

定量化方法在生态分区过程中的应用及案例研究

于世伟, 陈 贺, 曾 容, 杨志峰

(北京师范大学 环境学院 水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875)

摘 要: 该文在总结国内外有关生态分区研究的基础上, 针对目前研究中存在的主观性强、专家选取对分区结果影响大的问题, 在生态分区过程的两个关键点引入定量方法。应用主成分分析方法, 确定各指标权重, 筛选生态分区划分指标, 确定各级生态分区的指标。应用系统聚类方法, 确定各生态分区的最终边界。以辽河流域为例, 选取降雨量、地势地貌、植被类型以及土壤类型等指标, 应用定量化方法进行生态分区的划分, 共划分一级生态分区 3 个, 二级生态分区 9 个。该文旨在为生态分区的划分提供更为客观、科学的方法, 从而为环境与资源的研究、评估、监测和管理提供适宜的空间分析框架, 为生态管理和相关政策的制定与实施提供科学、合理的依据。

关键词: 生态分区; 定量方法; 主成分分析; 系统聚类

中图分类号: X32; Q149

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)04-0247-05

Eco-regionalization Based on Quantitative Method and Case Study

YU Shi-wei, CHEN He, ZENG Rong, YANG Zhi-feng

(State Key Laboratory of Water Environmental Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: A literature review provided a thorough look at eco-regionlization. The analysis has shown that the primary methods used in eco-regionalization are qualitative, and the selection of experts has great influence on results. Therefore, quantitative method was needed. This paper explored quantitative methods to improve two major features of eco-regionalization. Principal component analysis was applied to the selection of relevant regional environmental factors, as well as hierarchical clustering method in boundary determination. The eco-regionalization of Liao River basin was taken as a case study. Four factors including rainfall, altitude, vegetation, and soil type were chosen for the delineation process. Three ecoregions of Grade I, and nine ecoregions of Grade II were delineated within Liao River basin. This paper was intended to provide an appropriate framework for environmental research, assessment, monitoring, and management using improved ecoregionlization method.

Key words: eco-regionalization; quantitative method; principal component analysis; hierarchical clustering method

环境与资源的研究、评估、监测和管理, 都需要有一个适当的空间分析框架。传统的以行政区域为界的划分单元不能够完全反映生态系统的连续性、整体性等特点, 因而不能满足实际中的需求。而生态分区则可以满足这样的要求。一般认为, 生态分区是指生态系统或有机体及其环境的关系具有同质性的区域^[1]。

虽然关于自然区划的研究开展的很早, 但是真正意义上的生态分区方案直到 1976 年才由美国学者

Bailey 提出。Bailey 利用 Kucher 的自然植被类型和区域气候信息, 提出了美国生态区域的等级系统, 按地域(domain)、区(division)、省(province)和地段(section)4个等级进行了生态分区的划分, 并编制了美国生态区域图。在这之后, 许多机构和学者都提出了自己的生态分区体系^[2]。其中, 比较有影响的是由美国学者 Omernik 提出的生态分区划分方法。Omernik 的方法建立在这样的假设之上: 生物和非生物因素的成分与组成影响着生态系统的性质和完整

收稿日期: 2010-02-08

资助项目: 国家杰出青年科学基金(50625926); 国家重点基础研究发展计划(2006CB403303); 国家自然科学基金(50909004); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07209-009)

作者简介: 于世伟(1984—), 男, 吉林省桦甸市人, 硕士研究生, 研究方向为环境规划、管理与评价。E-mail: yushiwei@mail.bnu.edu.cn

通信作者: 陈贺(1978—), 男, 河南省滑县人, 博士, 讲师, 主要从事生态需水、水资源配置、水生态修复等方面研究。E-mail: chenhe@bnu.edu.cn

