

# 荒漠草原生态系统 对气候变化的生态响应

——以宁夏盐池荒漠草原为例

李建平 张翼 罗叙 陈婧◎著



黄河出版传媒集团  
宁夏人民出版社

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

荒漠草原生态系统对气候变化的生态响应: 以宁夏盐池荒漠草原为例 / 李建平等著. -- 银川: 宁夏人民出版社, 2021.4

ISBN 978-7-227-07460-1

I. ①荒… II. ①李… III. ①气候变化-影响-草原生态系统-研究-盐池县 IV. ①S812.29

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 068779 号

荒漠草原生态系统对气候变化的生态响应  
——以宁夏盐池荒漠草原为例

李建平 张翼 著  
罗叙 陈婧

责任编辑 杨敏媛  
责任校对 陈晶  
封面设计 沈家菡  
责任印制 马丽



黄河出版传媒集团  
宁夏人民出版社

出版发行

出版人 薛文斌  
地址 宁夏银川市北京东路 139 号出版大厦 (750001)  
网址 <http://www.yrpubm.com>  
网上书店 <http://www.hh-book.com>  
电子信箱 [nxrmebs@126.com](mailto:nxrmebs@126.com)  
邮购电话 0951-5052104 5052106  
经销 全国新华书店  
印刷装订 宁夏银报智能印刷科技有限公司  
印刷委托书号 (宁) 0020468

开本 787 mm × 1092 mm 1/16  
印张 12  
字数 200 千字  
版次 2021 年 4 月第 1 版  
印次 2021 年 4 月第 1 次印刷  
书号 ISBN 978-7-227-07460-1  
定价 42.00 元

版权所有 侵权必究

# 前 言

气候变化引起的生态系统结构和功能的改变对自然以及人类社会产生了巨大而深远的影响，以温度升高和降水变化为特征的气候变化已经成为事实。荒漠草原生态系统是干旱、半干旱区重要的生态系统类型，由于其易受养分流失、干旱胁迫、沙漠化等影响，稳定性差，对于气候变化具有先天性的脆弱性和敏感性。但是荒漠草原生态系统在西部区域可持续发展、生态屏障建设及绿水青山建设等方面起到“短板效应”作用，是区域环境、农业、社会及经济可持续发展的关键。

荒漠草原生态系统对增温和降水变化的敏感性、荒漠草原的重要生态地位及气候变化的必然性，决定了研究荒漠草原生态对于气候变化的生态响应至关重要。在气候变化背景下，明确荒漠草原生态系统对气候变化的生态响应机理，为荒漠草原生态区人与自然和谐发展提供借鉴，为荒漠草原制定合理的应对气候变化策略提供科学支撑。

本研究团队长期从事气候变化对荒漠草原生态系统的影响，2016年以来在宁夏大学草学一流学科建设项目（NXYLXK2017A01）和自治区重点研发计划项目（2020BEG03046）的支持下，以毛乌素沙地南缘荒漠草原为研究对象，采用模拟降水和增温技术，系统研究了增温和降水变化背景下荒漠草原植被、土壤及微生物的变化动态，初步评价了生态系统

功能对于增温和降水变化的响应。另外，本项工作还得到中科院水利部水土保持研究所、盐池县科学技术局、宁夏气象局专家的支持和帮助。在此，谨向所有关心、支持、帮助、资助本项工作及本书出版的单位和专家表示诚挚的谢意。

由于我们学识水平有限，遗漏和不当之处在所难免，殷切希望读者提出批评和指导，也希望与致力于气候变化研究的专家、学者开展合作。

<b>1 荒漠草原概况及主要问题</b>	
1.1 荒漠草原的分布 .....	001
1.2 荒漠草原存在的主要问题 .....	003
1.3 荒漠草原管理与利用 .....	009
1.4 宁夏荒漠草原特征 .....	012
1.5 小结 .....	017
<b>2 宁夏荒漠草原气候变化特征</b>	
2.1 陆地降水变化特征 .....	021
2.2 陆地温度变化特征 .....	025
2.3 宁夏荒漠草原温度和降水季节性特征 .....	031
2.4 宁夏荒漠草原其他气象因素 .....	035
2.5 小结 .....	037
<b>3 降水变化和增温对荒漠草原植被特征的影响</b>	
3.1 降水变化对草原植物多样性的影响 .....	040
3.2 降水变化和增温对草原植物优势种的影响 .....	046
3.3 不同降水处理对荒漠草原优势种的影响 .....	047
3.4 增温处理对荒漠草原优势种的影响 .....	054

