

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2018.0110

姜秋香, 巩书鑫, 仇志强, 等. 粮食增产期黑龙江省农业水土资源时空匹配格局研究[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(4): 160-168. JIANG Q X, GONG S X, QIU Z Q, et al. Analysis of spatio-temporal matching of agricultural water and land resources in Heilongjiang Province during the grain production growth period[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(4): 160-168. (in Chinese)

粮食增产期黑龙江省农业水土资源 时空匹配格局研究

姜秋香¹, 巩书鑫², 仇志强³, 王子龙¹, 付强¹, 黄若琳¹

(1. 东北农业大学 水利与土木工程学院, 哈尔滨 150030; 2. 北京师范大学 水科学研究院, 北京 100875;
3. 东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 黑龙江省粮食总产量十二连增的同时, 也给农业水土资源带来了诸多问题。为了客观地评价黑龙江省农业水土资源时空匹配情况, 根据黑龙江省粮食增产期(2003-2015年)的水土资源利用状况, 采用基尼系数和农业水土资源匹配系数分析了黑龙江省农业水土资源时空匹配变化情况。结果表明:(1)粮食增产期黑龙江省农业水土资源空间匹配差异较大, 基尼系数在0.4475~0.4907之间, 属于匹配较差范围; 农业水土资源匹配系数均低于全国水平, 且在时间上表现为匹配程度持续降低的态势。(2)空间差异上, 黑龙江省中西部干旱区水土资源匹配程度较低, 不宜继续开垦; 三江平原地区粮食种植面积大, 建议发展节水灌溉; 北部和东南部地区水资源相对丰富, 宜涵养水源, 以实现可持续发展。

关键词: 水土资源配置; 基尼系数; 黑龙江

中图分类号: TV213.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2018)04-0160-09

Analysis of spatio-temporal matching of agricultural water and land resources in Heilongjiang Province during the grain production growth period

JIANG Qiuxiang¹, GONG Shuxin², QIU Zhiqiang³, WANG Zilong¹, FU Qiang¹, HUANG Ruolin¹

(1. College of Water Conservancy and Architecture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

2. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. College of Resource and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: While the total grain output in Heilongjiang Province increased for 12 consecutive years, there arise many problems in agricultural water and land resources. In order to objectively evaluate the spatio-temporal matching of agricultural water and land resources in Heilongjiang Province, based on the utilization situation of water and land resources in Heilongjiang Province in the grain production growth period (2003-2015), we analyzed the relationship between agricultural water and land resources in Heilongjiang Province by using the Gini coefficient and the matching coefficient of agricultural water and land resources. The results showed as follows: (1) The spatial matching of agricultural water and land resources in Heilongjiang Province during the grain production growth period varied greatly, with the Gini coefficient ranging from 0.4475 to 0.4907, falling in the poor matc

收稿日期: 2017-10-16 修回日期: 2018-01-09 网络出版时间: 2018-03-09

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20180309.1545.014.html>

基金项目: 国家自然科学基金(51679040); 黑龙江省自然科学基金(面上项目)(E2016004); 黑龙江省普通本科高等学校青年创新人才培养计划(U NPYSC-T-2017022); 黑龙江省博士后科研启动基金(LBH-Q17022)

Funds: National Natural Science Foundation of China (51679040); Natural Science Foundation of Heilongjiang Province of China (E2016004); Cultivation Program for Young Creative Scholars in Colleges and Universities of Heilongjiang Province of China (UNPY-SCT-2017022); Postdoctoral Scientific Research Starting Fund of Heilongjiang Province of China (LBH-Q17022)

作者简介: 姜秋香(1982-), 女, 黑龙江佳木斯人, 副教授, 博士, 主要从事水土资源高效利用和管理研究。E-mail: jiangqiuxiang2017@163.com

通讯作者: 王子龙(1982-), 男, 山东胶州人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事寒区水土资源高效利用研究。E-mail: wangzilong2017@126.com

hing range. The matching coefficients of agricultural water and land resources were lower than the national average, and were declining continuously over time. (2) In terms of spatial differences, the central and western parts of Heilongjiang Province had a relatively low matching degree of water and land resources and should not be further reclaimed. The Sanjiang Plain has a large grain planting area, and we suggest developing water saving irrigation there. The water resources in the northern and southeastern regions are relatively abundant, and should be conserved for sustainable development.

Key words: allocation of water and land resources; Gini coefficient; Heilongjiang Province

农业水土资源即农业生产利用的水资源和耕地资源,是农业生产的基础条件,对于保障粮食安全意义重大。农业水土资源的时空匹配程度直接影响着区域农业的可持续发展与资源的可持续利用^[1]。水资源的数量和利用情况直接影响耕地资源的生产能力,而耕地资源的开垦程度也制约着水资源的开发利用^[2,4]。分析农业水土资源的时空匹配程度,对于合理开发利用水资源和耕地资源具有科学指导意义,同时也是区域水土资源空间优化配置的前提与基础^[5,7]。

黑龙江省是我国重要的产粮大省,也是粮食生产发展潜力最大的地区之一^[8],其粮食生产的可持续发展不仅关系到东北地区经济振兴,而且对全国粮食安全具有一定的支撑作用^[9]。据统计,2015年黑龙江省粮食总产量达6 324万t,不仅实现了粮食产量十二年连增,同时也巩固了粮食产量居全国首位和商品粮基地的地位^[10]。然而,近年来由于人口的持续增长以及为粮食增产所进行的资源过度开发,导致黑龙江省出现了农业用水保证率降低、作物灌溉用水量持续增加、可耕地面积减少、土壤肥力严重退化、耕地资源生产力下降和后备资源开发潜力不足等问题^[11-14]。诸多农业水土资源问题的存在,不仅使2016年黑龙江省粮食产量止步于十二连增,制约了区域经济持续发展,同时也影响东北地区的经济振兴,威胁到我国的粮食安全。以往的研究中,学者多采用基尼系数、水土资源匹配系数、水土资源指数等方法对区域水土资源匹配情况进行研究,基尼系数能够反映农业水土资源的整体匹配情况但会忽略区域内的个体差异,水土资源匹配系数与水土资源指数能够反映各子区域水土匹配的差异情况但缺少对区域整体匹配情况的描述^[3,15-16]。鉴于此,本研究通过分析粮食增产期(2003-2015年)黑龙江省农业水土资源现状,采用基尼系数和水土资源匹配系数分析农业水土资源匹配程度及时空变化特征,以期提高区域农业水土资源利用率,协调水土资源-生态环境-社会经济之间的关系,保障农业水土资源的可持续发展。

