

中国水论坛 No.13

China Water Forum
No.13

水科学前沿与 中国水问题对策

杨永辉 胡玉昆 沈彦俊 杨艳敏 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水科学前沿与 中国水问题对策

杨永辉 胡玉昆 沈彦俊 杨艳敏 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为第十三届中国水论坛论文集,全书共分3个部分,即水文过程与水循环、水旱灾害、水生态与水环境。全书汇集52篇论文,百余位水资源等领域专家就“水科学前沿与中国水问题对策”进行了探讨和成果展示,为水科学前沿与中国水问题的解决提供了一些值得借鉴的方法、思路、措施和对策建议,以期为中国社会、经济、环境科学发展过程中的水文理论与管理技术提供支撑,具有一定的学术价值。

本书适合从事水文与水资源、农田水循环与作物高效用水、遥感水文、水资源与气候变化、流域水文与模拟模型、自然地理、土木工程等方面教学与科研的专家、学者及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水科学前沿与中国水问题对策 / 杨永辉等主编. --
北京:中国水利水电出版社,2016.3
(中国水论坛; No. 13)
ISBN 978-7-5170-4674-5

I. ①水… II. ①杨… III. ①水文学—文集②水资源—中国—文集 IV. ①P33-53②TV213-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第207829号

书 名	中国水论坛 No.13 水科学前沿与中国水问题对策
作 者	杨永辉 胡玉昆 沈彦俊 杨艳敏 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京三原色工作室
印 刷	北京京华虎彩印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 23.5印张 778千字
版 次	2016年3月第1版 2016年3月第1次印刷
定 价	92.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

第十三届中国水论坛论文集
《水科学前沿与中国水问题对策》
编委会

顾问：刘昌明 夏 军 康绍忠 胡春胜 董 卫
许广明 张兆吉

主编：杨永辉 胡玉昆 沈彦俊 杨艳敏

委员：（按姓氏拼音顺序）

韩淑敏 胡佳宏 栾清华 齐永清 谭丽梅
周新尧

第十三届中国水论坛及本书的出版得到了中国科学院农业水资源重点实验室、河北工程大学水利工程博士后工作站、河北省节水农业重点实验室以及“中国科协-学会能力提升专项优秀科技社团奖励项目”的资助。

前 言

随着水文科学的不断发展,计算机模拟技术、物探技术、遥感技术、电子技术、同位素技术等现代手段对水文过程关键要素的精准监测与预测水平不断提高。同时,人类活动的加剧及全球气候变化正在影响自然水循环,并对降水、蒸发、径流、土壤湿度等造成直接影响,引起水资源在时间和空间上的重新分配,增加洪涝、干旱等极端灾害发生的频率和强度,使得区域水资源短缺问题更加突出,对人类社会水资源的开发、利用、规划和管理等诸多环节造成严重影响,水资源安全正在成为 21 世纪国际资源环境领域的关键科学与技术难题。

在这样的背景下,2015 年 8 月 21—23 日,由中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心、中国科学院农业水资源重点实验室、河北工业大学和河北省节水农业重点实验室承办,中国地质科学院水文地质环境地质研究所、石家庄经济学院等单位协办的第十三届中国水论坛在石家庄召开。共有来自 26 个省(自治区、直辖市)、中国台湾和中国香港以及日本等国家和地区,92 所科研机构、大专院校及相关企业的 530 多名代表参加了本次水科学领域的盛会。

本届水论坛以“水科学前沿与中国水问题对策”为主题,分为水循环与水资源安全、生态水文与水环境、地下水消耗估算与农业用水、水文科学理论与新技术新方法、农田水文与水资源承载力等 5 个议题。刘昌明院士、夏军院士、康绍忠院士、千人学者唐常源教授和段青云教授等 12 位国内外知名学者作了大会特邀报告,143 位专家在 4 个分会场和特设的青年会场报告了各自的研究成果,深入研讨了目前水科学研究的学科前沿以及中国面临的诸多水资源问题及解决对策,为我国经济、社会、环境科学发展过程中的水支撑研究提供了科学依据。

