

前言

随着科学技术的迅猛发展，特别是测定方法的不断革新，现代植物生理生态学领域的研究方法日益复杂和多样化。然而，在科研与教学实践中，尽管该领域国内外教材众多，现有教材仍大多侧重于知识点的广泛覆盖，对实验方法或具体操作步骤的描述则相对简略，难以有效指导学生或科研人员进行深入研究。为解决这一问题，本书从实际出发，依据学科和专业当前面临的问题，对植物生理生态学领域内的实验操作进行介绍，力求为广大科研工作者、教师及学生提供一本能够指导其科学、规范地开展植物生理生态实验的教材。

在编写过程中，本书力求体现三大特色：系统性、实用性和支撑性。首先，本书对植物生理生态研究方法进行全面梳理，系统总结了开展植物生理生态研究的主要形式、常用指标及测定方法。这不仅有助于读者形成对植物生理生态研究方法的整体认识，还能为其在具体研究中选择合适的实验方法提供指导。其次，在科研实践中，实验方法的实用性和支撑性至关重要，因此本书在描述各种实验方法时，不仅注重理论知识的阐述，还详细介绍了实验步骤、注意事项及可能遇到的问题和解决方案。同时，还结合编委的经验，在测定方法介绍中设置了“注意事项”和“特殊情况与方法学挑战”的内容，试图解决实际过程中可能遇到的问题，为读者提供更为有效的指导。

作为生态学等相关专业的基础课程，“植物生理生态研究方法”的教学内容丰富、信息量大、体系结构严谨。本书内容覆盖了植物生理生态学领域绝大部分方法学，任课教师可以根据教学目标和学生特点灵活安排相应章节的教学。在内容安排上，第一章和第二章侧重于研究基础与方法论框架，介绍植物生理生态学的概念、发展历程和主要研究形式；第三章至第八章侧重于实验操作与生态因子描述，包括试验站点生态因子描述、植物和土壤水分运输相关研究方法、碳循环相关研究方法、营养循环相关研究方法、逆境生理生态研究方法、物种间互作研究方法；第九章侧重于可视化操作，重点介绍生理生态数据分析与展示。每章都力求做到内容翔实、条理清晰、逻辑严密。同时，本书还根据实际需要，在部分章节中穿插了经典案例和主要参考文献，以便读者更好地理解和应用所学知识。

作为植物生理生态学研究的基础教材，我们希望本书能够成为广大学生、教师及科研工作者的良师益友，无论是需要系统学习实验方法时，还是在科研实践中遇到难题时，本书都能提供有力的支持和帮助。本书旨在为高等院校的生态学、生物科学、农学、林学、环境科学等相关专业的学生提供全面系统的学习资料，同时也适合其他专业学生和从事相关科研、教育和培训工作的人员使用。我们希望本书的出版能够促进植物生理生态实验规范化的开展，更好地培养学生的实验操作能力和科学研究素养，推动我国植物生理生态学的进一步发展。另外，衷心感谢所有为本书的完成付出努力的编委、审稿人和出版团队，是你们的辛勤工作使本书得以顺利完成。

方法学和科学技术不断发展，而编写人员知识范围有限，因此本书中难免存在疏漏及不妥之处，欢迎读者批评指正，以便我们后续订正。

熊栋梁 杨冬梅

2026年5月

教学课件申请单

凡使用本书作为所授课程配套教材的高校主讲教师，填写下表后扫描或拍照发送至联系人邮箱，可获赠教学课件一份。

姓名：	职称：	职务：
手机：	邮箱：	学校及院系：
所授课程名称：		每年上课人数：
开课时间： ☐ 春季 ☐ 秋季 ☐ 春秋两季		是否选用本书作为教材： ☐ 是 ☐ 否 ☐ 计划选用
您对本书的评价及修改建议（必填）：		

联系人：张静秋 编辑 电话：010-64004576 邮箱：zhangjingqiu@mail.sciencep.com

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 植物生理生态学的概念及其产生与发展	1
第二节 植物生理生态学研究策略	2
第三节 植物生理生态学研究方法的类别	3
第四节 植物生理生态学研究面临的挑战	5
本章主要参考文献	6
第二章 植物生理生态研究的主要形式	7
第一节 野外观测	7
第二节 控制试验	16
第三节 模型模拟	22
第四节 整合分析方法	26
本章主要参考文献	32
第三章 试验站点生态因子描述	34
第一节 生态因子及其描述方法	34
第二节 站点地理位置	36
第三节 土壤物理性质	39
第四节 土壤化学性质	41
第五节 气象要素和气候特征	44
第六节 样方描述	49
本章主要参考文献	54
第四章 植物和土壤水分运输相关研究方法	55
第一节 土壤和植物的水分状况	55
第二节 土壤水分的类型和测定方法	57
第三节 土壤水力导度的测定方法	63
第四节 植物组织水分状况的测定方法	68
第五节 植物水力导度的测定方法	74
第六节 木质部解剖结构的测定方法	82
第七节 木质部液流的测定方法	90
第八节 蒸腾速率和气孔导度的测定方法	99
第九节 水分利用效率的测定方法	107
第十节 植物水分来源的测定方法	114
第十一节 植物叶片和枝条的压力-容积曲线的测定方法	121
第十二节 植物木质部栓塞脆弱性的测定方法	126
本章主要参考文献	132
第五章 碳循环相关研究方法	134
第一节 土壤碳的测定方法	134

