2025年北京市高等教育教学成果奖
成果总结材料目录

成果名称：基于筑牢基础、创新引领、思政融合教学理念的《生态系统生态学》（课程）

成果完成人：白永飞、黄建辉、王艳芬

成果完成单位：中国科学院大学

一、成果总结 ---------- 1

二、支撑材料目录 ---------- 6

附件 1 课程讲义目录 ---------- 6

附件 2 课程综合作业要求 ---------- 11

附件 3 生态系统生态学的前沿科学问题 ---------- 12

2025年北京市高等教育教学成果奖
成果总结

成果名称：基于筑牢基础、创新引领、思政融合教学理念的《生态系统生态学》（课程）

成果完成人：白永飞、黄建辉、王艳芬

成果完成单位：中国科学院大学

基于筑牢基础、创新引领、思政融合教学 理念的

《生态系统生态学》（课程）

成果基本情况表

<table>
<tr><td>完成单位名称</td><td colspan="6">中国科学院大学</td></tr>
<tr><td>联系人</td><td colspan="3">王燕飞</td><td colspan="2">联系电话</td><td>010-69671080</td></tr>
<tr><td>通讯地址</td><td colspan="3">中国科学院大学雁栖湖校区行政楼 218</td><td colspan="2">电子信箱</td><td>wangyanfei21@ucas.ac.cn</td></tr>
<tr><td rowspan="2">第 1 完成人情况</td><td>姓名</td><td>白永飞</td><td>性别</td><td>男</td><td>出生年月</td><td>1966 年 10 月</td></tr>
<tr><td>专业技术职称</td><td colspan="2">研究员</td><td>工作单位</td><td colspan="2">中国科学院植物研究所</td></tr>
<tr><td rowspan="2">第 2 完成人情况</td><td>姓名</td><td>黄建辉</td><td>性别</td><td>男</td><td>出生年月</td><td>1964 年 12 月</td></tr>
<tr><td>专业技术职称</td><td colspan="2">研究员</td><td>工作单位</td><td colspan="2">中国科学院植物研究所</td></tr>
<tr><td rowspan="2">第 3 完成人情况</td><td>姓名</td><td>王艳芬</td><td>性别</td><td>女</td><td>出生年月</td><td>1969 年 6 月</td></tr>
<tr><td>专业技术职称</td><td colspan="2">研究员</td><td>工作单位</td><td colspan="2">中国科学院大学</td></tr>
<tr><td>主题词</td><td colspan="6">生态系统过程；物质和能量循环；水分与能量平衡；营养级动态；生物多样性与生态系统功能关系；生态系统可持续管理；长期生态学观测与实验</td></tr>
</table>

1. 成果简介及主要解决的教学问题

自 2010 年承担《生态系统生态学》课程教学任务以来，主讲团队始终以“筑牢基础、创新引领、思政融合”为教学理念，通过十五年的教学实践与改革，形成了一套完整的生态系统生态学教学体系，并在教材建设、教学方法创新、研究生科研能力培养与思政教育等方面取得了显著成效。具体包括：编写符合国际最新教材标准的《生态系统生态学》课程教学大纲和讲义（附件 1）；结合国内外知名科学家及其团队科研工作讲解生态系统生态学的理论前沿，并将思政教育有机地融入到课堂教学的全过程；布置课外作业和文献阅读任务（附件 2），加深学生理解；引入具体研究案例讲解科学问题凝练和研究方法创新；系统梳理了生态系统生态学领域 80 余个前沿科学问题（附件 3），为学生探索和实践科技创新指明了方向。这些措施不仅改变了传统的照本宣科式授课方式，有效激发了学生的学习兴趣，提升了他们的科研能力。2021 年获校级和院级"研究生优秀课程"双项认证。

