

全球变化对植物水分生理生态的影响

丁钰桐

浙江师范大学生命科学学院, 浙江 金华

收稿日期: 2023年12月28日; 录用日期: 2024年3月4日; 发布日期: 2024年3月13日

摘要

全球变化是当今世界面临的重大挑战, 涵盖气候变化、土地利用变化和人类活动等多个关键因素。植物作为生态系统的基石, 在这一变化过程中发挥着关键的角色。植物水分生理生态特征的变化对于生态系统的稳定性和可持续发展具有重要影响。深入研究全球变化对植物水分生理生态特征的影响以及植物对全球变化的响应机制对于揭示植物与环境之间的相互作用关系至关重要。目前, 有关全球变化如何影响植物的研究已受到学者们的广泛关注, 但大多聚焦于全球气候变化过程, 对土地利用变化和人类活动对植物的影响描述仍十分有限。本文旨在综述全球变化对植物水分生理生态特征的影响, 并重点关注气候变化、土地利用变化和人类活动对植物水分关键过程的影响。通过综合分析相关研究成果, 总结已有观察和实验结果, 本文对全球变化背景下植物水分生理生态特征的变化进行了全面深入的讨论。通过这样的努力, 为揭示植物与全球变化之间的复杂关系提供新的见解, 并为环境保护和生态可持续发展提供科学指导。

关键词

全球变化, 植物, 水分生理生态特征, 气候变化, 土地利用变化, 人类活动, 生态系统, 可持续发展

The Impact of Global Change on Plant Water Physiology and Ecology

Yutong Ding

College of Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua Zhejiang

Received: Dec. 28th, 2023; accepted: Mar. 4th, 2024; published: Mar. 13th, 2024

Abstract

Global change is a significant challenge facing the world today, encompassing multiple key factors such as climate change, land use change, and human activities. Plants, as the cornerstones of eco-

systems, play a crucial role in this changing process. Changes in plant water physiology and ecological characteristics have important implications for the stability and sustainable development of ecosystems. In-depth research on the effects of global change on the water physiology and ecological characteristics of plants, as well as the response mechanisms of plants to global change, is crucial for unraveling the interactions between plants and the environment. Currently, research on how global change affects plants has attracted widespread attention from scholars, but most of it focuses on the process of global climate change, with limited descriptions of the effects of land use change and human activities on plants. This paper aims to provide an overview of the impact of global change on the water physiology and ecological characteristics of plants, with a specific focus on the effects of climate change, land use change, and human activities on key processes related to plant water dynamics. By comprehensively analyzing relevant research findings and summarizing existing observations and experimental results, this paper presents a comprehensive and in-depth discussion on the changes in plant water physiology and ecological characteristics in the context of global change. Through such efforts, new insights into the complex relationship between plants and global change can be revealed, providing scientific guidance for environmental protection and sustainable ecological development.

Keywords

Global Change, Plants, Water Physiological and Ecological Characteristics, Climate Change, Land Use Change, Human Activities, Ecosystems, Sustainable Development

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球变化是当今世界面临的重大挑战，其中包括气候变化、土地利用变化和人类活动等多个关键因素[1] [2]。在这一变化过程中，植物作为生态系统的基石扮演着至关重要的角色。植物的水分生理生态特征的变化对于生态系统的稳定性和可持续发展具有重要影响。目前，学界广泛关注全球变化对植物的影响研究，然而大多聚焦于全球气候变化，而对土地利用变化和人类活动对植物的影响描述仍相对有限。因此，深入研究气候变化、土地利用变化和人类活动对植物水分生理生态的影响是当前全球变化领域的重要生态热点。了解全球变化对植物水分生理生态特征的影响以及植物对全球变化的响应机制是揭示植物与环境相互作用关系的关键。本文旨在综述全球变化对植物水分生理生态特征的影响，主要关注气候变化、土地利用变化和人类活动对植物水分关键过程的影响。通过深入了解这些影响，我们可以更好地把握植物对全球变化的响应机制，为保护生态系统的稳定性和可持续发展提供科学依据。在本论文中，我们将综合分析相关研究成果，总结已有的观察和实验结果，以期对全球变化背景下植物水分生理生态特征的变化进行全面而深入的讨论。通过这样的努力，我们希望为揭示植物与全球变化之间的复杂关系提供新的见解，并为环境保护和生态可持续发展提供科学指导。