第二节	温室气体排放的测定方法	142
第三节	生物量的测定方法	146
第四节	叶片光合速率和呼吸速率的测定方法	150
第五节	冠层光合速率和呼吸速率的测定方法	153
第六节	生态系统碳同化能力的测定方法	157
第七节	根系分泌物的收集方法	162
第八节	根系分泌物的测定方法	165
第九节	植物残留物降解的分析方法	167
第十节	根际的测定方法	170
	本章主要参考文献	176
第六章	营养循环相关研究方法	178
第一节	土壤与植物氮磷元素的测定方法	178
第二节	土壤氮元素矿化的测定方法	184
第三节	土壤元素淋失的测定方法	186
第四节	大气氮沉降的测定方法	191
第五节	生物固氮的测定方法	195
第六节	微生物氮磷的测定方法	197
	本章主要参考文献	201
第七章	逆境生理生态研究方法	202
第一节	逆境胁迫及常见研究方法概述	202
第二节	干旱胁迫研究方法	209
第三节	盐胁迫研究方法	213
第四节	温度胁迫研究方法	217
第五节	生物胁迫研究方法	221
	本章主要参考文献	225
第八章	物种间互动研究方法	226
第一节	植物冠层分析测定方法	226
第二节	植物物候分析测定方法	230
第三节	植物群落多样性的测定方法	236
第四节	土壤微生物群落的测定方法	240
第五节	植物化感作用的测定方法	243
第六节	物种间相互作用下的资源利用及生产力测定方法	245
	本章主要参考文献	256
第九章	生理生态数据分析与展示概述	257
第一节	可重复性研究概述	257
第二节	研究任务组织	260
第三节	文件与文件夹管理	265
第四节	常用数据分析流程与工具简介	268
第五节	自动化图表输出	280
第六节	报告文档	283
	本章主要参考文献	284

第一章 绪 论

第一节 植物生理生态学的概念及其产生与发展

植物生理生态学 (plant ecophysiology) 是一门研究生态环境因子与植物生理过程之间关系的学科,旨在揭示生态现象背后的生理学机制。具体而言,植物生理生态学探讨植物生理过程及环境因子互作如何影响植物生长、繁殖、生存、死亡、丰度和地理分布。从定义可以看出,植物生理生态学研究的问题主要源于宏观的生态现象,同时寻求生理学尺度的机制。这要求生理生态学者不仅需要深入理解宏观生态问题,还需要掌握生物物理学、生物化学和分子生物学的相关过程和研究方法。

德国著名的自然科学家亚历山大·冯·洪堡 (Alexander von Humboldt, 1769—1859) 是植物生理生态学的重要开拓者。洪堡通过对南美洲等地的实地考察,深入研究了植物的地理分布与环境因素之间的关系,首次提出等温线、等压线等概念,绘制了世界等温线图,指出气候不仅受纬度影响,还与海拔、离海远近、风向等因素相关。而在洪堡之后的另一位德国著名植物学家和植物地理学家安德烈亚斯·弗朗茨·威廉·申佩尔 (Andreas Franz Wilhelm Schimper) 编写并于 1898 年面世的《植物地理学》是植物生理生态学早期发展的标志性事件。该书开创性地将植物的生理特性与其生态分布联系起来,并探讨了温度、湿度与植物形态适应之间关联的可能机制。在这以后,一些研究先驱从极地等极端环境中植物生长、环境因素对植物生长和分布的影响、植物如何通过生理和形态上的适应来应对环境变化等方面开展了大量的实验研究。然而,这一时期的研究主要停留在描述层面,生理学研究大多局限于实验室内,植物生理生态学尚未从植物生理学和生态学这两门母体学科中独立出来。20 世纪 50 年代,美国著名的植物生态学家威廉·德怀特·比林斯 (William Dwight Billings) 最先倡议将植物生理生态学作为独立学科。德国生态生理学家瓦尔特·拉切爾 (Walter Lärcher) 编写并于 1975 年面世的《植物生理生态学》,标志着植物生理生态学的正式形成。该书后来被翻译成英文、西班牙文、俄文和中文等多种语言。在这以后,植物生理生态学进入快速发展阶段。

在学科发展历程中,研究方法经历了从观察描述到实验控制,再到理论模型与综合方法的演进过程 (图 1-1)。早期研究者通过细致的野外观察与描述,积累了丰富的植物与环境关系知识。随着实验技术的进步,研究者开始在受控条件下模拟自然环境,深入探究环境因子对植物生理过程的调控机制。步入 20 世纪后期,计算机技术的广泛应用使得模型方法蓬勃发展。例如,1980 年, Farquhar 等基于光合作用关键酶 Rubisco (核酮糖-1,5-双磷酸羧化酶/加氧酶) 的催化动力学,构建了 C_3 植物叶片光合作用的生化模型——FvCB (Farquhar-von Caemmerer-Berry) 模型。该模型被广泛用于阐明叶片光合作用对光照、温度、水分、 CO_2 浓度和氮营养等环境因子变化的响应机制,同时也为作物模型、全球碳循环模型和气孔模型奠定了理论基础。

