

中国植物空间分异规律

胡雄光¹, 薛华伟², 王兴勇³, 付意成³

(1. 丽水学院, 浙江 丽水 323000; 2. 中国水电建设集团 圣达水电有限公司, 四川 乐山 614013; 3. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘要: 以省级行政区为分析单元, 借助 ArcGIS 空间分析功能对中国行政分区图、中国森林覆盖率图、中国植物区系图、中国植被分区图进行叠加分析。通过对同一植被分区下分析单元数据进行整合, 给出全国不同植物区系、植被分区、森林覆盖率信息。采用二阶聚类综合判别法, 提取中国植被分区总体信息, 探求植被空间分异规律, 发现一类、二类、三类植被的比例为 30: 37: 23, 反映出植被的区域分布特性较强; 四类植被比例大致占 10%, 反映出大区域内的局地小生境造成的植被分布的整体差异。另外, 一类植被多分布在中高纬度地带, 二类植被贯穿中国全纬度, 三类植被多分布在低纬度地带。

关键词: 森林覆盖率; 植被特征; 植物区系; 空间分异

中图分类号: X144; Q948 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)06-1089-04

Spatial disparities of Chinese vegetation

HU Xiong guang¹, XUE Hua wei², WANG Xing yong³, FU Yi cheng³

(1. Lishui University, Lishui 323000, China; 2. Powchina Hydropower Development Group Shengda Hydropower Co. Ltd, Leshan 614013, China; 3. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: In this paper, the Chinese administrative division is regarded as the analysis unit, the vector data of Chinese administrative district map, Chinese forest coverage map, Chinese flora map, and Chinese vegetation zoning map are overlaid using the spatial analysis function of ArcGIS. The information of vegetation zoning and flora, as well as forest coverage is obtained through the analysis of unit data. On the basis of Chinese vegetation zoning information using the second order cluster analysis method, the spatial disparities characteristics of vegetation are analyzed. The proportion of the first class, second class, and third class vegetation is 30: 37: 23, which reflects a strong spatial variation of vegetation distribution. The proportion of fourth class vegetation is about 10%, which reflects the regional variation from the overall vegetation distribution. The first class vegetation mostly exists in the region of high latitudes, the second class is everywhere, and the third class is located in the region of low latitudes.

Key words: forest coverage; vegetation characteristics; flora; spatial disparities

中国不同区域的植物组成、空间分布及森林覆盖率变化是不同植物区系下植被生境特点的重要表征, 是研究植物资源可持续开发利用的基础。其中, 森林覆盖率作为重要的表征因子, 反映森林资源丰富程度和生态平衡状态, 受地理环境、气候特征的制约和影响。此外, 植物区系作为描述植物种(或科)对环境的长期适应以及自然因素对植物的综合影响结果, 是衡量植物对生境适应性的重要指标。研究中以中国各省区的地形地貌、降水量、气象特征为分析基础, 结合人为因素的干预程度, 对省区的森林覆盖率及不同植被类型的

分区特性进行分析, 探索中国各省区在自然、人为因素影响下的优势植物资源的空间分布规律, 以及全国综合植被分区特性, 利于全国不同区域优势树种的选取、丰富程度的度量。本文以中国行政分区图、中国森林覆盖率图、中国植物区系图、中国植被图扫描图件为数据源, 基于 ArcGIS 平台进行数据配准、数字化处理。通过对影响植被分布的主要因子进行量化分析, 给出中国各省区植被多样性特性表现及成因, 探求植被特征空间分异规律, 为实现中国省区生态规划和建设及区域植被资源的可持续开发利用提供依据, 对相关区域进

收稿日期: 2015-03-03 修回日期: 2015-10-21 网络出版时间: 2015-11-30

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20151130.2201.048.html>

基金项目: 中国博士后科学基金项目(2014M550770); 国家自然科学基金项目(5140090767)

