强差异更大，导致叶片分化更为明显。

除此之外，我们还发现了一些有趣的现象，值得讨论。在实验中，我们选取了两种生活环境下的五台金腰，一种是滴水环境，一种是流水环境，两种环境的光强和湿度相差无几，但是两种五台金腰的上表皮气孔数却相去甚远。在我们选取的视野内，滴水五台金腰上表皮没有气孔，但是流水五台金腰上表皮的气孔却比下表皮还略多一些。排除实验失误的可能，我们推测这可能是因为流水环境水位高，水流时而淹没叶片的下表皮，迫使植物在上表皮发育出更多的气孔以维持足够的 CO_2 供给。

另外，我们在观察楼梯草上下表皮的气孔时，发现其上下表皮的气孔形态差别很大。下表皮的气孔周围有很多副卫细胞一层层排列在保卫细胞周围，形成一个很大的螺旋结构，但上表皮的气孔结构却很简单，由两个保卫细胞紧紧闭合在起，周围没有副卫细胞。我们又比较了其上下表皮表皮细胞的形态特征，发现上表皮的表皮细胞多为边缘平整的多边形，排紧密，而下表皮的表皮细胞多为边缘弯曲的不规则形状。结合这两点观察结果和楼梯草的生长环境以及形态特征，我们作出以下推测：生长在潮湿多雨环境中的楼梯草的叶片上表长期潮湿有水，其负重使叶形呈向下弯曲状，使得叶片上表皮被拉伸而下表皮被压缩，在拉伸力作用下上表皮的表皮细胞间的接触面变得平整，而下表皮则保持不规则的弯曲接触面。同时，由于上表皮长期覆水，不便呼吸，而挺拔的楼梯草与地面有一定距离，使得下表皮离开潮湿的土壤，便于获得空气，故下表皮气孔远远多于上表皮。为了使大量的具有小型保卫细胞的气孔与不规则的大型表皮细胞更好地衔接，楼梯草在简单的气孔结构外发展出了螺旋状的副卫细胞，以实现牢固对接。

我们的实验还有许多之处有待改进，也有很多问题值得进一步思考研究。对于气孔大小，我们未能得出建设性的普遍结论，这可能与我们的样本和测量方法有关。更典型的样本，更多的数据，更精密的测量方法，是我们在得出下一步结论前需要努力实现的。但我们仍然希

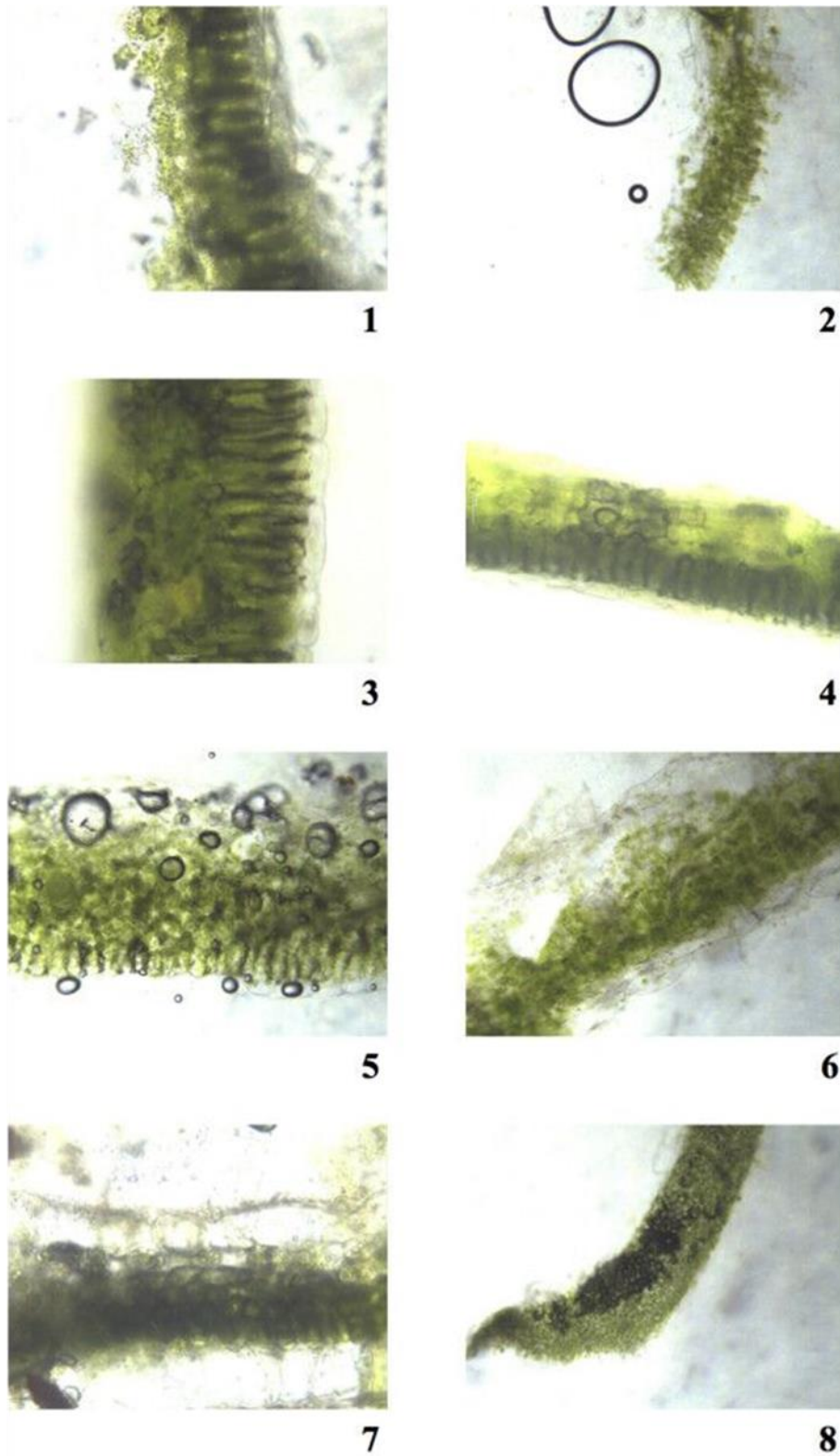
望我们的初步数据和结果可以给旁人以启发，我们也期待来自相关研究团队的交流和讨论。

参考文献

- [1] 胡阳, 江莎, 李洁, 等. 光强和光质对植物生长发育的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2009, **30**(4): 296-303.
- [2] 王丽芳, 吴东梅, 陆静梅. 阴生与阳生植物形态结构差异分析[J]. 吉林农业, 2014, (12): 18-18.
- [3] Tayloy S H, Franks P J, Hulme S P, et al. Photosynthetic pathway and ecological adaptation explain stomatal trait diversity amongst grasses. *New Phytologist*, 2012, **193**(2): 387-396.
- [4] Gray J E, Hetherington A M. Plant development: YODA the stomatal switch[J]. *Current Biology*, 2004, **14**(12): 488-490.
- [5] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社, 2004, **53**(2): 69-69.
- [6] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社, 2004, **75**: 372-372.
- [7] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社, 2004, **34**(2): 243-243.
- [8] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社, 2004, **23**(2): 258-258.
- [9] 沈显生. 生物学与生态学野外实习教程:以大别山的生物多样性为教学案例[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社, 2013, 1-6.
- [10] 张立荣, 牛海山, 汪诗平, 等. 增温与放牧对矮嵩草草甸 4 种植物气孔密度和气孔长度的影响[J]. 生态学报, 2010, **30**(24):6961-6969.
- [11] 张春牛. 浅析植物对光因子的适应[J]. 丽水师专学报, 1997, (05): 29-31.

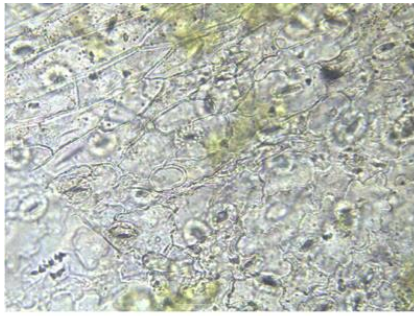
致谢: 本次考察承蒙中国科学技术大学生命学院沈显生老师和罗建川老师指导, 以及刘晓燕老师在仪器使用方面给予的帮助和支持, 特此谢忱。

图版 I：张伯因等. 安徽鷓落坪几种植物光照强度与气孔等性状的关系探究

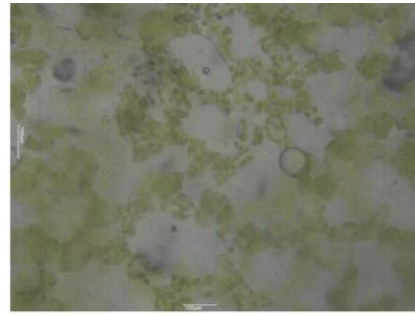


图版 I 说明：1、阳生待宵草横切照；2、阴生待宵草横切照；3、阳生狼把草横切照；4、阴生狼把草横切照；5、流水五台金腰横切照；6、滴水五台金腰横切照；7、偏阳生（路边）楼梯草横切照；8、阴生（狭缝）楼梯草横切照。

