

中国科学技术大学国家级实验教学示范中心

中国科大—鹞落坪国家级自然保护区联合共建野外实习基地

# 本科生《生态学》研究型野外实习报告集

(2016级)

指导教师：沈显生 罗建川

后勤教师：刘晓燕 刘振邦 杨代霞 孙红荣



中国科学技术大学生命科学学院印制  
实习时间：2018年7月10日—16日

# 目 录

## 2018 年夏季学期鹞落坪生态学研究型实习的安排

鹞落坪茶园不同深度土壤酸度变化的初步研究 张聪, 龚琪赞.....	1
鹞落坪国家级自然保护区黄山松林种内竞争的初步研究 安永燕, 石雨琦.....	6
三种不同植被下土壤有机质含量与含水量变化及两者间关系 桂晨阳, 汪磊.....	14
博落回叶片性状对生态因子的响应 蒋小洋, 胡杰.....	20
对织网型和游猎型蜘蛛落水后应对策略的初步研究 江许银, 秦敬坤.....	27
不同波长 LED 灯光对鹞落坪昆虫夜间趋光活动的研究 夏焯妃, 李丹阳.....	36

# 中国科大 2018 年夏季学期鹞落坪生态学研究型实习的安排

## 时间安排:

2018 年 7 月 10 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, 并进行安全教育, 调试仪器。

7 月 11 日-15 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进行安排。

7 月 16 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:** 2016 级 12 名学生。小课题 6 个, 见附件, 各小组长具体负责。6 月 11 日下午 2:00 在 3A110 召开了实习动员会。组长龚琪赞, 副组长安永燕。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。住宿分配由组长分配, 住宿名单交刘晓燕老师。

## 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. 2018 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。
- 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。保管好自己物品。
- 4、集体就餐 12 人 1 桌, 不要浪费, 师生每人交 330 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。

**指导教师:** 沈显生 13339294637; 后勤工作: 刘晓燕 18856088926; 班主任: 刘振邦 13675518660

杨代霞老师协助后勤和学生管理工作; 孙红荣和罗建川老师做好野外实习辅助工作。

# 鹞落坪茶园不同深度土壤酸度变化的初步研究

张聪, 龚琪赞

(中国科学技术大学生命科学学院, 安徽合肥, 230026)

**摘要:** 茶树是一种喜酸好铵的植物。以往的许多研究表明, 长期种茶将导致土壤更酸, 主要原因在于铵态氮肥的大量施用。茶树根系吸收铵以及铵氧化为硝酸的过程均会导致质子的释放, 从而使土壤酸化。此外, 茶树自身生物代谢活动也会加剧土壤酸化。本文对鹞落坪国家级自然保护区中一处以农家肥为主、未施用化肥的30年生茶园进行了调查, 测量茶园不同深度的土壤酸度变化, 并与周边荒地进行了对比。我们发现, 茶园区土壤酸度变化明显与其周边荒地土壤酸度变化情况不同。由于农家肥的施用, 茶园区土壤酸度小于荒地土壤酸度, 在土壤深度0~32.5cm的测量范围内, 随土壤深度增加, 荒地区土壤酸度一直下降, 而茶园区土壤酸度则呈现出先增加后下降的趋势, 且茶园区与荒地土壤酸度平均值差值越来越小, 可见农家肥施用和种植茶树对土壤酸度变化有很大影响。

**关键词:** 土壤酸化; 茶树; 农家肥

**中图分类号:** S153.4, Q945.12 **文献标识码:** A

## Preliminary Research on Changes of Soil Acidity in Different Depths in Tea Gardens in Yaoluoping

Cong Zhang, Qizan Gong

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

**Abstract:** Tea plant prefers acid soil and nutrition in form of ammonium. Many studies have shown that long-term planting of tea plant will make soil more acid, mainly due to the large-scale application of ammonium nitrogen fertilizer. The process of absorbing ammonium by tea roots and oxidizing ammonium to nitric acid leads to the release of protons, which acidifies the soil. In addition, the tea plant's metabolic activities can also accelerate soil acidification. In this paper, we researched a 30-year-old tea garden with no fertilizer but only farmyard manure applied in the Yaoluoping National Nature Reserve. The changes in soil acidity at different depths of the tea plantation were measured and compared with the surrounding wasteland. We found that the acidity of the soil in the tea garden area is obviously different from that in the surrounding soil. Because of the application of farmyard manure, the soil acidity of tea garden is less than that of wasteland. In the measuring range of 0-32.5 cm soil depth, the soil acidity of wasteland decreases with the increase of soil depth, while the soil acidity of tea garden presents a trend of increasing first and then decreasing. Moreover, the difference between the tea garden and the wasteland's average soil acidity is less and less. It is obvious that the application of farmyard manure and planting tea plants have great effects on soil acidification.

**Key words:** soil acidification; tea plant; farmyard manure

### 引言

茶树是一种喜酸植物, 过去的研究表明, 茶树种植将导致土壤酸化<sup>[1]</sup>。这主要来自两方面原因: 一是茶树是一种富铝植物, 生长过程中从土壤中吸收大量的铝, 富集在体内<sup>[2]</sup>。茶树体内富集的铝最终随枯枝落叶回到土壤, 由于铝难以随雨水淋溶作用进入土壤深层, 将在土壤表面大量富集, 从而导致茶园表层土壤酸化。二是茶树对氮肥的吸收, 相比于  $\text{NO}_3^-$ , 更偏向于  $\text{NH}_4^+$ <sup>[3]</sup>。在茶树生长旺期, 为追求产量, 往往施用大量铵肥。茶树对铵的吸收往往导致等量  $\text{H}^+$  的释放, 同时茶树在将  $\text{NH}_4^+$  氧化为  $\text{NO}_3^-$  时也将释放出  $\text{H}^+$ , 从而导致土壤酸化, 实际生产中人为施肥因素往往对茶树土壤酸化的影响更大<sup>[4]</sup>。另外水培试验表明, 茶树根系

分泌的有机酸等也会对环境酸度产生影响<sup>[5]</sup>。茶园土壤过度酸化将影响茶树的正常生长发育，并影响茶叶品质。

本次实验取样地鹞落坪国家级自然保护区位于安徽省岳西县，地处北亚热带向暖温带过渡地带，具有独特地理位置，气候条件多变，生态环境复杂，生物多样性极其丰富。本次研究取样地所在茶园为绿色茶园，并未施用化肥及除草剂等，便于研究茶树自身代谢作用对土壤酸度的影响。本文主要通过研究茶园不同土壤深度土壤酸度的变化趋势及与其生境基本相同的荒地地区进行对比，分析在鹞落坪特殊的自然环境下，种植茶树对土壤酸度的影响，并尝试探索原因，为之后防治茶园土壤酸化，改良茶叶品质提供解决方案。

## 1 研究对象和研究地点

### 1.1 研究对象

茶园及其周边荒地 0~32.5cm 土壤深度层的酸度。

### 1.2 研究地点

研究地点位于鹞落坪国家级自然保护区中河家湾地区一植茶年限为 30 年的茶园及其东侧荒地。该茶园施肥以农家肥为主，未施用化肥；茶树成行种植，行间未见大量杂草着生；土壤表层有大量茶树落叶覆盖，土壤为黑色；茶区取样点 8，及非茶区取样点 2、3、5 土壤深处可见明显沙子。东侧荒地优势种为一种高度约为 1m 左右的开白色花的草本植物，取样期间正处于花期，下部有很多低矮草本植物覆盖，生物多样性明显高于茶园区。

## 2 研究方法

### 2.1 工具设备

取样工具：工兵铲、样品袋。土壤酸度测量设备：雷磁PHSJ-3F水体酸度测量仪。样品处理设备：烘箱、天平、量筒、烧杯、玻璃棒。

### 2.2 研究方法

采用S型取样法在茶园区选取10个取样点，采用五点取样法在其东侧荒地选取5个取样点。用土钻在各取样点分别钻取0~6.5cm、6.5~13.0cm、13.0~19.5cm、19.5~26.0cm、26.0~32.5cm深度处土壤，过3mm筛后烘箱烘干备用。按照水土比1: 2.5用1mol/l的KCL溶液浸取土壤，静置30分钟后，用雷磁PHSJ-3F水体酸度测量仪测量土壤盐浸液的pH值。

### 2.3 分析方法

使用 Excel 作图，以不同深度层的土壤为横坐标，以土壤酸度值为纵坐标做出关系图。

### 3 实验结果

#### 3.1 茶园区与荒地不同深度层土壤酸度概况

茶园区和荒地取得的土样酸度测量结果分别见表 1 和表 2。

表 1 茶园区不同深度层土壤盐浸液 pH 数据表  
Table 1 pH data of soil salt immersion liquid in different depth layers of tea garden

	0-6.5cm	6.5-13.0cm	13.0-19.5cm	19.5-26.0cm	26.0-32.5cm
茶园取样点 1	4.61	4.71	4.68	4.70	4.76
茶园取样点 2	4.66	4.75	4.74	4.69	4.64
茶园取样点 3	4.79	4.91	4.86	4.84	4.90
茶园取样点 4	4.47	4.51	4.51	4.82	4.99
茶园取样点 5	4.62	4.66	4.68	4.62	4.64
茶园取样点 6	4.29	4.10	4.06	4.13	4.15
茶园取样点 7	4.24	4.08	4.11	4.25	4.31
茶园取样点 8	4.18	4.10	4.22	4.46	4.45
茶园取样点 9	4.55	4.38	4.42	4.46	4.45
茶园取样点 10	4.38	4.22	4.26	4.37	4.34
平均值	4.48	4.44	4.45	4.52	4.56

表 2 荒地不同深度层土壤盐浸液 pH 数据表  
Table 2 pH data of soil salt immersion liquid in different depth layers of wasteland

	0-6.5cm	6.5-13.0cm	13.0-19.5cm	19.5-26.0cm	26.0-32.5cm
荒地取样点 1	3.89	3.87	3.89	3.95	4.04
荒地取样点 2	4.08	4.10	3.98	4.04	4.19
荒地取样点 3	3.86	3.90	3.96	4.18	4.35
荒地取样点 4	4.35	4.65	4.87	4.95	5.03
荒地取样点 5	4.24	4.33	4.34	4.80	4.92
平均值	4.08	4.17	4.21	4.38	4.51

#### 3.2 茶树种植能有效改变土壤酸度

将 0~6.5cm、6.5~13.0cm、13.0~19.5cm、19.5~26.0cm、26.0~32.5cm 深度梯度设为深度等级 1、2、3、4、5，以深度等级为横坐标，茶园区与荒地土壤盐浸液 pH 平均值和两者之间的差值为纵坐标作出关系图。

由图 1 表明，随土壤深度增加，荒地区土壤酸度一直下降，而茶园区土壤酸度呈现出先增加后下降的情况，且不同土壤深度下茶园区土壤酸度均弱于荒地。由于茶园区长期施用农家肥，农家肥肥效稳定持久，在微生物分解作用下能缓慢释放氨，氨结合土壤中的质子形成铵盐，降低土壤酸度，故 0~32.5cm 深度内茶园区土壤酸度弱于荒地。茶园区土壤酸度在 0~13cm 深度内增加而后在 13~32.5cm 深度内下降且下降速度明显小于荒地。浅层土壤酸度增加的原因是，茶树根系吸收形成的铵盐以及铵氧化为硝酸的过程均会导致质子的释放，加

之茶树对土壤中的铝的富集作用，从而使土壤酸化；而 13~32.5cm 深度内酸度下降但速度小于荒地，其原因有三个，一是茶树中富集的铝随枯叶回到土壤表层，而土壤表层中的铝难以随雨水淋溶作用进入土壤深层，铝对深层土壤酸度增强效应比表层的弱；二是土壤深层茶树的根系代谢活动比土壤表层弱，铵盐吸收变慢；三是由于深层土壤中的氧气含量比表层土壤低，深层土壤中铵氧化为硝酸过程慢。因此深层土壤中质子释放速度慢，不足以抵消随深度增加土壤自身酸度的减弱效应，故 13~32.5cm 深度内茶园土壤酸度仍减弱但减弱的速度慢于荒地。

从图 2 可看出，随土壤深度增加，茶园区与荒地土壤酸度平均值差值越来越小，差值变小的速度先加快后变慢。0~19.5cm 深度层茶园区与荒地土壤酸度平均值差值变小速度加快，主要是由农家肥分解产生氨、氨的吸收质子的效应衰减加快影响，19.5~32.5cm 深度层茶园区与荒地土壤酸度平均值差值变小速度减慢，则主要受茶树根系吸收形成的铵盐以及铵氧化为硝酸的过程中质子释放的效应和土壤中交换性铝含量衰减加快影响。

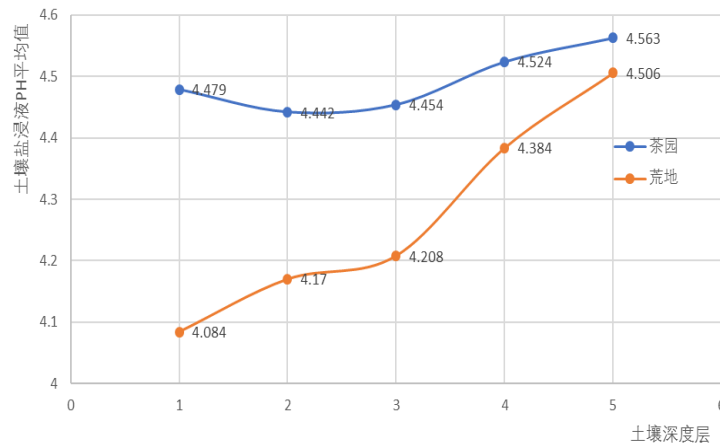


图 1 茶园区与荒地不同深度土壤酸度平均值变化

Fig.1 Changes of soil acidity in different depths of tea garden and wasteland

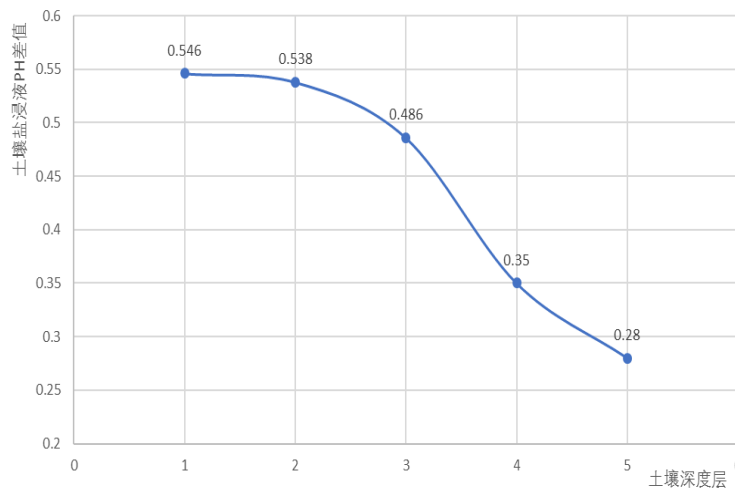


图 2 茶园与荒地土壤酸度差值随深度变化情况

Fig.2 Variation of soil acidity difference between tea garden and wasteland with depth

## 4 结论与讨论

茶区和荒地土壤酸度随深度加深的变化情况不同。相较于荒地，茶园区不同深度土壤酸度变化主要受农家肥的施用和茶树种植的影响，农家肥可以改良土壤，减小酸性土壤的酸度，种植茶树会增加土壤的酸度，农家肥施用和种植茶树对土壤酸度的影响均会随深度加深而衰减，但农家肥施用的影响衰减得比种植茶树的影响快。

我们的实验存在一些有待完善的地方。首先，在取样方面容易产生误差的主要有四条：其一，取样时为了不破坏茶树，取的是两行茶树间隔中点处的土样，由于茶树行距不一样，各取样点距茶树株 30~40cm 之间；其二，取样的时间、天气不同，茶园区取样点 1~4 处的土壤取样工作是在 2018 年 7 月 21 日下午完成，而上午下过小雨，下午放晴；茶园区取样点 5~10 处的土壤取样工作是在 2018 年 7 月 22 日上午完成，荒地区取样点 1~5 处的土壤取样工作是在 2018 年 7 月 22 日下午完成，22 日天气晴朗；其三，荒地处长满了杂草，杂草生长过程会影响土壤理化性质；其四，只在一个茶园地取取样，且样数不多，茶园区只选了 10 个取样点，荒地只选了 5 个取样点，这些均会对土壤酸度测量产生影响。另外，由于茶园是人工处理、照料过的，以没有人工处理的荒地作为对照并不严谨。

有条件的话，我们可以选择 3 处人工茶园和 3 处野生茶园及它们周边的荒地，荒地裸露无杂草覆盖，排除杂草对荒地土壤酸度的影响。通过对照，我们能得到农家肥施用对土壤酸度的影响和人工茶园与野生茶园的茶树生长对土壤酸度的影响。

总而言之，尽管有很多需要完善的地方，但还是取得了预期的结果，茶树自身生理活动能使土壤变酸。

## 参考文献

- [1] 王辉, 王宁, 徐仁扣, 等. 茶叶和刺槐叶对茶园土壤酸度的改良效果[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(8): 1597-1601.
- [2] 李勇, 唐澈, 赵华, 等. 茶树耐铝聚铝特性及其机理研究进展[J]. 茶叶科学, 2018, (1): 1-8.
- [3] Ruan, L. *et al.* Characteristics of  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  fluxes in tea (*Camellia sinensis*) roots measured by scanning ion-selective electrode technique [J]. *Sci. Rep.* 6, 38370; doi: 10.1038/srep38370 (2016).
- [4] 王辉. 茶园土壤酸化机理及其改良研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009, 1-99.
- [5] 毛佳. 茶树根系质子的分泌及茶园酸化土壤的调控[D]. 南京: 南京农业大学, 2009, 1-47.

