

宁夏盐池县植被恢复过程中的植物多样性研究

杨秀莲, 张克斌, 曹永翔, 王海星

(北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 通过聚类方法分析了盐池县天然草地、撂荒地、人工封育区和湿地 4 种样地的植被组成和群落特征, 同时应用 Shannon—Wiener 指数、Simpson 指数、群落均匀度指数和丰富度指数对植物多样性进行了研究分析, 以了解植被恢复的状况。结果表明, 四儿滩保护区湿地由于水分充足, 其植物多样性明显高于其它样地, 柳杨堡人工封育区的多样性高于天然草地及撂荒地, 另外, 降水量对植被恢复影响明显, 由于降水量减少, 2008 年的植被特征值和多样性指数均比 2006 年和 2007 年有所减小, 其中, 2008 年总的植被盖度相比减少 50%~60%, 无量殿天然草地和四儿滩保护区湿地的生物量都减少约 50%, 撂荒地减少 60%, 而柳杨堡人工封育区相比减少了 70%, 2008 年 4 种类型样地的多样性指数均有小幅度的减小, 而丰富度指数有明显的降低, 封育区丰富度指数比 2007 年减少了约 46%, 四儿滩湿地比 2006 年减少 12%, 比 2007 年减少 22%, 另外, 四儿滩湿地的均匀度指数受影响较大, 2006 年为 0.905, 2007 年为 0.836, 而 2008 年降低到 0.467。

关键词: 盐池; 植物多样性; 降水量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)06-0163-05

中图分类号: X171.1

Plant Diversity in the Process of Vegetation Restoration in Yanchi County of Ningxia Hui Nationality Autonomous Region

YANG Xiú-lian, ZHANG Ke-bin, CAO Yong-xiang, WANG Hai-xing

(College of Soil and Water Conservation, and Key Laboratory of Soil and Water

Conservation of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing, 100083, China)

Abstract: To characterize the plants diversity under various protections in the process of vegetation restoration, the plant composition and community characteristic of grassland, abandoned land, artificial closure area, and natural wetland in Yanchi County were analyzed by means of clustering analysis as well as Shannon—Wiener index, Simpson index, evenness index, and richness index. Results revealed that the wetland in Siertan Nature Reserve had the most biomass and the plant diversity of wetland in Liuyangpu artificial closure area was greater than natural grassland and abandoned land. The vegetation feature and plant diversity in 2008 were less than those in 2006 and 2007 for less rainfall and the coverage in 2008 decreased by 50%~60%. The biomass in Wuliangdian natural grassland and Siertan wetland decreased by 50%; in abandoned land, about 60%; and in Liuyangpu artificial closure area, about 70%. In 2008, the diversity index of the four land types decreased slightly and the richness index decreased significantly. Compared with 2007, the richness index of artificial closure area on Siertan wetland decreased by 46% and 22%, respectively. Otherwise, the evenness index of Siertan wetland was seriously affected. It was 0.905 in 2006, while it decreased to 0.836 in 2007 and 0.467 in 2008.

Keywords: Yanchi County; plant diversity; rainfall

由于自然条件恶劣、人口压力沉重、草场超载过牧、滥垦乱采等因素, 使得干旱区土地沙化仍在发展。由于荒漠化使土地生产力退化, 导致植物群落演替进程受阻, 使植被类型和群落结构退化, 生物多样性减少, 植物多样性恢复是植被恢复过程中的直接体

现^[1], 荒漠区气候条件恶劣, 降水稀少, 植物种多样性贫乏, 大多数情况下, 植被恢复具有方向性, 往往是干扰解除后趋于自然群落的缓慢过程, 这一过程可以通过植物群落组成和植物多样性变化来反映^[2-3], 同时, 对植被自然恢复过程中植物群落组成的监测有助

收稿日期: 2009-04-13

修回日期: 2009-05-18

资助项目: 国家林业局荒漠化定位监测项目; 国家自然科学基金(30671722)

作者简介: 杨秀莲(1985—), 女(汉族), 黑龙江省双城市人, 硕士研究生, 主要研究方向为荒漠化防治与监测。E-mail: yang19851020@163.com。