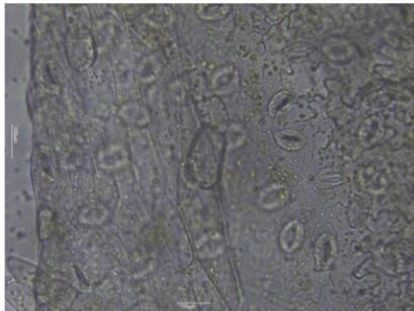
图版II：张伯因等. 安徽鹁落坪几种植物光照强度与气孔等性状的关系探究



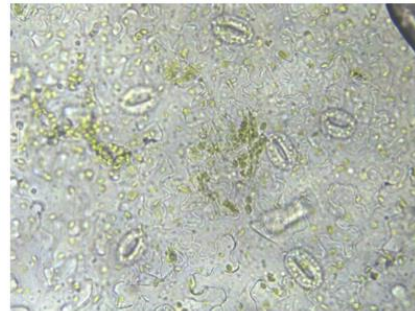
1



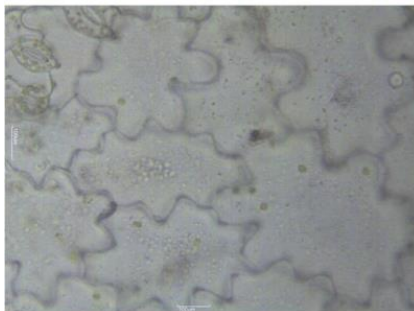
2



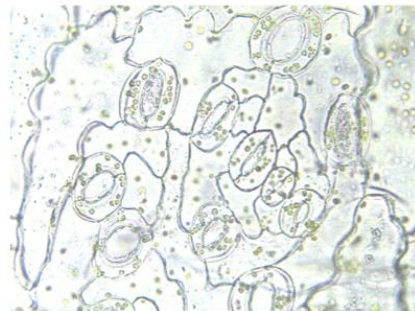
3



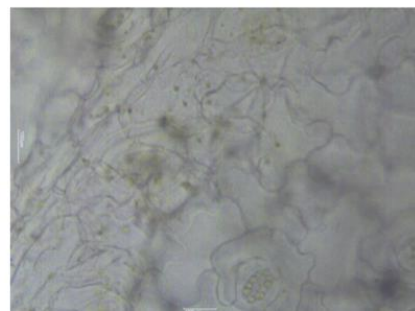
4



5

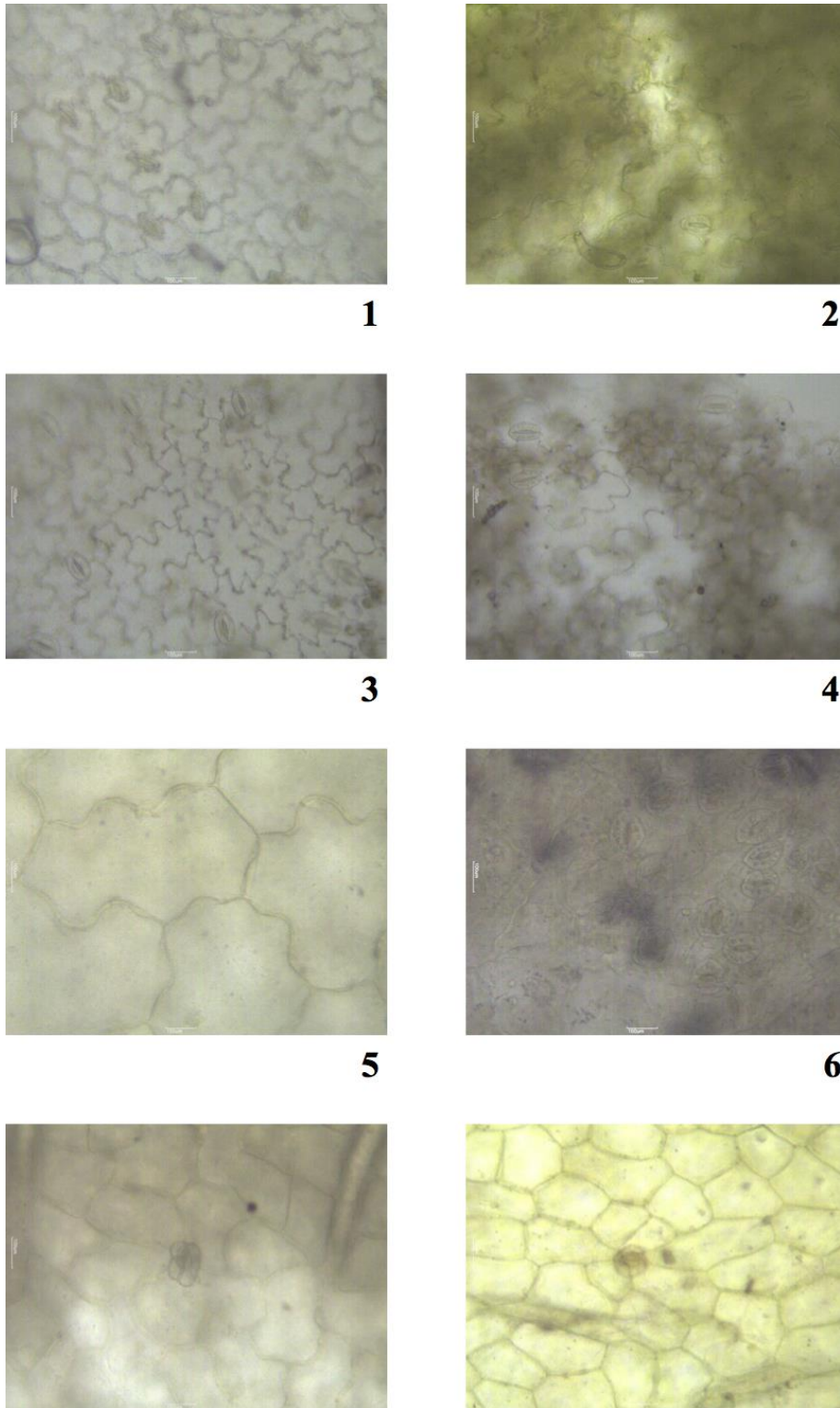


6



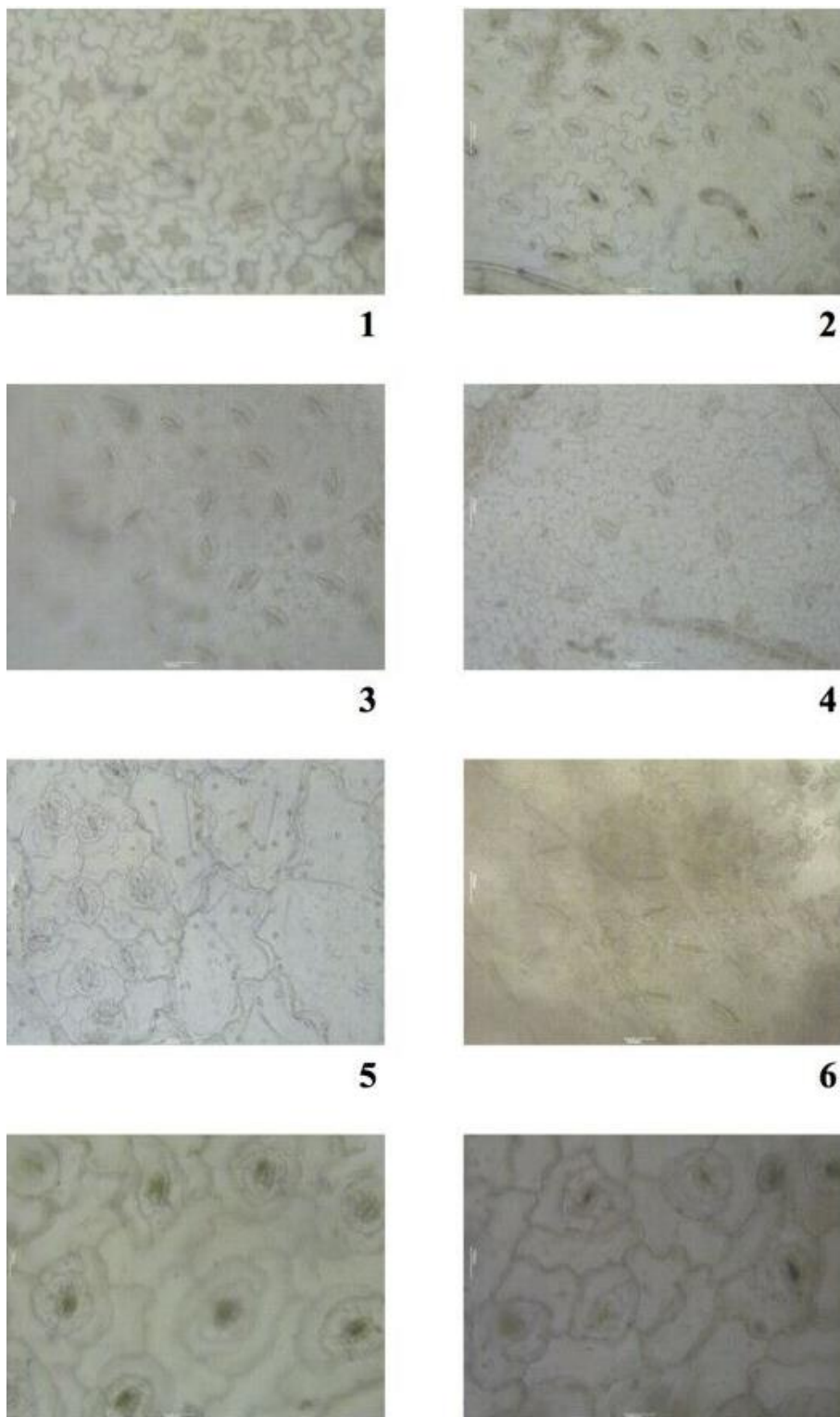
图版II说明：1、阳生待宵草叶绿体照；2、阴生待宵草叶绿体照；3、阳生狼把草叶绿体照；4、阴生狼把草叶绿体照；5、流水五台金腰叶绿体照；6、滴水五台金腰叶绿体照；7、偏阳生（路边）楼梯草叶绿体照；8、阴生（狭缝）楼梯草叶绿体照。

图版III：张伯因等. 安徽鷓落坪几种植物光照强度与气孔等性状的关系探究



图版III说明：1、阳生待宵草上表皮照；2、阴生待宵草上表皮照；3、阳生狼把草上表皮照；4、阴生狼把草上表皮照；5、流水五台金腰上表皮照；6、滴水五台金腰上表皮照；7、偏阳生（路边）楼梯草上表皮照；8、阴生（狭缝）楼梯草上表皮照。

图版IV：张伯因等. 安徽鷓落坪几种植物光照强度与气孔等性状的关系探究



图版IV说明：1、阳生待宵草下表皮照；2、阴生待宵草下表皮照；3、阳生狼把草下表皮照；4、阴生狼把草下表皮照；5、流水五台金腰下表皮照；6、滴水五台金腰下表皮照；7、偏阳生（路边）楼梯草下表皮照；8、阴生（狭缝）楼梯草下表皮照。

图版 V：张伯因等. 安徽鹞落坪几种植物光照强度与气孔等性状的关系探究



1



2



3



4



5



6



图版 V 说明：1、阳生待宵草采样地照片；2、阴生待宵草采样地照片；3、阳生狼把草采样地照片；4、阴生狼把草采样地照片；5、流水五台金腰采样地照片；6、滴水五台金腰采样地照片；7、偏阳生（路边）楼梯草采样地照片；8、阴生（狭缝）楼梯草采样地照片。

鹞落坪落叶乔木叶片面积与节间长度的探究

窦义平, 陈曦云

(中国科学技术大学生命科学学院, 合肥, 230026)

摘要: 根据多年生植物生长周期规律以及能量分配利用原理, 选择鹞落坪保护区 6 种落叶乔木新枝, 通过测量叶片鲜重和节间长度并研究两者间的变化规律及相关性, 探究植物生长的营养分配原则; 发现叶面积与节间长度正相关且同步变化, 符合植物营养生长的周期性。

关键词: 落叶乔木; 叶片面积; 节间长度; 营养分配; 生长周期性

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A

Study on Leaf Area and Internode Length of Deciduous Arbors in Yaoluoping

Dou Yiping, Chen Xiyun

(School of Life Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, 230026, China)

Abstract: Based on the growth cycle and energy distribution of perennial plants, new branches of six deciduous trees in Yaoluoping Reserve were selected. We measured the leaf fresh weight and internode length of these branches, and the variation laws and correlation between the two were studied, to explore the principle of nutritional distribution of plant growth. We found that the leaf area and internode length are positively correlated and changed synchronously, which was in line with the periodicity of plant vegetative growth.

Keywords: perennial plants, leaf area, internode length, nutritional distribution, growth periodicity of plant

引言

植物生长的周期性是指植物或器官的生长速率随昼夜或季节变化发生有规律变化的现象, 主要包括生长大周期、昼夜周期和季节周期等。植物生长大周期是指植物初期生长缓慢, 以后逐渐加快, 生长达到高峰后, 又逐渐缓慢, 至生长停止。形成与细胞生长过程有关, 生长初期一次报分裂为主, 细胞数目虽增加较快, 但体积增大不多, 表现出生长缓慢; 中期以细胞伸长和扩大为主, 是器官体积和体重增加最显著的阶段; 后期则以分化成熟为主, 因而生长又趋缓慢, 最后停止生长。季节周期是指植物在一年中的生长随季节变化而呈现一定的周期性规律。温带树木的生长, 随着季节的更替表现出明显的季节性, 即春季和初夏雨水充足、生长快, 盛夏时节蒸腾作用强, 生长慢甚至停止生长, 秋季生长速度又有所加快, 冬季停止生长或进入休眠期^[1]。

叶片是植物进行光合作用的主要场所, 叶光合作用固定的糖类提供植物发育所需的碳骨架和能量, 根从土壤中吸收植物生长所必须的矿质元素与水。一年生植物生长, 根系的生长依附地上叶片的光合作用^[2]。而多年生植物, 由于叶片距离地面较远, 基本上根系的生长与新枝无大联系, 新枝光合作用固定的能量主要供应自身的营养生长与生殖生长。故简要分析植物营养生长与能量分配可通过分析多年生乔木新枝的叶片面积与节间长度入手。

本文系统研究了鹞落坪自然保护区多年生落叶乔木 2019 年新枝，测量了叶片鲜重和节间长度，并讨论两者的变化规律与相关性，并分析植物生长的周期性和营养分配。

1 材料与方**法**

1.1 试验材料

实验分为 6 组，选取 6 种多年生落叶乔木新枝：鹅掌楸、玉兰、桤木、银杏、山胡椒、红果山胡椒，每组均采集五枝及以上的 2019 年新生枝条。新枝来源：鹞落坪自然保护区。

1.2 实验设计

实验于 2019 年 7 月 7 日-13 日在安徽鹞落坪自然保护区进行。选取 2019 年无虫害、无病变、叶片完好的新枝，清理干净灰尘雨水，放入采集袋中待测。从新枝基部第一个叶片（从下至上依次编号为 0、1、2、3、4 无虫）开始测量，0 号与 1 号之间为第一节间，依此类推。从而进行节间长度的测量，和用叶片鲜重代替叶面积进行测量记录^[3]。

1.3 叶片节间长度的测定

每种乔木随机剪取五枝以上新枝，按 1.2 标准选取适宜新枝后，取叶（芽）底部为准，用直尺测量节间长度。

1.4 叶片面积的测定

测完节间长度后，取下叶片，清理干净，使用电子天平测量鲜重。叶片不规则，叶面积很难测定，又由于不需要准确面积值，只需要进行同种同枝之间的比较，分析变化规律；由于相同立地条件下，同一阔叶树种其叶面积越大，鲜重越重，反之，则鲜重越轻，叶面积 A 与鲜重 W 相关系数 $r=0.998^{[3]}$ ，故可以通过用电子天平及时测量鲜重，代替叶面积的测量，进行后续讨论。

1.5 数据处理

整理数据，在 excel 中绘制统计数据表格，并根据表格绘制每种枝条鲜重、节间长度的多条折线图。

2 结果与分析

2.1 鹅掌楸叶面积与节间长度的统计与分析

鹅掌楸(*Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg.), 落叶大乔木。取 2019 年新枝进行测量统计后发现, 其叶片表面积满足“小-大-小”变化规律, 节间长度符合“长-短-长”变化规律。鹅掌楸的生长具有周期性, 生长初期生长缓慢, 节间长度短, 叶片由于需要供应后续营养生长, 本身面积受到限制, 之后生长出的新叶则供应此叶位之上的营养生长, 受到限制减小, 面积也缓慢增大, 而之后进入春季与初夏, 雨水充足, 温度适宜, 叶片光合速率增加, 叶面积明显变大, 更利于枝条伸长。取材于 7 月份, 盛夏由于蒸腾作用强, 限制了叶片的光合作用, 植物生长速度放缓, 新叶面积减小, 节间长度缩短。

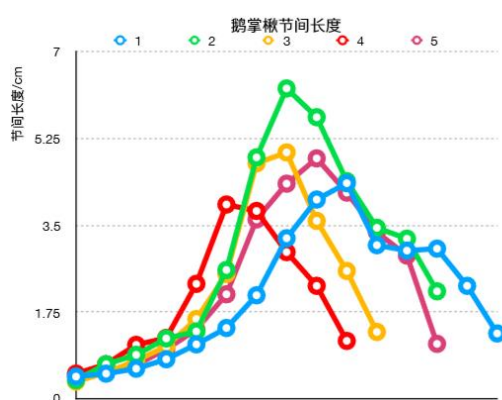


图 1 鹅掌楸节间长度

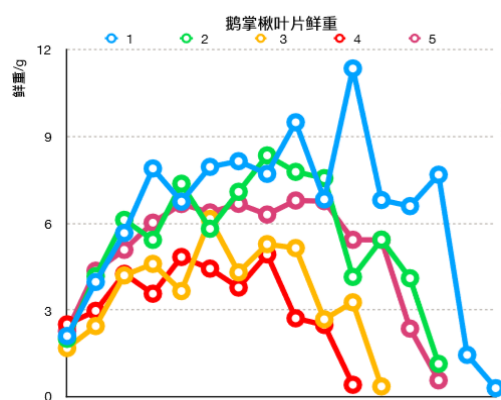


图 2 鹅掌楸叶片鲜重

2.2 玉兰叶面积与节间长度的统计与分析

玉兰(*Magnolia denudata* Desr.), 落叶乔木。取 2019 年新枝进行测量统计后发现, 其叶片表面积大致满足“小-大-小”变化规律, 节间长度符合“长-短-长”变化规律。但于鹅掌楸的严格符合而言, 采集到的 4 号、5 号、6 号玉兰新枝明显顶芽临近叶片面积大于临近第二片叶片, 查资料知玉兰具花芽, 花芽分化在一年生枝上完成, 推测由于顶芽为花芽, 需要更多营养供应, 以积累能量供来年开花, 故临近叶片叶面积较大。而 1 号、2 号、3 号由于枝条发育较为缓慢, 枝条较小, 还尚未出现此类异常。