本次会议共收到参会论文和摘要 300 多篇,其中通过会议报告与专家组评议,评选出 10 篇优秀青年论文,由中国自然资源学会颁发证书,中国水利水电

出版社颁发奖金，并筛选出 52 篇优秀论文由中国水利水电出版社结集出版。在此感谢中国水利水电出版社的编辑为本次论文集出版付出的辛勤工作！

由于编者水平有限，论文集难免存在不足甚至错误之处，敬请广大专家、读者不吝赐教。

编 者

2016 年 3 月

目 录

前言

水文过程与水循环

海河流域蒸发悖论对全球变暗/变亮的响应·····	赵娜	- 3 -
河北省典型土体水盐运移机理浅析·····	陈康, 张丽佳, 刘昭	- 8 -
Quantifying the Preferential Flow by Dye Tracer in Luancheng County of the North China Plain·····	Qinghua Wu	- 12 -
气候变化和人类活动对鄱阳湖流域径流影响的定量研究·····	刘剑宇, 张强	- 26 -
地下水位控制与开采量控制“双控管理”研究方法·····	廖梓龙, 谢新民, 魏永富, 郭中小, 龙胤慧	- 39 -
鄱阳湖流域水文气象要素变化特征及其原因初探·····	刘贵花, 朱婧瑄, 齐述华, 王点, 熊梦雅	- 49 -
自贡市水资源评价及对策建议·····	张滇军, 王娜, 张其成	- 56 -
水库水的季节性分层、混合以及溶解气体的垂直分布特征——以广东惠州联和水库为例 ·····	杨征伦, 唐常源, 陈建耀, 江涛, 蔡杨阳, 黎坤	- 64 -
基于随机动态规划构建的黑河中游地区水资源管理决策支撑系统·····	何杰, 张士锋, 李瑞	- 72 -
CMIP5 多模式对中国及各分区气温和降水时空特征的预估 ·····	程雪蓉, 任立良, 杨肖丽, 刘士军, 周萌	- 82 -
CO ₂ 深部咸水层溶解储存量计算常用模型对比分析·····	刘倩, 陈兵, 陆雪丽	- 89 -
影响济南市河流的大型底栖动物群落结构的环境因子分析 ·····	张欣, 徐宗学, 殷旭旺, 窦同文, 赵长森	- 95 -
西安市黑河流域年径流系列变化分析·····	马瑞婷, 黄领梅, 沈冰	- 103 -
基于 CA-Markov 模型的天山西部山区土地利用情景模拟预测 ·····	于宴民, 穆振侠	- 108 -
Stanley 流域土壤水资源评价与分析·····	郭雪蕊, 陈敏, 黄领梅, 沈冰	- 114 -

水旱灾害

西北内陆河流域干旱指数的时空变化趋势·····	栗晓玲, 牛纪苹	- 121 -
变化环境下非一致性年径流过程设计方法研究展望·····	谢平, 张波, 陈海健	- 128 -
典型干旱指数对东北地区农业旱灾评估能力分析·····	杨晓静, 徐宗学, 左德鹏, 赵刚	- 135 -
基于水分胁迫的干旱草原区植被变化演替趋势分析·····	徐晓民, 刘华琳, 梁文涛, 宋一凡	- 143 -
地下水开发利用风险评价突变模型·····	杜朝阳, 于静洁	- 149 -
渭河流域干旱时空分布特征·····	李洁, 王义民, 莫淑红	- 155 -
基于综合气象干旱指数北疆近 50 年干旱时空变化特征 ·····	吴燕锋, 章光新, 巴特尔·巴克	- 160 -
江苏沿海地区降雨时空演变规律研究·····	王军, 杭庆丰, 栾承梅, 李显鸿	- 173 -
韶关市极端降水时空变化趋势分析·····	刘占明, 魏兴琥, 陈子荣, 陈敏婷, 江学顶	- 181 -

