华南农业大学学报(社会科学版)
2019年第4期 JOURNAL OF SOUTH CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY
(第18卷) (SOCIAL SCIENCE EDITION)

中国粮食生产与水资源的时空匹配格局

杨 鑫,穆月英

(中国农业大学 经济管理学院,北京 100083)

摘 要: 从供需角度分析发现,2000—2017年水资源禀赋较少的北方粮食主产区对粮食灌溉水需求持续增加,而加大水资源开发的空间有限,以及农业产业内外部用水的竞争,造成粮食灌溉水供给增加及保持稳定困难极大。基于基尼系数和不平衡系数,进一步研究发现:2000—2017年全国粮食生产与水资源量空间匹配状态不断恶化,粮食生产与水资源量匹配度最差的地区是黄淮海和东北地区,作物种类是小麦和玉米;粮食产量与粮食灌溉水量长期处于匹配状态,只有小幅恶化,总体上北方粮食主产区用较少的灌溉水生产了较多粮食,即粮食灌溉水生产率更高,但仍不能完全解决该地区粮食水资源不可持续利用问题。从发展趋势看,在全球变暖、粮食生产支持政策调整、乡村功能转型和农业生产结构升级的背景下,未来促进粮食生产与水资源的时空匹配将更具挑战,需要促进北方地区粮食灌溉水生产率进一步提高。

关键词: 粮食生产; 水资源; 时空匹配; 基尼系数; 灌溉水量

中图分类号: F124.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-0202(2019)04-0091-10

一、引言

中国人口接近14亿,解决好吃饭问题始终是头等大事,而水资源可持续利用是粮食安全的重要基础。中国粮食生产对灌溉的依赖程度非常高[1],2017年灌溉耕地占总耕地面积的50%,灌溉耕地大约生产了全国70%的粮食产量,包括94%的小麦,100%的水稻,45%的玉米,35%的大豆。同时,全国粮食生产与水资源分布利用之间存在地区上南北方分布不均(表1)、时间上不断变化的特点,部分地区水资源难以保证长期可持续支撑粮食生产,且水资源短缺的制约程度越来越严重,甚至引发生态环境问题。实际上,1998年美国世界观察研究所所长布朗就指出了未来中国粮食安全问题的核心在于粮食生产扩大与水资源短缺的尖锐矛盾,甚至可能撼动世界安全[2]。2000年左右,农业生产的自然要素重要性不断凸显下,国内学者形成共识,提出如果不解决水资源过度开发的问题,就不可能实现农业可持续发展[3,4]。近年,随着经济发展和农业生产结构调整,粮食生产水资源不可持续利用更加严重,威胁到中国长期粮食安全[5]。

表1 南北方地区与粮食主产区划分标准

地区	省(市、自治区)	粮食主产区
北方	北京,天津,河北,山西,内蒙古,辽宁,吉林,黑龙江,山东,河南,陕西,甘肃,青海,宁夏,新疆	河北,辽宁,吉林,黑龙江,山东,河南,内蒙古
南方	上海,江苏,浙江,安徽,福建,江西,湖北,湖南,广东,广西,海南,重庆,四川,贵州,云南,西藏	江苏,安徽,江西,湖北,湖南,四川

注: 台湾、香港、澳门不在研究范围

收稿日期: 2019-04-10 **DOI:** 10.7671/j.issn.1672-0202.2019.04.009

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(18ZDA074)

作者简介: 杨 鑫(1993—),男,北京昌平人,中国农业大学经济管理学院博士研究生,主要研究方向为农业经济理论与政策。E-mail:yangxinxin@cau.edu.cn

《乡村振兴战略规划(2018－2022年)》提出实施国家农业节水行动,深入推进农业灌溉用水总量控制和定额管理,建立健全农业节水长效机制和政策体系,优化粮食生产的水资源利用。在顶层设计完善下,需要在时间和空间上把握粮食生产与水资源的主要矛盾,针对不同区域形成针对性的粮食政策细则,从而才能实现“绿水青山就是金山银山”和“把饭碗牢牢端在自己手里”的总体目标。

目前,从时空匹配下分析经济发展、农业生产、水资源利用的文献较丰富,主要关注农业水土资源时空匹配、经济发展与水资源的时空匹配。前者分析全国或不同地区的耕地和水资源的匹配程度变化[6－7],后者分析不同地区经济发展与水资源利用的协调程度[8－9],二者大多利用区域基尼系数法和不平衡指数法。具体到粮食生产与水资源时空匹配,已有研究大多基于描述统计、水足迹等方法,探究农业水资源对粮食生产的限制程度[10－12],但鲜见利用区域基尼系数和不平衡指数分析粮食生产与水资源时空匹配的定量研究。因此,本文首先梳理中国粮食生产与水资源分布利用现状,分析粮食产量与水资源量、粮食灌溉水量的时间匹配格局与变化,探究粮食生产与水资源分布的空间扭曲程度以及粮食灌溉水生产率区域差异对该矛盾的缓解作用,最后展望未来趋势及提出相关政策建议。