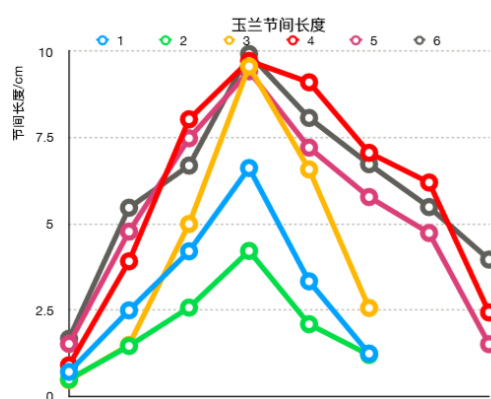


图 3 玉兰节间长度

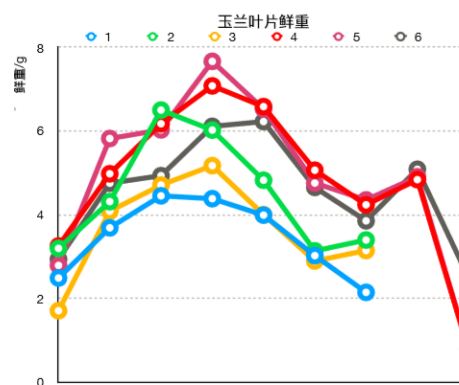


图 4 玉兰叶片鲜重

2.3 桤木叶面积与节间长度的统计与分析

桤木(*Alnus cremastogyne* Burk.), 落叶乔木。取 2019 年新枝进行测量统计后发现, 其叶片表面积大致满足“小-大-小”变化规律, 节间长度大致符合“长-短-长”变化规律。采集到的 1 号、2 号、4 号桤木新枝上枝条中部 5、6 号叶片出现叶片面积缩小, 并且对应节间长度变短的异常。推测此处发生异常的生长速度变缓状况, 可能是由于干旱、连日阴雨或异常高温, 导致叶片光合速率减慢, 干物质难以积累, 生长受限。

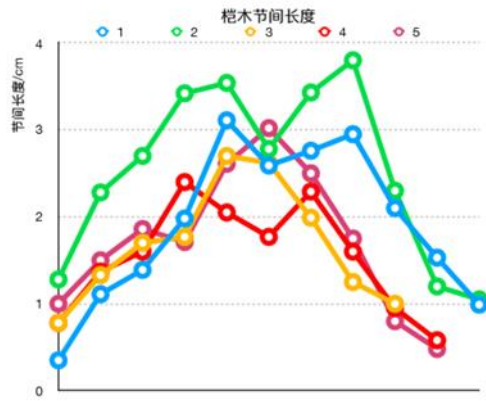


图 5 桤木节间长度

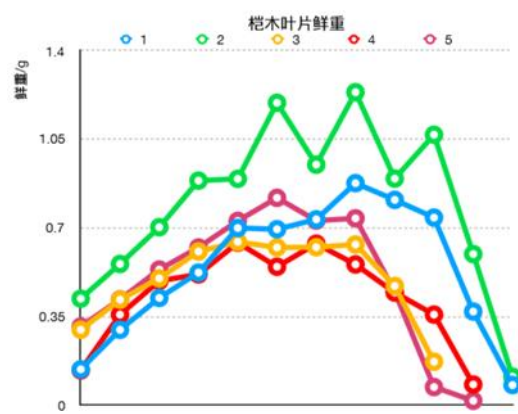


图 6 桤木叶片鲜重

2.4 红果山胡椒叶面积与节间长度的统计与分析

红果山胡椒(*Lindera erythrocarpa* Makino), 落叶灌木或小乔木。取 2019 年新枝进行测量统计后发现, 其叶片表面积大致满足“小-大-小”变化规律, 节间长度大致符合“长-短-长”变化规律。采集到的 4 号枝条 11 号叶片由于虫害, 鲜重明显低于前后两片叶。采集到的 1 号、2 号、4 号红果山胡椒新枝上枝条中部 5、6 号叶出现鲜重的小低谷, 但差距不是很明显, 可以考虑为小的误差。

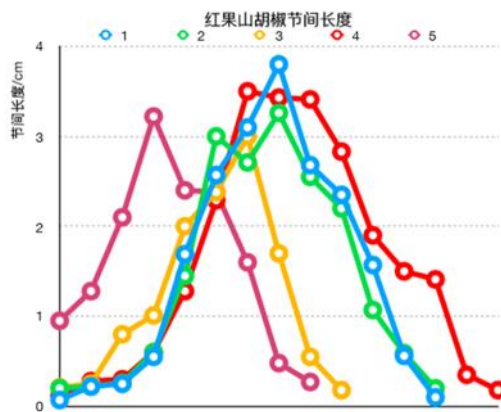


图 7 红果山胡椒节间长度

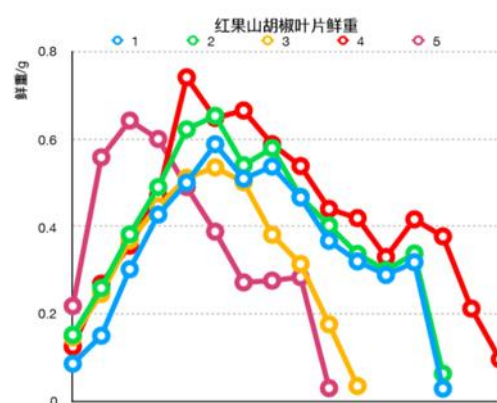


图 8 红果山胡椒叶片鲜重

2.5 厚朴叶面积与节间长度的统计与分析

厚朴(*Magnolia officinalis* Rehd. et Wils.), 落叶乔木, 7-9片聚生于枝端, 长圆状倒卵形^[4]。取2019年新枝进行测量统计后发现, 其节间长度大致符合“长-短-长”变化规律。新枝基部聚生叶片的面积普遍大于之后抽出的叶片, 这与厚朴本身的形态特征有关。厚朴为喜光的中生性树种, 生于海拔300-1500米的山地林间, 幼龄期需荫蔽; 喜凉爽、湿润、多云雾、相对湿度大的气候环境^[5]。生长初期, 厚朴新叶聚生于枝端, 由于叶面积较大, 相互荫蔽, 早抽出的叶位置靠下, 需供应后续叶片的营养, 且被后续叶片遮挡光, 故自身的叶面积较小。聚生叶之上, 节间长度明显变大, 叶面积变化不规律, 且部分节间只有芽无叶片, 芽的生物量也变化不规律, 推测后续叶片的营养大部分来源于聚生叶, 与非聚生叶关系较弱, 故变化不规律。

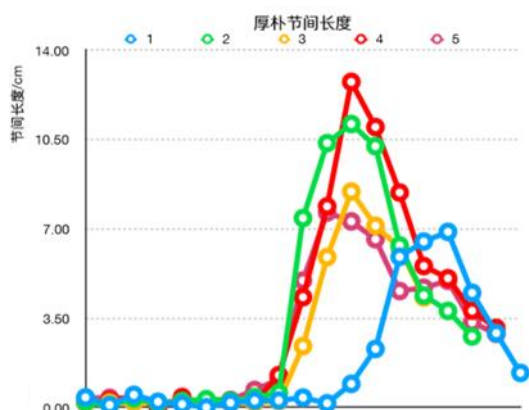


图9 厚朴节间长度

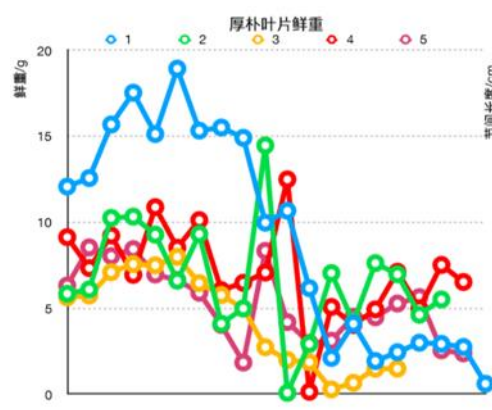


图10 厚朴叶片鲜重

2.6 山胡椒叶面积与节间长度的统计与分析

山胡椒(*Lindera glauca*), 落叶灌木或小乔木, 冬芽为混合芽。取2019年新枝进行测量统计后发现, 除去新枝基部的果实外, 其叶片表面积大致满足“小-大-小”变化规律, 节间长度大致符合“长-短-长”变化规律。由于果实由冬季混合芽发育而来, 且着生于基部, 营养由旧枝提供, 而对后续新枝上的叶片的营养分配并无影响。

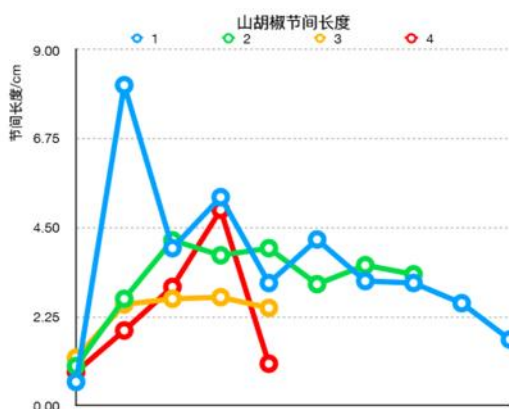


图11 山胡椒节间长度

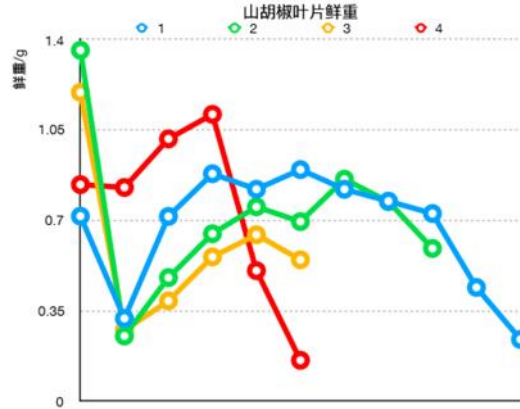


图12 山胡椒叶片鲜重

3 结论与讨论

3.1 结论

通过对鹞落坪 2019 年落叶乔木新叶的探究,可以得出叶面积大小与节间长度呈正相关,且变化规律同步,即:在无极端天气与虫害等外界环境因素的影响下,从新叶基部第一个叶片开始,叶片面积呈“小-大-小”变化,节间长度与之对应叶片呈现“长-短-长”规律变化。说明植物不同生长阶段,能量分配方向不同,从而导致植物器官生长差异。

3.2 讨论

从鹞落坪自然保护区随机采集到的六种落叶乔木 2019 年新枝进行的数据统计与分析可以得出:叶片表面积大致满足“小-大-小”变化规律,节间长度大致符合“长-短-长”变化规律。查资料可知,营养生长期,茎的生长与叶片生长成比例,相互依赖关系满足功能平衡的约束^[6],本实验数据归纳得出,叶面积与节间长度正相关性较好,与前人结论相吻合。

植物的生长具有周期性,主要包括生长大周期、昼夜周期和季节周期等。从得到的数据结果来看,生长大周期与季节周期在植物营养生长阶段体现明显。而植物生长的周期性与能量分配关系密切。植物不同的生长阶段,积累能量速率有差异,能量分配的方向也不同,从而导致植物体不同时间段营养生长速率的巨大差异。植物发育初期,叶片数量少、面积小,且早春温度较低,光照较夏季弱,故光合作用积累能量较少,且营养生长初期以细胞分裂为主,能量大多数用于细胞数目增加,细胞体积变化较小,生长缓慢,表现为叶片面积小、节间长度短。到达发育中期,叶片数量多,且面积大,初夏温度光照适宜,光合作用积累能量增多,并且固定的能量主要用于细胞伸长与扩大,表现为叶片面积与节间长度增加显著,叶面积的增大和枝条的伸展又进一步利于固定更多能量,营养生长进入全盛时期。发育后期到达分化成熟阶段,对应生殖生长,同化作用的产物与无机营养同时输入营养体和生殖器官,故营养生长会受到限制,表现为叶片面积减小,节间长度缩短。

植物不同时期营养生长速率的差异也会受极端天气与外界不可抗因素的影响,如干旱、虫害、温度突变等^[7]。本小组的研究为植物尤其是多年生落叶乔木的保护,以及植物生长周期规律、营养分配原则提供了参考。

参考文献

- [1] 张晋玮. 植物的营养生长与环境[J]. 养殖技术顾问, 2014:91.
- [2] 李彦连, 张爱民. 植物营养生长与生殖生长辩证关系解析[J]. 中国园艺文摘, 2012, (02):42-43.
- [3] 王俊河, 李艳彩. 利用叶片鲜重求算阔叶树叶面积初报[J]. 河北林业科技, 1992, (03):52-54.
- [4] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1993, 30(1):119-120
- [5] 朱晓红, 沈志伟, 邱琦. 厚朴的特征特性及繁栽技术[J]. 现代农业科技, 2017, (16):81-81.

[6] 施建忠, 王天铎. 植物营养生长期同化物分配的机理模型[J]. 植物学报, 1994, (03):181-189.

[7] 唐贺龙, 刘敏. 浅析环境因子对园林植物生长发育的影响[J]. 新农业, 2016, (19): 29-30.

致谢:感谢沈显生老师和罗建川老师对于本文数据采集、分析整理以及撰写过程中的指导, 班主任张倩老师和授课老师的关心与支持, 及岳西县环保局汪文革主任的支持。从论文的选题、开题, 到修改规范等等, 都离不开老师的悉心指导与帮助; 同时也感谢本论文所引用的各位学者们的著作, 本文的撰写离不开他们的启发。再次向文献准备调查、撰写过程中给予小组关心和帮助的老师 and 同学们致以诚挚的感谢。

安徽鹞落坪不同海拔马褂木叶片形态特征的比较研究

彭庆友, 倪志伟

(中国科学技术大学生命科学学院, 安徽合肥, 230026)

摘要: 为了探索海拔高度对叶片形态的影响, 本文对安徽鹞落坪山区不同海拔高度马褂木 (*Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg.) 叶片形态特征变化进行研究, 主要研究了不同海拔下马褂木叶片的气孔密度大小及栅栏组织层数的多少, 同时还研究了同一马褂木树冠内外侧叶片的气孔密度以及栅栏组织的形态数目的不同。结果表明, 不同海拔马褂木叶片的气孔密度呈现出较大差别但其栅栏组织的层数随海拔的变化没有明确规律, 值得注意的是同一棵树树冠内外层叶片栅栏组织层数出现差异。上述结论让我们对鹞落坪山区的马褂木叶片形态特征与海拔关系有进一步的了解。

关键词: 海拔; 气孔密度; 栅栏组织

中图分类号: Q13 **文献标识码:** A

The Comparison of Leaves of *Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg. at Different Altitudes in Yaoluoping, Anhui Province

Peng QingYou, Ni ZhiWei

(School of Life Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: What we did in this research is estimating the relationships between the stomatal density, the morphological number of palisade tissues of *Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg. And the altitudes. At the same time, exploring the differences of the stomatal density and morphological number of palisade tissues of an identical *L. chinense* at diverse heights. Depended on our statistics from the research we obtain some useful information: on the one hand, the stomatal density of the sample leaves reflect diversity with the change of altitude; On the other hands, the number of palisade tissues of the foliage exposes difference. However, markable point is that the otherness of an identical tree leaves inner or outers. Those points give more learning about the relationship between the leaves of *L. chinense* and the altitudes.