**致谢:** 本次考察承蒙中国科学技术大学生命学院沈显生和罗建川老师指导, 以及刘振邦老师在样品采集方面给予的帮助和支持, 特此谢忱。



# 鹞落坪国家级自然保护区黄山松林种内竞争的初步研究

安永燕, 石雨琦

(中国科学技术大学生命科学学院, 安徽合肥, 230026)

**摘要:** 当环境资源有限或能量、空间等不足的情况下, 种群的个体之间就会发生竞争。本文采用最近邻体法和单木竞争指数模型, 对鹞落坪国家级自然保护区内的黄山松 (*Pinus taiwanensis*) 种内竞争强度进行了定量分析。我们发现: (1) 随着对象木胸径的增大, 黄山松种群因自然稀疏作用, 植株间距离增大, 种内竞争强度降低; (2) 竞争强度与对象木的胸径服从幂函数关系, 当黄山松胸径达到 20cm 以上, 竞争强度变化不大。实验说明该单木竞争模型可为黄山松群落种内竞争的研究提供可适用的数量指标。

**关键词:** 黄山松; 种内竞争; 竞争指数; 最近邻体法

**中图分类号:** Q948.122.1 **文献标识码:** A

## Study on Intraspecific Competition of *Pinus taiwanensis* in Yaoluoping Nature Reserve

An Yong-yan, Shi Yu-qi

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

**Abstract:** Competition among trees within a population exists when resource availability falls below the requirement for optimal growth. We used the improved competition index and the nearest-neighbor method to analysis the intraspecific competition intensity of *Pinus taiwanensis* in Yaoluoping Nature Reserve. The results show that with the increase of the size of objective tree, the distance between trees and the intraspecific competition intensity decreases because of the self-thinning. The relationship between competition intensity and individual growth of objective tree follows closely the equation  $CI=AD^{-B}$ . It's suggested that the competition index model for individual tree can provide quantitative index for study on the intraspecific competition in *Pinus taiwanensis* community in Yaoluoping Nature Reserve.

**Key words:** *Pinus taiwanensis*; Intraspecific competition; Competition index; Nearest-neighbor method

### 引言

植物所具有的固着性及其表型的可塑性, 使得植物个体的成活、生长、繁殖取决于其局部环境条件 (比如光、水、CO<sub>2</sub> 等)。而来自于邻体的干扰和竞争也是局部环境条件变化的原因之一。自从 1961 年 Harper 提出邻体干扰问题以来, 许多生态学家进行了大量的研究<sup>[1,2,3]</sup>, 认为竞争是指两个以上有机体在所需环境资源不足, 或因某种必需的环境受限制, 或因空间不足而发生的相互关系, 既可以在利用共同资源的不同物种间发生, 也可以在相同物种间发生。竞争的结果往往是一个有机体阻碍了另一个有机体的正常生长和发育<sup>[4]</sup>。因此, 研究植物之间的种内和种间竞争已经成为植物生态学的研究热点之一<sup>[5]</sup>。相关研究大多从竞争作用的效果着手, 通过度量群落结构和群落发展建立竞争模型来研究植物间的竞争作用。对于树木个体来说, 一般用单木竞争指数来量化其与周围邻体的竞争强度。1982 年, Weiner 提出了单木竞争指数的公式:

$$CI = \sum_{i=1}^N d_i^{-2}$$

其中, CI 为竞争强度,  $d_i$  为对象木到第  $i$  邻体的距离,  $N$  为邻体的数目。利用这个公式可以解释一种一年生植物种子产量变异的 80%<sup>[6]</sup>。

在此之后, Weiner(1984)在实验研究的基础上提出了乔木树种间竞争指数的度量公式:

$$CI = \sum_{i=1}^N S_i d_i^{-2}$$

其中,  $S_i$  为第  $i$  邻体的大小,  $d_i$  为对象木到第  $i$  邻体的距离,  $N$  为邻体的数目。利用该公式可以解释 *Pinus rigida* 个体生长速度的 80%~100%<sup>[5]</sup>。

后来, 张大勇(1993)引入参数  $S^{[7]}$ , 即对象木的大小, 对 Weiner 的单木竞争指数模型进行改进, 张跃西(1993)又在其基础上提出了进一步的改进模型<sup>[8]</sup>:

$$CI = \sum_{i=1}^N S_i^2 S^{-1} d_i^{-2}$$

其中,  $S$  为对象木的大小,  $S_i$  为第  $i$  邻体的大小,  $d_i$  为对象木到第  $i$  邻体的距离,  $N$  为邻体的数目。

同时, 研究者对于对象木邻体范围的确定也相应地进行了改进, 使得单木竞争指数模型能够为越来越多的地域和多植物种群间的相互作用提供适用的数量指标<sup>[4,15,22]</sup>。

黄山松(*Pinus taiwanensis*)分布面积广, 生存能力强, 为亚热带中部中山地区代表群系的建群种, 具有较强的代表性。本文就以黄山松为研究对象, 采用最近邻体法, 应用张跃西(1993)的单木竞争模型, 研究鹞落坪国家级自然保护区内黄山松天然纯林的种内竞争指数和竞争强度, 试图为保护好现存的黄山松林资源和扩大其面积提供科学依据, 同时, 也为进一步的深入研究提供基础数据。

## 1 研究地区概况及研究对象

### 1.1 研究地区概况

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°02'20"~116°10'53", 北纬 30°57'20"~31°06'10"之间, 总面积为 123km<sup>2</sup>。该区所在地属于北亚热带季风区, 受江淮气旋及梅雨控制以及副热带高压进退的影响, 空气湿润, 雨雪充沛, 气候宜人。年平均气温 12.7℃, 最冷月(1月)平均气温 2℃左右, 最热月(7月)平均气温 23℃, ≥10℃积温在 3700~4300℃, 年降水量为 1400~2000mm。该区位于大别山复背斜的核部, 主要侵入体为燕山期的花岗岩类, 侵入于远太古代中深变质岩系中, 呈现出山峦起伏, 山地陡峭的地貌。土壤类型有山地棕壤、山地黄棕壤、山区草甸土和水稻土。其中山地自然土壤 92.8%。保护区地处亚热带常绿阔叶林与暖温带落叶林的过渡带, 森林植被以北亚热带落叶阔叶林和常绿阔叶混交林为主要类型。保护区内植物种类及其丰富, 有高等植物 141 科(恩格勒系统)、572 属、1332 种, 为大别山区仅存的次生植被保存较为完整的区域<sup>[9]</sup>。

### 1.2 研究对象

黄山松(*Pinus taiwanensis*)又称为台湾松,天然分布于浙江天目山海拔 700~1200m、台湾中央山脉海拔 750~1800m、福建中部及西部山区海拔 1000~1500m、安徽南部、江西、湖北、湖南等省海拔 700~1800m 的山地,大陆水平分布范围为 112°36'~121°E, 25°~31°36'N,为我国特有树种<sup>[10,11]</sup>。黄山松分布范围广,生存能力强,是亚热带中部中山地区代表群系的建群种,也是较高海拔地区重要的造林树种,具有较强代表性,本文就以鹞落坪自然区内的黄山松天然纯林为对象来探讨黄山松群落的种内竞争强度。

## 2 研究方法

### 2.1 工具设备

15米卷尺、3米钢卷尺、绳子、黑色记号笔。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 数据采集

在了解鹞落坪自然保护区内黄山松的分布状况及其群落特征后,我们选择两处地势较平坦、生长良好、群落发育盛期的黄山松天然纯林样地(样地一:位于何家湾的一处缓坡地,海拔1200~1250米,坡向西;样地二:位于小枝岭湖北省境内的一处坡地,海拔1200~1250米,坡向西北)。采用最近邻体法,在样地内进行逐株测定,记录每棵树(对象木)的胸高(1.3m)圆周值,它的最近邻体树(竞争木)的胸高(1.3m)圆周值和与最近邻体树的距离(如果最近邻体树有2棵,则选较大者。所测定的树还有可能是其他树的最近邻体)。一旦圆周值和最近邻体测量值记录之后,用黑色记号笔在对象木的胸高处标记,以避免数据重复。

#### 2.2.2 竞争指数的选择

对象木主要受到周围一定范围内竞争木的影响,其强度通常用竞争指数来定量描述。目前,主要有两类竞争指数:依赖距离的竞争指数<sup>[12]</sup>和不依赖距离的竞争指数<sup>[13]</sup>。由于对象木主要与邻近树木相互竞争,所以用的较多的是依赖距离的竞争指数(下文简称为竞争指数)。目前关于植物间尤其是森林树木间的竞争指数的研究很多,不同学者提出了不同的模型和改进模型,但以张跃西(1993)根据生态学原理及自疏规律提出的改进模型有较强的说服力<sup>[8,14,23]</sup>。因此,本文采用张跃西(1993)提出的单木竞争模型来计算竞争指数的大小,其计算式为:

$$CI = \sum_{i=1}^N D_i^2 D^{-1} d_i^{-2}$$

其中,CI为竞争指数,其值越大,表示竞争越激烈;D为对象木的胸径;D<sub>i</sub>为竞争木的胸径;d<sub>i</sub>为对象木与竞争木之间的距离;N为竞争木的株数。在这里,因为对于每棵对象木,我们只选择其最近邻体树作为竞争木,即N为1,所以上式化简为:

$$CI = D_i^2 D^{-1} d_i^{-2}$$

式中各字母意义同上，i即为1。

### 2.2.3 数据处理

根据野外调查测定的对象木及其最近邻体木的胸高圆周值，换算成胸径，再结合这些对象木与其最近邻体木之间的距离，计算出各对象木的竞争指数。

## 3 结果与分析

### 3.1 对象木与竞争木的基本特征

共选择了2块样地，样地一（位于何家湾）调查对象木（黄山松）30株，最小胸径8.1cm，最大胸径27.2cm，平均胸径15.2cm。将调查的对象木按径级分组，见表1，其中小径级的黄山松所占比例较高，DBH小于或等于20cm的占总株数的93.3%，30株对象木的胸径分布显示出样地1的黄山松林趋于小龄化。

表1 对象木的胸径分布（样地一）  
Table 1 DBH distribution of objective tree in Sample Plot One

径级 (cm) Diameter scale	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	合计 Sum
株数 Number	4	12	9	3	2	30
百分比 (%) Percentage	13.3	40.0	30.0	10.0	6.7	100.0

样地二（位于小枝岭）调查对象木（黄山松）43株，最小胸径18.4cm，最大胸径33.3cm，平均胸径24.7cm。同样地1将调查的对象木按径级分组，见表2，其中DBH大于20cm的占总株数的83.7%，43株对象木的胸径分布显示出样地2的黄山松林趋于高龄化。

表2 对象木的胸径分布（样地二）  
Table 2 DBH distribution of objective tree in Sample Plot Two

径级 (cm) Diameter scale	15~20	20~25	25~30	30~35	合计 Sum
株数 Number	7	14	19	3	43
百分比 (%) Percentage	16.3	32.6	44.2	6.9	100.0

### 3.2 不同树龄的黄山松林的种内竞争

黄山松在生长的过程中，不断与其本身发生竞争关系，并因此产生自疏现象，然而黄山松的种内竞争强度随着林木径级的变化而有所不同，见表3、表4。

表 3 黄山松种内竞争强度（样地一）

Table 3 Intraspecific competition intensity of *Pinus taiwanensis* in Sample Plot One

径级 (cm) Diameter scale	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30
竞争强度 Competition intensity	0.37	0.16	0.070	0.046	0.010
标准差 Standard deviation	0.33	0.14	0.12	0.017	0.004
样本数 Sample number	4	12	9	3	2

黄山松种内竞争强度随径级的增大而减小,这是种群密度调节的结果。林木的径级越大,林木之间的距离由于自然稀疏而逐渐增大,对于光、空间、水等资源的竞争强度降低。

表 4 黄山松种内竞争强度（样地二）

Table 4 Intraspecific competition intensity of *Pinus taiwanensis* in Sample Plot Two

径级 (cm) Diameter scale	15~20	20~25	25~30	30~35
竞争强度 Competition intensity	0.093	0.058	0.059	0.052
标准差 Standard deviation	0.037	0.023	0.044	0.018
样本数 Sample number	7	14	19	3

结合表 3 和表 4,当黄山松胸径小于 20cm 时,黄山松正处于迅速生长时期,林木间对于空间和资源的竞争较为激烈;当黄山松胸径大于 20cm 时,随着自然稀疏作用的逐渐完成,树冠发育基本定型,林木之间的距离趋向于均匀化,随着黄山松胸径的增大,竞争强度的变化很小。

### 3.3 竞争强度与对象木胸径的关系及其预测结果

竞争能力受多种因素制约,其中个体胸径的大小对竞争能力影响很大。通过线性、对数、幂函数等多种数学模型对竞争强度和对象木胸径间的关系进行模拟比较,结果发现,幂函数的相关系数较大,见图 1。因此幂函数为较优的回归模型,即:  $CI=AD^{-B}$ , 其中 CI 为竞争指数, D 为对象木胸径, A 和 B 为模型参数。由图 1 的拟合结果可得 A 为 29.257, B 为-2.201。

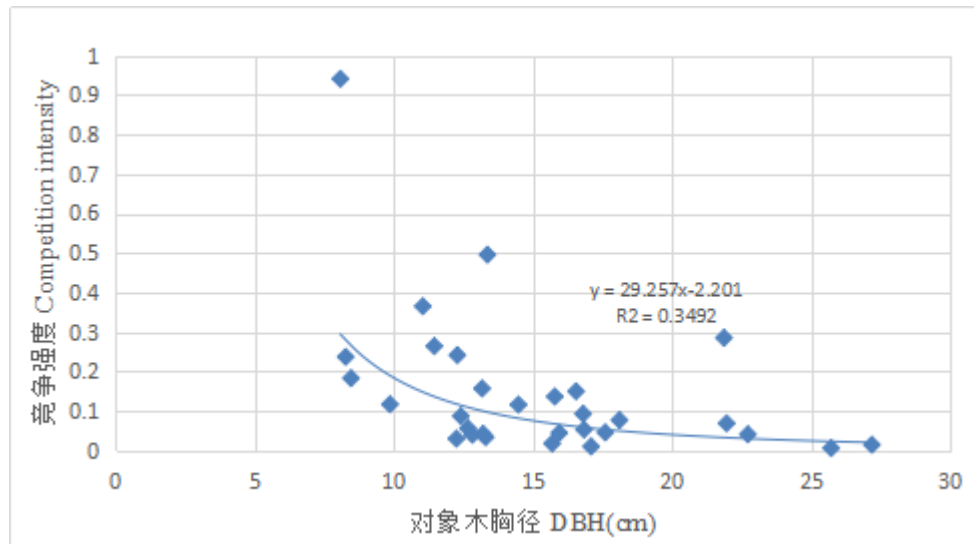


图1 种内竞争强度与对象木胸径的关系（样地一）

Fig.1 The relationship of intraspecific competition intensity and DBH of objective tree in Sample Plot One

由图 1 的拟合结果可直观看出，黄山松种内竞争强度随着对象木胸径的增大而逐渐减小，当对象木的胸径达 20cm 以后，竞争强度的变化不大。这也与其他学者对于黄山松种内竞争的研究结果相似<sup>[15]</sup>。因此，可以根据这一特性为合理经营黄山松天然林提供科学依据，即要获得高产量的黄山松木材和松脂，就要在其胸径达到 20cm 之前进行适当的人工抚育，像林业上的间伐是必要的措施。

#### 4 结论与讨论

植物间的竞争是自然界普遍存在的现象，特别是在高密度的情况下，主要表现在植物地上部分和地下部分的根系资源和空间的竞争。从个体水平去研究林分中植物间的竞争关系，更能够准确地反映出个体和群体间的竞争关系。本文应用最近邻体法和张跃西（1993）改进的单体竞争指数模型来定量分析鹞落坪自然保护区内的黄山松群落的种内竞争强度和竞争指数。

实验结果表明：黄山松种内竞争的强度随对象木胸径的变大而逐渐变小；并且种内竞争强度和对象木胸径服从幂指数关系，当黄山松胸径达到 20cm 以上时，竞争强度几乎没有变化。本实验证明张跃西（1993）改进的单体竞争指数模型能较好地模拟黄山松纯林的种内竞争关系，可为鹞落坪国家级自然保护区内的黄山松天然纯林的合理经营提供科学依据，即要获得高产量的黄山松木材和松脂，就要在其胸径达到 20cm 之前进行适当的人工抚育。

与前人的工作相比较，本文主要有两点较大的不同之处。首先，是邻体范围的确定方法不同。邻体范围对于植物群落种内种间竞争关系的研究有较大影响，确定合理的邻体范围可以保证对植物群落种内种间竞争的分析结果的正确可靠性。对于邻体范围的确定，前人常用的方法有以树冠的相互接触为依据<sup>[16]</sup>、逐步扩大范围法<sup>[17]</sup>或者根据研究者的工作经验和主观判断，目前对于最适范围的确定很难给出一个具体的标准。

