



杨建龙,王浩坤,陈红,等.黑龙江省粮食作物生产水足迹量化与脱钩效应分析[J].黑龙江农业科学,2020(9):91-96.

黑龙江省粮食作物生产水足迹量化与脱钩效应分析

杨建龙¹,王浩坤²,陈红²,秦帅²

(1.黑龙江省发展规划研究所,黑龙江 哈尔滨 150001;2.东北林业大学 经济管理学院,黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:为促进黑龙江省及各区域水资源高效利用与管理,本文运用水足迹理论和脱钩理论对2009-2017年黑龙江省粮食水足迹进行测算分析,进而运用脱钩理论探究粮食水足迹总量和产业经济发展之间脱钩状态。结果表明:黑龙江省粮食水足迹在研究期间整体呈先上升再下降趋势,变化主要受各区域粮食产量增加以及种植结构调整的影响;粮食灰水足迹在研究期间整体呈先上升后下降的趋势,灰水足迹的变化主要由于化肥的施用量减少和种植结构的调整;粮食水足迹总量与粮食产值之间整体呈现脱钩状态,并且脱钩状态由弱脱钩向强脱钩转变。因此,黑龙江省在农业绿色发展理念的基础上优化调整粮食生产结构和化肥施用量,是实现农业水资源高效利用的重要途径。

关键词:黑龙江省粮食作物;水足迹;灰水足迹;水资源;脱钩效应

2018年习近平总书记在黑龙江省农场实地考察中强调“绿色发展要有可持续性”和“中国人的饭碗任何时候都要牢牢端在自己的手上”,深刻地揭示出解决好众多中国人民吃饭问题始终是治国理政的头等大事,粮食生产不仅仅关系到农业经济发展,更是关乎国计民生和国家兴衰存亡的重大战略问题。水资源禀赋与粮食生产能力紧密相关,水资源高效利用不仅是绿色农业的必要条件,更是保护发展“绿水青山”的基础,是社会、经济、生态文明建设中的根本保障。

荷兰学者Hoekstra于2002年首次提出水足迹的概念^[1],该概念一经提出迅速受到众多专家学者的认同,水足迹表示特定范围内单位产品或单位时间内生产生活所消耗的水资源量,而作物的生产水足迹则是具体指作物在单位产量下,全周期发育过程中所消耗的水量^[2]。粮食作物生产过程中的水足迹能够反映出粮食生产与用水之间的关系,尤其能为农业水资源可持续发展研究方面提供数据支持,完善对农业水资源的科学评价与管理^[3-6]。在粮食生产用水与产业发展的评价方法上,部分学者采用脱钩理论与水足迹相结合分析水资源利用与经济发展的相关性^[7-8]。脱钩

理论认为经济增长与资源利用程度之间存在两种关系,一种被称之为耦合,另一种被称之为脱钩。耦合顾名思义就是指代资源利用程度伴随经济的增长而增加,脱钩则恰恰相反,资源利用程度随着经济的增长反而减少。脱钩又包括相对和绝对之分,相对脱钩状态是指经济增长时,资源利用程度以较低比率增长,绝对脱钩状态是指经济增长的同时,资源利用程度的增长率减少。由此可见,绝对脱钩状态是目前众多追求资源与经济协调发展的一种最佳状态。

综上所述,本文基于水足迹理论计算2009-2017年黑龙江省13个区域和农垦总局的水足迹,分析其时间变化特征和空间分布特征,并基于脱钩理论定量识别粮食生产用水与产业经济协调发展的程度,以期对黑龙江省农业水资源高效利用与管理提供科学借鉴。

1 数据来源与方法

1.1 数据来源

本文研究区域为黑龙江省13个地区和农垦总局,研究数据为2009-2017年黑龙江省14个区域内水稻、玉米和大豆的水足迹和灰水足迹。水足迹测算的基础数据源自中国气象数据网、《黑龙江(市)农村经济社会统计概要》、联合国粮农组织数据库(FAOLEX)和前人研究成果;为获得相对准确的粮食总产值数据,将农业总产值按粮食播种面积所占农业播种面积比重进行调整。

1.2 粮食水足迹计算方法

本文粮食水足迹测算采用联合国粮农组织推

收稿日期:2020-04-12

基金项目:黑龙江省经济社会发展重点研究项目(19028)。

第一作者:杨建龙(1990-),男,硕士,助理研究员,从事农村经济研究。E-mail:748411722@qq.com。

通信作者:王浩坤(1990-),男,在读博士,从事农业环境经济研究。E-mail:13836000386@163.com。

荐的彭曼公式计算方法,以黑龙江省主要生产的水稻、玉米和大豆为研究对象,运用 CropWat 8.0 软件测算 3 种粮食生长过程中的蒸散量,并通过相关参数计算粮食作物的蒸发蒸腾量,再结合各粮食作物的生长周期、单位面积产量和总产量确定三类粮食的水足迹^[9-13]。由于农垦总局下属农场在黑龙江省管辖的 12 个地区分布,故作物蒸发蒸腾量取全省均值。