基于 Mezentsev-Choudhury 公式的金华江流域 径流变化规律研究

.....	宣伟栋, 泮苏莉, 刘莉, 高希超, 许月萍	- 186 -
基于指标流速法的流量在线监测系统软件设计与实现	周波	- 192 -
中顺大围水资源调度现状分析	郑江丽, 贺新春, 马志鹏	- 198 -
陕西省近 50 年降雨变化分析	石梦阳, 李建梅, 沈冰	- 203 -
黄淮海地区近 50 年降雨时空特征分析	束美珍, 杨传国, 程雨春, 李小雨	- 208 -
气候变化对衢州江山港流域径流总量的影响	高超, 泮苏莉, 白直旭, 赵智超, 许月萍	- 214 -
基于 HBV 模型小流域洪水过程模拟	石卫, 夏军, 李兰	- 220 -
黄河流域 TRMM 卫星降水数据的精度评估	周萌, 任立良, 江善虎, 程雪蓉	- 227 -
基于小波-粒子群优化-自适应神经网络模糊推理系统的需水预测	刘真, 李文竹, 刘心	- 232 -
河南省水资源空间异质性与经济增长的脱钩分析	郭唯, 左其亭	- 236 -
河北省南水北调中线受水区城市受水方案消纳能力评价	郭泽忠, 魏飒	- 243 -

水生态与水环境

惠来县中东部供水工程水资源系统研究	马兴华, 周买春, 查大伟	- 251 -
华北平原与美国高平原粮食生产时空特征及其对地下水的影		
.....	裴宏伟, 沈彦俊, Bridget R. Scanlon, Robert C. Reedy, 龙笛, 刘昌明	- 255 -
污水灌溉区农田关键带硝酸盐来源与运移规律研究	敦宇, 唐常源, 沈彦俊	- 268 -
地下水超采综合治理的节水与补源技术	郭泽忠, 魏飒	- 274 -
中国农田氮淋溶与施肥量非线性关系的定量分析	高硕硕, 周丰	- 279 -
基于水生态文明理念的城市水生态系统健康分析	宋梦林, 左其亭	- 287 -
膨胀土渠坡双层防护方案模型试验研究	刘习银, 张家发, 吴庆华	- 296 -
对水生态文明建设的认识和建议	覃琳, 莫淑红, 权全, 曾祥攀	- 302 -
基于投影寻踪技术的徒骇河水质评价与改进	王月敏, 李森焱, 孙秀玲, 曹升乐	- 305 -
基于水文变异的河流生态水文评估	顾磊, 张洪波, 王斌, 兰甜	- 311 -
佳芦河水沙特征及其演变趋势与人类活动影响分析	司海松, 沈冰, 庄万里	- 320 -
基于 BP 神经网络的区域人水和谐评价及辨识	刘欢, 左其亭	- 324 -
干旱区膜下滴灌棉田灌溉制度及土壤水盐运移规律	汪昌树, 杨鹏年, 于宴民, 黄繁昌	- 333 -
基于人水和谐理念的水生态文明评价理论框架及应用	罗增良, 左其亭	- 341 -
面向智慧水利的软件定义光纤无线融合水信息网络*	刘杰, 李文竹, 刘心	- 347 -
南襄盆地浅层地下水质量影响因子解析	田夏, 费宇红, 李亚松, 崔向向, 张学庆, 敦宇	- 352 -
北京市水足迹研究	刘晓菲, 张士锋, 林忠辉, 李瑞	- 357 -

水文过程与水循环

海河流域蒸发悖论对全球变暗/变亮的响应*

赵娜

(华中科技大学水电与数字化工程学院, 武汉 430074)

摘要: 蒸发悖论是全球气候变化研究的热点问题, 而太阳辐射变化(即“全球变暗/变亮”)可能是全球范围蒸发悖论的主要原因。利用海河流域 17 个气象站点 1960—2012 年的气象资料, 系统分析了过去 53 年间日照时数、气温以及蒸发皿蒸发量的变化趋势, 对海河流域是否存在“蒸发悖论”进行验证。并引入面板数据模型方法, 研究了日照时数与蒸发皿蒸发量之间的因果回归关系, 定量分析日照时数变化对蒸发皿蒸发量的影响程度。研究结果表明: ①过去 53 年间, 海河流域蒸发皿蒸发量呈下降趋势, 而气温增加显著, 总体上存在蒸发悖论; ②1960—2012 年海河流域日照时数显著减少, 不符合全球变暗/变亮的规律, 但其变化趋势与蒸发皿蒸发量变化趋势较为一致; ③面板数据模型可用于构建蒸发量与日照时数之间的因果关系, 拟合关系最理想的是基于广义最小二乘法的固定影响变系数模型, 日照时数的减少确实是蒸发皿蒸发量减少的原因。