性,而通过分析这些因素,可以识别不同的生态分区。这些因素通常包括:地质类型、地形地貌、植被类型、气候类型、土壤类型、土地利用类型、野生生物以及水文因子等^[3]。具体的生态分区划分过程有 3 步:首先,通过对这些因素的分析、比较,选择能够反映生态系统特征的因子,并制作专题图。然后,将各专题图进行叠加分析,得到初步的生态分区划分结果。最后,通过专家判断法确定生态分区的最终边界。美国环保局使用 Omernik 的生态分区划分方法将北美大陆划分为 15 个生态一级分区,52 个二级分区;美国大陆及阿拉斯加被划分为 104 个三级分区。事实证明,Omernik 的生态分区体系在各个尺度都具有很高的实用性,特别是在生物与水质标准的设定上具有明显的优势^[4-5]。

20 世纪 80 年代以来,我国关于生态分区的研究很多,如中国生态区划^[6-7],中国生态环境胁迫过程区划^[8],中国生态系统生产力区划^[9],中国生态资产区划^[10],中国生物多样性生态地理区划^[11]等。

近年来,生态分区的研究更多的集中在水生态系统、特别是流域生态系统相关方面。这是因为流域是由不同生态系统组成的一致性区域和巨型复合生态系统,具有生物生产、物质循环、能量流动、信息传递等基本功能以及对人类有重要意义的生态系统服务功能。但是由于人类不合理的开发利用,流域生态系统面临着诸多生态环境问题,亟待从流域整体的角度加强管理。所以,以流域为对象的生态分区划分工作具有很大的必要性和迫切性。目前相关研究的主要代表为生态水文分区体系^[12-13]和水生态分区体系^[14-15]。生态水文分区选取生态和水文指标,以水资源三级区为基础,进行划分。生态水文分区侧重于流域的水资源特征,具有比较多的水文分区特性,适宜于区域特别是流域生态需水的计算与管理。水生态分区应用 Omernik 的生态分区划分方法,选取水文条件(径流深度)、地貌、植被类型、土壤类型和土地利用类型等指标,建立了以流域为对象的生态分区体系。这两种方法不论是生态水文分区,还是水生态分区,在进行生态分区的划分之前,都事先确定了划分的层级以及各层级划分所依据的指标类型,最后确定分区边界应用的方法都是专家判断法。

生态分区划分的过程中,有两个关键点:一是生态分区指标的选择,包括选取何种指标和在每一级分区中应用什么指标;二是生态分区边界的确定方法。现有的生态分区研究,在这两个关键点使用的方法基本上都是专家判断法。这样做可以使得分区的结果表现出更好的规律性,更加符合管理者的目标要求。

然而,这样也就同时带来了另外一个问题:这样一种定性的方法,主观性很强,专家的选择对于结果的影响很大。不同的专家选择很可能造成划分结果上的差异。因此,探讨如何在这两个方面引入定量化方法,从而降低定性方法对于生态分区结果可能造成的不确定性,具有很大的价值。

1 研究方法

1.1 指标选取

指标选取是生态分区划分的关键之一,包括选取何种指标参与生态分区的划分以及在每一级分区中应用何种指标两个方面。

选取何种指标参与生态分区的划分,需要根据分区目标和分区对象的实际情况进行选择,在这个过程中,需要相关经验和专业的支持,因而专家判断法是适合的方法,可以作为这一工作的基础。指标选取的实质,是判断各个指标在对象区域的异质性大小,即对各个指标的重要性(权重)进行确定,并作为整个生态分区划分的基础。因此,可以在指标选取阶段引入主成分分析方法,使指标选取的结果更加客观准确。

主成分分析是多元统计分析的一个分支,它能够在保证原始数据信息损失最小的情况下,以少数的综合变量取代原有的多维变量,简化数据结构,客观确定权重^[16]。主成分分析方法,通过将原始指标转化为综合指标,从而将多维数据降维,用最少的指标反映尽量多的信息。每一个综合指标(即主成分)都对应有一个特征值和贡献率,特征值越大,贡献率越高,则该主成分反应的总体信息越多。在每一个主成分中,原始指标都有一个系数,系数的绝对值越大,该原始指标对主成分的影响越大。通过分析特征值和贡献率较大的前几个主成分可以作为判断原始指标重要性的依据,从而确定进行生态分区划分的指标;在同一主成分中系数较大的指标则可以作为同一级生态分区的划分指标。

