



高寒—荒漠脆弱区 植被生态效应研究

徐满厚 著

GAOHAN-HUANGMO CUIRUOQU
ZHIBEI SHENGTAI XIAOYING YANJIU

中国环境出版社

国家自然科学基金委员会、山西省科技厅、山西省教育厅资助项目

高寒-荒漠脆弱区植被生态效应研究

徐满厚 著

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

高寒-荒漠脆弱区植被生态效应研究/徐满厚著. —北京:
中国环境出版社, 2017.6
ISBN 978-7-5111-3160-7

I. ①高… II. ①徐… III. ①寒冷地区—荒漠—
植被—植物生态学—生态效应—研究 IV. ①Q948.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 088308 号

出 版 人 王新程
责任编辑 侯华华
责任校对 尹 芳
封面设计 宋 瑞



更多信息, 请关注
中国环境出版社
第一分社

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67112735 (第一分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中献拓方科技发展有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2017 年 6 月第 1 版
印 次 2017 年 6 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 14.75
字 数 240 千字
定 价 46.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

序

由温室气体增加引起的全球气候变化已成为不容置疑的事实，高寒地区对温度升高的响应更为敏感而迅速。有“中华水塔”和“世界第三极”之称的青藏高原属于气候变化的敏感区和生态脆弱带，是研究陆地生态系统对气候变化响应机制的理想场所。青藏高原地区平均气温以每年 0.032°C 的速率升高，随着全球变暖，青藏高原气候呈现暖化趋势，而气候因素的变异成为诱发其生态变异的动力。在气候变暖的背景下，植物的物候与生长、光合特征、生物量生产与分配都会随之发生改变，从而对陆地生态系统植物光合器官和支持器官碳库产生影响，而对地上植被和土壤起连接作用的植物凋落物的土壤分解也会因土壤生物活性的改变而发生变化，从而对土壤有机碳含量及土壤呼吸产生影响，进而影响陆地生态系统凋落物碳库和土壤有机物碳库。作为青藏高原较为典型的植被类型，高寒草甸是适应高原隆起与长期低温形成的特殊产物，是典型的高原地带性和山地垂直地带性植被。但高寒草甸生态系统极其脆弱，对气候变化和人类干扰极为敏感，一旦遭受破坏很难在短期内得以恢复，并可能导致草地退化和沙漠化。国内外研究普遍认为，气候变化和人类活动是造成草原退化的两大因素。在气候背景一致的区域，人类活动对植物施加的影响超过其他环境因子的影响，成为控制群落特征的主导因子。近年来，由于受气候变化和土地利用方式变化的双重影响，过度放牧致使毒杂草类物种增加，引起群落功能下

降,甚至导致草地退化。因此,研究青藏高原高寒植被在气候变化和人类干扰下的反应与适应等过程已成为诸多科学家所关注的问题,其研究结果可为高寒地区植被的保护和利用,防止草地退化和沙漠化提供理论参考。

相对于高寒地区,荒漠地区因其气温高、降水稀少、蒸发强烈,导致土壤恶劣、植被盖度低,致使荒漠地区受气候变化和人类干扰影响大,其生态系统也极为脆弱。在准噶尔盆地南缘的绿洲-荒漠过渡带除了荒漠边缘的自然植被,在靠近绿洲的地方还分布有大面积的防护林。自然植被的存在可以有效抑制风蚀和减小沙面活动,减轻风沙流对绿洲的危害,其作用主要取决于覆盖度,当风速在某一确定水平时,只要植被达到一定覆盖度,就可以保证风蚀输沙率基本忽略不计,即风蚀输沙率为零,这个临界植被覆盖度为有效植被覆盖度,研究自然植被的有效植被覆盖度极有意义。防护林体系在抵御自然灾害、控制土地荒漠化、维护国家生态安全方面发挥着巨大作用。在防护林带众多的结构因子当中,疏透度是其他各项结构因子的综合表征,常被用作区别林带结构优劣的最主要指标之一,但其测度方法的粗放性很不适应结构研究与指导生产实践的需要,故亟须探索一种既精确又便捷的测度方法。防护林的空间配置是影响其防护效应发挥的关键因素,过去对防护林的空间配置多是将林带与被防护对象分开,由于在绿洲-荒漠过渡带具有丰富的自然植被资源,故可将防护林与其外围的荒漠自然植被进行协同优化配置。建立配置合理的绿洲防护林体系是防治风沙灾害、保证绿洲经济持续稳定发展和沙区人民正常生产生活秩序的有效手段。

