

喀斯特石漠化地区土壤含水量变化影响因素分析 ——以贵州省普定县为例^{*}

王思砚¹, 苏维词^{1,2,3}, 范新瑞⁴, 李 灿¹, 史雪廷⁵

(1. 贵州大学 资源与环境工程学院, 贵阳 550003; 2. 贵州科学院, 贵阳 550025; 3. 重庆师范大学 地理学院, 重庆 400047; 4. 铜陵市环保局, 安徽 铜陵 244000; 5. 东北林业大学 林学院, 哈尔滨 150040)

摘 要: 主要对普定典型喀斯特石漠化地区土壤含水量变化的影响因素进行了研究和探讨, 简要分析了气象、石漠化、坡度、植被、土壤性状等因素对土壤水分的影响。研究结果表明: 降水量是土壤含水量的主要控制因子; 土壤含水率与湿度呈正相关, 与气温呈负相关; 不同发育程度的石漠化样地的土壤含水量大小顺序依次为: 潜在石漠化 > 轻度石漠化 > 中度石漠化; 植被覆盖度与土壤含水量呈正相关; 土壤含水量随坡度的增加而减小; 土壤含水率与土壤厚度呈正相关; 土壤质地对土壤水分入渗能力有一定的影响, 但土壤化学性质对土壤含水量影响较小。

关键词: 土壤含水量; 影响因素; 石漠化; 贵州普定

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)03-0171-05

Influence Factors of Soil Moisture in Karst Rocky Desertification Region ——A Case Study of Puding County, Guizhou Province

WANG Si-yan¹, SU Wei-ci^{1,2,3}, FAN Xin-rui⁴, LI Can¹, SHI Xue-ting⁵

(1. Resources and Environment Engineering Department of Guizhou University, Guiyang 550003, China; 2. Guizhou Academy of Science, Guiyang 550025, China; 3. Geography Department, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China; 4. Tongling Environmental Protection Bureau, Tongling, Anhui 244000, China; 5. Forestry Department of Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: The article studies and discusses influencing factors about variation of soil water content in Puding typical karst rocky desertification region. Changes of soil moisture affected by weather rocky desertification slope vegetation soil properties and other factors is analyzed in brief. Research shows: precipitation is the main controlling factor of soil moisture; soil moisture content and humidity were positively correlated, meanwhile negatively correlated with air temperature. Different developmental levels of rocky desertification plots sort order of the size of the soil moisture: Potential rocky desertification > mild rocky desertification > moderately rocky desertification. Vegetation coverage was positively correlated with soil moisture content. Soil moisture decreases with the slope increasing. Soil moisture content was positively correlated with soil thickness. Soil texture produces certain influence on moisture infiltration into soils, while the soil chemical properties have little influence on the soil water content.

Key words: soil moisture; affecting factors; rocky desertification; Puding county in Guizhou province

土壤水是土壤的重要组成部分, 是土壤肥力最活跃的因素之一, 是作物吸水的最主要来源, 也是自然界水循环的一个重要环节, 通常用土壤含水量(或

称含水率)来表征土壤水分状况^[1]。在喀斯特环境中, 土壤水分是石漠化地区生态恢复与重建的基础。土壤对水分的保持和传导能力, 会影响到岩溶石漠

^{*} 收稿日期: 2009-11-02

基金项目: 国家科技支撑计划(2006BAC01A09); 国家 973 计划专题(2006CB403204); 贵州省科技计划项目(黔科合 S 字[2007]1018, 1020, 1024); 院所创新[2008]009; 省重大专项(黔科重大专项合计[2006]6014); 贵州省高层次人才特助项目(TZF-2008 第 22 号)

作者简介: 王思砚(1983-), 女, 黑龙江齐齐哈尔市人, 在读硕士, 研究方向: 环境污染控制技术。E-mail: wsiyan@126.com

通信作者: 苏维词(1965-), 男, 湖南绥宁人, 研究员, 从事生态环境与可持续发展研究。E-mail: suweici@sina.com

化的发展,有效地调节土壤蓄持和传导水分的能力,是石漠化地区生态恢复与重建的重要措施^[2]。喀斯特石漠化地区生态环境脆弱,土壤贫瘠,水文过程变化迅速,土壤水分变化受多种因素的影响。该文以贵州省普定县石漠化防治研究基地为例,探讨几种主要因素对典型喀斯特石漠化地区土壤含水量变化的影响,以期对喀斯特地区的石漠化治理和研究提供科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