本成果主要解决的教学问题有以下几点：（1）理论与实践脱节问题：传统教学方式往往局限于理论讲解，忽视了实际应用。主讲团队通过引入国内外知名科学家及其团队研究工作案例、重大科技创新与实践，帮助学生从多角度认识生态系统生态学的理论发展、研究前沿和实践应用前景。（2）学生科研能力训练不足问题：系统梳理了生态系统生态学领域 80 余个前沿科学问题，让学生结合自己兴趣或研究生阶段将要开展的研究内容进行选题，通过“考试+综合作业+课堂报告”相结合的综合考核方案，培养和提高学生的学习兴趣、科技写作能力、学术表达能力和科研潜力，强化其科研能力培养与训练。（3）教学资源匮乏问题：参考国际最新教材和课程教学要求，编写了《生态系统生态学》课程教学大纲和讲义，形成了完整的课程和教材体系，填补了国内在生态系统生态学领域高质量教材和讲义缺乏的问题。（4）课程与思政融合表面化问题：优化课程思政实施路径，将生态系统生态学理论实践，与当前“全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划”、“三北”工程以及绿色高质量发展等国家重大发展战略和重点工程的科技需求相结合，激发了学生的学习热情和服务国家的理想与信念，解决了教学实践与国家需求结合不紧密和思政教学两张皮的问题。通过以上措施，有效解决了传统教学中存在的主要问题，提升了研究生的学术水平和科研能力，促进了教学过程中的思政融合，实现了教书与育人统一。

2. 成果解决教学问题的方法

主讲团队主要通过以下一系列创新性的教学措施解决教学中的关键问题：

（1） 对标国际前沿，编制教学大纲和讲义：对标国际最新教材和课程教学要求，结合学科前沿和当前全球和我国面临的突出生态环境问题，编写了详细的《生态系统生态学》教学大纲和讲义。在授课过程中，结合国际知名科学家及其团队的科研创新案例，讲解生态系统生态学的重要概念、理论及其发展，培养学生的团队合作精神，同时避免了传统教学中的“照本宣科”现象和教材老旧等问题。

（2） 引入教学案例，强化理论联系实际：针对每一章节的具体内容布置相关的课外作业和文献阅读任务，帮助学生深化对课程内容的理解。同时，在课堂上引入具体研究案例，深入浅出地讲解生态系统生态学的研究方法、研究前沿和争议性问题，激发学生的学习兴趣和创新精神。

（3） 注重科研训练，提升学生科技创新能力：系统梳理了生态系统生态学领域 80 余个前沿科学问题，让学生结合自己的兴趣或研究方向，选题撰写研究综述，并通过课堂汇报交流与讨论，培养学生的主动学习能力、学术表达能力和科研潜力，全方位强化其科研能力训练。

（4） 完善课程考核机制，全面评估学生的学习效果：采用考试（占 50%）、综合作业（占 25%）和课堂报告（占 25%）相结合的全过程考核方式，全面考核学生对基本概念、基础理论和学科前沿的理解和掌握程度。

（5） 思政融合，增强学习的使命感：结合全球和我国面临的突出生态环境学问题，引入“全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划”、“三北”工程、“双碳”目标等具体案例，加强教学资源建设和思政教育的融合，使学生从更多维度认识和理解生态系统生态学的理论、发展及其应用，增强学习的使命感，激发了学生的学习热情和服务国家的理想与信念。

3. 成果的创新点

本成果从教学理念、教学内容、教学方法和课程考核等方面进行了创新。

（1） 教学理念创新：坚持“筑牢基础、创新引领、思政融合”的教学理念，在培养研究生构建全面知识体系的同时，引领学生注重理论联系实际，促进科技创新。

同时将思政教育融入课程学习，使学生在学习知识的同时增强其科技创新的责任感和使命感。

（2） 教学内容创新：编写了30万字的《生态系统生态学》讲义，形成了完整的课程和教材体系，解决了国内生态系统生态学研究生教材缺乏的问题。同时，结合国内外知名科学家及其团队的研究成果，讲解生态系统生态学的重要概念和发展趋势，拓宽学生的学术视野。