1 研究方法

1.1 基尼系数

1.1.1 理论基础

1905年美国统计学家洛伦兹提出洛伦兹曲线,该曲线把国家总人口按收入由低到高排序,按排序分别计算人口累计百分比和收入累计百分比,绘制二者对应关系曲线,该曲线即为洛伦兹曲线,其弯曲程度反映收入分配的不均衡程度^[17](见图1)。

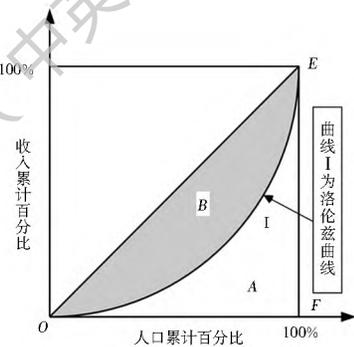


图1 洛伦兹曲线

Fig. 1 Lorentz curve

为将一个国家的贫富差距标准定量化,1922年意大利经济学家基尼在洛伦兹曲线基础上提出了基尼系数 G ,计算公式如下^[18]:

$$G = \frac{S_B}{S_A + S_B} \quad (1)$$

式中: S_B 为洛伦兹曲线I与绝对平均线OE所包围区域B的面积; S_A 为I与绝对不平均线OFE所包围区域A的面积; G 为基尼系数,范围为[0, 1], G 值越大表示收入分配越不平均。联合国有关组织将基尼系数划分为5个级别,用于定量评价财产、资本、资源、产品和市场等资源分配的均衡程度(见表1)^[19,20]。

表1 基尼系数分级标准

G	$G < 0.2$	$0.2 \leq G < 0.3$	$0.3 \leq G < 0.4$	$0.4 \leq G < 0.5$	$G \geq 0.5$
级别	绝对平均	比较平均	相对合理	差距过大	高度不平均

目前,基尼系数作为衡量两要素分配均衡和匹

配程度的量化指标,已被广泛应用于国民经济^[21]、环境评价^[22-24]、资源分配和利用^[25-26]等领域。

1.1.2 水土资源匹配基尼系数计算步骤

步骤1:确定匹配原象和对象。本研究将黑龙江省按行政区域划分为13个子区域,选取多年平均水资源量作为匹配原象,耕地面积作为匹配对象。

步骤2:匹配水平分级指标值的计算和排序。匹配分级指标值是指匹配对象与匹配原象的比值。因此,本文在计算单位水资源所服务的耕地面积的基础上,按照匹配分级指标值由低到高的顺序对各子区域进行排序。

步骤3:计算匹配原象和对象的累计百分比。计算各子区域匹配要素占黑龙江省对应要素的比例,并依据步骤2的排序分别计算匹配要素累计百分比。

步骤4:绘制洛仑兹曲线。定义x轴为匹配原象(水资源总量)的累计百分比,y轴为匹配对象(耕地面积)的累计百分比,绘制相应的洛仑兹曲线。

步骤5:计算基尼系数。基尼系数有多种计算方法,包括梯形面积法、拟合曲线法和协方差公式法等方法^[27-28]。本研究选取梯形面积和拟合曲线两种方法,为减小误差,取二者平均值作为最终结果,并将计算结果与基尼系数分级标准进行对比,确定水土资源匹配的程度。

梯形面积法计算公式为^[29]:

$$G_{\text{梯形}} = 1 - \sum_{i=1}^n (X_i - X_{i-1})(Y_i + Y_{i-1}) / 100 \quad (2)$$

式中: $G_{\text{梯形}}$ 为梯形面积法所求基尼系数值; X_i 和 X_{i-1} 分别为第*i*和*i-1*($i=1, 2, \dots, n$)个子区域的水资源量累计百分比(%); Y_i 和 Y_{i-1} 分别为第*i*和*i-1*个子区域耕地面积累计百分比(%); n 为子区域个数,本研究 $n=13$ 。

拟合曲线法运用MATLAB中Curve Fitting Tool工具箱进行曲线拟合,将拟合所得方程求[0,1]上的定积分,进而求得拟合曲线法计算的基尼系数 $G_{\text{拟合}}$ ^[30]。

1.2 农业水土资源匹配系数

农业水土资源匹配系数法通过计算单位面积耕地所拥有的农业可利用水资源量,进而评价区域农业水土资源匹配水平,其值越大,则区域水资源满足耕地资源的程度就越高,农业用水基本条件就越好^[31-32]。水资源总量是由汛期洪水下泄量和不具备开发利用价值的地下水、河道与地下水系统最小需水量以及可供人类活动消耗的水资源可利用量三部分构成。为使研究结果更具可靠性,本文采用水资

源可利用量作为水资源量的表征。水土资源匹配系数计算公式为:

$$MF_i = W_i \cdot \alpha / F_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中: MF_i 为第*i*子区域水土资源匹配系数(万 m^3/hm^2); W_i 为第*i*子区域水资源可利用量(万 m^3); α 为第*i*子区域农业用水比例; F_i 为第*i*子区域耕地面积(hm^2)。