粮食灰水足迹指粮食在生产过程中使用的化学投入品对水体造成污染,需要通过自然水将污染稀释成达标水环境所需要的水量。本文关于粮食灰水足迹计算方法采用张郁等^[3]测算方法,由于氮肥具有淋失量高且施用比例大的特点,故本文以氮肥中的氮元素作为粮食灰水足迹的污染物,其中黑龙江全省水稻、玉米和大豆的氮肥的淋溶率和单位面积平均施氮量采用相关研究获得的数据^[3,14-18],水环境最大容许浓度以《地下水质量

标准》中不高于 20 mg·L⁻¹ 为准,自然容许浓度取 0。

1.3 粮食生产用水脱钩模型

脱钩分析模型普遍采用的主要有 OECD 脱钩模型和 Tapio 脱钩模型。Tapio 模型利用弹性系数的大小来判断变量之间的脱钩关系,克服了 OECD 模型在基期选择上的不足,鉴于此本文选择 Tapio 脱钩模型对粮食水足迹总量与粮食产值之间的脱钩关系进行分析,水足迹总量表示粮食水足迹和粮食灰水足迹相加总值。粮食水足迹总量 Tapio 脱钩模型如下:

$$e = \frac{(\Delta W/W)}{(\Delta GOV/GOV)}$$

(1)

式中, e 表示脱钩弹性系数; ΔW 和 ΔGOV 分别表示粮食水足迹总量和粮食产值的变化;根据脱钩弹性系数的取值,脱钩状态可划分为 8 种不同的类型,详见表 1。

表 1 脱钩弹性系数的 8 种类型
Table 1 Eight states of decoupling elastic coefficient

	状态 State	$\Delta W/W$	$\Delta GOV/GOV$	弹性系数 e Elastic coefficient e
负脱钩 Negative decoupling	弱负脱钩 Weak negative decoupling	<0	<0	$0 \leq e < 0.80$
	强负脱钩 Strong negative decoupling	>0	<0	$e < 0$
	扩张负脱钩 Extended negative decoupling	>0	>0	$e > 1.20$
脱钩 Decoupling	衰退脱钩 Recession decoupling	<0	<0	$e > 1.20$
	强脱钩 Strong decoupling	<0	>0	$e < 0$
	弱脱钩 Weak decoupling	>0	>0	$0 \leq e < 0.80$
连接 The connection	增长连接 Growth in connection	<0	<0	$0.80 \leq e \leq 1.20$
	扩张连接 Expansion connection	>0	>0	$0.80 \leq e \leq 1.20$

1.4 数据分析

本文关于粮食水足迹的测算采用联合国粮农署推出的 CropWat 8.0 软件,其他数据都是基于 Excel 2013 进行的测算。

2 结果与分析

2.1 黑龙江省粮食生产过程水足迹和灰水足迹分析

根据上述粮食作物水足迹和灰水足迹的计算方法得到 2009-2017 年黑龙江省 14 个区域内水稻、玉米和大豆的水足迹和灰水足迹详见表 2。

如表 2 所示,黑龙江省粮食水足迹量在 2009-2017 年间呈先上升后下降的趋势,2009 年为最低值 551.15 亿 m³,2012 年达到最高值 692.05 亿 m³,

然后降至 2017 年的 569.14 亿 m³,粮食水足迹的具体变化趋势如图 1 所示。从粮食水足迹在全省的分布上看,农垦总局最多,占比高达 27%,其余较多的地区依次为哈尔滨、绥化和齐齐哈尔地区,这四个地区总量占全省总量的 70%左右。其中粮食水足迹最少的地区为七台河和大兴安岭地区,占比皆不足 1%。

总体上可知,随着黑龙江省粮食种植业的加速发展,在粮食产量不断提升的势头下,单位粮食水足迹呈现下降趋势,表明水资源利用率得到很大提升,造成这样现象的主要原因是:第一,农业政策的引导和助力。2009 年以来,国家对支农惠农政策支持力度不断加大,从产粮大县直接奖励

表 2 2009-2017 年黑龙江省粮食水足迹和灰水足迹计算结果

Table 2 Results of grain water footprint and grey water footprint calculation in Heilongjiang Province from 2009 to 2017