迈入 21 世纪,伴随着分子生物学和生物技术的迅猛发展,植物生理生态学的研究深入器官、细胞和分子层面。作为研究植物与环境互作机制的核心学科,植物生理生态学不仅架起了生态学与生理学的桥梁,更成为解析植物复杂生命活动的关键纽带。2018 年,弗莱克斯 (Flexas) 等提出的“生态生理组学时代” (Ecophysiolomics Era) 理念,通过整合“组学”技

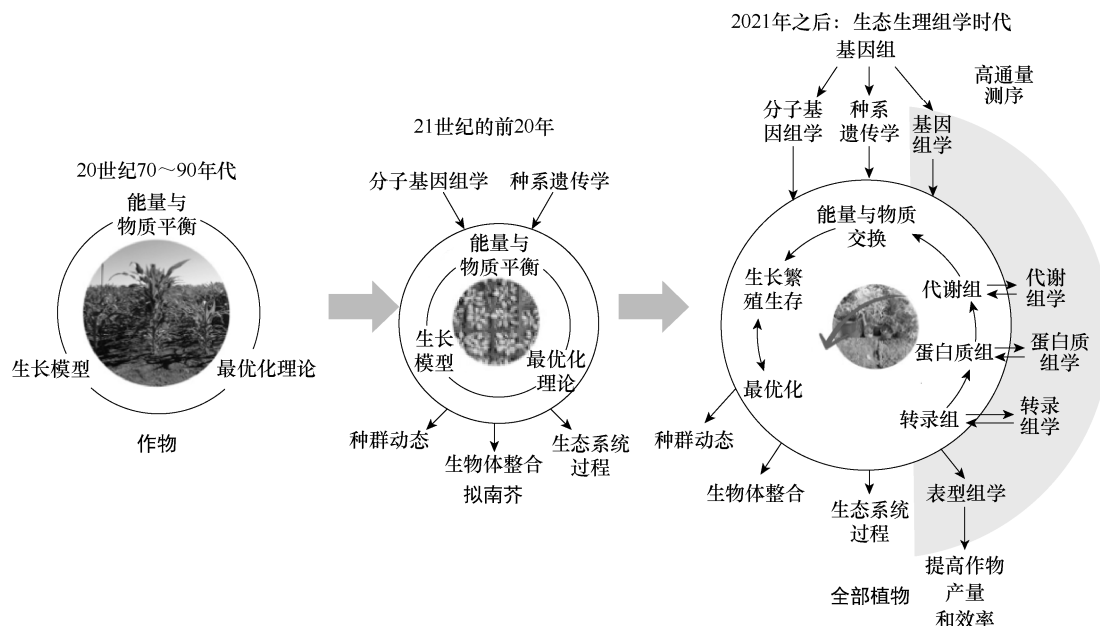


图 1-1 过去大约 50 年植物生理生态学的演变

术与生态生理学研究，为实现植物生命活动的多尺度解析开辟了新途径。这种研究范式的转变不仅对研究者的多学科背景提出了更高要求，还需要在研究设计中更加注重实验条件和分析方法的系统协同，如通过标准化的实验设计将分子数据与生态模型有机整合。此外，植物分子生态学、生物物理生态学等新兴领域的崛起，以及全球环境变化背景下的植物生理生态学研究，进一步推动了该学科的纵深发展。

第二节 植物生理生态学研究策略

一、“自上而下”与“自下而上”

在植物生理生态学研究中，“自上而下”（top-down）和“自下而上”（bottom-up）是两种常用的研究范式，它们从不同的层次和角度探讨植物与环境的相互作用机制。自上而下方法从宏观层面入手，研究生态系统或群落水平的现象，然后逐步深入，探讨这些宏观现象背后的生理驱动机制。例如，研究者可能首先观察到某一生态系统中植物群落的特定分布模式或生产力水平的变化，然后分析这些变化是否与环境因子的变化有关，进而研究植物在生理水平上的响应机制。该方法有助于确定哪些过程在宏观层面上起关键作用，并指导后续的深入研究。自下而上方法从微观层面出发，研究植物在分子、生理或个体水平上的机制，然后将这些机制整合，推演出群落或生态系统层面的动态。例如，研究者可能首先在实验室中研究植物对特定环境胁迫的基因表达变化，了解其生理适应机制，再将这些微观层面的发现应用于解释自然环境中植物群落的分布和动态。这种方法强调从基础机制出发，逐步揭示复杂生态现象出现的原因。