Keywords: altitudes; stomatal density; palisade tissue

引言

植物主要通过叶片捕获光能吸收 CO₂ 进行光合作用, 为其维持生长发育提供能量支持, 同时植物叶片是水分经蒸腾作用散失到空气的场所, 此外, 其还可以对植物起保护等的作用。叶片是植物的重要器官, 与外界进行着密切的活动, 并对外界环境形成生理和结构的适应。因而可以通过对叶片形态特征的研究来窥探植物与外界环境的关系。目前, 对叶片结构的研究一般在叶片大小、重量、气孔密度、栅栏组织、海绵组织等方面进行^[1-4]。

叶片的形成是所处生态环境各种因素综合作用的结果, 包括大气^[2-3,5-10]、温度^[2,5,11]、水分^[2,5,12]、光照^[2,5]、海拔^[2,3,10,13]等, 其中对叶片气孔密度产生较大影响的因素的是大气中 CO₂ 浓度^[10], 对叶片栅栏组织层数会产生较大改变的是光照^[5]。

本文对安徽鹞落坪山区不同海拔下马褂木叶片结构的比较, 通过比较其气孔密度及栅栏组织层数的情况来反应叶片特征与海拔间的关系。鹞落坪自然保护区位于大别山, 地处北纬

30°25′~31°45′, 东经 114°~117°10′, 横跨鄂豫皖三省, 是长江和淮河的分水岭, 占地面积 381 万 km², 其内多山峰沟谷, 最高和次高峰均在安徽省境内, 最高峰白马尖海拔 1774m, 次高峰海拔 1729m。该地区的气候类型属亚热带季风湿润气候, 年平均日照数为 1400~1600h, 年平均辐射量约为 460.2 KJ/cm², 年平均气温在 13~15℃, 气温年较差为 21.8℃, ≥10℃积温 4500~5500℃; 其年降水量为 1300~1500 mm, 而无霜期约为 212~257 d。大别山于淮河一面基带植被以常绿、落叶阔叶混交林为主, 而长江一面为常绿阔叶林, 基带以上常绿、落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针叶、阔叶混交林、针叶林、山地矮林和草甸等植被类型均有分布, 其中局部地段上有一定的沼泽植被^[4]。

1 材料与方法

1.1 实验材料

为比较安徽鹞落坪山区不同海拔下马褂木(*Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg.)叶片结构, 于 7 月份在海拔 632m 和海拔 1041m 两处各取两棵树的样叶, 取样树木的高度、所处环境、取样部位、坡度、是否向阳等特性如表 1 所示。

表 1 取样树木所处环境信息统计表

Table 1 Environmental information table for sampling trees

取样株	取样株 1	取样株 2	取样株 3	取样株 4
取样地点	包家村学堂组	包家村学堂组	天外天度假村旁侧	天外天度假村旁侧
纬度	北纬 31.058238°	北纬 31.058238°	北纬 30°59'2"	北纬 30°59'2"
经度	东经 116.082759°	东经 116.082759°	东经 116°4'30"	东经 116°4'30"
海拔	632.0m	632.0m	1041m	1041m
所处环境	位于马褂木林园	位于马褂木林园	人工种植, 道路旁边	人工种植, 道路旁边
树木高度	15m (目测)	18m (目测)	10m (目测)	10m (目测)
取样高度	2m、5m 和 7m	2m、5m 和 7m	2m、5m 和 7m	1m、3m 和 5m
树干直径	20cm (目测)	18cm (目测)	17cm (目测)	18cm (目测)
取样方位	位于树木南面	位于树木南面	位于树木南面	位于树木南面
样株冠经	5m (目测)	2m (目测)	3.5m (目测)	2m (目测)
坡向	北坡	北坡	南坡	南坡
坡位	下坡	下坡	下坡	下坡
坡度	5° (估计值)	5° (估计值)	5° (估计值)	5° (估计值)

此外, 选取每一棵马褂木树上距离地面 2m、5m 和 7m 的高度 (取样株 3 除外, 其是在距离地面 1m、3m 和 5m 的高度取样) 分别取同一高度的两处样叶, 一处是位于树冠内侧的叶片, 另一处是位于树冠外侧的叶片。总共 4 棵树, 每棵三个高度取样, 共 24 个样品。

1.2 实验方法

对马褂木叶片的比较是比较其叶片背面的气孔密度以及叶片的栅栏组织的层数的变化

情况，其观察方法如下：

(1)在观察其背叶面气孔密度时因马褂木叶片叶脉呈网状较多且密，背叶面遍布叶脉，无法剥离其背叶面的表皮组织，所以我们分别从不同的样本叶片上距离主叶脉中间部分 1cm 附近取下接近 4mm² 的一小块样本，用水浸泡在洗净的培养皿中，后挑取其中一片使其背面朝上制作装片并在 40×10 倍光学显微镜（motic2.0）下进行观察，可看到一定数目的气孔，但因其叶片表面不平整，多层细胞间重叠，无论焦平面如何调整都不能观察到视野中全部的气孔，因此选择气孔数目最多且较为清晰的图像进行采集（采集的部分图像见图版 I -X），求取同一条件下气孔密度均值及作图分析。

(2)在观察叶片栅栏组织的层数时，对马褂木叶片距离主叶脉中间部分 1cm 附近取下接近 4 mm 的一小块样本，用水浸泡在洗净的培养皿中，之后选取一块活体组织进行手工纵切制作装片并在 40×10 倍光学显微镜（motic2.0）下观察其纵切显微图像，并进行图像的采集（采集的部分图像见图版 II -X），后进行数据统计整理、求取同等条件下栅栏组织层数均值并对所得到的数据作图分析。

观测得到的数据分别用 $SD_{xi/xo}$ 和 $PT_{xi/xo}$ 表示，其代表的含义如下：

$SD_{xi/xo}$ 表示气孔密度(个/mm²)，其下标 x 是数字代表第几个样株，紧接的字母 i 或 o 表示取自树冠内侧还是外侧。如 SD_{3o} 表示样株 3 树冠外侧叶气孔密度。

$PT_{xi/xo}$ 表示栅栏组织层数（层），其下标 x 是数字代表第几个样株，紧接的字母 i 或 o 表示取自树冠内侧还是外侧。如 PT_{1i} 表示样株 1 树冠内侧叶栅栏组织层数。

2 结果与分析

2.1 叶片表面气孔密度及栅栏组织层数的统计

实验数据的统计表如下所示：

表 2 安徽省鹞落坪不同海拔马褂木叶片背叶面气孔密度统计表

Table 2 Statistics of stomatal density of leaves of *Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg. at different altitudes in Yaoluoping, Anhui Province

	SD_{1i}	SD_{1o}	SD_{2i}	SD_{2o}	SD_{3i}	SD_{3o}	SD_{4i}	SD_{4o}
1m 高取样	/	/	/	/	/	/	97.12	55.50
2m 高取样	97.12	111.00	83.25	97.12	69.37	69.37	/	/
3m 高取样	/	/	/	/	/	/	111.00	41.62
5m 高取样	83.25	111.00	111.00	97.12	83.25	97.12	41.62	97.12
7m 高取样	111.00	124.87	111.00	152.62	97.12	55.50	/	/
气孔密度和	291.36	346.86	305.24	346.86	249.74	221.99	249.74	194.24

表 3 安徽省鹞落坪不同海拔马褂木叶片纵切栅栏组织层数统计表

Table 3 Statistics of the number of palisade tissue of leaves of *Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg. at different

	PT _{1i}	PT _{1o}	PT _{2i}	PT _{2o}	PT _{3i}	PT _{3o}	PT _{4i}	PT _{4o}
1m 高取样	/	/	/	/	/	/	0	1
2m 高取样	0	0	1	0	1	1	/	/
3m 高取样	/	/	/	/	/	/	0	1
5m 高取样	1	1	0	1	0	1	0	1
7m 高取样	0	1	1	1	0	1	/	/
栅栏组织层数和	1	2	2	2	1	3	0	3

表 2 统计不同海拔马褂木背叶面气孔密度大小，表 3 统计了不同海拔下马褂木栅栏组织的层数。对每一个取样株分别统计其不同取样高度，树冠内外侧的气孔密度数值与栅栏组织层数。

2.2 叶片表面气孔密度及栅栏组织层数作图

对统计得到的有关气孔密度和栅栏组织层数的数据用 origin (2019) 软件作图分析得到如下结果。

(1) 对不同海拔马褂木气孔密度作图分析

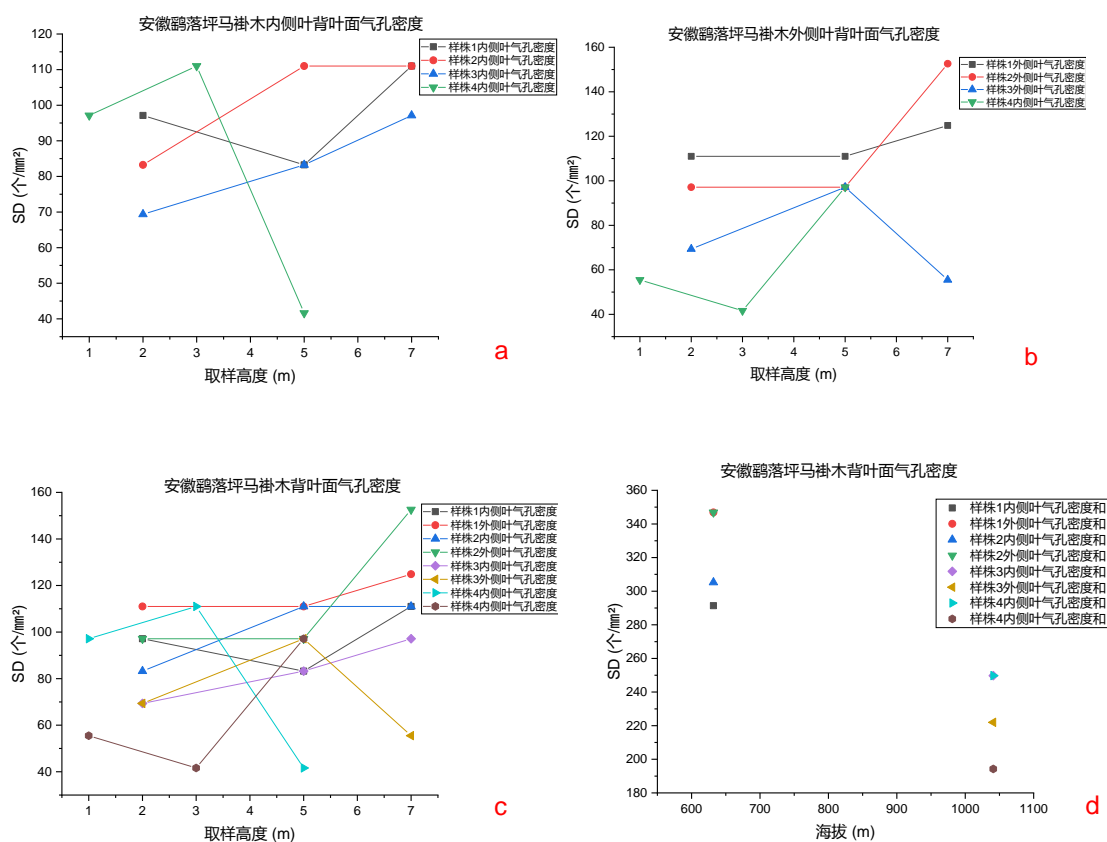


图 1 安徽鹞落坪不同海拔马褂木背叶面气孔密度比较图

Fig. 1 The comparison of stomatal density of leaves of *Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg. at different altitudes in Yaoluoping, Anhui Province

图 1 中 a、b 两图分别表示对马褂木内侧与外侧叶片气孔密度进行纵向比较，均发现在海拔为 632m 的马褂木叶片背叶面的气孔密度总体上大于在海拔 1041m 的气孔密度；c、d 两图表示对总体气孔密度求和后作图，图中曲线展现出在低海拔时其气孔密度较大的情况。a、b 两图中叶面气孔密度并未全部呈现出低海拔时较大的情况，因其随植物的发展阶段与取样部位不同而不同^[15]。

(2) 对不同海拔马褂木栅栏组织层数作图分析

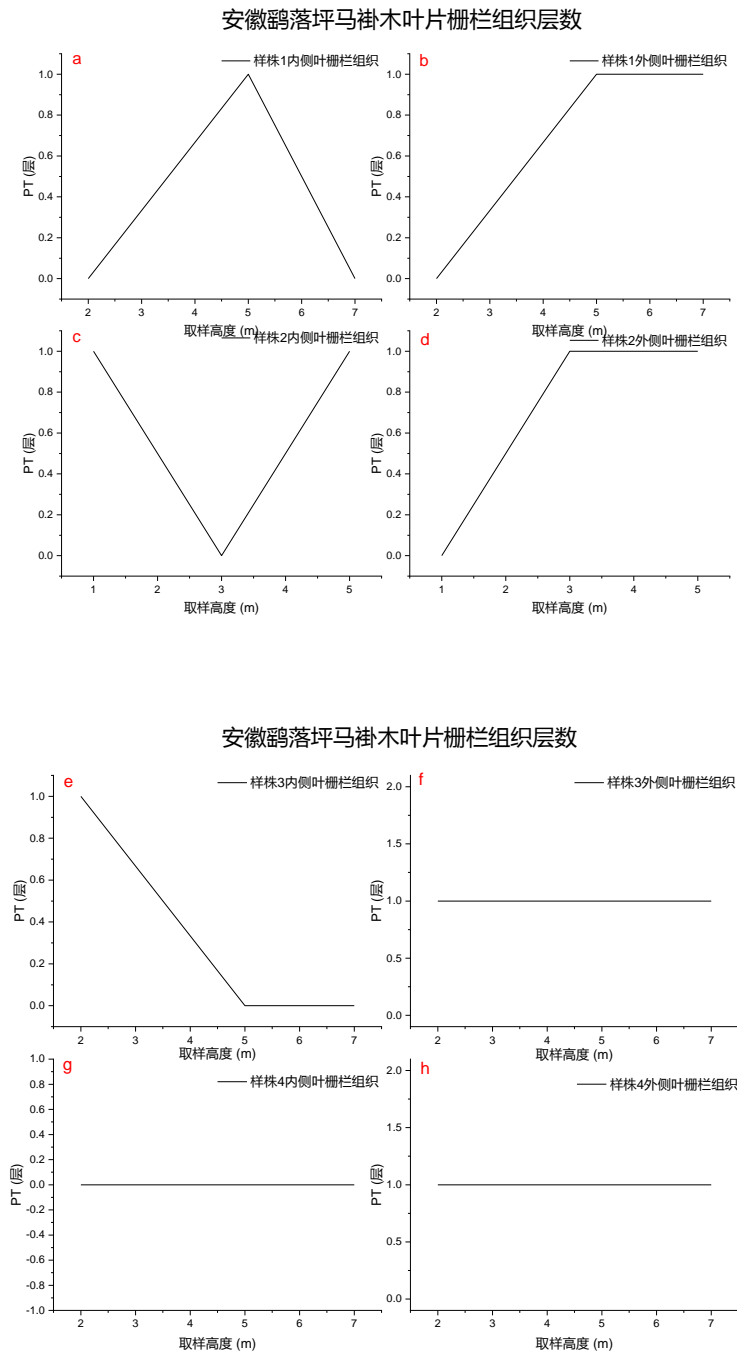


图 2 安徽鹞落坪不同海拔马褂木叶片栅栏组织层数曲线分析图

Fig. 2 The analysis of the number of palisade tissues of leaves of *Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg. at different altitudes in Yaoluoping, Anhui Province