作者简介: 胡雄光(1963-), 男, 浙江丽水人, 讲师, 主要从事水环境及生态修复等方面的研究。E-mail: swfyc@163.com

通讯作者: 薛华伟(1976-), 男, 河南南阳人, 高级工程师, 主要从事水利水电工程建设及生态保护等方面的工程实践及研究工作。E-mail: swfyc@126.com

一步开展退化植被生态系统的恢复与重建研究,具有一定的理论和实践意义^[5]。

1 研究基础

1.1 数据来源

依据资料的可获取性,为便于进行植被空间分规律分析,本文采用的数据来源包括:1:35000000 比例尺的中国植被分区扫描图件、1:18000000 比例尺的中国植物区系分区扫描图、1:18000000 的中国森林覆盖率扫描图及中国行政分区矢量图(以上数据来源于地球系统科学数据共享平台 <http://www.geodata.cn> 和国家自然科学基金委员会“中国西部环境与生态科学数据中心”<http://westdc.westgis.ac.cn>)。

1.2 方法选取依据

各种植被类型在一定的自然环境条件下形成和发育,区域性特点明显,主要表现为植被类型的地理分布和空间组合^[6]。植被特征空间变异规律受多种影响因素制约,其中森林覆盖率是植被特征的重要组成部分,同时植物区系及植被类型亦对其有重要影响。本文以森林覆盖率、植物区系、植被分区作为空间分析指标,在对全国省(市、区)统计数据进行分析的基础上,结合区域的地形、气候、降水特性,采用定量与定性分析相结合的方法探求中国植被特征空间分异规律。

森林分布格局的形成是环境因子和干扰影响长期作用的结果,体现了植被类型的地理分布特征。本文结合已获取数据的种类及不同数据类型在处理空间信息上的优缺点,基于以下两点选取分析方法。

(1) 森林覆盖率、植物区系、植被分区均为面源数据,同时由于空间跨度大,数据空间分辨率相差悬殊,拟采用矢量数据格式进行空间分析。

(2) 由于叠加后图层既有间隔数据又有类型数据,传统的指标综合评价方法难以量化特征变量,提取相关的综合评价信息。鉴此,本文在综合比较各空间数据处理方法优缺点及适用范围的基础上,拟采用二阶聚类综合判别法对多样化植被特征的空间特性进行聚类分析。

二阶聚类法(Two Step Cluster)(也称为两步聚类)是一个探索性的分析工具,为揭示自然的分类或分组而设计,是数据集内部的分类。二阶聚类法是一种新型的分层聚类算法(Hierarchical Algorithms),目前主要应用到数据挖掘(Data Mining)和多元数据交叉统计的交叉领域中。分析过程中,首先按照某种方法度量所有自成一类样本间的亲疏程度,将最亲密的样本聚成一类,度量剩余样本与小类群间的亲疏程度,将当前最亲密的样本聚成一类;如此反复,直到所有的样本均能找到对应归类为止。研究过程为:a.借助 ArcGIS 软件,对中国行政分区图、中国森林覆盖率图、中国植物区系图、中国植被分区图,叠加提取综合指标图层;b.对提取出的破碎多边形进行融合运算,进一步提取出面积超过 1000km² 的计算单元作为数据综合判别计算单元;c.在 SPSS 模块中构建二阶聚类模型,计算聚类结果;d.对聚类结果进行空间展布,统计植被分区、植被类型及森林覆盖率综合表征下的数据信息。

2 规律探讨与结果分析

2.1 规律探讨

本文利用 intersect 叠加命令进行中国行政分区、中国森林覆盖率、中国植物区系、中国植被图层的叠加。通过对图形进行初步分析,给出如下规律特征。

(1) 中国森林覆盖率最高的地区主要分布在南方的台湾省、海南及福建省(森林覆盖率>35%);森林覆盖率较高的地区主要分布在中国东北部的黑龙江省及吉林省中东部、辽宁省东南部地区(森林覆盖率在 25%~35%之间),上海市、浙江省、江西省、广东省、湖北省、陕西省的森林覆盖率在 15%~25%之间;除西北部地区的新疆维吾尔自治区、青海省、甘肃省、宁夏回族自治区的森林覆盖率(1%~5%)最低外,其余地区的森林覆盖率偏低,在 5%~15%之间。