高寒-荒漠地区作为陆地生态系统的两大生态脆弱区,对调节陆地生态系统能量流动、水分和养分循环,维护陆地生态安全和可持续发展,保护

人民正常生产生活具有重大作用,综合研究高寒-荒漠脆弱区的植被生态效应,以此探讨高寒-荒漠生态脆弱区在人类活动和气候变化双重影响下的动态变化规律,势在必行且具有重要的战略意义。

本书由笔者近8年(2009—2016年)的研究成果整理而来,涵盖两大部分内容,共分为20章,围绕陆地生态系统高寒-荒漠两大生态脆弱区的植被效应展开论述。第1篇为高寒脆弱区草甸对气候变暖的生态响应,包括12章内容:第1章,高寒生态脆弱区研究背景;第2章,植被-土壤系统响应全球变化研究进展;第3章,高寒生态脆弱区研究方案;第4章,高寒草甸夏季植被特征;第5章,高寒草甸对增温1年的短期响应;第6章,高寒草甸植被特征与温度、水分因子的关系;第7章,高寒草甸根系生物量对增温3年的响应;第8章,高寒草甸生物量动态变化及与环境因子关系;第9章,高寒草甸植被-土壤特征对增温2年、刈割1年的响应;第10章,高寒草甸地上植被生长对增温3年、刈割2年的响应;第11章,高寒草甸植被物种多样性和地下生物量对增温3年、刈割2年的响应;第12章,高寒生态脆弱区研究主要结论与展望。第2篇为荒漠脆弱区防护林与自然植被的防护效应,包括8章内容:第13章,荒漠生态脆弱区研究背景;第14章,自然植被与人工植被防护效应研究进展;第15章,荒漠生态脆弱区研究方案;第16章,绿洲-荒漠过渡带防护林疏透度的数字化测定;第17章,绿洲-荒漠过渡带防护林的防风效应;第18章,绿洲-荒漠过渡带早春自然植被的物种组成及防风效应;第19章,绿洲-荒漠过渡带防护林与自然植被协同配置的优化模式;第20章,荒漠生态脆弱区研究讨论与建议。

本书受国家自然科学基金委员会、山西省科技厅、山西省教育厅大力

支持,由国家自然科学基金青年科学基金项目(41501219)、山西省应用基础研究计划项目(2016021136)、山西省高等学校重点学科建设项目(晋教研函〔2016〕4号)、山西省高等学校科技创新项目(晋教科〔2016〕4号)共同资助。可作为高等院校环境科学、生态学、地理学、农林科学等专业本科生学习参考书,也可供上述专业及相关领域的研究生和科研与管理人员参考。

目 录

第 1 篇 高寒脆弱区草甸对气候变暖的生态响应

第 1 章 高寒生态脆弱区研究背景	7
1.1 研究背景与意义	7
1.2 研究内容与目标	10
1.3 研究方法与可行性分析	12
第 2 章 植被-土壤系统响应全球变化研究进展	14
2.1 植物物候与生长对增温的响应	14
2.2 植物光合作用对增温的响应	19
2.3 植物生物量生产及分配对增温的响应	20
2.4 土壤有机碳对增温的响应	22
2.5 土壤酶活性对增温的响应	23
2.6 土壤呼吸对增温的响应	23
2.7 植物生长对刈割的响应	25
2.8 植物生殖分配对刈割的响应	27
2.9 植物群落生物量及其组成对刈割的响应	27
2.10 植物净化对刈割的响应	29
2.11 土壤微生物量碳、氮含量对刈割的响应	30
2.12 土壤酶活性对刈割的响应	31

