

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2017.05.004

植被近自然恢复研究进展

贺丽¹, 宾建², 邓东周^{1*}, 鄢武先¹, 陈德朝¹

(1. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081; 2. 红原县环境保护和林业局, 四川 红原 624400)

摘要:近自然恢复模式是在近自然林业理论提出后,将其用于植被恢复上的一种有效手段。该文介绍了近自然恢复的概念和近自然林业的发展史、重点综述了近自然恢复途径及原则,在总结国内外的应用实践基础上,提出了加强对沙化草地植被近自然恢复的研究,促进沙化草地原生植被恢复,增强物种多样性,防止水土流失、沙尘暴等自然灾害的发生。

关键词:植被;近自然恢复;退化生态系统

中图分类号:S750 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-5508(2017)05-0018-05

Review on Progress in Vegetation Close-to-Nature Recovery

HE Li¹ BIN Jian² DENG Dong-zhou¹ YAN Wu-xian¹ CHEN De-chao¹

(1. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu, Sichuan Province 610081, China;

2. Environmental Protection and Forestry Bureau of Hongyuan, Hongyuan 624400, China)

Abstract: Close-to-Nature recovery mode was an effective means of the Close-to-Nature forestry theory for vegetation restoration. In this paper, a description is made of the concept of Close-to-Nature recovery mode and recent history of Close-to-Nature restoration forestry, focusing on ways and principles to Close-to-Nature recovery mode. Based on the summary application status at home and abroad, it was proposed that the study of Close-to-Nature recovery against grassland desertification should be strengthened, in order to promote sandy grassland restoration of native vegetation and enhance species diversity, prevent soil erosion, dust storms or other natural disasters.

Key words: Vegetation, Close-to-Nature recovery, Degraded ecosystems

植被是陆地生态系统的重要组成部分,是生态系统中物质循环与能量流动的中枢。近年来,由于各国社会经济的快速发展,自然灾害的频频发生等各因素,植被遭到严重破坏,甚至有些植被走向消失,伴随着生态系统退化的是生态危机、环境问题和生物多样性丧失,如水土流失、森林消减、土地荒漠化、沙化等,严重影响区域生态、经济和社会的可持续发展,致使人类生存和发展的自然基础受到了极大威胁^[1-2]。草地生态系统的退化是陆地生态系统

退化的一种重要类型^[3],草地退化所诱发的沙尘暴,带走了大量的宝贵土壤物质,生态恢复的重要任务就是要控制土地继续退化^[4-5],最终实现生态系统结构和功能的恢复^[6]。在国外,早在20世纪20~30年代就围绕着各类退化土地进行很多恢复生态学的实验工作^[7-12]。我国自从1980年以后,也在各地陆续启动了一些项目进行退化生态系统的恢复试验工作^[13-17],取得了大量进展。

植被恢复是退化生态系统恢复的前提与关键,

收稿日期:2017-09-07

基金项目:国家科技支撑计划“川西北藏区高寒沙地适生治沙灌木材料培育及示范”(2015BAC05B01);四川省省财政专项项目“川西北沙化土地立地调查与类型划分”(ZL2015-10)

作者简介:贺丽(1987-),女,四川广安人,硕士,助理研究员,主要从事生态学相关研究, E-mail: eqwuheli@163.com。

通讯作者:邓东周(1982-),男,河南周口人,博士,高级工程师,主要从事恢复生态、林学相关研究, E-mail: dongzhou@163.com

植被恢复情况是退化生态系统恢复最直接的体现。近年来近自然恢复在植被恢复中得到了有效利用。近自然恢复实质上是指通过人工措施,将乡土物种和潜在自然植被用于进行植被恢复,构建目标群落模式,构建近自然群落,与普通植被恢复相比,这种途径保护了区域内的原有物种的物种多样性,群落结构稳定且物种多样性增加,有效防止了外来物种的入侵,同时近自然模式会在后期少维护,少管理,经济成本少,还能在有限的土地上获取最大的生态效应^[18]。该文从近自然林的发展史,近自然恢复的基本原则及途径、实践,沙化草地植被近自然恢复存在的问题以及沙化草地植被近自然恢复的发展趋势进行概述。

