

陕西省丹汉江流域农业非点源污染区划

张军^{1,2}, 李鹏¹, 唐润芒³, 贾春蓉², 王添¹, 汤珊珊¹

(1. 西安理工大学 水利水电学院, 西安 710048; 2. 西华师范大学
国土资源学院, 四川 南充 637009; 3. 陕西省水土保持局, 西安 710004)

摘要:农业非点源污染是导致地表水环境质量恶化的重要原因。丹汉江流域是南水北调中线工程的主要水源地, 实现农业非点源污染分区管理分类控制, 将进一步确保中线工程的水质安全。以陕西省丹汉江流域 27 个县(区)为基本单元, 采用水质指数法、聚类分析法和等标污染负荷法等方法, 进行了污染源敏感性评价和污染类型识别, 进而实现流域农业非点源污染分区。结果显示: (1) 丹汉江流域农业非点源污染可分为 5 级敏感区, 且敏感区等级呈现以中心城市为核心, 以干流为轴线, 向南北两侧递减的分布格局。(2) 农业非点源污染控制类型主要包括农业种植、畜禽养殖、生活排放 3 种基本类型。(3) 敏感区等级越高, 污染类型越复杂。

关键词:农业非点源污染; 丹汉江流域; 敏感区; 污染类型

中图分类号: X32

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)02-0325-05

Zoning of Agricultural Non-Point Source Pollution in Dan-Han River Basin in Shaanxi Province

ZHANG Jun^{1,2}, LI Peng¹, TANG Runmang³, JIA Chunrong², WANG Tian¹, TANG Shanshan¹

(1. College of Water Resources and Hydraulic Power, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. College of Land and Resources, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637009, China; 3. Soil and Water Conservation Bureau of Shaanxi Province, Xi'an 710004, China)

Abstract: Agricultural non-point source pollution (ANPSP) is an important cause of surface water quality deterioration. The Dan-Han River Basin is the major water sources of the middle route of the South to North Water Diversion Project. Zoning management and classified control implemented for ANPSP will further ensure the water quality safety of the middle route. We took 27 counties (or districts) in Dan-Han River Basin in Shaanxi Province as basic units, the sensitivity assessment and pollution type identification of ANPSP were calculated using the methods of index of water quality, cluster analysis and the equivalent pollution loading. Finally, the pollution control zones were determined. The results show that: (1) the sensitive zones of ANPSP of Dan-Han River Basin were divided into five levels, taking the central city as the core, the main stream as the axis trace, and decreasing on both sides of the main stream from the north-south, this distribution pattern of sensitive zone based on the sensitivity has been formed; (2) the control types of ANPSP included three basic types, such as agricultural cultivation, livestock and poultry breeding, life discharge; (3) the higher levels of sensitive zone were, the more complex pollution types were.

Keywords: agricultural non-point source pollution; Dan-Han River Basin; sensitive zone; pollution types

随着点源污染逐步得到控制, 非点源尤其是农业非点源已成为地表水环境恶化的主要原因^[1-3]。农业非点源污染发生具有分散性、随机性、不确定性、滞后性等特点^[4], 导致其控制难度大、成本高、治理难以抓

住重点^[5-6]。因此, 加强对农业非点源污染的控制与管理, 已成为学界研究的热点^[7]。而科学划分农业非点源污染控制区和识别主要污染源是非点源污染控制管理的关键^[8-9]。目前, 国内学者从排污源、区域地

貌、社会经济^[10]等因子入手对农业非点源污染进行分区。也有学者以流域水功能区为基础,多级子流域为基本单元,划分流域水质控制区^[11],这些探索为我国非点源污染控制提供了有益的帮助。但也存在不能反映区域农业非点源污染程度,打破了行政管理界限等问题,不利于非点源污染控制工作的开展。因此,建立以传统行政区为基本单元,以污染程度为分类依据,以污染类型为控制对象的分区管理、分类控制体系,将为农业非点源污染控制区划提供新的方向。

陕西省丹汉江流域是丹江口水库的主要水源区,该流域的水质状况对入库水质具有重要影响。治理丹汉江流域非点源污染,对确保南水北调中线工程的水质安全尤为重要。目前,针对丹汉江流域农业非点源污染控制区划的研究还鲜见报道。本文以陕西省丹汉江流域各县(区)为基本单元,识别流域重点污染源和污染源的空间分布特征,并依据污染源贡献程度划分控制区等级,实现分区管理分类控制,希望为陕西省丹汉江流域农村非点源污染控制与管理提供参考。