2.13 土壤呼吸对刈割的响应.....	32
第 3 章 高寒生态脆弱区研究方案	34
3.1 研究区概况	34
3.2 样地设置	35
3.3 观测内容及方法	38
3.4 数据分析	45
第 4 章 高寒草甸夏季植被特征	49
4.1 植被指标间的相互关系.....	49
4.2 植被指标的时间变化趋势.....	52
4.3 讨论与结论	54
第 5 章 高寒草甸对增温 1 年的短期响应	56
5.1 增温对温度的影响.....	56
5.2 增温对水分的影响.....	57
5.3 增温对植被的影响.....	58
5.4 讨论与结论	60
第 6 章 高寒草甸植被特征与温度、水分因子关系.....	62
6.1 植被物种多样性与温度的关系.....	63
6.2 植被特征与温度、水分因子的关系.....	65
6.3 温度、水分因子对植被的直接影响和间接影响.....	67
6.4 讨论与结论	69
第 7 章 高寒草甸根系生物量对增温 3 年的响应	73
7.1 根系生物量在生长季不同月份的变化.....	74
7.2 根系生物量在土壤不同深度的变化.....	76
7.3 根系生物量与土壤水分、温度的关系.....	77

7.4 讨论与结论	79
第 8 章 高寒草甸生物量动态变化及与环境因子关系	84
8.1 生物量的数量特征	85
8.2 生物量间的关系	86
8.3 生物量与环境因子的关系	87
8.4 讨论与结论	90
第 9 章 高寒草甸植被-土壤特征对增温 2 年和刈割 1 年的响应	93
9.1 增温和刈割对水分、温度的影响	94
9.2 增温和刈割对土壤特性的影响	95
9.3 增温和刈割对植被高度、盖度、物种数和地上生物量的影响	98
9.4 增温和刈割对植被物种多样性的影响	99
9.5 增温和刈割对植被地下生物量的影响	100
9.6 讨论与结论	102
第 10 章 高寒草甸地上植被生长对增温 3 年、刈割 2 年的响应	110
10.1 地上植被生长特征的时间差异	110
10.2 地上植被生长特征实验处理间的差异	112
10.3 讨论与结论	113
第 11 章 高寒草甸植被物种多样性和地下生物量对增温 3 年、 刈割 2 年的响应	115
11.1 植被物种多样性在生长季不同月间的变化	115
11.2 植被物种多样性在不同实验处理间的变化	116
11.3 不同土层植被地下生物量在实验处理间的变化	117
11.4 讨论与结论	119

第 12 章 高寒生态脆弱区研究主要结论与展望	122
12.1 主要结论	122
12.2 展望	123

第 2 篇 荒漠脆弱区防护林与自然植被的防护效应

第 13 章 荒漠生态脆弱区的研究背景	131
13.1 研究背景与意义	131
13.2 研究内容与目标	134
第 14 章 自然植被与人工植被防护效应研究进展	136
14.1 自然植被防护效应的研究进展	136
14.2 自然植被防护效应的研究方法	138
14.3 人工防护林空间配置的研究进展	140
14.4 人工防护林空间配置的研究方法	143
第 15 章 荒漠生态脆弱区研究方案	144
15.1 研究区概况	144
15.2 数据采集方法	145
15.3 数据处理方法	149
第 16 章 绿洲-荒漠过渡带防护林疏透度的数字化测定	151
16.1 数字化测定的原理	151
16.2 数字化测定的步骤	151
16.3 疏透度的计算公式	152
16.4 疏透度测定的精度分析	152

第 17 章 绿洲-荒漠过渡带防护林的防风效应	155
17.1 林带各结构因子的聚类分析	155
17.2 疏透度与其他结构因子的主导因子模型	157
17.3 疏透度与相对风速的关系	159
第 18 章 绿洲-荒漠过渡带早春自然植被的物种组成及防风效应	162
18.1 各样地物种的组成及其盖度百分比	162
18.2 各样地物种的多样性指数	165
18.3 自然植被调查指标与风速的关系	166
18.4 自然植被覆盖度与相对风速关系模型的建立	167
第 19 章 绿洲-荒漠过渡带防护林与自然植被协同配置的优化模式	170
19.1 防护林与自然植被的协同作用对风速的影响	170
19.2 防护林与自然植被的协同作用对空气温度的影响	174
19.3 防护林与自然植被的协同作用对土壤的影响	176
19.4 防护林与自然植被协同配置模式的构建	180
第 20 章 荒漠生态脆弱区研究讨论与建议	183
20.1 疏透度的数字化测定	183
20.2 疏透度的主导因子模型	184
20.3 最适疏透度	184
20.4 自然植被的物种组成与分布	185
20.5 自然植被的防风效应	186
20.6 有效植被覆盖度	187
20.7 协同防护效应	188
20.8 协同配置的优化模型	189
参考文献	191