本实验采用的是最简单的最近邻体法,即只将对象木的最近邻体作为其竞争木,虽然可能没有真实全面地反映出对象木在其局部环境条件下受到的竞争状况,但毫无疑问地是最近邻体对于对象木的竞争在所有的邻体中所占比例是最大的,通过分析对象木与其最近邻体的竞争强度和竞争指数,虽有些“以偏概全”,但也能反映植物群落间的竞争关系。

其次,是竞争指数模型的选择不同。竞争指数作为植株与其邻体竞争强度的数量指标,选择合理恰当的竞争指数模型对于植物群落种内种间竞争关系的研究具有重要意义。目前大多文章和本文一样,采用的是张跃西(1993)根据生态学原理和自疏规律改进的单体竞争指数模型。但在有些实际应用中发现,应用该模型计算所得对象木附近距离小于1m的邻体的竞争指数远大于超出1m的邻体的竞争指数,也就是说应用该竞争指数模型会夸大1m范围内的邻体的竞争强度。为避免“1m效应”,有些文章进一步对张跃西(1993)的竞争指数模型进行修正<sup>[15,17]</sup>。由于在本实验中,我们只选择对象木的最近邻体树作为其竞争木,对于第二、第三、第四等邻体树并没有计算在内,计算出的竞争指数本身就偏小,所以没有对所使用的竞争指数模型做进一步的修正。

## 参考文献

- [1] Schoener T. W. Field experiments on intraspecific competition [J]. American Naturalist, 1983, **122**: 240-279.
- [2] Connell J. H. On the prevalence and relative importance of intraspecific competition: Evidence from field experiments[J]. American Naturalist, 1983, **122**: 661-961.
- [3] Tilman G. D. Resources competition and community structure[M]. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1982. pp. 92-115.
- [4] 邹春静, 徐文铎. 沙地云杉种内、种间竞争的研究[J]. 植物生态学报, 1998, **22**: 269-274.
- [5] Weiner, J. Neighborhood interference amongst *Pinus rigida* individuals[J]. Journal of Ecology, 1984, **72**: 183-195.
- [6] Weiner, J. A neighborhood model of annual plant[J]. Ecology, 1982, **63**: 1237-1241.
- [7] 张大勇, 赵松岭, 张鹏云, 等. 青杆林演替过程中的邻体竞争效应及邻体干扰指数模型[J]. 生态学报, 1989, **9**(1): 53-59.
- [8] 张跃西. 邻体干扰模型的改进及其在营林中的应用[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1993, **17**: 352-357.
- [9] 徐慧, 钱谊, 彭补拙, 等. 鹞落坪国家级自然保护区生态评价研究[J]. 农业环境保护, 2002, **21**(4): 360-364.
- [10] 季春峰, 邹惠渝, 向其柏. 黄山松研究进展(综述)[J]. 安徽农业大学学报, 2004, **31**(1): 111-114.
- [11] 胡正华, 于明坚, 丁炳扬, 等. 古田山国家级自然保护区黄山松群落特征及物种多样性研究[J]. 生态环境, 2003, **12**(4): 436-439.
- [12] Binging GS, Dobbertin M. Comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees[J]. Forest Science, 1992, **38**: 695-720.
- [13] Binging GS, Dobbertin M. Evaluation of competition indices in individual tree growth models[J]. Forest Science, 1995, **41**: 360-377.
- [14] 张跃西, 钟章成. 木本植物邻体干扰研究进展[J]. 生态学杂志, 1999, **18**(2): 55-59.
- [15] 段仁燕, 黄敏毅, 吴甘霖, 等. 天柱山黄山松种内与种间竞争的研究[J]. 广西植物, 2008, **28**(1): 78-81.
- [16] 宋丁全, 姜志林, 郑作孟. 光皮桦群落邻体干扰指数的研究[J]. 生态学杂志, 2002, **21**(3): 15-17.
- [17] 段仁燕, 黄敏毅, 吴甘霖, 等. 黄山松种群邻体范围与邻体竞争强度的研究[J]. 广西植物, 2009, **29**(1): 111-115.
- [18] 吴泽民, 黄成林, 韦朝领. 黄山松群落林隙光能效应与黄山松的更新[J]. 应用生态学报, 2000, **11**(1): 13-18.
- [19] 刘宪钊, 陆元昌, 任云卯. 油松人工林单木邻体竞争模型[J]. 生态学杂志, 2016, **35**(11): 3126-3130.
- [20] 周葆华, 余世金. 天柱山黄山松群落特征及其环境功能评价[J]. 地理研究, 2008, **27**(2): 257-265.
- [21] 骆文建, 韦新良, 汤孟平, 等. 天目山枫香种内与种间竞争的数量研究[J]. 浙江农林大学学报, 2012, **29**(5): 641-646.
- [22] 段仁燕, 王孝安. 太白红杉种内和种间竞争研究[J]. 植物生态学报, 2005, **29**(2): 242-250.
- [23] 洪伟, 吴承祯, 蓝斌. 邻体干扰指数通用模型及其应用[J]. 植物生态学报, 1997, **21**(2): 149-154.
- [24] 吴承祯, 洪伟, 林成来, 等. 黄山松种群数量动态研究[J]. 浙江林学院学报, 1998, **15**(3): 274-279.

[25] Wratten S. D. Fry G. L. A. 著, 吴千红等, 译. 生态学野外及实验室实验手册[M]. 1986. 北京: 科学出版社.

**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博士指导, 中国科学技术大学生命科学学院的桂晨阳、汪磊、龚琪赞和胡杰同学在数据采集方面给予热心帮助, 特此谢忱。



# 三种不同植被下土壤有机质含量与含水量变化及两者间关系

桂晨阳, 汪磊

(中国科学技术大学生命科学学院, 安徽合肥, 230026)

**摘要:** 在不同植被下, 土壤中有机质含量和含水量随着深度增加发生变化, 而鹞落坪自然保护区关于这方面的调查比较匮乏, 因而进行相关调查。在此次土壤取样调查中, 分别在生长于相同环境的苔藓、草地和生长在不同环境的苔藓, 草地, 针叶林下取不同深度土壤, 采用烘干法测土壤含水量, 重铬酸钾氧化比色法测有机质含量。研究发现, 鹞落坪针叶林, 苔藓层, 草丛这三种植被下, 有机质以及水分主要集中在表层土壤; 同一环境下的草地、苔藓层对于含水量的影响没有显著差别; 并且发现不同深度的土壤有机质含量和含水量变化存在正相关的关系。

**关键词:** 地表植被; 有机质含量; 含水量; 鹞落坪

**中图分类号:** Q948.113 **文献标识码:** A

## The Change of Soil Organic Matter Content and Water Content under Three Different Kinds of Vegetation and Their Relation

Chenyang Gui, Lei Wang

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

**Abstract:** Under different vegetation, the content of organic matter and water content in the soil change with the increase of depth, and the investigation on this aspect in the Yaoluoping nature reserve is quite scarce, so the investigation was carried out. In the soil sampling survey, We Collected different depths of soil under the same environment of moss, grassland and the different environment of moss, grassland, coniferous forest, using drying method to measure soil moisture content and potassium dichromate oxidation colorimetric method to measure the contents of organic matter. It was found that organic matter and water were mainly concentrated in the surface soil under the coniferous forest, moss layer and grass, and there was a positive correlation between the content of soil organic matter and the change of water content at different depths.

**Key words:** Vegetation; Organic matter content; Water content; Yaoluoping

### 引言

鹞落坪国家级自然保护区位于岳西县包家乡, 地处大别山主峰位置, 保护区内次生植被保存较完整<sup>[1]</sup>。该区属于泛北极植物区, 生态系统结构完整, 植物群落主要有针叶林、竹林、草甸、灌木丛等<sup>[2]</sup>。

土壤是森林植被生长的基石, 土壤的理化性质与植被的形成、发展密切相关, 而在土壤的理化性质中, 有机质、水分是影响土壤肥力的重要因素<sup>[3]</sup>。鹞落坪的土壤类型有山地棕壤, 山地黄棕壤, 山区草甸土和水稻土, 本文处理的土样为山地黄棕壤。在关于鹞落坪的相关研究中, 不同植被类型下土壤腐殖质含量随着采样深度的增加而降低, 同时含水量也随着土壤深度的增加而降低, 但是在研究中并没有涉及苔藓这种植被类型, 而且含水量和有机质之间相互关系也没有相关的分析<sup>[4]</sup>。在南亚热带地区马尾松针叶林, 季风常绿阔叶林的相关研究中, 土壤中水分与有机质随着土层深度增加而衰减, 并且土壤饱和含水量对土壤有机质存在高度依赖性<sup>[5]</sup>。由此可见土壤含水量和有机质两者之间存在密切的关联。

本文研究对象为鹞落坪山地苔藓，草地，针叶林下土壤有机质与含水量，自然发生的有机质主要来自动植物的降解，包括高度降解的腐殖质和新落入的植物残骸，除此之外，人类的干扰也是影响土壤有机质含量的因素<sup>[6]</sup>。鹞落坪保护区的森林植被受人为影响小，因此基本为天然产生的有机质。

有机质测定中，综合实验条件而采取重铬酸钾氧化比色的方法，该方法比灼烧法更容易操作且可靠性不低<sup>[7,8]</sup>。本次取样调查主要为鹞落坪苔藓层下有机质，含水量的变化关系提供了数据和相关的规律。

## 1 研究地点和研究对象

### 1.1 研究地点

鹞落坪保护区与中国科大共建实验室附近山林中草地、苔藓地（图 1，图 2a,b）；安徽湖北交界的小旗岭处的针叶林（图 2c）。

### 1.2 研究对象

相同环境下苔藓 A、草地、稀疏草地+苔藓三种植被下不同深度土壤有机质含量与水含量（图 1）；不同环境下苔藓 B、草地、针叶林三种植被下不同深度土壤有机质含量与含水量（图 2）。

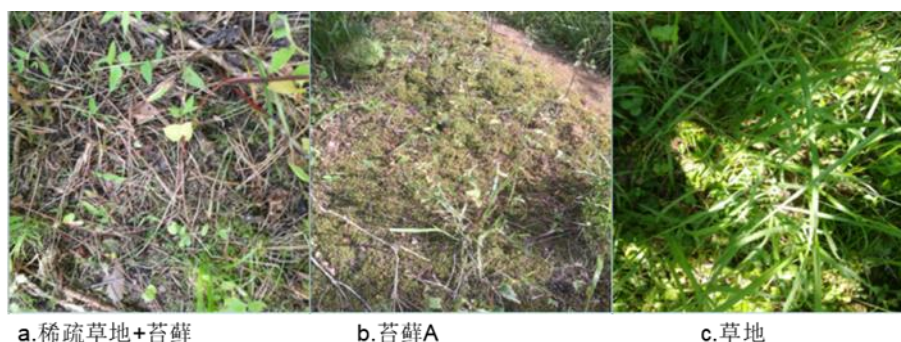


图 1 鹞落坪研究样地 1 植被照片

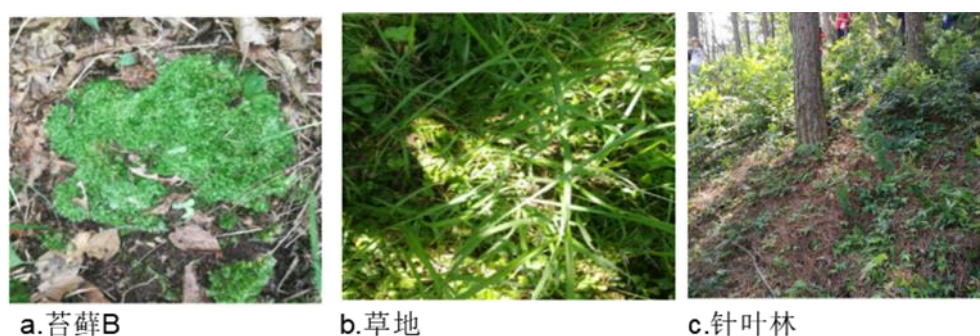


图 2 鹞落坪研究样地 2 植被照片

## 2 研究方法

### 2.1 工具设备

### 2.1.1 取样仪器

工兵铲、取土器、自封袋。

### 2.1.2 测量仪器

电子天平、分光光度计。

## 2.2 研究方法

在不同的地点处的土壤以及在同一地点不同植被类型下的土壤进行不同深度的采样，比较同一地点不同植被类型对土壤含水量与有机质含量的影响；比较不同地点不同的植被对有机质含量与含水量影响；研究同一植被下含水量与有机质含量之间的关系。

## 2.3 分析方法

### 2.3.1 含水量分析方法

称取各个深度采样的土壤分别称取湿重以及干燥后的重量，含水量计算=（湿重-干重）/湿重。

### 2.3.2 有机质分析方法

将干燥后的土壤样品，研磨，筛除石粒，在浓硫酸溶解时提供的高温强酸性条件下用重铬酸钾溶液氧化有机碳，比色法比较三价铬的吸光度 OD 值，利用标准曲线计算有机质含量。具体实验步骤为：取 0.500g 土加 3ml 蒸馏水摇匀，加 10ml 重铬酸钾标准溶液(0.8mol/L)，加 10ml 浓硫酸，迅速摇匀反应 30min，加 10ml 蒸馏水摇匀，静置过夜，取 3ml 加入比色管，定容到 10ml 摇匀，620nm 测吸光度。然后，制作葡萄糖标准曲线，将土样分别以 0.005、0.01、0.02、0.04、0.08g 葡萄糖替代，根据公式：

$$\text{土壤有机质含量 (g/g)} = \text{含碳量(mg)} \times 1.724 \times 1.32 / \text{土样质量(g)} / 1000$$

式中，含碳量由土样吸光度 OD 值根据标准曲线换算成葡萄糖含量之后再换算为含碳量；1.724 为有机碳变换为有机质的系数；1.32 为土壤有机质氧化校正系数。

### 2.3.3 数据处理方法

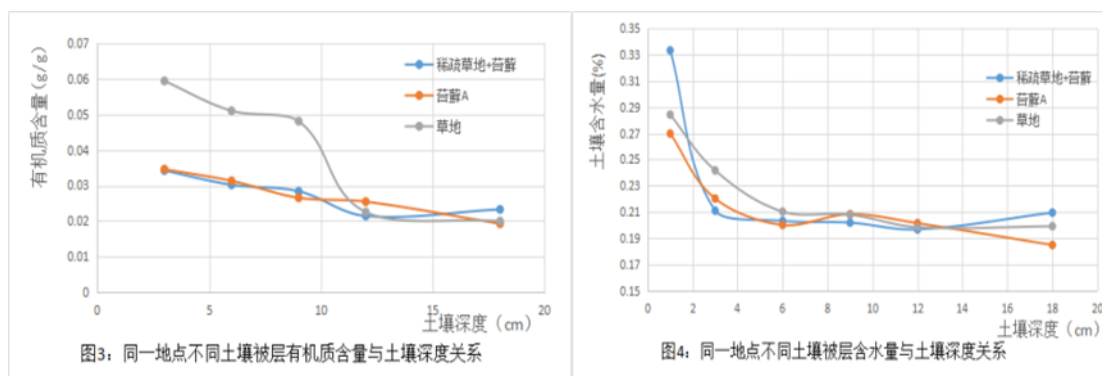
我们使用 Excel 作图，以不同深度的土壤为横坐标，以有机质含量或含水量为纵坐标做出关系图。

## 3 实验结果

### 3.1 同一地点不同植被类型对土壤含水量与有机质含量的影响

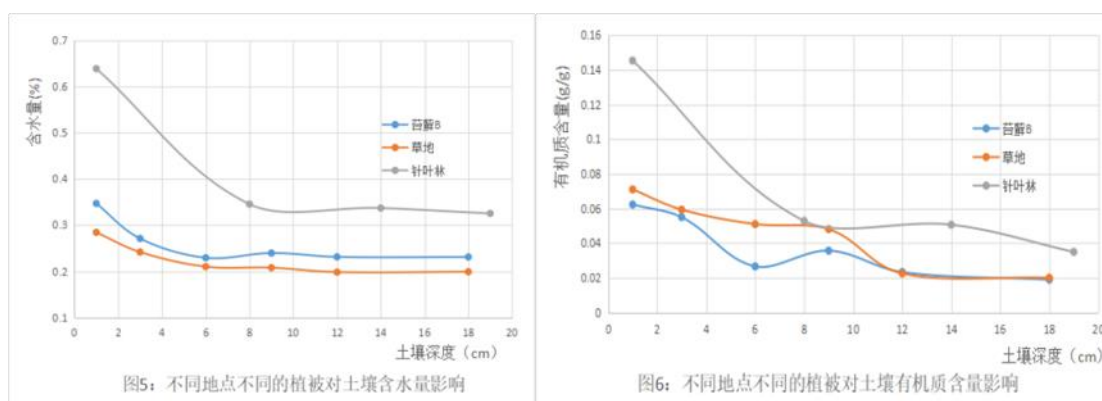
分别在只有苔藓 A(图 1b)，只有茂密草丛(图 1c)，有稀疏草丛及部分苔藓(图 1a)这三处地方取样，测量土壤含水量 (%) 以及土壤有机质含量 (g/g)。根据图 4 (同一地点不同植被类型土壤含水量与土壤深度关系)，苔藓 A、草丛、稀疏草丛及部分苔藓这三处随着土壤深度的增加，土壤含水量在 0~8cm 范围内衰减速度呈现指数下降，在 10cm 之下土壤含水量基本不随深度发生变化，三处含水量除表层土之外，基本没有明显差别。根据图 3，在苔藓 A、