通信作者: 张克斌(1957—), 男(汉族), 陕西省兴平市人, 教授, 主要从事荒漠化防治、监测和干旱区生态环境建设的研究。E-mail: CTCCD@bjfu.edu.cn。

于了解自然恢复的发生过程^[4,5]。而了解植被自然恢复的过程,有利于植被恢复的研究工作,在植被恢复过程中,气候因素和人为因素起着重要的作用^[6],而半干旱区之所以植被稀少,降水量少是重要的原因,充足的降水能够保证植被的覆盖度,过度的人为干扰也是影响植被恢复的原因之一,因此适当的采取措施保证半干旱区的植被恢复,能够减小风蚀,起到遏制沙化的效果。

本研究结合国家荒漠化定位监测项目,以全国荒漠化定位监测站、退耕还林示范县、我国北方沙质荒漠化强烈发展的地区之一的宁夏盐池县为例,对不同植被保护措施(天然草地、撂荒地、人工封育、保护区湿地)固定样地生物多样性进行计算并分析了多样性变化原因。

1 研究区概况

盐池县位于宁夏回族自治区东部,37°04′—38°10′N和106°30′—107°41′E之间,总面积6758.56 km²,盐池县北与毛乌素沙漠相连,南靠黄土高原,属于一个典型的过渡地带。地形上自南向北是从黄土高原向鄂尔多斯台地(沙地)过渡地带,在气候上是从半干旱区向干旱区的过渡地带,在植被上是从干草原向荒漠的过渡地带,在资源利用上是从农区向牧区过渡地带。这种地理上的过渡性造成了本县自然条件资源的多样性和脆弱性特点,冬冷夏热、干旱少雨、风沙大、蒸发强、日照充足是本县气候的几大特点。

盐池县年平均降水250~350 mm,从南向北,从东南向西北递减。在降水时间的分配上,80%以上的降水量分布于5—9月,其中7—9月占年降雨的60%以上。春季降水偏少(占年降水的10%~15%),年平均蒸发量为2180 mm。境内没有可利用的地表水资源,但有少量的深、浅层地下水分布,盐池县地下水总体上呈现出从北到南水量逐渐减少、水质渐差、埋深逐渐增加的趋势。风对盐池县的自然环境的影响十分明显,是荒漠化的主要成因之一。全年主风向为干燥的西风 and 西北风,年平均风速北部为2.8 m/s,南部为4.1 m/s;大风(风速大于17 m/s)日数,北部24.2 d,南部45.8 d,主要发生在春季。春旱和春季大风的叠加,促进了荒漠化的进程。中温带和干旱半干旱的气候条件,决定了该县的自然景观为温带草原和荒漠草原。

盐池县土壤以灰钙土为主,其次是黑垆土和风沙土,此外有黄土,少量的盐土、白浆土等。土壤结构松散,肥力较低,含沙量大,易受风蚀而沙化。盐池县的植被类型有灌丛、草原、草甸、草原带沙地植被和荒漠

植被。其中灌丛、草原、沙地植被数量较大,分布也广。草原分干草原和荒漠草原,群落中常见植物种类以旱生和中旱生类型为主。

2 研究方法

2.1 外业调查

选择4个不同样地类型:天然草地、人工封育区、撂荒地和保护区湿地。其中天然草地选择人为干扰较少的盐池县城南无量殿佛顶自然恢复草地;封育区是从2001年开始封育的柳杨堡人工封育示范区;撂荒地选取盐池县城东南沟沿2块典型撂荒地;保护区湿地为县城以南的四儿滩湿地,其水量受降雨量影响较大。外业调查时间为7—8月,天然草地和撂荒地采用样方法,人工封育区和湿地采用样带法,样方法即每块样地上随机选择1 m×1 m的样方;样地大小1000 m×1000 m,用GPS确定样地中心点坐标,以样地中心点为起点,随机设置样方,其中天然草地设置样方20个,撂荒地设置样方30个;封育区和四儿滩湿地占据面积分别为30和16 km²,面积相对较大,采用样带法调查,人工封育区沿西南、东北方向取条带状地块,划分为3块样地,分别为封育核心、封育边缘、封育外围,每块样地选取样方20个,以四儿滩湿地为中心向东、东北、西北和西南各取一条样带,每条样带选取样方30个,样方调查内容包括:样方内每种植株盖度及样方总盖度,每种植物的高度、生物量,并统计每种植物的总株数。