3.5	增温与降水量交互处理对荒漠草原优势种的影响 .....	059
3.6	降水变化和增温对草原植物叶片光合作用的影响 .....	066
3.7	降水变化和增温对草原植被凋落物的影响 .....	087
3.8	小结 .....	092
<b>4</b>	<b>降水变化和增温对荒漠草原土壤特征的影响</b>	
4.1	降水变化和增温对荒漠草原土壤团粒结构的影响 .....	095
4.2	降水变化和增温对荒漠草原土壤 C、N、P 化学计量的影响 .....	098
4.3	降水变化和增温对荒漠草原土壤水分的影响 .....	107
4.4	降水变化和增温对荒漠草原土壤呼吸的影响 .....	119
4.5	小结 .....	126
<b>5</b>	<b>降水变化和增温对土壤微生物多样性的影响</b>	
5.1	降水变化和增温对细菌特征的影响 .....	129
5.2	降水变化和增温对真菌特征的影响 .....	132
5.3	微生物功能分析 .....	136
5.4	土壤微生物多样性与环境因子关系 .....	144
5.5	小结 .....	147
<b>6</b>	<b>荒漠草原生态系统服务功能</b>	
6.1	草原生态系统服务类型的划分 .....	149
6.2	草原生态系统服务类型的界定 .....	151
6.3	荒漠草原生态系统服务案例 .....	154
6.4	小结 .....	171
	参考文献 .....	172

# 1 荒漠草原概况及主要问题

荒漠草原作为草原中最早生的类型，在全球范围内主要分布于低纬度干旱区和极度干旱区。我国荒漠草原主要分布在内蒙古东部、新疆西部以及宁夏东部。近年来荒漠草原的植被结构逐渐矮化、弱化，毒、害草增多，草地生产力下降，土壤沙化、地下水位下降、土壤养分降低，土壤微生物及土壤酶活性降低等退化问题逐渐浮现。宁夏作为我国荒漠草原的重要分布区域，人口增多带来的草地资源利用压力过大及气候变化而导致的土地沙化、盐渍化和病虫害等严重威胁草原的健康发展。因此，国家及地方政府先后出台并实施了一系列政策措施，有效维持了草场资源，促进了畜牧业的健康发展。

## 1.1 荒漠草原的分布

荒漠草原是温带草原植被中旱生性最强的草原植被亚型，群落中的建群种由旱生丛生小禾牧草组成，同时伴生大量的强旱生杂草和强旱生小灌木及半灌木，并在群落中形成稳定的优势片层（卫智军，2013）。

荒漠草原主要生长一些耐旱、叶小而少且根深的植物，人类不合理的开垦、放牧、开矿等活动，加速了草原荒漠化的进程。草原荒漠化一方面受降水、蒸发、温度及大气温度等自然条件影响，另一方面人类不合理的经济活动也是引起荒漠化的主要原因。不过，部分荒漠化草原通过人为干预，如围栏封育措施等，也可减轻荒漠化程度，使其逐渐转化为草原。荒漠草原的分布极其广泛，除南极洲以外各大洲均有分布，大部分位于北纬  $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$  和南纬  $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$  的极度干旱和半干旱气候区。

在我国，内蒙古的京二线以西地区（如西苏旗等地）是荒漠草原的主要分布区，如内蒙古西部、新疆东部、宁夏东部等地均有荒漠草原分布。荒漠草原地区生态环境严酷，气候干燥，少雨，属于大陆性气候，且年降水量一般只有 200 mm 左右，生产力较低，但是这些地区也盛产很有价值的特殊植物，如发菜等。

宁夏草地类型主要有低地盐化草甸类、暖性草丛类、沼泽类、温性山地草甸类、温性草原化荒漠类、温性草原类、温性草甸草原类、温性荒漠类以及温性荒漠草原类。荒漠草原类是宁夏全区分布面积最大的水平地带性草场植被类型。主要分布于毛乌素沙地南缘，属于典型的农牧交错带，包括盐池县、同心县、海原县中北部、中宁县、灵武山区及引黄灌区黄河以西。另外，贺兰山山麓洪积平原的广阔地区，按其地理位置和植被类型分也属荒漠草场（吴素琴等，2005）

## 1.2 荒漠草原存在的主要问题

### 1.2.1 我国荒漠草原存在的问题

草地作为人类赖以生存的环境及畜牧业发展的重要基地，是陆地生态系统的重要组成部分，也是抵御荒漠化的最后一道绿色生态屏障，其具有涵养水源、防风固沙、保持水土、净化空气、降低噪音、调节气候以及维护生物多样性等重要的生态、经济和社会功能。

