

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.04.030

不同灌溉水分生产率指标的时空变异与相关关系*

操信春^{1,2} 吴普特^{1,2} 王玉宝^{1,2} 赵西宁² 王自奎¹ 田磊²

(1.西北农林科技大学水利与建筑工程学院,陕西杨凌 712100; 2.中国旱区节水农业研究院,陕西杨凌 712100)

摘要:选择灌溉系统中的不同灌水量作为投入,建立毛灌溉水分生产率(P_g)、渠系灌溉水分生产率(P_c)及净灌溉水分生产率(P_n)指标;收集全国443个主要灌区1998年、2005年及2010年的数据资料,分析了中国灌溉水分生产的时空变化规律及指标间的相关关系。结果显示:3个指标的全国均值分别为1.361、2.532及2.989 kg/m³;各省区的3个指标均随时间呈增加态势,直辖市的增幅较大而长江流域粮食主产区较小;代表年各灌溉水分生产率指标在空间上均表现为明显的聚集现象,高值省区以黄淮海平原为核心集中分布,华南、西北及东北则密集了低值省区; P_g 、 P_c 及 P_n 两两之间均呈现显著的线性相关关系,决定系数均大于0.90。3个指标中的任一指标均可代表省区灌溉水分生产率在全国的排序位置。

关键词: 指标 水分生产率 灌水量 时空变异

中图分类号: S274.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)04-0189-06

引言

灌溉有利于作物生长和促进粮食增产,评价灌溉水利用效率对水资源高效利用有重要意义^[1-2]。灌溉水利用效率评价大致经历了由“灌溉效率”^[3-5]向基于水量平衡、考虑作物产出的“水分生产率”评价^[6-8]的转变。当前评价农业水资源利用效率的参数和指标众多,由于研究目的不同和某些指标的计算难度大等原因,目前还没有一套适用性较好的灌溉水利用效率评价的量化指标^[9]。灌溉水分生产率衡量了一定灌溉水资源投入的作物产出效益,是评价农业灌溉用水管理水平和节水发展成效的一个重要参数^[10]。计算、对比灌溉水分生产率的时空分异特征,是评价节水灌溉发展成效的重要基础。对于不同尺度,选择不同的灌水量,可定义不同的灌溉水分生产率衡量指标。当前对灌溉水分生产率的研究多为理论探讨和灌区、田间尺度的实验模拟^[11-15],而对该参数在国家层面的宏观表现研究较少^[16]。同时,由于不同灌溉水利用效率评价参数关注点不一,选择具有代表性的指标,建立基于不同尺度水平衡观点上的农业水资源利用效用评价指标体系也是未来研究的方向^[17]。这就要求在表征同一参数或同一类型指标中遴选具有代表性的选项,

以获取主要信息和减少计算的工作量。本文从中国主要灌区粮食生产入手,建立不同指标,分析灌溉水分生产率的时空变化和各指标之间的关系,为相关研究和管理提供科学依据。

1 方法及数据

1.1 不同灌溉水分生产率的定义及计算

参照各水分生产率指标的概念,粮食灌溉水分生产率可以定义为单位灌溉用水量投入所能生产的农作物的经济产品数量^[18],计算式为

$$P = Y/I$$

式中 P ——灌溉水分生产率,kg/m³

Y ——平均单位耕地面积上的粮食产量,可由粮食单产与复种指数的乘积来计算,kg/hm²

I ——农田灌溉用水量,m³/hm²

灌溉过程通常分为3个阶段:渠道输水、田间灌水和作物利用。进入渠道的水量为毛灌水量,进入土壤计划湿润层能够被作物吸收利用的为净灌水量。通常情况下,依据灌水量采用毛灌水量还是净灌水量,灌溉水分生产率又分别定义为毛灌溉水分生产率 P_g 和净灌溉水分生产率 P_n ^[19]。毛灌溉水分生产率 P_g 能反映灌区灌溉工程的保障、田间灌水有

收稿日期:2013-04-29 修回日期:2013-06-21

*国家自然科学基金资助项目(50809055)、“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD29B09)、高等学校学科创新引智计划“111”资助项目(B12007)和教育部博士研究生学术新人奖资助项目