二、中国粮食生产的水资源需求时空变化

粮食主要指小麦、水稻、玉米、豆类和薯类,粮食水资源主要指用于粮食生产的灌溉水,灌溉水需求变化与粮食生产时空变动紧密相关。建国以来,粮食产量呈现波动增加,北方粮食主产区(表1)的生产功能更加凸显。由图1可知,中国粮食生产变化可分为四个阶段:1949—1961年,粮食产量先增后减,生产能力没有明显提高;1962—1980年,粮食产量以平稳速度增加;1980—2002年,随着家庭联产承包责任制推行和改革开放,粮食产量以较快速度增加,然后突然下降;2003—2017年,政府实施一系列农业支持政策后,粮食产量增长速度先恢复性提高继而逐渐趋缓。2017年全国粮食产量为66160.7万吨,相当于建国初期的5.4倍;从地区上,粮食主产区占比从68.2%上升到76.1%,北方粮食主产区占比从31.2%上升到46.7%,表现为北方粮食主产区和全国粮食产量波动同步性不断增强。

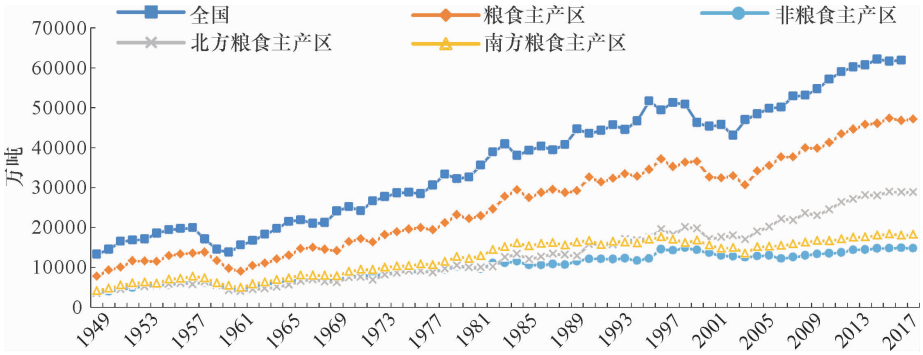


图1 不同区域1949—2017年粮食产量变化趋势

注:数据来源于《中国农村统计年鉴》

伴随着粮食种植重心北移,不同地区粮食生产结构发生明显分化。2017年全国稻谷、小麦、玉米、薯类和豆类的产量占比分别为32.6%、20.6%、39.7%、4.3%和2.8%;与1949年相比,主要是稻谷、薯类和豆类产量占比下降,小麦和玉米产量占比提高。从不同地区看(图2),1978年以来,南方粮食主产区的小麦和玉米产量占比显著增加,水稻的种植优势减弱;北方粮食主产区稻谷和

玉米产量占比迅速增加,玉米和小麦的种植优势依旧明显。

随着粮食种植结构变化,北方地区粮食生产对灌溉水的季节性需求同时改变,导致雨热资源与粮食生产不同步的问题更加凸显,即夏粮产量相对于秋粮产量的比值增加。夏粮指上年秋、冬季和本年春季播种,夏季收获的粮食作物,如小麦、大麦、马铃薯等;秋粮指本年春、夏季播种,秋季收获的粮食作物,如:中稻、晚稻、玉米、大豆等。以季风气候为主的小麦主产区为例(图 3),除湖北、河北外,1978—2017 年河南、山东、安徽和江苏的夏秋粮食比值分别扩大到 1.2、0.9、0.7 和 0.6,意味着在上述地区降雨较少的春冬季生产了更多的粮食,而雨热同期的夏季生产了较少的粮食[13],从而产生小麦主产区灌溉水超采引起的地下水漏斗和河水断流等生态灾害。