关键词: 全球变暗/变亮; 日照时数; 蒸发悖论; 蒸发皿蒸发量; 面板数据模型方法

1 引言

蒸发是衡量地表水量平衡和热量平衡的重要因素, 是水文循环的主要过程之一, 涉及土壤、植被和大气等与之相关的多种复杂过程^[1]。在全球变暖的背景下, 从理论上推断蒸发能力会增强。然而, 从过去 50 年间全球蒸发皿蒸发量的观测数据来看, 蒸发量并未呈现随大气温度升高而增加的现象, 反而全球大多国家和地区蒸发皿蒸发量呈下降趋势, 如中国^[2]、美国^[3]、加拿大^[4]、印度^[5]、西班牙^[6]、澳大利亚^[7]和新西兰^[8]等。这种蒸发皿蒸发量的减少和全球气温升高之间的逆反关系, 被称为蒸发悖论现象, 引起了学术界的热烈讨论^[9-10]。

关于蒸发悖论的机理目前尚无明确的结论, 已有的研究多为定性分析^[11], 国内外很多研究者认为蒸发悖论与近 50 年来地面太阳辐射变化, 即“全球变暗/变亮”有关^[12-14]。据调查, 太阳辐射自 20 世纪 60 年代以来在全球大部分地区出现不同程度的下降(“全球变暗”), 而这种“变暗”趋势在 90 年代左右开始出现逆反, 即所谓的“全球变亮”^[15-17]。在此背景下, 中国太阳辐射也发生了相应变化, 而且, Wild 等^[18]发现中国在 2000 年后有再一次变暗的趋势。太阳辐射的这种变化, 必然会影响气温、降水、蒸发等气象要素, 进而引起大气环流和水文循环等过程发生变化。然而, 针对某一区域而言, 蒸发悖论是否存在且其是否与太阳辐射变化有关, 还需要进一步分析, 不同的研究可能会得出相悖的结论。以海河流域为例, Zheng 等^[19]和鲍振鑫等^[20]认为风速的下降是海河流域蒸发皿蒸发量下降的最主要原因, 而刘小莽等^[21]却发现年尺度上蒸发对水汽压最为敏感, 其次是温度和太阳辐射, 对风速的敏感程度最低。

本文利用海河流域 17 个气象站点 1960—2012 年的气象资料, 分析蒸发皿蒸发量及其影响因素的变

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(51409109)。

作者简介: 赵娜(1984—), 女, 河北邯郸人, 讲师, 主要从事气候变化和水文水资源研究。Email: na.zhao.2011@hust.edu.cn

化趋势,并引入面板数据模型方法,研究海河流域蒸发皿蒸发及其受全球变暗/变亮的影响程度,旨在为气候变化下的流域水资源规划和管理提供科学参考。

2 数据和方法

2.1 数据

所用资料来自中国气象局气象中心(已经过了初步的质量控制),包括1960—2012年海河流域及其周边17个气象站蒸发皿蒸发量、平均气温和日照时数。其中蒸发皿蒸发量数据涉及小型蒸发器与E601B蒸发器两种观测方式,平均折算系数取0.59。

2.2 方法

面板数据模型是计量经济学中最常用的建模方法^[22]。相对只利用截面数据模型和只利用时间序列数据模型进行回归分析而言,面板数据模型的优点是可反映模型中被忽略的不同时间及个体因素的影响,因此该方法可用于除经济学以外的其他领域。目前为止面板数据模型在气候水文学领域鲜少应用,因此本文尝试利用该方法建立蒸发皿蒸发量与日照时数的回归关系。

3 研究结果

3.1 海河流域的蒸发悖论现象

利用17个国家基本气象站点的实测气象资料,分析了海河流域蒸发皿蒸发量与平均气温的历史演变规律。海河流域多年平均蒸发皿蒸发量为1088 mm。过去53年中,海河流域的年蒸发皿蒸发量呈现出显著的减少趋势,其递减速率为每10年减少21.2 mm(图1)。相反,平均气温在过去53年中呈现显著的上升趋势,平均速率为每10年升高0.3℃。