黑龙江省农业水土资源匹配系数 MF 表征各子区域水土资源匹配系数的平均水平,其计算公式为:

$$MF = \sum_{i=1}^n W_i \cdot \alpha / \sum_{i=1}^n F_i \quad (4)$$

式中: MF 为黑龙江省水土资源匹配系数(万 m^3/hm^2); α 为黑龙江省农业用水比例。

1.3 数据来源

本文涉及的耕地面积、水资源总量、农业用水比例、粮食产量来源于《中国统计年鉴》^[33]、《中国水利统计年鉴》^[34]、《黑龙江统计年鉴》^[35]以及《黑龙江省水资源公报》^[36]。

2 结果与分析

2.1 水土资源匹配基尼系数时间演变规律分析

区域差异测度研究方法包括基尼系数、赛尔指数、变异系数和艾肯森指数等,现有研究表明,不同方法对较长时间序列不平衡性变动的描述是比较一致的,但对短时间序列的分析存在不同、甚至是相反的结果^[38-39]。因此,采用基尼系数从短时间序列剖析区域差异变化趋势,易存在方法不同导致的分析结果存在差异性。鉴于此,本研究在粮食增产期的基础上,选取黑龙江省经济发展关键时期的1980年、1985年、1990年、1995年、2000-2002年,对研究时段进行延展,探究区域水土资源匹配的时间演变规律。依据选取的序列年黑龙江省各地级市(区)耕地面积和多年平均水资源量^[35-36],计算黑龙江省水土资源匹配基尼系数 G (见表2),并绘制基尼系数年变化曲线(见图2)。

由表2可知,梯形公式法和拟合曲线法计算的基尼系数基本稳定在一个较小的变化范围内,表明本文的计算结果可信度高。在研究时段内,黑龙江省水土资源匹配基尼系数从0.5356下降到0.4475,表明水资源与耕地资源的匹配程度由高度不平均降低到差距过大的水平,农业水土资源匹配的均衡程度有明显提高,但总体仍处于较不均衡的范围。由图2可知,基尼系数在研究时段内存在明显的分割节点,1980-2001年黑龙江省水土资源匹

表2 黑龙江省水土资源匹配基尼系数

Tab.2 The Gini coefficient of water and land resources matching in Heilongjiang Province

年份	梯形公式法		拟合曲线法		稳定范围	G
	$G_{\text{梯形}}$	拟合曲线	决定系数 R^2	$G_{\text{拟合}}$		
1980	0.5323	$4.132 \cdot \exp(-((x-2.201)/0.932)^2)$	0.996	0.5388	0.5323~0.5388	0.5356
1985	0.5301	$5.364 \cdot \exp(-((x-1.739)/0.601)^2)$	0.996	0.5314	0.5301~0.5314	0.5308
1990	0.5263	$5.98 \cdot \exp(-((x-2.14)/0.8481)^2)$	0.996	0.5242	0.5242~0.5263	0.5253
1995	0.5281	$5.98 \cdot \exp(-((x-2.14)/0.8481)^2)$	0.997	0.5226	0.5226~0.5281	0.5254
2000	0.5156	$3.994 \cdot \exp(-((x-1.869)/0.732)^2)$	0.997	0.5188	0.5156~0.5188	0.5172
2001	0.5134	$4.365 \cdot \exp(-((x-1.969)/0.7854)^2)$	0.997	0.5100	0.5100~0.5134	0.5117
2002	0.4986	$3.569 \cdot \exp(-((x-1.832)/0.736)^2)$	0.997	0.4904	0.4904~0.4986	0.4945
2003	0.4934	$5.98 \cdot \exp(-((x-2.14)/0.8481)^2)$	0.998	0.4880	0.4880~0.4934	0.4907
2004	0.4875	$4.182 \cdot \exp(-((x-1.951)/0.7901)^2)$	0.998	0.4832	0.4832~0.4875	0.4853
2005	0.4861	$3.632 \cdot \exp(-((x-1.886)/0.7725)^2)$	0.998	0.4839	0.4839~0.4861	0.4850
2006	0.4906	$4.176 \cdot \exp(-((x-1.938)/0.7797)^2)$	0.998	0.4896	0.4896~0.4906	0.4901
2007	0.4845	$4.805 \cdot \exp(-((x-2.021)/0.8113)^2)$	0.999	0.4840	0.4840~0.4845	0.4843
2008	0.4873	$4.386 \cdot \exp(-((x-1.967)/0.7914)^2)$	0.999	0.4860	0.4860~0.4873	0.4867
2009	0.4753	$4.435 \cdot \exp(-((x-1.997)/0.8128)^2)$	0.998	0.4742	0.4742~0.4753	0.4748
2010	0.4734	$3.904 \cdot \exp(-((x-1.931)/0.793)^2)$	0.998	0.4713	0.4718~0.4734	0.4726
2011	0.4706	$3.906 \cdot \exp(-((x-1.935)/0.7962)^2)$	0.998	0.4698	0.4698~0.4706	0.4702
2012	0.4669	$3.316 \cdot \exp(-((x-1.849)/0.7694)^2)$	0.998	0.4666	0.4666~0.4669	0.4667
2013	0.4705	$3.756 \cdot \exp(-((x-1.91)/0.7868)^2)$	0.998	0.4694	0.4694~0.4705	0.4700
2014	0.4583	$3.397 \cdot \exp(-((x-1.87)/0.7831)^2)$	0.998	0.4558	0.4558~0.4583	0.4570
2015	0.4492	$5.625 \cdot \exp(-((x-1.403)/0.389)^2)$	0.996	0.4458	0.4458~0.4492	0.4475

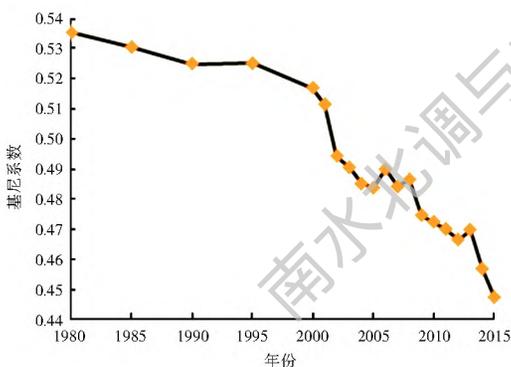


图2 黑龙江省水土资源匹配基尼系数时间变化趋势

Fig.2 The temporal variation trend of the Gini coefficient of water and land resources matching in Heilongjiang Province