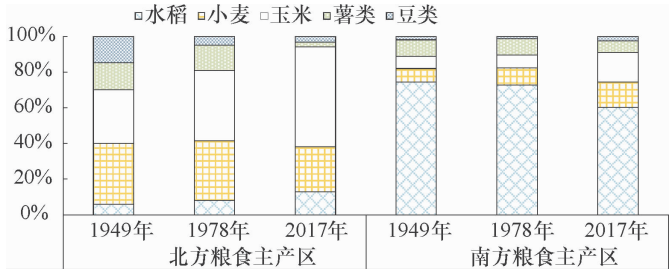


图 2　1949—2017 年不同粮食主产区粮食生产结构变化

注:数据来源于《中国农村统计年鉴》

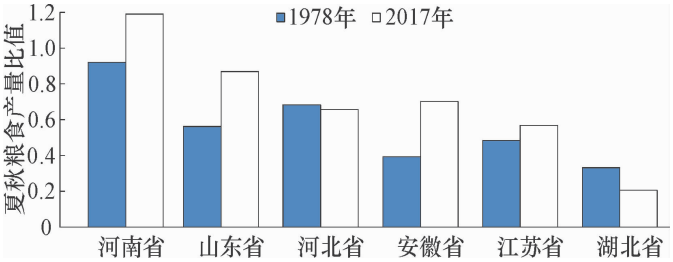


图 3　1978 年和 2017 年小麦主产区夏秋粮食产量比值

注:数据来源于中国统计局网站

粮食产量和生产结构的时空变化使得粮食灌溉水需求随之调整。鉴于粮食灌溉用水占农业用水量的比重最大,故利用农业用水量代表粮食灌溉水量进行分析。时间上,1949 年农业用水量为 965 亿立方米,而 1980 年农业用水量猛增到 3580 亿立方米,但 2000 年后基本在 3700 亿立方米左右,相当于粮食生产需水量稳定在较高水平,供给压力始终较大。空间上,2000—2017 年南方地区农业用水量下降了 3.5%,而北方地区和粮食主产区的农业用水量分别增加了 3.1% 和 3.2%(表 2),说明全国灌溉水量维持稳定的原因是缺水的北方地区灌溉用水增加、丰水的南方地区灌溉用水下降。此外,从农业用水占比看,农业用水向非农产业转移速度从大到小分别为南方地区、北方地区和粮食主产区,意味着粮食主产区的农业灌溉水需求量始终较大,不利于发挥水资源更高的经济价值。

表 2　不同地区农业用水量及占比　　单位:亿立方米、%

	农业用水量			农业用水占比		
	2000 年	2017 年	变化率	2000 年	2017 年	变化值
北方地区	1756.8	1810.9	3.1	71.7	66.0	-5.7
南方地区	2026.7	1955.3	-3.5	62.9	55.0	-7.9
粮食主产区	2040.4	2106.2	3.2	67.7	62.9	-4.8

注:数据来源于《中国水资源公报》

三、中国粮食生产的水资源供给时空变化

在粮食水资源增量供给方面,1949—2017 年全国水资源开发指数不断增加,即需水量与水资源量的比值扩大,超过了 20% 的水资源压力警戒线,在 40% 的极大水资源压力水平以下。不过,贸然判断中国不存在严重的水资源短缺是不充分的,中国水资源核心问题为北方地区水资源压力过大。2017 年北方地区水资源量占全国的 17.7%,耕地面积占比为 58.0%,然而农业用水占比为

48.1%，粮食产量占比为58.6%，可见北方地区以相对丰富的耕地、密集的要素投入和较少的水资源禀赋形成了粮食种植优势，但水资源开发增长空间十分有限。

在全国9大流域（图4），南方地区只有长江流域存在水资源开发压力，北方流域水资源开发基本都是极大压力水平。从时间上看，除海河区、黄河区和淮河区外，1997—2017年其他流域的水资源开发指数相比均是上升的。值得注意的是，黄淮海地区整体水资源开发强度有所下降，但依然处于极大水资源压力水平，其中海河流域的需求量甚至超过每年可供给的水资源量，意味着消耗了水资源存量，导致深层地下水、湿地退化等生态问题。整体上，全国基本形成“经济重心南移，种粮重心北移”的格局，使得北方地区粮食灌溉水压力异常突出，未来甚至需要进一步缩减农业用水量。

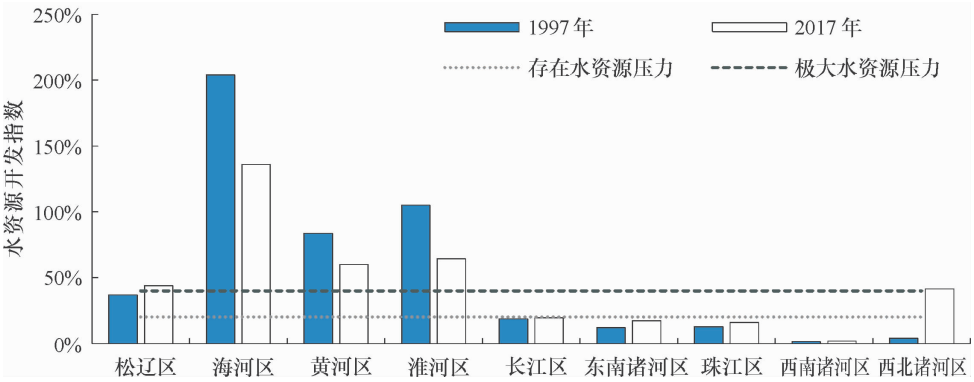


图4　全国主要流域1997年和2017年水资源开发指数

注：数据来源于1997年和2017年《中国水资源公报》

粮食水资源供给量增加困难的同时，粮食水资源存量稳定性下降，大部分地区粮食生产水资源持续向其他农业生产和非农业部分转移。考虑到水资源可持续利用的重要性，《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》划定了到2030年全国用水总量控制在7000亿立方米，意味着中国水资源供给现状已从“数量增加”转变为总量稳定的“结构调整”。1949年农业用水量占用水总量比重高达93%，2017年降至62%，相当于农业水资源逐步向外部的非农部门转移。由于全国农业用水总量保持稳定、占比不断下降，水资源在农业产业内部也存在激烈竞争，主要是牲畜用水挤压灌溉用水，非耕地灌溉挤压耕地灌溉，非粮食主产区的经济作物竞争粮食作物用水。