荒漠草原主要由自然环境及人为活动的影响形成，属于自然带的一种，是草原中最早生的类型。因其特殊的生态地理位置，在国家生态安全格局中发挥着极其重要的作用，同时也成为了我国北方生态屏障的前沿。荒漠草原蒸发量远远大于降水量，天然草地超载过牧普遍，虽已开展保护和恢复治理，但因恢复周期较长，成效难以在短期内显现，加之近年来耕地面积不断扩大，以及对地下水资源过度开发，已严重威胁区域生态安全（刘丽，2018；王永嘉，2017）。有研究表明，制约荒漠草原区牧业发展最关键的因素是水（孟元，2017），然而地处北方的内蒙古草原面积和水资源比重严重失调，温性和暖温性荒漠草原区的失调问题更为突出，年降水量最少时小于 200 mm，350 mm 的年降水量在 30 年中只有 6 次（中国气象数据网）。内蒙古自治区鄂尔多斯市鄂托克前旗荒漠草原连续放牧、超载过牧使得草地生产力不断下降，毒害草种类和数量增多，生态破坏严重，恢复迫在眉睫（李鑫，2018）。荒漠草原对于气候变化和人类活动的影响最为敏感，荒漠草原生产力下降、生态环境恶化等问题对人类的生存环境及农业生产构成严重威胁（高二友，

2010)。

荒漠草原的退化是草与地的双重退化，其主要表现在生物群落的逆向演替、土地荒漠化，进而导致草地生产力及载蓄能力的下降。草原退化是生态系统的一种群落逆向演替过程，其生物群落特征变化主要表现在群落结构的改变向矮化、弱化方向发展 (Lan Hua LI., 2013)。研究发现小针茅草原、短花针茅草原是现内蒙古荒漠草原的主要植被类型，持续放牧导致草地退化，演替序列为小针茅草原→小亚菊 (*Ajania achilloides*) + 小针茅→无芒隐子草 (*Cleistogenes songorica*) 变型 + 小亚菊→冷蒿 + 小针茅→冷蒿 + 无芒隐子草变型，短花针茅草原→短花针茅 + 冷蒿→冷蒿 + 无芒隐子草，小亚菊群落变型在高强度的放牧利用下可趋于阿氏旋花 (*Convolvulus ammanni*) 群落变型 (刘钟龄, 2002)。与典型草原相比而言，荒漠草原群落结构组成更为单一，且对于过度放牧、开垦等人为干扰的反应更敏感。对短花针茅荒漠草原退化演替阶段的研究发现，随着退化程度的加剧，短花针茅草地群落生物量呈下降趋势，而植物群落的生物多样性指数在不同退化梯度下无显著差异。王合云等 (2015) 研究发现短花针茅草原群落生物量、高度及盖度均随草地退化程度增加而降低，而群落密度以及群落多样性却呈相反趋势。吴永胜等 (2010) 对内蒙古退化荒漠草原土壤细菌群落进行研究发现，荒漠草原土壤细菌多样性指数随着草地退化程度的加剧呈降低趋势。米景川等 (2003) 通过对内蒙古北部荒漠草原啮齿类动物的群落演替研究发现，由于自然的(常年干旱、土壤风蚀等)和人为(过度放牧和不合理开垦等)因素的干扰和破坏，荒漠草原植被群落发生明显次生演替，并且分布在该区域内的啮齿动物也随着草地植被群落的演替呈现出不同程度的群落

演替现象(米景川, 2003)。

在土壤、水文等环境变化中, 土地沙化、盐碱化、地表颗粒粗化、土壤容重增大、渗透性减小、地下水位下降等是荒漠草原退化的主要表现(唐庄生, 2016; 丁延龙, 2016)。土壤物理、化学、生物学指标中土壤粉粒、土壤质量含水量、有机质、pH 值、全磷、速效钾等对土壤退化较为敏感(红梅敖登高娃等, 2009)。土壤微生物数量、生物量以及土壤酶活性随退化程度加剧而表现出递减规律, 土壤养分中除钾以外其他各项指标也随土壤退化程度呈递减趋势。内蒙古荒漠草原土壤中有有机碳含量和微生物数量均随退化程度增加而减少, 并且其总量均在夏秋季多冬春季少, 且两者呈显著正相关(吴永胜等, 2010)。