2. 全球变化对植物水分生理生态的影响

2.1. 气候变化对植物水分生理生态的影响

气候变化是全球变化中的重要组成部分，对植物水分生理生态特征有重要影响。人类活动导致温室气体(如 CO₂、甲烷、氮氧化物、卤代烃)排放增加，进而导致全球气温上升[3] [4]。在过去的 100 年里，

全球平均气温上升约 0.6°C [5] [6]。预计到 2035 年, 全球气温将持续上升, 上升速度在 0.3~0.7°C 之间。同时, 中国的气候和环境也经历了显著变化, 在过去的几年中, 中国的地表年平均气温升高幅度约为 0.91°C, 略高于同期全球或北半球的平均升幅[7]。全球气温上升会导致季节温度变化和昼夜温差增加, 同时气温极值也会发生变化[8]。这样的气候变化导致降水模式发生变化, 使植物面临更加极端和不确定的气候条件[9]。研究气候变化对植物水分关键过程的影响有助于我们理解植物的适应策略和响应机制。

气候变化对降雨的分布和数量产生了显著的影响。气温升高和降水分布的改变导致水资源供应的不稳定性[10], 使得土地和植被面临更多的干旱胁迫[11]。据气候模型的预测结果, 纬度较高的地区未来的平均降水量可能会减少[12], 这可能会给全球不同区域带来严重干旱威胁[13]。全球范围内的研究显示, 目前干旱区域的面积已经占据了世界陆地总面积的 41% [14]。而且, Huang 等(2016)数据还表明, 全球的干旱和半干旱区域的范围正在快速扩大, 预计到本世纪末, 这些区域将占据全球面积的 50% 以上[11]。气候变暖引起的蒸发增加和降水减小导致土壤湿度下降。有机物质的扩散路径变得曲折, 进而导致植物营养获取受限随着土壤水分的减少, 植物体水分亏缺程度逐渐加剧[15]。根据前人的研究, 水分亏缺程度可以划分为两大类。一类是中度水分亏缺, 也被称为干旱胁迫。在这种情况下, 植物体的气孔会关闭, 气体交换速率减慢甚至停止, 导致组织含水量、膨压和水势下降, 同时引发萎蔫、细胞扩张减缓以及生长受到限制等一系列反应[16]。另一类是极其严重的水分亏缺, 也被称为干燥[17]。这种情况下, 植物体的代谢、细胞结构以及各种酶促反应都会受到破坏, 导致光合作用停止、代谢紊乱甚至整个植物体的死亡[18]。

CO₂ 浓度的不断上升已经成为全球变化的重要趋势之一。CO₂ 和其他温室气体的增多导致了地球表面气温的上升。植物的光合作用原料是二氧化碳(CO₂), 其对于植物的生长有直接的影响作用[19]。因此, 研究二氧化碳浓度升高对植物影响的问题已经成为全球变化领域的研究重点。分析众多实验结果, 显示 CO₂ 浓度的升高能够有效提升植物的光合速率[20]。然而, 学界亦存在对于 CO₂ 浓度对作物光合作用影响的短期和长期效应的不同看法。在短时间内, 高浓度的 CO₂ 可以显著提升植物的光合速率; 然而, 当长时间处于高浓度 CO₂ 环境下时, CO₂ 对植物光合速率的促进效果将逐渐减弱, 最终出现光适应现象[21] [22]。研究结果表明增加 CO₂ 浓度会导致植物叶片上的气孔关闭[23]。气孔关闭对植物有两个主要影响: 首先, 气孔关闭减少了叶片的蒸腾降温作用, 使叶温升高[24], 对植物的影响取决于地理位置和生育阶段。其次, 气孔关闭减缓了叶片的蒸腾速率, 因而使叶片光合作用的水分利用效率大大增加[25]。总体而言, CO₂ 浓度增加会降低植物的总蒸散发, 但由于其对植物生长的正面作用, 植物整个生育阶段或生育期内的耗水量仍略有增加。