配基尼系数均大于0.5,属于高度不平均水平,此时黑龙江省粮食生产布局不够合理,灌溉模式粗放,资源利用缺少政策性指导,导致了水土匹配程度不高。2000年5月,黑龙江省政府发布《关于黑龙江省农业和农村经济结构战略性调整的意见》^[39],要求进行新一轮农业战略性调整,提出优化粮食生产布局、改进粮食种植结构,提高农产品品质和“农牧主辅换位”的目标。经过人为优化耕地面积与种植区域,使得农业水土匹配情况得到改善。2002-2015年期间,农业水土资源匹配基尼系数由0.4945下降到

0.4475,下降9.5%,农业改革成效显著。2003-2015年为黑龙江省粮食增产期,该阶段粮食生产布局进一步优化、耕地面积变化小、粮食产量不断增加,此时区域水土资源匹配基尼系数不断下降,水土匹配程度呈现整体上升的趋势,水土资源的匹配和利用得到优化。

2.2 农业水土资源匹配系数时空演变规律分析

基尼系数衡量的是由于区域水土资源分配不均衡所致的区域整体不均衡程度,不能反映区域内水土资源匹配的空间差异。因此本研究采用水土资源匹配系数对黑龙江省13个市(区)的农业水土资源空间匹配差异性进行深入分析。

根据各地区耕地面积、水资源可利用量和农业用水所占比例,计算粮食增产期的不同地区农业水土资源匹配系数(见表3)。

2.2.1 黑龙江省农业水土资源匹配系数时间变化规律

绘制黑龙江省和全国农业水土资源匹配系数及粮食产量时间变化图(见图3)。由图3可知,粮食增产期全国与黑龙江省农业水土匹配系数均呈现下

表 3 粮食增产期各地区农业水土资源匹配系数

Tab. 3 Agricultural water and land resources matching coefficient during the grain production growth period in Heilongjiang Province

万 m³/hm²

行政区	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
哈尔滨	0.57	0.46	0.45	0.43	0.42	0.41	0.33	0.36	0.34	0.34	0.31	0.32	0.31
齐齐哈尔	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.12	0.13	0.13	0.13	0.12	0.13	0.13
鸡西	0.40	0.35	0.34	0.30	0.32	0.28	0.25	0.25	0.25	0.25	0.23	0.23	0.23
鹤岗	0.49	0.41	0.42	0.47	0.49	0.48	0.43	0.43	0.43	0.44	0.41	0.41	0.40
双鸭山	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.26	0.23	0.23	0.23	0.23	0.21	0.22	0.22
大庆	0.17	0.18	0.14	0.14	0.18	0.16	0.14	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13
伊春	3.54	2.84	2.50	2.29	2.23	2.05	1.72	1.79	1.77	1.77	1.65	1.93	1.88
佳木斯	0.32	0.23	0.22	0.19	0.19	0.18	0.15	0.16	0.16	0.17	0.14	0.14	0.14
七台河	0.32	0.21	0.22	0.23	0.23	0.23	0.24	0.25	0.26	0.24	0.22	0.23	0.23
牡丹江	1.26	1.06	1.05	0.96	1.00	0.95	0.80	0.78	0.73	0.75	0.69	0.55	0.54
黑河	0.49	0.44	0.44	0.41	0.41	0.39	0.33	0.33	0.31	0.32	0.29	0.30	0.30
绥化	0.26	0.24	0.23	0.22	0.22	0.22	0.19	0.20	0.19	0.19	0.17	0.18	0.18
大兴安岭	3.12	3.26	2.90	2.15	2.39	2.92	1.18	1.89	2.58	1.23	1.14	1.15	1.14
全省	0.46	0.40	0.38	0.36	0.37	0.36	0.31	0.32	0.32	0.31	0.29	0.29	0.29
全国	0.51	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.47	0.45	0.45	0.47	0.46	0.46	0.45

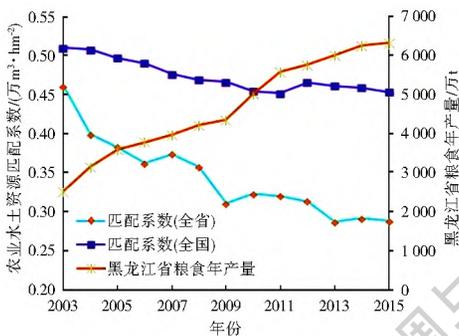


图 3 农业水土资源匹配系数及粮食年产量时间变化

Fig. 3 Variation of agricultural water and land resources matching coefficient and annual grain yield over time

降趋势,且下降阶段特征比较一致,增产前期(2003–2009年)均表现出急剧下降,增产后期(2010–2015年)表现出缓慢下降的特点;但二者农业水土资源匹配系数下降程度有所不同,全国农业水土匹配系数下降幅度为 0.06 万 m³/hm²,而黑龙江省下降了 0.17 万 m³/hm²,接近全国水平的 3 倍。从区域间差距来看,2003 年黑龙江省的农业水土资源匹配系数与全国水平相比仅低 0.05 万 m³/hm²,然而随着粮食产能的提升,二者差距越来越大,粮食增产期结束时已扩大到 0.16 万 m³/hm²。从粮食产量角度来看,黑龙江省粮食产量与水土匹配系数呈反比关系。粮食增产初期,粮食产量增长幅度较大,对应农业水土匹配系数降低幅度较大,后期粮食产量增长幅度降低,并于 2016 年不再增加,此时的农业水土匹配系数变化也相对趋于平稳,说明粮食增产期过后,限制黑