具体步骤为:

- (1)将各个指标数据化;
- (2)对数据进行标准化处理:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j} \quad i=1,2,\dots,p \quad (1)$$

式中: \tilde{x}_{ij} ——第 i 个斑块的第 j 个性质标准化后的数据值; \bar{x}_j —— x_j 的样本均值; S_j —— x_j 的样本标准差; x_{ij} ——第 i 个斑块的第 j 个性质数据化后的原始值。

- (3)计算标准化数据矩阵的协方差矩阵;

- (4)求协方差矩阵的前 m 个特征值 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots$

$\geq \lambda_m$, 以及对应的特征向量 a_1, a_2, \dots, a_m , 要求它们是标准正交的。

(5) 求第 h 个成分的累积贡献率:

$$\eta_h = \frac{\sum_{i=1}^h \lambda_i}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} \quad (2)$$

式中: η_h ——第 h 个成份的累积贡献率; λ_i ——协方差矩阵的第 i 个特征值。

(6) 求第 h 主成分 F_h , 有

$$F_h = Xa_h = \sum_{j=1}^p a_{hj}x_j \quad (3)$$

式中: F_h ——第 h 主成份; x ——标准化数据矩阵; a_h ——第 h 特征向量; x_j ——第 j 个变量; a_{hj} —— a_h 的第 j 个分量。

(7) 分析特征值和贡献率较大的前几个主成分, 选取系数绝对值较大的指标进行生态分区划分; 在同一主成分中系数较大的指标则可以作为同一级生态分区的划分指标。

1.2 边界确定

生态分区是以不同尺度的生态系统及其影响因素为研究对象, 应用生态学中的格局与尺度等原理与方法, 对目标区域进行分类。其实质, 是一定尺度下的景观分类方法, 主要反映自然因子(气候、水文、地形地貌、土壤、植被等)及人类影响因子的作用关系。而系统聚类的方法, 是按照所选取的样本之间的相似性对样本进行分类的。生态分区的内在与实质的要求和系统聚类的方法存在很大程度上的契合。同时, 系统聚类的方法是一种无监督的分类方法, 在很大程度上排除了主观因素对于生态分区结果的影响。因此, 应用系统聚类方法进行生态分区的划分是比较合适的。

参考系统聚类的一般步骤^[16], 聚类包括以下步骤:

(1) 对选取指标的专题图进行叠置分析, 将分区对象分为众多具有不同属性值的小斑块。设斑块数为 n , 构造 n 个类, 每个类只包含一个小斑块, 记作 G_1, G_2, \dots, G_n 。

(2) 定义 n 个类两两间的距离 $\{d_{ij}\}$, 记作 $D^{(0)} = (d_{ij}^{(0)})_{n \times n}$ 。

(3) 合并距离最近的两类为一新类, 记作 G_{n+1} 类, 并取消刚合并的那两类, 得到 $n-1$ 类, 也就是 $n-1$ 个斑块。

(4) 计算新类与剩余各类的距离, 若类的个数等于 1, 停止聚类, 否则回到步骤(3)。

本研究数据标准化采用标准差标准化变换, 样

品间距离采用欧氏距离, 聚类方法采用最远距离法。欧氏距离的计算公式如式(4)。

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (4)$$

式中: d_{ij} —— i 个斑块与第 j 个斑块的距离; x_{ik} ——第 i 个斑块的第 k 个属性; x_{jk} ——第 j 个斑块的第 k 个属性。

最远距离法的公式为:

$$d_{rk} = \max\{d_{pk}, d_{qk}\} \quad (k \neq p, q) \quad (5)$$

式中: d_{rk} ——对象 G_r 和 G_k 之间的距离; d_{pk} ——组成对象 G_r 的对象 G_p 与 G_k 之间的距离; d_{qk} ——组成对象 G_r 的对象 G_q 和 G_k 之间的距离。

通过系统聚类, 可以得到一系列的结果, 而如何在这些结果中选择适宜的结果作为生态分区的结果, 就需要依据一定的原则进行判断。本文判断的原则主要有以下两点:

(1) 区际异质性与区内同质性^[17]。在不同的生态分区中, 其性质存在比较明显的差异, 使得各生态分区之间表现出比较明显的异质性。而在同一生态分区内则呈现相对的同质性。

(2) 利于管理原则。这一原则要求各生态分区必须在空间上具有连续性, 从而为管理提供便利。因此, 对于生态区内部较小的异质性斑块在不影响生态分区整体性质的基础上可以对其进行合并处理。

2 案例研究

2.1 研究区概况

以辽河流域为研究对象进行案例研究。辽河流域地处我国东北地区的西南部, 南濒渤海与黄海, 西南与内蒙古内陆河和河北海滦河流域相邻, 北与松花江流域毗连, 地理位置东经 $117^{\circ}00' - 125^{\circ}30'$, 北纬 $40^{\circ}30' - 45^{\circ}10'$, 地跨辽宁、吉林、内蒙古、河北 4 省, 由辽河水系和浑太水系两个水系组成, 流域面积 21.9万 km^2 。

辽河流域地处中温带、寒温带大陆性季风气候区, 冬季漫长寒冷, 夏季炎热多雨, 春季干燥多风沙, 秋季历时短。流域内多年平均降水量 $300 \sim 1\,000 \text{ mm}$, 受季风环流、水汽来源、地形等因素影响, 降水的时空分布极为不均。全流域蒸发量大部分在 $500 \sim 1\,200 \text{ mm}$ 之间, 与降水、空气湿度、太阳辐射等因素有关, 总的分布趋势与水汽饱和差、相对湿度等气象因素分布一致, 整体呈现自西南向东北递减的趋势。辽河流域的地貌格局受燕山期以来的构造运动控制, 东、西、北三面逐渐被抬升, 中部相对沉陷, 地势大体是自北向南、自东西两侧向中间倾斜降低, 中下游形成平原。

目前辽河流域年径流量仅 137.2 亿 m^3 ,在我国 7 大水系中径流量最小,人均水资源占有量约为 638 m^3 ,仅为全国人均占有水量的 1/4 左右,是我国严重贫水的地区之一;水污染在 7 大水系中位列第一,汛期和非汛期 IV 类、V 类、劣 V 类河长比例分别为 56.37%和 63.51%,水质污染使水不同程度地丧失了作为资源的经济意义,进一步加剧了水资源供需矛盾;全流域对水资源的开发利用率已达到 71%,大大超过了全国平均水平 20%和江河极限开发利用水平 40%;流域范围内河流断流、湖库萎缩、水土流失、生物种群丧失等生态环境问题严峻。

2.2 生态分区过程及结果

2.2.1 指标的选取 本方案主要选取 5 大类指标进行水生态分区:水热条件、地势地貌、植被类型、土地利用类型以及土壤类型。

其中,水热条件体现了气候对于生态系统的影响。地形地貌、土壤类型和植被类型影响河流水文和形态,形成了不同的河流生境条件,属于自然因素对于生态系统的影响。土地的利用方式影响了河流有机营养物质的输入,属于人为因素对于生态系统的影响。因此,选择水热条件、地形地貌、土壤类型、植被类型和土地利用类型等指标参与生态分区的划分,能够比较全面的体现自然因素及人为因素对于生态系统的影响,反映区域生态系统的特性。

2.2.2 指标分级 根据前文所述方法,应用主成分分析的方法,得到结果如表 1。

表 1 主成分特征值及贡献率

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	1.564	31.275	31.275
2	1.313	26.261	57.536
3	0.947	18.933	76.469
4	0.702	14.042	90.511
5	0.474	9.489	100

前两个主成分的特征值大于 1,累计贡献率超过了 50%,因此在分析中主要考虑前两个主成分。

表 2 主成分矩阵

指标	主成分	
	1	2
地形	0.427	-0.755
降雨量	0.447	0.747
土地利用类型	0.167	0.419
土壤类型	0.766	-0.009
植被类型	-0.753	0.098