首先，从牲畜用水和灌溉用水看，1997年农田灌溉水量为3606.4亿立方米，占农业用水量的92.0%，而2017年农田灌溉水量为3311.2亿立方米（由实际灌溉面积和亩均灌溉水量相乘计算得到），占农业用水量的87.9%，表现为牲畜用水不断上升，灌溉用水不断下降。

其次，从耕地灌溉与非耕地灌溉看，灌溉用水由耕地、林地、果园、牧草等构成，且耕地灌溉用水强度最大[14]。2002—2017年全国总灌溉面积从6060.1万公顷达到了7394.6万公顷，耕地灌溉面积基本稳定在93%左右。其中，北方粮食主产区耕地灌溉面积占全国的比重从39.6%增加到40.8%，南方粮食主产区则从29.5%下降到28.9%。大部分粮食主产区的耕地灌溉均受到林、园、草地灌溉的挤压，最为突出的是内蒙古、湖北、江西、江苏等（表3）。除此之外，黑龙江2017年灌溉面积相比于2002年猛增了176.0%，而耕地和非耕地灌溉面积同比例增加，说明黑龙江农业发展势头良好；辽宁耕地灌溉面积增长超过非耕地灌溉面积，表示粮食生产用水的竞争压力较小。

最后，近年来粮食在耕地种植面积结构总体保持在65%以上，其中粮食主产区的粮食播种面积占比呈现增长的态势，非粮食主产区的粮食种植占比从2002年的62.6%逐渐萎缩到2017年的56.2%。

表3　粮食主产区2002年与2017年耕地灌溉面积及占比对比　　单位:万公顷、%

	耕地灌溉面积			耕地灌溉面积占比		
	2002年	2017年	变化率	2002年	2017年	变化值
北方粮食主产区						
河北	444.7	447.5	0.6	93.2	92.6	-0.6
内蒙古	280.2	317.5	13.3	95.4	83.7	-11.7
辽宁	149.4	161.0	7.8	89.5	92.0	2.5
吉林	155.4	189.3	21.8	99.0	98.5	-0.5
黑龙江	218.5	603.1	176.0	99.8	99.6	-0.2
山东	480.5	519.1	8.0	90.5	90.0	-0.5
河南	480.1	527.4	9.9	98.6	97.8	-0.8
南方粮食主产区						
江苏	388.9	413.2	6.3	95.5	94.3	-1.2
安徽	326.3	450.4	38.0	98.9	98.1	-0.8
江西	188.1	203.9	8.4	97.5	96.0	-1.5
湖北	235.2	291.9	24.1	96.2	93.8	-2.4
湖南	267.6	314.6	17.6	97.7	97.0	-0.7
四川	237.2	287.3	21.1	93.1	92.3	-0.8

注:数据来源于《中国水利统计年鉴》。

四、粮食生产与水资源匹配的定量评价

中国粮食生产空间上变化明显,使得粮食生产的水资源需求和供给匹配程度也随之改变。随着粮食生产空间布局与水资源分布产生巨大的矛盾激化,该矛盾是否可以被粮食灌溉水生产率的区域差异所平衡是值得研究的问题。因此,在把握全国水资源和粮食产量时空变化下,需要进一步进行定量化分析,明确粮食生产与水资源禀赋和配置的时空匹配演变趋势。评价区域差异的方法较多,从广泛程度和直观性考虑,可选择基尼系数和不平衡指数来衡量粮食生产与水资源分布、粮食用水的空间差异及时间上的变化。

(一)评价指标选取与数据来源

基尼系数表征收入分配公平程度,本质上与粮食生产与水资源空间分布不均衡性是相似的[9],本文具体采用水资源量-粮食产量基尼系数(GA)和粮食灌溉水量-粮食产量基尼系数(GB),分别表示水资源量与粮食生产的匹配程度、粮食灌溉水量和粮食生产匹配程度的变化情况。前者反映粮食生产相对水资源量的区域集中状态,该指标越大表示全国水资源紧缺地区的粮食产量越大;后者反映粮食生产相对粮食灌溉水的区域集中状态,该指标越大表示粮食灌溉水较少地区的粮食生产量越大,即省际间粮食灌溉水生产率差相对较明显。

具体计算步骤为,将各区域分别按照水资源量和粮食灌溉水量进行递增排序,然后计算各省份水资源量、粮食灌溉水量和粮食产量及小麦、水稻、玉米产量的累计百分比,采用梯形面积计算全国范围的基尼系数,公式如下[15]:

$$GA(GB) = 1 - \sum_{(i=1)}^{n} (x_i - x_{i-1})(y_i + y_{i-1}) \tag{1}$$

其中,x_i 表示第 i 个省份的水资源量(或粮食灌溉水量)累计百分比,y_i 表示第 i 个省市的粮食产量(或不同种类粮食作物产量)累计百分比。当 $i=1$ 时,$x_{i-1}=y_{i-1}=0$。根据黄金分割率,一般以基尼系数0.4作为收入分配差距的"警戒线",借鉴该标准本文采用如下标准划分匹配程度:0.4以上表示