稀疏草丛及部分苔藓两处，随土壤深度的增加，有机质逐渐减少并且减少的幅度比较小；而在草地处，0~12cm 内有机质含量明显高于另外两处，并且在 10cm 处有机质含量的下降幅度较大（参见图 3 和图 4）。综上，同一地点不同植被下，土壤含水量随深度增加而下降，不同植被（图 1a、b、c）之间差异不大；土壤有机质含量随着深度增加也呈现下降趋势，其中茂密草地有机质含量明显比苔藓丰富。



### 3.2 不同地点不同植被对土壤有机质含量及含水量影响

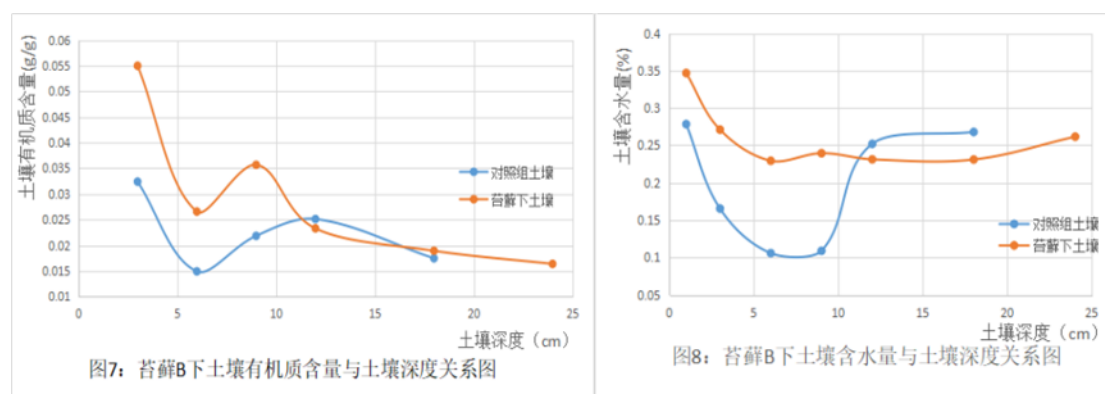
分别在苔藓 B、草地、针叶林三处的不同深度土壤进行采样，测量土壤有机质含量以及含水量。根据图 5 的结果，针叶林各个土壤深度的含水量均高于草地和苔藓 B，苔藓 B 下各深度土壤稍微高于草地，从下降趋势上，三者在 0~10cm 含水量都呈现快速下降的趋势，之后含水量基本保持稳定。根据图 6 的结果，针叶林各个土壤深度的有机质含量都高于草地与苔藓层；而草地有机质含量高于苔藓 B；三者在 12cm 的厚度内均呈现下降趋势，其中针叶林下降最快，12cm 之下，三者的有机质含量基本处于稳定状态（参见图 5 和图 6）。综上，不同地点不同植被对土壤有机质含量及含水量的影响均是先呈现下降趋势，之后保持平稳，但不同地点的不同植被存在差异。



### 3.3 同一植被下含水量与有机质含量之间的关系

在取土样过程中，分别测量了土样的含水量和有机质含量，在图 3、4、5、6 中均可以看出含水量和有机质存在相关性，随着深度的增加，两者都呈现下降趋势。在苔藓 B 的测量数据中，含水量与有机质含量的相关性就更为明显。在对照组土壤下，含水量随着土壤深度

增加呈现先下降后上升并稳定在一个值附近, 对照组土壤的有机质含量也基本上是这样的趋势; 相应的, 苔藓 B 在 8cm 时含水量有轻微的上升后保持平稳, 与此对应的, 土壤的有机质含量在 8cm 处也呈现出明显的上升趋势, 然后有机质含量也保持基本稳定 (参见图 7 和图 8)。综上, 同一植被下, 土壤有机质含量与含水量随着土壤深度的增加, 呈现出相似的变化趋势, 即呈现正相关关系。



#### 4 结论与讨论

从分析的数据来看, 虽然样本量较少, 但是也可以看出含水量与有机质含量随着土壤深度增加而减少, 而且在表层土中含量最大。研究发现, 鹞落坪针叶林, 苔藓层, 草丛这三种植被下, 有机质以及水分主要集中在表层土壤; 同一环境下的草地、苔藓层对于含水量的影响没有显著差别; 并且发现不同深度的土壤有机质含量和含水量变化存在正相关的关系。

在此次生态学实习过程中, 由于实习时间比较短, 而且在土样的采集过程中基本上为本组自行完成, 由于土样采集花费时间较多, 因此将原计划的在同一地点采样多次改变为只采样一次, 这会由于空间的异质性而导致数据存在一定的偏差, 缺乏足够的说服力。除此之外, 由于实习地点植被茂密, 草本植物旺盛, 在实验组附近难以找到裸露的土地进行对照以排除所研究对象之外的影响因素, 因此数据也会存在一定程度的偏差。

在整体上看, 同一植被下, 土壤的有机质含量与含水量存在正相关的关系, 变化趋势基本同步, 这可能是淋溶作用的影响, 但具体的机制仍需要进一步探索。

在草地和苔藓层之间关于含水量的比较上, 不管是在相同的环境下, 还是不同的环境下都表现出没有明显的差异, 这一现象是引人注意的。因此, 需要进一步实验, 扩大环境的差异程度以进一步检验草地与苔藓层对于土壤含水量的影响是否有差异。

#### 参考文献

- [1] 徐慧, 钱谊, 彭补拙, 等. 鹞落坪国家级自然保护区生态评价研究[J]. 农业环境科学学报, 2002, 21(4): 360-364.
- [2] 高林, 徐如松, 曹蛟仙, 等. 鹞落坪国家级自然保护区植被类型的初步探讨[J]. 生物学杂志, 2002, 18(6): 32-34.
- [3] 朱祖祥. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1983.
- [4] 徐康. 鹞落坪国家级自然保护区森林土壤理化性质、微生物量与酶活性分布特征研究[D]. 安徽大学, 2012.

- [5] 刘效东, 乔玉娜, 周国逸. 土壤有机质对土壤水分保持及其有效性的控制作用[J]. 植物生态学报, 2011, **35**(12): 1209-1218.
- [6] BA Schumacher. Methods for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soils and Sediments [R]. Ecological Risk Assessment Support Center, 2002.
- [7] Bendor E, Banin A. Determination of organic matter content in arid-zone soils using a simple “loss-on-ignition” method [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1989, **20**(15-16): 1675-1695.
- [8] 谢细香. 重铬酸钾稀热比色法测定土壤有机质的研究[J]. 安徽农业科学, 2005, **6**, 998-999.

**致谢:** 本次考察承蒙中国科学技术大学生命学院沈显生教授和罗建川博士在样品采集方面给予的帮助和支持, 以及中国科学技术大学创新研究型生物学教学实验室提供分光光度计的帮助, 特此谢忱。

# 博落回叶片性状对生态因子的响应

蒋小洋, 胡杰

(中国科学技术大学生命科学学院, 安徽合肥, 230026)

**摘要:** 该文选择位于鹤落坪自然保护区鹤落坪村作为实验地点, 博落回为实验材料。以河岸为起点, 在河两岸多处设置了样品采集地点。研究了不同水分、光照条件下博落回种群叶片性状的变化。结果表明: (1) 随着土壤含水量的逐渐升高, 博落回种群叶片比叶面积增大, 周长/面积增大, 叶片面积和周长减小, 叶重减小。(2) 微小的温度改变, 依然可以对叶片性状产生影响, 并且, 温度升高, 叶片面积增大。(3) 自然条件下, 光照对博落回叶片性状的影响非常显著, 强光使博落回叶片面积减小。

**关键词:** 博落回; 比叶面积; 周长; 面积; 周长/面积; 叶重; 土壤含水量; 温度; 光照

**中图分类号:** Q948.11 **文献标识码:** A

## Response of Leaves of *Macleaya cordata* to Ecological Factors

Jiang Xiaoyang, Hu Jie

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

**Abstract:** This paper choose the village of Yaoluoping, located in Yaoluoping Nature Reserve, as the experimental site and *Macleaya cordata* as the experimental material. At the beginning of the river bank, a sample collection site was set up on both sides of the river. The changes of leaf characters in populations of beet falls were studied under different water and light conditions. The results showed that: (1) With the increase of soil water content, the specific leaf area, perimeter / area, leaf area and perimeter decreased, and leaf weight decreased. (2) Small temperature changes can still have an impact on leaf characteristics, and the leaf area increases with the increase of temperature. (3) Under natural conditions, the effect of illumination on leaf traits of *Macleaya grandiflora* was very significant, and the leaf area of *Macleaya grandiflora* was reduced by strong light.

**Key words:** *Macleaya cordata*; specific leaf area; perimeter; area; perimeter/area; leaf weight; soil moisture content; temperature; light

### 引言

博落回是多年生草本植物, 叶柄基部有乳黄色浆汁, 植株高大挺拔, 可达 4 米, 叶片下表面有白粉, 边缘分裂。大型圆锥花序, 顶生和腋生; 苞片狭披针形, 6-11 月开花结果。博落回生于山坡及草丛中, 尤其是新翻的裸地, 是群落建立的先锋植物。喜温暖、湿润的环境, 喜肥、怕涝, 有较强的耐旱力和抗寒力, 对土壤要求不严, 但以肥沃的土壤长势健壮。适宜的生长温度为 22-28℃。

博落回全草可入药, 所含生物碱是抗菌作用的有效成分, 水煎剂对多种革兰阳性菌和革兰阴性菌及钩端螺旋体有较强的抑制作用。博落回的主要成分白屈菜红碱是一种选择性蛋白激酶 C(PKC)抑制剂, 并被广泛用于抗肿瘤和与细胞增殖和再生有关的细胞信号转导的研究。博落回中的血根碱成分也有较弱的抗肿瘤作用。博落回所含生物碱具有杀虫和防病等作用, 博落回有杀蛆作用, 能抑制蝇卵孵化。

鹤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', 是博落回生长的北边界。当地很早就有使用博落回作为药物和农药的方法, 近年来倡导绿色安全, 博落回作为土农药的价值凸显, 被广泛栽种或自然生长在田间地头。



叶片是植物获取能量的主要组织,是物质交换的核心,也是对外界因子响应显著的部位。博落回叶片面积大,边缘分裂程度高,叶片性状对外界生态因子的改变响应显著。

## 1 研究对象

博落回,位于鹧落坪村南河谷边新翻草地和登山小路旁,海拔 1040m~1100m,周围无高大树木遮挡,博落回个体高大,聚集成群,生长良好。

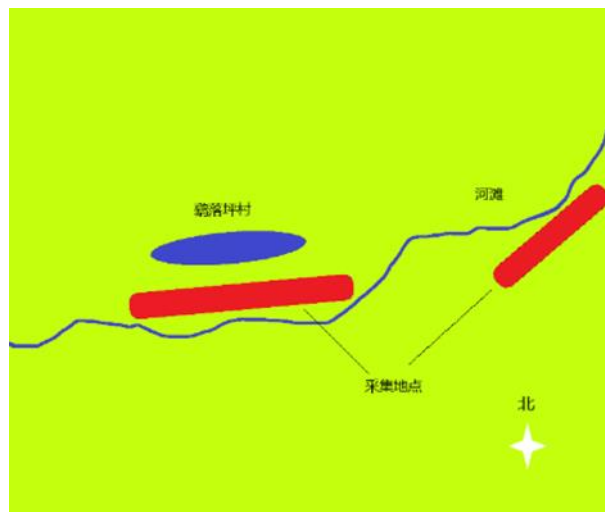


图 1 样品采集地点环境概况  
Figure 1 The environmental profile of sample collection site

## 2 研究方法

### 2.1 工具设备

光湿热三参数测量仪、电子天平、烘箱。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 博落回叶片参数的测定

选择 7 月上旬的一个晴朗下午 15:00-16:30,采集博落回叶片,测量博落回叶片面积、周长、叶重、比叶面积、周长/面积。

#### 2.2.2 采集地点土壤含水量的测定

采集地表以下 15cm 处土壤,挑出草根和砾石,测出湿重以及干燥后的重量,土壤含水量 = (湿重-干重) / 湿重,以百分比表示。

#### 2.2.3 采集地点温度的测定

由于自然条件下光照对温度的干扰很大,所以选择在晴朗下午测量,测量时选择在博落回叶片下无阳光直射处测量,测量尽可能准确而迅速。

#### 2.2.4 自然条件下光照对博落回叶片参数影响的测定

选取一条小溪的南北方向段。由于该地现在是在北半球的夏季,太阳是东北升西北落。



西岸的博落回生长在靠近溪边的洼地，该洼地与周围山坡形成半漏斗状。东岸的博落回生长在陡峭的山坡上，地势较高。

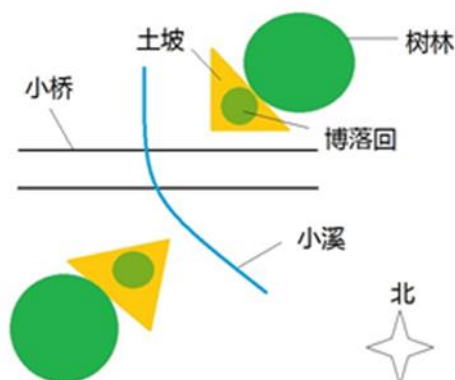


图2 样品采集地点环境概况(2)  
Figure 2 The environmental profile of sample collection site (2)

### 2.3 分析方法

采集的叶片样品用电子天平称重。由于没有测量面积周长的扫描设备，选择了 CAD 软件测量面积和周长的相对值作为测量值。土壤含水量测量方法是：野外采集的土壤样本密封带回实验室测量湿重，烘干箱内 80℃ 烘干 6h 后测量干重。所有数据用 Excel 软件绘图。

## 3 结果

### 3.1 土壤含水量对叶片性状的影响

随着土壤含水量的增加，博落回叶片质量、面积、周长均下降，表明水分可能是博落回生长的限制条件。有研究表明，土壤含水量逐渐下降，叶片面积呈现上升后下降的趋势<sup>[1]</sup>。说明鹞落坪地区水分充足，土壤含水量可能超过了博落回生长的最适含水量。但叶面积并不是非常可靠的性状，极易受叶片厚度的影响<sup>[6]</sup>。

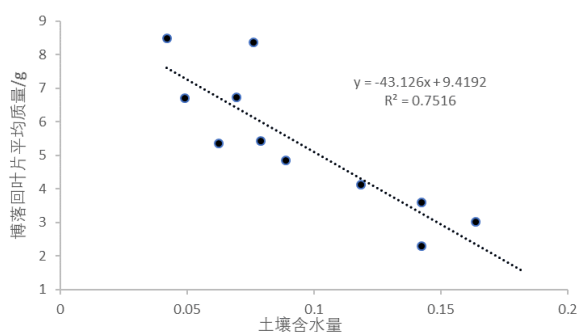
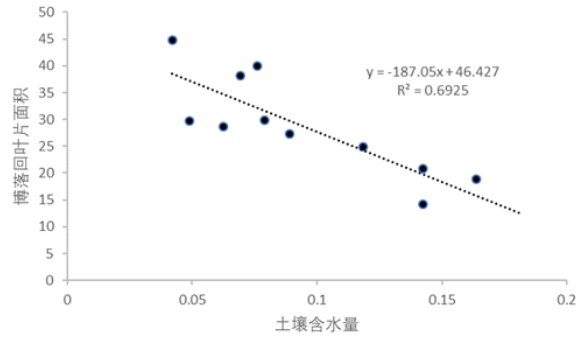
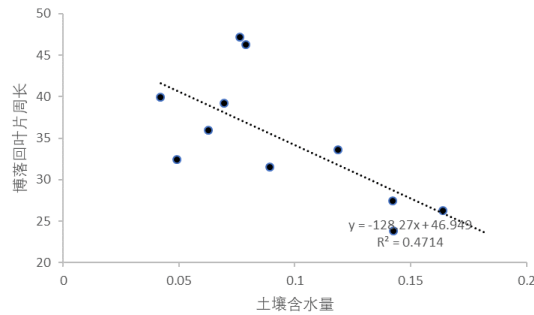


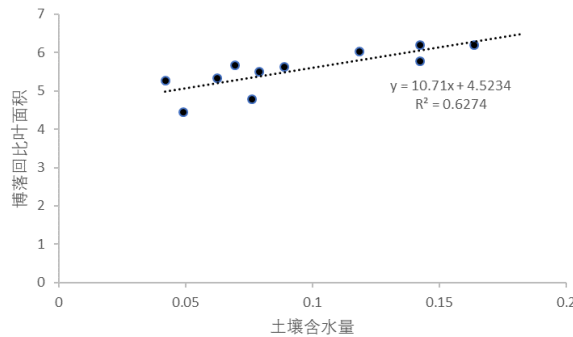
图3 博落回叶片质量与土壤含水量关系  
Figure 3 The relationship between leaf mass and soil moisture content



**图 4** 博落回叶片面积与土壤含水量关系  
**Figure 4** The relationship between leaf area and soil moisture content in the leaf



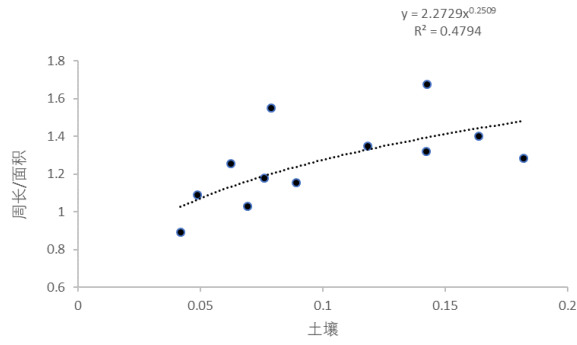
**图 5** 博落回叶片周长与土壤含水量关系  
**Figure 5** The relationship between leaf circumference and soil moisture content