2.2 数据分析

2.2.1 植物群落聚类分析 应用Microsoft Excel和SPSS 11.5软件处理数据,采用Q型聚类法,以各类型样地植被重要值为数量特征进行聚类分析,重要值确定各群落的主要成分,以区分不同群落^[7-8]:

重要值=(相对多度+相对频度+相对盖度+相对高度+相对生物量)/5

其中:相对频度=(频度/所用样方中植被频度之和)×100;

相对高度=(植被高度/该样方中植被高度之和)×100;

相对盖度=(植被盖度/该样方中植被盖度之和)×100;

相对多度=(植被多度/该样方中植被总数)×100;

相对生物量=(植被生物量/该样方中生物量之和)×100;

频度=某种植物出现的样方数/样方总数×100;

多度=样方内某种植物的株数/样方内各种植物

的总株数 × 100

2.2.2 生物多样性计算 采用 Shannon—Wiener 指数(1949)测定物种多样性^[9-11]

Shannon—Wiener 指数: $H = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$

采用 Pielou 指数(1966)测定群落均匀度^[9-11]

Pielou 指数: $E = H / \ln S$

采用 Simpson 指数(1949)测定生态优势度^[9-11]

Simpson's 指数: $D = 1 - \sum_{i=1}^S (N_i/N)^2$

采用 Margalef 指数(1958)测定群落物种丰富度^[12-13]

Margalef 指数: $R = (S - 1) / \ln S$

式中: N_i ——种 i 的个体数; N ——群落中全部物种的个体数; S ——物种数目; $P_i = N_i/N$ 。

3 结果分析

3.1 不同样地植被变化状况

不同类型样地的植被状况不同,四儿滩湿地的植

被特征值最高,柳杨堡人工封育区次之,无量殿和沟沿较少。对比 2006, 2007 和 2008 年的调查数据表明,2007 年的植被状况最好,2006 年次之,2008 年的植被状况最差(表 1)。

2008 年,4 种类型样地的植物种数均比 2007 年明显减少,植被盖度和生物量也有相应程度的下降。2008 年无量殿草地的平均植被盖度为 23.75%,撂荒地 17.75%,人工封育区为 17.45%,保护区湿地的植被盖度为 21.98%,2006 年和 2007 年各种类型样地植被覆盖度均在 50% 左右,植被生长状况良好,2008 年的平均植被盖度比 2006 年和 2007 年减少 50%~65%,植被生长状况较差。同时,2008 年的植物种数也有所减少,与 2007 年比较,虽然各样地相同面积上的植物株数有一定程度的增加,但是生物量却相比减少,无量殿天然草地和四儿滩保护区湿地都减少约 50%,撂荒地减少 60%,而柳杨堡人工封育区变化最大,生物量相比减少 70%。4 种样地的生物量以四儿滩湿地的最大,撂荒地的最小。

表 1 不同植被保护措施的植物特征值

样地类型	年份	种数	株数	植被盖度/ %	生物量/(kg·hm ⁻²)
无量殿天然草地	2006	39	192	43.70	2 027.14
	2007	33	140	47.25	1 761.17
	2008	24	68	23.75	923.39
沟沿撂荒地	2006	17	429	57.50	1 741.83
	2007	35	114	56.25	2 254.27
	2008	13	229	17.75	695.05
柳杨堡人工封育区	2006	35	113	46.66	3 474.66
	2007	66	97	52.33	3 278.41
	2008	33	70	17.45	973.61
四儿滩保护区湿地	2006	57	243	56.66	3 808.99
	2007	67	210	55.95	4 662.37
	2008	54	247	21.98	2 219.94

