

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第5期 Vol.33 No.5 2013

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报 (SHENTAI XUEBAO)

第33卷 第5期 2013年3月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 氮沉降对森林土壤有机质和凋落物分解的影响及其微生物学机制 王晶苑, 张心昱, 温学发, 等 (1337)
工业大麻对重金属污染土壤的治理研究进展 梁淑敏, 许艳萍, 陈 裕, 等 (1347)
最佳管理措施评估方法研究进展 孟凡德, 耿润哲, 欧 洋, 等 (1357)
灌木年轮学研究进展 芦晓明, 梁尔源 (1367)

个体与基础生态

- 华北落叶松夜间树干液流特征及生长季补水格局 王艳兵, 德永军, 熊 伟, 等 (1375)
土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响 裴 斌, 张光灿, 张淑勇, 等 (1386)
湖北石首麋鹿昼间活动时间分配 杨道德, 李竹云, 李鹏飞, 等 (1397)
三种杀虫剂亚致死浓度对川硬皮肿腿蜂繁殖和搜寻行为的影响 杨 桦, 杨 伟, 杨春平, 等 (1405)

种群、群落和生态系统

- 三沙湾浮游动物生态类群演替特征 徐佳奕, 徐兆礼 (1413)
滇西北高原纳帕海湿地湖滨带优势植物生物量及其凋落物分解 郭绪虎, 肖德荣, 田 昆, 等 (1425)
安徽新安江干流滩涂湿地草本植物区系及物种多样性 杨文斌, 刘 坤, 周守标 (1433)
湿地芦苇根结合好气细菌群落时空分布及其与水质因子的关系 熊 薇, 郭逍宇, 赵 霖 (1443)
三种温带树种叶片呼吸的时间动态及其影响因子 王兆国, 王传宽 (1456)
不同土壤水分条件下杨树人工林水分利用效率对环境因子的响应 周 洁, 张志强, 孙 阁, 等 (1465)
不同生态区域沙地建群种油蒿的钙组分特征 薛苹苹, 高玉葆, 何兴东 (1475)
藏北高寒草甸植物群落对土壤线虫群落功能结构的影响 薛会英, 胡 锋, 罗大庆 (1482)
铜尾矿废弃地土壤动物多样性特征 朱永恒, 沈 非, 余 健, 等 (1495)
环丙沙星对土壤微生物量碳和土壤微生物群落碳代谢多样性的影响 马 驿, 彭金菊, 王 芸, 等 (1506)
基于生态水位约束的下辽河平原地下水生态需水量估算 孙才志, 高 翳, 朱正如 (1513)

景观、区域和全球生态

- 佛山市高明区生态安全格局和建设用地扩展预案 苏泳娴, 张虹鸥, 陈修治, 等 (1524)
不同护坡草本植物的根系特征及对土壤渗透性的影响 李建兴, 何丙辉, 谌 芸 (1535)
京沪穗三地近十年夜间热力景观格局演变对比研究 孟 丹, 王明玉, 李小娟, 等 (1545)
窟野河流域河川基流量变化趋势及其驱动因素 雷泳南, 张晓萍, 张建军, 等 (1559)
模拟氮沉降条件下木荷幼苗光合特性、生物量与 C、N、P 分配格局 李明月, 王 健, 王振兴, 等 (1569)
铁炉渣施加对稻田甲烷产生、氧化与排放的影响 王维奇, 李鹏飞, 曾从盛, 等 (1578)

资源与产业生态

- 食用黑粉菌侵染对茭白植株抗氧化系统和叶绿素荧光的影响 闫 宁, 王晓清, 王志丹, 等 (1584)

- 佛手低温胁迫相关基因的差异表达 陈文荣,叶杰君,李永强,等 (1594)
美洲棘薺马对不同蔬菜寄主的偏好性 朱亮,石宝才,官亚军,等 (1607)
茉莉酸对棉花单宁含量和抗虫相关酶活性的诱导效应 杨世勇,王蒙蒙,谢建春 (1615)
造纸废水灌溉对毛白杨苗木生长及养分状况的影响 王烨,席本野,崔向东,等 (1626)
基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率 赵晨,王远,谷学明,等 (1636)

研究简报

- 太岳山不同郁闭度油松人工林降水分配特征 周彬,韩海荣,康峰峰,等 (1645)
基于 TM 卫星影像数据的北京市植被变化及其原因分析 贾宝全 (1654)
薇甘菊萎焉病毒感染对薇甘菊光合特性和 4 种酶活性的影响 王瑞龙,潘婉文,杨娇瑜,等 (1667)
第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)
中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说:美丽的油松松枝——油松又称红皮松、短叶松。树高可达 30m,胸径达 1m。其树皮下部灰褐色,裂成不规则鳞块;针叶 2 针一束,暗绿色,较粗硬;球果卵形或卵圆形,长 4—7cm,有短柄,与枝几乎成直角。油松适应性强,根系发达,树姿雄伟,枝叶繁茂,有良好的保持水土和美化环境的功能,是中国北方广大地区最主要的造林树种之一,在华北地区无论是山区或平原到处可见,人工林很多,一般情况下在山区生长最好。在山区生长的油松,多在阴坡、半阴坡,土壤湿润和较肥沃的地方。

彩图及图说提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201206120844

孙才志,高颖,朱正如. 基于生态水位约束的下辽河平原地下水生态需水量估算. 生态学报,2013,33(5):1513-1523.

Sun C Z, Gao Y, Zhu Z R. Estimation of ecological water demands based on ecological water table limitations in the lower reaches of the Liaohe River Plain, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): 1513-1523.

基于生态水位约束的下辽河平原地下水生态需水量估算

孙才志^{1,2,*}, 高 颖¹, 朱正如¹

(1. 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029; 2. 辽宁省自然地理与空间信息科学重点实验室, 大连 116029)

摘要:以我国北方典型的大型地下水盆地——下辽河平原为研究对象,在考虑地下水蒸发特点基础上,统筹考虑对地下水依赖程度较高的天然草地、天然湿地和河流生态系统对于地下水位的要求,综合水文和生态两方面因素确定地下水生态水位;利用Golden surfer软件的体积计算功能,计算出研究区内全年各月的地下水生态需水量;采用正态信息扩散模型,运用月保证率法得到不同保证率、不同恢复等级下的年地下水生态需水量。结果表明:下辽河平原不同月份的地下水缺水量 41.83×10^8 — 60.07×10^8 m³、缺水区面积 2.05×10^4 — 2.34×10^4 km²、盈余水量 2.73×10^8 — 6.68×10^8 m³、盈余区面积 0.30×10^4 — 0.59×10^4 km²、地下水生态需水量 35.15×10^8 — 57.33×10^8 m³;经月保证率法整合后的年地下水生态需水量变化规律为,随着保证率的降低,地下水生态需水量不断增加,而需水量等级越高,需水量增加幅度越大。

关键词:下辽河平原;地下水生态水位;地下水生态需水;信息扩散技术

Estimation of ecological water demands based on ecological water table limitations in the lower reaches of the Liaohe River Plain, China

SUN Caizhi^{1,2,*}, GAO Ying¹, ZHU Zhengru¹

1 College of Urban and Environment, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

2 Liaoning Key Laboratory of Physical Geography and Geomatics, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

Abstract: Groundwater is an important part of the global ecosystem. It strongly influences ecosystems in arid and semi-arid regions of northwestern China and is the primary source of water for human use in northern China. This paper investigates a typical expansive groundwater basin — the lower reaches of the Liaohe River Plain — as a study area, which continues to experience rapid economic growth along with rapid development of the region's groundwater resources. The groundwater has been and is being seriously depleted. Some hydrogeological problems in the system are becoming apparent and the area is experiencing significant water shortages. The ecological health of groundwater systems has become a serious issue in ecology and is receiving considerable attention from the general public.