最后, 气候变化还可能改变植物的生长季节和生活策略。全球气候变暖将导致部分物种被迫向更寒冷和湿润的地区迁移[26]。当前已有大量的研究和观察表明, 气候变化已经使物种的分布格局产生了改变, 许多物种开始向高纬度或高海拔地区迁徙[27]。海滨生态系统是承受全球气候变化引起的海平面上升等影响最为前沿的缓冲带[28] [29]。全球变暖导致海平面上升, 海水入侵加剧, 影响海滨植物生长[30]。外来物种能更好适应水位和盐度变化, 扩大分布区域。这将导致海滨植被面积减少、结构简单乃至消亡[31]。温度升高可能导致植物的生长期提前或延长, 影响它们的繁殖和生命周期[32]。一些研究还发现, 气候变化可能增加一些入侵植物的竞争力, 对原生植物的生态系统构成威胁[33]。

综上所述, 气候变化对植物的水分生理生态特征产生了显著影响。了解这种影响对于保护生态系统、合理利用资源以及应对气候变化具有重要意义。未来的研究需要进一步深入探讨植物对气候变化的适应机制, 为相关政策及措施的制定提供科学依据。

2.2. 土地利用变化对植物水分生理生态的影响

土地利用变化是全球变化的重要因素之一。土地利用涉及人类对土地の利用方式和覆盖类型, 其中

土地覆盖指的是陆地表面生态系统类型，如森林、草地和农田等。20 世纪以来，这种变化变得更加显著，全球大部分耕地就是在这个时期进行开垦的[34]。土地利用模式和土地覆盖类型的改变将对环境质量以及生态系统的结构和功能产生深远的影响。这些影响主要表现在土著物种数量减少和外来物种引入、土地的逐渐退化、土壤中碳和养分的流失、植被生产的变化、温室气体排放的增加，以及对区域气候的直接影响[35]。对植物水分生理生态特征的影响也非常显著。土地利用变化对植物水分生理的影响是一个复杂而全面的过程，涉及多个因素，例如植被类型、土壤水分和气候条件。随着人类活动的扩张和发展，大量林地被转化为农田或城市用地，土地覆盖的变化导致了植被类型和结构的改变，从而影响了植物对水分的响应特征。因此，研究土地利用变化对植物水分生理生态特征的影响，有助于我们更好地预测植物对未来土地利用变化的适应能力。

土地利用变化通常会引起植被类型和结构的改变，而这种改变会直接影响植物对水分和营养的获取，同时也影响植物的蒸腾作用。由于工业原料和农业生产的需求，大量森林正在退化为其他土地利用类型，特别是在热带地区。森林退化并转变为次生林或人工林已成为普遍现象[36]。这增加了土地利用强度并降低土壤质量[37][38]。这些变化进一步降低生态系统生产力[39]。例如，热带森林转为橡胶林，导致土壤有机质[40]、氮磷含量降低，容重增加[41]。森林通常具有较为密集的植被覆盖，可以有效保持土壤水分并减少水分蒸发[42]。然而，当森林被转化为农田或城市用地时，通常会导致森林树种被草本植物所替代，从而降低植物水分吸收能力和蒸腾作用。这样一来，森林生态系统天然的调节功能就会丧失，进一步加重了水分平衡的困难，除此之外，土地利用变化还可能导致植物根系系统的变化[43]，根系系统的变化也影响着水分吸收和分配。因此研究土地利用变化对植物的影响需综合考虑植物的生理响应，尤其是对水分的影响。

土地利用的改变对土壤水分状况有着重要的影响。不同的土地利用方式会导致土壤对降雨的入渗响应存在差异，这与地表植被覆盖和地下植被根系的分布紧密相关。一方面，植物的根系可以改变土壤的理化性质，增加土壤的孔隙度和透水性[44]。另一方面，根系的发育为水分提供了连续开放的通道，促进了“优先流”现象的发生[45]。在不同土地利用方式中，林地与降雨特征和土壤含水量之间的关联程度较好，其次是农地和草地，而裸地则表现最差。然而，裸地的土壤含水量在不同降雨强度下波动最大，这说明相对于裸地而言，林地、草地和农地对土壤水分的调控作用更为显著[46]。土地利用的变化显著降低了土壤的储水量，甚至中断了深层土壤水的补给。在城市化过程中，由于水泥化和排水系统的建设，土壤的排水能力可能受到限制，导致水分在土壤中滞留时间增加，进而影响植物根系的吸水和调节能力。因此，土地利用的改变不仅改变了土壤水分的分布和可利用性，还影响了植物对水分的获取和利用。