龙江省粮食产量的因素逐渐由种植结构等外因转向水土资源利用问题等内因。经分析知,出现该现象的主要影响因素为耕地面积的增加以及水资源承载力的降低,经过农业种植结构改革,国家在粮食主产区大力发展种植业,土地开垦迅猛,农业用水压力不断增大,与此同时,这一阶段黑龙江省的人口增长、社会发展导致的水资源过载问题逐步显现出来,加重了水资源的使用压力,作为全国最大的商品粮生产基地,耕地与用水矛盾更加突出,导致农业水土资源分配愈发劣于全国水平。

2.2.2 典型年黑龙江省农业水土资源匹配空间特征

黑龙江省各地区水资源和耕地资源空间匹配不均衡,以粮食增产中期 2009 年为例,对农业水土资源空间分配特征展开分析。(1)大兴安岭、伊春和牡丹江地区多年水资源量分别占全省水资源总量的 16.15%、11.40% 和 12.73%,接近全省总量的一半,而其耕地面积仅占全省耕地面积的 1.09%、1.82% 和 4.33%,不足全省的 8%,属于丰水地区。该地区山地林地较多,森林覆盖率高,水源丰富,但耕地面积有限,因此农业水土资源匹配表现为“地少水丰”的特点,可在保证涵养水源的基础上,适度发展耕地,以平衡区域的发展。(2)齐齐哈尔、大庆和绥化地区 2009 年耕地总面积达到 381.53 万 hm²,占全省耕地面积的 40%,而其水资源量仅占全省水资源总量的 16.78%,属于缺水地区。该地区地处

平原,耕地面积广,然而由于人口数量大、产业结构相对单一、农业用水比例大等原因,加之水源地数量不足,导致农业水土资源匹配表现出“地多水少”的态势,而气候上该区域属半干旱地区,多年降水较少,建议加大水利建设的投入,如跨流域调水等,从工程角度缓解水资源短缺。(3)佳木斯、双鸭山、七台河和鸡西地区耕地面积占全省的 25.47%,水资源量占全省的 15.7%,属于比较缺水地区。该地区为三江平原重要粮食产区,耕地面积比例大,土壤肥力充足,农业用水存在轻微过载现象,在不影响粮食产量的前提下,基本能够支撑粮食生产,鉴于该区域粮食战略地位较高,开垦程度同样较高,建议从种植结构入手,增加可行的间作套种等耕种模式,以提高

粮食产量,巩固战略地位。(4)哈尔滨、黑河和鹤岗耕地面积占全省的 28.65%,水资源量占全省的 30.7%,属于水土资源匹配均匀地区。该区域农业产值在全省居中,耕地面积与农业用水相对均衡,水资源量比较充沛,能够支撑农业生产。

2.2.3 各地区农业水土资源匹配系数时空演变规律

选取粮食增产期农业水土资源匹配系数变化显著的 2003 年、2007 年、2011 和 2015 年作为代表年,进行农业水土资源匹配系数时空演变分析。根据不同代表年各地区农业水土资源匹配系数,运用 ArcGIS 的数据空间可视化功能对黑龙江省农业水土资源的时空匹配格局进行分析(见图 4)。