1 近自然林的发展史

1898 年德国林学家 Gayer 提出了接近自然林理论后,越来越多的国家将其用于植被恢复上。其目的就是要解决人工林群落结构不稳定和地力衰退的问题^[19]。近自然林是基于利用森林生态系统潜在的自然特性及其发生发展的自然过程,主要是由乡土树种组成的多树种混交,逐步向多层次空间结构和异龄林时间结构发展的森林^[20],保证立地和森林动态稳定的一种真正贴近自然的森林经营管理模式^[21]。

在国外关于近自然林经营理论,早在 18 世纪就有初步的理论萌芽,德国森林永续经营理论的创始人卡洛维茨就提出了“顺应自然”的林业思想^[22-23]。1880 年 Gayer 首先提出“近自然林业的经营思想”,认为“森林生态系统的多样性是一个在永恒的组合中互栖共生的诸生命因子的必然结果”、“人类应尽可能地按照森林的自然规律来从事林业生产活动”^[19],1898 年 Gayer 较正式的提出了“近自然林业”理论,并将其用于德国残存天然林的植被恢复。1920 年间德国林学家 Moeller 正式接受了 Gayer 的思想,并且提出了完整的近自然森林经营理论和技术体系,并且逐步推向国外^[24-26]。1924 年, Krutzsch 针对用材林的经营方式,提出了接近自然的用材林;1950 年又与 Weike 一起,结合恒续林理论,提出了接近自然的森林经营思想。至此,近自然的森林经营理论雏形与框架已基本形成^[27-29]。20 世纪 70 年代后,近自然森林经营的理论和实践在德国和奥地利、瑞士等许多国家得到广泛的接受和应用。尤其在德国,第二次世界大战后在德国成立的近自然林业协会(ANW)大规模地促进近自然森

林经营理论的深入和实际应用。1997 年,以“接近自然林业的方针,实现森林的可持续经营”为主题的欧洲近自然林业工作联盟第二界国际会议的召开,使近自然林业的方针和技术措施得到了进一步的细化和完善^[20]。

在国内,近自然林业的发展比较晚,是借鉴德国经验的基础上发展起来的。上世纪 90 年代以来,邵青还^[24-25]发表了关于近自然林业的文章,阐述了各国尤其是德国近自然林业的基本理论、技术路线和植被恢复的态势。张硕新等^[30]针对我国林业的具体情况,提出了在我国发展近自然林业的诸多对策和建议。彭舜磊等^[31]分析了我国人工林经营中存在的诸多问题,结合我国实际,提出了我国人工林近自然经营的有效途径。

2 近自然恢复途径及原则

自从近自然林理论提出以来,许多国家将其用于植被恢复上。由于人工林达不到天然林物种间的互利共存关系,因而引起了森林生态、草原生态的失调和衰败,常此以往会导致水土流失、沙化程度加剧、生物多样性降低等生态环境问题^[32]。

首先要通过实地探查,了解并掌握当地天然植被类型、分布规律及形成过程,选用相同生境条件下的自然植被类型,构建目标群落类型用于进行受损植被的恢复。选用的植物以乡土植物为主,乡土植物是与当地自然条件,尤其是气候、土壤条件达成稳定平衡,对原产地环境具有天然的适应性的树种^[33]。以乡土树种作为群落的优势种或建群种,能维持自身生长所需的营养物质,使其在相当长的时期里保持更新,起到“生物库”的功能^[7]。乡土植物比引种植物最大的优势就是在于比引种植物有较高的适应性、稳定性和抗逆性,尤其是在逆境下能顽强的正常生长。此外因地制宜和树种混交,建立多树种、多层次、多龄级的复合混交林。对于沙区植被近自然恢复而言,大范围实施分区分段封禁,然后根据各地原有保存下来的天然植被的种类及自然条件下植被演替规律,选择当地的乡土树种和草种,实施飞播、人工点播和必要的部分人工植苗补植造林^[34]。

在近自然恢复中构建潜在自然植被,是受人为干扰影响停止后,在地区的气候、土壤和地形等环境条件影响下,所能发展形成起来的自然植被类型,表明了一个地区植被的发展潜力和方向。如果在人为参与下,通过改良土壤等环境条件,在区域内种植顶级群落物种的幼苗,可以缩短演替的时间^[33]。有研

究表明多伦县潜在沙质草原植被中,以羊草、隐子草群落为优势群落^[35],所以对该区域退化草地进行植被恢复时,应构建以羊草、隐子草为主的植被类型。

“接近自然”是指在植被恢复中使地区群落主要的本源树种得到明显表现,它不是回归到天然的森林类型,而是尽可能使林分建立、抚育、采伐的方式同“潜在的自然植被”的关系相接近,并在人工辅助下使天然物质得到复苏^[28]。充分保护好原生植被,在方案实施过程中尽可能不要破坏原生植被。