**图 6** 博落回叶片比叶面积和土壤含水量的关系  
**Figure 6** The relationship between specific leaf area of leaf and soil moisture content

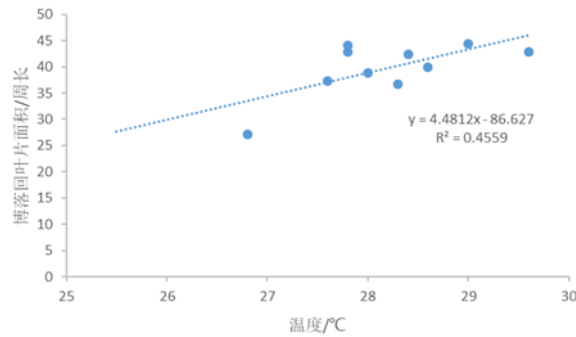
如图 6 所示，博落回叶片比叶面积与土壤含水量有正相关关系。比叶面积与叶片厚度具有负相关关系，反映了叶片对水分的利用效率和捕获光能的能力<sup>[5]</sup>。较小的比叶面积意味着较厚的叶片、较高的水分利用率以及较大的生产成本。而较大的比叶面积则往往意味着更适宜的生长条件和较多的生存资源<sup>[2]</sup>。比叶面积大，光捕面积相对较大，比叶面积小，则大量叶物质用于保卫构造<sup>[3]</sup>。

如图 7 所示，博落回叶片周长/面积与土壤含水量为正相关关系。周长/面积反映了叶片边缘分裂程度和边缘阻力。周长/面积较大，提高了叶片对碳的利用能力，周长/面积较小会增大蒸腾速率<sup>[4]</sup>。



**图 7** 博落回叶片周长/面积与土壤含水量关系  
**Figure 7** The relationship between leaf circumference/area and soil moisture content was studied

### 3.2 温度对叶片性状的影响



**图 8** 博落回叶片面积/周长与温度关系  
**Figure 8** The relationship between leaf area/circumference and temperature

如图 8 所示，很小的温度改变量使叶片面积/周长有微小的改变。面积/周长较大，可以提高叶片蒸腾效率，有利于降低叶片表面温度，对叶片生长有利。

### 3.3 光照对叶片性状的影响

早上太阳从东北升起时，由于东岸树林的遮挡，二者都没有光照。随着时间推移，接近中午时，两岸都有光照，下午时，由于西岸树林的遮挡，且西岸博落回地势较低，所以没有阳光直射，而东岸博落回由于地势较高，无法被西岸树林遮挡，下午一直接受阳光直射。我们在东西两岸各采集了数十片博落回叶片，测量叶片面积。得到图 9 中的结果，西岸博落回叶片面积以及相对面积明显大于东岸。

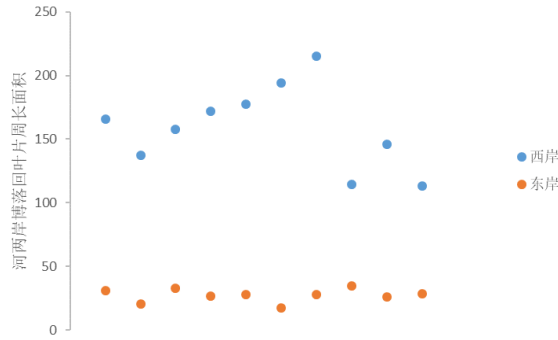


图9 光照对博落回叶片相对面积的显著影响  
Figure 9 The effect of illumination on the relative area of leaf

## 4 讨论

### 4.1 样本不足导致实验结果存在一定的局限性

博落回叶片性状受生态因子影响改变较大，是研究叶片参数对环境响应的适当材料。但是由于本次实习时间短暂，受制于自然环境，无法采集更多样本，无法准确测出各因子影响权值；又由于实验设备的限制，仅能测得短时间内的土壤含水量和温度，而光照很容易受到天气影响，对光强的测定可信度不高。

### 4.2 实验结果中比叶面积与叶面积的关系与一般情况不符

一般的，比叶面积较大的叶片较薄，往往叶面积较大，但对博落回的研究中出现相反现象，比叶面积大的叶片叶面积反而较小。猜测与取叶位置（本次实验取叶位置为顶头花序向下第五片叶）和博落回植株生长时间不同有关。

### 4.3 自然条件下相对于实验室条件下的局限性

自然条件下，在测量温度时，由于采样位置海拔差距不大，各采样点温度差别不是很大，在很小的温度范围内研究温度对博落回的叶片参数的影响是不太合适的。结果虽然表明，温度的确对叶片的大小有一定影响（仅能判断影响趋势），但不能排除受风力，土壤肥力等的作用，以及测量时间的差异，使结果不甚可信。而在实验室条件下，我们能够更好的控制生态因子的变化，做到只有一个变量，排除其他变量的影响，更好的观察该变量对叶片参数的影响。同时，在自然条件下，温度、光照波动较大，易受到天气的影响，并不适合对温度、光照等进行考察。在实验室条件下，波动较小，不易受到干扰，实验结果更加准确。

### 4.4 山路边的博落回叶片被虫子啃食较多

由于季节和山中环境的原因，路边生长的博落回叶片大多被虫子啃食，叶片边缘不完整，导致我们样本量大大减少。

### 4.5 对小溪两岸博落回叶片比叶面积差异的探究

实验选取的小溪由于桥刚修不久,周围有堆积的裸沙土地适合博落回生长,但是由于无法在野外测得稳定光照强度和可信的温度、土壤含水量等,无法得知各主要参数对博落回叶片性状的影响权值。现在只能根据实际情况作出合理的猜想;西岸的博落回离小溪很近,土壤更湿润;而东岸的博落回生长在裸露的沙土坡上,土壤较干旱,所以西岸的土壤条件比东岸更合适生长。而二者距离较近,温度差的不多。所以除了光照,其余条件西岸优于东岸,故而西岸叶片相对面积大于东岸。对于光照,从我们所查资料来看,博落回是喜光的。从我们实际观察的情况来看,东岸的博落回大多数已经开花,而西岸的博落回大多数未开花,说明光照充足可以促进博落回更早成熟。

## 参考文献

- [1] 李群, 赵成章, 姚文秀, 等. 张掖湿地芦苇蒸腾速率与叶性状关系对土壤水分的响应[J]. 生态学杂志. 2018, **37**(4):1095-1101.
- [2] 张金鑫. 天然白刺灌丛对人工模拟增雨响应[D]. 北京: 中国林业科学研究院学位论文, 2012: 26-27.
- [3] 盘远方, 陈兴彬, 姜勇, 等. 桂林岩溶石山灌丛植物叶功能性状和土壤因子对坡向的响应[J]. 生态学报. 2018, **38**(5): 1581-1589.
- [4] 韩威, 刘超, 樊艳文, 等. 长白山阔叶木本植物叶片形态性状沿海拔梯度的响应特征[J]. 北京林业大学学报. 2014, **36**(4): 47-53.
- [5] V.H.Hurtado, L.Poorter. Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light; relationships with light demand and adult stature [J]. British Ecological Society. 2006, **20**(2):207-216.
- [6] Peter J.Wilson, Ken Thompson, John G.Hodgson. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies [J]. New Phytologist Trust. 1999, **143**(1):155-162.

**致谢:** 本次考察承蒙中国科学技术大学生命学院沈显生和罗建川老师指导, 特此谢忱。

# 对织网型和游猎型蜘蛛落水后应对策略的初步研究

江许银, 秦敬坤

(中国科学技术大学生命科学学院, 安徽合肥, 230026)

**摘要:** 蜘蛛所处的生境复杂多样, 临水生境中也栖息着很多不同种类蜘蛛。由于风雨等自然因素的影响, 栖息在临水生境中的蜘蛛存在落入水中的可能。本文主要以球蛛和黑腹狼蛛为例, 对织网型和游猎型这两类蜘蛛落水行为进行观察和对比, 发现了不同进化地位的蜘蛛落水之后为了自救会采取不同的应对方法, 织网型蜘蛛落水之后表现得非常被动, 大部分不能靠自身脱困, 而游猎型则非常主动, 能够很快脱困, 同时从形态结构上进行初步研究, 得出出现这种差异的原因主要是外形上的差异以及蜘蛛表面疏水性强弱不同, 本工作的结果暗示在蜘蛛目中进化地位越高等的类群适应能力越强。

**关键词:** 织网型蜘蛛; 游猎型蜘蛛; 落水; 自救; 进化地位; 适应能力

**中图分类号:** Q142.8; Q951+.3 **文献标识码:** A

## Preliminary Study of the Coping Strategies of Web-weaving Spider and Wandering Spider after Falling into the Water

Xuyin Jiang, Jingkun Qin

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

**Abstract:** The habitats where spiders are located are complex and diverse, and many different types of spiders are inhabited by aquatic habitats. Due to natural factors such as wind and rain, spiders inhabiting aquatic habitats may fall into the water. In this paper, we use *Theridion* sp. 1 and *Lycosacoelstis* as an example to observe and contrast the water-falling behaviors of web-weaving spider and wandering spider. It is found that different evolutionary status of the spiders will take different countermeasures for self-help after falling into the water. The web-weaving spider are very passive after falling into the water, most of them cannot rely on themselves to get out of trouble, while the wandering spider is very active and can quickly get out of trouble. At the same time, preliminary study on the morphological structure shows that the main reason for this difference is the difference in appearance and the hydrophobicity of the spider surface. The results of this work suggest that the higher the evolutionary status in the arachnid, the stronger the ability of the group to adapt.

**Key words:** web-weaving spider; wandering spider; water-fall; self-helping; evolutionary status; adaptability

### 引言

蜘蛛起源于水生祖先, 适应陆生生活后广泛分布, 从地下到地表、落叶层、洞穴、草间、树上、建筑物内, 再到次生水生, 都可以发现蜘蛛活动的足迹。不同的自然环境, 不同的选择压力进化出许多不同特征的蜘蛛类群, 但是从系统进化的角度来看, 它们基本都遵循着洞穴→织网→游猎这样一个大方向<sup>[1]</sup>。显然, 织网型蜘蛛和游猎型蜘蛛在进化地位上是有一定差异的, 这种差异体现在形态结构、活动范围、适应性行为等多方面。

织网型蜘蛛包括常见的园蛛、球蛛、络新妇、肖蛸等。这些蜘蛛活动能力大都不及游猎型蜘蛛, 一般栖居在离地面一定高度的树梢或者屋檐上, 依靠编织各种类型的网来捕获猎物以获得食物来源。

游猎型蜘蛛则包括狼蛛、盗蛛、豹蛛、猫蛛等, 是活动性最强的一类蜘蛛。游猎型蜘蛛常常无确定的居住地, 而是徘徊于地表、草丛、落叶以及树干等处, 靠游猎捕食为生。

蜘蛛属于陆生动物, 无论哪种蜘蛛, 都依靠书肺或气孔来呼吸, 这也意味着蜘蛛无法在水下生活。著名的“水蛛”也是驻留在其携带入水的气体形成的气泡内才能在水下生存, 而

非直接在水中生活。在水边生活的某些织网型蜘蛛和游猎型蜘蛛极有可能遭受风吹浪打而掉落进水中，那么在这种情况下蜘蛛如何摆脱被水溺亡的命运呢？事实上，不同种类蜘蛛落水后表现出的行为有所不同：漂浮在水面上时，大部分织网型蜘蛛几乎不会尝试移动，而是只会挥动第一步足或者收缩所有步足呈球状，而绝大部分游猎型蜘蛛都可以采用“划船”的形式用第二步足和第三步足在水面上行走<sup>[2]</sup>；沉入水底后，少数蜘蛛种类表现为挣扎后很快死亡，一些蜘蛛种类由于体毛密度很高，疏水性很强，可以携带较多气体入水，且入水后活动性减弱，以减缓新陈代谢速率，可以存活较长时间，另外一些蜘蛛种类甚至可以在水下利用依附物自由移动<sup>[3~5]</sup>。经过对前人所做结果的和析，我们发现不同蜘蛛种类落水后表现出的行为上的差异或共性，与它们所属的生活方式是织网型还是游猎型密切相关。本文就以鹞落坪织网型和游猎型蜘蛛为研究对象，通过研究它们的形态结构及其在落水或溺水后为了自救所采取不同应对策略来说明两种类型蜘蛛的差异性，并简单分析其原因。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验地点

鹞落坪国家自然保护区，位于安徽省西部岳西县境内，北纬30°57'~31°06'，东经116°02'~116°11'，属于亚热带亚高山森林生态系统，地处北亚热带向暖温带的过渡地带，有复杂的生态环境和多样的生物资源。

### 1.2 实验材料

球蛛属 sp.1(*Theridionsp.1*): 织网型，10 只，体长相近，约 1.0cm；

黑腹狼蛛(*Lycosa coelestis*): 游猎型，7 只，体长相近，约 1.2cm；

其他一些织网型和游猎型蜘蛛，共 49 只，11 种，详见表 1。

表 1 鹞落坪抓捕蜘蛛种类  
Table 1 The spider species caught from Yaoluoping

生活型	科	属	种	
织网型	园蛛科 Araneidae	园蛛属 <i>Araneus</i>	大腹园蛛 <i>Araneus ventricosus</i> (L.Koch, 1878)	
		亮腹蛛属 <i>Singa</i>	山地亮腹蛛 <i>Singa alpigena</i> Yin et al., 1983	
		棘腹蛛属 <i>Gasteracantha</i>	库氏棘腹蛛 <i>Gasteracantha kuhli</i> C.L.Koch, 1838	
		艾蛛属 <i>Cyclosa</i>	银背艾蛛 <i>Cyclosa argenteoalba</i> Boes. et Str., 1906	
		金蛛属 <i>Argiope</i>	横纹金蛛 <i>Argiope bruennichi</i> (Scopoli, 1772)	
		新园蛛属 <i>Neoscona</i>	绿腹新圆蛛 <i>Neoscona mellostei</i> (Simen, 1895)	
		肖蛸科 Tetragnathidae	银鳞蛛属 <i>Leucauge</i>	大银鳞蛛 <i>Leucauge magnifica</i> (Yaginuma, 1954)
		球蛛科 Theridiidae	球蛛属 <i>Theridion</i>	sp.1
	游猎型	狼蛛科 Lycosidae	豹蛛属 <i>Pardosa</i>	沟渠豹蛛 <i>Pardosalaura</i> Karsch, 1879
			狼蛛属 <i>Lycosa</i>	黑腹狼蛛 <i>Lycosa coelestris</i> (L.Koch, 1878)
猫蛛科 Oxyopidae		猫蛛属 <i>Oxyopes</i>	sp.2	

### 1.3 实验方法

采集蜘蛛：采用管扣法捕捉蜘蛛。

落水实验：取一个直径约 13cm，高度约为 2.5cm 的培养皿，倒入约 2/3 体积的水，水平放置于实验台上，再在培养皿水面上放置树枝等附着物，模拟自然环境下浮于水面上的可以使落水蜘蛛附着进而脱离水面的物体。每次实验让蜘蛛自然落入水中，用 Nikon D7100、HUAWEI P9 和 HUAWEI P10 等电子设备进行录像，最后用 Adobe premiere Pro CC 2017 视频编辑软件对采集的视频进行逐帧观察，并分别对两类蜘蛛落水行为进行比较总结。

溺水实验：用直径约 2.5cm，高度约为 10cm 的透明塑料管作为实验仪器，实验时先向管中加约 1/2 容积的水，放入待研究的蜘蛛，用盖子虚掩住管口，继续用滴管缓慢加水，一直加到约占总容积的 9/10 时结束，然后盖紧盖子，迅速翻转塑料管，让蜘蛛浸没在水中，模拟自然状态下蜘蛛溺水现象，进行观察比较。



## 2 结果与分析

绝大多数蜘蛛表面是疏水的<sup>[2]</sup>，所以蜘蛛落水之后一般是浮在水面上的，在自然条件下蜘蛛溺水只可能是被风浪卷入水底，所以我们分别对蜘蛛落入水面后行为（以下简称落水行为）和沉入水底后行为（以下称溺水行为）进行阐述。

### 2.1 织网型蜘蛛落水行为

#### 2.1.1 球蛛落水后腹面朝上

实验所用球蛛属蜘蛛在实验时绝大部分以腹面朝上的姿态落水，其原因可能是该球蛛属蜘蛛腹部体积过大，且向内弯曲，下落时受到重力作用导致腹面向上落水。

落水之后其活动性明显减弱<sup>[3]</sup>，表现出运动和静止交替进行的行为，静止时间远大于运动时间（图 1）。静止时蜘蛛收缩其所有步足，形成球状，漂浮于水面上；运动时也仅仅是用第一步足和第二步足进行试探，动作幅度不大。采用这样的行为方式可能是为了节省体力。在这种落水姿态下，该球蛛属蜘蛛无法对前进方向进行控制，或者说处于完全无法依靠自身脱困的境地，此时蜘蛛只能依赖自然条件如风吹、水流等因素使自己逐渐靠近可依附的水面物体。当其触碰到附着物时，蜘蛛能够借助这些物体快速调整身体姿态，从而脱离水面。对于织网型蜘蛛来说，若在落水时蜘蛛纺器中与外界连接的蛛丝没有因自然因素断掉的话，蜘蛛可以利用这根蛛丝快速脱离水面，因此在脱离水面完成自救的过程中，蛛丝也起到了不可忽视的作用。