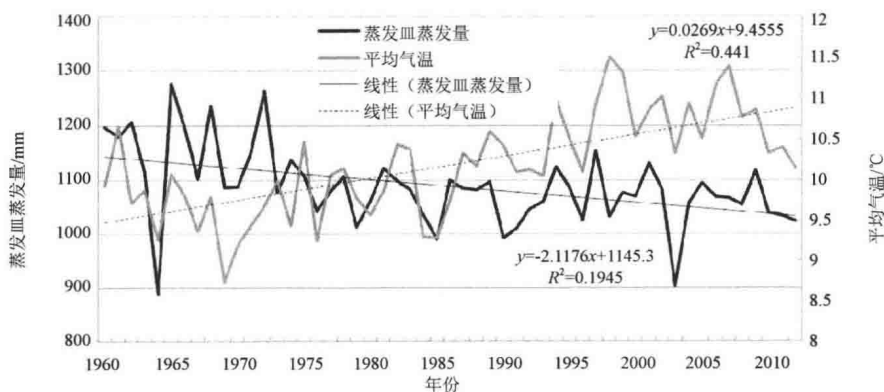


图1 海河流域蒸发悖论(1960—2012年)

海河流域年蒸发皿蒸发量在20世纪60年代变化趋势不明显,70年代初开始迅速下降,80年代初降到均值以下,并继续呈微弱减少趋势。流域内及周边17个气象站中,有13个站的蒸发皿蒸发量呈现减少趋势,仅有4个气象站的蒸发皿蒸发量呈现增加趋势,且增加趋势都不明显。相对而言,海河流域平均气温在20世纪60年代呈现明显的下降趋势,与全球变暖的大趋势不符,但是,从70年代初开始平均气温明显上升,80年代升到均值以上,且在随后的时间一直呈波动上升趋势。在17个气象站中,仅承德1个站点的平均气温呈现降低趋势,其他16个站点均呈现升高趋势。

以上分析表明,海河流域存在蒸发悖论现象,这与Zheng等^[19]和鲍振鑫等^[20]得出的结果一致。

3.2 全球变暗/变亮背景下海河流域的区域响应

日照时数指太阳辐射强度超过或等于120 W/m²的时间长度,作为一个描述太阳辐射状况的气象因子,

被广泛用作太阳辐射的替代指标。图 2 是海河流域平均日照时数变化趋势图。海河流域平均日照时数多年平均值为 7.1 h, 最大值为 1965 年 8.3 h, 最小值为 2003 年 6.0 h。从 1960 年到 2012 年, 日照时数总体上呈显著下降趋势, 平均下降速率为每 10 年 0.3 h。海河流域日照时数的这种持续波动下降的变化趋势与“全球变暗/变亮”的趋势不符, 但与全球范围长时期变暗背景一致, 这说明太阳辐射在不同空间尺度和区域范围有其特有的变化规律。对海河流域来说, 2000 年以后日照时数下降趋势明显减缓, 可能在随后的时期会出现转折, 具体的变化规律需要分析更长期的气象资料。