“匹配”,0.4 -0.5 表示“一般不匹配”,0.5 -0.6 表示“较不匹配”,0.6 以上表示“严重不匹配”。

基尼系数主要评价全国范围的粮食生产与水资源分布、配置匹配程度,需利用不平衡指数分析不同省份粮食生产与水资源的匹配情况。在笛卡尔坐标轴上以 a_i 为横坐标,以 b_i 为纵坐标得到点(a_i,b_i),b_i、a_i 差异较小时与直线 b = a 的距离(d_i)更近,即二者匹配程度较高;反之,二者匹配程度较低。距离的计算公式如下:

$$d_i = \sqrt{2}(a_i - b_i)/2 \tag{2}$$

其中,a_i、b_i 分别为省份水资源量(或粮食灌溉水量)和粮食产量(或各种粮食作物产量)占全国的比重,d_i 进而具体化为水资源量 - 粮食产量不平衡指数(water - grain unbalanced index,*wgui*)和粮食灌溉水量 - 粮食产量不平衡指数(irrigation - grain unbalanced index,*igui*)。

在假设粮食与非粮食作物单位面积灌溉水量相同下,粮食灌溉水量估算公式用分解法表示为:

$$W_i = I_i \times A_i \times B_i \tag{3}$$

其中,W_i 为粮食灌溉水量,I_i 为灌溉用水量,A_i 为耕地灌溉面积占灌溉面积比例,B_i 为粮食播种面积占比总播种面积比例。本文研究区域为 31 省、市、自治区(表 1),选取 2000 年和 2017 年进行对比。数据来源于 2001 年和 2018 年出版的《中国水资源公报》、《中国农村统计年鉴》、《中国水利统计年鉴》等。2000 年各省份灌溉用水量来源于中国水资源公报的农业用水量,由于 2012 年之后畜禽用水并入了农业用水,故 2017 年各省灌溉用水量来源于各省水资源公报。

(二)基尼系数和不平衡指数分析及影响因素

由水资源量 - 粮食产量基尼系数(*GA*)可知(表 4),2000—2017 年全国粮食生产向水资源量较少的区域进一步集聚,从“一般不匹配”变为“较不匹配”。从生产结构看,2000 年小麦和玉米生产与水资源量处于“极不匹配”,而且具有扩大趋势,使得 2017 年小麦和玉米主产区的粮食灌溉压力将增加;2000 年水资源量 - 豆类生产基尼系数为 0.592,相当于“一般不匹配”状态,2017 年进一步缩小为 0.542;2000 年和 2017 年水稻和薯类生产始终与水资源量均处于“匹配”状态,但是水资源量 - 水稻生产基尼系数从 0.255 扩大到 0.309。

表 4 2000 年与 2017 年粮食生产与水资源匹配情况

	GA		*GB*	
	2000 年	2017 年	2000 年	2017 年
粮食总体	0.473	0.573	0.035	0.092
小麦	0.686	0.777	0.048	0.096
水稻	0.255	0.309	0.041	0.055
玉米	0.660	0.712	0.121	0.184
豆类	0.592	0.542	0.149	0.166
薯类	0.395	0.338	0.223	0.390

由粮食灌溉水量 - 粮食产量基尼系数(*GB*)可知(表 4),2000—2017 年部分区域粮食灌溉水相对于粮食产量增加较少,意味着省际间粮食水资源生产率差异逐渐扩大,但依旧为“匹配”水平,没有出现显著的差异。从种类看,2000—2017 年省份间小麦、水稻灌溉水生产率始终保持较小差异,原因在于二者耗水量相对较高,使得小麦和水稻产量与粮食灌溉水量紧密相关;玉米、豆类和薯类属于较耐旱作物,主要受到降水影响,灌溉水量与三者产量相关性较弱,区域间粮食灌溉水量与三者产量不匹配关系相对明显。

根据不平衡指数分析进一步分析 13 个粮食主产省的匹配变化。由图 5 可知,从地区角度看,北方粮食主产区和江苏、安徽的水资源量 - 粮食生产不平衡指数均为负,表示粮食产量比重超过了水资源量比重,其他南方粮食主产省的粮食产量比重小于水资源量比重。从时间趋势看,除河北和山东外,北方粮食主产区的粮食生产扩大速度超过了水资源开发速度,南方粮食主产区情况与之相反,意味着粮食生产重心进一步向水资源稀缺的北方地区移动。2017 年粮食生产水资源压力较大的省份为黑龙江(*wgui* = -0.061)、河南(*wgui* = -0.059)、山东(*wgui* = -0.052)、河北