In consideration of the evaporation characteristics in this area, the requirements needed to maintain a healthy state of the water table for some ecosystems such as natural grasslands, natural wetlands and rivers are demonstrated; then an ecologically appropriate level of the groundwater table was determined based on hydrogeology and ecology. An ecological water table can be defined as the range of water table depths that can maintain a water supply for both human uses and for normal growth of natural vegetation. For example, in natural grassland the appropriate depth of an ecological water table in spring, summer and autumn is 3—4m, 2—3m and 3—4m, respectively; and in winter, the appropriate depth of an

基金项目:国家自然科学基金(40501013);辽宁省优秀人才项目(LR2010021)

收稿日期:2012-06-12; 修订日期:2012-12-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: suncaizhi@lnnu.edu.cn

ecological water table only needs to meet the needs of the hydrogeological limit. As for natural wetlands, the depth of the ecological water table in spring, summer, autumn and winter is 0.5—0.8m, 0.3—0.5m, 0.5—0.8m and 1.0m, respectively. Based on a comparison of the ecological water table and the actual water table, Golden Surfer software was applied to calculate the ecological water demand for the restoration of the groundwater system on a monthly scale.

This paper adopts the guarantee rate method to delimit five levels of ecological water demand for the restoration of groundwater systems, which have the guarantee rates of 90%, 80%, 70%, 60% and 50%. Calculating the probability density of ecological water demand using the 12 datasets applied here is impossible using a traditional statistic model, so the information diffusion technique was applied; with this technique, each data point is regarded as a set of data. This technique has been proven to be successful and is widely used. Then, the ecological water demand under different guarantee rates can be obtained. Under each guarantee rate, the ecological water demand can be divided into five grades, which are 100%, 80%, 60%, 40% and 20% of the ecological water demand corresponding to the related guarantee rates. The results show that with a decrease of guarantee rate or an increase of grade, the ecological water demand increased.

Key Words: groundwater system restoration; information diffusion technique; lower Liaohe River Plain; water demand; water table

在我国北方干旱与半干旱地区,由于地表水资源相对贫乏,而地下水一般具有水质良好、分布广泛、水量相对稳定等特点,因此地下水便一直作为工业、农业以及生活用水的主要供水水源。但人们在开发利用地下水资源的过程中,通常只注重地下水的资源功能,而忽略了其生态功能,这给由地下水所维系的生态系统带来了严重威胁,导致了诸如河流断流、海水入侵、湿地退化等生态环境问题。鉴于我国北方地区地下水系统与生态系统之间存在着密切的依附关系以及环境水文地质问题突出的现实情况,对于该区域地下水生态系统的保护更应受到重视,地下水生态需水的研究也尤为迫切。

当前,国内外对于生态需水的研究大多集中于河流^[1-3]、湖泊^[4-5]、湿地^[6-8]和陆地植被^[9-10]等领域,并形成了比较完善的计算方法,而对于地下水生态需水的研究则相对较少。在我国,地下水生态方面的研究主要集中于西北干旱地区,但研究角度多侧重于地下水合理水位的确定方面^[11-12]。杨志峰等提出了生态环境需水评价中地下水补水量的计算公式^[13],但在整个研究区只给出了一套水文地质参数,忽视了水文地质条件的空间异质性问题,在一定程度上影响了计算精度,该方法主要适用于小空间尺度;孙才志等^[14]采用情景分析的方法,在降水入渗与蒸发规律的基础上,设置了两种情景下下辽河平原地下水生态水位标准,然后通过对地下水实际埋深与生态水位埋深的比较,计算出满足地下水生态水位要求的地下水调控量,但仅从水文地质的角度考虑地下水生态需水量,忽略了地表生态系统对于地下水的需求;张建立等采用二维地下水数值估算了白洋淀湿地地下水生态需水量^[15],但只考虑了湿地一种生态系统类型,地下水生态水位标准单一,同样该方法主要适用于小空间尺度。鉴于此,本文以下辽河平原地下水系统为研究对象,综合考虑水文地质和生态系统两方面因素,分别考虑其对于地下水量的需求,进而估算下辽河平原地下水系统生态需水量。研究成果对于丰富生态需水理论具有一定的理论意义。

下辽河平原是东北最缺水的地区之一,该区域供水的65%来源于地下水。地下水资源的过度开发利用,产生了一系列生态环境问题,已经影响到了研究区内社会经济的可持续发展,成为制约东北老工业基地振兴的重要瓶颈之一。因此,为更合理的配置和管理地下水资源,下辽河平原地下水系统生态需水的研究变得重要而且迫切。本文通过对下辽河平原地区2009年Landsat ETM的遥感解译,得到本区域的生态系统类型,在合理确定地下水生态水位的基础上,结合相应水文地质参数,利用Golden surfer软件计算出下辽河平原的地下水生态需水量,研究成果对于维护研究区生态系统健康和地下水资源的合理开发利用具有一定的应用价值。

1 研究区概况

下辽河平原是辽宁省最大的平原,呈北东—南西方带状斜卧在辽宁省的中部。地理坐标为E121.0877°—123.85582°,N40.6379°—42.2943°,东西宽120—140 km,南北长240 km,面积约2.32万km²,行政区划隶属于辽宁省铁岭市、沈阳市、抚顺市、辽阳市、鞍山市、营口市、盘锦市、锦州市和阜新市,总跨9市17县(图1)。

下辽河平原东、西两侧为山地丘陵,南临渤海,北为辽北低丘区,形成三面环山、一面临海的地形特点。平原地势由北向南逐渐降低,由北部海拔50—250 m逐步降为南部海拔2—10 m。本区属于温带半湿润半干旱季风气候区的过渡带,全年平均气温在7—11 °C之间,降水量在600—1100 mm左右,具有东南向西北递减的变化规律。该区有两个独立水系,一个为辽河下游经双台子河由盘山入海;另一个为浑河、太子河于三岔河汇合后经大辽河由营口入海。自然植被类型具有从温带草原向暖温带阔叶落叶过渡的特点,其中,东部山地以温带针阔叶混交林为代表,南部和西部为暖温带落叶阔叶林,北部为温带草甸草原。

下辽河平原作为中新生代的沉降盆地,既是区域新生界尤其是第四系的沉降中心,又是区域地表水和地下水的汇集中心。巨厚的第三系河湖相碎屑沉积、第四系冲积层以及岩石中广泛发育的裂隙都为地下水的赋存、运移提供了广大的空间,上述地层构成了具有统一补给、径流、排泄的下辽河平原地下水系统。地下水的补给主要来自大气降水和地表水入渗,地下水总的径流方向由山前向中部平原呈放射状,至中部平原后总的径流方向是由东北向西南,最后进入辽东湾。

2 数据来源及处理平台

收集了研究区内2009年Landsat ETM遥感影像、辽宁省地质图、辽宁省第四纪地质图、辽宁省水文地质图、下辽河平原地下水资源图、辽宁省地貌图、辽宁省土地类型图、辽宁省植被图、《辽河流域水文资料》(2004—2008)、辽宁省水文数据(2010年)等基础数据资料。数据处理平台包括MapInfo 7.0、ArcView GIS 3.3、Erdas Imagine 9.1、Golden surfer 9.0、Fortran PowerStation 4.0等。