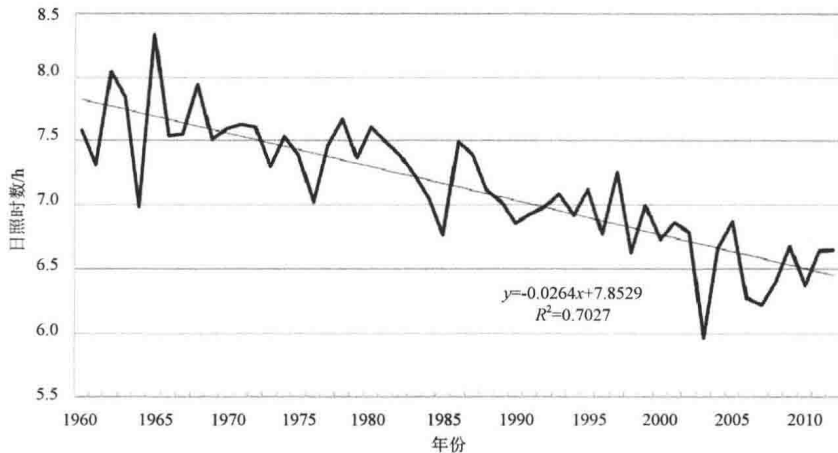


图 2 1960—2012 年海河流域日照时数年际变化

海河流域仅赤峰站 1 个站点的日照时数没有明显的增加或减少趋势, 其余 16 个站点均呈现明显减少趋势, 其中减少趋势最为明显的是中南部地区, 变化率超过每 10 年 0.4 h, 而北部大部分区域变化率在每 10 年 0.2 h 以内。日照时数变化率最大的是安阳站, 平均每 10 年减少 0.5 h。对于这些低纬度地区而言, 太阳辐射原本就比较匮乏, 剧烈的太阳辐射减少可能会对当地的水资源及农业生产造成非常严重的影响。

结合图 1 和图 2 可以看出, 海河流域日照时数与蒸发皿蒸发量的变化趋势是一致的, 这说明日照时数的减少有可能是造成蒸发皿蒸发量减少的原因, 但两者之间是否存在因果关系, 以及不同地区日照时数对蒸发量的影响程度还需要进一步分析。

3.3 海河流域蒸发悖论对全球变暗/变亮的响应

利用 EViews 软件, 构建海河流域 17 个气象站点 1960—2012 年的面板数据模型, 面板数据模型通常有混合模型、固定效应模型和随机效应模型 3 种形式, 基本形式如下:

$$ETpan_{it} = a_{it} + b_{it} \cdot SH_{it} + \varepsilon_{it}, \quad i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

式中: $ETpan_{it}$ 为因变量蒸发皿蒸发量; SH_{it} 为解释变量日照时数; a_{it} 为截距项; b_{it} 为系数; ε_{it} 为误差项; N 为截面个数即站点总数; T 为观测时期数。模型中的参数因时间和站点不同而变化, 因此可反映模型中被忽略的不同时间及个体因素的影响, 这也是面板数据模型优势所在。

根据单位根检验结果, 蒸发皿蒸发量和日照时数两个序列均不存在单位根, 证明了数据的平稳性。通过协整检验, 发现蒸发皿蒸发量与日照时数两个序列存在协整关系, 可建立因果回归关系。为了确定应该建立固定效应模型还是随机效应模型, 引入 Hausman 检验, 结果表明固定效应模型更适合用于参数估计。因此, 构建无个体影响的不变系数模型 (即混合模型)、变截距模型和变系数模型 3 种面板数据模型, 分别估计模型参数 (表 1)。其中变系数模型使用广义最小二乘法 GLS (Cross section weights) 代替传统的最小二乘法, 即以横截面模型残差的方差为权重对模型进行估计。

表 1 面板数据模型参数表

站点	混合模型		变截距模型		变系数模型	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
化德	844***	34***	-74***	90***	147***	55
大同			141***		672***	9
原平			75***		351***	41*
石家庄			-123***		105***	46**
太原			11***		-173***	107***
介休			12***		241***	45**
安阳			144***		-126***	123***
多伦			-237***		-232***	81***
赤峰			-86***		536***	3
怀来			41***		-324***	126**
承德			-217***		232***	20
北京			-11***		-13***	81**
天津			-88***		-165***	91***
乐亭			-94***		22***	63
惠民			41***		-297***	129***
济南			295***		-821***	244***
郑州			170***		-170***	137***
R ²	0.04		0.62		0.70	

注：表中* 表示 $P < 0.05$ ； **表示 $P < 0.01$ ； ***表示 $P < 0.001$ 。

表 1 建立了无个体影响的不变系数模型、变截距模型和变系数模型，样本数据究竟属于哪一种面板数据模型形式，需要通过 F 检验来完成。通过分别检验 H_1 （系数不变）和 H_2 （系数不变、截距也不变）2 个假设，结论是用固定影响变系数模型拟合的结果最好，这一点可以由表 1 中的 R^2 得到验证。混合模型的 R^2 仅为 0.04，变截距模型 R^2 提高为 0.62，而变系数模型 R^2 升至 0.70，说明不同站点具有不同的截距项和系数是符合实际情况的。具体来说，变系数模型中截距项的范围是-821~672，日照时数系数的范围是 3~244，这表示虽然不同地区日照时数对蒸发量的影响程度差别较大，但总体上是正面的影响，说明日照时数的减少确实是蒸发皿蒸发量减少的原因。