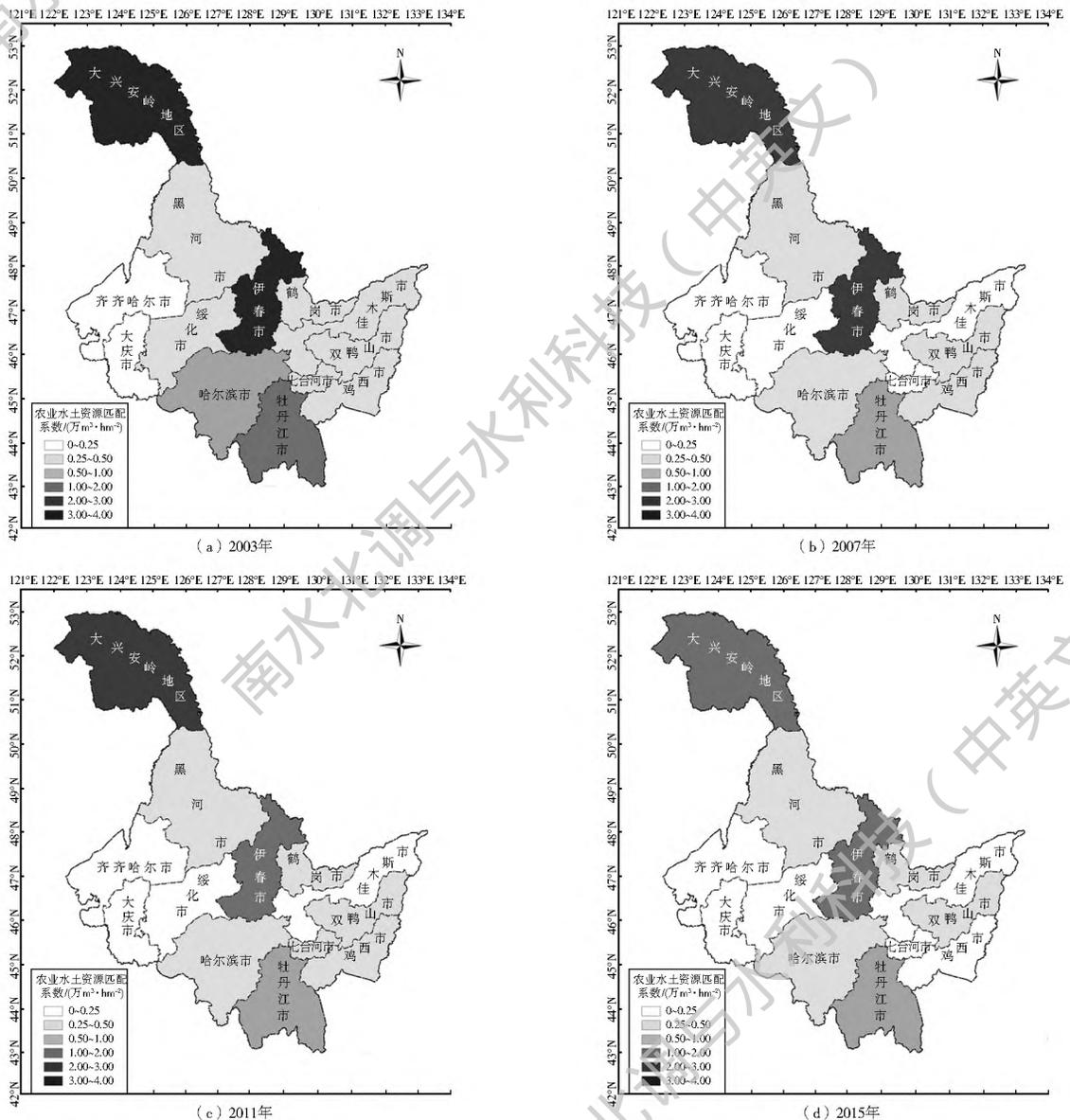


图 4 黑龙江省农业水土资源匹配系数空间分布

Fig. 4 The spatial distribution of agricultural water and land resources matching coefficient in Heilongjiang Province

就各区域而言,大兴安岭、伊春和牡丹江为我国重要林区,耕地面积少,水资源多且存在巨大开发利

用潜力,农业水土资源匹配表现出可利用农业水资源过剩、耕地资源有待发展的特点;哈尔滨和黑河农

业水土资源匹配相对平衡;东北部三江平原地区属全国性重要粮食产区,耕地面积广,水资源不够丰沛,导致农业水土资源匹配不佳,单位面积耕地拥有水量约为 $0.3 \text{万 m}^3/\text{hm}^2$,低于全省平均水平 $0.4 \text{万 m}^3/\text{hm}^2$;中西部地区的大庆、齐齐哈尔和绥化地区农业水土匹配情况差,该地区属于黑龙江省人口和经济发展密集地区,农业水土资源匹配系数范围在 $[0.15, 0.22]$,远远低于全省平均水平。

就演变情况而言,在耕地面积较少的大兴安岭、伊春和牡丹江等地区,粮食增产期水土资源匹配系数减小超过50%,降幅较大,由于自身水资源量丰富,粮食增产期耕地面积的增加有利于水土资源的合理匹配;在三江平原地区,由于耕地面积基数大,在粮食增产期内耕地面积的增加加重了水资源的负担,农业水土资源匹配系数由原来的0.35下降至0.2,农业水土资源矛盾严重;齐齐哈尔、大庆和绥化地区自身的水资源量有限,耕地面积增加缓慢,水土资源匹配系数由0.23降至0.18,其匹配情况一直较差;哈尔滨和黑河地区的农业水土资源匹配系数持续降低,耕地面积大量增加,但由于水资源可利用量大,匹配系数最终平稳在0.32,仍保持在相对合理的水平。总体来看,粮食增产期黑龙江省粮食产量呈上升趋势,与此同时,粮食种植面积保持增长趋势^[33]。因此,黑龙江省粮食主产区耕地资源与水源的矛盾日益突出,单位水资源量服务耕地面积增加、压力增大,阻碍了整体农业水土资源优化趋势。

3 结论

随着农业技术的发展,粮食产量阈值不断提高,影响粮食产量的水土资源矛盾越来越突出。本文提出了基尼系数、农业水土资源匹配系数及ArcGIS数据空间可视化相结合的农业水土资源匹配时空分析框架,对黑龙江省粮食增产期农业水土资源匹配情况展开分析,并据此提出相应的措施建议。

(1) 粮食增产期内黑龙江省水土资源匹配基尼系数在 $[0.4475 \sim 0.4907]$ 区间变化,较之前年份虽有明显下降,但仍属于匹配较差范围。粮食增产期内农业水土资源匹配系数均低于全国平均水平,且差距越来越大,匹配程度较差,与基尼系数分析结果一致。从演变规律上看,水土资源匹配呈现基尼系数不断减小、农业水土资源匹配系数整体降低的态势。

(2) 从时空角度对黑龙江省农业水土资源进行分析,空间上表现为西北、东南部地区“水多地少”,中、西部地区“地多水少”,东北部地区匹配较差的格局;时间上表现为西北、东南部地区农业水土资源匹

配情况稳定,其他各地区匹配程度均呈下降趋势;演变规律上,水土资源匹配情况趋于优化,地少水多的地区耕地面积不断增加,有助于平衡全省水平,但由于其他粮食主产区的不断扩大,其水资源量会出现缺乏和不足,从而导致水土匹配情况的不均衡,限制了水土资源优化的发展。

(3) 根据不同区域的水土资源匹配状况,建议限制黑龙江省中西部干旱缺水地区的农业用地开垦,适度减少土地开垦面积,提高其农业水土资源承载力;加大半干旱区水利设施建设力度、发展水资源高效利用及各流域间引水调水,缓解半干旱区的农业用水短缺的问题;在保障粮食产量的前提下,粮食主产区可调整农业种植结构,最大限度利用各种农业资源。

参考文献(References):