作者简介:操信春,博士生,主要从事农业水土资源管理研究,E-mail: caoxinchun@nwsuaf.edu.cn

通讯作者:吴普特,教授,博士生导师,主要从事节水农业研究,E-mail: Gjzwpt@vip.sina.com

效性及农作物管理三者的综合水平,净灌溉水分生产率 P_n 更侧重反映作物尺度的产品产出与灌溉水量消耗的效率。本文在此基础上定义渠系灌溉水生产率 P_c ,即利用渠系输送进入田间的那部分水量作为灌溉用水量。 P_c 反映的是田间灌水技术、管理水平及作物生产能力。 P_g 、 P_c 及 P_n 均能一定程度上反映区域农业灌溉用水的粮食产出效率。

1.2 数据收集与处理

选取1998年、2005年及2010年3个年份为代表年,来计算和分析中国及各省区粮食灌溉水分生产率。选择了全国443个典型灌区(涵盖了各省区所有大型灌区,见图1)为基本资料获取和数据处理计算单元。灌区代表年的毛灌溉用水量、粮食单产、复种指数、灌溉水利用系数、渠系水利用系数、灌溉面积,统一由中国灌溉排水发展中心提供,此外,还有少量数据来源于中国大型灌区网站及部分灌区管理局。将同一省区内的各灌区的已知参数按照灌区有效灌溉面积进行加权,得到省区尺度上的参数值,再进行省区灌溉水分生产率的计算和分析。

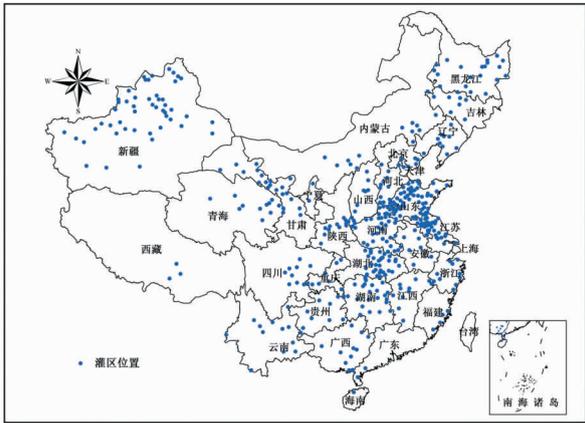


图1 所选灌区分布图

Fig. 1 Distribution map of 443 large irrigated districts

2 结果与分析

2.1 全国灌区灌溉水分生产率

代表年各灌溉水分生产率的全国平均值由各省区值按照各省区灌溉面积进行加权得到,结果见图2。

毛灌溉水分生产率 P_g 、渠系灌溉水生产率 P_c 及净灌溉水分生产率 P_n 的代表年平均值为 1.361 、 2.532 及 2.989 kg/m^3 。如图2所示,我国灌区各灌溉水分生产效率指标均随时间呈现增大的趋势,说明灌区单位灌溉水资源投入的粮食产出正在提高。三者增加幅度稍有差异,2010年 P_g 值在1998年的基础上增长了49.8%,而 P_n 和 P_c 分别增长了28.0%和28.2%。且两个时间段内, P_g 的变化幅度均大于 P_c 和 P_n ,说明灌溉工程改善程度大于作

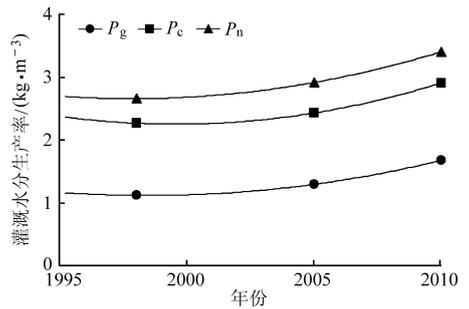


图2 全国灌溉水分生产率及变化

Fig. 2 China's irrigation water productivity in typical years

物产量的提高和田间灌水技术的进步。由于作物需水及田间净灌水量的年际变化幅度不大, P_n 的提高与粮食单产水平的稳步增长关系密切。同时,各时段 P_c 和 P_n 的变化幅度基本一致。