3 近自然恢复的实践

在国外,19世纪末期,下萨克森州的 Neubruchhausen 林业局着手以营造混交林为特征的实验,标志着近自然林业实践的开端,目前,林区内出现的各种各样的混交林,被列为近自然森林的典范^[21]。日本在20世纪中后期开始大规模造林,宫胁昭在近自然技术上结合日本实际情况,提出将乡土植物和潜在自然植被用于造林,并取得了明显的效果^[20]。G. R. H. Allington 等^[36]对美国亚利桑州的奇瓦瓦沙漠植被恢复研究中指出采用封育措施对于草本植物群落的近自然恢复,且取得了显著的效果。Jeffrey 等^[37]在研究加利福尼亚州的莫哈韦沙漠植被恢复时表明采用在撂荒地种植乡土植物让植被得以恢复,并且监测结果发现滨藜属植物(*Atriplex canescens*)能在浅沙地上良好的生长。

在国内,欧洲近自然森林经营技术引入我国后。近些年,越来越多的研究者重视将近自然林业用于植被恢复的研究,开展了多方面的研究和实践工作。林思祖等^[38]对我国南方近自然混交林营造的效益进行了分析和评价,认为营造近自然混交林是中国林业振兴的必由之路之一。王良衍^[39]对天童山林场植被恢复研究中得出采用近自然林业理论恢复退化天然林效果突出,主要表现在生物多样性增加和复层异龄混交林的逐渐形成,是我国第一个自觉采用近自然林业方法进行试验的林场,取得了一定的成果。孟京辉^[40]等对海南省不同演替阶段的两类退化天然次生林林分结构及更新能力进行了对比分析,并以近自然森林经营思想为依据,制定了森林发展类型。王国玉^[41]以大连市6条河流162段河岸带为研究对象,针对河岸带存在的主要问题,进行了河岸林配置模式的近自然设计,对大连市河岸带近自然恢复模式提出了生态保育型、生态防护型、生态经济型、生态游憩型和生态文化型5种当地适用的河岸林配置模式。赖泓宇^[7]研究上海市宝山区顾

村镇顾村垃圾填埋场植被恢复时指出近自然恢复能快速改造垃圾填埋场绿化,同时减少了人为管护,又能最大的提高生态效益,达到稳定的生态系统。张劲峰^[42]采用近自然林业理论和方法为指导,发展以乡土树种为主的混交林,实现群落的天然更新,从而使滇西北亚高山退化生态系统得以恢复。董建文等^[43]对杉木林采伐迹地经炼山后近自然形成不同年限的苦竹群落、杉木近熟林下苦竹群落以及灌木林地群落的研究,结果表明原有一定苦竹数量基础的杉木林分,可通过近自然恢复方式恢复植被,且恢复过程中群落组成以苦竹为主。在近自然恢复早期,苦竹在群落中占有较大优势,但后期必须采取一定人为措施,以使其继续在群落中占优势,进行近自然苦竹林经营。肖灵灵^[44]研究了近自然生态恢复模式下杉木林群落生态学特性,结果表明两种近自然生态恢复模式下的群落物种组成、多样性指数、乔木层生物量、土壤理化性质等存在一定差异。李荣^[45]对辽东栎群落近自然不同的经营强度进行稳定性评价,选择出符合天然林结构特征和近自然经营要求的可持续经营的健康森林模式。

4 近自然恢复研究面临的挑战

有关近自然恢复模式在退化森林植被中的运用报道甚多。倪志英^[46]定量评价了东北林区大小兴安岭退化森林湿地过渡带群落恢复自然演替途径和人工造林途径的恢复效果,探讨了退化森林沼泽过渡带群落的有效恢复途径与恢复模式,针对大、小兴安岭林区森林湿地过渡带中火烧迹地和采伐迹地提出了三种恢复模式,即辅以人为干预的自然演替恢复模式、参照天然森林湿地群落结构与功能的人工重建模式和自然演替途径与人工重建途径相结合的近自然恢复模式。孟京辉^[40]对海南岛热带退化天然次生林近自然恢复树种选择和配置模式进行了研究,研究指出在近自然恢复中采用乡土树种,发展混交林,早期抚育目的树种,天然更新,对林地进行针对性管理等技术手段,以实现海南岛热带退化次生林植被恢复。此外,还有众多学者对森林植被近自然恢复过程中植被特征的变化进行了研究,且取得了理想的研究成果^[47-48]。虽然近自然恢复在森林植被恢复方面研究较多,且应用取得了较好的成就。但沙化草地植被近自然恢复的相关报道甚少且研究范围狭窄。目前仅有少数学者对内蒙古沙地植被近自然恢复过程中植被和土壤物理性质的变化特征进行了研究。比如闫德仁等^[49]对库布齐沙漠东缘沙