## 1.2.2 宁夏荒漠草原存在的问题

### 1.2.2.1 宁夏荒漠草原的现状

宁夏荒漠草原自然条件为 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的年积温  $3300^{\circ}\text{C} \sim 3700^{\circ}\text{C}$ , 年均温  $6.5^{\circ}\text{C} \sim 8.0^{\circ}\text{C}$ , 湿润度 K 值  $0.5 \sim 0.8$ , 年降水量  $200 \sim 300 \text{ mm}$ , 无霜期短, 年蒸发量达  $2200 \text{ mm}$ , 当地风蚀面积达  $125.71 \text{ 万 hm}^2$ , 年均大风日  $24 \text{ d}$ , 最长达  $53 \text{ d}$ 。地带性土壤主要以细沙和粉沙为主的灰钙土, 其疏松多孔, 易于沙化。长期以来严重超载过牧, 滥垦乱挖, 致使生态功能脆弱, 导致该地区天然草原长时间、大范围的退化和沙化, 使得植被结构简单, 覆盖度低, 大面积植被越来越稀疏, 严重阻碍了牧草品质及其生产力。

### 1.2.2.2 宁夏荒漠草原成因及存在的主要问题

#### 1.2.2.2.1 人口增加造成草原资源利用压力过大

宁夏草原沙化严重的荒漠草原和干草原类型一般均分布在贫困地区，人口数量超出了耕地的承受力；为了解决人口增加导致日益增长的粮食需要，便无限开垦草原，扩大耕地，破坏了草场，造成严重沙化，导致草原资源利用的恶性循环。

#### 1.2.2.2.2 滥挖甘草、滥采樵

甘草在宁夏荒漠草原地区生产较多，供求紧张，导致采挖量增大，严重破坏草场植被，造成土壤沙化。据盐池县实测，每挖一斤甘草要破坏 $5\text{ m}^2$ 的草场。荒漠地区的居民常用沙蒿、柠条、白刺、猫头刺等固沙植被作燃料，盐池县节能改灶组估算，每年烧柴4000万kg，全靠打沙蒿、白刺、柠条和猫头刺等解决，可见其对植被破坏的严重性。

#### 1.2.2.2.3 家畜存栏数增加，偷牧较为严重



图 1-2-1 荒漠草原偷牧



图 1-2-2 荒漠草原偷牧

退牧还草工程之前，由于风沙危害，草产量和质量急剧下降，更兼载畜过量，没有建立合理的轮牧制度，畜群来回啃食践踏，也进一步加深了土壤沙化和草场退化。围栏封育后，家畜存栏数不断增加，牧草供给紧张，偷牧现象普遍存在，对于荒漠草地保护性恢复造成破坏。

#### 1.2.2.2.4 草原沙化严重

受毛乌素沙地和腾格里沙漠干热气候影响，草原易沙化；因生物多样性低，生态系统结构不稳定，草原植被极易发生病虫害。受生态移民增加、乱垦滥耕等人为因素影响，矿产土地开发、太阳能发电、风电项目建设等项目占地，造成草原植被斑块化破碎，草原类型从 20 世纪 80 年代的 11 大类 353 型，减少到 2018 年的 6 大类 145 型，草原面积萎缩严重，草地荒漠化程度加重。

#### 1.2.2.2.5 土地盐渍化问题突出

盐积层盐分含量大于 10 g/kg，土壤 pH 值大于 10，扬黄灌区地形比

较低、排水不畅，盐分随水蒸发而在表层聚积，因人类围湖造田放牧，使湖泊河流水系互不连通，湿地面积不断压减萎缩，土壤中的盐分不能顺畅排出，导致土壤盐化、盐渍化问题严重。

#### 1.2.2.2.6 采矿活动对荒漠草原造成一定破坏

荒漠草原区内煤炭、砂石料等矿产资源类型多样，需求量及开采强度较大，历史遗留废弃露天矿山达 78 处，破坏面积约为 3500 hm<sup>2</sup>；矿山采空区地面塌陷、滑坡、崩塌等地质灾害破坏周围植被，使地形地貌破碎；连片矿山开采破坏大面积原生植被，地表裸露，风蚀水蚀加剧；矿山固体废弃物排放污染地表水、地下水和土壤，造成水源污染和土壤面源污染。

#### 1.2.2.2.7 草原病虫鼠害



图 1-2-3 草原鼠类危害植被

随着草原生态系统顶级消费者（如狐狸、老鹰）数量显著减少，草原植食性动物，尤其是啮齿类动物数量剧增，造成荒漠草原植被破坏日益加剧，因此草地生态系统保护成为目前应关注的核心因素。