在城市化过程中，城市地区的大规模用地扩展会引发热岛效应的增加。热岛效应的存在使得城市地表温度显著高于周边农田和自然环境[47]。地表温度的升高进一步改变了植被覆盖和土壤水分的分布，削弱了城市生态系统对水资源的利用能力。同时，热岛效应也改变了城市降水模式和气候条件，导致城市地区的降水量增多、而不会引起降雨，即它不会提高降雨次数，从而导致极端天气增多[48]。这些气候变化对植物的水分利用效率和生长发育产生了深远的影响。酶在植物生长和物候变化中起着重要作用，而气温是主要影响因素。尤其是 1978 年以后，城市热岛效应成为影响市区树木物候变化的决定性因素[49]，于市区温度的升高以及无霜期的延长，极端低温现象趋向缓和。这使得原本不属于该区系的植物经过人类驯化后，在城市中得以繁殖和生长。然而，另一方面，温度的升高，尤其是极端高温的升高，也对某些植物的生长产生了限制。

综上所述，土地利用变化对植物水分生理具有明显的影响。随着人类活动的不断发展，研究土地利用变化对植物水分生理的影响对于我们更好地理解植物对未来土地利用变化的适应能力具有重要意义。未来的研究应该进一步探究不同土地利用类型和区域对植物水分生理的影响机制，以及如何通过科学合

理的土地管理措施来维持和促进植物的水分平衡，从而保护生态系统的稳定性和可持续发展。

2.3. 人类活动对植物水分生理生态的影响

人类活动对植物水分关键过程的影响是当今全球变化研究中的一个重要内容。随着人口的增长和经济的发展，人类活动对自然环境的干扰也越来越严重，而其中影响最为显著的之一就是对植被的水分供应和调节所产生的影响。例如过度放牧、过度开采地下水和水污染等，导致了植物根系的受损和水分的枯竭，对水分关键过程产生了直接或间接的影响。因此，对人类活动对植物水分生理生态特征的影响进行深入研究，有助于完善生态系统管理和保护策略。

草地是全球陆地生态系统的重要组成部分，在全国陆地面积中占据了 40.7% 的比例，是我国最广泛分布的植被类型[50]。作为草地生态系统最直接的利用方式，放牧对草地生态系统的健康有着重要的影响，草地退化问题一直是受到生态学家关注的科学难题[51]。放牧对草地生态系统的影响主要表现在植被、土壤和水分等方面[52]。适度的放牧可以促进植物的生长和发育[53]。这可能是因为适度放牧状态下草地凋落物较少、植物的蒸腾作用减少，土壤含水量较低，从而提高了植物对水分的利用效率[54]。然而，过度放牧会导致植物矮化，降低草地生态系统的生产力，进而降低草地植物对水分的利用效率[55] [56]。同时，重度放牧会对草地土壤结构产生影响，降低土壤孔隙度，使土壤含水量下降[57]。当重度放牧导致植物叶片被大量啃食后，受损叶片的光合产物受限，从而影响了叶片的呼吸和水分利用效率[54]。由于放牧压力过大，草木被过度啃食和践踏，植被覆盖率下降，植物根系的发育受到抑制，导致根系与土壤的连接变得脆弱[58]。这进一步导致土壤的侵蚀和水分的蒸发增加，从而扰乱了水分的关键过程。植物的水分吸收和输送能力也受到限制，对生态系统的水循环产生负面影响，进而对整个生态系统的稳定性造成了影响。

地下水是干旱地区的重要水源，全球干旱地区面积占世界陆地面积的 41%，其中三分之一的生物多样性保护热点分布在该地区[59]。然而，过度开采和污染地下水也是严重的问题。饮用、灌溉和其他需求对淡水的压力不断增加，对地下水开采提出了更大要求[60]。地下水的变化会直接影响植物的生长和分布。植物的根系是感知和获取资源的关键器官，影响地上部分的生长和土壤中水分养分的分布、运移和消耗[61]。地下水过浅会限制植物的生长，导致盐分积聚，从而影响植物的根系发育和水分养分的吸收[62]。当地下水埋深过低时，植物缺少水分会死亡，同时也抑制深根系植物的生长[63] [64]。与乔木和灌木相比，干旱区的草本物种根系较浅，对地下水埋深的波动更为敏感[65]。地下水的存在也改变了土壤水分的分布，进一步影响了植物的根系发育和水分养分的吸收。因此，保护干旱地区的地下水资源非常重要，对维持当地生态系统的平衡和可持续发展至关重要。