在实际研究中，人们结合自上而下和自下而上的方法，可以获得更全面和深入的理解。自上而下的方法帮助识别宏观层面的关键过程和模式，自下而上的方法则揭示这些过程背后的具体机制。两者的结合有助于在理论上进行合理解释，并提高模型在实际中的应用性。正如有研究者指出，将两种方法结合起来，既可以提高实际应用，又在理论上得到很好的解释，是一个

较优的研究策略。

二、定性与定量结合

定性与定量结合是另一种重要的植物生理生态学研究方法。定性研究主要通过观察、访谈和文本分析等方法,深入探讨植物在自然环境中的行为、适应策略,以及其与其他生物的交互作用。这种方法有助于揭示复杂生态现象的本质和背景,提供对植物生态适应性的深刻理解。定量研究则依赖数据的收集和统计分析,通过测量植物的生理参数(如光合速率、蒸腾速率、叶面积指数等)及环境因子(如光照强度、温度、湿度等),建立数学模型,量化植物对环境变化的响应。这种方法强调结果的客观性和可重复性。将定性与定量研究相结合,可以发挥两者的优势,弥补各自的不足。定性研究提供对现象的深刻理解,定量研究则验证这些理解的普遍性和准确性。例如,在研究植物对于干旱环境的适应策略时,研究者可以通过定性观察了解植物的形态变化和行为特征,然后通过定量测量其生理参数的变化,最终建立模型预测植物在不同干旱程度下的生长表现。

第三节 植物生理生态学研究方法的类别

在植物生理生态学研究中,研究人员采用多种方法,从不同层次和角度深入理解植物与环境的相互作用机制。根据不同的尺度,植物生理生态学领域的研究方法大致可以分为以下类别。

一、实验室控制条件下的研究方法手段

在实验室或人工控制条件(如生长箱、温室或植物生长室)中,研究者可以精确调控光照、温度、水分、营养和气体成分等环境因子,并通过精密仪器对植物进行生理参数测量与分析,具体如下。

(1) 气体交换与光合作用测定:利用便携式光合测量系统(如 LI-COR 测量仪)准确测量净光合速率、呼吸速率、蒸腾速率及气孔导度等,探索植物碳收支与蒸腾耗水的关系。

(2) 水分生理研究:通过压力室测定植物叶水势、茎水势和渗透势;利用液流传感器、树干径变化计分析植物体内水分运输效率和导水率;在细胞和组织水平测定水通道蛋白(aquaporin)的基因表达情况和蛋白质活性,以解析植物在干旱和过量水分条件下的调节策略。

(3) 营养生理研究:采用营养溶液培养、同位素标记(如 ^{15}N 标记)及离子色谱、电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)等方法检测植物对氮、磷、钾及微量元素的吸收、转运和再分配过程,并分析营养对植物代谢与生长的影响。

(4) 酶活性与代谢途径分析:通过测定 Rubisco、磷酸烯醇丙酮酸羧化酶(PEPC)、硝酸还原酶及多种防御相关酶(如过氧化物酶、超氧化物歧化酶等)的活性和表达情况,探讨植物应对环境胁迫的生化机制。

(5) 激素与信号分子测定:通过生化与分子技术[如高压液相色谱(HPLC)、液相色谱-串联质谱(LC-MS/MS)]定量测量生长素、脱落酸、油菜素内酯和茉莉酸等植物激素的含量变化,揭示激素信号在应对环境胁迫及生长发育调控中的作用。

二、野外观测与原位测量方法

在自然条件下对植物及所处的生长环境进行长期连续监测,可以获得真实、动态的生理生态数据。需要注意的是,对目标区域气象要素和地理条件的测定往往是野外观测的基础性工作。

这些方法主要包括以下三种。

(1) 植被结构与动态监测：测定叶面积指数、植被盖度、物种组成与群落演替动态，评价植被对环境变化的响应。

(2) 水分利用与土壤-植物-大气连续体 (soil-plant-atmosphere continuum, SPAC) 研究：利用茎流测定仪、树干径变化计及土壤水分传感器，测量土壤-植物-大气连续体内水分输导速率、日变化特征和季节动态；通过稳定同位素技术 ($\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^2\text{H}$) 鉴别植物水分来源并评估用水策略。

(3) 营养动态与同位素示踪：运用 ^{15}N 、 ^{13}C 等稳定同位素示踪试验研究土壤养分循环、根系吸收及根际微生物互动，为阐明植物在营养限制条件下的适应机制提供依据。

三、数值模拟与模型构建

通过将实测数据与理论模型相结合，研究者可以模拟、预测和量化植物在不同情景下的生理过程与生态表现。

(1) 光合作用与蒸腾模型：由叶片尺度 (如 Farquhar 模型) 扩展至冠层、群落和生态系统尺度的模型，用于模拟植株碳水通量、能量平衡和生长产量。

(2) 植物生长与资源分配模型：将光能捕获、养分吸收与生物量分配整合进动态模型，以预测个体和群落在资源限制条件下的生产力变化。

(3) 气候变化响应与适宜性预测：基于模型情景分析，评估物种在气候变暖、降水格局改变、大气 CO_2 上升条件下的生境适宜性变化，预测潜在分布区和适应策略。

四、遥感与信息技术

借助遥感技术和大数据分析手段，可从区域至全球尺度掌握植被状况与变化，为宏观调控和管理提供科学依据。

(1) 遥感监测与光谱诊断：通过卫星、无人机 (UAV) 和地面高光谱传感器获取植被指数 [归一化植被指数 (NDVI)、增强型植被指数 (EVI)]、日光诱导叶绿素荧光 (SIF)、叶面积指数 (LAI) 等植被结构与功能参数，实现对区域植被健康状况和生产力水平的动态监测。