3.2 植被群落组成变化

通过对野外调查的数据进行聚类分析,结果表明各种植物保护措施的植物组成有各自不同的特点:无量殿天然草场共有 10 科 24 种植物,以菊科、豆科和禾本科为主,有 5 种群落类型,其中主要的群落类型为达乌里胡枝子(*Lespedeza dahurica*) + 猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)群落;沟沿撂荒地有 6 科 13 种植物,其中菊科占大多数,主要是猪毛蒿群落;柳杨堡人工封育区共有 10 科 33 种植物,也主要以菊科和豆科为主,在聚类分析中分成 6 种群落类型,猪毛蒿+苦豆子(*Sophora alopecuroides.*)群落和苦豆子+黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)群落为主要群落;4 种植被

保护类型中,以四儿滩保护区湿地植物种数最多,共有 19 科 54 种植物,其中菊科、豆科和禾本科居多,主要有 4 种群落类型,芨芨草(*Achnatherum splendens*) + 臭蒿(*Artemisia hedinii*) + 盐爪爪(*Kalidium foliatum*)群落、芨芨草 + 猪毛蒿群落、碱蓬(*Suaeda glauca*) + 盐爪爪(*Kalidium foliatum*)群落以及芦苇(*Phragmites Australis*) + 沙鞭(*Psammodochloa villosa*)群落。

3.3 植物多样性变化

植物多样性是植被结构因子之一,同时又显著影响着植物群落盖度、高度和个体密度等群落结构的形成^[14]。从不同植被保护措施植物物种多样性计算结

果(表 2)中可以看出,不同样地的多样性有较大差异,柳杨堡人工封育区的物种多样性和丰富度指数相对较高,封育区采取围封禁止放牧,对植被的恢复作用明显,四儿滩湿地的植被多样性指数最大,四儿滩湿地的水分条件要优于其它样地,而且从盐池县开展草原植被保护以来,将四儿滩湿地划归为保护区,人为破坏减少,植被长势良好。

对比 3 a 的观测数据表明,无量殿草地的植物物种多样性变化不大,但 2008 年的植物种数为 24 种,比 2006 年减少了 38.5%,比 2007 年减少了 23%。沟沿撂荒地 2007 年的丰富度指数最高,为 4.989,比 2008 年高 68%,比 2006 年高 81%,撂荒地的多样性指数、均匀度指数和优势度指数均为 2007 年 > 2006 年 > 2008 年。柳杨堡人工封育区 2008 年和 2006 年的多样性指数、均匀度指数和优势度指数与 2007 年相差不大,但丰富度指数均比 2007 年减少了约 46%,柳杨堡人工封育区的植物多样性指数较其它样地类型高,说明对退化草场进行围栏封育是退化植被恢复的有利方法,此外随着围封时间的增长,土壤结皮加厚,抑制土壤水分的蒸发,在干旱年份有利于植被生长。

表 2 不同植被保护措施植物多样性变化

样地类型	年份	多样性	均匀度	优势度	丰富度
		<i>H</i>	<i>E</i>	<i>D</i>	<i>R</i>
无量殿 天然草地	2006	2.808	0.772	0.753	4.604
	2007	1.933	0.558	0.512	4.033
	2008	2.965	0.933	0.779	3.186
沟沿 撂荒地	2006	1.287	0.464	0.427	0.966
	2007	3.051	0.865	0.811	4.989
	2008	0.472	0.184	0.125	1.597
柳杨堡人工 封育区	2006	2.422	0.687	0.68	4.028
	2007	3.409	0.817	0.823	7.445
	2008	3.046	0.879	0.794	3.896
四儿滩保护 区湿地	2006	3.644	0.905	0.857	5.801
	2007	3.502	0.836	0.833	6.539
	2008	3.311	0.467	0.465	5.106

四儿滩湿地 2008 年的植被多样性指数明显低于 2006 和 2007 年,其中均匀度指数 *E* 较 2006 年减少了 48%,比 2007 年减少 44%,丰富度指数 *R* 比 2006 年减少 12%,比 2007 年减少 22%,均匀度指数反映植物空间分布均匀程度,2008 年各样地的均匀度指数从大到小依次为无量殿草地、柳杨堡人工封育区、四儿滩湿地、沟沿撂荒地,四儿滩湿地虽然多样性和丰富度指数相对较高,但是四儿滩湿地的湿生带因其含盐量高,抑制非耐盐碱植物的生长,而只生长一些耐盐碱植物如碱蓬、盐爪爪等,影响了均匀度指数。