（3） 教学方法创新：针对课程的不同章节，安排不同方向的专业老师讲解，增强教学成效。通过课后作业、文献阅读和课堂案例分析等方式，帮助学生加深对课程的理解；引入具体研究案例，讲解研究方法、研究前沿和争议性问题，激发学生的学习兴趣，加强科研能力的培养和训练。

（4） 课程考核创新：采用考试（占50%）、综合作业（占25%）和课堂报告（占25%）相结合的方式，全面考核学生对基本概念、基础理论和学科前沿的掌握程度，确保教学效果的全面性和客观性。系统梳理了生态系统生态学领域80余个前沿科学问题，让学生结合自己的兴趣或研究方向，撰写研究综述并进行课堂汇报交流，全面评估学生的综合能力，为学生研究方向的确立、开题和顺利完成学位论文打下了坚实的基础。

4. 成果的推广应用效果

团队主讲的《生态系统生态学》课程，经过多年的教学实践和改革，取得了显著的推广应用效果：

（1） 校内外专家评价

该教学团队的三位授课教师均为国内长期在一线开展生态学研究的知名科学家，具有深厚的专业背景和开阔的研究视野，在确保课程教学质量的同时，对全面提升研究生的生态学理论功底和专业能力起到了重要的推动作用。

（2） 教学督导组

课程教学内容充实，信息量大；阐述科学问题准确、思路清晰、重点突出，且具有启发性，能激发研究生的学习兴趣；教学具有吸引力，学生出勤率高。

（3） 学生评价

近年来，本课程教学受到了研究生充分的肯定，在连续多年的课程评估中，评估结果均为优秀。除了课堂授课以外，还能组织研究生结合自己的研究兴趣，开展相关领域的文献综述，并进行课堂汇报，起到了激发研究生学习兴趣和提高研究生科研能力的作用。

5. 课程队伍建设

教学团队包括三位主讲教师，分别是中科院植物所的白永飞研究员、黄建辉研究员和中国科学院大学的王艳芬教授，其中白永飞研究员主讲教师。三位教师平均年龄54岁，均为生态学专业博士学历，且多年一直在一线从事生态学研究。三位教师结合自身的专业特长，分别讲授4~6个章节的课程。其中王艳芬教授讲授前2-5章，授课内容包括：全球气候系统、地质土壤与沉积物、水分与能量平衡和陆地生态系统碳输入，合计12个学时；黄建辉研究员讲授第6-10章，授课内容包括：植物碳收支、分解过程与生态系统碳收支、养分循环、营养级动态，合计21个学时；白永飞研究员讲授第1章和第11-15章，授课内容包括：生态系统的概念、物种对生态系统过程的影响、生态系统时间动态、景观异质性与生态系统动态、地球系统的变化、生态系统管理与维持、生态系统生态学前沿科学问题，合计27学时。