研究区域位于普定县东北三岔河右岸,普定县城北部 8.5 km 处,地理坐标为 26°21'00" - 26°21'40"N, 105°47'50" - 105°48'50"E,土地总面积为 2.86 km²,为一个半封闭的石漠化单元。该区域为峰丛(谷地)地貌,地势向北倾斜,海拔高度 1 200 ~ 1 500 m,年平均日照时数为 1 200 ~ 1 400 h,年平均气温为 15.1℃,年均降水可达 1 400 mm 以上,降雨量多集中在 5 - 10 月,季节分配不均,年平均相对湿度为 79%。土壤主要是石灰岩和白云岩发育而成的石灰土,部分区域伴有少量黄壤,土壤质地粘重且抗腐蚀性差,土体厚度不均匀且不连续。作物种植方式主要为玉米、黄豆轮作,套种红薯。耕地开垦导致部分基岩裸露,出现不同程度的石漠化现象。该区域在贵州喀斯特石漠化山区中具有典型的代表意义。

1.2 主要研究方法

土壤水分用烘干法(在 105℃, 8 ~ 10 h)测定,监测时间为 2007 年 4 月至 2008 年 3 月,每月中旬监测一次;12 个样点,按 S 型采集土壤样品,用环刀分层取样,以 10 cm 为间隔,取样深度为 40 cm,坡地取样深度为 30 cm,每层 3 个重复,共计测得 132 个土样。采回的土样用常规方法测定土壤含水量、容重、pH、有机质、全氮、有效磷和有效钾等指标。生长季节降雨量采用自记雨量计测定,全年的降雨量通过查阅普定县石漠化基地数据库获得;坡度采用坡度仪测量。

2 土壤水分变化的影响因素分析

2.1 气象因素

气象因子对土壤水分含量有着重要的影响。降水是研究区土壤水分的主要来源,蒸发和蒸散是土壤水分消耗的主要方式。此外,空气湿度、温度等因素也有一定作用。因此,气象因素对土壤水分的变化常起着决定性作用。

2.1.1 降雨对土壤水分变化的影响

地下水埋藏较深,植物不能直接利用地下水,对土壤有效水分的补给主要取决于降雨。然而,降雨对土壤水分的影响是一个复杂的过程,既与降雨量有关,还与降雨强度和降雨历时长短等诸多因素有关。有研究表明,由于土壤水分入渗和蒸发向深层传递的滞后性,浅层土壤水分受降雨的影响要大于深层土壤;另外,土壤水分亏缺的补偿和恢复,主要依靠雨强适中、历时长且降雨量大的降雨过程,微雨和暴雨的作用较小。

选取 2007 年 9 月、10 月两个具有代表性的月份作为研究时段,分析 0 - 30 cm 土壤平均含水率与降雨量的关系,如图 1 - 2 所示。从图中可以看出,少量降雨对土壤含水率影响不大,但降雨量较大时,在短时间(一般持续 1 ~ 2 d)对土壤水分影响比较明显。

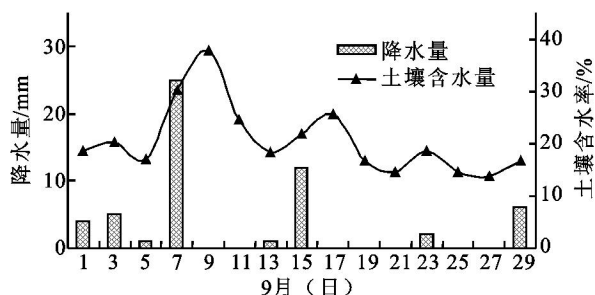


图 1 2007 年 9 月份土壤含水量与降雨的关系曲线

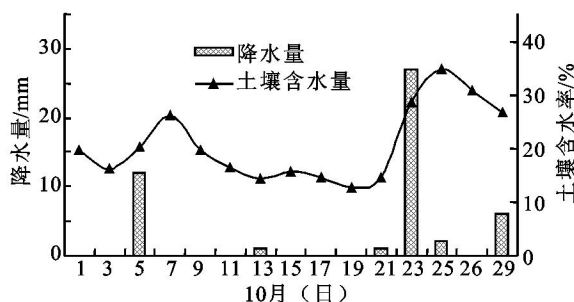


图 2 10 月份土壤含水量与降雨的关系曲线

2.1.2 大气湿度对土壤水分变化的影响 为消除降水因子的影响,选取降水强度较小的 2007 年 11 月、12 月作为研究时段,对日平均土壤含水率与日平均相对湿度之间的相关关系进行分析,如图 3 所示。整体上,研究区土壤含水率与相对湿度呈正相关关系,即土壤水分随湿度的增加而增加,反之则降低。