(2) 中国的植物分布带主要包括大兴安岭北段山地落叶针叶林带、中温带湿润地区森林带、中温带干旱地区荒漠针叶林带、中温带半干旱地区草原带、暖温带湿润/半湿润地区落叶阔叶林带、高原亚寒带半湿润/半干旱地区草甸草原带、中北亚热带湿润地区阔叶林带、热带南亚湿润地区阔叶林人工植被带^[7]。从海拔分级和植被多样性统计数据,海拔 0~6800 m 间植被种类随海拔高度增加而显著减小^[8]。此外,太阳辐射随纬度变化分布不均,植被分布表现出纬度地带特性。

(3) 中国北方地区森林覆盖类型多以荒漠、灌木丛草原混合区、灌木丛区为主,而在南方综合林地分布较为广泛。在东部季风区,呈现出华南区常绿阔叶林,经华中区落叶阔叶林,到东北落叶针叶林的过渡;而在西北内陆区,植被的纬度地带性并不明显^[9]。降水作为限制干旱半干旱地区植被分布的重要因子,在很大程度上决定着植被分布类型。西部黄土高原、内蒙古高原和青藏高原区气候干旱少雨,植被覆盖主要以草原和荒漠草原为主;塔里木盆地南北缘及天山山脉属干旱区,该地区降水对植被的生长起决定性作用^[10]。

2.2 植物分布空间分异规律分析

在现有数据的基础上,为量化我国植物特性的空间变异规律,结合二阶聚类法在处理综合数据、复杂类别结构方面的优越性,将提取出的计算单元植被分布、植物区系、森林覆盖率 3 种属性数据(数据类别,相对空间数据而言)作为样本进行聚类分析:聚类准则为 BIC,聚类数上限位 15,离群点控制比例为 25%,采用最大似然法进行距离测定。中国植被特征的不同聚类组成见图 1。

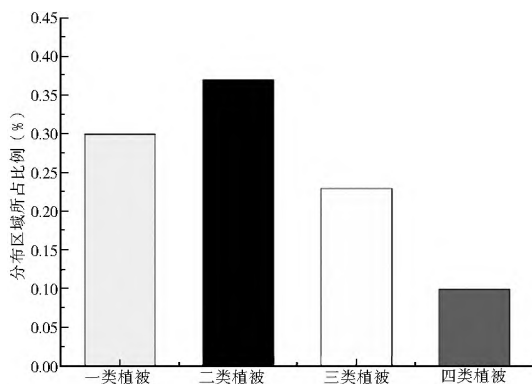


图 1 中国植被特征不同聚类构成

Fig. 1 Chinese vegetation characteristics under different clusters

植被分区指在一定地段上,依据植被类型及其地理分布特征差异,考虑优势物种及生活习性,具有相对一致的植被类型及其有规律的组合的植被地理区。由我国植被空间特征的二阶聚类分析结果可知,植被在空间上呈现3类(暂称为一类植被、二类植被、三类植被)典型集群特征,三者的比例大致为30%、37%、23%,反映出中国植被的区域特性较强,便于植被资源的综合评价及开发利用、区域优势树种信息的获取及生态多样性规划的制定;四类植被(离群点集)比例大致占10%,反映出大区域内的局地小生境造成的植被分布的整体差异,便于多样性植被的空间展延分布。为从集群内部寻求空间变异特性,结合长系列资料对植被聚类情况进行分析:中国植被覆盖度呈逐渐增加的趋势,变化明显的区域主要分布在主要分布在104°E以东的北温带区域(30°N~40°N之间),而在经济发达的沿海三角洲(黄三角、珠三角、长三角)和生态脆弱的风沙区,植被退化严重,四类植被特性明显。从植被种类上分析,常绿针叶林、常绿阔叶林、稀疏灌丛、低山草原近年来在生态保护意识的促进下植被覆盖度改善趋势明显,但年际波动性较强^[1]。因此,植被群落空间分布的多样性是物种丰富度和分布均匀性的综合反映,体现了植被群落结构类型、发展阶段、稳定程度及生境的差异性特征^[12]。