附件 1 课程讲义目录

中国科学院大学课程讲义

生态系统生态学

中国科学院大学资源与环境学院

2022 年 9 月

目 录

第一章 生态系统生态学及其前沿科学问题 1

第一节 生态系统和生态系统生态学的基本概念 1

第二节 生态系统的重要特征 2

第三节 生态系统输入过程 3

第四节 生态系统生产过程 4

第五节 生态系统分解过程 5

第六节 生态系统养分循环 7

第七节 生物多样性与生态系统功能 8

第八节 人类活动与全球变化对生态系统的影响 10

第九节 生态系统服务与生态安全 10

第十节 生态学研究中的尺度问题 12

第十一节 新技术和新方法在生态系统生态学研究中的应用 13

第二章 全球气候系统 22

第一节 基本概念 22

第二节 地球能量平衡 24

第三节 大气层系统 24

第四节 地形对气候的影响 27

第五节 植被对气候的影响 27

第六节 气候的时间变异性 28

第七节 生态系统分布与结构和气候的关系 28

第三章 地质、土壤和沉积物 30

第一节 影响土壤形成的因素 30

第二节 控制水土流失 31

第三节 土壤特性的形成 31

第四节 土壤层和土壤分类 32

第五节 土壤特性和生态系统功能 33

第四章 陆地水和能量平衡 34

第一节 地表能量平衡 34

第二节 生态系统水平衡的基本原理 39

第三节 生态系统的水分流失 42

第五章 陆地生态系统碳输入 44

第一节 生态系统碳输入 44

第二节 光合作用途径 44

第三节 陆地植物光合作用.....48
第四节 总初级生产.....51

第六章 植物的碳概算.....54
引言.....54
第一节 核心问题.....55
第二节 植物呼吸.....55
第三节 什么是NPP？.....58
第四节 陆地NPP.....62
第五节 分配.....66
第六节 组织周转.....69
本章小结.....71

第七章 分解和生态系统的碳概算.....72
引言.....72
第一节 核心问题.....72
第二节 分解和生态系统碳平衡概要.....72
第三节 分解的时空异质性.....79
第四节 控制分解的因素.....82
第五节 净生态系统生产.....85
第六节 净生态系统碳平衡.....91

第八章 植物的养分利用.....94
引言.....94
第一节 核心问题.....94
第二节 概要.....94
第三节 陆地生态系统养分向根的运动.....96
第四节 养分的吸收（NUTRIENT ABSORPTION）.....99
第五节 养分利用（NUTRIENT USE）.....105
第六节 植物的养分丢失（NUTRIENT LOSS FROM PLANTS）.....107
本章小结.....110

第九章 养分循环.....111
引言.....111
第一节 核心要点.....111
第二节 概要.....111
第三节 陆地生态系统氮输入.....112
第四节 氮的内循环.....116
第五节 氮损失途径（PATHWAYS OF NITROGEN LOSS）.....123
第六节 其他元素的循环.....126

第四十章 孤独的变化的系统和谐 1042
第一节 法律条文 1059
第二节 案例分析 1062
第三节 相关法律法规与司法解释 1066
第四节 律师在涉外民商事诉讼中的作用 1072
第五节 外国法律的适用 1075
第六节 国际条约与惯例 1078
第七节 涉外民事诉讼程序 1081
第八节 送达与证据 1084
第九节 管辖权异议与上诉 1087
第十节 执行程序与救济 1090

第四十一章 孤独的平衡系统和谐 1093
第一节 案例分析 1096
第二节 律师在涉外民事诉讼中的作用 1099
第三节 证据规则 1102
第四节 管辖权异议 1105
第五节 法律适用 1108
第六节 外国法律查明 1111
第七节 送达与期间 1114
第八节 调解与和解 1117
第九节 上诉与再审 1120
第十节 执行异议与救济 1123

第四十二章 孤独的变化的系统和谐 1126
第一节 涉外民事诉讼程序概述 1129
第二节 管辖权异议与移送 1132
第三节 证据规则 1135
第四节 送达 1138
第五节 期间 1141
第六节 案例分析 1144
第七节 律师在涉外民事诉讼中的作用 1147
第八节 外国法律查明 1150
第九节 调解与和解 1153
第十节 上诉与再审 1156

第四十三章 孤独的平衡系统和谐 1159
第一节 孤独的平衡系统和谐 1162
第二节 孤独的平衡系统和谐 1165
第三节 孤独的平衡系统和谐 1168
第四节 孤独的平衡系统和谐 1171
第五节 孤独的平衡系统和谐 1174
第六节 孤独的平衡系统和谐 1177
第七节 孤独的平衡系统和谐 1180
第八节 孤独的平衡系统和谐 1183
第九节 孤独的平衡系统和谐 1186
第十节 孤独的平衡系统和谐 1189

第一节 全球水循环.....241
第二节 全球碳循环.....245
第三节 全球氮循环.....251
第四节 全球磷循环.....254
第五节 全球硫循环.....257
第六节 研究案例.....259
本章小结.....263