1 研究区域

1.1 研究区概况

陕西省丹汉江流域位于 31°42′—34°11′N, 106°47′—111°18′E, 包括汉江干流和丹江支流两条流域, 涉及汉中市、安康市和商洛市(洛河流域除外)3 个地级市共 27 个县(区)^[12], 流域总面积 62 731 km², 其中, 汉江流域 55 180 km², 丹江流域 7 551 km²。区域年平均降雨量为 790~1 200 mm, 无霜期达 170~250 d, 属于热带湿润区。流域内山高坡陡, 土薄石厚, 坡耕地面积较大, 水土流失严重, 根据长江水利委员会 2007 年遥感调查数据, 丹汉江流域水土流失面积占土地总面积的 41.9%, 年输沙总量 1 926 万 t。

1.2 农业非点源污染

丹汉江流域水资源充足, 物产丰富, 特别是汉江流域自古以来被誉为“陕西的小江南”, 粮食作物以水稻、小麦和玉米为主。丹汉江流域水源区多为贫困山区, 农地较多, 但农业生产技术极不发达, 处于粗放型生产阶段。农业非点源污染主要由不合理使用化肥、农药, 分散的畜禽、水产养殖排放物直接入河, 农村生活污水随意排放, 秸秆遗弃等原因引起, 所产生的主要污染物为 COD、TN 和 TP 等^[13-14]。因此, 本文选取 COD、TN 和 TP 作为主要污染物, 以农业种植污染、水产养殖污染、畜禽养殖污染、农村生活污染等作为主要污染源。

2 研究方法

2.1 农业非点源污染敏感区划分

农业非点源污染敏感区是指根据地表水环境与农村社会经济活动中非点源污染排放之间响应的敏感程度来划分的区域, 具有一定空间分异规律。敏感性常用来表征这种敏感程度的大小^[15]。敏感性一般分为 5 级: 极敏感(V)、高度敏感(IV)、中度敏感(III)、轻度敏感(II)、不敏感(I)。目前, 用于农业非点源污染敏感性评价的方法主要有水质指数法、内梅罗指数法、加权指数法^[16]等。单项水质指数评价可以直接反映水质参数现状与标准的关系, 简单易行。陕西省丹汉江流域水质基本超过《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)的 II 类水质标准, 部分超过了 III 类水质标准。因此, 本研究采用单项水质指数法进行计算, 并以《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)的 III 类水质标准作为基准。

$$I_i = \frac{C_i}{C_{0i}} \quad (1)$$

式中: I_i 表示第 i 项污染物水质指数; C_i 表示第 i 项污染物实测浓度; C_{0i} 表示第 i 项污染物达标浓度。

当 $I_i \leq 1$, 表示农业非点源污染风险小; $I_i > 1$, 表示存在农业非点源污染风险。然后对 I_i 进行聚类分析, 根据聚类分析结果划分出敏感区。

2.2 农业非点源污染类型划分

农业非点源污染类型划分主要根据不同污染源对区域非点源污染贡献率的大小确定, 污染负荷比、水质污染指数比等是常用的方法。本文用污染物排放量占总污染物排放量的比例来划分。首先, 按农业种植污染、水产养殖污染、畜禽养殖污染、农村生活污染等 4 种污染源核算出各区域污染源的等标排放量, 并分别计算其占总污染排放量的比例(等标污染负荷比)。具体计算如下:

$$K_{ij} = \frac{P_{ij}}{Q_j} \times 100\% \quad (2)$$

式中: K_{ij} 表示第 j 个县(区)第 i 种污染源的等标排放负荷比; P_{ij} 表示第 j 个县(区)第 i 种污染源等标排放量(t); Q_j 表示第 j 个县(区)污染源等标排放总量(t)。

然后, 在每个县(区)按照各污染源的等标污染负荷比从大到小排序, 分别计算累计百分比。一般用累计百分比 $\geq 80\%$ 来确定主要的农业非点源污染类型。本文根据丹汉江实际情况将污染源分为 3 种形式。(1)单一型: 当某一种污染源 $K_{ij} \geq 60\%$, 且其余污染源比例较低时, 以该单一污染源作为污染源类型名称;(2)组合型: 当有两种污染源累计百分比 $\geq 80\%$