通过量化气候与植被的关系,可用于判定中国植物分布的合理性。利用中国森林覆盖率、植物区系、植被分区数据,在对变量做层次聚类分析的基础上,将树形图第一阶段的小类当作区域划分的第一结果,如此反复进行,结合“中国西部环境与生态科学数据中心”(http://westdc.westgis.ac.cn)的中国地区长时间序列SPOT_Vegetation植被指数数据集,研究中国植被空间分异特征:(1)一类植被特征优势类别组合为植物区系为IE11(b)、森林覆盖率介于5%~15%之间、植被类型为01,即泛北极植物区、中国-日本森林植物亚区、华北地区、华北平原、山地亚地区、温带草原区、森林草原地带,森林覆盖率介于5%~15%植被特征。(2)二类植被特征优势类别组合为植物区系为IF17、森林覆盖率为1%~15%之间、植被类型为01,即泛北极植物区、中国-喜马拉雅森林植物亚区、横断山脉地区、高寒草甸、草原区、森林草甸地带,森林覆盖率介于1%~15%植被特征。(3)三类植被特征优势类别组合为植物区系为IE12、森林覆盖率为5%~15%之间、植被类型为0A2,即泛北极植物区、中国-日本森林植物亚区、华东地区、亚热带常绿阔叶林区、东部常绿阔叶林亚区、常绿阔叶林地带,森林覆盖率介于5%~15%植被特征。研究成果与《中国植被区划图》中的植被类型及植被分区(全国划分8个中国植被地带和24个亚地带)、全国第六次连续清查森林分布图数据成果相吻合。

地球上植被的地带性变化一般有纬度地带性、经度地带性和垂直地带性3种形式^[13]。为从地理空间寻求植被3类特征的出现规律,本文依据我国植被分布的水平、垂直地带性变化,以经度、纬度为数据坐标分析植物的空间变异状况见图2。据此分析,中国植物空间特征的地带性主要表现在:(1)一类及三类植被多分布在E100°~120°地区;二类植被在E110°~120°之间断层,主要集中于E80°~110°和E120°~130°即总体呈现干湿地带性,经度地带性明显。(2)一类植被多分布在中高纬度地带,三类植被多分布在低纬度地带,且两类植被贯穿中国整个纬度。

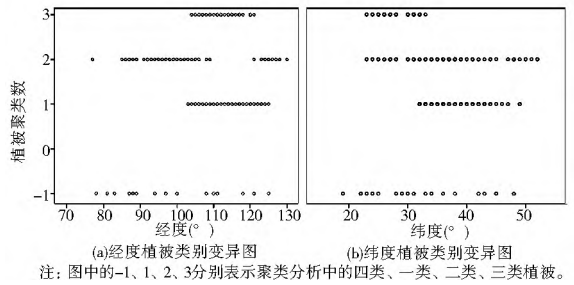


图2 中国植物空间变异经纬度特征分析
Fig. 2 The spatial variability characteristics of Chinese vegetation in latitude and longitude