图 1-2-4 绿芫菁啃食柠条

另外，荒漠草原系统的脆弱性导致其对于病虫害的抵御能力较弱，病虫害时有发生，不仅破坏了生态系统的平衡性，制约了草原畜牧业的发展，同时也影响了毗邻的旱作农田生态系统的稳定性。

## 1.3 荒漠草原管理与利用

### 1.3.1 荒漠草原管理与利用

在我国，荒漠化的治理原则应当在保障社会经济可持续发展的前提下，以预防为主，充分高效地利用有限的水资源，依靠先进的科学技术治理荒漠化土地，逐步改善环境，促进自然生态系统的自我恢复。主要恢复措施包括以下几种。

#### 1.3.1.1 减少超载放牧

在特定自然条件下，单位面积的草场只能供应一定数量牲畜的活动。但若无限制过分频繁地放牧，牲畜的过度啃食会使牧草来不及生长，来不

及积累有机质，势必使草丛变得越来越矮，且产量越来越低。不仅如此，那些牲畜爱采食的优良牧草受害最重，影响最大，而那些牲畜不喜采食的有毒植物却得以保存下来。这就是为什么退化的草地一方面表现为植物生物量低，趋于小型化，另一方面表现出有毒植物相对增多的特点。

#### 1.3.1.2 综合治理退化草地

我国有 60 亿亩草地，其中 90% 以上处于不同程度退化之中，而草原退化防治的根本与关键，是如何改良、利用这 90% 的退化草地。对于退化草地，我们不能不用，关键是在用中改良，合理使用本身是一种科学管理。另外，不可能只用一种办法处理退化草地的合理利用与改良，因为这是一个复杂的问题，因此要采取多种措施，贯彻综合治理的思想。其中主要的措施有围栏封育、松土改良、补播、施肥等。

#### 1.3.1.3 加强生态治理的法律保障

近年来，各级政府为草原的保护和生态治理提供了法律保障，相继出台了生态治理草原的相关法律法规。“依法保护”被称为“政策法律保护”或“意识保护”，能取得事半功倍的效果。其特点是投资少，治理面积大，效果明显。发挥政策和法律的威力，在做好宣传教育工作的基础上，大面积保护草原，使其“休养生息”，借助自身的“元气和力量”，有可能再度恢复往日生机。

#### 1.3.1.4 明确治理目标，突出治理重点

限制载畜规模，促进草原良性循环，实现永续利用。严禁开垦和滥用草原，恢复草原植被，加快退化草原治理，制定科学合理的草原利用规程，促进和维护草原生态良性循环，建立功能多样的草原自然保护区。整合推广草原治理适用技术，在草的生长期运用人工增雨手段，

改善草的生长条件，促进草原生态恢复。加强牲畜棚圈、饲草饲料储备等设施建设，积极促进草原改良、优质高产人工草地和商品草基地建设；完善草原承包经营责任制，引导草原承包经营权流转和集中经营，鼓励多元化的资金投入，建立现代家庭牧场、专业合作社等生产经营模式；按照草畜平衡的要求发展现代草地畜牧业，转变草原畜牧业发展方式，推进集约经营，建立现代草业体系，实现对草原可持续利用和生态、经济、社会的可持续发展（高二友，2010）。

### 1.3.2 宁夏荒漠草原管理举措

宁夏作为典型的农牧交错带，长期粗放型的放牧方式加之干旱少雨，不仅使其广阔的草场资源遭到严重破坏，还加剧了气候条件的恶化，严重影响了草地生态系统的平衡。为了有效遏止生态环境的持续恶化，政府先后出台了一系列政策措施，对草场资源和畜牧业健康有序发展进行了有效维持。

实施人工柠条林带的生态治理工程，在荒漠草原区进行围栏封禁，通过补植补造，抚育复壮，形成大面积的人工柠条植被，呈现连片分布态势。

实施荒漠草原带生态治理工程，尊重自然，尊重科学，以自然恢复为主，辅之人工修复措施，在年降水 200 ~ 400 mm 地区，播撒适生乡土乔灌草籽；在年降水 200 mm 以下地区，补播趋于退化的植被类型草种，恢复原生植被，提升生态保护自愈能力。在草地植被状况不佳的区域，通过人工种草、散播草籽、补播改良治理草原；在水土条件较好的区域点缀恢复乔灌木植被，提高林草综合覆盖度。