由图 2 可知，这是位于同一取样株树冠内侧（b, c, e, g）或外侧(a, d, f, h)的叶片栅栏组织层数纵向比较图像。其变化比较大，但未观察到明显的特征或规律。

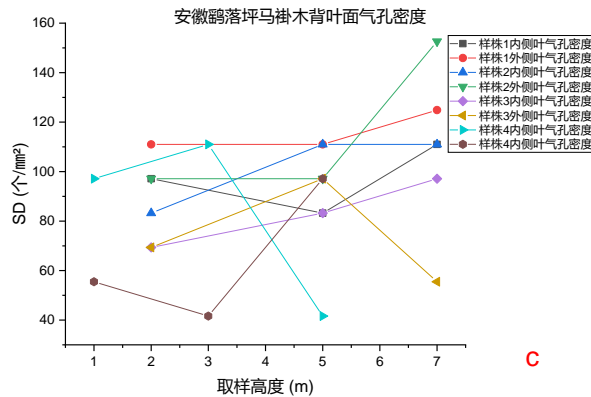
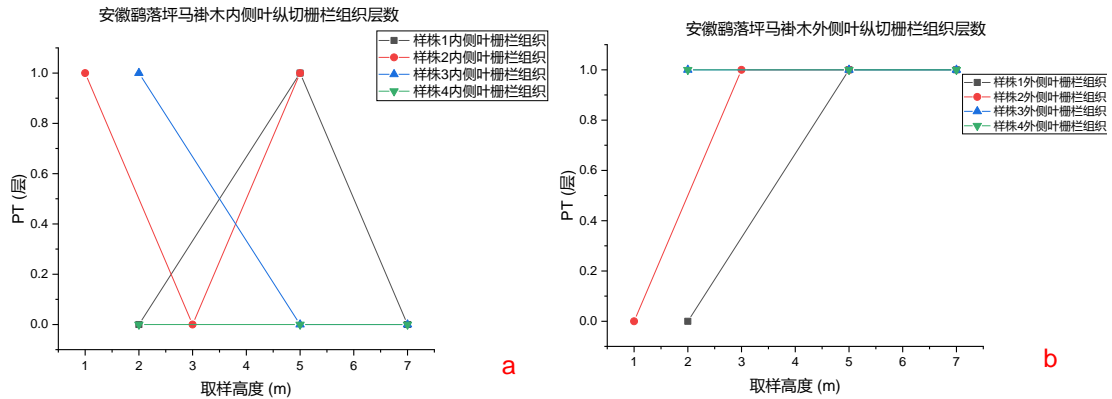


图 3 安徽鹞落坪不同海拔马褂木内外侧叶片栅栏组织层数层数比较图

Fig. 3 The comparison of the total number of palisade tissues of leaves of *Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg. at different altitudes in Yaoluoping, Anhui Province

从图 3 可大致看出，不同样株内侧（a）或外侧（b）及全部样株（c）的栅栏组织层数之间的比较，发现其栅栏组织层数随海拔的变化并无明显的规律可循，但有一点值得注意，即位于树冠外层叶片的栅栏组织的层数总体而言多余内层叶片。

3 讨论

3.1 海拔对叶片气孔密度的影响

鹞落坪两处海拔下鹅掌楸气孔密度在低海拔时大，因在低海拔时温度会较高，气孔导度和 CO_2 同化速率也降低^[2]，其气孔密度与气体交换速率呈正相关^[4]，因而植物通过增加气孔密度来填补 CO_2 不足的条件，表现出较大的可塑性^[13]。安徽鹞落坪地区地势较为平缓，空气中的 O_2 含量略高，平均气温略低。所取的样株 1 与样株 2 的高度较样株 3 和样株 4 要高一些，样株 1、2 的取样部位基本位于树的中下部，所能获得的光较少且中下部空气流动较

慢，叶片较为密集，因此所能利用的 CO_2 可能较少，气孔密度就相应的偏多^[2,6,10]，观察图 1 (a,b) 也可以看出随着取样高度的增加，鹅掌楸背叶面气孔密度有上升的趋势。再进行相同高度取样样本的气孔密度的比较（见表 2），也可以发现海拔 632m 气孔密度总体而言是大于海拔 1041m 的马褂木的叶片背叶面气孔密度。

3.2 海拔对栅栏组织层数的影响

栅栏组织由叶肉细胞分化而来，主要作用在于利用光进行光合作用，其在强光下栅栏组织会更为发达^[2,5]，因取样地安徽鹞落坪镇地势平缓，所选样株均处于开阔地带，光照充足，而光对栅栏组织的影响要大于海拔对马褂木叶片栅栏组织层数的影响，所以其规律表现的不太明显。而树冠内外层的叶片的光接受量差别明显，所以在同一样株上就可以发现其区别。

总体而言，对不同海拔下马褂木叶片解剖特性的研究经历了比较完整的过程，发现不同海拔下马褂木叶片背叶面气孔密度于海拔 632m 时较大；同时也觉察到光可能是影响栅栏组织的一个重要抑或主要的因素，栅栏组织的层数与海拔的关系不太明显这一问题。其中光与栅栏组织的关系还需要进一步的探讨研究。

此次取样的海拔和样株的数目还是显得偏少，通过观察两个海拔下的 4 株马褂木叶片的解剖结构得到的结论在实验数据支持这方面就显得单薄，还需做进一步的探究。此外，在 400 倍光学显微镜（motic2）下呈现的像并不能同时看清背叶面视野中的所有气孔，只选取了最为清晰的图像做统计，这是本文的一个最大弊病。若可以得到整个视野中的所有气孔数目其结果将更为可靠。

4 结论

在一定海拔范围内，鹞落坪山区马褂木叶片气孔密度与海拔呈现负相关趋势，在海拔 632m 的马褂木叶片的平均气孔密度大于海拔 1041m 时的马褂木叶片气孔密度。可在一定程度上用气孔密度反应相对温度及 CO_2 的浓度。栅栏组织层数与海拔之间没有可以从中发现的规律，但其栅栏组织对光照表现的就比较敏感，树冠内外层叶片的栅栏组织层数差异明显，以后对栅栏组织的探究可以从光照方面考虑。

参考文献

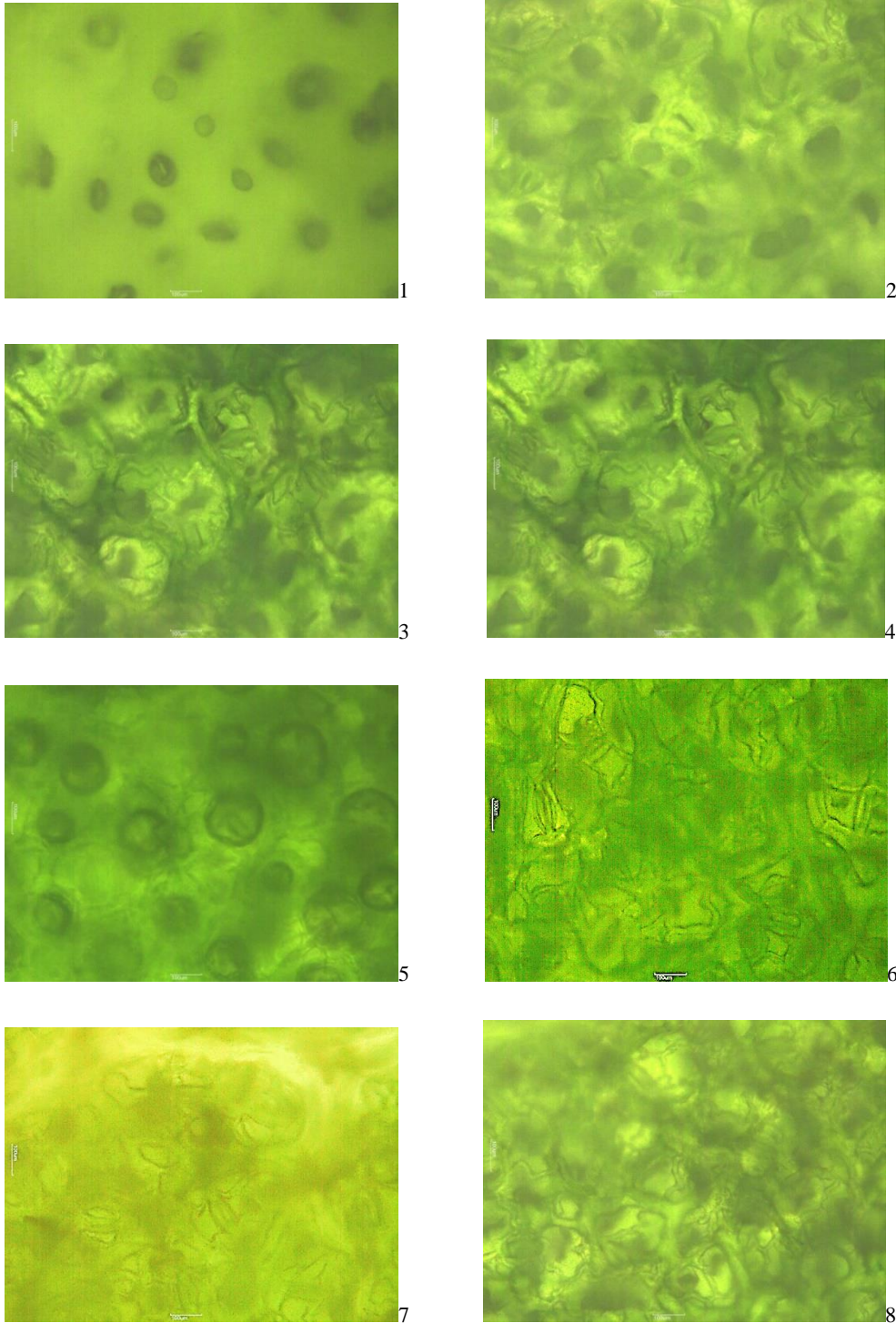
- [1] 徐杨, 周丽, 蔡年辉, 邓丽丽, 王大玮, 段安安, 何承忠, 许玉兰. 云南松不同海拔群体的针叶性状表型多样性研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2016, 31(1):109-114.
- [2] 李芳兰, 包维楷. 植物叶片形态解剖结构对环境变化的响应与适应[J]. 植物学报(增刊), 2005, 22:118-127.
- [3] 石硕, 贺学礼, 祝东立. 不同海拔高度上两种蒿属植物叶表皮结构比较研究[J]. 河北农业大学学报, 2008, 31(1):41-47.

- [4] 朱玉, 郝立华, 黄磊, 王贺新, 党承华, 张运鑫, 陈东娟, 王利书, 郑云普, 徐国辉. 不同温度对3种北高丛蓝莓气孔特征和气体交换参数的影响[J]. 中国农业大学学报, 2016, **21**(7):43-45.
- [5] 刘欣欣, 张明如, 邹伶俐, 吴刚, 阴卓越, 吕钺香. 浙江省15个树种苗期叶片解剖结构特征比较分析[J]. 浙江农林大学学报, 2013, **30**(4):484-48.
- [6] 马清温, 李凤兰, 李承森. 气孔参数与大气CO₂浓度的相关性及其影响因素[J]. 西北植物学报, 2004, **24**(12):2020-2024.
- [7] Anjala Pyakurel, Jian R. Wang. Interactive Effects of Elevated [CO₂] and Soil Water Stress on Leaf Morphological and Anatomical Characteristic of Paper Birch Populations [J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2014, **5**:691-703.
- [8] Miguel Angelo Branco Camargo; Ricardo Antonio Marengo. Density, size and distribution of stomata in 35 rainforest tree species in Central Amazonia[J]. *Acta Amazonica*, 2011, **41**(2):205-212.
- [9] HAMIM. Photosynthesis of C₃ and C₄ Species in Response to Increased CO₂ Concentration and Drought Stress[J]. *Hayati*, 2015, **11**:131-138.
- [10] 左闻韵, 贺金生, 韩梅, 吉成均, Dan F. B. Flynn, 方精云. 植物气孔对大气CO₂浓度和温度升高的反应——基于在CO₂浓度和温度梯度中生长的10种植物的观测[J]. 生态学报, 2005, **3**(25):565-574.
- [11] 欧志英, 彭长连. 高浓度二氧化碳对植物影响的研究进展[J]. 热带亚热带植物学报, 2003, **11**(2):190-196.
- [12] Suresh C.Subedi, Michael S.Ross, Rosario Vidales, Jay P.Sah, Leonel Sternberg. Variation in Stomatal Characteristics of *Bursera simaruba* (L.) Sarg., a Dominant Tree Species of Tropical Hardwood Hammock Forest across a Habitat Gradient in the Florida Keys[J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2018, **9**:2120-2139.
- [13] 刘梦颖, 刘光立, 康永祥, 张硕, 吴云, 王玉. 高山植物全缘叶绿绒蒿叶片形态及解剖结构对海拔的响应[J]. 生态学杂志, 2018, **37**(1):35-42.
- [14] 沈显生. 生物学与生态学野外实习教程[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2013, 1-2.
- [15] Marcelo, P.Hernández, Yanam.Arambarri. Stomatal distribution, stomatal density and daily leaf movement in *ACACIA AROMA* (LEGUMINOSAE)[J]. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 2010, **45**(3-4):273-284.