2.2 省区灌溉水分生产率时间变化

图3给出了各省区3种灌溉水分生产率指标在代表年的值,以比较年际间、省区间各指标的变化情况。结果显示,各省区的 P_g 、 P_c 及 P_n 在年际间均较好地表现出逐年增长的规律,说明中国省区尺度上灌区灌溉水分生产率基本上呈现全面上升的趋势。多数省区的3个指标在2005—2010年区间的增加幅度大于1998—2005年,说明近年灌区建设的效果更加明显。 P_c 和 P_n 受田间有效降水量的影响较大,枯水年份田间灌水量会增多,丰水年则会相应减少。故 P_c 和 P_n 在个别省区有回落的现象,如辽宁、江苏、重庆及江西4省市2005年的 P_c 稍小于1998年,而北京、天津、广东、广西和安徽的 P_n 也存在小幅降低的记录。

为了比较3个指标变化程度的省区间差异,计算了各省区灌溉水分生产率在1998—2010年区间的年均变化率,结果列于表1(按 P_g 年均变化率的大小排列)。

从表1可以看出,省区间灌溉水分生产率变化速率差异较大,湖北的 P_g 年均增长量达8.0%,而安徽不足1.0%; P_c 的变化率位于0.2%~5.8%之间;上海的 P_n 以年均9.8%的速率增加,青海省则没有显著变化。总体观察,各个省区3个灌溉水分生产率指标的变化速率在全国所处位置较统一,即 P_g 增长较快省区的 P_c 和 P_n 也增长较快,反之则均增速较低。具体来说,湖北的 P_g 增速全国最大, P_c 及 P_n 处于中间水平,这与粮食单产增长的同时渠系水利用系数增长较大导致毛灌水量需求急速降低有关;由于经济发展程度较高,对农业生产技术和田间管理的投入较大,北京、上海、重庆等直辖市的灌溉水分生产率增长较快。一部分北方的粮食主产区的灌溉水分生产率的变化也较快,如陕西、内蒙古、吉林及

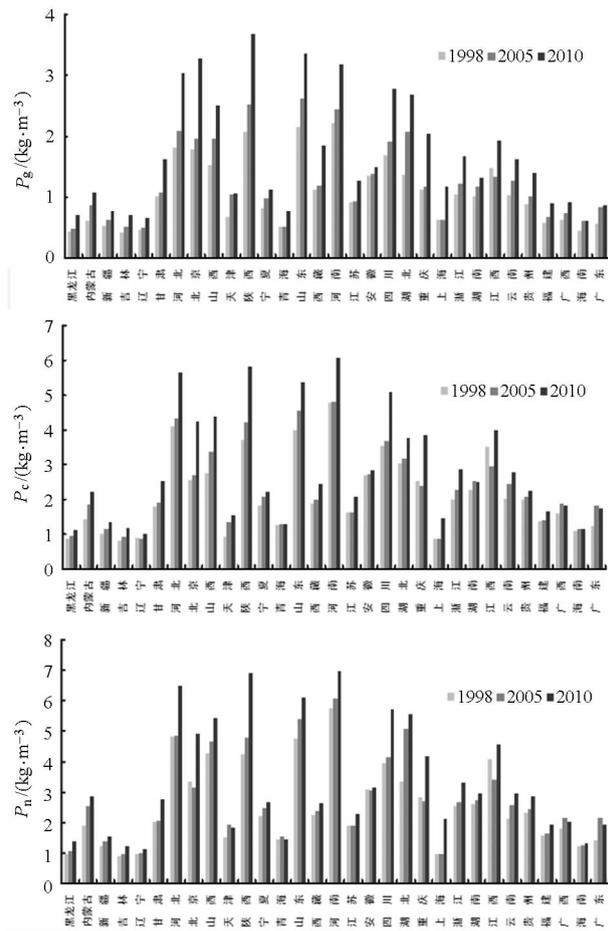


图 3 代表年各省区的灌溉水分生产率

Fig. 3 Provincial value of each index in typical years

河北,这可能一方面由于北方地区的水资源问题日益严峻使得灌溉水的利用得到控制,另一方面与近年粮食生产格局的调整使得北方地区的粮食生产任务增大、粮食单产水平提高有关。湖南、江西、安徽等南方粮食主产省区的各灌溉水分生产率指标的增幅均不明显,这可能主要由这些中部省份的经济发展滞后、对灌溉工程及田间管理措施的投入相对薄弱决定,也可能由于这些省份都是水资源较丰富的地区,由于水资源丰富而忽略了对节水高效灌溉技术发展的重视。