结合中国植物空间分布的地带特性,以聚类属性为分类变量分析变异结果如下:(1)中国植被呈现明显的地带特性,且整体集群性明显,主体上分为3大植被集群,地理位置上对应于我国的华南、华北及西部地区。(2)植被呈现整体地带性的同时,整体分布空间分块特征明显;适应生境下植被展延特征的相似性,导致西部高原地区与东北寒温带地区呈现出相似的植被聚类特征。从多年平均状况看,中国东部秋季的植被覆盖度具有明显的地理差异,植被覆盖与自然地理单元基本对应,分区依据分别为东北地区、内蒙古高原东北部、华北北部-东北南部、华北南部、江淮地区、秦岭-大巴山-长江中下游及其以南地区^[14]。总体而言,中国大部分植物仍能较好适应气候变化、维度条件;但在青藏高原南部、内蒙古地区及西北部分地区的草地适应性较差,退化倾向明显^[5]。因此,从中国植被总体分布来看,“绿度”从东南向西北逐渐降低,“绿波”褐波的推移较为明显,并且由南向北趋势更为明显^[16]。

森林植被空间分布的动力因子是影响和决定森林植被的空间分布的因素^[7]。中国区域植被随海拔高度的上升而引起水热条件变化,导致了不同海拔区域植被垂直带的分异^[8]。结合中国植被空间分布特征的聚类分析结果,为便于从分析单元上寻求原因,本文将各省(市、区)的综合数据信息化为表1。结合区域的地理特征、降水、温度特性得出如下结果。

(1)中国植被特征分异现象明显,自西北、东北高海拔地区向东南、西南低海拔地区递减,与降水变化规律大致相反。

(2)植被类型丰富的省(市、区)周边的地理特征明显,区域四周海拔相对较高的闭合、半闭合山脉造成的局地小气候在某种程度上给多样化植被的生存创造了适宜的生境,提高了所在省份不同分区植被的丰富度。

(3)从温度分区上看,植被种类数较大的分析单元,一般分布在中温带、青藏高原原垂直温度带。中温带四季分明,气候变化明显,利于在不同气候带下生存的植被多样化,从等效的角度看,在一定意义上延长了区域植被的生存带谱,多样性指数明显。青藏高原垂直温度带,气温的垂直变化明显,不同海拔下的植被的“累积效应”明显,植物类型数目提高。

总体而言,中国植物分布特点是地理位置、气候、人文发展综合因素作用的结果。当前,依据植被区系聚类分析结果,植被对气候变化适应性总体较好,每个气候类型或分区都与某一植被类型相对应。结合中国植被分区,适应性较差的区系主要为森林-荒漠灌丛/草地过渡带,约占中国植被面积的5%,此外,华东地区森林向灌丛、内蒙古地区灌丛向草地过渡带,以及青藏高原南部的草地生态系统适应性较差,存在较大的退化或趋坏演变的可能性^[19]。

表 1 中国植被特征省(自治区/直辖市)分布

Tab. 1 The vegetation characteristics in different provinces

省(自治区/直辖市)	植物类型区个数	省(自治区/直辖市)	植物类型区个数	省(自治区/直辖市)	植物类型区个数	省(自治区/直辖市)	植物类型区个数
上海市	1	宁夏回族自治区	4	江西省	3	福建省	4
云南省	9	安徽省	6	河北省	6	西藏自治区	16
内蒙古自治区	23	山东省	3	河南省	5	贵州省	6
北京市	2	山西省	2	浙江省	2	辽宁省	7
台湾省	1	广东省	3	海南省	1	重庆市	2
吉林省	4	广西壮族自治区	12	湖南省	6	陕西省	11
四川省	10	新疆维吾尔自治区	13	湖北省	7	青海省	13
天津市	1	江苏省	5	甘肃省	20	黑龙江省	6

3 研究结论

中国地域广阔、地形多变,是世界上植被类型最丰富的国家。在对各省的植物分区、植被分区、森林覆盖率图像进行叠加整合的基础上,参考我国植被的二阶聚类分析结果,结合中国区域的地形、降水、气候变化的差异性,中国植被的空间分异特征如下。