致谢: 本文承蒙沈显生老师和罗建川老师的指导, 以及岳西环保局汪文革老师的帮助, 特此谢忱。

图版 I 彭庆友等. 安徽鹞落坪不同海拔马褂木叶片形态特征的比较研究

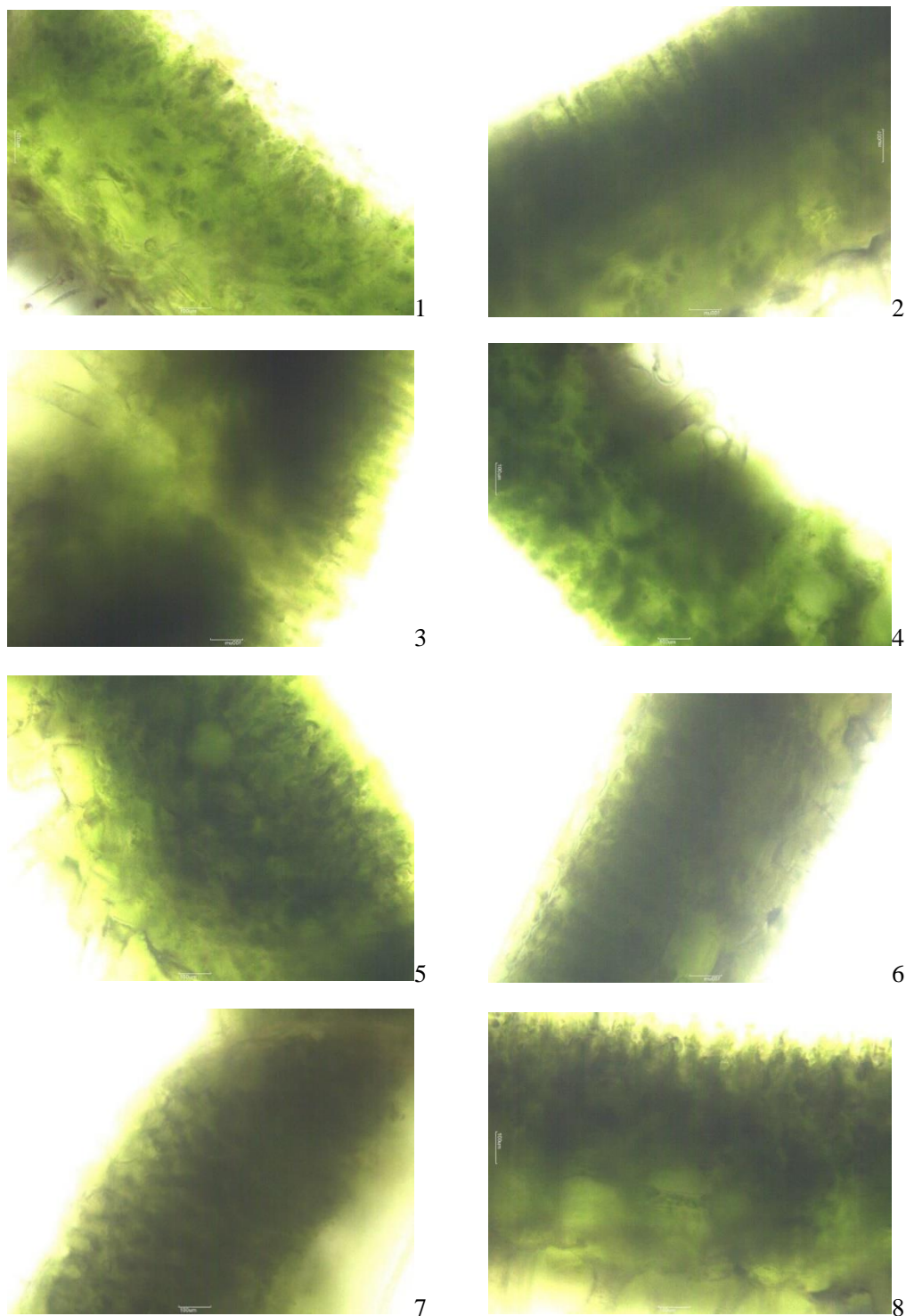
(背面 40×10 倍光学显微图像部分图集)



图版说明： Fig. 1 海拔 632m-样株 1-取样高度 2m 树干外侧； Fig. 2 海拔 632m-样株 1-取样高度 7m 树干内侧； Fig. 3 海拔 632m-样株 2-取样高度 5m 树干内侧； Fig. 4 海拔 632m-样株 2-取样高度 7m 树干内侧； Fig. 5 海拔 632m-样株 2-取样高度 7m 树干外侧； Fig. 6 海拔 632m-样株 3-取样高度 5m 树干内侧； Fig. 7 海拔 1041m-样株 3-取样高度 7m 树干内侧； Fig. 8 海拔 1041m-样株 4-取样高度 3m 树干内侧。

图版II 彭庆友等. 安徽鹞落坪不同海拔马褂木叶片形态特征的比较研究

(纵切 40×10 倍光学显微图像部分图集)



图版说明： Fig. 1 海拔 632m-样株 1-取样高度 5m 树干内侧； Fig. 2 海拔 632m-样株 1-取样高度 7m 树干外侧； Fig. 3 海拔 632m-样株 2-取样高度 5m 树干外侧； Fig. 4 海拔 632m-样株 2-取样高度 7m 树干内侧； Fig. 5 海拔 632m-样株 2-取样高度 7m 树干外侧； Fig. 6 海拔 1041m-样株 3-取样高度 7m 树干外侧； Fig. 7 海拔 1041m-样株 4-取样高度 1m 树干外侧； Fig. 8 海拔 1041m-样株 4-取样高度 3m 树干内侧。

鹞落坪夜行性昆虫对不同波长 LED 灯光趋光性的研究

何永格¹, 梁婷婷¹, 古再丽努尔·库尔班²

(1. 中国科学技术大学生命科学学院, 安徽合肥, 230026; 2. 新疆师范大学生命科学学院, 新疆乌鲁木齐, 830054)

摘要: 本文采用红、黄、绿、蓝、紫、白 6 种波长的 LED 灯对鹞落坪夜间昆虫进行诱捕, 经收集后统计不同 LED 光源所得诱捕昆虫的种类和数目。本调查总计诱捕昆虫 11 个目, 其中双翅目昆虫数量最多, 其次为鞘翅目和鳞翅目。综合近 2015-2019 年数据表明, 被诱捕的昆虫数量与 LED 灯的频率呈正相关; 在 6 种 LED 灯中, 诱捕效果较好的为蓝光、紫光和白光, 而低频率的红光诱捕效果最弱; 鳞翅目、鞘翅目、双翅目昆虫趋光性与前几年结果一致, 双翅目昆虫更趋向蓝绿光, 而鳞翅目更趋向与蓝紫光, 鞘翅目昆虫更趋向紫光。本实验在宏观上直接观测昆虫趋光行为, 对昆虫的趋光行为给出定性描述, 为以后从生理学水平上探究昆虫趋光性给出了方向。

关键词: 鹞落坪; LED 光源; 昆虫; 趋光性; 光诱捕

中图分类号: 968.1 **文献标识码:** A

Study on the phototaxis of LEDs with different wavelengths in the nighttime insects of the Yaoluoping National Nature Reserve

Yongge He¹, Tingting Liang¹, Guzailinuer Kuerban²

(1.College of Life Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China; 2.College of Life Science, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang, China, 830054)

Abstract: In this paper, red, yellow, green, blue, purple and white LED lights were used to trap insects at night in the downfall. After collecting, the types and numbers of trapped insects obtained by different LED light sources were collected. The survey has trapped 11 species of insects, of which Diptera has the largest number of insects, followed by Coleoptera and Lepidoptera. According to the data of 2015-2019, the number of trapped insects is positively correlated with the frequency of LED lights. Among the 6 kinds of LED lights, the trapping effect is better for blue light, violet light and white light, while the low frequency red light trapping effect is the most weak; the phototaxis of Lepidoptera, Coleoptera, and Diptera is consistent with the results of previous years. Diptera insects tend to be blue-green, while Lepidoptera tends to be blue-violet, and Coleoptera tends to be purple. This experiment directly observes the phototaxis behavior of insects on a macroscopic scale, and gives a qualitative description of the phototaxis behavior of insects, which gives a direction for exploring the phototaxis of insects from the physiological level.

Key words: Yaoluoping; LED light source; Insect; Phototaxis; Light trapping

引言

趋光性是昆虫对环境条件的一种选择行为, 一种在进化过程中形成的本能反应。许多夜行性昆虫会自发在人造光源处聚集。对夜行性昆虫的趋光性研究, 探讨不同昆虫对不同波长光的喜好, 可以使昆虫的汇聚诱捕更加高效。因此, 研究夜行昆虫趋光性可以帮助我们更加有效的诱捕有害昆虫, 或者定向诱捕某些种类的昆虫, 用于研究昆虫与植物花色之间的进化, 甚至在一定程度上反映昆虫之间的亲缘性^[1]。

为了研究夜行昆虫的趋光性, 本次实验取址于安徽省鹞落坪国家自然保护区。鹞落坪国

家级自然保护区位于安徽省岳西县包家乡境内,介于东经 116°02'~116°11'、北纬 30°57'~31°06' 之间,属于大别山江淮分水岭主段,面积 12300 公顷。保护区主要保护对象是亚热带常绿落叶阔叶混交林。保护区属于北亚热带季风气候区,降雨量丰富,年降雨量 1400~2000mm,森林植被覆盖率达 90%,空气清新,涵养水源,动植物分布呈南北过渡特征,区内昆虫种类繁多,高等植物有 1200 多种,还有国家首批公布保护的珍稀濒危野生植物 23 种,为昆虫提供了理想的栖息环境。是不可多得的优质野外实验室^[2]。

除本次实验所得数据之外,本文还综合我校同学四年来(2015-2019 年)在鹞落坪相同地点做实验所得数据,对鹞落坪不同目昆虫的趋光性行为进行探讨,得出初步结论。

1 材料与方法

1.1 昆虫材料

本次实验的主要实验对象是鹞落坪自然保护区的夜行性昆虫。诱捕位置在鹞落坪国家自然保护区办公楼门前的大理石路边,路边有几棵大树用来支撑幕布。背靠建筑,无较强的对流风,适宜昆虫停留。主要是一些常见的昆虫,如鳞翅目、双翅目、同翅目、鞘翅目、蜉蝣目、广翅目、革翅目、膜翅目、毛翅目、缨翅目、蜚蠊目昆虫等。同时综合以往三年在相同地点所做实验得到的昆虫材料数据。

1.2 实验装置

本次实验装置由诱集装置和收集装置两部分组成。

1.2.1 诱集装置

将绳索固定在树之间,绳索离地高度 2 米,借此悬挂颜色相同的白色幕布,幕布的宽度相等为 2.3 米。幕布上沿和侧边边缘皆用固定夹固定,防止幕布滑动或掉落,下沿用竹竿卷起固定,并用石头压住,防止夜间山风将幕布吹起,影响灯光效果。在幕布前从左往右依次放置红色、黄色、绿色、蓝色、紫色、白色 LED 光源各一个。光源放置在幕布中线上,与幕布的距离恰好能使使灯光照满整个白色幕布,灯具的放置角度一致。

1.2.2 收集装置

准备 6 个中等大小的广口瓶,在瓶中放入大小相等的海绵,并倒入足量乙醚,当昆虫稳定在幕布上时,将广口瓶口扣于昆虫上,待昆虫失去意识落入瓶后,取下瓶子盖上。在抓捕时要注意补充乙醚,防止乙醚浓度不足而昆虫无法被迷晕或毒死而导致抓捕困难。

1.3 统计与分析方法

首先依据实际采集到的标本,采用传统形态分类方法,参考相关的文献书籍进行鉴定。对鳞翅目昆虫主要参考《中国蛾类图类图鉴》^[3]鉴定到种。对其他的昆虫主要参考《中国农

业昆虫》^[4]对昆虫鉴定到科，统计不同波长光收集到的不同目的昆虫数量。对以上统计结果进行综合性分析，利用 EXCEL 软件，对不同目昆虫与不同波长进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 鹞落坪夜行昆虫多样性

两日收集到的昆虫鉴别统计如表 1。

表 1 鹞落坪各 LED 灯诱捕各目昆虫统计表

灯光 目	红光	黄光	绿光	蓝光	紫光	白光	总计
蜉蝣目	1	0	0	2	5	0	8
鞘翅目	2	2	1	4	4	7	20
双翅目	5	45	164	94	95	83	486
鳞翅目	1	5	8	5	1	8	28
同翅目	0	3	3	11	0	14	31
革翅目	0	1	0	1	0	0	2
广翅目	0	1	0	0	0	0	1
膜翅目	0	1	0	0	0	0	1
毛翅目	0	0	0	1	0	0	1
缨翅目	0	0	0	4	0	0	4
蜚蠊目	0	0	0	0	0	1	1
总计	9	58	176	122	105	113	583

本次实验共收集到昆虫 583 只，共涉及 11 个目。由表中数据可以看出，绿光诱捕得到的昆虫数量最多，达到 176 只；红光诱捕得到的昆虫数量最少，仅有 9 只。蓝紫光较多，均超过了 100 只。白色 LED 灯光由于蓝光与黄色荧光粉产生，诱捕的数量与蓝光相近。而黄光较少，诱捕数为 58 只。

诱捕的昆虫中，双翅目昆虫占绝大多数，原因可能是收集的那两天白天均有降雨，且近几天都有降雨，空气潮湿，大型昆虫出没较少，双翅目特别是蚊科的昆虫则特别多。除去双翅目外。同翅目中的一些小型昆虫如叶蝉科，也较多。鳞翅目的蛾类昆虫因其夜行性也较多，但相较往年都非常少。鞘翅目昆虫与往年相比变化不大，其夜行性受天气，月份等因素变化较小。其它的一下如革翅目等数量较少但都有出没，其夜行性或趋光性不明显。