表 1 各省区 1998—2010 年灌溉水分生产率的年均变化率

Tab. 1 Provincial annual average change rate of each index in 1998—2010 %

区域	P_g	P_c	P_n	区域	P_g	P_c	P_n
湖北	8.0	2.0	5.4	云南	4.7	3.1	3.3
上海	7.0	5.5	9.8	山东	4.6	2.9	2.4
北京	7.0	5.5	3.9	天津	4.5	5.8	1.6
重庆	6.9	4.4	4.0	福建	4.5	1.7	1.8
陕西	6.4	4.7	5.2	青海	4.0	0.3	0.0
内蒙古	6.2	4.6	4.2	新疆	3.7	2.6	2.4
吉林	5.9	3.6	3.3	河南	3.6	2.2	1.8
河北	5.5	3.2	2.9	广西	3.6	1.2	1.0
山西	5.4	4.8	2.2	江苏	3.3	2.2	1.7
四川	5.4	3.6	3.6	辽宁	3.2	1.2	1.5
西藏	5.3	2.6	1.5	海南	2.9	0.2	0.5
黑龙江	5.0	2.5	3.4	宁夏	2.8	1.8	1.8
浙江	5.0	3.6	2.5	湖南	2.7	0.8	1.1
甘肃	4.9	3.3	3.2	江西	2.6	1.1	1.0
贵州	4.9	1.2	2.0	安徽	0.9	0.5	0.1
广东	4.8	3.6	3.1	全国	4.1	2.4	2.3

2.3 各灌溉水分生产率指标的空间格局

从图 2 可知, P_g 、 P_c 及 P_n 3 个代表年的省区间大小关系基本一致,故计算省区尺度上各指标的 1998 年、2005 年及 2010 年的平均值,用来代表各省区灌溉水分生产率的多年平均情况,以分析各指标的空间分布特征,详见图 4。3 个指标在空间上的分布格局基本相同,同时这种格局表现为相似值在空间上呈聚集分布。灌溉水分生产率与区域的气候条件、水资源禀赋、农作物种类等自然因素关系密切,同时也受种植结构、粮食种类、农业生产与管理方式、农田水利设施及社会经济发展程度的影响,而这些要素在中国都表现出区域或流域的相似性^[20],导致了灌溉水分生产率相近的省区在空间上聚集分布。

3 个灌溉水分生产率指标最大的省区均集中分布于黄河中下游地区,其中山东、河南、河北 3 省的 P_g 分别为 2.712、2.607 及 2.318 kg/m^3 , P_c 分别为 4.648、5.209 及 4.700 kg/m^3 , P_n 分别为 6.253、