(1) 植物分区在纬度较低的水平地带内按垂直带谱出现,纬度越高,在垂直带内出现的下限越低,导致东三省、新疆等高纬度省份的植被分布比较单一、植物分区跨度较少;自北向南,由于受温度、降水、地形差异因素的影响,寒温带、温带、亚热带、热带森林生境随经度变化呈现出渐进式演变。

(2) 局地小气候导致中国的植物分区及植被类型呈现出一定区位差异;中国植被特征分异规律明显,自西北、东北高海拔地区向东南、西南低海拔地区递减,与降水变化规律相悖;聚类植被呈现整体地带性的同时,整体空间的不连续性仍存在。

(3) 植被种类数较大的省(市、区),一般分布在中温带、青藏高原垂直温度带。中温带四级分明,气候变化明显,利于在不同气候带下生存的植被多样化;青藏高原垂直温度带,气温的垂直变化明显,不同海拔下的植被的“累积效应”明显,植物类型数目提高;降水、温度是促成植被多样化的先决条件,但两者作用的体现依托地理特征的表达。

参考文献(References):

- [1] 陈玉福,于飞海,张称意,等.根茎禾草沙鞭的克隆生长在毛乌素沙地斑块动态中的作用[J].生态学报,2001,21(11):1745-1750.(CHEN Yufu, YU Fei hai, ZHANG Chen yi, et al. Role of clonal growth of the rhizomatous grass *Psammochloa villosa* in patch dynamics of Mu Us sandy land[J]. *Acta ecologica sinica*, 2001, 21(11): 1745-1750. (in Chinese))
- [2] Kira T. A climatological interpretation of Japanese Vegetation Zones. In: Miyawaki A and Tuxen R, eds. *Vegetation Science and Environmental Protection*. Tokyo, 1977.
- [3] 刘春迎. KIRA 指标在中国植被与气候关系研究中的应用[J]. 植物生态学报, 1999, 23(2): 125-138. (LIU Chunying. The application of kira's indices to the study of vegetation climatic interaction in China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(2): 125-138. (in Chinese))
- [4] 王鹏程,姚婧,肖文发,等.三峡库区森林植被分布的地形分异特征[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(6): 528-532. (WANG Pengcheng, YAO Jing, XIAO Wenfa, et al. Topography differentiation characteristics of forest vegetation distribution in the three gorges reservoir area[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(6): 528-532. (in Chinese))

- [5] 李贵祥,孟广涛,方向京,等.云南金沙江流域主要森林植被类型分布格局[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(1): 51-56. (LI Guixiang, MENG Guangtao, FANG Xiangjing, et al. Distribution of major forest vegetation types of Jinshajiang river basin in Yunan province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2008, 17(1): 51-56. (in Chinese))
- [6] 朱翔,李卓卿,朱云燕,等.多山地区植被类型遥感调查[J]. 云南环境科学, 2001, 20(S1): 11-16. (ZHU Xiang, LI Zhuoqing, ZHU Yunyan, et al. Interpretation of remotely sensed image for vegetation types in mountainous area[J]. *Yunnan Environmental Science*, 2001, 20(S1): 11-16. (in Chinese))
- [7] 田晓瑞,赵凤君,舒立福,等. 1961-2010 年中国植被区的气候与林火动态变化[J]. 应用生态学报, 2014, 25(11): 3279-3286. (TIAN Xiaorui, ZHAO Fengjun, SHU Lifu, et al. Changes of climate and fire dynamic in China vegetation zone during 1961-2010[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(11): 3279-3286 (in Chinese))
- [8] 李飞,赵军,赵传燕,等. 中国潜在植被空间分布格局[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5347-5355. (LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, et al. The potential vegetation spatial distributions and patterns in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5347-5355. (in Chinese))
- [9] 赵汉青. 基于 SPOT-4 / VEGETATION 数据的中国植被覆盖动态变化研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2010, 33(11): 164-166. (ZHAO Hanqing. Research on the vegetation coverage changes of China based on SPOT-4 / VEGETATION data[J]. *Geomatics & spatial information technology*, 2010, 33(11): 164-166. (in Chinese))
- [10] 李小燕,任志远,张翀,等. 中国植被覆盖气候限制性分区及时空变化[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2013, 41(3): 76-81. (LI Xiaoyan, REN Zhiyuan, ZHANG Chong, et al. Vegetation cover restrictive zoning and temporal and spatial change of China[J]. *Journal of Shaanxi Normal University: Natural Science Edition*, 2013, 41(3): 76-81. (in Chinese))
- [11] 李强,张翀. 基于 NDVI 时间序列的近 12 年中国植被覆盖的单调趋势分析[J]. 水土保持通报, 2014, 34(3): 135-140. (LI Qiang, ZHANG Chong. An analysis monotonic trend of vegetation cover in china based on NDVI time series [J]. *Bulletin of soil and water conservation*, 2014, 34(3): 135-140. (in Chinese))