3 下辽河平原地下水生态水位的确定

3.1 地下水生态水位的概念

地下水生态水位是指:能够充分发挥地下水对生态环境的控制作用,即满足生态环境要求、不造成生态环境恶化的地下水位。它是由一系列满足生态环境要求的地下水水位构成,是一个随时空变化的函数^[16]。地下水生态水位主要受含水层岩性、包气带特征、地形、地貌和植被条件的影响。

3.2 下辽河平原地下水生态水位确定

3.2.1 从水文地质学的角度确定地下水生态水位

从水文地质学的角度确定地下水生态水位,需要综合考虑下辽河平原的水盐运移规律、潜水蒸发等影响因素。在确定生态水位时,使潜水蒸发的强度减至最小,土壤积盐极其微弱。该区的含水层岩性主要为粘土、黄土状亚粘土、亚砂土、粉砂土、粉细砂、细砂、中砂及滨海咸水地区的粘土、砂土。根据该区的岩性,利用当地地质部门的野外蒸发实验结果,把不同含水层岩性下极限蒸发深度作为地下水生态水位埋深^[17],结果见表1。

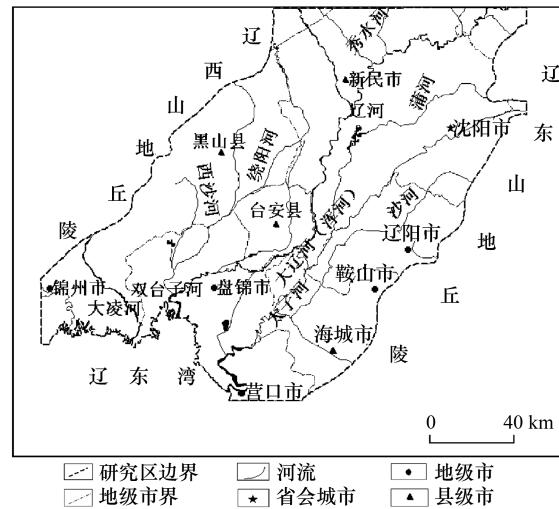


图1 下辽河平原地理位置图

Fig. 1 The geographic location map of the lower Liaohe River plain

表1 不同岩性下的地下水生态水位埋深

Table 1 The ecological groundwater head burying depth of different lithological character

项目 Item	粘土 Clay	亚粘土 Silt stratum	亚砂土 Sandy loam	粉砂土 Silty soil	粉细砂 Silty fine sand	细砂 Fine sand	中砂 Medium sand
埋深 Burying depth/m	5.0	4.0—4.5	4.0	3.0—3.5	2.4—3.0	1.8—2.4	1.2—1.8

3.2.2 从生态系统健康的角度确定地下水生态水位

自然界中的生态系统对于地下水的依赖情况是各不相同的,通常根据生态系统对地下水的依赖程度不同,可将生态系统分为:完全依赖型、强烈依赖型、偶尔依赖型和完全不依赖型^[18]。对于对地下水依赖程度较低的生态系统,在确定地下水生态水位时,可以只考虑其地质学方面的因素,而对地下水依赖较强的生态系统,应综合考虑生态系统对于地下水位的要求。

通过对2009年遥感资料进行几何校正,经检验配准误差控制在0.5个像素元之内,采取最邻近法进行重采样。在Erdas Imagine 9.1处理平台上,确立解译标志和解译精度,通过人工交互式对遥感影像进行目视解译。最后在GIS环境中对解译结果进行裁剪、合并等修改,得到下辽河平原2009年Landsat ETM的解译结果(图2),由图2可知,下辽河平原的生态系统类型主要有河流生态系统、天然草地生态系统(面积1365.5 km²)、天然林地生态系统(面积4524.0 km²)、天然湿地生态系统(面积356.3 km²)、耕地生态系统(面积16408.8 km²)以及城镇生态系统(面积4524.0 km²)。根据研究区内生态系统的实际情况,对地下水依赖程度较高的生态系统有天然草地生态系统、天然河流生态系统和天然湿地生态系统。因此,本文从这3个生态系统健康的角度出发,研究与其相关区域地下水生态水位。

(1)有天然草地覆盖的区域。

下辽河平原的天然植被类型多样,但是,由于人类的不断开垦和人工改造,下辽河平原几乎没有原始植被。经研究都证实,影响天然植被生长和恢复的土壤水分和盐分与地下水埋深高低有密切关系^[19-21],在有天然草地覆盖地区,确定既不使土壤发生强烈盐渍化和荒漠化,又能使植被健康生长的生态地下水位对研究区的生态环境保育至关重要。

樊自立等^[11]将适宜的地下水位埋深定义为2—4 m,因为在此水位埋深下,土壤全剖面含水率为17.0%—22.0%,约为毛管持水量的70%以上,潜水年蒸发量在50—375 mm,潜水主要供给土壤水分被植物吸收利用,无效蒸发耗水很少,能满足天然植被的生长需水。因此,本文将此埋深定义为有天然草地覆盖地块的生态地下水位埋深。根据研究区实际情况,下辽河平原天然草地的生长期为4—10月,而夏季植被蒸腾要高于春、秋季,因此,天然草地夏季需水量较高,故在确定生态水位时,将天然草地的生长期分为6、7、8月和4、5、9、10月两部分考虑(表2)。

(2)有湿地覆盖的区域

对于湿地生态系统的保护,应该要求保持湿地水体的规模和质量。因此在考虑湿地覆盖地块的地下水生态需水时,应满足沼泽化地下水位的要求,即地下水埋深应在1 m以内^[11],以保证湿地的覆盖面积,确保沼泽地块生物的健康生存和栖息地的稳定发展。

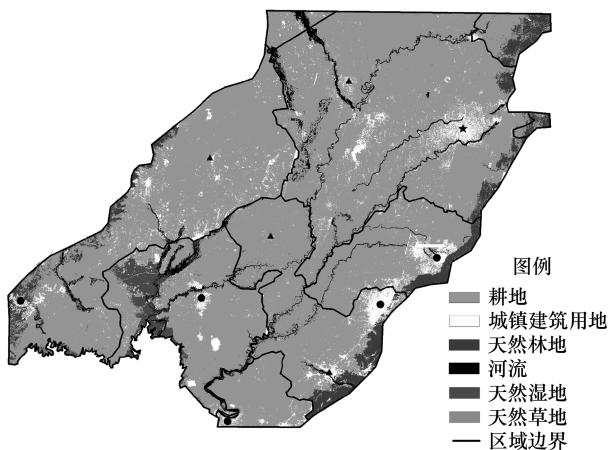


图2 下辽河平原生态系统类型示意图

Fig.2 The ecosystem types in the lower reach of Liao River plain

表2 下辽河平原不同季节天然草地地下水生态水位埋深

Table 2 The ecological groundwater head burying depth of natural grassland in different seasons

项目 Item	春季(4、5月) Spring(April and May)	夏季(6、7、8月) Summer(June, July and August)	秋季(9、10月) Autumn(September and October)
水位埋深/m Groundwater head burying depth	3—4	2—3	3—4

下辽河平原天然湿地主要为辽河三角洲的盘锦湿地,该区植被类型多样,其中双台河口湿地不仅生长有大量芦苇,还为大量鸟类和两栖类提供了栖息场所。而为保证野生生物栖息地的健康,湿地的水深应在0.3—2.0 m之间^[22]。兼顾沼泽化地下水埋深在1 m以内的要求,本文把该区域不同季节地下水埋深设定在0.3—1.0 m。另外,研究区内湿地在不同的气候条件下对于地下水的需求不同,夏季植被生长茂盛,动物活动也比较活跃,湿地需水量较大;而冬季恰好相反,植物枯萎,不少动物冬眠,鸟类南飞,所以需水量相对较小。因此,本文确定了有天然湿地覆盖地区不同季节的地下水生态水位埋深,见表3。