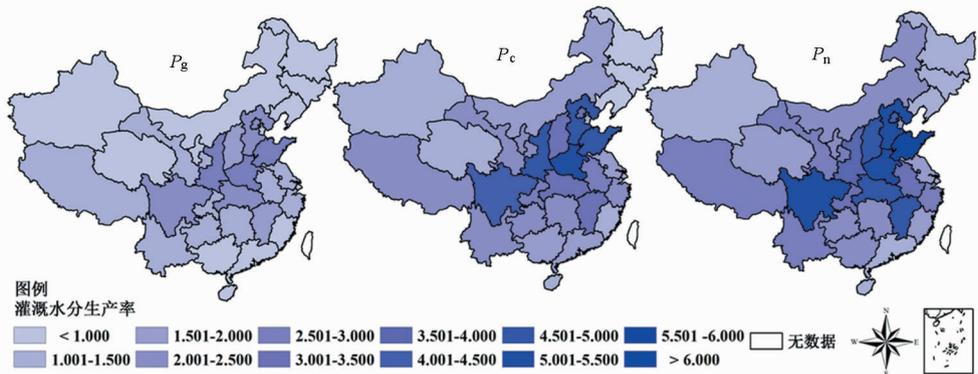


图 4 我国灌溉水分生产率的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of P in China

5.324 和 5.411 kg/m^3 , 各灌溉水分生产率指标均处于全国前列; 位于长江流域的粮食主产区也拥有较高的灌溉水分生产率包括四川省、江西省、湖北省等; 位于华南、东北, 以及东南和西北的部分省区的 P_g 、 P_c 及 P_n 均较小, 海南、广东、吉林、辽宁等省的 3 个指标在全国均处于靠后位置; P_g 、 P_c 及 P_n 最小的省份为吉林, 分别为 0.545、0.964 及 1.041 kg/m^3 , 仅是山东省的 20.1%、20.7% 及 16.6%。灌溉水分生产率空间分布特征是与我国粮食生产和水资源利用空间格局相符的: 本文的取值样本点主要为大型灌区, 山东省、河南省与河北省的大型灌区主要分布于黄淮海平原的核心地带, 这是中国传统而重要的粮食主产区, 也是水资源短缺极为严峻的地区, 该地区农业生产水平一直较高, 同时相对完备的农田灌溉设施使渠系和田间灌水利用率较高, 加上对降水资源的有效利用, 故引用相对少的灌水量仍能得到较高的粮食产出; 东南、华南沿海以种植高耗水的水稻为主, 虽然降水丰富, 但相对集中, 不能令作物高比率利用, 还需进行相当数量的灌水, 同时, 这里也是中国经济发展最快的地区, 现代工业的发展使得对农业生产的管理相对粗放, 如广东、海南的平均毛

灌水量达 15 000 m^3/hm^2 , 远高于大多数省区, 这些区域灌水量大而灌溉水有效利用率和粮食单产不高, 故各灌溉水粮食生产率指标均较小; 以种植水稻为主的西南和长江中下游地区是中国重要的农业生产区, 水资源丰富、农业生产水平较高, 同时也多属于典型的季节性干旱区, 粮食的相对高产必须以一定的灌溉水的投入为支撑; 地处西北的新疆、青海等省区降水资源有限, 粮食生产需依靠引用大量的灌溉水维持, 加上粮食产量处于全国中间水平, 所以各灌溉水分生产率指标均较低; 逐渐成为我国重要的商品粮输出区的东北各省, 以种植玉米及高耗水的水稻、大豆为主, 各主要灌区的毛灌水量在 10 500 ~ 15 000 m^3/hm^2 之间, 但由于复种指数低, 单位耕地面积上的粮食产出受到限制, 所以该地区各灌溉水分生产率指标处于较低水平。

2.4 不同指标间相关性分析

前文分析发现, P_g 、 P_c 和 P_n 在时间和空间变异上均表现较好的一致性。为了分析 3 个灌溉水分生产率指标之间的关系, 以省区为样本点, 分别对 3 个代表年内的两两之间进行了线性相关性分析, 各拟合结果列于图 5 (图中 $n = 31, p = 0.05$)。