4 结论

蒸发悖论与全球变暗/变亮是全球变化研究中的热点问题。本文以海河流域为研究对象，分析了 1960—2012 年海河流域蒸发皿蒸发量、平均气温及日照时数的演变规律，并引入计量经济学中常用的面板数据模型方法，研究了蒸发皿蒸发量与日照时数之间的因果关系，主要结论如下：

- （1）海河流域蒸发皿蒸发量呈现显著的减少趋势，而平均气温呈现显著的上升趋势，说明海河流域存在蒸发悖论现象。
- （2）1960—2012 年海河流域日照时数总体上呈显著下降趋势，平均下降速率为每 10 年 0.3 h，该趋势与全球变暗/变亮的趋势不符，但与蒸发皿蒸发量变化趋势较为一致。
- （3）构建了无个体影响的不变系数模型、变截距模型和变系数模型 3 种面板数据模型，通过参数估

计和模型拟合,发现基于广义最小二乘法的固定影响变系数模型拟合结果最好,不同站点具有不同的截距项和参数项,深刻揭示了海河流域不同地区蒸发皿蒸发量对日照时数变化的响应规律。

参考文献

- [1] Maidment D R. Handbook of hydrology [M]. R. R. Donnelley & Sons Company, New York, USA, 1993.
- [2] Liu B, Xu M, Henderson M, et al. A spatial analysis of pan evaporation trends in China, 1955-2000 [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012), 2004, 109: D15102.
- [3] Lawrimore J H, Peterson T C. Pan evaporation trends in dry and humid regions of the United States [J]. Journal of Hydrometeorology, 2000, 1(6): 543-546.
- [4] Burn D H, Hesch N M. Trends in evaporation for the Canadian Prairies [J]. Journal of Hydrology, 2007, 336(1): 61-73.
- [5] Chattopadhyay N, Hulme M. Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1997, 87(1): 55-73.
- [6] Moratiel Yugueros R, Duran Altisent J M, Snyder R L. Responses of reference evapotranspiration to changes in atmospheric humidity and air temperature in Spain [J]. Climate research, 2010, 44(1): 27-40.
- [7] Roderick M L, Farquhar G D. Changes in Australian pan evaporation from 1970 to 2002 [J]. International Journal of Climatology, 2004, 24(9): 1077-1090.
- [8] Roderick M L, Farquhar G D. Changes in New Zealand pan evaporation since the 1970s [J]. International Journal of Climatology, 2005, 25(15): 2031-2039.
- [9] Peterson T V. Evaporation losing its strength [J]. Nature, 1995, 377: 687-688.
- [10] Fu G, Charles S P, Yu J. A critical overview of pan evaporation trends over the last 50 years [J]. Climatic Change, 2009, 97(1-2): 193-214.
- [11] 丛振涛, 倪广恒, 杨大文, 等. “蒸发悖论”在中国的规律分析. 水科学进展 [J]. 2008, 19(2): 147-152.
- [12] Roderick M L, Farquhar G D. The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years [J]. Science, 2002, 298(15): 1410-1411.
- [13] Liu B, Xu M, Henderson M, Gong W. A spatial analysis of pan evaporation trends in China, 1955-2000 [J]. Journal of Geophysical Research, 2004, 109, D15102, doi:10.1029/2004JD004511.
- [14] 任国玉, 郭军. 中国水面蒸发量的变化. 自然资源学报 [J]. 2006, 21(1): 31-44.
- [15] Stanhill G, Cohen S. Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2001, 107(4): 255-278.
- [16] Wild M, Gilgen H, Roesch A, et al. From dimming to brightening: decadal changes in solar radiation at earth's surface [J]. Science, 2005, 308(5723): 847-850.
- [17] Wild M. Global dimming and brightening: A review [J]. Journal of Geophysical Research - Atmosphere, 2009a, 114: D00D16.
- [18] Wild M, Trüssel B, Ohmura A, et al. Global Dimming and Brightening: an update beyond 2000 [J]. Journal of Geophysical Research, 2009b, 114, D00D13.
- [19] Zheng H, Liu X, Liu C, et al. Assessing contributions to pan evaporation trends in Haihe River Basin, China [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012), 2009, 114: D24105.
- [20] 鲍振鑫, 严小林, 王国庆, 等. 气象因子在海河流域蒸发悖论中的作用机理 [J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(3): 1-7.
- [21] 刘小莽, 郑红星, 刘昌明, 等. 海河流域潜在蒸散发的气候敏感性分析 [J]. 资源科学, 2009, 31(9): 1470-1476.
- [22] Cheng Hsiao. Analysis of Panel Data [M]. Second edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