2.1.3 温度对土壤水分变化的影响 植被蒸腾和地表蒸发是研究区土壤水分的主要消耗方式,而气温对植被蒸腾和地表蒸发有一定的影响,因此,温度因子会间接影响土壤水分的变化。对温度因子的研究时段仍选择 2007 年 11 月和 12 月两个月,如图 4 所示。整体上,研究区土壤含水率与气温呈负相关关系,即土壤水分随着气温的升高而降低,反之则升高。

可见,喀斯特地区气温对土壤含水率有一定的影响。

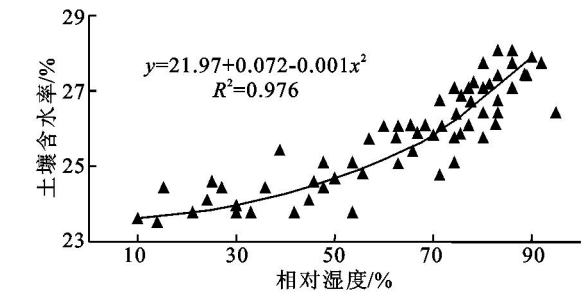


图 3 土壤含水率与相对湿度关系

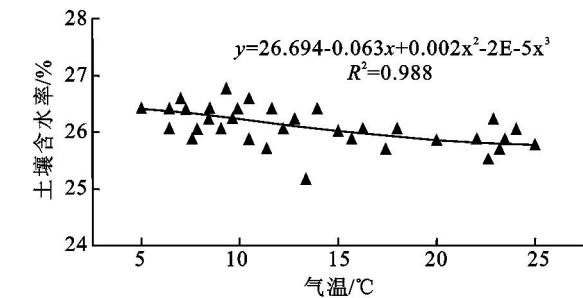


图 4 土壤含水率与气温关系

2.2 石漠化因素

伴随喀斯特地区石漠化发育过程的土壤粗粒化,会引起土体的分散和结构的破坏,造成土壤物理

性质的变化,从而会对土壤水分变化产生一定的影响。研究区内不同等级石漠化土壤含水量在 2007 年和 2008 年相同月份的检测数据见表 1 (2004 - 2006 年,研究区内种植了一系列针对石漠化治理的生态林和经济果木林,如李子、桃子、花椒等)。除 2007 年 9 月轻度和中度石漠化样地的土壤含水量存在较小差异外,研究区不同发育程度的石漠化样地的土壤含水量为:潜在石漠化 > 轻度石漠化 > 中度石漠化。

2.3 坡度对土壤水分变化的影响

不同的坡度对太阳辐射的遮蔽时间、遮蔽范围不同,使得坡面上接受的辐射量及潜在蒸发能力不同,同时,坡度也影响坡面的降雨强度及水分滞留时间,因此,坡度对土壤水动态具有显著影响。本文选择石人山上部裸露土壤坡面测量山体坡度及浅层(地表以下 15 cm)平均土壤含水率,结果表明,其它影响因素相同或相近的情况下,土壤含水率随坡度的增加而减小(如图 5)。低坡度地带具有较强的保水能力,对植被生长有利。喀斯特坡度较大的锥形山体不利于保水,易水土流失,是生态环境脆弱的重要因素之一。

表 1 不同等级石漠化土壤含水量

样地类型	2007-01	2007-05	2007-09	2008-01	2008-05	2008-09
中度石漠化	25.48	30.38	27.38	26.45	33.45	28.52
轻度石漠化	27.51	32.84	26.84	29.38	34.38	30.67
潜在石漠化	30.32	35.45	31.45	32.21	39.21	36.23