而对于滨海低平原南部,由于河道淤浅改道,海水顶托,地势低洼积水,地下水的水平径流基本停滞,垂直蒸发十分强烈,土壤大面积形成盐渍化和沼泽化,属于滨海湿地。故确定本区域的生态埋深为1 m,即沼泽化水位,此条件下虽然潜水蒸发量大,耗水较多,但对于该区湿地生物多样性的维护和湿地保护有重要意义。

表3 下辽河平原不同季节天然湿地地下水生态水位埋深

Table 3 The ecological groundwater head burying depth of natural wetland in different seasons

项目 Item	春季(3、4、5月) Spring(March, April and May)	夏季(6、7、8月) Summer(June, July and August)	秋季(9、10、11月) Autumn(September and October)	冬季(12、1、2月) Winter(December, January and February)
水位埋深/m Groundwater head burying depth	0.5—0.8	0.3—0.5	0.5—0.8	1.0

(3)有河流流经的区域

研究区内河流的径流季节变化较大,有春夏两个汛期,其中春汛期短,一般为2月底到3月初,量小,仅占全年径流的3%—4%;夏汛一般为6—9月,可占年径流的70%—82%;枯水期(12月—翌年3月)径流很少;平水期(4—5月)径流仅占年径流的10%。其中,枯水期河流在没有降水的情况下,出现一个流量低而稳定的最小径流期,此时河流仅靠地下水补给,如果地下水埋深低于河道,将会出现断流,因此,枯水期是保持河流自我生存能力至关重要的时期。另外,由于上游开采量加大,减少下泄流量,致使地下水位下降夺取河道径流,使河道大规模干涸断流。因此,在确定有河流流经区域的地下水生态需水问题时,应把河流生态流量和地下水位作为统一的整体来考虑。基于此,本文从以下三个方面定量分析生态地下水位:考虑补排平衡,要求适宜的埋深,水位不能过低;考虑防止盐碱化,水位不能过高;要维持和支撑河道生态用水,公式如下:

$$G_e = \max \{ G_1, Z_r \}, \text{且 } G_e < G_2 \quad (1)$$

式中, G_e 为有河流流经区域河道外生态水位; G_1 为考虑补排平衡的最低地下水位; G_2 为考虑防止盐碱化的最高地下水位; Z_r 为河底高程。

把下辽河平原按照水文地质单元划分为西部山前平原区、东部山前平原区、中部平原区和南部滨海平原区(图3)。其中,位于山前平原区的河道外浅层地下水汛期最佳控制生态水位埋深在5—10 m,汛后埋深控制在3—5 m;位于中部平原区的河道外浅层地下水的汛前最佳控制生态水位埋深在6—11 m,汛后埋深控制在4—6 m^[23]。而对于枯水期,则应保证生态水位埋深至少与河道持平,以保证河流的健康维持,但同样要保证其小于盐碱化水位埋深1—2 m^[11]。

根据《辽河流域水文资料》2004—2008年研究区河流水位、河底高程等数据,得出下辽河平原各水文站测得的各月平均水位,根据上述分析得到有河流流经区域的地下水生态水位埋深(表4)。由于水文站点数目过多,表4仅显示部分典型站点地下水生态水位埋深数据。

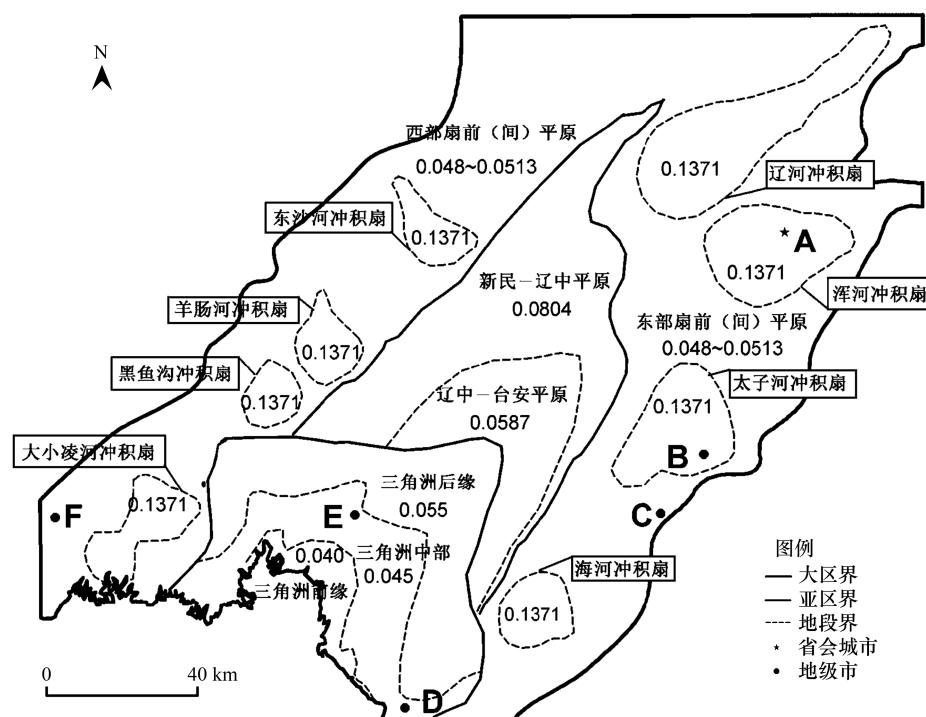


图3 下辽河平原水文地质单元分区及给水度图

Fig. 3 The specific yield in different hydro-geological partition

表4 下辽河平原有河流流经区域地下水生态水位埋深

Table 4 The ecological groundwater head burying depth with river flows through

站点 Hydrological station	位置 Location	河名 River	汛前埋深/m (4,5月) Before flood season	汛后埋深/m (10,11月) After flood season	枯水期埋深/m (12月—翌年3月) Dry season
珠尔山站(二)	山前平原	辽河	6.81	5.00	6.81
六间房(金三)	中部平原	辽河	3.67	3.66	2.00
公主屯	山前平原	秀水河	4.87	3.97	3.97
小荒地(三)	山前平原	养息牧河	1.46	1.46	2.00
新民(六)	山前平原	柳河	5.00	4.53	4.53
王回窝堡(二)	中部平原	绕阳河	1.30	1.30	2.00
胡家(五)	山前平原	东沙河	5.00	3.48	3.48
凌海	山前平原	大凌河	8.91	5.00	3.26
东陵(二)	山前平原	牤牛河	7.76	7.76	7.76
大河泡(三)	山前平原	蒲河	2.86	2.86	1.49
小林子(二)	山前平原	太子河	5.00	4.31	4.31
前烟台	山前平原	北沙河	5.00	3.52	3.52
海城(二)	山前平原	海城河	8.54	5.00	8.54

3.2.3 从人类需要的角度综合调整地下水生态水位

下辽河平原已经在沈阳、鞍山、辽阳等地区形成了永久性地下水降落漏斗及地下水含水层的部分疏干,其中,沈阳市地下水含水层疏干面积已经超过 60 km^2 ,地下水位最大降深达 30 m,辽阳首山水源地地下水位累计下降近 40 m^[24]。基于以上实际情况,要在短时间内实现这些地区的生态系统完全健康并不现实,故应调整这些地区的地下水生态水位,以使经济发展和生态环境问题的逐步改善达到平衡。