在主成分 1 中,土壤类型、植被类型系数最大,其次为地形与降雨量;而在主成分 2 中,地形、降雨量系数最大,其次为土地利用,土壤类型和植被类型系数较小。因而,可以将土壤类型和植被类型,地形和降

雨量,分别作为两级生态分区的指标。

从流域的尺度来看,地形和降雨量在辽河流域的分布主要体现在整个流域的尺度,自西北向东南分别为山区—平原—丘陵和干旱—半湿润—湿润,因而这两个指标可以作为辽河流域生态分区一级分区的划分指标;而土壤类型以及植被类型的分布则没有流域性的明显分布趋势,形成的异质性斑块较小,因而作为二级分区的划分指标。

2.2.3 边界确定 使用系统聚类方法,将辽河流域划分为两级生态分区,结果如图 1 所示。

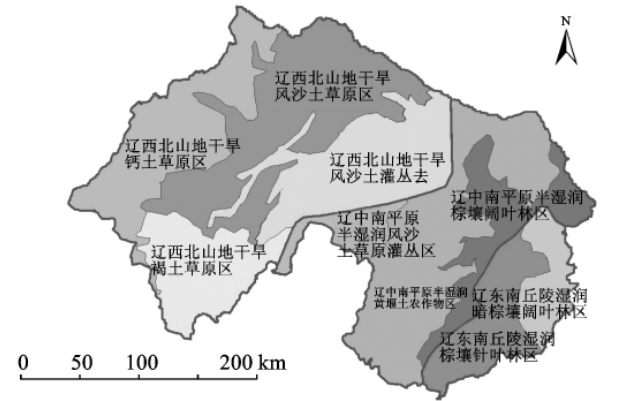


图 1 辽河流域生态分区图

根据各生态分区特征,将各一级分区命名为辽西北山地干旱区、辽中南平原半湿润区、辽东南丘陵湿润区,将各二级分区分别命名为辽西北山地干旱风沙土灌丛区、辽西北山地干旱风沙土草原区、辽西北山地干旱褐土草原区、辽西北山地干旱钙土草原区、辽中南平原半湿润风沙土草原灌丛区、辽中南平原半湿润黄壤土农作物区、辽中南平原半湿润棕壤阔叶林区、辽东南丘陵湿润棕壤针叶林区、辽东南丘陵湿润暗棕壤阔叶林区。各分区特征见表 3。

辽河流域人类活动对生态环境的影响剧烈,生态环境破坏严重,亟需加强生态环境管理。本文通过生态分区的划分,为流域环境与资源的研究、评估、监测和管理提供适宜的空间分析框架,为辽河流域生态管理和相关政策的制定与实施提供合理的、科学的依据。应依据生态分区的划分结果,在不同的生态区中采取相应的措施,遏止生态恶化的趋势,并逐渐恢复辽河流域的生态健康。例如,在缺水严重的辽西北山地干旱区,应立足本区特点,特别是水资源量特别缺乏的特点,大力推广防渗、喷灌、微灌、改进沟畦灌、膜上灌等农业节水措施,限制耗水型工业的发展;在保护好现有天然次生林和草原的基础上,实施稀疏草地治理和水源涵养林建设,治理流动半流动沙地、沙漠化草场,防治风沙。