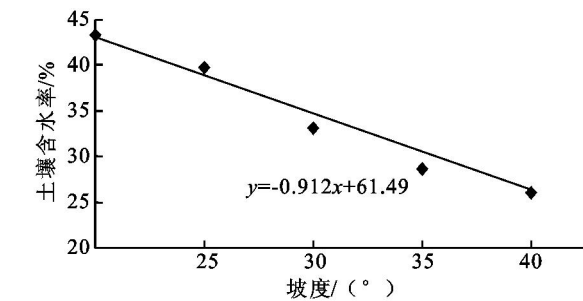


图 5 土壤含水率随坡度变化规律

2.4 植被因素

2.4.1 植被类型对土壤水分变化的影响 植被通过截留、蒸腾以及根系汲水作用影响土壤水动态过程,改变土壤的透水及持水性能^[3-4]。由于不同植被的截留、蒸腾及根系的汲水作用不同,不同植被对土壤的透水及持水性能的影响也不同。在其它条件相同的情况下,对比植被覆盖区和裸露区土壤水分观测结果,植被覆盖区土壤含水率明显高于裸露土壤(如图 6)。其中灌丛地的土壤含水率比对应的裸露区土壤含水率高 30.5%,退耕地的土壤含水率比对应裸露区土壤含水率高 20.1%,木豆林地的土壤含水率比

对应裸露区土壤含水率高 10.2%。自然灌丛地、退耕地、木豆林地对土壤保水作用的影响依次减小。

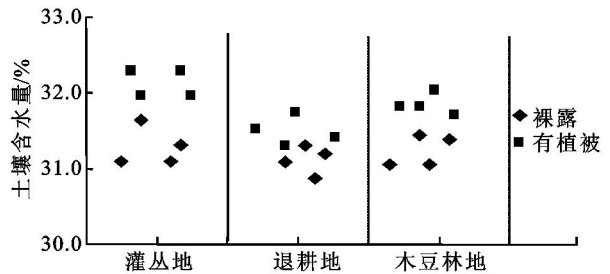


图 6 不同植被类型对含水率的影响

2.4.2 植被覆盖度对土壤水分变化的影响 植被覆盖度对土壤水分含量及表面蒸散发影响较大,而且由于根系层分布的差异使得土壤剖面不同深度对这种影响的水分响应不尽相同^[5]。选取 20 cm 和 40 cm 深度的土壤含水率作为对比分析,由图 7 - 8 可知,植被覆盖度与土壤含水量之间具有较好的定量关系,图中曲线可反映非试验覆盖度值对应土壤水分含量的模拟值。经实测数据统计获得的定量关系表明,对于喀斯特地区植被而言,植被覆盖度增加,有利于提高土壤含水量。

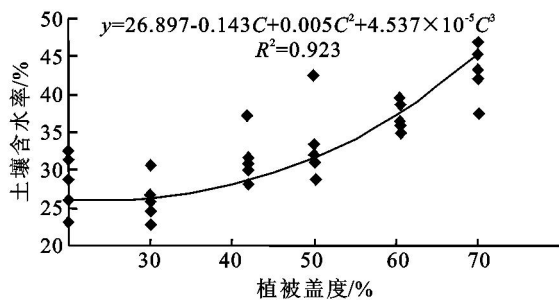


图 7 20 cm 深度上土壤含水量随植被覆盖度的变化

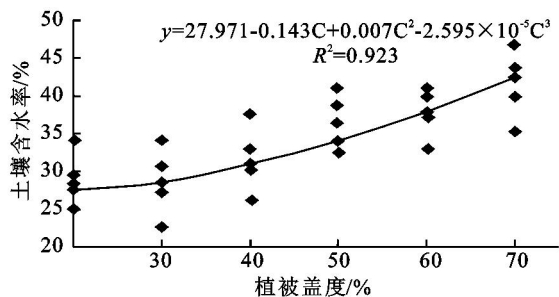


图 8 40 cm 深度上土壤含水量随植被覆盖度的变化

2.5 土壤性状因素

2.5.1 土壤厚度对土壤水分变化的影响 由图 9 可知,土壤含水率与土壤厚度具有一定的相关性,土壤含水量随着土壤厚度的增高而增大。而同一厚度的土壤在不同的微地貌类型中,含水量变化的差值也有很大的差异,出现这种差异的原因是由于土壤性质、微地貌类型以及岩性植被等的差异。石灰土表层较为疏松,颗粒较大,保水能力也较差,而越深处的土壤越粘重,保水性能也较好,其含水率也较高;微地貌的影响表现在部分地段由于自然或是人为因素的影响其含水量有很大的差异。