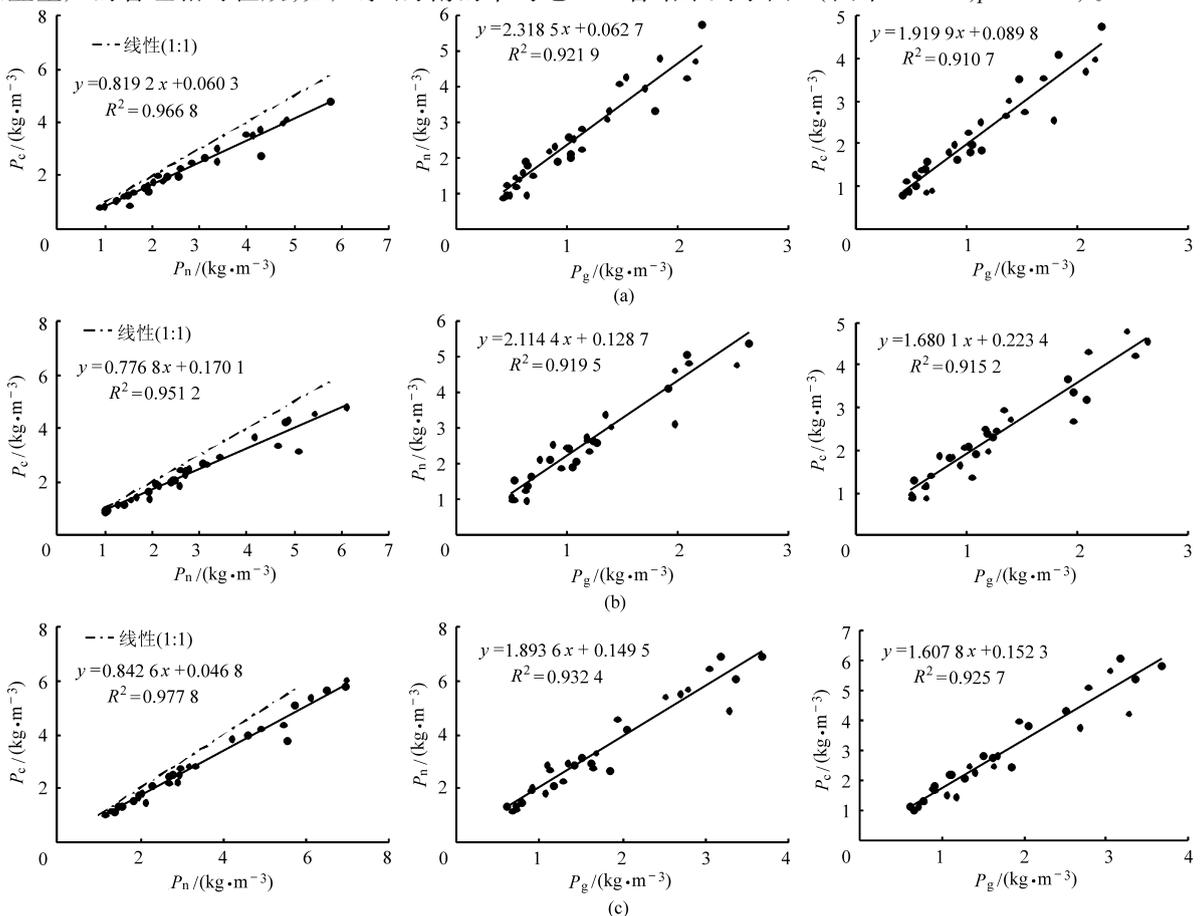


图5 灌溉水分生产率指标之间的相关分析

Fig.5 Scatter graphs among P_g , P_c and P_n

(a) 1998年 (b) 2005年 (c) 2010年

图5表明,各个年份 P_g 、 P_c 和 P_n 两两之间均呈现较好的线性相关关系,决定系数均达到0.90以上,均通过了 $p=0.05$ 时的显著性检验,说明按照不同的灌溉水分生产率指标来评价各省区的灌溉管理水平,其结果在全国所处的排序位置大致相同。 P_c 和 P_n 的相关性更好,3个代表年的 R^2 都超过0.95,同时,拟合直线均较接近第1象限的角平分线(即1:1线性),说明田间灌溉水分生产率的省区差异主要受自然条件、粮食品种及作物耗水特性影响。灌溉水分生产率是农业水资源利用效率评价的重要参数之一,但由于数据的限制,当前系统性地对该参数进行计算和分析的难度较大;同时,当灌溉水分生产率联合其他参数进行区域农业用水效率综合评价时,选择合理的、具有代表性的灌溉水分生产率指标至关重要。由图5可知,3个指标在省区间的地位基本一致,说明在进行灌溉水分生产率参数的空间相对地位比较或需要选取并计算灌溉水分生产率指标时,可根据研究的实际情况和数据获取的方便程度,选择容易获取的指标进行计算和分析。