(2) 地理信息系统 (GIS) 与云计算平台：利用 GIS 技术与云计算资源 (如 Google Earth Engine) 对多时空尺度数据进行整合、分析、可视化，为监测生态系统演替、评估管理策略和制定保护措施提供数据支持。

五、组学与分子生物学技术

随着各学科的深度融合，越来越多的研究者开始引入基因组学、转录组学、蛋白质组学和代谢组学等现代生物技术和方法，以解析植物对环境因子响应的分子基础。

六、文献计量与综合分析方法

随着植物生理生态学文献的指数增长，通过综合分析工具对已有研究结果进行定量整合、比较与推断，日益成为重要的方法和手段。其中，系统综述 (systemic review) 与整合分析 (meta-analysis) 是两种最主要的手段。这些方法是应用统计方法综合大量独立研究的结果，以量化某一因子对植物生理参数的总体影响，评估不同生态系统或物种间的响应差异，寻找普适模式和潜在调控机制。

第四节 植物生理生态学研究面临的挑战

(1) 数据兼容性与标准化不足：当前研究中普遍缺乏统一标准，研究者往往基于个人研究目标或惯例选择方法，导致同一生态过程的数据呈现形式不一。以土壤有机碳研究为例，有些研究采用质量百分比表示，有些则以单位面积碳储量计算，而关键的转换信息（如土壤体积密度、采样深度）往往缺失。此外，实验变量和测量指标的选择缺乏协调性。某些在单个研究中看似次要的变量（如养分动态或土壤水分潜力）可能未被测量，但这些变量恰恰是进行大尺度比较和生态模型构建的关键。这种“数据兼容性过滤器”严重制约了数据的二次利用和综合分析潜力。

(2) 变量选择的局限性：研究往往过度关注与特定假设直接相关的变量，而忽视了对整体生态过程同样重要的因素。例如，在碳循环研究中，尽管养分动态（如氮、磷的可用性）是决定生态系统对气候变化响应的关键驱动因素，但它们常被忽略。这种选择性测量策略不仅限制了人们对生态系统复杂性的全面认识，也阻碍了对变量间关系的深入探索。在气候变化实验中，降水操控常以简单的绝对值或相对变化的形式报告，而忽视了土壤水分保持能力、径流、历史降水模式等因素对实际水分可用性的综合影响，从而降低了研究结果的解释力。

(3) 实验和测量方法的不统一：不同的研究对相同生态过程采用不同的测量技术和实验设计，这种差异性虽增加了研究的灵活性，但显著降低了结果的可比性。以植物光合作用测量为例，气体交换法与荧光技术在数据精度和解释范围上存在明显差异。受资源限制，研究者可能选择简化的实验方法，如在植物水分状态研究中用简单的张力计替代更精确但操作复杂的压力-容积曲线测量，这进一步影响了数据质量和可比性。

(4) 小样本和尺度偏差：研究普遍存在样本量小、地理分布不均的问题。在全球变化研究中，实验多集中于温带地区，而热带和极地生态系统研究相对匮乏，这种地理偏差影响了对全球生态系统动态的全面认知。在时间尺度上，短期实验难以揭示生态系统的长期演变过程。例如，植物适应性进化、土壤碳库动态变化等可能需要数十年才能充分展现其过程。这些偏差限制了研究结果在更大时空尺度上的推广应用。

(5) 数据管理与共享不足：研究过程中普遍缺乏标准化的数据管理规范，导致重要信息（如元数据、协变量、实验细节）记录不全。即使是公开数据集，也因格式不统一或背景信息不足而难以有效利用。此外，研究人员对数据共享的顾虑及缺乏规范的共享平台和激励机制，进一步制约了数据的开放共享。

(6) 多学科交叉的复杂性：植物生理生态学需要整合多个学科的理论和方法，但不同学科在研究思路、概念定义和方法选择上存在显著差异。例如，在土壤水分研究中，水文学关注含水量，而植物生理学更注重水势，这种差异增加了跨学科研究的难度，也给不同尺度和技术的数据整合、术语统一及研究目标的协调带来挑战。

(7) 技术与工具的局限性：尽管技术进步为研究提供了新机遇，但核心技术的复杂性、高成本和适用性限制了其广泛应用。高精度仪器（如压力-容积曲线测量仪、涡度相关系统）需要专业操作和维护，在复杂环境条件下的应用也面临挑战。某些技术的灵敏度和分辨率可能不足以捕捉关键的生态响应，不同品牌仪器在数据输出和精度上的差异也增加了结果比较的难度。