此外，大规模砍伐森林也是对植物水分关键过程产生直接或间接影响的人类活动之一。森林是地球上最重要的水源之一，它们不仅能够保持土壤湿润，还能够通过蒸腾作用将大量的水分释放到大气中，在维持水循环平衡方面起到了至关重要的作用。而当森林被大规模砍伐时，植被覆盖丧失，土壤暴露在阳光下，蒸发速度加快，水分的蒸散损失增加[66]。同时，砍伐森林还会破坏植物根系的完整性，降低根系的吸水能力，进而影响植物的生长和存活。

因此，深入研究人类活动对植物水分关键过程的影响是非常必要的。只有通过科学的研究和数据分析，我们才能更好地认识到人类活动对生态系统的影响，并制定出合理的生态系统管理和保护策略。保护和恢复植被是维护水循环平衡和生态系统健康的关键，需要加强监测和管理，避免过度放牧、过度开采地下水和大规模砍伐森林等活动的发生。此外，推广可持续的农业和林业模式，加强环境教育，提高人们的环保意识，也是保持生态平衡和保护植物水分关键过程的重要措施。

3. 结论

综上所述，全球变化对植物水分生理生态特征的影响是一个综合性的问题，涉及气候变化、土地利

用变化和人类活动等多个方面。通过深入研究全球变化对植物水分关键过程的影响，可以更好地理解植物对全球变化的响应机制，并为相关生态系统的管理和保护提供科学依据。本文通过综述相关文献，本文总结了以往全球变化下植物水分生理生态特征的变化及其响应机制的研究进展，阐述了当前研究的热难点问题，探讨研究方向包括：

1) 气候变化是全球变化中的重要组成部分，导致全球气温上升和降水模式发生变化，对植物水分关键过程和生态特征产生重要影响，使植物面临更加极端和不确定的气候条件。此外，CO₂浓度的增加也对植物光合作用和生长产生影响，虽然增加CO₂浓度可以提升植物的光合速率，但长期处于高浓度CO₂环境下会出现光适应现象。气候变化还可能改变植物的生长季节和生活策略，导致物种迁移和海滨植被减少、结构简单甚至消亡。此外，气候变化还可能增加一些入侵植物的竞争力，对原生植物的生态系统构成威胁。因此，研究气候变化对植物的影响对于理解植物的适应策略和响应机制非常重要。

2) 土地利用变化是全球变化的重要因素之一，涉及人类对土地的利用方式和覆盖类型。土地利用变化通常导致植被类型和结构的改变，从而影响植物对水分的响应特征。此外，土地利用变化还影响着土壤水分状况和可利用性，以及城市化过程中的热岛效应。这些变化对植物的水分获取和利用能力、生长发育和物候特征产生了深远影响。未来的研究应该进一步探究不同土地利用类型和区域对植物水分生理的影响机制，并寻找科学合理的土地管理措施，以维护和促进植物的水分平衡，从而保证生态系统的稳定性和可持续发展。

3) 人类活动对植物水分关键过程的影响是全球变化研究的重要内容。过度放牧、过度开采地下水 and 大规模砍伐森林等活动导致植物根系受损和水分枯竭，影响水分供应和调节。适度放牧可以促进植物生长，但过度放牧会降低植物生产力和水分利用效率。地下水的变化直接影响植物的生长和分布，浅埋的地下水限制植物生长，深埋的地下水抑制深根植物生长。大规模砍伐森林导致植被覆盖丧失，水分蒸散损失增加。研究人类活动对植物水分关键过程的影响有助于制定生态系统管理和保护策略，包括减少过度放牧、地下水过度开采和大规模砍伐森林等活动，推广可持续的农业和林业模式，提高环保意识。