(*wgui* = -0.038)等,与 2000 年排序相比黑龙江粮食生产水资源压力骤增。总体来看,黄淮海地区和东北地区水资源量对于粮食生产的匹配度较差,是导致全国水资源量与粮食生产不平衡的主要原因。

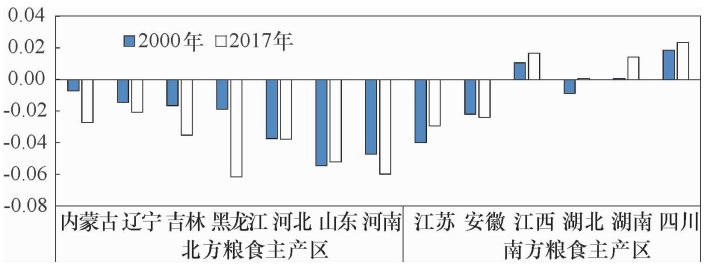


图 5　2000 年和 2017 年粮食主产区水资源量 - 粮食生产不平衡指数

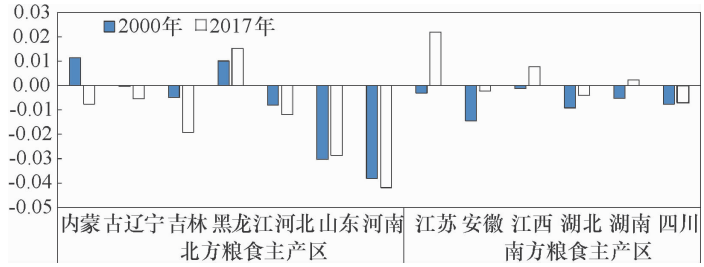


图 6　2000 年和 2017 年粮食主产区粮食灌溉水量 - 粮食生产不平衡指数

由图 6 可知,2017 年北方粮食主产区大部分省份的粮食灌溉水量 - 粮食生产不平衡指数为负数,表示粮食产量比重超过了粮食灌溉水量比重,尤其是河南(*igui* = -0.042)、山东(*igui* = -0.030)、吉林(*igui* = -0.019)和河北(*igui* = -0.012)等。2017 年与 2000 年相比,内蒙古、辽宁、吉林、河北、河南的粮食产量超过了粮食灌溉水增速,相当于粮食灌溉水生产率提高相对更快。具体地,2000—2017 年黑龙江粮食产量和粮食灌溉水量增速均为全国第一,但是粮食灌溉水量占比增长更快,说明其利用新开发的灌溉水增加了粮食产量,粮食灌溉水生产率并没有随之提高。总之,北方粮食主产区的粮食灌溉水量匹配粮食产量的程度较低,尤其是黄淮海地区,意味着其粮食灌溉水生产率整体较高,与已有研究结果相似[16],但当前没有根本上解决水资源量与粮食生产不匹配矛盾。

(三)中国粮食的水资源时空匹配的趋势展望

粮食生产面临巨大的自然与市场风险,从气候、政策、农村、农业方面出发,中国粮食生产的水资源不匹配的矛盾未来可能会更加突出。

1. 全球变暖

全球变暖对水资源的影响是增加降水的不确定性,对粮食生产的影响是种植界限北移[17]。种植界限北移相当于北方地区可耕种的土地面积增加,农业生产规模也会随之扩大。此外,降水不确定性增加将导致北方生产更依赖灌溉,且干旱等自然灾害频率提高会降低农户采用资本密集型技术的意愿,进而限制现代节水灌溉技术扩散。

2. 粮食生产支持政策

粮食生产支持政策将削弱农业水价改革的效果,导致不适合粮食种植的土地被开垦。但是粮食最低收购价格和过低的粮食价格使得灌溉水的边际产品价值较低,进而农业水价上涨对农户收入降低效果明显[18],无法发挥提高粮食灌溉水生产率的作用。“占补平衡”和省长负责制下,为弥补非农用地对耕地的占用,需要开垦相对并不适合种植的耕地,导致耕地质量下降、灌溉成本高等问题[19]。

3. 乡村功能转型

乡村功能转型是乡村振兴的重要任务之一,尤其是发挥乡村的生活功能、生态功能、社会功能和文化功能等,形成以农业为基础、农民充分参与和增加收益的新业态,达到改善农村居住环境、

提高农民收入、促进生产要素进入农业生产的目的。但是，基础的生产功能将不可避免地被弱化，其他功能的发挥会挤占农业生产用地、用水，促使粮食生产劳动力转移。作为生产功能最突出的北方地区，上述过程将使粮食生产面临较高的灌溉水转移压力。

4. 农业生产结构调整

农业生产结构调整是居民食品消费结构升级的结果，表现为畜禽消费量增长较快[20]，导致用于粮食种植的水资源量被挤压。内蒙古、东北地区、华北地区等北方粮食主产区，同时也是蔬菜、牛奶、牛肉、猪肉等产品的主产区。由于居民食品消费结构中畜牧产品占比不断提高，可能引致畜产品价格相对粮食价格会越来越高，最终会影响农民种粮积极性。