第 1 篇

高寒脆弱区草甸对气候变暖的生态响应

引言

近些年来, 由于气候逐渐变暖, 以及人类活动影响加剧, 高寒草甸植被所依存的环境条件遭受严重破坏, 草地环境严重退化, 植物的更新和进化受到极大影响, 植物群落功能特征也随之出现较大变化, 从而加速了高寒草甸的衰退进程。因此, 研究高寒草甸生态系统对气候变化和人类活动的响应与适应等过程已成为国内外众多学者所关注的问题。本篇以红外线辐射器作为增温装置, 在青藏高原高寒草甸区进行模拟增温试验, 并利用刈割模拟人类放牧活动, 探讨高寒草甸植被-土壤特征对增温、刈割及增温+刈割交互作用的响应, 以揭示高寒草甸在气候变化和人类活动双重影响下的动态变化趋势, 从而为高寒草甸地区植被-土壤的合理保护和有效利用提供理论基础和科学依据。

在本篇中, 根据随机区组设计布设了两种实验。实验一为增温实验, 时间为 2010 年 7 月—2011 年 10 月, 包括对照、 130 W/m^2 增温和 150 W/m^2 增温三种实验处理; 实验二为增温-刈割实验, 截至本书完成, 时间为 2011 年 11 月—2013 年 9 月, 包括对照、增温、刈割、增温+刈割交互作用四种实验处理。调查的植被指标包括高度、盖度、频度、数量、地上生物量、地下生物量及物种多样性; 土壤指标包括温度、水分、有机碳、活性炭、全氮、铵态氮、硝态氮、微生物碳和微生物氮; 空气指标包括温度、湿度、水汽压、风速和辐射等。本实验主要进行以下八个内容的研究, 并得到了相应的研究结果:

(1) 研究自然条件下高寒草甸夏季植被特征。夏季植被高度对地上生物量影响较大 ($R=0.892$, $P<0.01$), 而盖度对地下生物量影响较大 ($R=0.883$, $P<0.01$)。在植被生长过程中, 地上部分与地下部分密切相关 ($R=0.461$, $P<0.01$), 说明植被在将能量分配给地上茎叶的同时也分配到地下根系。然而, 由于地上部分和地下部分所处环境差异较大 (如地气温差) 而表现出不同的生长模式, 地上部分近似等速生长 (幂指数为 1.0111), 地下部分则表现为异速生长 (幂指数为 0.4585)。

一年之后(2010—2011年)植被地上生物量和地下生物量均呈减小趋势,这与土壤温度、土壤水分及空气温度的显著降低密切相关,并且地上生物量($P < 0.05$)较地下生物量($P > 0.05$)对温度和水分的响应更为敏感。

(2) 研究自然条件下高寒草甸植被特征与温度、水分因子的关系。高寒草甸植被符合生物多样性代谢理论的第一个假设,即植物物种丰富度的对数与绝对温度的倒数呈显著线性递减关系,说明在一定温度范围内植物物种多样性随温度升高而显著增加,且空气-地表0~20 cm浅层土壤温度($R^2 > 0.6$, $P < 0.01$)较40~100 cm深层土壤温度($R^2 < 0.5$, $P < 0.05$)对植物物种多样性影响大。但高寒草甸植被新陈代谢过程中的平均活化能为0.998~1.85 eV,高于生物多样性代谢理论预测值0.6~0.7 eV,这是高寒草甸植被长期适应低温环境的结果。在植被特征与温度、水分因子关系中采用RDA(Redundancy Analysis Ordination)排序,温度对植被地上部分影响较大,土壤水分对全株影响均较大,其中40 cm、60 cm深度土壤水分对植被地上部分产生直接影响,40 cm深度土壤温度和60 cm深度土壤水分对植被地下部分产生直接影响。适当的增温与降水均可极显著地促进高寒草甸植被生长。