根据 2008 年《辽宁省水资源公报》统计,把超采漏斗区和海水入侵区全部作为地下水超采区界定,下辽

河平原的超采区主要有沈阳城区地下水漏斗区(漏斗区面积 14.75 km²)、辽阳首山地下水漏斗区(漏斗区面积 196.00 km²)和锦州海侵区(171.06 km²)。基于此,本文根据以上区域地下水位埋深的实际情况,对地下水生态水位埋深做了如下调整:沈阳城区 7—9 m,辽阳首山 6—7 m,锦州海侵区 6—8 m。

综合以上论述,利用 MapInfo 软件提取点坐标工具,自动获取区域经纬度,并输入不同区域地下水生态水位埋深数据,得到下辽河平原全年各月地下水生态水位埋深数据(表 5)。

4 下辽河平原地下水系统生态需水量的估算

本文应用 MapInfo 软件对空间数据的分析与查询功能,配合 Golden surfer 软件的体积计算功能计算下辽河平原的地下水生态需水量^[25]。首先,将经纬度数据以文本格式导出,利用 Golden surfer 软件将其格网化。同时,给水度值根据下辽河平原水文地质分区,按照同样方法得到格网数据。然后,应用 Golden surfer 软件的体积计算功能,将研究区内地下水实际埋深格网文件(*FBH_i. grd*)与地下水生态水位埋深格网文件(*EBH_i. grd*)进行对比,并乘以给水度格网文件($\mu. grd$),得到下辽河平原地下水系统生态需水量值。

4.1 地下水生态需水量的概念界定

虽然目前国内外关于生态需水的概念较多,理解也各不相同,但广义上讲维持全球生物地理过程水分平衡所需要的水都称生态需水,如水热平衡、生物平衡、水沙平衡、水盐平衡等所需的水分^[26];狭义上讲生态需水是指为维持生态系统的稳定、保持生态环境质量的最小水资源需求量^[27]。而地下水生态需水量则是指为维持地下水生态系统不再恶化并逐渐改善所需要的地下水资源总量,也即保证地下水正常的生态功能正常发挥所需要的地下水资源总量^[28]。基于以上定义,本文认为地下水生态需水量的估算问题,主要是找到能够满足地下水生态功能的地下水生态水位,进而计算从现有实际地下水位恢复到生态水位所需要的水量,即地下水生态恢复需水量是本文主要研究和关注的。

表 5 下辽河平原全年各月地下水生态水位埋深

Table 5 The ecological groundwater head burying depth monthly/m

经度/(°) Longitude	纬度/(°) Latitude	3 月 March	5 月 May	8 月 August	10 月 October	12 月 December
123.17	41.43	4.00	5.00	4.11	3.52	3.52
122.97	41.50	3.97	5.66	4.81	5.00	3.97
122.95	42.02	5.66	4.45	2.13	3.94	5.66
122.90	41.37	3.45	5.00	4.48	4.31	3.45
122.88	41.88	4.31	4.45	3.13	4.34	4.31
122.77	41.97	3.34	5.00	4.82	4.53	3.34
122.73	40.85	8.54	8.00	7.06	7.00	8.54
122.70	41.27	4.00	5.00	1.37	5.00	3.69
122.65	41.45	3.00	4.07	3.22	4.00	2.61
122.53	41.28	2.00	3.66	2.00	3.66	2.00
122.20	41.75	4.00	5.00	3.20	3.48	3.48
122.15	41.43	2.00	1.30	1.08	1.30	2.00
121.68	41.20	0.80	0.60	0.30	0.70	1.00

由于数据过多,表 4 仅显示部分区域的典型月份地下水生态水位埋深数据

4.2 区域地下水实际埋深分布

根据研究区内地下水长观孔的分布情况,本文选取了 2010 年 161 个点全年 12 个月份的地下水实际观测资料,应用 Golden surfer 软件得到地下水实际埋深格网文件(*FBH_i. grd*),并构建了浅层地下水埋深等值线图(图 4)。根据下辽河平原的水文地质分区,以及对应地貌下的给水度 μ 值^[29](图 3),得到研究区给水度格网文件($\mu. grd$)。在图 3—6 中,由于月份数目较多,论文在展示等值线图时,仅以 5 月为代表,其中,A 代表沈阳市,B 代表辽阳市,C 代表鞍山市,D 代表营口市,E 代表盘锦市,F 代表锦州市。

4.2.2 区域生态地下水埋深分布

综合前文分析,根据下辽河平原全年 12 个月的地下水生态水位埋深数据,利用 Golden surfer 软件的制图

功能,得到生态地下水埋深格网文件($EBH_i.grd$),并绘出相应的水位埋深等值线图(图5)。

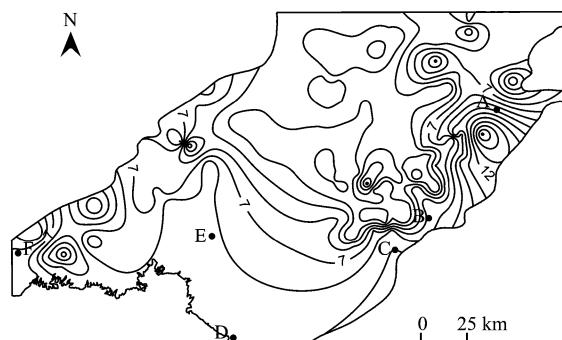


图4 下辽河平原5月地下水实际埋深等值线图

Fig. 4 The actual groundwater burying depth contour in May 2010

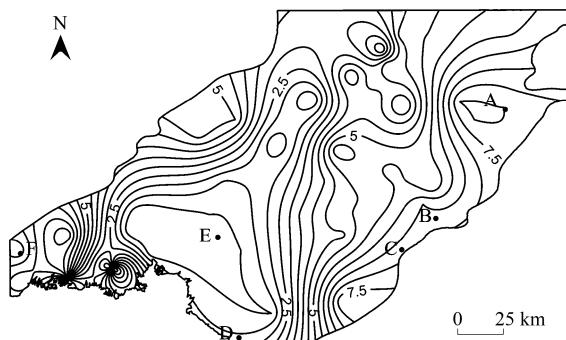


图5 下辽河平原5月地下水生态埋深等值线图

Fig. 5 The burying depth contour of ecological groundwater table in May 2010

4.3 地下水生态需水量的估算

根据研究区内地下水水位实际埋深与确定出的地下水生态水位,利用Golden surfer软件的制图和体积计算功能,计算下辽河平原地下水系统生态需水量。公式为:

$$DH_i.grd = (FBH_i.grd - EBH_i.grd) \cdot \mu.grd \quad i = 1, 2, \dots, 12 \quad (2)$$

根据格网文件 $DH_i.grd$,可以绘制出全年各月地下水生态需水量分布等值线图(图6),图中,等值线正值区为实际地下水无法满足生态需水量,即生态系统缺水区,需要进行地下水的保护及补给;负值区为实际地下水能满足生态需水量区,即生态系统水量盈余区,可以维持在现有水平。

应用Golden surfer软件和格网文件 $DH_i.grd$,可以获得全年各月的地下水生态系统缺水区、盈余区面积,以及它们分别对应的缺水量和盈余水量,进而得出地下水系统生态需水量(表6)。

表6中的地下水生态需水量,属于非消耗型需水,在全年需水量整合时,不能简单求和计算。因此,本文基于杨志峰等^[13]针对河流最大允许废水排放量提出的月保证率设定法,对求得的各月地下水生态需水量进行需水整合。

表6 下辽河平原各月地下水生态需水量
Table 6 The monthly water demand for groundwater ecological restoration