时,以这两种污染源组合命名;(3)复合型:当有三种及三种以上污染源的累计百分比 $\geq 80\%$,直接命名为复合型。

2.3 农业非点源污染物排放量的计算

计算农业非点源污染物等标污染负荷比必须知道农业非点源污染物排放量,目前,非点源污染物排放量核算方法有:模拟估算法^[17]、输出系数法^[18]、排污系数法^[8,19]等,本文采用基于清单分析的排污系数法对污染物排放量进行计算,计算公式如下:

$$P_{ij} = \sum_i U_i R_i C_i (U_i, S) \tag{3}$$

$$Q_j = \sum_{i=1}^5 P_{ij} \tag{4}$$

式中: U_i 为第*i*种污染物指标统计数量; R_i 为*i*种污染物的产污系数; C_i 为*i*污染物的流失系数,它由污染源和空间特征*S*决定,表征区域地理特征、降水、水文和农业管理措施等对农业非点源污染的综合影响。本研究污染物排放量及污染物排放浓度数据来源于全国污染源普查数据。

3 结果与分析

3.1 农业非点源污染物排放量

通过陕西省丹汉江流域 27 个县(区)农业非点源污染物 COD,TN 和 TP 排放量和排放浓度比较可知(图 1),污染物排放量最大的是 COD,最小的是 TP。

排放量高值区主要分布在西乡县和汉滨区;排放浓度高值出现在汉台区。可见丹汉江流域污染物排放量和排放浓度的分布不完全一致,这主要是由污染源类型差异引起。由图 2 可见,除汉台区 COD 水质指数大于 1 之外,其余县(区)均 ≤ 1 ,因为,丹汉江流域 COD 主要来源于生活和养殖业污染物排放,而这两种污染源都具有排放量大,排放分散,排放浓度低的特点。与此相反,TN 和 TP 虽然排放量相对较小,但水质指数大部分都大于 1,可见农业种植是导致该流域 TN 和 TP 浓度超标的主要原因。

丹汉江流域农业非点源污染中农业种植污染、水产养殖污染、畜禽养殖污染、农村生活污染等标排放量分别是 18 789.77,1 174.15,23 652.42,28 268.85 t(表 1)。其中农村生活污染等标排放量比例最大(39.32%),最小的是水产养殖污染排放量,所占比例为 1.63%。农业种植污染、畜禽养殖污染和农村生活污染等标排放量所占比例相差不大。就污染源等标排放量比例而言,陕南三地市情况各有差异。安康市,农村生活污染最高,为 40.52%、农业种植次之,为 31.90%,畜禽养殖为 26.24%;汉中市,畜禽养殖最高,为 38.06%,农村生活污染次之,为 35.75%,农业种植为 22.83%;商洛市,农村生活污染最高,为 44.99%,畜禽养殖业次之,为 32.13%,农业种植污染为 22.87%。三地市水产养殖所占比例均为最小。