总的来说,四儿滩湿地的多样性指数和丰富度指数最大,但均匀度指数较差,植被物种多样性指数均比 2006 年和 2007 年有所减小;柳杨堡人工封育区均匀性指数最大,但 3 a 来的均匀性指数和优势度指数无明显变化;无量殿草地和沟沿撂荒地的多样性指数和丰富度指数最小,2008 年无量殿草地的均匀性指数和优势度指数明显增加,而沟沿撂荒地的则减小。

3.4 降水对植物多样性变化的影响

降水对盐池县的植被变化的作用不可忽视^[15]。2008 年各类型样地的多样性和丰富度指数均低于 2007 年,多样性的变化规律与地理纬度、海拔、温度、湿度、年降水量、干旱程度有关^[16],Dregne 和 Tucker 监测到植被变化与年降雨变量有关,并在以后的研究中证实植被对生长季节降水的反应及荒漠植被边缘的扩张收缩与年复一年的降雨变量高度一致^[17],盐池县 2008 年 1 月至 10 月的总降水量比 2006 年多 58.1 mm,比 2007 年减少 22.1 mm,但是降水严重滞后,从 2007 年底至 2008 年 7 月没有一场有效降雨,2008 年 1 月到 7 月的月平均降水量不足 20 mm,大约为多年平均降水量的 30%,地下水位平均下降 1.5 m 左右,而 7 月、8 月和 9 月总的降水量为 229.6 mm,占 1 月到 10 月总降水量的 86%,2008 年植物生长季的降水量和湿度明显低于多年平均值,生长季水分不足抑制了植被的生长,虽然 8—9 月的降水骤增,但生长季节植被种子的未能萌发,导致植物种数和物种多样性减少。因此,在植被生长季的降水量严重影响植被的数量及覆盖度,降水量稀少无法保证植被正常的萌发,植被状况生长较差,即便是后期降水量增加,也不会使植被恢复状况好转。

4 结论

盐池县的植被组成大多以豆科、菊科和禾本科植物为主,四儿滩湿地的植被生长状况最好,主要原因是其水分条件优于其他样地,由于湿地中盐碱度高,所以禾本科和藜科的耐盐碱植物在湿地中分布居多,对湿地划归保护区进行保护减少了人为活动对其影响,更有利于植被多样性的保护,湿地的物种多样性最大,具有物质资料、维持生物多样性、提供生物栖息地等方面的功能,是干旱区宝贵的资源;柳杨堡人工封育区的植被状况较好,人为干扰会降低植被覆盖,影响植被的恢复,控制人为干扰是植被恢复的有效手段,人工封育通过围封草场来减少人为干扰,是有利于植被恢复的有效措施。

气候因素尤其是降水对植被恢复起着重要的作用,降水严重滞后会导致植物物种多样性减少。有力

的植被保护措施和充足的降水等因素可使植被较快的恢复,干旱是造成荒漠化主要的自然因子。盐池县位于生态过渡区和植被交错区,生态环境相对脆弱,对气候变化异常敏感,应加强对植被的保护,促进植被多样性的恢复,有利于维护生态系统的完整性。

[参 考 文 献]

- [1] Fang W, Peng S L. Development of species diversity in the restoration process of establishing a tropical man-made forest eco-system in China[J]. *Forest Ecology and Management*, 1997, 99: 185-196.
- [2] Ronald M T, Robert Z, Amy B B. Floristic development patterns in a restored Elk River Estuarine Marsh, Grays Harbor, Washington [J]. *Restoration Ecology*, 2002, 10: 487-496.
- [3] William J S. Patterns of species richness and composition in re-created grassland [J]. *Restoration Ecology*, 2002, 10 : 677-684.
- [4] Shumway S W. Facilitative effects of a sand shrub on species growing beneath the shrub canopy [J]. *Oecologia*, 2000, 124 : 138-148.
- [5] 克里施纳默西. 生物多样性教程 [M]. 张正明译. 北京: 化学工业出版社, 2006: 25-30.
- [6] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 沙漠化的生物过程及退化植被的恢复机理 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 15-23.