- [1] CHENG K, FU Q, CHEN X, et al. Adaptive allocation modeling for a complex system of regional water and land resources based on information entropy and its application[J]. *Water Resources Management*, 2015, 29(14): 4977-4993. DOI: 10.1007/s11269-015-1099-3.
- [2] DAVID MAKOWSKI, ELIGIUS M T HENDRIX, ITTERSUM M K V, et al. A framework to study nearly optimal solutions of linear programming models developed for agricultural land use exploration[J]. *Ecological Modeling*, 2002, 131(1): 65-77. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2010.03.013.
- [3] 南纪琴, 陶国通, 王雷雷, 等. 区域农业水土资源利用潜力估算方法——以河套灌区为例[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1378-1390. (NAN J Q, TAO G T, WANG J L, et al. Estimates of agricultural water and soil resources' utilization potential—A case study on Hetao Irrigation Area[J]. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(2): 270-277. (in Chinese)) DOI: 10.11849/zrzyxb.2015.08.012.
- [4] 郭荣中, 杨敏华, 申海建. 长株潭地区耕地生态安全评价研究[J]. *农业机械学报*, 2016, 47(10): 193-201. (GU O R Z, YANG M H, SHEN H J. Evaluation for ecological security of cultivated Land in Chang-Zhu-Tan Region[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(10): 193-201. (in Chinese)) DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.10.025.
- [5] GERRIT J. CARSIJENS, WIM VANDER KNAAP. Strategic land use allocation: dealing with spatial relationships and fragmentation of agriculture[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2002, 58: 171-179. DOI: 10.1016/S0169-2046(01)00219-5.
- [6] 姜秋香, 付强, 王子龙. 三江平原水资源承载力评价及区域差异[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(9): 184-190. (JIANG Q X, FU Q, WANG Z L. Evaluation and regional differences of water resources carrying capacity in Sanjiang plain[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(9): 184-190. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.

2011. 09. 032.
- [7] 任守德,付强,王凯.基于宏微观尺度的三江平原区域农业水土资源承载力[J].农业工程学报,2011,27(2):8-14. (REN S D, FU Q, WANG K. Regional agricultural water and soil resources carrying capacity based on macro-micro scale in Sanjiang Plain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(2): 8-14. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.02.002.
- [8] 高明.发展粮食依托型产业振兴黑龙江省农村经济[J].农业现代化研究,2004,25(3):173-176. (GAO M. Developing industry based on grain and vitalizing rural economy of Heilongjiang Province[J]. Research of Agricultural Modernization, 2004, 25(3): 173-176. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-0275.2004.03.004.
- [9] 相慧,孔祥斌,武兆坤,等.中国粮食主产区耕地生产能力空间分布特征[J].农业工程学报,2012,28(24):235-244. (XIANG H, KONG X B, WU Z K, et al. Spatial distribution characteristics of potential productivity of arable land in main crop production area in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(24): 235-244. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.24.032.
- [10] 中国农业年鉴编辑委员会.中国农业年鉴[M].北京:中国农业出版社,2004-2016. (China Agricultural Yearbook Editorial Committee. China Agricultural Yearbook[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2004-2016. (in Chinese))
- [11] 刘继龙,周延,付强,等.黑土区玉米地作物信息多重分形与多尺度相关特征研究[J].农业机械学报,2016,47(6):163-170. (LIU J L, ZHOU Y, FU Q, et al. Multifractal and multiscale correlation characteristics of crop information of corn field in Black Soil Region. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(6): 163-170. (in Chinese)) DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.06.021.
- [12] 李志斌,陈佑启,姚艳敏,等.建国以来黑龙江省粮食产量变化小波分析[J].干旱区资源与环境,2008,22(2):128-132. (LI Z B, CHEN Y Q, YAO Y M, et al. Multiple Time Scales Analysis on Grain Output in Heilongjiang Province since the Foundation of PRC[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(2): 128-132. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1003-7578.2008.02.025.
- [13] 付强,刘焯,李天霄,等.水足迹视角下的黑龙江省粮食生产用水分析[J].农业机械学报,2017,48(6):184-192. (FU Q, LIU Y, LI T X, et al. Analysis of water utilization in grain production from water footprint perspective in Heilongjiang province [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(6): 184-192. (in Chinese)) DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.06.024.
- [14] 赵晓丽,张增祥,汪潇,等.中国近30a耕地变化时空特征及其主要原因分析[J].农业工程学报,2016,30(3):1-11. (ZHAO X L, ZHANG Z X, WANG X, et al. Analysis of Chinese cultivated lands spatiotemporal changes and causes in recent 30 years[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 30(3): 1-11. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2016.03.001.
- [15] 李天霄,付强,孟凡香.黑龙江省农业水土资源时空匹配格局研究[J].东北农业大学学报,2017,48(6):51-58. (LI T X, FU Q, MENG F X. Study on the spatiotemporal matching patterns of agricultural water and soil resources in Heilongjiang Province[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2017, 48(6): 51-58. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1005-9369.2017.06.007.
- [16] 刘彦随,甘红,张富刚.中国东北地区农业水土资源匹配格局[J].地理学报,2006,61(8):847-854. (LIU Y S, GAN H, ZHANG F G. Analysis of the Matching Patterns of Land and Water Resources in Northeast China[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(8): 847-854. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:0375-5444.2006.08.007.
- [17] 马慧敏,武鹏林.基于基尼系数的山西省水资源空间匹配度分析[J].人民黄河,2014,36(11):58-61. (MA H M, WU P L. Spatial matching analysis of Shanxi Province's water resources based on Gini coefficient [J]. Yellow River. 2014, 36(11): 58-61. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-1379.2014.11.018.
- [18] KAKWANI N C. Applications of Lorenz curves in economic analysis[J]. Econometrica, 1977, 45(3): 719-727. DOI: 10.2307/1911684. Source: RePEc
- [19] 肖金明.法治行政的逻辑[M].北京:中国政法大学出版社,2004. (Xiao J M. The logic of rule of law administration[M]. Beijing: China University of Political Science and Law Press, 2004. (in Chinese))
- [20] 姜宁,付强.基于基尼系数的黑龙江省水资源空间匹配分析[J].东北农业大学学报,2010,41(5):56-60. (JIANG N, FU Q. Spatial matching analysis of Heilongjiang Province's water resource based on Gini coefficient[J]. Yellow River. 2010, 41(5): 56-60. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1005-9369.2010.05.013.
- [21] 王小鲁,樊纲.中国地区差距的变动趋势和影响因素[J].经济研究,2004,39(1):33-44. (WANG X L, FAN G. Analysis on the regional disparity in China and the influential factors[J]. Economic Research Journal, 2004, 39(1): 33-44. (in Chinese))
- [22] 刘新有,史正涛,唐姣艳,等.基尼系数在人居环境气候评价中的运用[J].热带地理,2008,28(1):7-10. (LIU X Y, SHI Z T, TANG J Y, et al. Application of Gini coefficient on climatic evaluation of human settlement environment[J]. Tropical Geography, 2008, 28(1): 7-10. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1001-5221.2008.01.002.
- [23] 李如忠,舒琨.基于基尼系数的水污染负荷分配模糊优化决策模型[J].环境科学学报,2010,30(7):1518-1525. (LI R Z, SHU K. Fuzzy optimization model for waste load allocations based on Gini coefficient[J]. Acta Scientia Circumstantiae, 2010, 30(7): 1518-1525. (in Chinese))
- [24] 王丽琼.基于公平性的水污染物总量分配基尼系数分析[J].生态环境,2008,17(5):1796-1801. (WANG L Q. Analysis of total pollutant load allocation for waterbodies Gini coefficient based on equity[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(5): 1796-1801. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1674-5906.