第十五章 生态系统的管理和维持.....266
第一节 可持续的社会生态体系.....266
第二节 生态系统管理的概念框架.....269
第三节 生态系统原理在管理中的应用.....272
第四节 生态系统管理的社会经济范畴.....275
第五节 研究案例.....276
本章小结.....287

生态系统生态学综合作业要求.....289

生态系统生态学的前沿科学问题.....290

附件 2 课程综合作业要求

生态系统生态学综合作业要求

一、总体要求

围绕生态系统生态学前沿科学问题，每人选择一个问题，通过 Web of Science 对相关问题的研究历史、最新进展（近 5-10 年）、知名科学家及其代表性成果进行综述（3000 字左右），并做成 10 张左右的 PPT 进行课堂报告、互动和答疑。

成绩：50%（综述和课堂报告各占 25%）

二、各部分字数要求

1. 摘要（200 字左右）
2. 研究历史与最新进展（2000 字左右）
3. 知名科学家及其代表性成果（500 字左右）

附件3 生态系统生态学的前沿科学问题

生态系统生态学的前沿科学问题

1 生态系统结构

1) 在不同的地区生物群落和组成方面，物种丰富度和群落结构的变化趋势是什么？在不同的生态系统类型中，它们是如何变化的 (Chase 2007, Chase and Myers 2011, Sabatini et al. 2016, Wang et al. 2016)? What is the relative importance of stochastic vs. deterministic processes in controlling diversity and composition of communities, and how does this vary across ecosystem types?

2) 生态系统结构特征和组成对环境变化的敏感性？What properties of ecosystem are most sensitive to changes in community composition?

3) 我们能否基于物种的特征来预测生态系统生物群落对环境变化的响应？Can we predict the responses of ecosystems to environmental changes based on the traits of species?

4) 物种性状如何影响生态网络的结构 (Dáttilo et al. 2016, Thébault and Morris 2011)? How do species traits influence ecological network structure?

5) 生态网络中的结构特征如何影响生态系统的功能和稳定性 (Murphy et al. 2016)? How does the structure of ecological interaction networks affect ecosystem functioning and stability?

6) 哪些因素和机制决定了生态系统对外部扰动的弹性和恢复力？如何利用 Resilience et al. 2016)? Which factors and mechanisms determine the resilience of ecosystems to external perturbations and how do we measure resilience?

7) 我们如何识别一个生态系统何时将面临崩溃 (Lenton 2011)? How can we tell when an ecosystem is near a tipping point? 哪些生态系统对变化最敏感 (Scheffer et al. 2012)? 为什么？Which ecosystems are susceptible to abrupt shifting/tipping points and why?

8) 什么是生态系统中、空间及数量上极端例外的现象 (Fraser et al. 2011, Sternberg 2011)? Is Yellowstone the exception or the norm in ecological systems?

2 生态系统能量输入过程

9) 初级生产者多样性在多几何空间范围内下死亡还有哪些多样性 (Duffy et al. 2008, Cardinale et al. 2011)? Do what extent its primary producer diversity is driven off wider

community diversity?

10) 如何利用诸如个体大小和叶面积等简单性状的分布来预测群落属性及其对环境变的响应 (Wardle et al. 1998)? How well can community properties and responses to environmental change be predicted from the distribution of simple synoptic traits, e.g. body size, leaf area?

11) 植物如何对气候变化，如干旱等，做出响应 (Anderegg et al. 2019, Chardon et al. 2019, Miller and McGill 2019)? How do plants respond to climate change, e.g. drought, etc.?

12) 我们如何利用物种性状作为一个指标来预测营养级相互作用的强度(Otto et al. 2008)? How can we use species' traits as proxies to predict trophic interaction strength?

13) 干扰如何影响营养级之间的相互作用(Grabowski 2004, Sentis et al. 2015)? How do disturbances affect trophic interaction?

14) 营养级之间相互作用的变化对生态系统功能有多大影响(Schuldt et al. 2018)? How much do changes in trophic interactions affect ecosystem functioning?