(上接第 162 页)

选择 PI 标准作为侵蚀性降雨标准之一, 主要出于次降雨的雨量、平均雨强比较容易搜集计算使该标准更加具有实用性的目的, 但这可能较 I_{30} 、 I_{60} 标准精度低。本次分析资料来源于非标准小区的观测资料或许也会对标准的拟定产生影响, 因此本次拟定的紫色土侵蚀性降雨标准, 能否作为广泛意义的紫色土地区侵蚀性降雨标准有待试验验证, 但该标准对本地区坡耕地生产实践仍然具有指导意义。通过与其它区域拟定的侵蚀性降雨标准相比较, 紫色土地区的标准值明显高于黄土高原拟定的标准, 这可能与拟定区域的土壤状况也有密不可分的关系, 同时遂宁站的小区均采用了保土耕作措施这也是侵蚀性降雨标准偏高的重要原因。因此土壤、植被、耕作制度等因素对侵蚀性降雨标准的影响有待于进一步实证研究。

[参 考 文 献]

- [1] 王万忠. 黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究 III: 关于侵蚀性降雨标准的问题 [J]. *水土保持通报*, 1984, 4 (2): 58-62.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall ero-

- [7] 卢琦, 李新荣, 肖洪浪, 等. 荒漠生态系统观测方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004: 32-39, 66-68.
- [8] 张金屯. 数量生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 19-40.
- [9] 彭少麟, 方炜, 任海, 等. 鼎湖山厚壳桂群落演替过程的组成和结构动态 [J]. *植物生态学报*, 1998, 22(3): 245-249.
- [10] 曹成有, 寇振武, 蒋德明, 等. 科尔沁沙地丘间地植被演变的研究 [J]. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 262-267.
- [11] 曹成有. 科尔沁沙地退化生态系统植被恢复与重建机制的研究 [D]. 北京: 中国科学院沈阳应用生态研究所, 2002: 58-61.
- [12] Margal E R. Information theory in ecology [J]. *General System*, 1957, 3: 37-71.
- [13] 朱万泽, 蔡小虎, 何飞, 等. 四川盆地西缘湿性常绿阔叶林不同恢复阶段物种多样性响应 [J]. *生物多样性*, 2006, 14(1): 1-12.
- [14] 蒋有绪, 王作荪, 藏润国, 等. 海南热带林生物多样性及其形成机制 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 217-233.
- [15] 张克斌, 李瑞, 侯瑞萍, 等. 宁夏盐池县不同荒漠化治理措施植物多样性研究 [J]. *中国水土保持科学*, 2004, 2 (4): 66-71.
- [16] 戈峰. 现代生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 254-255.
- [17] Tucker C J, Dregne H E, Morton S R. Expansion and contraction of the Sahara Desert from 1980 to 1990 [J]. *Science*, 1991, 253: 299-301.

sion losses: A guide to conservation planning [M]. U. S. Dep. Agric., Agric. Handb., 1978: 537.

- [3] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [M]. U. S. Dep. Agric., Agric. Handb., 1997.
- [4] 张汉雄, 王万忠. 黄土高原的暴雨特性及分布规律 [J]. *水土保持通报*, 1982, 2(1): 35-44.
- [5] 周佩华, 王占礼. 黄土高原土壤侵蚀暴雨标准 [J]. *水土保持通报*, 1987, 7(1): 38-44.
- [6] 江忠善, 李秀英. 黄土高原土壤流失方程中降雨侵蚀力和地形因子的研究 [J]. *中国科学院西北水土保持研究所集刊*, 1988(7): 40-45.
- [7] 王万忠, 焦菊英. 黄土高原侵蚀产沙与黄河输沙 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [8] 谢云, 刘宝元. 侵蚀性降雨标准研究 [J]. *水土保持学报*, 2000, 12(1): 6-11.
- [9] 金建君, 谢云, 张科利. 不同样本序列下侵蚀性雨量标准的研究 [J]. *水土保持通报*, 2001, 21(2): 31-33.
- [10] 卢喜平. 紫色土丘陵区降雨侵蚀力模拟研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2006.