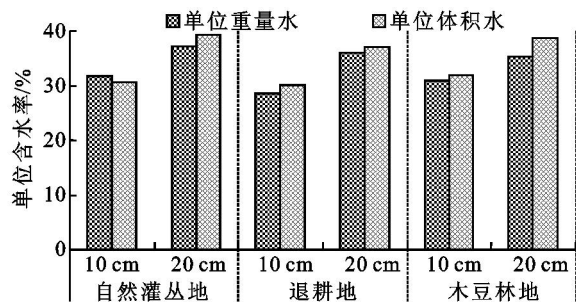


图 9 土壤厚度与单位含水率的关系图

2.5.2 土壤质地对土壤水分变化的影响 土壤质地是土壤固相物质各粒级土粒的配合比例,它通过对土粒的土壤孔隙尺度和分布的影响,进而影响到土壤水分入渗能力。土壤质地越粘重,黏粒质量分数越高,颗粒越细微,粒间孔隙越小,毛管孔隙多,通气孔隙少,其持水性能越强^[6]。图 10 是在不同质地条件下的土壤入渗速度变化曲线,由图可见,耕作土曲线斜率较大,曲线较陡,土壤水分入渗速度变化较大,石灰土曲线则斜率较小,较为平缓,土壤水分入

渗速度变化较小;因此,土壤水分的入渗能力受土壤质地的影响较大,轻质土壤的水分入渗能力大于重质土壤的水分入渗能力,土壤质地越重,土壤入渗能力减小,反之则变大。

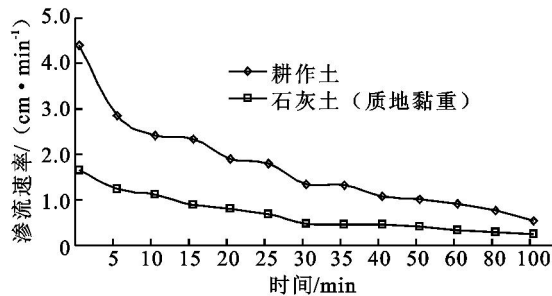


图 10 不同质地条件下的土壤入渗速度变化曲线

2.5.3 土壤化学性质对土壤水分变化的影响 土壤有机质是土壤的重要组成部分,土壤的许多特性,都直接或间接地与有机质的存在分不开,它不仅是评价土壤肥力高低的重要指标,也是影响土壤水分含量的主要因素之一。有机质作为土壤中的亲水物质,一方面可以吸持水分,增加土壤的水分含量;另一方面参与土壤结构的形成与改良,有机质高的土壤,往往有良好的团粒结构,适宜的土壤孔隙构成,土壤蓄持水的能力增加^[7]。水解 N 是能被植物吸收利用的有效养分,主要集中于植物根系分布区,其含量受植物根系及其根际环境的影响较显著^[8]。速效 P 为土壤中水溶性 P,可供植物直接吸收利用,一般为无机磷,其补给主要依赖于磷酸盐矿物的溶解和被土壤吸附固定的磷的释放^[9]。土壤的 pH 是土壤的一个基本性质,也是影响土壤理化性质的一个重要化学指标,它直接影响着土壤中各种元素的存在形态、有效性及迁移转化^[10]。由研究区 2007 年 5 月 - 2007 年 9 月三种不同植被类型土壤化学性质分析(如表 2)表明,自然灌丛地的年平均有机质、全 N、有效 K 含量均大于另外两种植被类型样地,而速效 P 的含量为自然灌丛地最低。这主要由于在自然灌丛地中,枯落物分解速率较快,枯落物的分解,增加了土壤有机质的吸收,从而改善土壤结构和理化性质。而在退耕地和木豆林地中,由于植被对土壤养分的消耗,枯落物分解相对也较慢,加之人工进行间伐时,带走相应一部分养分,使其土壤中养分含量相应较低。

对以上三种植被类型的 5 种土壤化学性质指标与其土壤水分含量之间进行相关分析(如表 3),结果表明:除退耕地的有机质在 0.05 水平上与土壤水分含量呈正相关,木豆林地的 pH 值在 0.05 水平上与土壤水分含量呈负相关外,其他均不相关。表明在所研究的三种植被类型样地中,土壤的化学性质对土壤水分含量的影响较小。

2.6 其它因子的影响

除上述分析的影响因子外,风速、气压和太阳辐射等大气因子也会对土壤水分含量产生影响,坡向,下垫面状况等也是较重要的影响因子,以及土壤初始含水量等都会反映出土壤水分状况不同的变化特征^[11]。