(3) 研究高寒草甸对增温1年的响应。红外线辐射器在高寒草甸的增温效果较好。空气-地表-土壤温度都随增温幅度增强而增加,并对0~40 cm浅层土壤温度产生较大影响($P < 0.05$)。增温对60~100 cm深层土壤水分产生较大影响($P < 0.05$),促进0~40 cm深度土壤水分减少,增加40~100 cm深度土壤水分。增温1年对高寒草甸植被影响并不明显($P > 0.05$),但对植被产生正效应,其中植被高度和地上生物量随增温有增加趋势;植被盖度和地下生物量在前期有增加趋势,后期增加趋势减弱。

(4) 研究高寒草甸根系生物量对增温3年的响应。根系生物量在2012年随月份呈增加趋势,其中7—9月较大,其平均值在对照、增温处理下分别为3 810.88 g/m²和4 468.08 g/m²;在2013年随月份呈减小趋势,其中5—6月较大,其平均值在对照、增温处理下分别为4 175.39 g/m²和4 141.6 g/m²。增温处理下的总根系生物量高于对照处理293.97 g/m²,而各月份总根系生物量在处理间的差值均未达到显著水平。表明在增温处理下根系生物量略有增加,但在生长季不同月份其增加的程度不同,致使年际间的增幅出现差异。根系生物量主要分布在0~

10 cm 深度,所占百分比为 50.61%。在增温处理下,0~10 cm 深度的根系生物量减少,减幅为 8.38%;10~50 cm 深度的根系生物量增加,增幅为 2.1%。相对于对照处理,增温处理下 0~30 cm 深度的根系生物量向深层增加,30~50 cm 深度的根系生物量增加趋势略有减缓。可见,在增温处理下根系生物量的增幅趋向于土壤深层。根系生物量与土壤水分呈极显著的递减关系,在增温处理下线性关系减弱;与土壤温度呈极显著的递增关系,在增温处理下线性关系增强。表明土壤水分、温度都可极显著影响根系生物量,但在增温处理下土壤温度对根系生物量的影响较土壤水分更为敏感而迅速。

(5) 基于 3 年增温实验研究高寒草甸生物量动态变化及与环境因子的关系。增温处理下地上-地下生物量与根冠比的中值和平均值大于对照,其中地下生物量(变异系数为 0.30)的增加幅度大于地上生物量(变异系数为 0.27),根冠比的变异系数(0.33)大于地上与地下生物量,这表明增温可导致高寒草甸植被生物量分配出现差异。地上-地下生物量呈极显著的幂指数函数关系($R^2=0.147$, $P<0.001$),表现为异速生长,但在增温处理下异速生长出现减缓($R^2=0.102$, $P<0.05$)。地上生物量受深层土壤水分和浅层土壤温度影响较大,地下生物量受深层土壤水分和深层土壤温度影响较大;土壤温度对地上-地下生物量的影响强于土壤水分,表现为 20 cm 深度土壤温度对地上生物量($R=0.582$, $P<0.01$)和根冠比($R=-0.238$, $P<0.05$)影响较大,60 cm 深度土壤温度对地下生物量影响较大($R=0.388$, $P<0.01$),100 cm 深度土壤水分对地上生物量($R=0.423$, $P<0.01$)和地下生物量($R=0.245$, $P<0.05$)影响较大,这说明增温导致浅层土壤温度对生物量分配产生影响,使生物量更多分配到地上部分,而冻土融化致使深层土壤水分对生物量产生影响。

(6) 研究高寒草甸植被-土壤特征对增温 2 年与刈割 1 年的响应。增温显著促进了植被高度($P<0.05$),增温+刈割交互作用显著增加了植被物种丰富度($P<0.05$),但植被盖度对增温并不显著($P>0.05$),而且植被地下生物量具有从土壤浅层转移到深层的趋势。增温和刈割都具有提高植被物种多样性的趋势,但物种多样性对增温和刈割的响应在短期内并不敏感($P>0.05$)。土壤铵态氮、硝态氮和土壤微生物对增温和刈割的响应也不敏感($P>0.05$),但总氮、有机碳和活性碳具有从土壤浅层迁移到深层的趋势,即总氮、有机碳和活性碳在不同土层中的