3 结论

(1)针对区域粮食生产,分别将毛灌水量、渠系

输送田间的灌水量和净灌水量为水分投入,构建了 P_g 、 P_c 及 P_n 3个表征区域灌溉水分生产率指标,分析了1998—2010年中国灌溉水分生产率的时空变化状况。13年来,全国灌溉农田的 P_g 、 P_c 及 P_n 均呈上升趋势,3个指标的多年平均值分别为1.361、2.532及2.989 kg/m³。3个指标在各省区基本上均随时间增长,但经济发展较快的直辖市和近年产量任务加大的北方粮食主产区增长速率较大,除湖北省外长江流域的粮食主产区增幅不明显。

(2) P_g 、 P_c 及 P_n 的空间分布规律有很大的相似性。因灌溉水分生产率与灌区所在省区的气候条件、水资源、作物种类、农业生产及管理等因素有关,3个指标在空间上呈相似显著聚集现象,主要表现为高值省区分布于黄淮海平原及其周边区域,低值省区则主要为华南、东北各省及东南和西北的部分省区。

(3)不同年份 P_g 、 P_c 及 P_n 两两之间均呈现显著的线性相关关系,决定系数均大于0.90,说明3个指标均可基本表征省区灌溉水分生产率在全国所处的位置。在进行灌溉水分生产率空间差异的分析时,可根据数据的易获得性计算任一指标而不必考虑所有指标。

参 考 文 献

- 高占义,王浩.中国粮食安全与灌溉发展对策研究[J].水利学报,2008,39(11):1273-1278.
Gao Zhanyi, Wang Hao. Strategy of grain security and irrigation development in China[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(11): 1273-1278. (in Chinese)
- 彭致功,刘钰,许迪,等.农业节水措施对地下水涵养的作用及其敏感性分析[J].农业机械学报,2012,43(7):37-41.
Peng Zhigong, Liu Yu, Xu Di, et al. Effect of agricultural water-saving measures on the quantity of groundwater extraction and recharge and its sensitivity[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(7): 37-41. (in Chinese)
- Jensen M E. Beyond irrigation efficiency[J]. Irrigation Science, 2007, 25(3): 233-245.
- 陈皓锐,黄介生,伍靖伟,等.灌溉用水效率尺度效应研究评述[J].水科学进展,2011,22(6):872-880.
Chen Haorui, Huang Jiasheng, Wu Jingwei, et al. Review of scale effect on the irrigation water use efficiency [J]. Advances in Water Science, 2011, 22(6): 872-880. (in Chinese)
- 吴鑫淼,王晶,鄢志红.基于多年降雨资料的作物灌溉制度多目标优化[J].农业机械学报,2013,44(4):108-112.
Wu Xinmiao, Wang Jing, Qie Zhihong. Multi-objective optimization of crop irrigation schedule based on years of rainfall data[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(4): 108-112. (in Chinese)
- Malano H, Burton M, Makin I. Benchmarking performance in the irrigation and drainage sector: a tool for change[J]. Irrigation and Drainage, 2004, 53: 119-133.
- Seckler D. Revisiting the "IWMI Paradigm": increasing the efficiency and productivity of water use[R]. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 1999.
- 刘鹤,赵文智.农业水生产力研究进展[J].地球科学进展,2007,22(1):58-65.
Liu Hu, Zhao Wenzhi. Advances in researches of agriculture water productivity[J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(1): 58-65. (in Chinese)
- 崔远来,熊佳.灌溉水利用效率指标研究进展[J].水科学进展,2009,20(4):590-598.
Cui Yuanlai, Xiong Jia. Advances in assessment indicators of irrigation water use efficiency[J]. Advances in Water Science, 2009, 20(4): 590-598. (in Chinese)
- 沈荣开,杨路华,王康.关于以水分生产率作为节水灌溉指标的认识[J].中国农村水利水电,2001(5):9-11
Shen Rongkai, Yang Luhua, Wang Kang. Recognition of taking water productivity as index of water saving irrigation[J]. China Rural Water and Hydropower, 2001(5): 9-11. (in Chinese)