表 2 2007 年 5 - 9 月三种植被类型土壤化学性质 (20 cm 处)

模被类型	时间	含水量/ %	pH	全氮/ (g · kg ⁻¹)	有效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)	有机质/ (g · kg ⁻¹)
退耕地	5 月	29.22	6.26	1.77	20.19	186.41	32.84
	6 月	33.77	6.33	1.31	18.03	163.25	38.19
	7 月	41.09	6.03	1.93	15.39	187.15	41.77
	8 月	40.09	6.46	1.78	15.15	151.81	45.67
	9 月	34.62	6.36	1.41	24.02	187.15	35.13
	均值	35.76	6.29	1.64	18.56	175.16	38.72
木豆林地	5 月	34.68	7.14	1.31	5.45	129.66	31.10
	6 月	39.93	6.89	1.05	4.63	94.71	33.29
	7 月	47.70	6.66	1.38	3.97	145.19	54.04
	8 月	40.03	6.30	1.69	12.58	108.66	55.51
	9 月	33.45	7.27	0.98	53.32	296.93	28.86
	均值	39.16	6.89	1.28	15.99	155.03	40.56
自然灌丛地	5 月	30.47	6.06	3.71	5.31	179.06	46.42
	6 月	32.13	6.55	3.68	12.61	351.41	91.71
	7 月	36.46	6.68	2.57	2.32	130.76	98.81
	8 月	34.24	6.04	5.69	10.52	332.91	119.46
	9 月	28.78	7.02	2.53	4.73	314.65	64.78
	均值	32.42	6.47	3.64	7.11	261.76	84.23

表 3 土壤化学性质指标与土壤水分含量的相关关系

植被类型	项目	pH	全氮	有效磷	速效钾	有机质
退耕地	相关系数	- 0.195	0.428	- 0.661	- 0.311	0.898
	显著水平	0.711	0.397	0.154	0.548	0.015
木豆林地	相关系数	- 0.894	0.409	- 0.588	- 0.471	0.786
	显著水平	0.032	0.421	0.221	0.345	0.064
自然灌丛地	相关系数	- 0.228	0.212	0.049	- 0.377	0.761
	显著水平	0.664	0.687	0.926	0.461	0.081

3 结 论

- (1)降水量是土壤含水量的主要控制因子,土壤含水量受降雨(特别是强降雨)影响而呈明显的变化;土壤含水率与湿度呈正相关,土壤水分随湿度的增加而增加,反之则降低;与气温呈现负相关,即土壤水分随气温的增加而降低,反之则升高。
- (2)研究区不同发育程度的石漠化样地的土壤含水量大小顺序依次为:潜在石漠化 > 轻度石漠化 > 中度石漠化;石漠化生态治理过程中,各石漠化样地土壤含水量均较上一年同期有了提高。
- (3)在其它影响因素相同或相近的情况下,土壤含水率随坡度的增加而减小;植被覆盖区土壤含水率明显高于裸露土壤,植被覆盖度增加,有利于提高土壤含水量。
- (4)土壤含水量随土壤厚度的增高而增大,而同

- 一厚度的土壤在不同的微地貌类型条件下变化差异较大;土壤质地对土壤含水量具有不可忽视的影响;通过对三种植被类型的 5 种土壤化学性质指标与其土壤水分含量之间进行相关分析,说明土壤的化学性质对土壤水分含量影响较小。
- (5)土壤水分的影响因素较多,这些因素并非单独地对土壤水分发生影响,而是综合地影响着土壤水分的变化。除此之外,风速、气压、太阳辐射、坡向、下垫面状况等因素也会对土壤水分含量产生一定的影响。
- 参考文献:
- [1] 吕贻忠. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2006.
- [2] 李孝良,陈效民,周炼川,等. 西南喀斯特石漠化过程对土壤水分特性的影响[J]. 水土保持学报,2008,22(5): 198-203.
- (下转第 180 页)

3 结 论

(1) 以耕地产能核算为核心,以耕地理论产能和实际产能核算的测算方法为基础,建立了未来耕地生产能力预测模型,形成了以 Logistic 生物模型和人口发展方程模型为人口预测方法,以宽裕型、小康型、富裕型 3 种消费水平为标准的耕地资源人口承载力计算方法。该方法具有传统上以光温生产力为基础逐步修正计算粮食生产能力的优点,而且简单易行,避免了传统上把各种粮食作物分别进行预测的分散性和由于各种预测结果加和所带来的差异性,使结果更加科学合理。