(下转第 1142 页)

- (in Chinese)
- [5] 刘小文, 常立君, 胡小荣. 非饱和和粘土基质吸力与含水率及密度关系试验研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(11): 3302-3306. (LIU Xiaowen, CHANG Lijun, HU Xiaorong. Experimental research of matric suction with water content and dry density of unsaturated laterite [J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(11): 3302-3306. (in Chinese))
- [6] 龚壁卫, 吴宏伟, 王斌. 应力状态对膨胀 SWCC 的影响研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(12): 1915-1918. (GONG Biwei, WU Hongwei, WANG Bin. Influence of stress states on soil water characteristics of expansive soils [J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(12): 1915-1918. (in Chinese))
- [7] GALLAGE C P K, UCHINI J R A T. Effects of dry density and grain size distribution on soil-water characteristic curves of sandy soils[J]. Soils and Foundations, 2010, 50(1): 161-172.
- [8] 张雪东, 赵成刚, 蔡国庆, 等. 土体密实状态对土水特征曲线影响规律研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(5): 1463-1468. (ZHANG Xuedong, ZHAO Chengang, CAI Guoqing, et al. Research on influence of soil density on soil water characteristic curve [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(5): 1463-1468. (in Chinese))
- [9] Fredlund D G, Rahardjo H. Soil mechanics for unsaturated soil mechanics[M]. New York: Wiley Inter, 1993.
- [10] 卢靖, 程彬. 非饱和黄土土水特征曲线的研究[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(10): 1591-1592. (LU Qing, CHEN Bin. Research on soil water characteristic curve of unsaturated loess [J]. Chinese Journal of geotechnical engineering, 2007, 29(10): 1591-1592. (in Chinese))
- [11] 刘艳华, 龚壁卫, 苏鸿. 非饱和土的土水特征曲线研究[J]. 工程勘察, 2002, 12(3): 8-12. (LIU Yanhua, GONG Biwei, SU Hong. Study on Characteristic Curve of Soil and Water for Unsaturated Soil [J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 2002, 12(3): 8-12 (in Chinese))
- [12] 关亮, 陈正汉, 黄雪峰, 等. 非饱和和重塑黄土的三轴试验研究[J]. 工程勘察, 2011(11): 14-18. (GUAN Liang, CHEN Zhenghan, HUANG Xuefeng, et al. Study of the tri axial experiment for the remodeled unsaturated loess [J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 2011(11): 14-18. (in Chinese))
- [13] 姚海林. 关于基质吸力及几个相关问题的思考[J]. 岩土力学, 2005, 26(1): 67-70. (YAO Hailin. Some considerations about the concept of matric suction and questions related to matric suction [J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(1): 67-70. (in Chinese))
- [14] 毛尚之. 非饱和膨胀土的土水特征曲线研究[J]. 工程地质学报, 2002, 10(2): 129-134. (MAO Shangzhi. A Study on soil water characteristic curve of unsaturated soil [J]. Journal of Engineering Geology, 2002, 10(2): 129-134. (in Chinese))
- [15] 熊承仁, 刘宝琛, 张家生. 重塑黏性土的基质吸力与土水分及密度状态的关系[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(2): 321-327. (XIONG Chenren, LIU Baochen, ZHANG Jiasheng. Relation of Matric Suction with Moisture State and Density State of Remolded Cohesive Soil [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(2): 321-327. (in Chinese))
- [16] 吴礼舟, 黄润秋. 膨胀土开挖边坡吸力和饱和度的研究[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(8): 970-973. (WU Lizhou, HUANG Runqiu. Study on suction and saturation of excavated expansive soil slope [J]. Chinese Journal of geotechnical engineering, 2005, 27(8): 970-973. (in Chinese))