为应对这些挑战，本书召集植物生理生态学专家，系统整理了从实验设计到数据管理的标准化方法，提供了关键变量选择建议、统一的测量方法及数据管理规范。通过建立统一标准，提升研究数据的可比性和跨区域、跨学科协作效率，同时降低研究门槛，推动学科向更规范化的方向发展。

本章主要参考文献

- Billings W D. 1957. Physiological ecology. Annual Review of Plant Physiology, 8: 375-392.
- Flexas J, Gago J. 2018. A role for ecophysiology in the ‘omics’ era. The Plant Journal, 96(2): 251-259.
- Halbritter A H, de Boeck H J, Eycott A E, et al. 2020. The handbook for standardized field and laboratory measurements in terrestrial climate change experiments and observational studies(ClimEx). Methods in Ecology and Evolution, 11(1): 22-37.
- Lambers H, Chapin F S, Pons T L. 2008. Plant Physiological Ecology. New York: Springer Science & Business Media.

第二章 植物生理生态研究的主要形式

第一节 野外观测

一、野外观测的目的和主要内容

野外观测是了解植物和环境相互作用最直接的手段。为适应不同地区的环境条件，同一植物种会表现出不同的生理生态特征。同一区域内的植物群落中，植物个体也会通过互惠、竞争等相互作用形成一个巧妙的组合，以适应其共同生存的环境。植物生理生态属性反映了植物对环境的适应策略。一些植物生理生态属性的普适性强、测定简单且结果较为稳定，适宜于在区域及全球范围开展大范围观测，称为植物功能性状。和单独的分类学特性相比，植物功能性状可以更好地反映植物在不同生境的应对策略，还可为理解植物功能多样性在广义上如何影响生态系统进程，以及预测陆地植被对未来全球变化的响应提供基础。

野外调查的主要内容包括生境调查和植物生理生态属性调查。生境调查包括地形地貌、气候环境及土壤理化性质。植物生理生态属性调查通常包括叶片、繁殖器官、枝干、根系等。叶片属性包括叶面积、比叶面积（单位质量的叶面积）、叶片干物质含量、叶寿命、叶片氮和磷含量、最大光合速率、气孔导度、蒸腾速率等。繁殖器官属性包括种子大小、传播方式等。枝干属性包括树皮厚度、木材密度、心材-边材比率、树干高度等。根系属性包括根系类型、分枝情况、根级组成、比根长（单位质量的根长度）、根系及根系分泌物化学组成和共生真菌侵染率等。这些属性是植物在长期适应环境过程中为获得最大光合生产力所形成的适应策略，是植物种群和群落重要的结构与功能特征参数。

二、野外观测的方法

野外观测需要设置一定的调查区域和范围，即样地和样方。样地是指野外调查的所在地，在空间上包含样方，一般没有特定的面积。样方则是指野外调查所要实施的特定地段，有特定的面积。样地和样方的设置直接影响调查结果的可靠性。

（一）样地设置

为全面掌握一个地区植物群落现状及所在地环境条件，同时考虑到人力和财力的限制，野外调查时需要对样地的布局进行合理设计。植物生理生态学的野外调查通常采用系统布点的方式，在空间上涵盖整个研究区，全面反映研究区植被和环境的全貌。

系统布点可采用统一的经纬网格，对研究区进行布点。经纬网格的精度可根据植物种分布范围、群落类型的复杂程度及研究区的面积大小而定，如 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 。每个网格的样地可统一设置在网格的四角或中央。对于分布在不同生境的同一植物种，可根据海拔、温度、降水、土壤类型等因子梯度变化进行布点。针对植物群落的调查研究，需现场手绘植物群落剖面示意图（图 2-1）或拍照，以反映群落的空间结构和种间关系等群落特征。

每个样地设置 3~5 个重复样方，森林群落的样方面积通常设为 $20 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 。

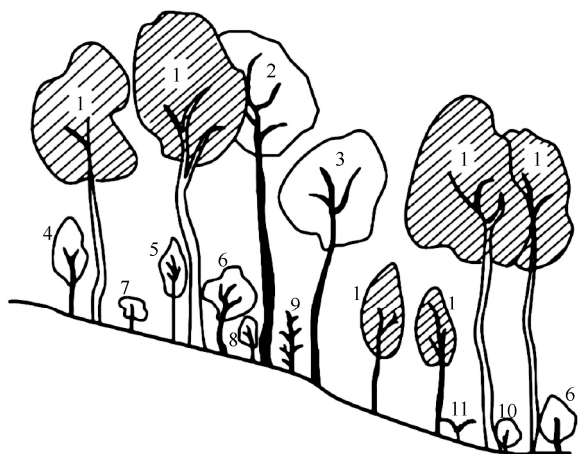


图 2-1 植物群落剖面示意图

1. 甜槠; 2. 青冈; 3. 东南石栎; 4. 光叶石楠; 5. 南岭山矾; 6. 鹿角杜鹃; 7. 马银花;
8. 粗叶木; 9. 肿节少穗竹; 10. 细齿叶栎; 11. 中华里白