- 11 Droogers P, Bastiaansen W. Irrigation performance using hydrological and remote sensing modeling[J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2002, 128(1):11–18.
- 12 谢先红,崔远来. 灌溉水利用效率随尺度变化规律分布式模拟[J]. *水科学进展*, 2010, 21(5):681–688.
Xie Xianhong, Cui Yuanlai. Distributed hydrological modeling of irrigation water use efficiency at different spatial scales [J] *Advances in Water Science*, 2010, 21(5): 681–688. (in Chinese)
- 13 Huang F, Li B G. Assessing grain crop water productivity of China using a hydro-model-coupled-statistics approach. Part II: application in breadbasket basins of China[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(9): 1259–1268.
- 14 Zardari N H, Cordery I. Water productivity in a rigid irrigation delivery system [J]. *Water Resources Management*, 2009, 23(6): 1025–1040.
- 15 杨迎, 伍靖伟, 杨金忠. 海河流域冬小麦水分生产率特征分析[J]. *灌溉排水学报*, 2011, 30(3):6–11.
Yang Ying, Wu Jingwei, Yang Jinzhong. Characteristics of water use efficiency of winter wheat on Haihe basin [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2011, 30(3): 6–11. (in Chinese)
- 16 操信春, 吴普特, 王玉宝, 等. 中国灌溉水粮食生产率及其时空变异[J]. *排灌机械工程学报*, 2012, 30(3): 356–361.
Cao Xinchun, Wu Pute, Wang Yubao, et al. Spatial and temporal variation of crop water productivity in China [J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2012, 30(3): 356–361. (in Chinese)
- 17 雷波, 刘钰, 许迪, 等. 农业水资源利用效用评价研究进展[J]. *水科学进展*, 2009, 20(5):732–738.
Lei Bo, Liu Yu, Xu Di, et al. Advances in evaluation study on utility of agriculture water utilization [J]. *Advances in Water Science*, 2009, 20(5): 732–738. (in Chinese)
- 18 李远华, 赵金河, 张思菊, 等. 水分生产率计算方法及其应用[J]. *中国水利*, 2001(8):65–66.
Li Yuanhua, Zhao Jinhe, Zhang Siju, et al. Calculation method & application of moisture productivity [J]. *China Water Resources*, 2001(8): 65–66. (in Chinese)
- 19 郑捷, 李光永, 韩振中. 中美主要农作物灌溉水分生产率分析[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(11):46–50.
Zheng Jie, Li Guangyong, Han Zhenzhong. Sino-US irrigation water use efficiencies of main crops [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(11): 46–50. (in Chinese)
- 20 操信春, 吴普特, 王玉宝, 等. 中国灌区水分生产率及其时空差异分析[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(13):1–7.
Cao Xinchun, Wu Pute, Wang Yubao, et al. Analysis on temporal and spatial differences of water productivity in irrigation districts in China [J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(13): 1–7. (in Chinese)

Spatial and Temporal Variation of Three Irrigation Water Productivity Indexes in China

Cao Xinchun^{1,2} Wu Pute^{1,2} Wang Yubao^{1,2} Zhao Xining² Wang Zikui¹ Tian Lei²

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. Institute of Water Saving Agriculture in Arid Regions of China, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Three indexes, gross irrigation water productivity (P_g), canal irrigation water productivity (P_c), and net irrigation water productivity (P_n), were built. The data from 443 major irrigation areas throughout China were collected in 1998, 2005 and 2010, and the spatial and temporal variation of irrigation water production and the relationship between the indexes were analyzed. The results showed that the national average value of the three indexes were 1.361, 2.532 and 2.989 kg/m³. and the indexes in each province showed a trend of increasing with time. The municipalities directly under the central government increased large while grain producing areas in Yangtze River Basin were small. The irrigation water productivity indexes in representative years aggregated obviously in the area of Huang-Huai-Hai plain as a high value area while the low value areas were in south, northwest and northeast of China. There were significant linear correlations among P_g , P_c and P_n , respectively. The determination coefficients were greater than 0.90. Any index can be used as the representative of regional irrigation water productivity in the country.

Key words: Index Water productivity Irrigation water Spatial and temporal variation