河北省典型土体水盐运移机理浅析*

陈康^{1,2}, 张丽佳¹, 刘昭^{1,2}

(1.石家庄经济学院 水资源与环境学院, 石家庄 050031;

2.石家庄经济学院 河北省水资源可持续利用与开发重点实验室, 石家庄 050031)

摘要: 本次研究针对河北省黄骅市盐荒地 0~100cm 深度范围的土体盐分含量变化情况进行了定性及定量的分析。结果表明, 该深度范围内的土体盐分含量变化情况主要有两种趋势: ①0~30cm 浅层土体盐分含量较高, 季节变化明显, 体现出盐分累积的状态; ②30~100cm 深层土体盐分含量相对较低, 且较稳定, 是浅层土体盐分的输送通道。

关键词: 水盐运移; 冻融试验; 河北省

1 引言

全球中纬度地区的大部分土地都受到季节性冻结的影响, 我国多年冻土区的分布面积约 $2.1 \times 10^6 \text{ km}^2$, 季节性冻土区分布面积约 $5.1 \times 10^6 \text{ km}^2$, 两者合计约占我国土地面积的 75%^[1,2]。目前, 我国土体冻融过程中水热盐耦合关系及其调控机制仍然不太清楚, 冻融过程土体水热盐运移研究的整体水平尚处于基础监测试验数据积累阶段, 大量开展冻融条件下土壤水热盐运移试验研究十分迫切, 也非常必要。国际冻土学会主席 Pewe 教授曾指出, 查清土体冻融过程中水盐迁移规律是防治土壤盐渍化的新途径^[2]。河北省处于日渐活跃的环渤海经济圈中心地带, 是实施京津冀协同发展国家重大战略计划的重要区域。该区经济的高速发展, 离不开对土地资源的极大需求, 对该区域内的大量滨海盐渍土以及潜在盐渍化土壤分布区域进行深入研究, 为河北省合理开发利用盐渍土资源、改善地质生态环境质量以及促进经济的可持续发展提供理论依据和科技支撑。

2 研究区概况

黄骅市位于河北省东南部, 行政区划隶属于河北省沧州市, 地理位置为北纬 $38^\circ 09' \sim 38^\circ 39'$, 东经 $117^\circ 05' \sim 117^\circ 49'$ 之间, 全市总面积约为 2251 km^2 , 拥有约 55 km 长的海岸线, 人口约 48 万。地貌单元类型为滨海冲积海积平原, 整体地势自西南向东北微倾, 较为平坦, 海拔 1~5m。气候类型为暖温带半湿润季风气候, 四季分明, 夏季潮湿多雨, 冬季干燥寒冷。年均气温约 12.1°C , 年均降水量约为 627mm, 其中 6—8 月的降水量约占全年降水总量的 75%。区内地表水年平均径流量约为 1.28 亿 m^3 , 在地面以下 3~4m 处, 蕴藏着资源丰富的浅层苦咸水, 储量大约为 8 亿 m^3 , 苦咸水矿化度一般 3~8.5g/L, pH 值为 8.0 左右, 人畜不能饮用, 也不能用于农业灌溉。地下淡水层 320~600m, TDS 为 1.5g/L。耕地面积约 9.11 万 hm^2 , 其中盐碱耕地面积约为 $4.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占总耕地面积的 45.3%, 轻度盐碱耕地、重度盐碱耕地以及重度和极度盐碱耕地分别为约 $2.46 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、 $1.14 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 和 $5.26 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ^[3-4]。

*基金项目: 地科院水环所重点实验室与试验基地联合开放基金(KF201511); 石家庄经济学院博士科研启动基金。

第一作者简介: 陈康 (1982—), 男, 博士, 副教授, 主要从事地下水环境研究。Email:chenkang_sjz@163.com