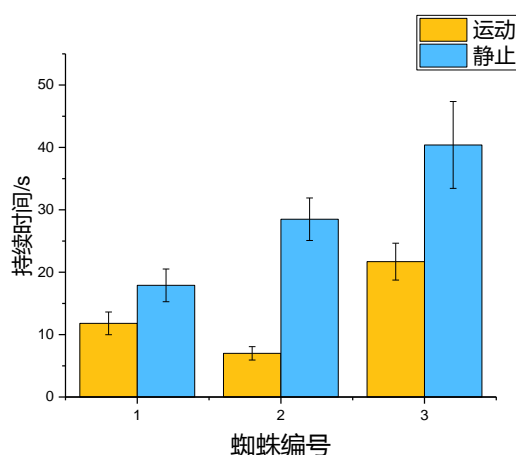


图 1 该球蛛属蜘蛛落水后与运动时间比较（图中时间取的是 10 个交替周期各自的平均值）

Fig.1 The time comparison of *Theridionsp.1*'s stillness and movement(the value of time in this figure is their respective average value of 10 different alternating cycle)

#### 2.1.2 球蛛落水时背面朝上

该球蛛属蜘蛛存在落水时背面朝上的可能。在这种情况下，蜘蛛的腹部以及所有四对步足都是直接与水接触的。实验中观察到，同样的蜘蛛，这时却几乎不停歇地一直用步足划水挣扎，虽然很慢，但其运动的主动性要远远高于腹部向上的情况，且这种运动确实产生了一些前进距离。

这种行为的原因可能在于蜘蛛是依靠书肺或气孔呼吸的，而它们与空气的连接口都在蜘蛛腹部腹侧，所以在蜘蛛背面朝上时，其腹部是与水直接接触的，其呼吸通道可能被水阻断，所以蜘蛛会主动地划水以达到尽快上岸获救的目的，不然就可能面临溺死的危险。

### 2.1.3 其他种类织网型蜘蛛落水行为

不同种类织网型蜘蛛落水行为最大的不同体现在相对活动性上，即总体来说活动性都不强，但是同样有物种之间的差异存在：大腹园蛛的活动性较强，步足疏水性也比球蛛强，因而在水面上的主动性更强一些，类似的有山地亮腹蛛、横纹金蛛和绿腹新园蛛，同样的，也有活动性较球蛛差的，例如银背艾蛛和库氏棘腹蛛，但两者又有不同，银背艾蛛是漂浮在水面上几乎不动，而库氏棘腹蛛则是因为腹部特殊形态，且相对太过笨重，在水面上其步足运动几乎无法使其产生前进距离。

## 2.2 游猎型蜘蛛落水行为

游猎型蜘蛛依靠其背部、腹部细小而密集的体毛，以及步足末梢的毛丛，可以很轻易地在水面漂浮行走<sup>[2,5]</sup>。实验中观察到的现象也证明了这一点。

### 2.2.1 黑腹狼蛛落水行为

对于突然落水这一刺激，黑腹狼蛛采用的前进方式并不是行走，而是更为主动的跳跃，在很短的时间里达到脱离水面的目的。通过逐帧观察可以发现，每次掉落水面之后，黑腹狼蛛首先进行短暂时间的姿态调整，即使落水时是腹面朝上，它也可以经过调整后转为更有利的背面朝上姿态，然后迅速跳出。其中主要依靠第二和第三步足发力，第一和第四步足维持平衡，这样跳跃前进，迅速离开水面（图2）。在这一过程中，游猎型蜘蛛并不依赖于漂浮在水面的物体，而是很轻松地在水面上活动。

### 2.2.2 其他种类游猎型蜘蛛落水行为

游猎型蜘蛛落水行为比较相似，沟渠豹蛛在落水行为上和黑腹狼蛛表现出来的几乎完全一致，而猫蛛也是很快就脱离了水面上岸，所以游猎型蜘蛛这方面行为非常一致。

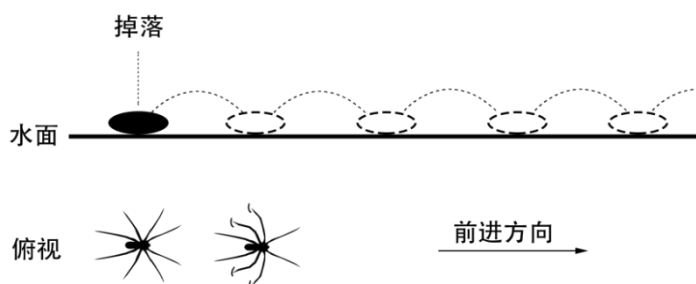


图2 黑腹狼蛛落水后跳跃式逃离行为  
Fig.2 The jump-escaping behavior after *Lycosa coelestis* fell into water

## 2.3 织网型和游猎型蜘蛛落水行为总结

以黑腹狼蛛和球蛛为例，总结织网型和游猎型蜘蛛落水行为如下（针对不同的游猎型和

织网型蜘蛛，可能会有一些差异)：

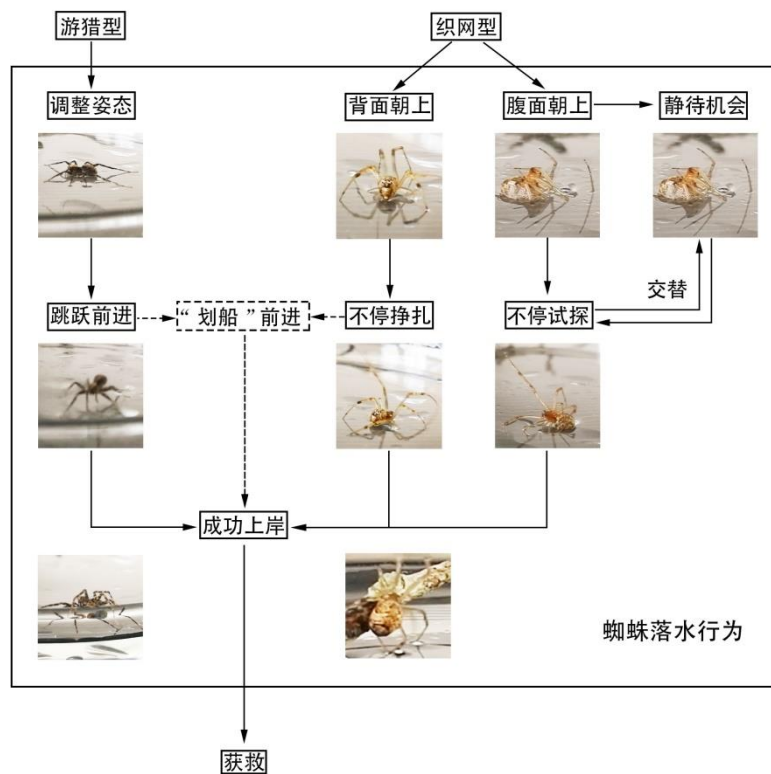


图3 织网型和游猎型蜘蛛落水行为总结（虚线框表示可能存在的行为）

Fig.3 The conclusion of the water-falling behaviors of web-weaving spider and wandering spider (The dashed box indicates possible behavior)

## 2.4 织网型和游猎型蜘蛛溺水行为比较

在自然条件下，蜘蛛落水之后是很有可能被卷入水底的，在这种情况下，织网型和游猎型蜘蛛表现出更有差异的应对方式。

实验观察发现游猎型的几类蜘蛛在被水淹没之后，体表都覆盖上一层很明显的银白色气泡层，而织网型大部分虽然有这种气泡层，但是并不明显，这并不是普遍现象，有些织网型也会包裹上很明显的气泡层，例如绿腹新园蛛 (*Neoscona mellottei*)，这取决于蜘蛛体毛密度以及疏水程度。

此外，游猎型蜘蛛更偏向于有目的地附着在管壁上，甚至可以在水下沿管壁爬行，有些最终可以再次爬上水面脱困，而织网型蜘蛛表现为溺水状态，完全无法控制行动，只能稍微挣扎，没有办法依靠自身脱困。

由此可见，在应对被卷入水中这种情况时，游猎型蜘蛛表现得更为主动，适应能力更强。

## 2.5 织网型和游猎型蜘蛛形态结构比较

蜘蛛的外形对蜘蛛的运动能力有着很大的决定作用，在进化过程中，织网型蜘蛛为了适应在蛛网上活动，相对于游猎型蜘蛛，其腹部与胸部的体积比增大，且腿部变长，这种形态变化使得织网型蜘蛛在地面运动时的速度以及敏捷度远远低于游猎型蜘蛛<sup>[7]</sup>，同样也适用于水

面上的运动。蜘蛛表面刚毛对水的表面粘附力越小，体毛密度越高，疏水性越强<sup>[6]</sup>。而疏水性的强弱很大程度上决定了不同种类的蜘蛛在水面上移动时采取的行为是怎样的<sup>[2]</sup>，因此可以从结构上来分析织网型蜘蛛和游猎型蜘蛛在落水行为上表现出来的这种差异。

### 2.5.1 外部轮廓比较

织网型蜘蛛的腹部与胸部的体积比更大，腿部更为细长（图 4），这给织网型在水面上的运动带来了很多不便，因此表现为织网型蜘蛛在水面或者水底的运动能力都不强，相对的，游猎型蜘蛛则表现为非常好的运动能力。

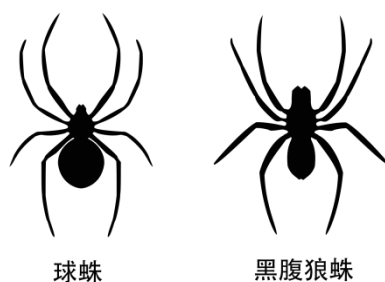


图 4 球蛛和黑腹狼蛛外部轮廓比较

Fig. 4 The comparison of external contour of *Theridion* sp.1 and *Lycosa coelestis*

### 2.5.2 步足结构比较

游猎型蜘蛛步足上刚毛密度明显高于织网型，尤其是末梢密度差别更大（图 5），因此游猎型蜘蛛落在水面上时，足部几乎不会被水润湿，有良好的疏水性，可以很好地在水面自由行走和漂浮，但是织网型蜘蛛即使以很小的几率背面朝上落水，其足部末梢也几乎全部浸入水中润湿。水的粘附力对织网型蜘蛛的运动起到了很大的限制，因此这类蜘蛛就只能在水面上缓慢挣扎前进。

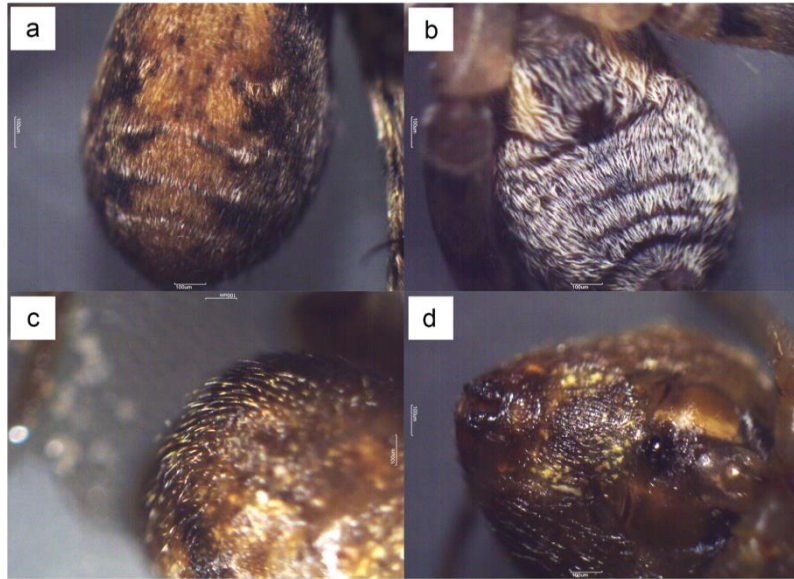


图 5 球蛛和黑腹狼蛛步足结构比较

Fig.5 The comparison of legs' structures from *Theridion* sp.1 and *Lycosa coelestis*

### 2.5.3 背腹部表面结构比较

游猎型蜘蛛背腹部体毛密度均远远大于织网型（图 6），而体毛密度越大，不仅疏水性增强，相对应的，在腹部被水淹没时储存空气的能力也增强<sup>[4]</sup>。这样一来即使在自然条件下蜘蛛被卷入水底，相对于织网型蜘蛛来说，游猎型蜘蛛还是有很大的生存优势，这与我们观察到的现象相符。



**图6** 织网型和游猎型蜘蛛腹部表面结构  
a.黑腹狼蛛腹部背侧；b.黑腹狼蛛腹部腹侧；c.某球蛛腹部背侧；d.某球蛛腹部腹侧。  
**Fig.6** The abdominal surface structure of web-weaving spider and wandering spider  
a. dorsal side of *Lycosa coelestis*; b. ventral side of *L. coelestis*;  
c. dorsal side of *Theridion* sp.1; d. ventral side of *Th.* sp.1

### 3 结论与讨论

#### 3.1 落水后应对策略的不同可以体现适应能力的高低

由实验结果可以看出，形态结构上，游猎型蜘蛛与织网型蜘蛛外形上的区别使得两者在水面上的运动能力有较大差异，游猎型具有更为强大的运动能力，且大部分游猎型蜘蛛疏水性比织网型蜘蛛好，这很大程度上决定了行为上的差异；行为上，游猎型蜘蛛在落水及溺水后表现的行为更有利于脱离水体，这说明游猎型蜘蛛更适应这种自然因素的干扰，其适应能力更强，有着更有利于生存的适应性特征，且这种特征受系统发育的影响远大于受环境因素（基于栖息地偏好）<sup>[2]</sup>。游猎型蜘蛛在进化地位上高于织网型蜘蛛，这反映了生物的进化地位越高，其适应性越强的原理。

#### 3.2 样本不足导致实验结果有一定局限性

织网型和游猎型蜘蛛有很多种，而本次实验由于时间和天气等原因仅仅抓了 11 种，且实验时还是以其中两种为主，所以在反映织网型和游猎型这两大类群的行为上还是有些不足，还需更多样本数据的支持，因此进一步的实验是必要的。

#### 3.3 自然条件下和实验室条件下蜘蛛落水后应对策略可能存在一定差异

由于自然条件下，蜘蛛落水更多是发生在大风大浪这种条件下，在流水中落水的情况会更多，而实验室模拟的是静水条件下蜘蛛落水的行为，所以可能会有一些差异性存在。

## 参考文献

- [1] 八木沼健夫. 生态进化[J]. *Nature Study*, 1973, **19**(2): 2-5.
- [2] Stratton GE, Suter RB, Miller PR. Evolution of water surface locomotion by spiders: a comparative approach [J]. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2004, **81**(1):63-78.
- [3] Rovner JS. Submersion survival in aerial web-weaving spiders from a tropical wet forest [J]. *The Journal of Arachnology*, 1989, **17**(2):242-245.
- [4] Rovner JS. Spider hairiness: air stores and low activity enhance flooding survival in inland terrestrial species [M]. In *Acta X International Congress of Arachnology Jaca/Espana 1986* (pp. 123-129).
- [5] Declerck K. Temporary inundation as a determining factor for the spider communities of marshland habitats[M]. In *XI. Europaisches Arachnologisches Colloquium, Berlin 1988* (pp. 161-167).
- [6] Suter RB, Stratton GE, Miller PR. Taxonomic variation among spiders in the ability to repel water: surface adhesion and hair density [J]. *Journal of Arachnology*, 2004, **32**(1):11-21.
- [7] Moya-Laraño J, Vinković D, De Mas E, Corcobado G, Moreno E. Morphological evolution of spiders predicted by pendulum mechanics [J]. *PLoS One*. 2008, **3**(3):e1841.

**致谢:** 感谢中国科学技术大学生命学院的沈显生、罗建川、邱智勇几位老师对研究工作提供的一些建议和帮助; 同时感谢参与野外实习的其他同学协助我们采集需要的蜘蛛样本。

# 不同波长 LED 灯光对鹞落坪昆虫夜间趋光活动的研究

夏烨妃, 李丹阳

(中国科学技术大学生命科学学院, 安徽合肥, 230026)

**摘要:** 本文采用红、黄、绿、蓝、紫、白 6 种波长的 LED 灯对昆虫进行诱捕, 经收集后统计不同 LED 光源所得诱捕昆虫的种类、数目和体长。本调查总计诱捕昆虫 14 个目, 共 1042 只, 其中鳞翅目昆虫数量最多, 其次为鞘翅目和直翅目。研究表明, 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、黄光和绿光诱虫效果较弱; 诱捕得到的昆虫的体长大小和光色以及诱捕时间均无直接相关。

**关键词:** 鹞落坪; LED 光源; 昆虫; 趋光性; 光诱捕; 鳞翅目

**中图分类号:** Q965 **文献标识码:** A

## Study on the Phototaxis of Different Wavelength LED Lights on Insects at Night in Yaoluoping National Nature Reserve

Yefei Xia, Danyang Li

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

**Abstract:** In this paper, red, yellow, green, blue, violet and white LED lights are used to trap insects in front of the office building in the Yuoluoping National Nature Reserve. The types and numbers of trapped insects obtained by different LED light sources are systematically counted body length. In this survey, a total of 1042 insects were trapped, of which a huge number were Lepidoptera, followed by Coleoptera and Orthoptera. Studies have shown that the total number of trapped insects is significantly positively correlated with the frequency of LED lights. Among the six kinds of LED lamps, blue, violet and white light attracts the greatest, while the low-frequency red, yellow and green light attracts the weakest. There was no significant correlation between the trapped insects' body length and light color and trapping time.