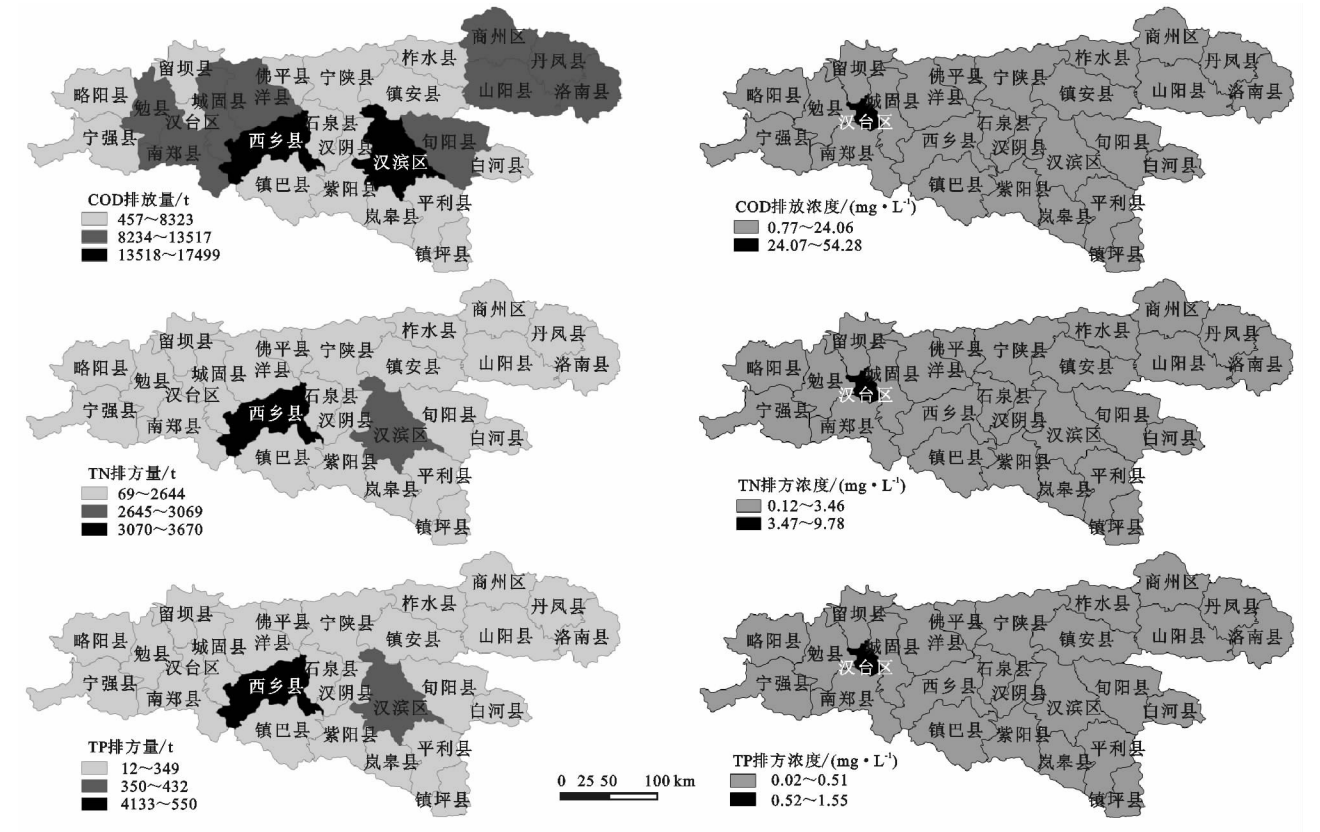


图 1 农业非点源污染物排放量和排放浓度

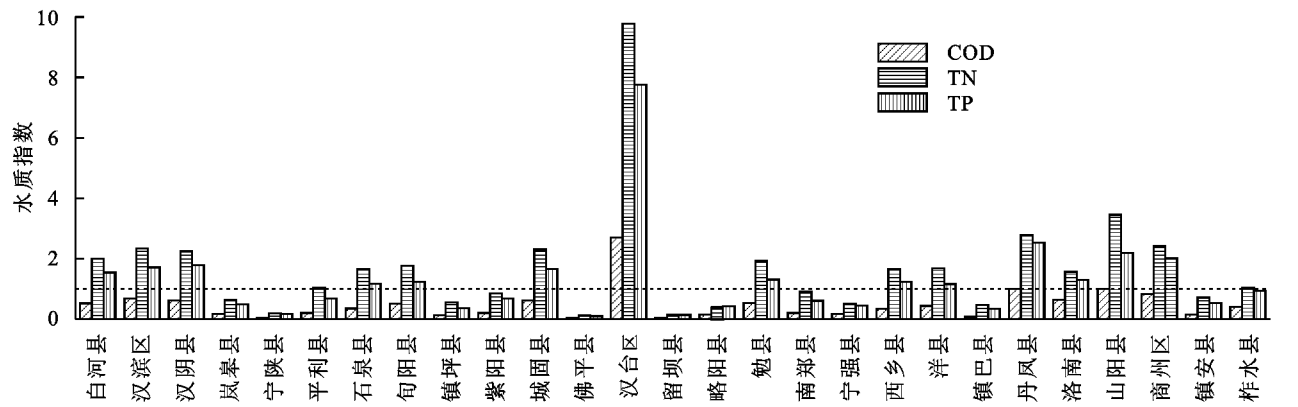


图 2 农业非点源污染物 COD、TN 和 TP 的水质指数

表 1 丹汉江流域农业非点源污染等标排放量与比例

污染源	农业种植		水产养殖		畜禽养殖		农村生活	
	排放量/ (t·a ⁻¹)	比例/%	排放量/ (t·a ⁻¹)	比例/%	排放量/ (t·a ⁻¹)	比例/%	排放量/ (t·a ⁻¹)	比例/%
安康市	7487.22	31.90	314.73	1.34	6158.42	26.24	9511.94	40.52
汉中市	7714.71	23.58	857.50	2.62	12453.51	38.06	11698.21	35.75
商洛市	3587.84	22.87	1.92	0.01	5040.49	32.13	7058.7	44.99
合计	18789.77	26.14	1174.15	1.63	23652.42	32.90	28268.85	39.32