五、总结与建议

（一）结论

文章利用全国2000—2017年31个省份宏观数据，分析水资源分布利用和粮食生产的时空变化，进一步采用基尼系数和不平衡指数对中国粮食生产与水资源量、粮食灌溉水空间匹配及其时间演变趋势进行分析，主要研究结果如下：

第一，从粮食水资源需求看，时间上粮食灌溉需水量较为稳定，但地区上表现为南方农业用水量下降，北方地区增加。随着粮食总产量增加，北方粮食主产区对于全国粮食产量发挥越来越明显的决定性作用。在生产结构上，玉米和小麦的产量占比随时间推移持续提高；在空间上，玉米和水稻的种植重心持续北移，小麦的种植重心南移，加剧了小麦主产区雨热资源与粮食生产季节不匹配的问题。

第二，从粮食水资源供给看，北方地区的水资源量较少，整体上依旧处于不可持续利用水平，通过增加水资源供给保证粮食生产几乎不可行；存量稳定性方面，在中国水资源供给变为总量不变的“结构调整”模式下，粮食生产供水面临较大的竞争压力，即非农业产业挤占农业用水，粮食主产区的牲畜用水挤压灌溉用水，非耕地灌溉挤压耕地灌溉，经济作物种植挤占粮食作物种植。

第三，全国粮食生产与水资源量空间匹配状态已恶化为“极不匹配”状态，其中黄淮海地区和东北地区的匹配度最差，小麦和玉米种植方面尤为突出。全国粮食产量与粮食灌溉水量匹配程度略有恶化，但依旧处于“匹配”状态，意味着增加占全国相同比例的粮食灌溉水使得等比例的粮食产量增加，粮食灌溉水生产率地区间差异不大。不过，相对而言，北方粮食主产区粮食灌溉水生产率较高，但仍无法完全解决该地区粮食生产和水资源量的时空匹配矛盾。此外，由于全球变暖、粮食生产支持政策、乡村功能转型和农业生产结构调整，粮食生产与水资源的时空匹配程度将出现持续下降的趋势。

（二）建议

鉴于粮食生产与水资源分布利用的匹配程度将持续下降，可从农业发展模式、技术扩散角度和北方粮食主产区粮食灌溉水生产率提高等角度提出建议：

第一，北方和南方地区根据水资源禀赋需形成不同的农业发展模式。全国农业区域发展的差异化和专业化趋势不可逆转，需要走出一条独具特色的、以多元化为特征的发展道路[21]。具体来说，北方地区以水资源节约型种植为主，包括提高秋粮的种植密度、开发非常规灌溉方式、调整种植结构等，促进成本节约的规模式经营，农业发展模式向美国靠近；南方地区以土地节约型种植为主，促进高附加值的品牌式经营，包括提高粮食产量、发展小型机械、提高农业种植附加值，农业发展模式向日本靠近。此外，当前粮食生产布局形成大多是“人为”因素而非市场因素[22]，故对于不同地区需结合当地情况形成非市场干预的农业支持保护政策，理顺市场机制以提高粮食生产区域

格局与经济增长、自然资源的协调度。

第二,农业新型经营主体的节水技术扩散作用需充分发挥。一方面,农业劳动力转移导致粮食生产收益占农户总收入比重逐渐下降[23],粮食生产雨养化和外包化的现象明显;另一方面,由于粮食生产收入占比较低,大量小农户并不愿意承担气候变化、经济波动、技术应用产生的不确定性,影响其投资现代节水技术或者学习高效用水知识[24]。因此,未来粮食种植大户、合作社、社会化服务组织等是提高粮食灌溉水生产率的核心主体,通过土地托管、土地流转、参加合作社等规模化种植形式,结合农业新型经营主体的现代节水灌溉技术和管理方法,最终才能夯实节水技术扩散和粮食灌溉水生产率提高的微观基础。

第三,建设节水技术进步为核心的农业水资源管理综合管理体系,属于北方粮食主产区农业供给侧改革的核心战略。相关学者认为未来要重点提高南方地区和非粮食主产区粮食灌溉水生产率[25],但在北方地区节水灌溉技术采用率依然较低、种植规模逐渐扩大、区域化分工等既定事实下,粮食灌溉水生产率还需要进一步提高,以形成减少北方地区灌溉用水、稳定粮食产量的必要条件。为促进北方地区粮食可持续性种植,还应将农业支持政策、农业水资源市场改革和粮食产量目标结合,构建农业水资源综合管理体系,促进粮食灌溉水生产率提高后的灌溉水量下降,避免产生回弹效应反而增加灌溉水量[26]。

参考文献:

[1]JINXIA W, YANRONG L, JIKUN H, et al. Growing water scarcity, food security and government responses in China [J]. Global Food Security, 2017(14):9 - 17.

[2] LESTER R. B, BRIAN H. China's water shortage could shake world food security[J]. World Watch, 1998(4).

[3]马军. 中国水危机[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1999.

[4]郑家喜. 农业可持续发展:水资源的约束与对策[J]. 农业经济问题, 2000(9):30 - 33.