	月份 Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
缺水量 The volume of water shortage/ $10^8 m^3$	45.32	45.87	45.83	46.40	48.11	60.07	52.93	48.85	46.34	42.70	42.51	41.83
缺水区面积 Water Shortage area/ $10^4 km^2$	2.19	2.22	2.21	2.18	2.16	2.34	2.23	2.11	2.13	2.05	2.12	2.09
盈余水量 The volume of surplus water/ $10^8 m^3$	5.00	3.97	3.42	3.47	4.04	2.73	4.00	6.08	5.49	6.30	5.02	6.68
盈余区面积 Surplus water area/ $10^4 km^2$	0.45	0.42	0.43	0.46	0.48	0.30	0.41	0.53	0.51	0.59	0.52	0.55
生态需水量/ $10^8 m^3$												
Water demand for groundwater ecological restoration	40.32	41.90	42.41	42.93	44.07	57.33	48.93	42.78	40.85	36.40	37.49	35.15

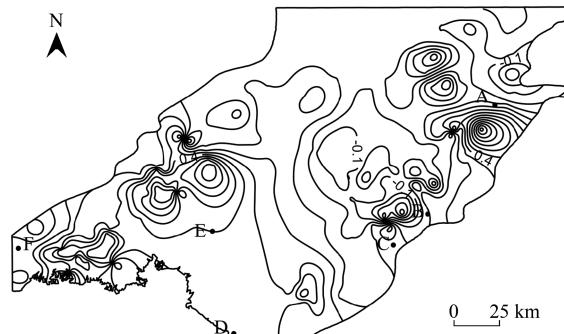


图6 下辽河平原5月地下水生态需水量分布等值图

Fig. 6 The groundwater demand contour for ecological restoration in May 2010

(1)对于估算出的12个月地下水系统生态需水量,求出生态需水量的概率密度曲线,进而得出不同保证率下的地下水系统生态需水量。由于使用传统的概率分析方法进行计算通常需要30个以上的样本才能得到令人信服的结果,12个样本数据显然远远满足不了要求。当样本数量不多时,样本提供给我们认识概率的知识是不完备的,由于不完备信息是一类模糊信息,根据信息扩散原理,一定存在着一个适当的扩散函数,可以将传统的单值样本变换为集值样本,以弥补资料不足的缺陷,提高了结果的可靠性^[30]。

因此,基于信息扩散理论,将论域空间确定为 $U = [35.15, 57.33]$,对求得的各月地下水生态需水量数据进行处理,具体操作步骤如下:

首先,将求得的12月地下水系统生态需水量作为样本点,用 X 表示:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad n = 12 \quad (3)$$

设其论域为:

$$U = (u_1, u_2, \dots, u_m) \quad (4)$$

正态信息扩散函数公式为:

$$f_j(u_i) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_j - u_i)^2}{2h^2}\right] \quad (5)$$

式中, h 为扩散系数,它与样本集合中最大值 b 、最小值 a 以及样本数 n 有关,具体计算公式见文献^[30]。

$$\text{令} \quad C_j = \sum_{i=1}^m f_j(u_i) \quad (6)$$

则相应的模糊子集的隶属度函数为:

$$\mu_{x_j}(u_i) = \frac{f_j(u_i)}{C_j} \quad (7)$$

此时,称 $\mu_{x_j}(u_i)$ 为样本点 x_j 经过归一化后的信息分布,然后对 $\mu_{x_j}(u_i)$ 进行进一步处理:

$$\text{令} \quad q(u_i) = \sum_{j=1}^n \mu_{x_j}(u_i) \quad (8)$$

$$Q = \sum_{i=1}^m q(u_i) \quad (9)$$

$$\text{则} \quad p(u_i) = \frac{q(u_i)}{Q} \quad (10)$$

这样, $p(u_i)$ 就是样本点落在 u_i 处的频率值,最后,可以得到超越 u_i 的概率值,即为保证率值:

$$P(u_i) = \sum_{i=1}^m p(u_i) \quad (11)$$

(2)分别求得90%,80%,70%,60%,50%保证率下的地下水生态需水量值。

(3)以上述结果为基础,把不同保证率需水量的100%,80%,60%,40%,20%作为5个推荐恢复等级(极好、非常好、好、中、最小)计算地下水生态需水量值(表7)。

表7 下辽河平原不同保证率、不同恢复等级年地下水生态需水量

Table 7 The annual water demand for groundwater ecological restoration at different guarantee rates and different restoration levels/(10⁸ m³)

保证率/% Guarantee rate	恢复等级 Restoration level				
	极好 Excellent	非常好 Very good	好 Good	中 Medium	最小 Minimum
90	36.92	29.54	22.15	14.77	7.38
80	38.48	30.78	23.09	15.39	7.70
70	40.03	32.02	24.02	16.01	8.01
60	41.36	33.09	24.82	16.54	8.27
50	42.91	34.33	25.75	17.16	8.58

5 结论及对策

下辽河平原是辽宁省工、农业最发达地区,地下水的不合理开发利用,造成了生态环境问题的日益严峻,

因此本文通过对地下水生态需水量的研究,提出了有利于研究区生态系统维持和地下水资源合理开发利用的水资源配置策略,结论如下:

(1)确立合理的地下水生态水位对于防治下辽河平原的生态环境恶化具有重要作用,其中不同的区域和系统对于地下水位的要求不尽相同,故本文力求寻找一个能尽量满足各系统要求的生态水位。在确定时,以对地下水敏感的天然生态系统为主,辅以水文地质和人类需要进行综合调整,最终得到下辽河平原的地下水生态水位埋深。其中,南部沿海为0.3—2 m,东、西部平原为5—9 m,中部平原为3—6 m。

(2)利用Golden surfer软件,计算现状地下水位埋深与生态水位埋深差值,得到下辽河平原不同月份的地下水缺水量 41.83×10^8 — 60.07×10^8 m³、缺水区面积 2.05×10^4 — 2.34×10^4 km²、盈余水量 2.73×10^8 — 6.68×10^8 m³、盈余区面积 0.30×10^4 — 0.59×10^4 km²、地下水生态需水量 35.15×10^8 — 57.33×10^8 m³。

(3)基于月保证率法,运用信息扩散技术对各月需水量整合后,得到下辽河平原不同保证率、不同恢复等级下地下水生态需水量。结果可见,随着保证率的降低,地下水生态需水量不断增加,而需水量等级越高,需水量增加幅度越大。其中,50%保证率、恢复等级为极好的年需水量为 42.91×10^8 m³,90%保证率、恢复等级为最小条件下的年需水量仅为 7.38×10^8 m³。

地下水生态需水量的研究最终目的是为水资源配置、环境保护提供依据,而从前文下辽河平原的实际情况来看,改善下辽河平原地下水超采严重,水资源短缺的对策主要有:1)注重雨洪资源的利用和调配;2)注重湿地保护,减少海水入侵面积;3)利用东水西调工程引入水量,解决研究区内城乡生活、生产、生态用水问题;4)利用弃水及处理后达到地下水回灌标准的污水对地下水超采区进行人工回灌。

References:

- [1] Armbruster J T. An infiltration index useful in estimating low-flow characteristics of drainage basins. *Journal of Research USDS*, 1976, 4(5): 533-538.
- [2] Li L J. Environmental and ecological water consumption of river systems in Haihe-Luanhe basins. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 55(4): 495-500.
- [3] Cui B S, Hu B, Yang Z F. Calculation methods of ecological water requirements for instream in the Longitudinal Range-Gorge Region. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 174-185.
- [4] Liu J L, Yang Z F. Ecological and environmental water demand of the lakes in the Haihe-Huaihe Basin of North China. *Journal of Environmental Sciences*, 2002, 14(2): 234-238.
- [5] Liu J L, Yang Z F. A study on the calculation methods of the minimum eco-environmental water demand for lakes. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(5): 604-609.
- [6] Cui B S, Yang Z F. Eco-environmental water requirement for wetlands in Huang-Huai-Hai Area. *China. Progress in Natural Science*, 2002, 12(11): 841-848.
- [7] Cui B S, Yang Z F. Water requirements for eco-environmental aspect on wetlands. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2002, 22(2): 213-218.
- [8] Chen H, Yang Y, Yu S W, Yang Z F. Study on ecological water demand based on assessment of ecosystem disturbance degree in the Baiyangdian Wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(23): 7218-7226.
- [9] Zhang Y, Yang Z F. Calculation method of ecological water requirements for forestland and its application to Huang-Huai-Hai Region. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(12): 1566-1570.
- [10] Jia B Q, Ci L J. The primary estimation of water demand by the eco-environment in Xinjiang. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(2): 243-250.
- [11] Fan Z L, Ma Y J, Zhang H, Wang R H, Zhao Y J, Zhou H F. Research of eco-water table and rational depth of ground water of Tarim River drainage basin. *Arid Land Geography*, 2004, 27(1): 8-13.
- [12] Zhang L, Dong Z C, Huang X L. Modeling on relation between major plants growth and ground water depth in arid area. *Journal of Desert Research*, 2004, 24(1): 110-113.
- [13] Yang Z F, Cui B S. Theory, Method and Practise of Eco-Environmental Water Requirements. Beijing: Science Press, 2003.
- [14] Sun C Z, Liu Y L, Yang J. Research on the ecological and sustainable groundwater table regulation in the lower Liaohe River plain. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2007, 37(2): 249-254.
- [15] Zhang J L, Wang D S, Pan S B. Calculation of ecological water requirements based on groundwater model in Baoding. *Earth Science-Journal of China University of Geoscience*, 2012, 37(2): 370-374.
- [16] Zhang C C, Shao J L, Li C J. A study of ecological groundwater table in the North China Plain. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2003, 33(3): 323-326.
- [17] Liaoning Provincial Department of Water Resources. The water resources in Liaoning Province. Shenyang: Liaoning Science and Technology

Publishing House.

- [18] Shen Z Y, Yang Z F. Ecological water requirements of groundwater dependent ecosystems. *Sciencepaper Online*. (2005-10-08) [2012-5-28]. <http://www.paper.edu.cn/default/releasepaper/content/200510-49>.
- [19] Guan X Y, Wang S L, Gao Z Y, Lü Y, Fu X J. Spatio-temporal variability of soil salinity and its relationship with the depth to groundwater in salinization irrigation district. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(4): 1202-1210.
- [20] Zhao W Z, Liu H. Recent advances in desert vegetation response to groundwater table changes. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2702-2708.
- [21] Ma J Z, Qian J, Gao Q Z. The groundwater evolution and its influence on the fragile ecology in the south edge of Taim Basin. *Journal of Desert Research*, 2000, 20(2): 145-149.
- [22] Yang Z F, Liu J L, Sun T, Cui B S. Environmental Flows in Basins. Beijing: Science Press, 2006.
- [23] Chen M J, Feng H L, Li H Y. The Research on Ecological Water Requirement in Songliao Basin. Beijing: China Water Power Press, 2009.
- [24] Cheng Y. East-to-west water transmission of Yalu River: a strategic vision to address fresh water resource problems of Liaoning Province. *Journal of Liaodong University: Natural Sciences*, 2007, 14(1): 17-21.
- [25] Hu X N, Gao M, Shi T M. Calculation of earthwork volume by MapInfo 7 and Surfer 8. 0. *Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science*, 2006, 22(3): 491-494.
- [26] Liu C M, Wang H X. Soil and Crop of Atmospheric Water Process and Water Saving Control Interface. Beijing: Science Press, 1999.
- [27] Shen G F, Wang L X. China's Ecological Environment Construction and Protection of Water Resources. Beijing: China Water Power Press, 2001.
- [28] Feng P, Xiao L Y, Lin C. Studies on the estimation methods of water demand for groundwater eco-environment and its restoration problems. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2005, 19(6): 102-107.
- [29] Tan S Y. Analysis about the underwater reservoir resources and development potential in lower reaches of Liao River plain. *Territory and Natural Resources Study*, 1995, (4): 33-39.
- [30] Huang C F. Risk Assessment of Natural Disaster: Theory and Practice. Beijing: Science Press, 2005.

参考文献:

- [2] 李丽娟. 海滦河流域河流系统生态环境需水量计算. *地理学报*, 2000, 55(4): 495-500.
- [3] 崔保山, 胡波, 杨志峰. 西南纵向峡谷区河道生态需水计算方法. *生态学报*, 2006, 26(1): 174-185.
- [5] 刘静玲, 杨志峰. 湖泊生态环境需水量计算方法研究. *自然资源学报*, 2002, 17(5): 604-609.
- [7] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态需水量研究. *环境科学学报*, 2002, 22(2): 213-218.
- [8] 陈贺, 杨盈, 于世伟, 杨志峰. 基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究. *生态学报*, 2011, 31(23): 7218-7226.
- [9] 张远, 杨志峰. 林地生态需水量计算方法与应用. *应用生态学报*, 2002, 13(12): 1566-1570.
- [10] 贾宝全, 慈龙骏. 新疆生态用水量的初步估算. *生态学报*, 2000, 20(2): 243-250.
- [11] 樊自立, 马英杰, 张宏, 王让会, 赵元杰, 周宏飞. 塔里木河流域生态地下水位及其合理深度确定. *干旱区地理*, 2004, 27(1): 8-13.
- [12] 张丽, 董增川, 黄晓玲. 干旱区典型植物生长与地下水位关系的模型研究. *中国沙漠*, 2004, 24(1): 110-113.
- [13] 杨志峰, 崔保山. 生态环境需水量理论、方法与实践. 北京: 科学出版社, 2003.
- [14] 孙才志, 刘玉兰, 杨俊. 下辽河平原地下水生态水位与可持续开发调控研究. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2007, 37(2): 249-254.
- [15] 张建立, 王东胜, 潘世兵. 基于地下水模拟的保定地区生态需水量计算. *地球科学-中国地质大学学报*, 2012, 37(2): 370-374.
- [16] 张长春, 邵景力, 李慈君. 华北平原地下水生态环境水位研究. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2003, 33(3): 323-326.
- [17] 辽宁省水利厅. 辽宁省水资源. 沈阳: 辽宁科学技术出版社.
- [18] 沈珍瑶, 杨志峰. 依赖地下水生态系统的生态环境需水问题. *中国科技论文在线*. 2005-10-08 [2012-5-28]. <http://www.paper.edu.cn/default/releasepaper/content/200510-49>.
- [19] 管孝艳, 王少丽, 高占义, 吕烨, 付小军. 盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系. *生态学报*, 2012, 32(4): 1202-1210.
- [20] 赵文智, 刘鹤. 荒漠区植被对地下水埋深响应研究进展. *生态学报*, 2006, 26(8): 2702-2708.
- [22] 杨志峰, 刘静玲, 孙涛, 崔宝山. 流域生态需水规律. 北京: 科学出版社, 2006.
- [23] 陈敏健, 丰华丽, 李和跃. 松辽流域生态需水研究. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [24] 程岩. 辽宁省淡水资源重新配置的战略构想-兼论鸭绿江的东水西调. *辽东学院学报: 自然科学版*, 2007, 14(1): 17-21.
- [25] 胡学宁, 高明, 石铁矛. 应用 MapInfo 7 和 Surfer 8. 0 计算土方工程量. *沈阳建筑大学学报: 自然科学版*, 2006, 22(3): 491-494.
- [26] 刘昌明, 王会肖. 土壤-作物-大气界面水分过程与节水调控. 北京: 科学出版社, 1999.
- [27] 沈国舫, 王礼先. 中国生态环境建设与水资源保护利用. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [28] 冯平, 肖丽英, 林超. 地下水生态需水量的估算方法及其恢复问题的研究. *干旱区资源与环境*, 2005, 19(6): 102-107.
- [29] 谭世燕. 下辽河平原地下水水库资源及开发潜力分析. *国土与自然资源研究*, 1995, (4): 33-39.
- [30] 黄崇福. 自然灾害风险评价理论与实践. 北京: 科学出版社, 2005.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33 ,No. 5 March ,2013(Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The effect of nitrogen deposition on forest soil organic matter and litter decomposition and the microbial mechanism WANG Jingyuan, ZHANG Xinyu, WEN Xuefa, et al (1337)
Advances and the effects of industrial hemp for the cleanup of heavy metal pollution LIANG Shumin, XU Yanping, CHEN Yu, et al (1347)
A review for evaluating the effectiveness of BMPs to mitigate non-point source pollution from agriculture MENG Fande, GENG Runzhe, OU Yang, et al (1357)
Progresses in dendrochronology of shrubs LU Xiaoming, LIANG Eryuan (1367)