3 生态系统生产过程

15) 植物固定的 C 在生长和呼吸之间的分配受什么机制控制(Atkin et al. 2000, Poorter 2002)? What mechanisms control the allocation of plant-fixed C between growth and respiration?

16) 净初级生产力和总初级生产力变化的机制是什么(Goulden et al. 2011)? What are the mechanisms for the changes in NPP and GPP?

17) C 分配的改变如何影响资源限制、资源获取和 NPP(Rennenberg 2015)? How do changes in allocation affect resource limitation, resource acquisition and NPP?

18) 生态系统中，除氮和磷(以及海洋中的铁)以外的营养物质如何影响生产力(Sutherland et al. 2013)? How do nutrients other than nitrogen and phosphorus (and iron in the sea) affect productivity in ecosystems?

4 生态系统分解过程

19) 分解作用对生态系统系统功能的意义是什么(Hattenschwiler et al. 2005)? What are the implications of decomposition for ecosystem functioning?

20) 全球变化引起的生物多样性丧失如何影响分解作用(Ball et al. 2008, Miki et al. 2014)? How does the loss of biodiversity due to global change affect decomposition?

21) 细菌和真菌在分解过程中的作用有何差异，为什么？What is the difference between the roles of bacteria and fungi during decomposition and why?

22) 由外界干扰引起的不同微生物类群（如细菌和真菌）相对比例的改变如何影响分解过程 (Peter et al. 2011)? How do the changes in the relative proportions of different microbial groups (e.g. bacteria and fungi) caused by external perturbations affect the decomposition processes?

23) 植物与微生物之间的相互作用如何影响生态系统分解过程(McCully 1999, Andrews and Harris 2000, Bais et al. 2004, Hinsinger et al. 2005)？How do plant-microbial interactions affect decomposition processes?

24) 除土壤微生物外，土壤动物对生态系统分解有什么影响(Gonzalez and Seastedt 2001)? In addition to soil microbes, what is the effect of soil animals on ecosystem decomposition?

25) 凋落物质量、环境因子和土壤微生物是影响分解过程中三个最重要的因子，其相对重要性如何(Cornwell et al. 2008, Wickings et al. 2012, Garcia-Palacios et al. 2016)? Litter quality, environmental factors and soil microorganisms are the three most important factors affecting the decomposition process, what is their relative importance?

26) 微生物对分解作用的影响是通过分泌与分解有关的酶，而不是在体内分解死有机质，为什么？Microorganisms influence decomposition by secreting extracellular enzymes rather than by breaking down dead organic matter in their body, why

27) 作为生态系统中一种重要的共生体，菌根对分解过程有何影响？不同菌根类型（如丛枝菌根和外生菌根）有什么差异？As an important symbiont in the ecosystem, how does mycorrhizae affect the decomposition processes? what are the differences between different mycorrhizal types (e.g. arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal)?

28) AMF 可以定殖在落叶中（不完全依赖于植物提供碳源？）(Bunn et al. 2019)，这一现象对分解作用以及其他生态系统功能有什么影响？AMF can colonize leaf litter (that is, not solely dependent on plant carbon sources) (Bunn et al. 2019). What is the implication of this phenomenon for decomposition and other ecosystem functions?

5 生态系统养分循环

29) 大气中的氮是如何进入到陆地生态系统的？How does atmospheric nitrogen enters

[illegible]

6 [illegible]

386. [illegible]

387. [illegible]

388. [illegible]

389. [illegible]

390. [illegible]

391. [illegible]

392. [illegible]

39) 在生物多样性变化的现实情况下，生态系统功能发生何变化的(Tilman et al. 1996, Tilman et al. 2014)? How is ecosystem function altered under realistic scenarios of biodiversity change?

40) 地下生物多样性如何影响地上生物多样性，反之亦然(Bardgett et al. 2013)? How does below-ground biodiversity affect above-ground biodiversity, and vice versa?