[5]王济民,张灵静,欧阳儒彬. 改革开放四十年我国粮食安全:成就、问题及建议[J]. 农业经济问题,2018(12):14 - 18.

[6]孙侦,贾绍凤,严家宝,等. 中国水土资源本底匹配状况研究[J]. 自然资源学报,2018(12):2057 - 2066.

[7]福超,张郁,刘岳琪. 水足迹视角下三江平原地区农业水土资源配置效率研究[J]. 中国农业资源与区划,2018(4):30 - 35.

[8]熊鹰,孙维筠,汪敏,等. 长株潭城市群水资源与经济发展要素的时空匹配[J]. 经济地理,2019(1):88 - 95.

[9]张吉辉,李健,唐燕. 中国水资源与经济发展要素的时空匹配分析[J]. 资源科学,2012(8):1546 - 1555.

[10]柳玉梅,李九一. 水资源与粮食生产耦合关系研究现状与展望[J]. 节水灌溉,2014(12):54 - 56.

[11]操信春,邵光成,王小军,等. 中国农业广义水资源利用系数及时空格局分析[J]. 水科学进展,2017(1).

[12]刘聪. 中国粮食生产的水资源利用特征评价[J]. 华中农业大学学报(社会科学版),2017(4):22 - 29.

[13]孙爽,杨晓光,李克南等. 中国冬小麦需水量时空特征分析[J]. 农业工程学报, 2013(15):72 - 82.

[14]裴源生,李旭东,杨明智. 21 世纪以来我国灌溉面积构成及农业种植结构变化趋势[J]. 灌溉排水学报,2018(4):1 - 8.

[15]王媛,牛志广,王伟. 基尼系数法在水污染物总量区域分配中的应用[J]. 中国人口·资源与境,2008(3):177 - 180.

[16]操信春,吴普特,王玉宝,等. 水分生产率指标的时空差异及相关关系[J]. 水科学进展, 2014(2).

[17]杨晓光, 刘志娟, 陈阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响Ⅰ. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J]. 中国农业科学, 2010(43):329 - 336.

[18]刘莹,黄季焜,王金霞. 水价政策对灌溉用水及种植收入的影响[J]. 经济学, 2015(4):1375 - 1392.

[19]孙蕊,孙萍,吴金希,等. 中国耕地占补平衡政策的成效与局限[J]. 中国人口·资源与环境, 2014(3):41 - 46.

[20]杨鑫, 穆月英. 不同地区城镇居民收入对食品消费水足迹的影响——基于 QUAIDS 模型[J]. 资源科学, 2018(5):1026-1039.
[21]张红宇. 走有中国特色的现代农业发展道路[N]. 经济日报,2019-02-27(12).
[22]田红宇,祝志勇,刘魏. 粮食"十一连增"期间生产区域格局的变化及成因[J]. 华南农业大学学报(社会科学版),2016(2):90-101.
[23]赵心源. 农户兼业背景下农户收入与粮食产量的矛盾分析及对策研究[J]. 经济师, 2018(7):61-62.
[24]冯晓龙,仇焕广,刘明月. 不同规模视角下产出风险对农户技术采用的影响——以苹果种植户测土配方施肥技术为例[J]. 农业技术经济,2018(11):120-131.
[25]FENG H, ZHONG L, BRADLEY R, et al. China's water for food under growing water scarcity[J]. Food Security, 2015(5):933-949.
[26]LISA P C Y,CYNTHIA L. Does Efficient Irrigation Technology Lead to Reduced Groundwater Extraction?: Empirical Evidence[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2014(2):189-208.

Spatial-Temporal Matching Patterns of Grain Production and Water Resources

YANG Xin, Mu Yue-ying
(*College of Economics and Management*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100083, *China*)

Abstract: From the perspective of supply and demand, grain irrigation water has been increasing in the northern main grain-producing provinces from 2000 to 2017. However, considering limitations of water resources exploitation and intense competition about water use from internal and external of agriculture, it is difficult to increase supply or maintain stability of existing grain irrigation water. Based on Gini coefficient and unbalanced index, the paper finds that spatial matching between grain production and water resources in China has been deteriorating from 2000 to 2017. Specifically, the worst matching areas are Huanghuaihai area and the Northeastern China, and the worst matching varieties are wheat and maize. There has been a matching state, which is only slightly worsening, between grain production and irrigation water input. Regionally, main food producing provinces in North have produced more grain with less irrigation water, in other words, grain irrigation water productivity of these area is high, however, which cannot have fixed problem that is unsustainable utilization of grain irrigation water in the Northeastern China. From perspective of developing, under global warming, adjustment of grain production supporting policies, transformation of rural functions and agricultural structure upgradation, it will be more challenging to promote the spatial-temporal matching of grain production and water resources in the future. Particularly, it is necessary to further improve grain irrigation water productivity of the Northern China.

Key Words: grain production; water resources; spatial-temporal matching; Gini coefficient; irrigation water