2.2 不同昆虫趋光性分析

统计 2015-2019 年鞘翅目昆虫不同灯光诱捕数如图 2。

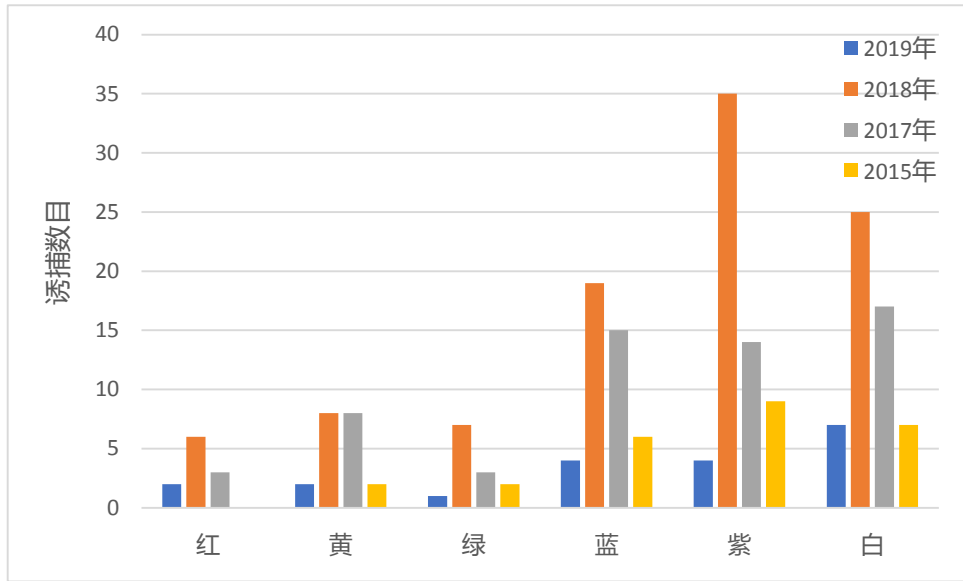


图 2 2015-2019 年鞘翅目昆虫趋光性分析

如图，虽然各年诱捕得到的鞘翅目昆虫不尽相同，但诱捕量的高峰均位于短波长蓝紫光。而短波长红光的诱捕数量均较少。可以看出鞘翅目昆虫对短波长紫光趋光性很强，对长波长光趋光性很弱。

2.2.1 鳞翅目昆虫趋光性分析

统计 2015-2019 年鳞翅目昆虫不同灯光诱捕数如图 3。

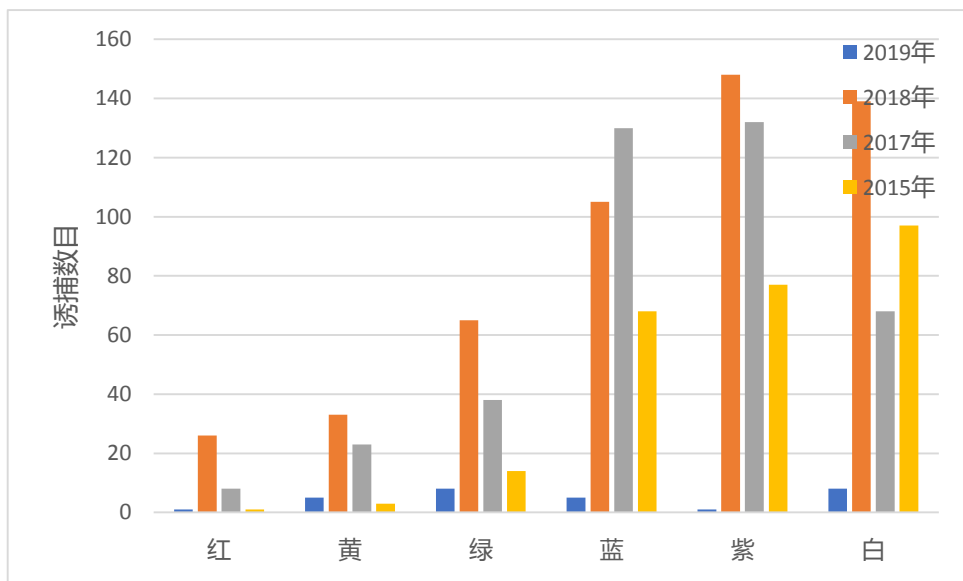


图 3 2015-2019 年鳞翅目昆虫趋光性分析

如图，虽然各年诱捕得到的鳞翅目昆虫不尽相同，但诱捕量的高峰均位于短波长紫光。而短波长红光的诱捕数量均较少。可以看出鳞翅目昆虫对短波长紫光趋光性很强，对长波长光趋光性很弱。

2.2.2 同翅目昆虫趋光性分析

统计 2015-2019 年同翅目昆虫不同灯光诱捕数如图 4。

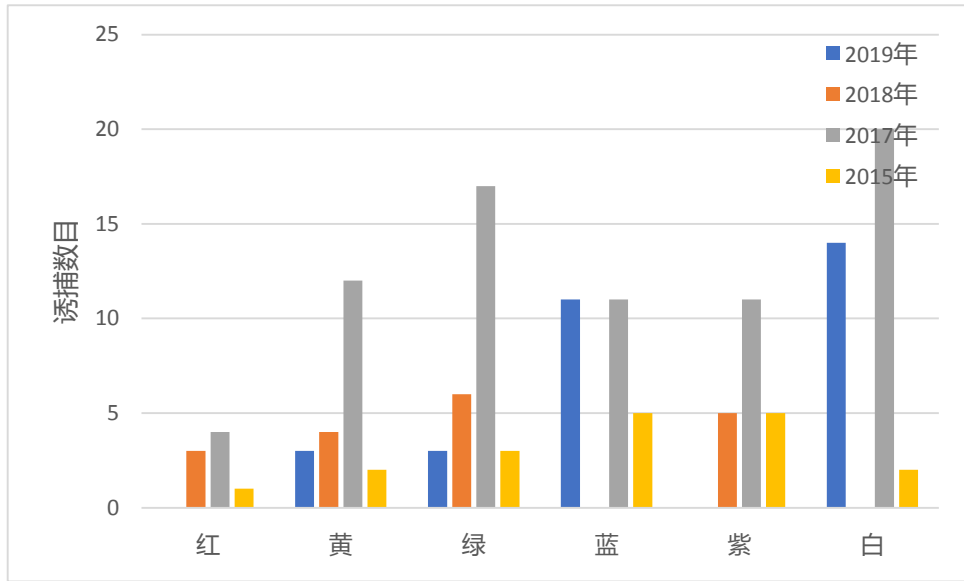


图4 2015-2019 年同翅目昆虫趋光性分析

如图，各年诱捕量高峰不尽相同，2019 年诱捕量峰值位于蓝光处，而 2018 年蓝光却没有诱捕到；2015 年诱捕量峰值位于紫光处，而 2019 年紫光却没有诱捕到。有的年费峰值与谷值区别不大。可以看出同翅目昆虫对某种灯光没有明显喜好，趋光性不明显。

2.3 鹞落坪近年来生物量变化

将鹞落坪近年来不同波长光与捕捉昆虫数量做分析，如图 5 所示。

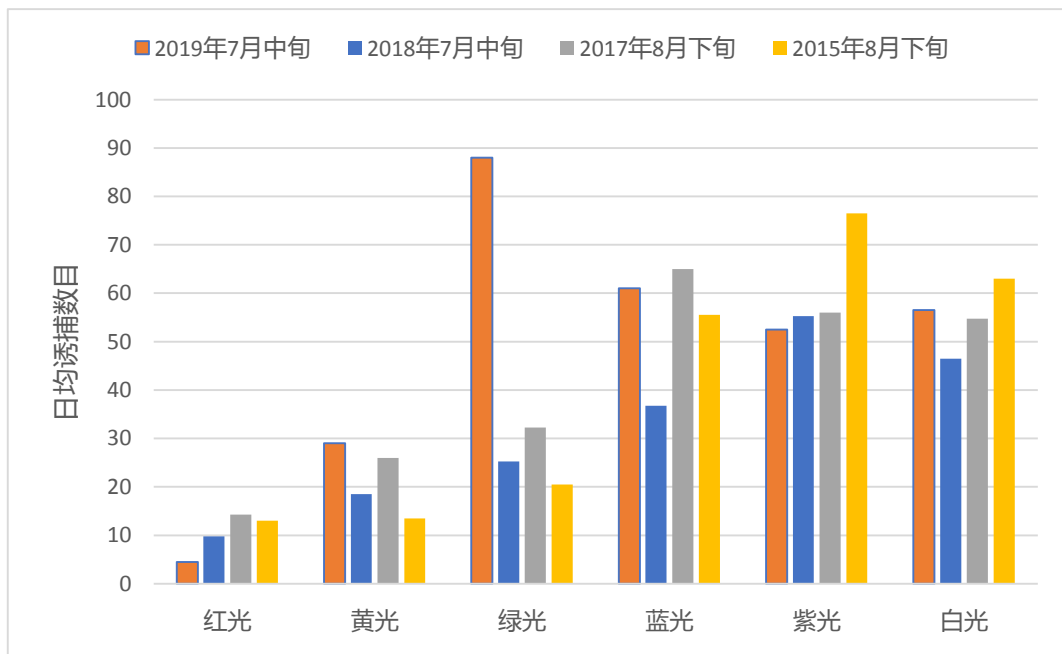


图5 鹞落坪近年来不同波长光与捕捉昆虫数量的关系图

如图，在 7、8 月诱捕得到的鹞落坪昆虫对蓝光紫光趋光性更强。对红光的趋光性很弱。虽然近几年做诱捕实验是天气有所不同，诱捕得到的昆虫种类数目不同。但在诱捕到的昆虫总量还是很相近的。即某种昆虫的出现减少，总会有令一种昆虫的大量出现，鹞落坪生态资

源总能够得到较好利用。

3 讨论

昆虫对不同波长光的趋性已被证实, 并成功运用与预报和防治^[8]。但多数研究都是在分子或细胞水平对某种特定昆虫做实验, 从生理学角度上对昆虫的趋光性做出解释; 又或者是对某地做一次时间长, 周期短的诱捕实验进行统计。本研究借鉴本校同学近四年来在鹞落坪同一地点的工作结果, 结合今年实际情况, 对鹞落坪当地夜行昆虫的趋光行为做宏观检验, 尽可能减少某一年异常造成的影响。

结果表明, 在具有明显夜行性昆虫中, 大部分的昆虫均有趋光性, 表现出对某一波长光的喜好。与往年得出的结论基本一致。与往年相比, 受各年天气, 环境变化等因素影响, 不同年份搜集到的昆虫样本有较大差异, 有的年份搜集到的鳞翅目昆虫较多, 有的年份收集到的双翅目昆虫较多。但对某一类昆虫做分析时, 它的趋光行为表现一致。

温度对昆虫的活动能力有较大的影响, 近几年实验日期为七月和八月, 而鹞落坪七月、八月温度基本一致, 夜间温度保持在 17-22℃。而大多数昆虫成虫活跃温度在 20℃ 以上, 在一定程度上影响昆虫的活跃^[9]。因其活跃下降, 昆虫对最喜好波长的光的选择没有那么强烈, 同一种昆虫可以在最喜好的光和相邻两边的光上出现, 昆虫出现范围较大, 但通过近几年的数据对比还是能够得出昆虫最喜好的光。

昆虫视觉电生理实验表明, 多数昆虫通过 3-5 种光感受器的相互作用来辨识不同颜色。根据色彩视觉理论, 最终的色觉是不同光感受器不同程度同时活动产生的结果, 因此, 利用视网膜图和超极化后电位等视觉电生理技术, 研究昆虫敷衍对不同色光的电生理反应, 可以优选初步诱虫的最佳色光^{[10][11]}。但许多昆虫如双翅目昆虫体型很小, 有的甚至不足 1mm, 获得视觉电生理信号极为困难。因此, 在本研究的基础上研究昆虫对不同单色复合光的趋性, 可从行为学角度优选诱虫的最佳色光。

4 结论

由以上实验和结果处理分析, 我们得出如下几点结论: ①昆虫收集总有着这样的趋势, 即波长越长收集到的昆虫越少; ②趋光性夜行昆虫并不都对某种光有着专一的喜爱, 如同翅目昆虫没有表现出明显的趋光性; ③不同昆虫对光的喜好程度不同, 如双翅目昆虫更趋向蓝绿光, 而鳞翅目等更趋向与蓝紫光; ④某种昆虫的出现减少, 总会有令一种昆虫的大量出现, 昆虫的日诱捕量变化不大, 鹞落坪生态资源总能够得到很好利用。

参考文献

[1] 唐良德, 梁延坡, 赵海燕等. 瓢虫的趋光性反应研究[J]. 环境昆虫学报, 2016, 38(2):337-340.

- [2] 沈显生. 生物学与生态学野外实习教程:以大别山生物多样性为教学案例[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2013, 6-8.
- [3] 王平远, 王林瑶, 方承莱等. 中国蛾类图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [4] 杨国栋, 胡志江等. 中国农业昆虫[M]. 北京: 农业出版社, 1987.
- [5] 王睿蓉, 肖佳悦, 陈宇. 不同波长 LED 光源夜诱效果及鹞落坪夜行性昆虫多样性调查[C]. 安徽: 中国科学技术大学生命科学学院, 2015.
- [6] 朱琳, 吴娅维. 不同波长 LED 灯对鹞落坪夜行性昆虫的诱集作用[C]. 安徽: 中国科学技术大学生命科学学院, 2017.
- [7] 夏焯妃, 李丹阳. 不同波长 LED 灯光对鹞落坪昆虫夜间趋光性活动的研究[C]. 安徽: 中国科学技术大学生命科学学院, 2018.
- [8] E. Axel Gorostiza, Julien Colomb, Björn Brembs. A decision underlies phototaxis in an insect [R/OL].2016.
- [9] 杨帆, 翟保平. 温度对稻纵卷叶螟再迁飞能力的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(7):1881-1889.
- [10] 魏国树, 张青文. 棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner 蛾复眼视网膜电位研究[J]. 生物物理学报, 1999, (4):682-688.
- [11] 闫海霞, 魏国树, 吴卫国, 闫海燕, 张海强, 李振波. 中华通草蛉复眼光感受性[J]. 昆虫学报, 2007, 50(11): 1099-1104.