(二) 样方设置

选择适当的地点是样方设置的关键, 选择时应注意: ①群落内部的物种组成、群落结构和生境相对均匀; ②样方周围有 10~20 m 甚至以上的缓冲区; ③除依赖于特定生境的群落外, 一般选择平(台)地或缓坡上相对均一的坡面, 避免选择坡顶、沟谷或复杂地形。

根据植被类型及其结构特征的差异, 陆地植物群落可分为森林、灌丛和草地, 其调查内容和技术规范略有差异。荒漠群落的调查可参照灌丛和草地植被的调查体系。由于荒漠植被稀疏且异质性大, 调查面积应大于灌丛和草地的调查面积。

森林群落样方一般为 20 m×30 m (或 20 m×50 m) 的长方形(图 2-2)。如实际情况不允许, 也可设置为其他形状, 但必须由 6 (或 10) 个 10 m×10 m 的小样方组成。其中, 乔木的样方面积为 20 m×30 m; 灌丛的样方面积为 10 m×10 m, 通常选择两个对角小样方进行调查(图 2-3); 草本的样方面积为 10 m×10 m, 通常选择四角和中心点上共 5 个 1 m×1 m 的小样方进行调查。灌丛和草本的样方周围应留有 10 m 缓冲区。

(三) 样地维护

进行多次调查的样地需要作为固定样地进行维护。要准确记录样地及其中各类样方的地理位置, 并标记在地形图(林班图)上, 所用地形图的比例尺为 1/50 000 或 1/100 000。所有样地/样方都要有固定的编号, 因此需在整个项目内有统一的样地编号制定方法, 而且样地编号要保持永久不变。如为工作需要或不可抗拒的原因必须改变样地的地点、数量、形状和面积, 必须做好记录和备案。

样地应具有固定标志, 包括在样地的西南角建立点标桩, 在西北、东北、东南角建立直角坑槽或角桩, 在西南角通过界外木刮皮及其他辅助识别标志(如土壤识别坑、中心点标桩和有关暗标)而建立定位物(树)。灌木层和草本层的样方也要建立便于识别的角桩, 以便于以后定位和开展监测; 可以在样方四角埋设金属角桩, 这样在地面角桩受破坏或遗失后可通过金属探测器准确定位。

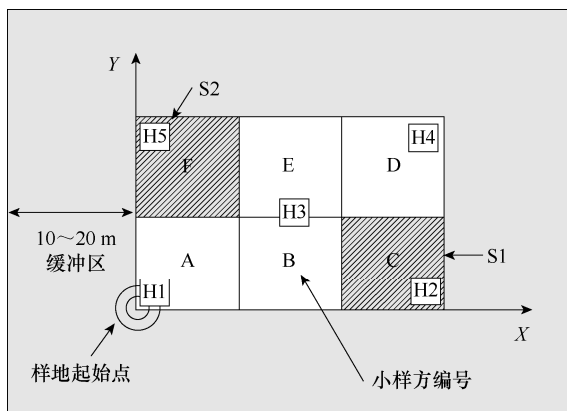


图 2-2 森林群落样方设置和小样方编号方法

样方面积 $20\text{ m} \times 30\text{ m}$ ，由 6 个 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 的小样方组成，A~F 为小样方编号，S1 和 S2（阴影部分）为灌木层调查小样方；H1~H5 为草本层调查小样方。样方四边应各留有 $10\sim 20\text{ m}$ 甚至以上的缓冲区

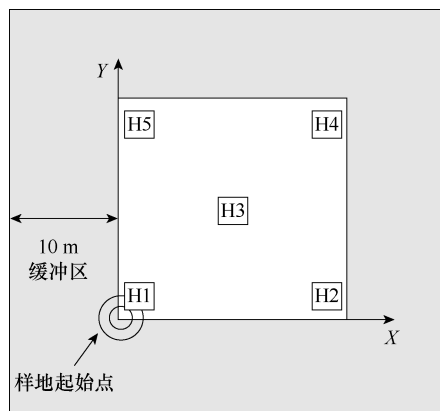


图 2-3 灌丛（草本）样方设置方法

样方面积 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ ，其中 H1~H5 为草本调查小样方；样方四边应各留有 10 m 的缓冲区。对于灌丛，需要调查整个样方；对于草本，一般只调查 5 个小样方

样地内的所有胸径在 5 cm 以上的树木都作为样木对待，并给予固定编号和统一设置识别标志，如钉上压印编号的铝制样木标牌，或用油漆在树干上编号。标牌位置一般应在树干基部不显眼的地方，以防标志遭到破坏或引起特殊对待；如采用油漆编号，应每隔 $1\sim 2$ 年在编号变模糊之前重新描绘一次，在油漆编号描绘之前要去掉老树皮，因此描绘编号的位置要远离胸高处，以免干扰胸径测量。胸高位置可通过画油漆线或其他方法予以固定，从而保证胸高直径监测数据的可靠性。对于树桩落在样地边界线上的树木，采取“西取东舍，南取北舍”的原则。