41) 地下生物多样性如何影响生态系统功能(Bardgett and van der Putten 2014, van der Heijden 2016)? How does belowground biodiversity affect ecosystem functioning?

42) 微生物多样性（功能型、物种、遗传多样性）与群落和生态系统功能之间的关系是怎样的(Cardinale et al. 2013)? What is the relationship between microbial diversity (functional type, species, genotype) and community and ecosystem functioning?

43) 生物入侵和本土物种的灭绝在多大程度上造成了生态系统被削弱呢? To what extent is biotic invasion and native species loss creating ecosystems with altered properties?

44) 不同时空尺度下，环境异质性如何影响生物多样性(Cardinale et al. 2013)? How do spatial and temporal environmental heterogeneity influence diversity at different scales?

45) 空间结构如何影响生态系统功能，我们如何在空间尺度内和空间尺度之间进行整合研究生态系统功能? How does spatial structure influence ecosystem function and how do we integrate within and between spatial scales to assess function?

46) 在随机或定向环境变化的情况下，哪些物种在功能上是冗余的?Which species are functionally redundant in the context of stochastic or directional environmental changes?

47) 跨越多个生态系统类型，乔木与木本植物长期共存的机制是什么(Cardinale et al. 2013)? Which mechanisms allow the long-term coexistence of grasses and woody plants over a wide range of ecosystems?

48) 稀有种对生态系统功能具有哪些程度的影响(Cardinale et al. 2013)? How important are rare species in the functioning of ecological communities?

49) 顶级捕食者数量下降对生态系统有什么影响? What is the impact of a decline in the number of top predators on the ecosystem?

7 人类活动与全球变化

50) 门槛概念在栖息地破碎化与丧失对生物多样性的影响是什么(Aguilar et al. 2008)? What are the impacts of fragmentation and loss of natural habitats on biodiversity (Aguilar et al.

2006)?

51) 采伐会对生态系统结构和动态产生什么样间接影响？What are the indirect effects of harvesting on ecosystem structure and dynamics (Sutherland et al. 2013)?

52) 全球变化（如大气 CO2 浓度升高、全球气温升高、土地利用变化等）将如何影响生态系统初级生产力(Cao and Woodward 1998)？How will global change affect primary productivity of terrestrial ecosystems?

53) 气候变化在多大程度上能够通过改变物候导致生态系统营养级联系解体(Edwards and Richardson 2004, Thackeray et al. 2016, Burgess et al. 2018, Renner and Zohner 2018)？To what extent will climate change uncouple trophic links due to phenological change?

54) 在全球变化下，是什么决定了物种是适应环境、改变生存范围还是走向灭绝(Onstein et al. 2018)？In the face of global change, what determines whether species adapt, shift their ranges or go extinct?

55) 种间相互作用如何影响物种对全球变化的响应(Singer et al. 2013, Mason et al. 2015)？How do interspecific interactions affect the response of species to global change?

56) 什么是灭绝债务(extinction debt)?其机制是什么？自然栖息地的破碎化和丧失对灭绝债务的影响有多大？什么时候支付？What is the magnitude of the 'extinction debt' following the loss and fragmentation of natural habitats, and when will it be paid (Kuussaari et al. 2009, Hylander and Ehrlén 2013)?

8 生态系统服务

57) 充分考虑生态系统结构异质性导致的生态系统服务异质性对于我们准确评价生态系统服务的意义是什么(Meyer 2005, Levine et al. 2016)？What is the implication of considering the heterogeneity of ecosystem services caused by heterogeneity of ecosystem structure for our accurate evaluation of ecosystem services?

58) 生态系统服务功能空间转移的机理、载体、过程、途径、方向和强度如何(Plummer 2009, Newton and Cordingley 2012, Ferrini et al. 2015, Khan et al. 2018)？What are the mechanisms, carriers, processes, approaches, directions and strengths of the spatial transfer of ecosystem services?