致谢: 本次考察承蒙中国科学技术大学生命学院沈显生老师, 鹞落坪国家级自然保护区汪文革老师在鉴定昆虫提供的理论指导, 特予感谢; 同时感谢中国科学技术大学罗建川老师、刘晓燕老师和张倩老师在实习过程中各方面提供的帮助; 感谢欧湘辉等同学在实验场地布置和收拾上提供帮助。

鹞落坪大腹园蛛的捕食结构及捕食习性的初步观察

欧湘辉, 桂呈祥

(中国科学技术大学生命科学学院, 合肥, 230026)

摘要: 为研究鹞落坪大腹园蛛适应环境而演化出来的身体结构、捕食习性及其捕虫网的详细构造等特征, 在野外原位观察大腹园蛛的织网和捕食过程, 利用手机的拍照和摄像功能对其生活习性进行记录, 将采集到的信息在实验室进行分析和数据整理。观察结果表明, 大腹园蛛喜昼伏夜出, 白昼躲避于阴凉遮光处, 夜晚回到自己的蛛网上收集被粘附到的猎物, 消化猎物通过利用口器上的螯牙注入消化液等待猎物组织溶解后吸食。

关键词: 大腹园蛛; 捕食行为; 捕食器官构造

中图分类号: Q959.226

文献标识码: A

Preliminary Observation on Structure of Predatory Organ and Hunting Habit of *Araneus ventricosus* in Yaoluoping

Ou Xianghui, Gui Chengxiang

(College of Life Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract: In order to study the evolved body structure, predation habits and the detailed structure of its web and the coordination of its various organs during the process of predation, as well as the behavior observation of the parasitic spiders on the web of *Araneus ventricosus*. The information collected was taken and analyzed in the laboratory by using the camera and camera functions of the mobile phone. Finally, it was concluded that the big belly spider likes to emerge at night, hide in the shade during the day, return to its cobweb at night to collect the attached prey, and digest the prey by injecting digestive juice into the cheek teeth on the mouthpiece to wait for the tissue of the prey to dissolve before eating.

Keywords: *Araneus ventricosus*; predatory behavior; structure of predatory organs

鹞落坪自然保护区位于安徽省西部, 北与安徽省霍山县接壤, 西与湖北省英山县毗邻, 地理位置为北纬 30°57'~31°06', 东经 116°02'~116°11', 属大别山主峰分水岭主段, 是国家级自然保护示范区。鹞落坪自然保护区的生物资源十分丰富, 为进一步完善该地区园蛛类田园蜘蛛等方面的相关知识, 利用实地考察实习, 在野外对大腹园蛛的捕食行为以及其的生活习性和特殊的身体结构进行了初步观察和解剖结构分析, 并对考察过程中出现的疑惑尝试进行合理的分析。

1 材料与方法

1.1 实验材料

研究对象为野生大腹园蛛 (*Araneus ventricosus*), 在野外小溪附近的灌木丛以及民居民房的屋檐、墙壁和路边可供蜘蛛结网的电线杆处寻找野生的已经结网的大腹园蛛, 并将出现大腹园蛛的地点记录在案。

1.2 实验方法

采用野外原位观察法。利用广口玻璃瓶盛装鲜活的飞虫、甲虫等蜘蛛食物，将这些昆虫投到蛛网上引发蜘蛛感知进而观察蜘蛛的捕食行为，同时利用手机的摄影拍照功能来记录视频、图片数据。在夜晚利用手电筒观察大腹园蛛对蛛网上残余小型猎物的收集行为和更新蛛网的过程，同时利用手机拍摄数据，将收集到的数据带回实验室认真观察分析。观察完捕食行为后，采集大腹园蛛若干只，利用体视镜对采集的大腹园蛛进行解剖观察和拍照，重点观察与捕食行为相关的结构。

1.3 分析方法

本实验以观察为主，通过现场观察、拍照和录制视频收集数据和资料，观察结果以叙述的方式加以阐释和分析。结合相关文献，对所观测到的实验现象进行了简要分析。

2 结果与讨论

2.1 大腹园蛛的捕食结构

利用体视镜和手机摄像头对大腹园蛛的步行足和螫牙进行了初步观察。

2.1.1 螫牙

呈现老虎钳子一般的牙齿，进攻时大腹园蛛会抬起前两对步足，将螫牙像老虎钳子般张开再合紧咬住猎物，不同于毒蛇的毒牙是向口腔内弯曲的毒牙在上下颚闭合时扎入猎物体体内，大腹园蛛是左右两边的毒牙向中间弯曲（图 1），通过像剪刀般张开再合起一样用毒牙尖端夹住猎物并刺入。



图 1 大腹园蛛的螫牙

2.1.2 四对步足

每对步足均长满刚毛以及前端含有两片倒钩状坚硬外骨骼（图2、图3）。



图2 长满刚毛的步足



图3 步足末端的倒钩状结构

2.1.3 纺绩器

分为多对，亦称纺绩突起、纺绩乳头。蜘蛛类腹部下面、肛门前面有2-4对小突起（通常为3对，少数蜘蛛类为2对，第2对最小，隐藏于第1、第3对之间），若为3对，则分别命名为前纺绩突、中纺绩突、后纺绩突。纺绩突是由腹部的附肢——腹足特化而形成的。前纺绩突由2节，中纺绩突由1节，后纺绩突由2节（少数是3-4节）组成。顶端是柔软地膜质，称为纺绩区（spinning field），生出许多纺绩管（spinning tube），各自连着腹内的纺绩腺。从纺绩管的管口排出纺绩腺的分泌物，接触空气而成丝（称为蛛丝）。用第四步足跗节上的耐梳栉（calamistrum）来调理结织蛛网。与筛板（筛状板）合称为纺绩器官^[1]。

2.2 大腹园蛛的捕食行为

观察大腹园蛛对多种昆虫的捕食行为，初步估计了大腹园蛛对不同昆虫的喜好度，并将大腹园蛛对它们的捕食行为中的共同点和不同点进行总结。

2.2.1 共同点

大腹园蛛白天大多数时间在蛛网的主干丝延伸出去的角落休息，如：墙角缝隙等阴凉避光处，通过昆虫落在蛛网上的挣扎频率感知猎物，并从角落里飞奔而出奔向猎物。大腹园蛛刚开始感受到振动后会迅速且敏锐的将更多的步足搭在蛛丝上，当其确定有猎物落网后会急速从角落奔到圆形网边缘，并用前两对步足张开到四周的网上振动自己的步足，目的是将振动在网上传播并接收网上反馈过来的振动以定位出特异振动（猎物）所在坐标。大腹园蛛靠近猎物后，大多数情况下会立即用纺绩器内排出的蛛丝将猎物粘住，然后就像滚筒洗衣机的滚筒一般不断旋转猎物，同时将纺绩器内的蛛丝不断牵引而出缠绕在猎物的身体上（图4）。在不断缠绕的过程中，大腹园蛛还会不断用螯牙叮咬猎物向其体内注射消化液和毒液。

观察发现，某些猎物由于体型较大并不是瞬间死亡，甚至在一刻钟左右时间之后还在包裹它的蛛网内轻微挣扎，在此期间能观察到蜘蛛不断的叮咬猎物像是不断的注射消化酶，让猎物因组织器官分解而死去。但由于缺乏系统的实验方案和精密的实验仪器，野外观察并不

能确定到底是毒液还是消化液在对付猎物中的贡献占比高，若能分析毒腺分泌液的分子结构和化学性质可能会有更准确的结果。大腹园蛛在面对大型猎物时会主动从角落出击将猎物包裹后慢慢消化吸收，而面对一些十分弱小的蚊虫往往是不会主动出击的，因为它们缺少逃脱蛛网的力气而最终都是累瘫在蛛网上动弹不得。大腹园蛛白天是不会专门出来解决捕食小蚊虫的问题，于是在蛛网上可能会粘住许许多多的小蚊虫，当夜晚来临时蜘蛛出来会首先进行结网的反方向工作，把蜘蛛网拆解，像卷毛线球一样把蛛丝和上面附着的小虫子一圈圈收集到胸口附近成一团毛线球，然后蜘蛛将消化酶再注射到这个毛线球内将蛛丝和虫子一同消化成液态再吸入体内（图5）^{[2][3]}。



图4 缠绕在蛛网上的猎物



图5 蜘蛛正在吸食猎物

2.2.2 不同点

大腹园蛛对不同猎物的喜好程度不同。初步观察分析得知，大腹园蛛对苍蝇和蜜蜂等带有翅膀的昆虫尤其喜好，这类昆虫因其挣扎时翅膀振动的频率是大腹园蛛最为敏感的，从而大腹园蛛表现出更强的进攻性。大腹园蛛对蝗虫及甲虫等不喜好飞行且拥有坚硬外骨骼的昆虫则不太敏感，因为其落入蛛网后挣扎的频率低（有些时候蝗虫甚至在感受到蜘蛛的危险时，就算面对人为的刺激也会在網上表现出一动不动的装死状态）。

对大腹园蛛食物残骸的观察发现，蛛网上有很多不同昆虫的尸体残骸。那些没有坚硬外组织的昆虫通常被蜘蛛在消化的过程中不断用螯牙揉搓，最后连同蛛丝变成一团液态附着在部分固态残肢并包裹在蛛丝内的球状尸体，最后就剩一些轻飘飘的杂糅了难以消化的坚硬组织的球状残骸。而对于甲虫类含有坚硬外骨骼的昆虫，它们尸体的情况相较而言更能看出原先的形体，就像一具被吸光了椰汁的椰子壳一样。

2.3 蛛网的形状及构造

2.3.1 蛛网的结构

大腹园蛛（以下简称蜘蛛）的蛛网外形呈圆形，根据现场观察和视频分析，其结网全过程及蛛网结构如下。

首先，蜘蛛在较高的墙面或者树干上用第三、第四两对步足将纺绩器内排出的蛛丝如同放风筝一般让蛛丝随风飘扬（靠近纺绩器的蛛丝呈现多根蛛丝拧成粗丝，随着不断远离纺绩器蛛丝逐渐如同面条般在视觉平面内上下分散，最上一根蛛丝水平）。当水平蛛丝粘到另一侧等高的墙面或者树枝上之后，蜘蛛爬行至横着的蛛丝中央用纺绩器在蛛丝上粘住一个点并沿着这个点垂直于地面向下排出蛛丝，此时蜘蛛自身也如同蹦极运动员一般带着垂直下落的蛛丝缓缓下降，降落至可以碰触到的结实物品后将蛛丝固定在其上。然后，蜘蛛网的基本框架就以“丫”字形呈现好了，蜘蛛会在这个基本的框架上来回行走多次将纺绩器内的蛛丝附着在框架上不断加固至适合其结网的硬度。蜘蛛会在这个基本框架上构建出比最终圆网直径略大的“多边形”，在这个多边形内结网。蜘蛛以“丫”字形中心为圆心向四周辐射状拉出多条蛛丝至“多边形”的边上，类似于地球经度线。在此基础上，蜘蛛首先从中心以逆时针方向螺旋状向四周发散形结出一圈圈蛛网（类似地球纬度线，但地球纬度线为封闭的一个个同心圈，蛛网却是不封闭的螺旋线），但是这次从内向外的螺旋状蛛网之间的间距较宽（宽度大概适合蜘蛛再在之间填补一圈以上的螺旋线）。此后，蜘蛛再从外向内以顺时针方向织网到蛛网中心，从而使螺旋线密集，但是蜘蛛在向内密集螺旋网至距离中央 1/3 左右蛛网整体直径大小的距离时停止继续向内密集螺旋网，因此中央附近只有向外扩散的那一圈间距较宽的螺旋线从而显得较稀疏^[4]。最后一张完整的蜘蛛网就结好了（图 6）。



图 6 屋檐下大腹园蛛的蛛网

2.3.2 蛛网上不同类型蛛丝的功能

通过观察发现，蛛网的主干架和经度线均为无或者低粘性的蛛丝，主要用于蜘蛛行走，而十分密集的纬度线的螺旋状蛛丝则呈现出相当大的粘度，主要用于捕获猎物。蜘蛛在蛛网上的行走并非是随意随性的四处乱走，大多数情况下只走经度线，尽量不影响纬度线上蛛网的粘度，以保证纬度线上的高粘度物质（推测）不被损耗进而提高捕获猎物的效率^[4]。因此，蛛丝大致上分为提高整体蛛网结实度并用来移动经度线和专门用于缠绕捕获猎物的纬度线。

2.3.3 蜘蛛适应在蛛网上行动的步足

在体视镜及手机镜头的放大观察下,可以发现蜘蛛的四对步行足表面长满了刚毛,这些刚毛是蜘蛛灵敏的振动传感器。此外,蜘蛛步足顶端还有一对倒钩状结构存在,像钢索运动爱好者用来保证安全的挂钩。蜘蛛在来回蛛网的过程中,第三和第四对步足上起到保证安全的两对倒钩状结构一般在蛛网上通过前两对步足的拖动而滑动。同时,蜘蛛的步足带还具有可以分泌润滑油的油腺^[5],进一步保证了蜘蛛在蛛网上运动时不会被具有较高粘性的纬度状蛛丝给粘住了。

3 结论

通过对大腹园蛛捕食结构的初步观察可知,蜘蛛为了适应其利用复杂蛛网进行捕食的习性,进化出了含有倒钩状结构的步行足及向猎物注射毒液与消化液的口器等特有的捕食器官。大腹园蛛蛛网的奇特结构和其高超精妙的织网技术体现了其在漫长进化历程中不断适应环境的特点。

参考文献

- [1] 唐贵明,乌力塔. 内蒙古西部干旱草原平腹蛛科蜘蛛初步研究(蛛形纲:蜘蛛目)[C]. 中国动物学会, 1999:213-216.
- [2] 潘红平,苏以鹏,蒋顺萍,周放,刘岱岳,蒙健宗. 海南捕鸟蛛毒素提取的研究(英文)[C]. 中国毒理学会生物毒素管理专业委员会,中国生物化学与分子生物学会天然毒素专业委员会, 2007.
- [3] 梁宋平,潘欣.蜘蛛肽类神经毒素研究进展[J]. 生物化学与生物物理进展, 1994, (05): 390-395+472.
- [4] 谢锦云,王迎. 大腹园蛛(*Araneus ventricosus*)蛛丝蛋白的研究[C]. 中国生物化学与分子生物学会, 1997:32-33.
- [5] 蒋平,肖永红,吕太勇,廖信军,郭聪.两种小型蜘蛛卵袋超微结构与纤维组成[J]. 四川动物, 2012, 31(06):862-870.

致谢: 向我们实习工作做出重大帮助和指导的沈显生老师和罗建川老师致以诚挚的感谢。