参考文献

- [1] Vitousek, P.M. (1994) Beyond Global Warming: Ecology and Global Change. *Ecology*, **75**, 1861-1876. <https://doi.org/10.2307/1941591>
- [2] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553-558.
- [3] Houghton, J.T., Jenkins, G.J. and Ephraums, J.J. (1990) *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [4] (1992) *Climate Change 1992*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [5] (1995) *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC 1992 IS92 Emission Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [6] Lei, X.D., Peng, C.H., Tian, D.L., et al. (2007) Meta-Analysis and Its Application in Global Change Research. *Chinese Science Bulletin*, **52**, 289-302. <https://doi.org/10.1007/s11434-007-0046-y>
- [7] Intergovernmental Panel on Climate Change (2014) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- [8] Gates, D.M. (1993) *Climate Change and Its Biological Consequences*. Sinauer Associates, Sunderland.
- [9] Fischer, E.M., Beyerle, U. and Knutti, R. (2013) Robust Spatially Aggregated Projections of Climate Extremes. *Nature Climate Change*, **3**, 1033-1038. <https://doi.org/10.1038/nclimate2051>
- [10] Lin, R., Zhou, T. and Qian, Y. (2014) Evaluation of Global Monsoon Precipitation Changes Based on Five Reanalysis Datasets. *Journal of Climate*, **27**, 1271-1289. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00215.1>
- [11] Huang, J., Yu, H., Guan, X., et al. (2016) Accelerated Dryland Expansion under Climate Change. *Nature Climate Change*, **6**, 166-171. <https://doi.org/10.1038/nclimate2837>

- [12] Trenberth, K.E. (2011) Changes in Precipitation with Climate Change. *Climate Research*, **47**, 123-138. <https://doi.org/10.3354/cr00953>
- [13] Diffenbaugh, N.S., Singh, D., Mankin, J.S., *et al.* (2017) Quantifying the Influence of Global Warming on Unprecedented Extreme Climate Events. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **114**, 4881-4886. <https://doi.org/10.1073/pnas.1618082114>
- [14] Maestre, F.T., Delgado-Baquerizo, M., Jeffries, T.C., *et al.* (2015) Increasing Aridity Reduces Soil Microbial Diversity and Abundance in Global Drylands. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **112**, 15684-15689. <https://doi.org/10.1073/pnas.1516684112>
- [15] Stark, J.M. and Firestone, M.K. (1995) Mechanisms for Soil Moisture Effects on Activity of Nitrifying Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, **61**, 218-221. <https://doi.org/10.1128/aem.61.1.218-221.1995>
- [16] Shao, H.B., Chu, L.Y., Jaleel, C.A., *et al.* (2008) Water-Deficit Stress-Induced Anatomical Changes in Higher Plants. *Comptes Rendus Biologies*, **331**, 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.01.002>
- [17] Smirnov, N. (1993) Tansley Review No. 52. The Role of Active Oxygen in the Response of Plants to Water Deficit and Desiccation. *New Phytologist*, **125**, 27-58. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03863.x>