**Key words:** Yaoluoping National Nature Reserve; LED Lamps; Insect; Phototaxia; Trapping Effect; Lepidoptera

### 引言

鹞落坪国家级自然保护区位于岳西县包家乡境内大别山腹地主峰江淮分水岭的主段, 北接安徽省霍山县, 西连湖北省英山县, 地理位置为北纬 30.95°~31.01°, 东经 116.0°~116.18°, 总面积约 210 km<sup>2</sup>, 是目前大别山中次生植被保存完好和植物种类集中分布的代表性地区。保护区空气相对湿度约 80%, 森林覆盖率 90% 以上, 植被类型丰富, 为昆虫提供了理想的栖息场所<sup>[1]</sup>。

昆虫种类繁多、形态各异, 昆虫学家估计现有昆虫约为上百万种, 是地球上种类最多的动物群体, 是庞大的生物资源。本文研究的对象为鹞落坪节肢动物门昆虫纲动物, 包括半翅目、等翅目、革翅目、广翅目、襁翅目、鳞翅目、毛翅目、膜翅目、鞘翅目、双翅目、同翅目、缨翅目、长翅目、直翅目等 14 个目。

在这之前, 一批科研工作人员曾经做过昆虫趋光性偏好的实验, 证明了某些种类的昆虫对不同频率的光源具有的一定的偏向性。李波等用 LED 单光谱软灯为诱导光源, 发现鳞翅目和鞘翅目害虫的敏感波段为蓝紫波, 小型昆虫为蓝绿波, 益虫为紫光<sup>[2]</sup>; 杨洪璋等人用 CK



光源在室外灯诱鳞翅目昆虫各种发现蓝紫光波能引诱更多的昆虫且其中雌虫数量明显低于雄虫<sup>[3]</sup>。在我校之前的鹞落坪野外实习中，孟学峰等研究了发现不同的蛾类趋于不同波长的光<sup>[4]</sup>，朱琳等发现短波长光在总体上对夜行性昆虫吸引效果更强<sup>[5]</sup>。

本文主要利用昆虫趋光活动的特性，在延续之前参与鹞落坪实习项目的课题组的的研究的基础上，采取空间一致的实验方法，一致地重复部分实验内容，串联分析多年数据结论进行纵向对比，并增加了对体长的相关探索，为进行进一步的研究提供基础数据。

## **1 研究对象和研究地点**

### **1.1 研究对象**

鹞落坪自然保护区节肢动物门昆虫纲动物，包括半翅目、等翅目、革翅目、广翅目、襀翅目、鳞翅目、毛翅目、膜翅目、鞘翅目、双翅目、同翅目、缨翅目、长翅目、直翅目等 14 个目。

### **1.2 研究地点**

实验在安徽省岳西县境内的鹞落坪自然保护区进行，灯诱地点为保护区办公楼前路边，其一侧为一大片地势相对较低的开阔草地，另一侧为办公楼前的大理石块路面以及办公楼。

## **2 研究方法**

### **2.1 工具设备**

#### **2.1.1 实验试剂**

无水乙醚。

#### **2.1.2 实验材料**

白色幕布 6 块，长绳索 1 根，固定夹子 12 只，皮尺 1 卷，刻度尺 1 套，竹竿、重石块、广口瓶、昆虫针、标本盒、封口袋若干。

#### **2.1.3 实验设备**

100W 白色、红色、黄色、绿色、蓝色、紫色 LED 光源各 1 个，插线板 1 块，体视镜 2 台。

#### **2.1.4 摄影设备**

小米 MIX 手机后置相机。

### **2.2 研究方法**

选取保护区办公楼前面的空地作为灯诱实验场所，这在空间上与之前课题组保持一致性，关闭办公楼朝向实验场地方向的光源，以避免对实验造成影响，将绳索或竹竿固定在树之间。每两棵树之间的绳索或竹竿距离地面 1.5m 处，上挂两块白色幕布幕布宽度为 2.0m，幕布跨过绳索或竹竿，幕布上沿和中侧用固定夹固定，下沿用竹竿、石块压住。在白布面前的草地



上分别放置功率相同的白色、红色、黄色、绿色、蓝色、紫色 LED 光源各 1 个，具体放置方式为灯源与幕布中线垂直，最远发光区域距离幕布 50cm，灯具下部支撑脚之间 8.0cm，通过上述放置方式实现将光线集中于幕布中间同一部位，见下示意图 1。

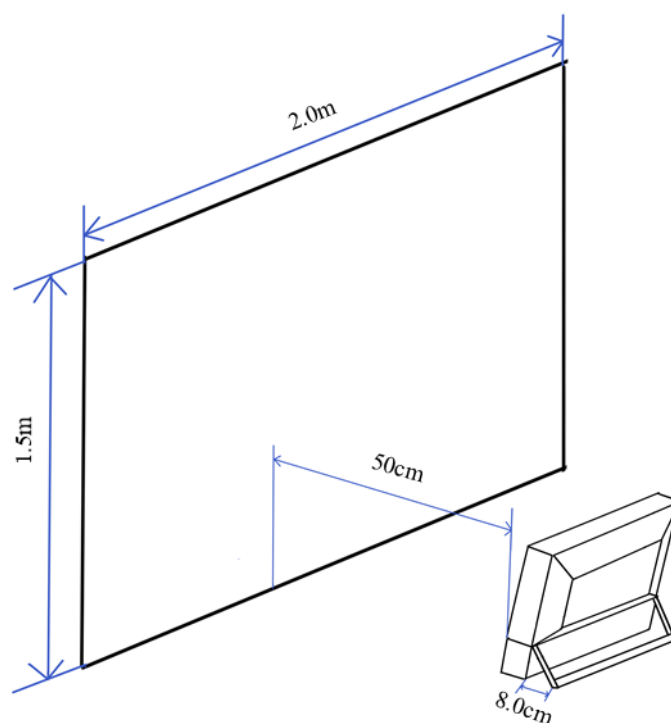


图 1 LED 光源以及幕布摆放示意图  
Fig. 1 The position of LED lamps and screen

于每天 20:00 将 6 盏灯打开，用 6 个装有乙醚和纸巾的广口瓶分别收集 21:00 和 22:00 两个时间点停留在布上的体长 $\geq 0.5\text{cm}$  样品。

按上述方法，于 2018.07.11-2018.07.14 进行了为期 4 天的实验。其中考虑到地形因素，光源随机摆放，顺序分别如下：7.11 采用紫-蓝-黄-绿-红-白的摆放顺序，7.12 采用白-红-绿-黄-蓝-紫摆放顺序，7.13 采用紫-蓝-绿-白-红-黄摆放顺序，7.14 采用黄-红-白-蓝-紫-绿摆放顺序，见图版 I。

将 4 天 8 次收集得到的样品统计数目后先储存于封口袋中，取样收集结束后，将所得昆虫用昆虫针固定于标本盒中，进行体长测量和在目的水平上进行鉴定与数量统计，同时对部分昆虫尝试在科的水平上进行鉴定。

### 2.3 分析方法

参考昆虫分类相关书籍<sup>[6]</sup>，在体视镜下依据翅、腹、触角、足等特征对昆虫进行鉴定，由于将昆虫标本的鉴定到种和科工作难度较大，最终选择在目的水平上进行鉴定，统计鉴定结果，利用图表和简单计算分析不同波长对昆虫的诱导作用，初步研究数量、体长、地形、日期、光源波长之间的关系，并纵向综合往年数据进行趋光性分析。

### 3 结果

实验 4 天所诱捕到的昆虫情况见表 1、表 2 以及图版 II。

#### 3.1 不同灯色诱捕得到昆虫数量统计

统计 4 天不同 LED 灯所诱捕的昆虫数量，得到表 1 结果。

表 1 鹞落坪各灯光收集样品统计表  
Table 1 Statistics table of samples collected

日期 灯色	07.11	07.12	07.13	07.14	总计
红	10	12	17	2	41
黄	21	22	26	17	86
绿	17	17	53	34	121
蓝	49	40	104	42	235
白	73	78	56	52	259
紫	66	120	72	42	300
总计	236	289	328	189	1042

表 1 显示，收集到的样品数目自少至多为红、黄、绿、蓝、白、紫，不考虑白光的情况下，随着光频率的增加，即波长的减小，光子能量的增加，收集到的样品数目逐渐增多。就白光而言，其收集到的样品数目与蓝光相近而不及紫光多，这是因为白光 LED 实现方式为蓝光 LED 与荧光粉配合形成。

#### 3.2 天气因素和捕捉活动对实验的影响

在 4 天实验中，7 月 11 日晴朗中等风力；7 月 12 日午间阵雨夜间晴朗中等风力；7 月 13 日晨间小雨，夜间晴朗中等风力；7 月 14 日晴朗夜间大风。表 1 显示：不同日期间收集到的样品总数存在区别，猜想这与进行实验时的天气情况有关，下雨和大风均会一定程度上减少收集到的昆虫的数量。取样点前方为大片开阔草坪，且 7 月 13 日搜集到样品数目较之前尚且稍有上升，认为在进行取样的过程中并未对当地的生态造成破坏以及连续取样对实验的影响不大。

#### 3.3 昆虫趋光性分析

为分析不同光色 LED 灯所吸引到的昆虫种类，在目的水平上对收集到的样品进行鉴定和统计。

在对样品进行鉴定时发现：①样品在带回过程中损坏了一部分，尤其是几个含有直翅目昆虫的样品封口袋中部分样品损坏较为严重，结构已被破坏导致无法鉴定；②体长小于 0.5cm 的样品在鉴定过程中由于体视镜分辨率以及鉴定水平的限制，无法鉴定；③有部分非昆虫样品，如盲蛛等。在进行鉴定时，去掉上述三部分样品，最终鉴定统计 4 天不同 LED 灯所诱捕的各目的昆虫数量，得到表 2 结果。

表 2 鹞落坪各 LED 灯诱捕各目昆虫统计表  
Table 2 Statistics table of different orders of insects collected

灯色 目	红	黄	绿	蓝	紫	白	总计
革翅目	0	0	1	0	1	0	2
广翅目	0	0	0	1	1	1	3
缨翅目	0	4	0	0	0	0	4
等翅目	0	1	0	1	1	2	5
襀翅目	0	1	1	0	2	2	6
长翅目	0	1	4	0	3	0	8
半翅目	0	3	4	0	1	1	9
毛翅目	0	4	3	4	0	3	14
双翅目	2	3	5	4	0	2	16
同翅目	3	4	6	0	5	0	18
膜翅目	0	3	2	2	10	2	19
直翅目	2	9	3	11	14	9	48
鞘翅目	6	8	7	19	35	25	100
鳞翅目	26	33	65	105	148	139	516
总计	39	74	101	147	221	186	768

为了更加直观分析实验结果，根据表 2，作出条形图，如图 2 所示。

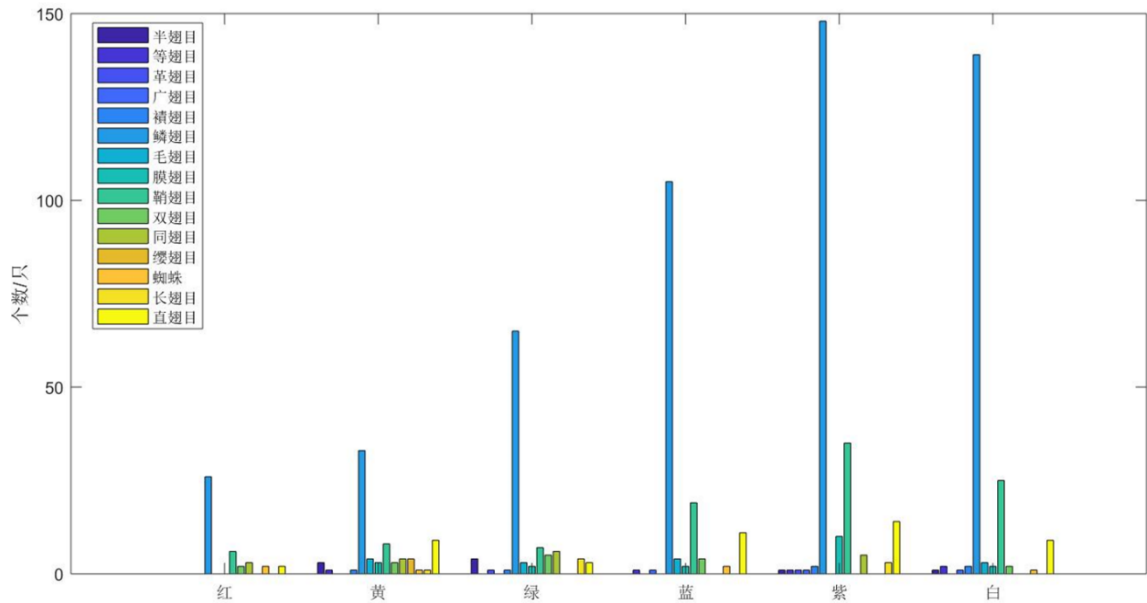


图 2 各目昆虫数量条形图  
Fig. 2 Bar chart of quantity of different orders of insects

表 2 和图 2 显示，各光色诱捕收集到的昆虫中，均以鳞翅目数量最多且远高于其他目，占比为 63%-74%，总占比 66%，其次则为鞘翅目和直翅目，革翅目、广翅目、襀翅目、长翅目、半翅目数量均较少，绝对数量小于 10 只，占比小于 1.3%。

在图 2 中，由于鳞翅目柱较高，不便于对其他目进行分析，特依据不含鳞翅目的数据绘制折线图，见图 3。

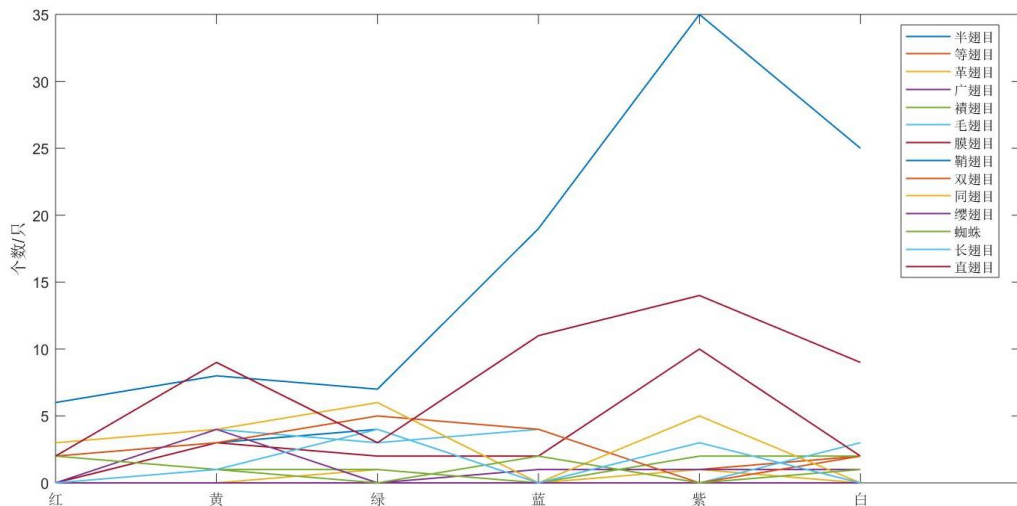


图3 各目昆虫数量折线图（不含鳞翅目）  
**Fig. 3** Line chart of quantity of different orders of insects (without Lepidoptera)

图3显示，各光色诱捕收集到的昆虫数量中，大致呈现出两个高峰，一个在紫光处，一个在黄绿色光之间，说明膜翅目、直翅目、鞘翅目目有一定程度的紫光即较大频率的光的偏向性。黄绿光之间的峰并不明显在紫光处部分目呈现出缺失；另外在紫光区域部分，缨翅目、毛翅目、双翅目出现数量为0的极低值情况。这可能是由于实验样本较小，所以未统计到；或因紫光区域中各目的昆虫之间存在一定的相互影响。具体原因有待后续验证。

### 3.4 各光色昆虫目丰度分析

为探究光色对目丰度的影响，以采集到的目数量为指标，对4天内不同光色LED诱捕的昆虫目数进行统计，得到表3所示结果。

表3 不同灯光诱捕昆虫总目数统计表  
**Table 3** Statistics on the number of insects' order collected from different LED lamps

光色 时间	红	黄	绿	蓝	紫	白
07.11	5	8	5	5	4	6
07.12	2	5	6	4	4	4
07.13	2	4	4	3	4	2
07.14	1	8	7	5	6	6
总计	5	12	11	8	11	10

表3显示，收集到昆虫目数最少的为红光，而收集到昆虫目数最多的为黄光，其次为绿光，收集到昆虫数目较多的蓝、紫、白三种颜色的光虽然数目多但是目数却少，主要是因为起数目主要有鳞翅目决定而鳞翅目趋向于短波光。白光和蓝光收集到的目数相近，这一结果与白光LED实现方式为蓝光LED与荧光粉配合形成的原理相自洽。