2008. 05. 016.
- [25] 张音波, 麦志勤, 陈新庚, 等. 广东省城市资源环境基尼系数[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 728-734. (ZHANG Y B, MAI Z Q, CHEN X G, et al. Analysis of city resource environment Gini coefficient in Guangdong Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 728-734. (in Chinese)) DOI: 10. 3321/j. issn: 1009 0933. 2008. 02. 034.
- [26] 胡彩霞, 谢斌, 许斌, 等. 基于基尼系数的水文年内分配均匀度变异分析方法—以东江流域龙川站径流序列为例[J]. 水力发电学报, 2012, 31(6): 7-13. (HU C X, XIE B, XU B, et al. Variation analysis method for hydrologic annual distribution homogeneity based on Gini coefficient. A case study of runoff series at Longchun station in Dongjiang river basin[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012, 31(6): 7-13. (in Chinese))
- [27] 熊俊. 基尼系数四种估算方法的比较与选择[J]. 商业研究, 2003, 55(23): 123-125. (Xiong J. Comparison and selection of four methods for estimating Gini coefficients[J]. Business Research, 2003, 55(23): 123-125. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-148X. 2003. 23. 045.
- [28] 习明, 洪兴建. 基尼系数的一种简便计算方法——协方差公式[J]. 统计与决策, 2007, 23(21): 161-162. (Xi M, Hong X J. A Simple calculation method of gini coefficient covariance formula[J]. Statistics and Decision, 2007, 23(21): 161-162. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-6487. 2007. 21. 060.
- [29] 肖伟华, 秦大庸, 李玮, 等. 基于基尼系数的湖泊流域分区水污染物总量分配[J]. 环境科学学报, 2009, 29(8): 1765-1771. (XIAO W H, QIN D Y, LI W, et al. 2009. Model for distribution of water pollutants in a lake basin based on environmental Gini coefficient[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2009, 29(8): 1765-1771. (in Chinese))
- [30] Henry J Greene, George R Milne. Assessing model performance: The Gini statistic and its standard error[J]. Journal of Database Marketing & Customer Strategy Management, 2010, 17: 36-48. DOI: 10. 1057/dbm. 2010. 2 • Source: OAI
- [31] 李慧, 周维博, 庄妍, 等. 延安市农业水土资源匹配及承载力[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 156-162. (LI H, ZHOU W B, ZHUANG Y, et al. Agricultural water and soil resources matching patterns and carrying capacity in Yan'an City[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(5): 156-162. (in Chinese)) DOI: 10. 11975/j. issn. 1002-6819. 2016. 05. 022.
- [32] 姜秋香, 付强, 王子龙, 等. 三江平原水土资源空间匹配格局[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2): 270-277. (JIANG Q X, FU Q, WANG Z L, et al. Spatia matching patterns of land and water resources in Sanjiang Plain[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(2): 270-277. (in Chinese))
- [33] 中国统计年鉴编辑部. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2004-2016. (China Statistical Yearbook Editorial Department China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2004-2016. (in Chinese))
- [34] 中华人民共和国水利部. 中国水利统计年鉴[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004-2016. (Ministry of Water Resources of People's Republic of China. China Water Resources Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Waterpower Press, 2004-2016. (in Chinese))
- [35] 黑龙江统计局. 黑龙江统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1980-2016. (Statistical Bureau of Heilongjiang. Heilongjiang Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistical Publishing House, 1980-2016. (in Chinese))
- [36] 黑龙江省水文局. 黑龙江省水资源公报[M]. 哈尔滨: 黑龙江省水利厅, 1980-2016. (Hydrology Bureau of Heilongjiang Province. Bulletin of Heilongjiang Water Resources[M]. Harbin: Heilongjiang Provincial Department of Water Resources, 1980-2016(in Chinese))
- [37] 刘慧. 区域差异测度方法与评价[J]. 地理研究, 2006, 25(4): 710-718. (LIU H. Regional inequality measurement: methods and evaluations[J]. Geographical Research, 2006, 25(4): 710-718. (in Chinese)) DOI: 10. 3321/j. issn: 1000-0585. 2006. 04. 018.
- [38] 胡业翠, 郑新奇, 徐劲原, 等. 中国土地整治新增耕地面积的区域差异[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 1-6. (HU Y C, ZHENG X Q, XU J Y, et al. Regional difference for newly increased cultivated land area through land consolidation in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(2): 1-6. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-6819. 2012. 02. 001.
- [39] 李国英. 基于农业和农村经济结构战略性调整的水利发展[J]. 中国水利, 2000, 51(5): 13-14. (LI G Y. Water development basing on agricultural and strategic adjustment of rural economic structure[J]. China Water Resource, 2000, 51(5): 13-14. (in Chinese))