建议在有条件时，将固定样地周边（对样地内树木和其生态水文功能有影响）的树木也予以编号和纳入监测范围，可初步确定为样地边界向外扩展 $1\sim 2$ 行树，并用与样地内树木不同颜色的油漆进行标号。若有可能，可将样地内每株样树的树干位置及样地内（或周边）的各样方的四角都进行准确定位，然后标绘在网格纸上，形成样木位置图，便于在样树编号无法辨认时进行各株样树的复位。对于样地内有标识作用的明显地物和地类分界线，也应标示在样木位置图上。

（四）样地生境调查

1. 主要调查项目 样地生境的基本情况通过填写调查表完成，调查表（表 2-1）应包含以下内容。

（1）植被类型：指样地的植被类型。植被类型划分的原则、单位和系统参照《中国植被》和当地植物志等专著。在划分植被类型的高级分类单位时，重点考虑植被的生态特征；在划分植被的中级和低级分类单位时，重点考虑植物群落的种类组成，尤其是建群种、优势种，有时是狭域分布的标志种。

（2）调查地点：指样地的所在位置，如省、县、乡、村和保护区名称，并标在地形图上。

（3）经纬度：用全球定位系统（GPS）确定样地所在地的经纬度。

（4）海拔：用海拔表测定样地所在地的海拔。

（5）地形地貌：指样地所在地的地貌类型，如山地、洼地、丘陵、平原、高原等。

（6）坡位：指样地所在坡面的位置，如谷地、平地、下坡、中坡、上坡、山顶、山脊等。

（7）坡向：指样地所在地的方位，如南偏东 30° 。

（8）坡度：样地的平均坡度。

(9) 样方设置情况: 指样方数量和样方面积, 面积一般为 $20\text{ m} \times 30\text{ m}$ 或 $20\text{ m} \times 50\text{ m}$ 。

(10) 土壤类型和土壤质地: 指样地所在地的土壤类型和土壤质地, 如褐色森林土、红壤、黄棕壤等。

(11) 记录人及调查时间: 记录该样地的调查记录人, 并注明调查时间, 以备查用。

表 2-1 样地基本信息记录表

样地号		样方数量		样方面积	
调查地点	省 县 乡 村				
具体位置描述					
植被类型		地形地貌	() 山地 () 洼地 () 丘陵 () 平原 () 高原		
纬度		坡位	() 谷地 () 平地 () 下坡 () 中坡 () 上坡 () 山顶 () 山脊		
经度		起源	() 原生 () 次生 () 人工		
海拔		演替阶段	() 早期 () 中期 () 晚期		
坡向		干扰强度	() 无干扰 () 轻度 () 中度 () 重度		
坡度		水分状况	() 干燥 () 中生 () 湿润 () 淹水		
土壤类型		土壤质地	() 砂土 () 砂壤土 () 壤土 () 黏土		
土样采集情况			气象数据来源		
照片编号		记录人		调查时间	

2. 其他调查项目 除调查表所记载的项目外, 还需要完成如下项目。

(1) 群落照片: 包括群落外貌、群落垂直结构、乔木层、灌木层、草本层和土壤剖面等。数码照片的分辨率应在 300 万像素以上。

(2) 样地的微环境 (空气温湿度、光照、土壤温湿度等): 可利用微型气象站或相关仪器测定。测定空气温湿度时, 传感器应固定在离地表 1~2 m、不会受到阳光直射的树干上; 土壤温湿度测定中, 传感器应埋在距地表 10 cm 处。对于年均温、降水量等气象数据, 可查询附近气象站数据。

(3) 土壤理化性质: 可通过采集样方内土壤样本, 在实验室内测定。进行土壤调查时, 在样方附近挖土壤剖面 1~2 个, 记录土壤特征, 并采用 100 cm^3 的土壤环刀, 按 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~50 cm、50~70 cm、70~100 cm 的土壤深度分层取样, 称取鲜重并编号, 用于后续分析。

3. 样地植物群落的生态结构和主要组成成分调查方法 如需要对样地植物群落的生态结构和主要组成成分的特点进行调查, 可参照以下方法进行。

(1) 乔木调查: 对样地中凡是胸径等于或大于 5 cm 的树木都需要编号, 并进行每木调查。调查内容包括确定树种、树种起源类型, 测量胸径、株高、枝下高、冠幅, 观察杆型特征、物候、生活力等。最后以记录坐标位置和画投影图的方式确定每株样木在样地中的位置。

(2) 灌木调查: 指未进入乔木层的下木及乔木种类的幼苗、幼树, 通常指胸径小于 5 cm 或高度低于 5 m 的木本植物。调查内容包括种类、高度、数量、水平分布格局 (群聚度)、物候、生活力等, 灌木记载株数、丛数及其盖度。

(3) 草本调查: 主要指直立草本和匍匐草本植物, 不包括草质藤本。调查内容与灌木调查基本相同。

(4) 层间植物调查: 包括木质藤本、草质藤本、附生和寄生植物。对样地中凡是粗度等于或大于 5 cm 的藤本植物都用油漆编号, 逐株调查, 内容包括确定种类, 测量粗度和攀缘、附生