地植被近自然恢复开展了研究。研究指出近自然恢复过程中多年生植物较多的地块,自然恢复植被能够起到事半功倍的效果;距离种源地 100 m 内灌木自然更新效果明显;沙地人工造林以近自然斑块划分造林地块,充分发挥林草植被的综合作用效果。王琴等^[50]对内蒙古阴山北麓围封区域草原近自然状态下植被群落特征及其土壤颗粒物理特性的研究。研究指出围封后的草地地上植物群落发生明显的变化,物种多样性指数呈现出先升高后降低的趋势;在垂直结构上,土壤颗粒粗粒化程度加重,地表呈现出自然风蚀面貌。郑翠玲等^[51]对内蒙古呼伦贝尔沙化草地在围栏封育条件下植被的变化特征开展了研究。研究表明对沙化草地实施围栏封育,群落组成发生了规律性变化,退化指示植物所占比例逐渐降低,建群种所占比例逐渐增加。

截止 2004 年,全国沙化土地面积为 173.97 万 km²,主要分布在新疆、内蒙古、西藏、青海、甘肃、河北、陕西、宁夏 8 省(自治区)^[52],分布范围广,各省的沙化土地特征因立地类型不同而存在明显差异,对内蒙古沙地植被近自然恢复模式开展研究仅仅起到研究示范的作用,该恢复模式不能一成不变的应用于其它沙化草地植被恢复。草地生态系统作为重要的陆地生态系统的重要组成部分,如何应对当前沙化和荒漠化治理,应加强沙化草地植被近自然恢复研究。

5 近自然恢复研究展望

多年来,众多研究者做了对近自然恢复模式许多有益的探索和实践,在防止水土流失、保持原有森林群落稳定和增加生物多样性等方面取得了较突出成果,从而维持了森林景观的完整性。目前将近自然恢复模式用于对沙化草地植被恢复的研究较少。我国是世界上荒漠化较为严重且发展较快的国家之一^[53],所以应加强近自然恢复模式用于沙化草地植被恢复的试验研究,主要表现出以下几个方面的发展趋势。

(1) 沙化草地的演替过程得到进一步研究,近自然恢复物种的选择与草地退化阶段相吻合,根据具体阶段的植被类型及立地环境,种植与“潜在的自然植被”群落结构相似的几种乡土物种进行混交,形成复层灌丛和草丛^[49]。

(2) 深化沙化草地植被近自然恢复过程中的植被群落特征与土壤性质的研究。从对植被恢复响应的敏感性而言,土壤容重、总孔隙度以及团聚体稳定

性可以作为土壤生态效应评价的主要指标^[54]。

(3) 加强对沙化草地植被近自然恢复过程中优势植物各构件形态特征的动态变化进行研究。植物构件形态能对环境变化有很好的响应和适应表现^[55~59]。植物通过对外部形态的调节来响应和适应环境的变化,同时改变其对生态系统功能的贡献^[60]。

(4) 在空间尺度上,从小的空间尺度逐渐向大的空间尺度进行研究,将恢复技术或成果由点至面的尺度逐步转化,确保转化过程的准确性,从而使成功的例子逐步推广。

在沙化草地治理过程中,按照植物的生态习性,构建近自然的植被类型,增加植物群落的物种多样性,利用沙地已有植被的活力和恢复能力,提高草地生态系统的稳定性,能够达到自我恢复、协调发展的目标。

参考文献:

- [1] 陈灵芝. 中国的生物多样性:现状及其保护对策[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [2] 包维楷,陈庆恒,刘照光. 岷江上游山地生态系统的退化及其恢复与重建对策[J]. 长江流域资源与环境,1995,4(3):277~282.
- [3] 陈佐忠,汪诗平. 中国典型草原生态系统[M]. 北京:科学出版社,2000:307~317.
- [4] 赵平,彭少麟. 物种的多样性及退化生态系统功能的恢复和维持研究[J]. 应用生态学报,2001,12(1):132~136.
- [5] 赵雪,赵文智,宝音,等. 河北坝上脆弱生态环境的整治[M]. 北京:中国环境科学出版社,1997.
- [6] 丁运华. 生态恢复中的几个问题讨论[J]. 中国沙漠,2000,20(3):341~344.
- [7] 赖泓宇. 垃圾填埋气对植物生长影响及近自然植被恢复途径[D]. 上海:华东师范大学,2011.
- [8] Dobson A P, Bradshaw A D, Baker A J M. Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology[J]. Science, 1997, 277(5325):515~522.
- [9] Pickett S T A, Parker V T. Avoiding the old pitfalls: opportunities in a new discipline[J]. Restoration Ecology, 1994, 2(2):75~79.
- [10] Schoener T W, Spiller D A, Losos J B. Natural restoration of the species-area relation for a lizard after a hurricane[J]. Science, 2001, 294(5546):1525~1528.
- [11] Covington W W. Helping western forests heal[J]. Nature, 2000, 408(6809):135~136.
- [12] Verheye W H. Farming will only be sustainable when local people are truly involved[J]. Nature, 2000, 408(6809):133~133.
- [13] 朱震达,赵兴梁,凌裕泉,等. 沙地恢复工程[M]. 北京:中国环境科学出版社,1998.
- [14] 常学礼,赵哈林,杨持,等. 科尔沁沙地植物多样性对草地生产力的影响[J]. 应用生态学报,2001,11(3):395~398.
- [15] 刘新民,赵哈林. 科尔沁沙地生态环境综合整治研究[M]. 兰州:甘肃科技出版社,1993.