Autecology & Fundamentals

- The characteristics of nocturnal sap flow and stem water recharge pattern in growing season for a *Larix principis-rupprechtii* plantation WANG Yanbing, DE Yongjun, XIONG Wei, et al (1375)
Effects of soil drought stress on photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities in *Hippophae rhamnoides* Linn. seedlings PEI Bin, ZHANG Guangcan, ZHANG Shuyong, et al (1386)
Diurnal activity time budget of Père David's deer in Hubei Shishou Milu National Nature Reserve, China YANG Daode, LI Zhuyun, LI Pengfei, et al (1397)
Sublethal effects of three insecticides on the reproduction and host searching behaviors of *Sclerodermus sichuanensis* Xiao (Hymenoptera: Bethyidae) YANG Hua, YANG Wei, YANG Chunping, et al (1405)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal succession of zooplankton in Sansha Bay, Fujian XU Jiayi, XU Zhaoli (1413)
Biomass production and litter decomposition of lakeshore plants in Napahai wetland, Northwestern Yunnan Plateau, China GUO Xuhu, XIAO Derong, TIAN Kun, et al (1425)
The flora and species diversity of herbaceous seed plants in wetlands along the Xin'anjiang River from Anhui YANG Wenbin, LIU Kun, ZHOU Shoubiao (1433)
Spatial-temporal variation of root-associated aerobic bacterial communities of *phragmites australis* and the linkage of water quality factors in constructed wetland XIONG Wei, GUO Xiaoyu, ZHAO Fei (1443)
Temporal dynamics and influencing factors of leaf respiration for three temperate tree species WANG Zhaoguo, WANG Chuankuan (1456)
Environmental controls on water use efficiency of a poplar plantation under different soil water conditions ZHOU Jie, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (1465)
An analysis of calcium components of *Artemisia ordosica* plant on sandy lands in different ecological regions XUE Pingping, GAO Yubao, HE Xingdong (1475)
Effects of alpine meadow plant communities on soil nematode functional structure in Northern Tibet, China XUE Huiying, HU Feng, LUO Daqing (1482)
Soil fauna diversity of abandoned land in a copper mine tailing area ZHU Yongheng, SHEN Fei, YU Jian, et al (1495)
Effects of ciprofloxacin on microbial biomass carbon and carbon metabolism diversity of soil microbial communities MA Yi, PENG Jinju, WANG Yun, et al (1506)
Estimation of ecological water demands based on ecological water table limitations in the lower reaches of the Liaohe River Plain, China SUN Caizhi, GAO Ying, ZHU Zhengru (1513)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The ecological security patterns and construction land expansion simulation in Gaoming SU Yongxian, ZHANG Hong'ou, CHEN Xiuzhi, et al (1524)
Root features of typical herb plants for hillslope protection and their effects on soil infiltration LI Jianxing, HE Binghui, CHEN Yun (1535)

- The dynamic change of the thermal environment landscape patterns in Beijing, Shanghai and Guangzhou in the recent past decade ...
..... MENG Dan, WANG Mingyu, LI Xiaojuan, et al (1545)
- Change trends and driving factors of base flow in Kuye River Catchment
..... LEI Yongnan, ZHANG Xiaoping, ZHANG Jianjun, et al (1559)
- Photosynthetic characteristics, biomass allocation, C, N and P distribution of *Schima superba* seedlings in response to simulated
nitrogen deposition LI Mingyue, WANG Jian, WANG Zhenxing, et al (1569)
- Effect of iron slag adding on methane production, oxidation and emission in paddy fields
..... WANG Weiqi, LI Pengfei, ZENG Congsheng, et al (1578)
- Resource and Industrial Ecology**
- Antioxidative system and chlorophyll fluorescence of *Zizania latifolia* Turcz. plants are affected by *Ustilago esculenta* infection
..... YAN Ning, WANG Xiaoqing, WANG Zhidan, et al (1584)
- Analysis of cold-regulated gene expression of the Fingered Citron (*Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* Swingle)
..... CHEN Wenrong, YE Jiejun, LI Yongqiang, et al (1594)
- Hosts preference of *Echinothrips americanus* Morgan for different vegetables ... ZHU Liang, SHI Baocai, GONG Yajun, et al (1607)
- Induction effects of jasmonic acid on tannin content and defense-related enzyme activities in conventional cotton plants
..... YANG Shiyong, WANG Mengmeng, XIE Jianchun (1615)
- Effects of irrigation with paper mill effluent on growth and nutrient status of *Populus tomentosa* seedlings
..... WANG Ye, XI Benye, CUI Xiangdong, et al (1626)
- Water use efficiency of Jiangsu Province based on the data envelopment analysis approach
..... ZHAO Chen, WANG Yuan, GU Xueming, et al (1636)
- Research Notes**
- Characteristics of precipitation distribution in *Pinus tabulaeformis* plantations under different canopy coverage in Taiyue Mountain
..... ZHOU Bin, HAN Hairong, KANG Fengfeng, et al (1645)
- Driving factor analysis on the vegetation changes derived from the Landsat TM images in Beijing JIA Baoqun (1654)
- Effects of *Mikania micrantha* wilt virus infection on photosynthesis and the activities of four enzymes in *Mikania micrantha* H. B. K.
..... WANG Rui long, PAN Wanwen, YANG Jiaoyu, et al (1667)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于1981年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科研工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大16开本,300页,国内定价90元/册,全年定价2160元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路18号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第33卷 第5期 (2013年3月)

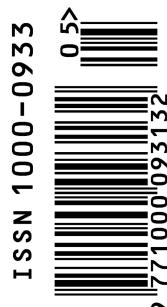
ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 5 (March, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路18号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松
主 管	中国科学技术协会
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路18号 邮政编码:100085
出 版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717
印 刷	北京北林印刷厂
发 行	科学出版社 地址:东黄城根北街16号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局
国 外 发 行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京399信箱 邮政编码:100044
广 告 经 营	京海工商广字第8013号
许 可 证	

Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
Domestic	All Local Post Offices in China
Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元