### 3.5 实验时间对结果的影响

#### 3.5.1 实验时间对昆虫数目的影响

依据 2017 年 8 月朱琳等的实验数据与 2018 年 7 月的对各目昆虫的收集数量的实验数据，对比结果如表 4 所示。

**表 4** 2017 年 8 月与 2018 年 7 月各 LED 灯诱捕各目昆虫数量对比表  
**Table 4** Comparison of insects quantity collected between August 2017 and July 2018

时间 目别	2017.08	2018.07
直翅目	23	48
长翅目	0	8
缨翅目	0	4
同翅目	75	18
双翅目	150	16
蜻蜓目	1	0
鞘翅目	60	100
膜翅目	179	19
毛翅目	0	14
鳞翅目	399	516
襁翅目	5	6
广翅目	21	3
革翅目	9	2
蜉蝣目	51	0
等翅目	0	5
半翅目	20	9
总计	993	768

表 4 显示，7 月份和 8 月份均收集到直翅目、同翅目、双翅目、鞘翅目、膜翅目、鳞翅目、襁翅目、广翅目、革翅目、半翅目这 10 个目的昆虫；蜻蜓目和蜉蝣目只在 5 月份出现未在 8 月份出现，其中蜻蜓目数量仅为 1 只，可能是由于实验偶然性出现，而蜉蝣目数量达 51 只，可排除误差，说明蜉蝣目昆虫在 7 月份和 8 月份的分布存在“有或无”现象；长翅目、缨翅目、毛翅目和等翅目只在 8 月份出现未在 7 月份出现，说明部分种类的昆虫时间分布存在差异性。

对于昆虫总数目，由于 2017 年 8 月收集了所有长度的昆虫，而 2018 年 7 月仅收集了长度大于等于 0.5cm 的昆虫，所以无法进行有效的比较。

### 3.5.2 月份对昆虫多样性的影响

依据 2017 年 8 月朱琳等的实验数据与 2018 年 7 月的对收集到的昆虫目数的实验数据，对比结果如表 5 所示。

**表 5** 2017 年 8 月与 2018 年 7 月各 LED 灯诱捕昆虫目数对比表  
**Table 5** Comparison of insects' order collected between August 2017 and July 2018

光色 时间	红	黄	绿	蓝	紫	白
2017.08	8	7	7	9	11	9
2018.07	5	12	11	8	11	10

表 5 显示, 7 月份和 8 月份收集到的昆虫中, 红色、黄色和绿色幕布上收集到的昆虫目数存在差异, 这说明趋向长波段的昆虫种类在 7 月与 8 月之间有更加明显而集中的差别。

### 3.6 光色对昆虫体长的影响分析

为探究光色对所收集到的昆虫的平均体长以及其体长分散度的影响, 计算每天每种光色收集到的昆虫的体长算术平均值和样本标准不确定度( $P=0.95$ ), 得到图 4。

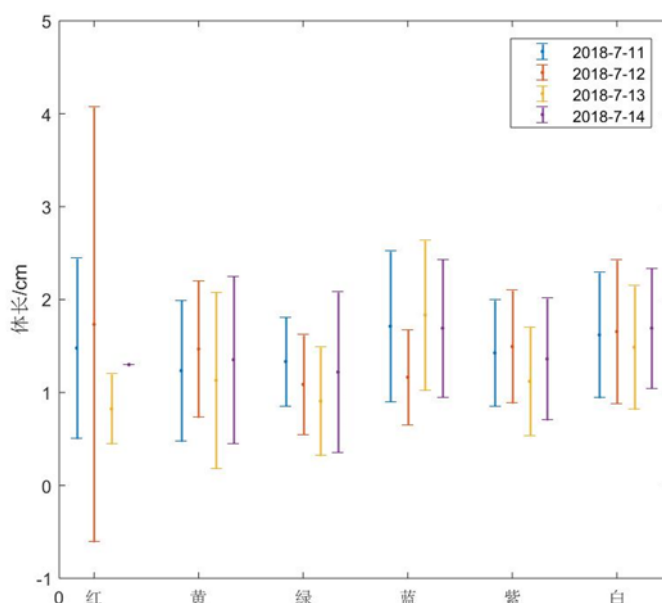


图 4 昆虫体长统计

Fig. 4 Statistics of insects body length

在图 4 中, 看不出明显的变化规律。于是, 我们采取合并变量, 分别计算做出每次收集到的昆虫的体长的算术平均值和样本标准不确定度( $P=0.95$ )、每种光色收集到的昆虫的体长的算术平均值和样本标准不确定度( $P=0.95$ )、两个时间段收集到的昆虫的体长的算术平均值和样本标准不确定度( $P=0.95$ ), 得到图 5、图 6 和图 7。

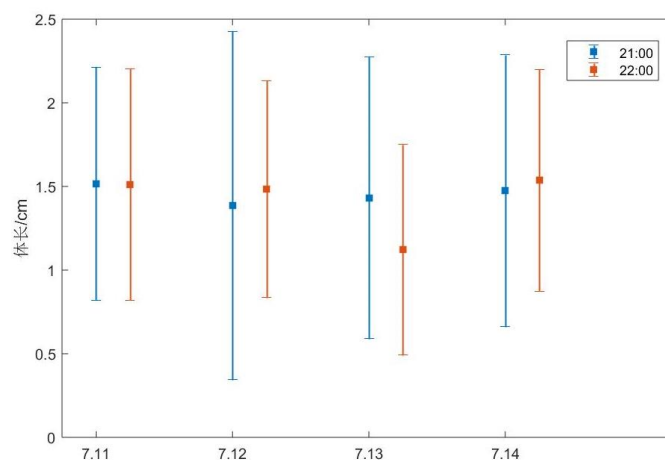


图 5 收集时间对昆虫体长影响

Fig. 5 Effect of collection time on insect body length

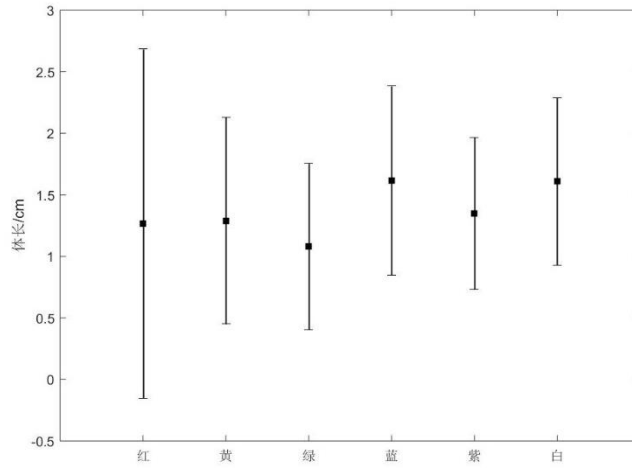


图 6 光色对昆虫体长影响  
Fig. 6 Effect of wavelength on insect body length

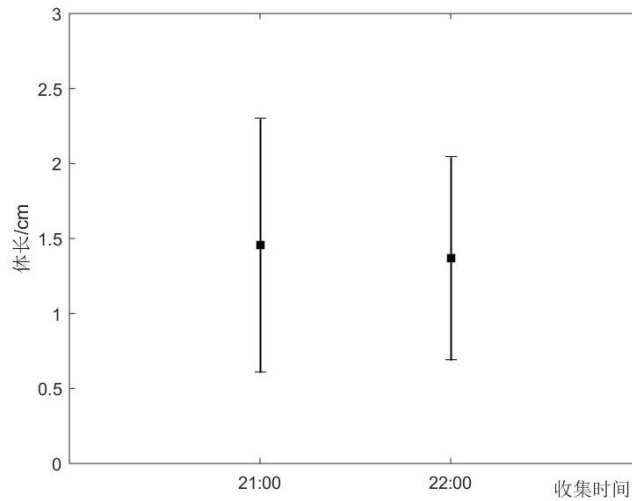


图 7 收集时间点对昆虫体长影响  
Fig. 7 Effect of collection time point on insect body length

在以上图 5、图 6 和图 7 中，各误差棒的结果均高度相似，收集到的昆虫的体长及其标准不确定度是一个相对趋近的数值，即收集日期、光色、收集时间段对所搜集到的昆虫的平均体长以及分散度没有明显影响，这令人意外又在情理之中。因鳞翅目总的来说数量占比更高，所以，与体长相关的所收集到的昆虫统计数据，很大程度上是由收集到的鳞翅目的统计数据所决定的，而鳞翅目中各蛾类体长在 7 月份中可能呈现出类似的分布，且体长与趋光活动没有直接关联，在大于 0.5cm 的尺度上，各蛾类的体长也并不影响其活动时间，最终使得光色以及收集时间对体长呈现出无明显影响的结果。

## 4 结论与讨论

### 4.1 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.随着光频率的增加，即波长的减小，光子能量的增加，收集到的样品数目逐渐增多，

白光的结果与蓝光相近，这是由于白光 LED 实现方式为蓝光 LED 与荧光粉配合形成。

②.下雨和大风均会一定程度上减少收集到的昆虫的数量；连续取样对实验的影响不大，开展诱捕实验的活动并未对当地的昆虫生态造成严重破坏。

③.各光色诱捕收集到的昆虫中，均以鳞翅目数量最多且远高于其他目，占比达 63%~74%，鳞翅目昆虫表现出强烈的高频率光的偏向性；膜翅目、直翅目、鞘翅目目有一定程度的高频率光的偏向性。

④.红光收集到的昆虫目数较少，黄光、绿光收集到的昆虫目数较多。

⑤.蜉蝣目昆虫在 7 月份和 8 月份的分布存在“有或无”现象，即 7 月份未收集到而 8 月份收集到。长翅目、缨翅目、毛翅目、蜻蜓目和等翅目可能存在 7 月和 8 月的分布差异性。

⑥.收集日期、光色、收集时间段对诱捕到的昆虫的平均体长以及分散度没有明显影响。

## 4.2 讨论

虽然我们的实验取得了一些令人满意的结果，但是也存在一些待完善之处：

①.实验场所：出于空间上一致性原则和 LED 灯用电考虑选择了与往年相近的实验场所，但是由于园区的建设，用以悬挂绳索的树木被砍伐，实验的平行性略有不足，且幕布之间距离更近可能相互之间会有干扰，幕布背面前方草坪整体下陷造成落差较大，对幕布背面昆虫收集的困难和草坪上昆虫移动至幕布的困难。此外，由于昆虫的生活习性，生境对昆虫的分布有比较大的影响，实验中涉及到的生境单一，可能无法代表群体结果。

②.实验收集时间：本次实习安排在 7 月份，不同于往年 8 月份，所以天暗时间相对更晚，因此对取样时间作了一些调整，整体上缩短了取样收集的总时长，仅有 20:00-22:00 的实验数据，短于 19:30-23:30 的过往收集时间，一些活动时间在本次实验收集时间段以外的昆虫，可能会干扰纵向分析结论的可靠性，此外，一些活动时间偏向于白天和更深夜的昆虫，在本实验中将被遗漏。

③.实验装置：由于幕布本身的不透风性，当风力较大时幕布呈现较大幅度的飘摇，不利于昆虫停留和样品的收集；由于幕布的开放性，在收集昆虫时偶尔会惊扰尚未收集的昆虫。以往实验所用毒瓶由于乙醚和瓶身以及未处理纸巾的化学作用，损坏无法使用，广口瓶在收集昆虫上略有不足，昆虫会与纸巾相互粘连，分离时可能会对昆虫结构造成破坏而影响鉴定。

④.实验持续时间：由于实习项目限制，实验时间较短，收集到的样品尤其是非鳞翅目样本较少，难以做出分析，可能导致实验的随机涨落对目数统计存在影响。

⑤.天气因素：天气因素十分复杂，本次试验中仅对天气因素仅从风力和下雨情况进行记录和分析，未考虑温度、湿度等的影响。同时，因为实验时间有限，对收集到的复杂的天气对昆虫诱捕的影响仅做了简单的分析。

⑥.影响生态环境：采取用乙醚处死的方式收集昆虫，对生态环境有一定的影响，但是活体情况下进行鉴定客观上还是存在问题，难以解决。



⑦.收集标准: 因肉眼识别能力的限制以及分离样本的考虑, 选择收集大于等于 0.5cm 的样品, 这可能在标准上就筛去了一些体型较小的昆虫, 故而得出的实验结论存在一定的局限性。其中, 在 7.13 晚, 蓝色和白色幕布上存在大量体型十分小的昆虫, 在其他颜色幕布上也存在少量该昆虫, 但这在实验 0.5cm 的体长标准下并未进行收集, 其突然出现原因有待后续实验进行探究。

⑧.设备与鉴别技能不足: 在初期尝试将昆虫鉴定到科时, 出现一个巨大问题——用体视镜无法在不破坏结构的情况下观察清楚鳞翅目的翅脉结构。

### 4.3 建议

针对实验过程中出现的问题和困难, 对此课题的后续研究者提出一些建议如下:

①.重新设计诱捕收集系统, 对取样地点和装置摆放方式进行重新选择和规划, 以达到迅速、完整收集所诱集的昆虫的期望, 改变杀死昆虫这一收集方式。具体上, 可以参考丁鲁民研制的新型光谱诱导电动捕虫机的原理<sup>[7]</sup>, 利用光的反射等使光汇聚于一封闭可加盖容器中, 使所吸引到的昆虫集中于容器中, 加盖即可完成收集。

②.提前准备一些对温度湿度等进行测量的设备, 对天气进行更加详实的记录和分析, 适当延长实验时间段, 可以考虑在白天做一下对比实验, 探究白天与夜晚 LED 灯对昆虫的诱集作用是否存在差别。

③.准备更合适的昆虫保存转移容器, 避免出现因为转移时的颠簸等对昆虫样品造成破坏, 或者在活体情况下进行鉴别, 鉴别完成后放生昆虫, 以减小对生态环境的破坏。

④.可以对混合光色进行一些实验, 或者进行光照度的测量, 对光照度和昆虫趋向性进行一些数值方面的分析。

⑤.前往鹞落坪实习前, 在学校内可以进行一些预实验, 如测试诱捕收集系统与活体鉴别的可行性。

### 参考文献

- [1] Qiulei Men, Zhiyong Lu, Pingping Sheng, *et al.* Taxonomy on crane flies in family Tipulidae and Limoniidae (Diptera: Tipuloidea) from Yaoluoping National Nature Reserve, Anhui, China[J]. Zoological Systematics, 2017, 42(04): 476-489.
- [2] 李波, 刘启航, 周强. LED杀虫灯诱杀果园昆虫测试[J]. 农业工程, 2013, 3(S1): 21-25.
- [3] 杨洪璋, 文礼章, 易倩, 等. 光波和光强对几种重要农业害虫趋光性的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(25): 279-285.
- [4] 孟学峰, 陈屹楠. 鹞落坪蛾类对不同颜色光的趋向性调查[C]. 安徽: 中国科学技术大学生命科学学院. 2016: 41-50.
- [5] 朱琳, 吴娅维. 不同波长LED灯迪欧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. 2017:33-44.
- [6] 南开大学, 中山大学, 北京大学, 等. 昆虫学(上册)[M]. 1980. 北京: 人民教育出版社.
- [7] 丁鲁民. 新型光谱诱导电动捕虫机[J]. 口岸卫生控制, 2004, (06):47.

**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, 龚琪贇、江许银、安永燕等同学在样品收集过程中给予热心帮助, 李润晖同学在示意图绘制过程中提供技术支持, 特此谢忱。

图版 I 夏焯妃等. 不同波长 LED 灯光对鹤落坪昆虫夜间趋光活动的研究

Plate I Yefei Xia et al. Study on the Phototoxis activity of different wavelength LED lamps on insects at night



图版 I 说明: a.7 月 11 日灯光摆放顺序; b.7 月 12 日灯光摆放顺序; c.7 月 13 日灯光摆放顺序; d.7 月 14 日灯光摆放顺序。

Plate I : a. the order of LED lamps in July 11<sup>th</sup>; b. the order of LED lamps in July 12<sup>th</sup>; c. the order of LED lamps in July 13<sup>th</sup>; d. the order of LED lamps in July 14<sup>th</sup>.

图版 II 夏焯妃等. 不同波长 LED 灯光对鹤落坪昆虫夜间趋光活动的研究

Plate II Yefei Xia et al. Study on the phototoxis activity of different wavelength LED lights on insects at night



图版 II 说明: a.7 月 11 日红色幕布收集所得昆虫; b.7 月 11 日黄色幕布收集所得昆虫; c.7 月 11 日绿色幕布收集所得昆虫; d.7 月 11 日蓝色幕布收集所得昆虫; e.7 月 11 日白色幕布收集所得昆虫; f.7 月 13 日蓝色黄色幕布收集所得昆虫; g.7 月 14 日蓝色幕布收集所得昆虫; h.7 月 14 日白色幕布收集所得昆虫。

Plate II : a. The insects collected on the red curtain on July 11<sup>th</sup>; b. The insects collected on the yellow curtain on July 11<sup>th</sup>; c. The insects collected on the green curtain on July 11<sup>th</sup>; d. The insects collected on the blue curtain on July 11<sup>th</sup>; e. The insects collected on the white curtain on July 11<sup>th</sup>; f. The insects collected on the blue and the yellow curtain on July 13<sup>th</sup>; g. The insects collected on the blue curtain on July 14<sup>th</sup>; h. The insects collected on the white curtain on July 14<sup>th</sup>.