(2) 运用构建的耕地人口承载力模型,以卢龙县为例进行了耕地人口承载力实证研究,结果表明:

规划期间卢龙县人口承载量结果不容乐观,到 2020 年,在小康型消费标准下勉强承载,而在富裕型消费标准下处于超载状态。除石门镇外,各乡镇均能满足温饱型消费标准下的粮食需求,但在富裕型消费水平下近半数乡镇处于超载状态,卢龙县整体承载潜力较大,但各乡镇承载潜力差异明显。因此,若要保证全县的粮食安全又不断提高生活水平,必须深入挖掘耕地生产潜力,提高耕地生产能力,同时控制人口增长速度。

(3) 耕地产能核算是在农地分等成果的基础上完成的,很好地反映了目前耕地生产能力,实证研究表明该方法测算结果符合当地实际发展情况,是一种较科学的人口承载力测算方法。但是由于当前科

学技术的发展水平尚不能对农地分等的各影响因素进行动态变更,使得计算出来耕地产能与现实产量之间可能有一定的差异,有待进一步完善。

参考文献

- [1] 熊平生,谢金宁,谢世友. 重庆市耕地生产潜力及承载力分析[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(5): 584-587.
- [2] 梅方权. 21 世纪前期中国粮食的发展目标和战略选择[J]. 粮食科技与经济, 1999(4): 4-8.
- [3] 余旭升. 土地资源人口承载量的预测及其在人地关系研究中的意义: 以江苏省滨海、苏州为例[J]. 自然资源学报, 1991, 6(2): 117-126.
- [4] 蔡成凤,刘友兆. 淮南市耕地资源生产潜力及人口承载力研究[J]. 资源调查和评价, 2005, 23(12): 8-14.
- [5] 王晓荣,高九江. 陕北粮食生产潜力及土地人口承载力研究[J]. 水土保持学通报, 2006, 26(5): 53-56.
- [6] 郭艳红. 北京土地人口承载力研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2007.
- [7] 叶伟,赵善伦,孙静. 土地人口承载力计算方法综述[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(3): 40-44.
- [8] 张晶,王德岱. 浅论土地承载力研究方法[J]. 山东省农业管理干部学院学报, 2007, 23(1): 157-158.
- [9] 陈卫,孟向京. 中国人口容量与适度人口问题研究[J]. 市场与人口分析, 2000, 6(1): 21-31.
- [10] 刘长运,杨丰华,蒋国富. 河南省土地资源承载力研究[J]. 南都学坛, 1998, 18(6): 72-74.
- [11] 姬洪飞,张俊梅,许皞. 基于农用地分等的土地人口承载力研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(4): 369-373.

(上接第 175 页)

- [3] Hawley M E, Jackson T J, McCuen R H. Surface soil moisture variation on small agricultural watershed[J]. J. Hydrol., 1983, 62: 179-200.
- [4] Western W A, Grayson R B, Blöschl G, et al. Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices[J]. Water Resour. Res., 1999, 35: 797-810.
- [5] 王孟本,李洪建. 晋西北黄土区人工林土壤水分动态的定量研究[J]. 生态学报, 1995, 15(2): 178-184.
- [6] 解文艳,樊贵盛. 土壤质地对土壤入渗能力的影响[J]. 太原理工大学学报, 2004, 35(5): 537-540.
- [7] Andrew W W, Sen-Lin Z, Rodger B G, et al. Spatial correlation of soil moisture in small catchments and its relationship to dominant spatial hydrological process[J]. J. Hydrol., 2004, 286: 113-134.
- [8] Bai J, Deng W, Zhu Y, et al. Spatial variability of nitrogen in soils from land/inland water ecotones[J]. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 2004, 35(5/6): 735-750.
- [9] 向万胜,黄敏,李学坦. 土壤磷素的化学组分及其植物有效性[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 663-670.
- [10] 于君宝,王金达,刘景双,等. 典型黑土 pH 值变化对微量元素有效态含量的影响研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 93-95.
- [11] 范新瑞,苏维词,鄯贵权,等. 黔中典型喀斯特地区土壤水分时空特性分析[J]. 中国岩溶, 2009, 28(1): 69-75.