- [18] Bohnert, H.J. and Jensen, R.G. (1996) Strategies for Engineering Water-Stress Tolerance in Plants. *Trends in Biotechnology*, **14**, 89-97. [https://doi.org/10.1016/0167-7799\(96\)80929-2](https://doi.org/10.1016/0167-7799(96)80929-2)
- [19] 肖辉林. 森林衰退与全球气候变化[J]. 生态学报, 1994, 14(4): 430-436.
- [20] Sakai, H., Yagi, K., Kobayashi, K. and Kawashima, S. (2001) Rice Carbon Balance under Elevated CO₂. *New Phytologist*, **150**, 241-249. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2001.00105.x>
- [21] 李伏生, 康绍忠, 张富仓. 大气 CO₂ 浓度和温度升高对作物生理生态的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1169-1173.
- [22] 孙谷畴, 赵平, 曾小平, 等. 大气 CO₂ 浓度升高对香蕉光合作用及光合碳循环过程中叶氮分配的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(3): 429-434.
- [23] 杨惠敏, 王根轩. 干旱和 CO₂ 浓度升高对干旱区春小麦气孔密度及分布的影响[J]. 植物生态学报, 2001, 25(3): 312-316.
- [24] 张富仓, 康绍忠, 马清林. 大气 CO₂ 浓度升高对棉花生理特性和生长的影响[J]. 应用基础与工程科学学报, 1999, 7(3): 267-272.
- [25] 康绍忠, 蔡焕杰, 刘晓明. 大气 CO₂ 浓度增加对春小麦水分利用与蒸发蒸腾的影响[J]. 西北农业大学学报, 1995, 23(3): 1-5.
- [26] 吴纯新, 蒋朝常. 气候变化动植物物种生存受严重影响[J]. 科学大观园, 2022(12): 20-23.
- [27] 黎磊, 陈家宽. 气候变化对野生植物的影响及保护对策[J]. 生物多样性, 2014, 22(5): 549-563.
- [28] Christian, R.R. and Mazzilli, S. (2007) Defining the Coast and Sentinel Ecosystems for Coastal Observations of Global Change. *Hydrobiologia*, **577**, 55-70. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0417-4>
- [29] Deng, Z., Ouyang, Y., Xie, X., *et al.* (2010) The Effects of Primary Process of Global Change on Biological Invasion in Coastal Ecosystem. *Biodiversity Science*, **18**, 605-614. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1003.2010.605>
- [30] Schaeffer, M., Hare, W., Rahmstorf, S. and Vermeer, M. (2012) Long-Term Sea-Level Rise Implied by 1.5 C and 2 C Warming Levels. *Nature Climate Change*, **2**, 867-870. <https://doi.org/10.1038/nclimate1584>
- [31] Perry, J.E. and Atkinson, R.B. (2009) York River Tidal Marshes. *Journal of Coastal Research*, **10057**, 40-49. <https://doi.org/10.2112/1551-5036-57.sp1.40>
- [32] 郑景云, 葛全胜, 赵会霞. 近 40 年中国植物物候对气候变化的响应研究[J]. 中国农业气象, 2003, 24(1): 28-32.
- [33] Liu, J.H., Yong, X.H., Han, Q., *et al.* (2017) Response of Plant Functional Traits to Species Origin and Adaptive Reproduction in Weeds. *Plant Biosystems—An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, **151**, 323-330. <https://doi.org/10.1080/11263504.2016.1174171>
- [34] Houghton, R.A. (1995) Land-Use Change and the Carbon Cycle. *Global Change Biology*, **1**, 275-287. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.1995.tb00026.x>
- [35] Fang, J.Y., Tang, Y.H., Lin, J.D., *et al.* (2000) Global Ecology: Climate Change and Ecological Responses. Chinese Higher Education Press, Beijing.
- [36] Guillaume, T., Holtkamp, A.M., Damris, M., *et al.* (2016) Soil Degradation in Oil Palm and Rubber Plantations under Land Resource Scarcity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **232**, 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.002>
- [37] Viana, R.M., Ferraz, J.B.S., Neves Jr., A.F., *et al.* (2014) Soil Quality Indicators for Different Restoration Stages on