59) 生态系统服务功能在转移过程中会发生何种转化？其影响是什么？What transformation will take place in the transfer process of ecosystem service? What is the impact?

60) 哪些生态系统服务会影响到生态安全？What ecosystem services will affect ecological security?

61) 生态系统服务的空间格局对生态安全格局有什么影响？What impact does the spatial pattern of ecosystem services have on the ecological security pattern?

62) 生态系统服务的状况与生态安全阈值有何关系？What is the relationship between the state of ecosystem services and ecological security thresholds?

63) 如何建立一个生态安全评价体系和预警系统（如态系统服务受损害模拟、评估和预测）？ How to establish an ecological security assessment system and an early warning system (e.g. simulation, assessment and prediction of damage to ecosystem services)?

64) 如何建立一种更精确的评价方法来评价生态系统服务(Alexander et al. 1998, Dunford et al. 2018, Harrison et al. 2018, Rincon-Ruiz et al. 2019)？How to establish a more accurate evaluation method to assess ecosystem services?

65) 全球变化对不同类型生态系统服务的影响什么？哪些生态系统服务服务对全球变化最为敏感(Schroter et al. 2005, Tallis et al. 2012, Boone et al. 2017)？What are the impacts of global change on different types of ecosystem services? Which ecosystem services are most sensitive to global change?

9 生态学中的尺度问题

66) 环境的时空异质性是如何在不同尺度上影响生物多样性？How does spatiotemporal heterogeneity of environment affect biodiversity at different scales?

67) 空间结构如何影响生态系统功能？如何在不同空间尺度之内或之间整合来评估功能？How does spatial structure affect ecosystem function? How to evaluate functionality within or between different spatial scales?

68) 如何整合多尺度和类型的监测（从区域到全球的观测）来产生稳健的生态学推断？How do we combine multiple scales and types of monitoring (from field to earth observation) to make robust ecological inferences?

69) 广泛研究的生态学格局（物种多度分布、种-面积关系）在多大程度上反映了统计结果而不是生态学过程？To what extent are widely studied ecological patterns (species-abundance distribution, species-area relationship, etc.) the outcomes of statistical rather than ecological processes?

70) 决定生态系统变化大小和方向的最适基准是什么？What are the most appropriate

baselines for determining the magnitude and direction of ecological changes?

10 新技术和新方法在生态系统生态学研究中的应用

71) 高通量测序

72) 基因组学(Swenson and Jones 2017)

73) 转录组学(Swenson et al. 2017)

74) 核磁共振技术

75) 稳定性同位素

76) 生态系统天-空-地一体化监测与研究

77) 大数据和人工智能

参考文献

Aguilar, R., L. Ashworth, L. Galetto, and M. A. Aizen. 2006. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. Ecology letters 9:968–980.

Alexander, A. M., J. A. List, M. Margolis, and R. C. d'Arge. 1998. A method for valuing global ecosystem services. Ecological Economics **27**:161-170.

Anderegg, W. R. L., A. T. Trugman, D. R. Bowling, G. Salvucci, and S. E. Tuttle. 2019. Plant functional traits and climate influence drought intensification and land-atmosphere feedbacks. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America **116**:14071-14076.

Andrews, J. H., and R. F. Harris. 2000. The ecology and biogeography of microorganisms of plant surfaces. Annual Review of Phytopathology **38**:145-180.

Atkin, O. K., A. H. Millar, P. Gardeström, and D. A. Day. 2000. Photosynthesis, carbohydrate metabolism and respiration in leaves of higher plants. Pages 153-175 *in* R. C. Leegood, T. D. Sharkey, and S. von Caemmerer, editors. Photosynthesis: Physiology and Metabolism. Kluwer Academic Publishers, New York.

Bais, H. P., S. W. Park, T. L. Weir, R. M. Callaway, and J. M. Vivanco. 2004. How plants communicate using the underground information superhighway. Trends in Plant Science 9:26-32.