(上接第 1092 页)

- [12] 曹云生, 高国军, 陈丽华, 等. 南水北调北京段 PCCP 工程植被恢复效果[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(3): 69-72. (CAO Yunsheng, GAO Guojun, CHEN Lihua, et al. Study on vegetation restoration effect along PCCP project in Beijing section of south to north water transfer project [J]. South to north water transfers and water science & technology, 2014, 12(3): 69-72. (in Chinese))
- [13] 张新时. 中国山地植被垂直带基本生态地理类型[M]. 北京: 科学出版社, 1994. (ZHANG Xunshi. The principle ecological geographic types of mountain vertical vegetation belt systems in China [M]. Beijing: Science Press, 1994. (in Chinese))
- [14] 张学珍, 郑景云, 何凡能, 等. 1982-2006 年中国东部秋季植被覆盖变化过程的区域差异[J]. 自然资源学报, 2013, 28(1): 28-37. (ZHANG Xuezheng, ZHENG Jingyun, HE Faneng, et al. Spatial differences of variations in autumn fractional vegetation coverage in Eastern China during 1982-2006 [J]. Journal of natural resources, 2013, 28(1): 28-37. (in Chinese))
- [15] 於琰, 李克让, 陶波, 等. 植被地理分布对气候变化的适应性研究[J]. 地理科学进展, 2010, 29(11): 1326-1332. (YU Li, LI Kerang, TAO Bo, et al. Simulating and assessing the adaptability of geographic distribution of vegetation to climate change in China [J]. Progress in geography, 2010, 29(11): 1326-1332. (in Chinese))
- [16] 韩秀珍, 李三妹, 罗敬宁, 等. 近 20 年中国植被时空变化研究[J]. 干旱区研究, 2008, 25(6): 753-759. (HAN Xiuzhen, LISanmei, LUO Jingning, et al. Study on spatiotemporal change of vegetation in china since 20 years [J]. Arid zone research, 2008, 25(6): 753-759. (in Chinese))
- [17] 袁传武, 史玉虎, 陈静涛, 等. 鄂西三峡库区主要森林植被空间分布及影响因素[J]. 湖北林业科技, 2008(153): 1-6. (YUAN Chuanwu, SHI Yuhu, CHEN Jingtao, et al. Spatial distribution of main forest vegetation and influencing factors in Three Gorges Reservoir Region of Western Hubei [J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2008(153): 1-6. (in Chinese))
- [18] 邹春静, 徐文铎. 中国东北植被生态学研究的焦点问题[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1711-1721. (ZOU Chunjing, XU Wenye. Key problems in ecological research on vegetation in Northeast China [J]. Chinese journal of applied ecology, 2004, 15(10): 1711-1721. (in Chinese))
- [19] 於琰, 李克让, 陶波. 植被地理分布对气候变化的适应性研究[J]. 地理科学进展, 2010, 29(11): 1326-1332. (YU Li, LI Kerang, TAO Bo. Simulating and assessing the adaptability of geographic distribution of vegetation to climate change in China [J]. Progress In Geography, 2010, 29(11): 1326-1332. (in Chinese))