- Amazon Rainforest. *Soil and Tillage Research*, **140**, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.01.005>
- [38] Slam, K.R. and Weil, R.R. (2000) Land Use Effects on Soil Quality in a Tropical Forest Ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **79**, 9-16. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00145-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00145-0)
- [39] Paz-Kagan, T., Shachak, M., Zaady, E. and Karnieli, A. (2014) Evaluation of Ecosystem Responses to Land-Use Change Using Soil Quality and Primary Productivity in a Semi-Arid Area, Israel. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **193**, 9-24. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.04.024>
- [40] Van Straaten, O., Corre, M.D., Wolf, K., *et al.* (2015) Conversion of Lowland Tropical Forests to Tree Cash Crop Plantations Loses Up to One-Half of Stored Soil Organic Carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **112**, 9956-9960. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504628112>
- [41] Guillaume, T., Maranguit, D., Murtillaksono, K. and Kuzyakov, Y. (2016) Sensitivity and Resistance of Soil Fertility Indicators to Land-Use Changes: New Concept and Examples from Conversion of Indonesian Rainforest to Plantations. *Ecological Indicators*, **67**, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.039>
- [42] 吴溪, 史文娇, 陶福祿. 基于 Meta 分析的中国森林水源涵养空间分布数据集[J]. 全球变化数据学报(中英文), 2023, 7(1): 8-18, 125-135.
- [43] 杨思维, 张德罡, 牛钰杰, 等. 短期放牧对高寒草甸表层土壤入渗和水分保持能力的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(4): 96-101. <https://doi.org/10.13870/J.Cnki.Stbcbx.2016.04.017>
- [44] 甘春娟, 郑爽, 陈垚, 等. 氮素在雨水生物滞留系统多介质中的归趋与迁移特性[J]. 山东农业科学, 2019, 51(10): 71-77. <https://doi.org/10.14083/J.Issn.1001-4942.2019.10.014>
- [45] Kan, X., Cheng, J., Hu, X., *et al.* (2019) Effects of Grass and Forests and the Infiltration Amount on Preferential Flow in Karst Regions of China. *Water*, **11**, Article 1634. <https://doi.org/10.3390/w11081634>
- [46] 王佳珍, 张秋芬, 彭华, 等. 不同土地利用方式下次降雨对土壤含水量深层变化的影响[J]. 水土保持研究, 2023, 30(3): 69-75. <https://doi.org/10.13869/J.Cnki.Rswc.2023.03.039>
- [47] Craul, P.J. (1985) A Description of Urban Soils and Their Desired Characteristics. *Journal of Arboriculture*, **11**, 330-339. <https://doi.org/10.48044/jauf.1985.071>
- [48] Baik, J.J., Kim, Y.H. and Chun, H.Y. (2001) Dry and Moist Convection Forced by an Urban Heat Island. *Journal of Applied Meteorology*, **40**, 1462-1475. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<1462:DAMCFB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<1462:DAMCFB>2.0.CO;2)
- [49] Luo, Z., Sun, O.J., Ge, Q., *et al.* (2007) Phenological Responses of Plants to Climate Change in an Urban Environment. *Ecological Research*, **22**, 507-514. <https://doi.org/10.1007/s11284-006-0044-6>
- [50] 刘孝颖. 放牧强度对山西右玉草地生态系统土壤真菌多样性的影响[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2020. <https://doi.org/10.27493/D.Cnki.Gzdz.2020.001418>
- [51] 李文, 曹文侠, 李小龙, 等. 放牧管理模式对高寒草甸草原土壤养分特征的影响[J]. 草原与草坪, 2016, 36(2): 8-13, 20. <https://doi.org/10.13817/J.Cnki.Cyycp.2016.02.002>
- [52] 刘树敏. 不同放牧压力下大兴安岭西麓草甸草原群落土壤特征及水分利用变化研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2016.
- [53] 任继周, 胡自治, 牟新待, 等. 草原的综合顺序分类法及其草原发生学意义[J]. 中国草原, 1980(1): 12-24, 38.
- [54] 王云英, 裴薇薇, 辛莹, 等. 放牧对中国北方草地生态系统水分利用效率的影响[J]. 草原与草坪, 2021, 41(4): 49-55. <https://doi.org/10.13817/J.Cnki.Cyycp.2021.04.007>
- [55] 刘秀梅. 不同放牧强度对荒漠草原土壤特性和地上生物量的影响[J]. 草食家畜, 2017(3): 45-48. <https://doi.org/10.16863/J.Cnki.1003-6377.2017.03.008>
- [56] 闫瑞瑞, 辛晓平, 王旭, 等. 不同放牧梯度下呼伦贝尔草甸草原土壤碳氮变化及固碳效应[J]. 生态学报, 2014, 34(6): 1587-1595.
- [57] 舒锴, 柯浔, 辛莹, 等. 青藏高原多稳态高寒草甸生态系统蒸散特征对比研究[J]. 草原与草坪, 2019, 39(6): 83-88. <https://doi.org/10.13817/J.Cnki.Cyycp.2019.06.012>
- [58] 王长庭, 王启兰, 景增春, 等. 不同放牧梯度下高寒小嵩草草甸植被根系和土壤理化特征的变化[J]. 草业学报, 2008, 17(5): 9-15.
- [59] 杨子凡. 全球旱地 1948-2008 年温度和降水的变化特征[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [60] 宫兆宁, 宫辉力, 邓伟, 等. 浅埋条件下地下水-土壤-植物-大气连续体中水分运移研究综述[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(Z1): 365-373.
- [61] 杨建锋, 万书勤. 地下水对作物生长影响研究[J]. 节水灌溉, 2002(2): 36-38.

- [62] 刘波, 曾凡江, 郭海峰, 曾杰. 骆驼刺幼苗生长特性对不同地下水埋深的响应[J]. 生态学杂志, 2009, 28(2): 237-242.
- [63] 马龙, 刘廷玺. 科尔沁沙地植物生态型与地下水位及土壤水分的关系研究[J]. 中国沙漠, 2007, 27(3): 391-396.
- [64] 朱林, 许兴, 毛桂莲. 宁夏平原北部地下水埋深浅地区不同灌木的水分来源[J]. 植物生态学报, 2012, 36(7): 618-628.
- [65] 王希义, 徐海量, 潘存德, 等. 塔里木河下游地下水埋深对草本植物地上特征的影响[J]. 生态学杂志, 2015, 34(11): 3057-3064. <https://Doi.Org/10.13292/J.1000-4890.20151023.001>
- [66] Laurance, W.F. (2007) Forests and Floods. *Nature*, **449**, 409-410. <https://doi.org/10.1038/449409a>