3.2 敏感区划分

陕西省丹汉江流域非点源污染可分成 5 个类型的敏感区(图 3),其中不敏感区(I)1 个,轻度敏感区(Ⅱ)11 个,中度敏感区(Ⅲ)11 个,高度敏感区(Ⅳ)3 个,极敏感(V)1 个,表明丹汉江流域非点源污染以轻度敏感区、中度敏感区为主,且有向高度敏感区转移的趋势。从敏感区的空间分布来看,具有一定的规律性。高度敏感区和极敏感区分布于三个地级市及其周边,其中唯一的一个极敏感区(汉台区)位于汉中市主城区;中度敏感区主要分布在丹汉江干流上,其比例占有中度敏感区的 63.64%;轻度敏感区分布在丹汉江干流南北两侧的县(区),其比例占到所有轻度敏感区的 72.73%。可见丹汉江流域形成了以中心城市为核心,以丹汉江干流为轴线,向南北两侧敏感度递减的敏感区分布格局。因此我们认为城市发展水平对水资源需求是影响丹汉江流域非点源污染的重要因素。

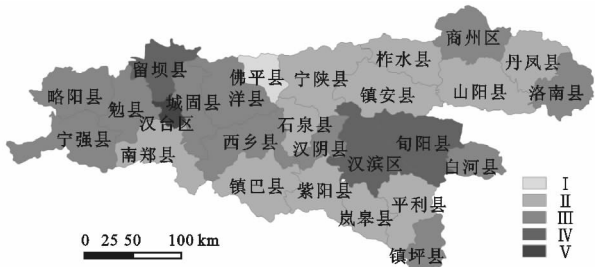


图 3 陕西省丹汉江流域农业非点源污染敏感区划分

3.3 污染源类型的划分

在确定敏感区的基础上,计算各县(区)主要污染源类型。首先计算等标排放比例,按等标排放比例从

大到小排序,分别计算累计百分比,并以此确定各县(区)的主要污染物类型。由表 2 可见,陕南 27 个县(区)农业非点源污染类型可以分为农业种植型、畜禽养殖型、生活排放型三个基本类型。

丹汉江流域农业非点源污染类型中复合型比例最高,占 51.85%,其次是种植+生活型,占 22.22%,养殖+生活型,占 18.52%,以单一污染类型为主的是养殖型和生活型各占 3.70%。另外,复合型中均包括了生活污染源,说明在丹汉江流域农村生活污染物排放对地表水的影响十分显著。从敏感区污染源类型构成来看,复合型在除不敏感区外其他各级敏感区划中所占比例均高于其他类型,而且在极敏感区中只有复合型一种,可见复合型污染源是丹汉江流域污染最主要的形式,且该地区有从单一污染源向复合型污染源转移的趋势,将导致整个流域水质变差。

表 2 陕西省丹汉江流域农业非点源污染控制分区

敏感区	污染类型	地名
I	生活型	佛坪县
	复合型	平利县、石泉县、岚皋县、山阳县、镇安县
Ⅱ	种植+生活型	宁陕县、紫阳县、镇巴县
	养殖+生活型	南郑县、丹凤县、柞水县
	复合型	白河县、汉阴县、城固县、勉县、洋县、商州区
Ⅲ	种植+生活型	略阳县、宁强县
	养殖+生活型	镇坪县、商南县
	养殖型	西乡县
Ⅳ	复合型	汉滨区、旬阳县
	种植+生活型	留坝县
V	复合型	汉台区

4 结论

陕西省丹汉江流域农业非点源污染区划按敏感度可分为5级敏感区。从5级敏感区的空间分布来看可归纳为中心城市污染控制区、干流污染综合治理区和山地丘陵污染防治区3个敏感控制区。

农业非点源污染源类型主要包括农业种植型、畜禽养殖型、生活排放型三个基本类型及其组合形式。且该地区有从单一污染源向复合型污染源转移的趋势。

农业非点源污染一级敏感区和污染类型二级划分结果表明,丹汉江干流是主要敏感区域,且污染类型多为复合型。随干流向南北两侧敏感性递减,所对应的污染类型也依次向组合型、单一型变化。