表 3 辽河流域生态分区特征表

一级分区	地形	降水量/mm	生态特征	二级分区	主要土壤类型	植被类型
辽西北山地干旱区	海拔 500 m 以上的山地为主, 部分地区为海拔 200 ~ 500 m 的低山丘陵地带	<400	自然生态系统以草原生态系统为主, 干旱缺水, 河流断流严重	辽西北山地干旱风沙土灌丛区	流动风沙土、半固定风沙土和固定风沙土	温带落叶灌丛和温带针叶林为主
				辽西北山地干旱风沙土草原区	半固定风沙土、固定风沙土和黑钙土	草原为主
				辽西北山地干旱褐土草原区	褐土、棕壤和淋溶褐土	草原为主
				辽西北山地干旱钙土草原区	暗栗钙土和黑钙土	草原为主
				辽中南平原半湿润风沙土草原灌丛区	半固定风沙土、固定风沙土和黄垆土	草原和温带落叶灌丛为主
辽中南平原半湿润区	主要为海拔低于 200 m 的平原地带	500~800	自然生态系统表现为草原生态系统与森林生态系统交错, 人口密度大, 工农业较为发达, 人类活动对生态系统的扰动较大	辽中南平原半湿润黄堰土农作物区	潮黄堰土、黄堰土和黑潮土	一年一熟粮作和耐寒经济作物以及一年两熟或两年三熟旱作(局部水稻)和暖温带落叶果树园
				辽中南平原半湿润棕壤阔叶林区	棕壤和暗棕壤	温带落叶阔叶林和温带常绿针叶林
				辽东南丘陵湿润棕壤针叶林区	棕壤、草甸沼泽土和泥碳沼泽土	温带常绿针叶林和温带落叶阔叶林为主
辽东南丘陵湿润区	主要为海拔 200 ~ 500 m 的低山丘陵地带	>800	自然生态系统以森林生态系统为主, 自然条件较为良好, 生态系统健康状况相对较好	辽东南丘陵湿润暗棕壤阔叶林区	暗棕壤	温带落叶阔叶林

3 结论与讨论

(1) 在总结国内外生态分区相关的研究与应用的基础上, 指出生态分区的划分有两个关键: 分别是指标的选取和分区边界的确定。在已有的方法中, 主观判断方法(特别是专家判断法)应用最广。

(2) 应用主成分分析方法确定各分区指标的权重, 作为各级分区划分指标选取的依据, 为指标选取特别是指标分级提供了定量方法的支持。在边界确定中, 应用了系统聚类的方法, 是一种无监督的分类方法, 在较大程度上避免了主观因素对于分区结果的影响。

(3) 以的定量化方法为基础, 以辽河流域为例进行生态分区的划分。辽河流域共划分为一级分区 3 个, 分别为: 辽西北山地干旱区、辽中南平原半湿润区、辽东南丘陵湿润区; 二级分区 9 个, 分别为: 辽西北山地干旱风沙土灌丛区、辽西北山地干旱风沙土草原区、辽西北山地干旱褐土草原区、辽西北山地干旱

钙土草原区、辽中南平原半湿润风沙土草原灌丛区、辽中南平原半湿润黄堰土农作物区、辽中南平原半湿润棕壤阔叶林区、辽东南丘陵湿润棕壤针叶林区、辽东南丘陵湿润暗棕壤阔叶林区。

参考文献:

[1] Omernik J M. Ecoregions of the conterminous United States (map supplement) [J]. Annals of the Association of American Geographers, 1987, 77(1): 118-125.

[2] McMahon G, Gregonis S M, Walton S W, et al. Developing a spatial framework of common ecological regions for the conterminous United States[J]. Environmental Management, 2001, 28: 293-316.

[3] Omernik J M. Ecoregions; a framework for environmental management[C]//Davis W S and Simon T P. Biological assessment and criteria-tools for water resource planning and decision making. Florida: Lewis Publishers, 1995: 49-62.

应及时清除残叶、伤果,修理伤疤,并及时喷施杀菌剂以防冰雹过后病害大发生。对于自然灾害,应积极加强防灾、抗灾体系建设,积极探索农业保险等新措施,保护果农利益,增强果业生产抵御自然灾害的能力,为渭北黄土高原果业发展保驾护航。

3.6 加强采后管理及果品流通

果实采后管理是提高果品产值,增加果品附加值的主要措施。果实采后要及时分级处理和果品贮前预处理,延缓果品老化,加强果品贮藏期的病害防治,加强果品贮藏设施建设,做好果品包装^[15]。

果品流通是果实从果农到消费者所经过的以货币为媒介的过程。做好果品流通,才能使销售做大做强。针对渭北黄土高原果品流通中存在的问题,当地政府必须促进果品中介组织及专业协会等建设,发挥各种果品中介组织及专业协会的作用,使果农有组织依托,提高果农参与果品流通的组织化程度,从而有效降低果农单独进入市场的风险和交易成本。此外,在完善现有的“产地批发+销地批发+销地零售”的传统流通渠道的同时,积极推行“果农+中介组织+龙头企业”或者“果农+中介组织+市场”的流通渠道,改造农产品批发市场基础设施,改善市场服务。

参考文献:

[1] 张超. 我国渭北地区苹果生产与发展趋势[J]. 果农之友, 2008(5): 3-4.