- [16] 姚洪林,魏成泰.毛乌素沙地开发与治理研究[M].呼和浩特:内蒙古大学出版社,1992.
- [17] 赵桂久,刘燕华,赵名茶.环境整治与恢复工程研究[M].北京:北京科学技术出版,1993.
- [18] 达良俊,杨永川,陈鸣.生态型绿化法在上海“近自然”群落建设中的应用[J].中国园林,2004,20(3):38~40.
- [19] Euck BG. Kosten und Nutzen eines Waldbaus auf oekologischer Grundlage[J]. Allgemeine Forest Zeitschrift,1992,2:52~56.
- [20] 陆元昌.近自然森林经营的理论与实践[M].北京:科学出版社,2006,1~183.
- [21] Tiefenbacher E. Measuring and controlling the degree of naturalness of forest stands[J]. Schweizerische Zeitschrift for Forstwesen,1999,150(7):246~248.
- [22] 施昆山.当代世界林业[M].北京:中国林业出版社,2001.
- [23] 赫尔曼·格拉夫·哈茨费尔德.生态林业理论与实践[M].沈照仁等译.北京:中国林业出版社,1997.
- [24] 邵青还.德国接近自然的林业~技术政策和技术路线[J].世界林业研究,1993,6(3):63~72.
- [25] 邵青还.德国林业经营思想和理论200年[J].中国林业科学研究院科技情报研究所,1993.
- [26] 黄清麟.森林可持续经营综述[J].福建林学院学报,1999,19(3):282~285.
- [27] 高伟.沙质海岸带防护林的恢复生态学研究[D].福建:福建农林大学,2011.
- [28] 邵青还.第二次林业革命——“接近自然的林业”在中欧兴起[J].世界林业研究,1991,4(4):8~15.
- [29] 危廷林.近自然林业与水土保持[J].福建水土保持,2001,13(1):20~23.
- [30] 张硕新,雷瑞德,陈存根,等.“近自然林”——一种有发展前景的“人工天然林”[J].西北林学院学报,1996(S1):157~162.
- [31] 彭舜磊,王得祥,赵辉,等.我国人工林现状与近自然经营途径探讨[J].西北林学院学报,2008,23(2):184~188.
- [32] Giese R L, Benjamin D M. Interaction of insects and forest trees, Introduction to Forest Science edited by Young. R. A [J]. John Wiley & Sons, Inc., 1982, 161~185.
- [33] Miyawaki. Creative ecology: restoration of native forests by native trees[J]. Plant Bio technology, 1999, 16(1): 15~25.
- [34] 赵百选,任林转.运用近自然林业技术恢复沙区植被[C].中国治沙暨沙产业研究——庆贺中国治沙暨沙业学会成立10周年(1993-2003)学术论文集,2003.
- [35] 杨持,刘颖茹,刘美玲,等.多伦县沙质草原植被的变化趋势[J].中国沙漠,2002,22(4):393~397.
- [36] Allington G R H, Valone T J. Reversal of desertification: the role of physical and chemical soil properties. [J]. Journal of Arid Environments, 2010, 74(8): 973~977.
- [37] JEFFREY E. LOVICH, DAVID BAINBRIDGE. Anthropogenic Degradation of the Southern California Desert Ecosystem and Prospects for Natural Recovery and Restoration[J]. Environmental Management, 1999, 24(3): 309~326.
- [38] 林思祖,黄世国.论中国南方近自然混交林营造[J].世界林业研究,2001,14(2):73~78.
- [39] 王良衍,王希华,宋永昌.天童林场采用“近自然林业”理论恢复退化天然林和改造人工林研究[J].林业科技通讯,2000, 11:4~6.
- [40] 孟京辉.海南岛热带退化天然次生林近自然恢复和经营研究[D].北京:中国林业科学研究院,2009.
- [41] 王国玉.河岸带自然度评价与近自然恢复模式研究——以大连市河岸带为例[D].北京:北京林业大学,2009.
- [42] 张劲峰,周鸿,耿云芬.滇西北亚高山退化森林生态系统及其恢复途径——“近自然林业”理论及方法[J].林业资源管理, 2005,5:33~37.
- [43] 董建文,黄启堂,陈世品,等.杉木迹地近自然恢复苦竹群落的研究[J].中国生态农业学报,2008,16(5):1218~1224.
- [44] 肖灵灵.近自然生态恢复模式下杉木林群落生态学特性研究[D].福建:福建农林大学,2008.
- [45] 李荣.近自然经营强度对辽东柞种群与群落恢复影响[D].陕西:西北农林科技大学,2012.
- [46] 倪志英.大小兴安岭退化森林湿地过渡带群落恢复与重建途径及模式研究[D].黑龙江:东北林业大学,2007.
- [47] 焦菊英,张振国,贾燕锋,等.陕北丘陵沟壑区撂荒地自然恢复植被的组成结构与数量分类[J].生态学报,2008,28(7):2981~2997.
- [48] 李裕元,邵明安.子午岭植被自然恢复过程中植物多样性的变化[J].生态学报,2004,24(2):252~260.
- [49] 闫德仁,石瑾,任建民.库布齐沙漠东缘沙地植被近自然恢复研究[J].内蒙古林业科技,2004,1,3~6.
- [50] 王琴,蒙仲举,汪季,等.希拉穆仁草原近自然恢复状态下植被-土壤响应特征[J].生态学报,2017,37(4):1159~1167.
- [51] 郑翠玲,曹子龙,王贤,等.围栏封育在呼伦贝尔沙化草地植被恢复中的作用[J].中国水土保持科学,2005,3(3):78~81.
- [52] 祁有祥,赵廷宁.我国防沙治沙综述[C].2005-第二届全国灾害史学术会议.
- [53] 慈龙骏,吴波.中国荒漠化气候类型划分与中国荒漠化潜在发生范围的确定[J].中国沙漠,1997,17(2):107~112.
- [54] 李裕元,邵明安,陈洪松,等.水蚀风蚀交错带植被恢复对土壤物理性质的影响[J].生态学报,2010,30(16):4306~4316.
- [55] 杜宁,张秀茹,王炜,等.荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性[J].生态学报,2011,31(20):6049~6059.
- [56] 张慧文,马剑英,孙伟,等.不同海拔天山云杉叶功能性状及其与土壤因子的关系[J].生态学报,2010,30(21):5747~5758.
- [57] 祁建,马克明,张育新,等.辽东栎(*Quercus liaotungensis*)叶特性随海拔梯度的变化及其环境解释[J].生态学报,2007,27(3):930~937.
- [58] 胡启鹏,郭志华,李春燕,等.不同光环境下亚热带常绿阔叶树种和落叶阔叶树种幼苗的叶形态和光合生理特征[J].生态学报,2008,28(7):3262~3270.
- [59] 王亚婷,范连连,胡聃.热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性[J].生态学报,2011,31(20):5992~5998.
- [60] Wright I J, Reich P B, Westoby M. Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high- and low-rainfall and high-and low-nutrient habitats[J]. Functional Ecology, 2001, 15(4): 423~434.