参考文献:

- [1] Edwards A C, Withers P J A. Transport and delivery of suspended solids, nitrogen and phosphorus from various sources to freshwaters in the UK [J]. *Journal of Hydrology*, 2008, 350(3): 144-153.
- [2] Lacroix A, Beaudoin N, Makowski D. Agricultural water nonpoint pollution control under uncertainty and climate variability [J]. *Ecological Economics*, 2005, 53(1): 115-127.
- [3] 余炜敏,魏朝富,谢德体. 太湖流域与长江三峡库区农业非点源污染对比研究[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 115-118.
- [4] Munafò M, Cecchi G, Baiocco F, et al. River pollution from non-point sources: a new simplified method of assessment [J]. *Journal of Environmental Management*, 2005, 77(2): 93-98.
- [5] 周慧平,高超,朱晓东. 关键源区识别: 农业非点源污染控制方法[J]. *生态学报*, 2005, 25(12): 3368-3374.

- [6] 张汪寿,耿润哲,王晓燕,等. 基于多准则分析的非点源污染评价和分区: 以北京怀柔区北宅小流域为例[J]. *中国环境科学*, 2013, 33(1): 258-266.
- [7] Zhuang Y, Thuminh N, Niu B, et al. Research Trends in Non Point Source during 1975—2010 [J]. *Physics Procedia*, 2012, 33(1): 138-143.
- [8] 周亮,徐建刚,孙东琪,等. 淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制[J]. *环境科学*, 2013, 34(2): 547-554.
- [9] 张淑荣,陈利顶,傅伯杰. 农业区非点源污染敏感性评价的一种方法[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(2): 56-59.
- [10] 杨柳,马克明,郭青海,等. 汉阳非点源污染控制区划[J]. *环境科学*, 2006, 27(1): 31-36.
- [11] 秦迪岚,黄哲,罗岳平,等. 洞庭湖区污染控制区划与控制对策[J]. *环境科学研究*, 2011, 24(7): 748-755.
- [12] 马彩虹,张静. 陕南汉江流域 INDV 时空差异分析[J]. *西北师范大学学报: 自然科学版*, 2013, 49(5): 103-107.
- [13] 王星,李占斌,李鹏,等. 陕西省丹汉江流域面源污染现状及防治对策[J]. *水土保持通报*, 2011, 31(6): 186-189.
- [14] 张春玲,李娅妮. 陕西省丹汉江流域水质现状及防护对策[J]. *水资源与水工程学报*, 2007, 18(3): 87-90.
- [15] 张海龙,齐实,路倩倩,等. 基于水功能区的湖北省农业非点源污染控制区划[J]. *中国水土保持科学*, 2014, 12(2): 1-8.
- [16] 段华平,朱林,孙勤芳,等. 农村环境污染控制区方法与应用研究[J]. *中国环境科学*, 2010, 30(3): 426-432.
- [17] 李强坤,李怀恩,胡亚伟,等. 农业非点源污染田间模型及其应用[J]. *环境科学*, 2009, 30(12): 3509-3513.
- [18] 赵倩,马健,问青春,等. 浑河上游大苏河乡农业非点源污染负荷及现状评价[J]. *生态与农村环境学报*, 2010, 26(2): 126-131.
- [19] 孙勤芳,段华平,赵建波,等. 基于清单分析的农村非点源污染控制区划方法[J]. *生态与农村环境学报*, 2011, 27(4): 104-109.

(上接第324页)

- [12] Postel S L, Daily G C, Ehrlich P R. Human appropriation of renewable fresh water [J]. *Science-AAAS Weekly Paper Edition*, 1996, 271(5250): 785-787.
- [13] 杭锦旗统计局. 杭锦旗2014年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. <http://www.hjq.gov.cn/zq/tjj/tjjgg/201504/20150430-1380934.html>.
- [14] 段新光,栾芳芳. 基于模糊综合评判的新疆水资源承载力

评价[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(3): 119-122.

- [15] 黄永基,马滇真. 区域水资源供需分析方法[M]. 南京: 河海大学出版社, 1990.
- [16] 陈洁荣,郭瑜. 区域水资源承载能力的模糊优选评判分析及其在张掖地区的应用[J]. *水利水电技术*, 2012, 23(3): 1-5.
- [17] 张华侨,窦明,赵辉,等. 郑州市水安全模糊综合评价[J]. *水资源保护*, 2010, 26(6): 42-46.