[2] 傅润民, 杜澍. 西北的果树[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994: 108.

[3] 陕西省农业区划委员会办公室, 陕西省测绘局. 陕西农业地图册[M]. 西安: 西安地图出版社, 1998: 50-105.

[4] 杜社妮, 李明霞, 张蕊, 等. 长武苹果生产中存在的问题及建议[J]. 北方园艺, 2010(8): 210-212.

[5] 曲泽州, 陈四维. 果树生态[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1988: 1.

[6] 樊军, 胡波. 黄土高原果业发展对区域环境的影响与对策[J]. 中国农学通报, 2005, 11(21): 355-359.

[7] 马国瑞. 园艺植物营养与施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 123-156.

[8] 樊军, 邵明安, 郝明德, 等. 黄土旱塬塬面生态系统土壤硝酸盐盐累积分布特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 8-12.

[9] 闫亚丹, 徐福利, 邹诚, 等. 黄土高原坡地果园土壤肥力及其矿质氮累积分析[J]. 水土保持通报, 2009, 29(4): 31-36.

[10] 党廷辉, 戚龙海. 旱地土壤硝态氮与氮素平衡、氮肥利用的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(3): 573-577.

[11] 尉亚妮. 山西省苹果生产现状、存在问题及对策[J]. 山西果树, 2008(5): 28-30.

[12] 白岗栓, 郑世清, 王胜琪. 黄土高原沟壑区沟坡地苹果优质丰产栽培技术体系[J]. 水土保持通报, 2001, 21(6): 73-76.

[13] 侯广太. 现阶段渭北地区苹果生产与发展趋势[J]. 北方果树, 2008(6): 47-48.

[14] 君广斌, 侯满伟, 高照良, 等. 长武县苹果园春季综合管理技术[J]. 陕西农业科学, 2008(5): 210-212.

[15] 束怀瑞. 苹果学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 630-634.

(上接第 251 页)

[4] Brewer I. The conceptual development and use of ecoregion classifications[D]. Corvallis: Oregon State University, 1999.

[5] Cheruvilil K S, Soranno P A, Bremigan M T, et al. Grouping lakes for water quality assessment and monitoring: The roles of regionalization and spatial scale[J]. Environmental Management, 2008, 41(3): 425-440.

[6] 傅伯杰, 陈利顶, 刘国华. 中国生态区划的目的、任务及特点[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 591-595.

[7] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 等. 中国生态区划方案[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 1-6.

[8] 苗鸿, 王效科, 欧阳志云. 中国生态环境胁迫过程区划研究[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 7-13.

[9] 徐继填, 陈百明, 张雪芹. 中国生态系统生产力区划[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 401-408.

[10] 黄兴文, 陈百明. 中国生态资产区划的理论与应用[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 602-606.

[11] 倪建, 陈仲新, 董鸣, 等. 中国生物多样性的生态地理区划[J]. 植物学报, 1998, 40(4): 370-382.

[12] 尹民, 杨志峰, 崔保山. 中国河流生态水文分区初探[J]. 环境科学学报, 2005, 25(4): 423-428.

[13] 杨志峰, 刘静玲, 孙涛, 等. 流域生态需水规律[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

[14] 孟伟, 张远, 郑丙辉. 辽河流域水生态分区研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 911-918.

[15] 孟伟, 张远, 郑丙辉. 水生态区划方法及其在中国的应用前景[J]. 水科学进展, 2007, 18(2): 293-300.

[16] 杨晓华, 刘瑞民, 曾勇. 环境统计分析[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2008.

[17] 刘国华, 傅伯杰. 生态区划的原则及其特征[J]. 环境污染治理技术与设备, 1998, 6(6): 67-72.