项目 Items	地区 Location	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
粮食生产 水足迹 Water footprint of grain production/ 亿 m ³	哈尔滨	93.92	102.67	109.07	113.93	88.75	90.99	90.16	83.42	78.29
	齐齐哈尔	70.83	80.54	80.08	90.76	77.67	77.56	76.57	70.81	69.60
	鸡西	19.71	22.48	21.83	23.10	19.26	20.60	20.85	19.03	18.07
	鹤岗	5.40	6.32	7.38	8.09	6.38	7.44	7.29	7.22	7.21
	双鸭山	15.92	17.53	16.90	17.92	17.23	17.42	17.19	16.95	16.58
	大庆	22.28	29.23	31.43	36.72	29.74	30.11	29.94	23.95	23.76
	伊春	8.67	10.04	10.32	9.99	6.78	8.27	8.63	7.99	7.99
	佳木斯	46.50	52.06	57.82	68.52	50.73	58.12	56.63	53.73	50.81
	七台河	5.86	6.57	5.94	5.98	4.89	5.58	5.81	5.60	5.36
	牡丹江	20.35	23.44	20.70	22.76	21.15	20.72	20.27	18.36	17.83
	黑河	29.80	31.59	30.51	28.85	27.37	36.72	36.75	37.72	35.60
	绥化	75.64	89.46	92.51	100.28	79.71	83.81	85.46	79.13	75.61
	大兴安岭	3.77	5.01	4.98	5.01	2.80	4.51	5.70	3.37	3.93
	农垦总局	132.50	144.81	155.11	160.15	155.61	165.66	163.41	163.24	158.50
	合计	551.15	621.76	644.59	692.05	588.06	627.49	624.65	590.51	569.14
	环比增速/%	11.02	12.81	3.67	7.36	−15.03	6.71	−0.45	−5.47	−3.62
粮食生产 灰水足迹 Grain production grey water footprint/ 亿 m ³	哈尔滨	18.46	19.16	19.94	21.07	21.77	21.49	22.69	21.92	22.96
	齐齐哈尔	16.91	17.28	18.93	20.58	22.89	22.01	23.53	21.37	20.04
	鸡西	3.50	3.76	4.31	4.86	5.18	5.18	5.36	4.34	4.10
	鹤岗	1.59	1.64	1.99	2.03	2.00	1.84	2.12	2.03	1.58
	双鸭山	3.15	3.54	4.30	4.56	4.55	4.33	4.71	4.23	3.43
	大庆	6.58	7.45	7.57	7.83	8.00	8.26	8.56	7.20	7.57
	伊春	1.17	1.22	1.34	1.55	1.55	1.38	1.50	1.45	0.70
	佳木斯	7.55	8.62	10.50	10.62	12.92	11.49	13.49	12.68	10.51
	七台河	1.28	1.31	1.50	1.72	1.83	1.89	1.99	1.91	2.00
	牡丹江	3.71	3.80	4.57	4.89	4.95	5.04	5.86	4.92	4.83
	黑河	2.80	3.08	3.12	3.87	6.35	6.66	8.46	5.55	2.18
	绥化	17.33	18.06	19.94	21.72	22.39	19.93	21.34	19.78	19.29
	大兴安岭	0.33	0.31	0.33	0.37	0.46	0.47	0.56	0.50	0.03
	农垦总局	20.21	22.36	24.33	25.32	25.86	26.71	27.21	24.33	21.70
	合计	104.56	111.58	122.65	131.00	140.70	136.68	147.38	132.22	120.94
	环比增速/%	22.04	6.71	9.92	6.80	7.41	−2.85	7.82	−10.28	−8.54

政策,到实行粮食最低收购价的调控政策,以及对
农业农村基础设施建设和农村社会事业发展的支持
和促进政策,都极大释放了农民的种粮热情和
生产要素活力,黑龙江省粮食播种面积从 2009 年
1 212.2 万 hm²扩大到 2017 年的 1 415.4 万 hm²,粮
食产量也由 4 788.9 万 t 升至 7 410.3 万 t,粮食
的不断增产直接造成粮食水足迹的增加。第二,
粮食种植结构的调整。由于单位大豆水足迹平均
约为水稻 2.8 倍、玉米 4 倍,单位大豆水足迹远远
高于水稻和玉米,种植结构的变化直接影响水足

迹的变化。粮食种植结构的变化主要由于黑龙江省粮食产量实现“十五连丰”的同时,一方面受国际粮食市场价格的冲击,WTO“黄箱”补贴接近到顶,托市收购难以为继,造成“国货入库、洋货入市”的局面,为确保国家粮食安全,通过种植补贴政策对粮食结构的调整事关重大;另一方面农村市场化发展造成农民选择种植收益较大的水稻和玉米,而水稻受自然条件限制,玉米和大豆成竞争作物,特别是2009-2015年间黑龙江省大豆种植面积不断减少,玉米种植面积不断增加,随着《2016年黑龙江省玉米改种大豆轮作补贴试点工作实施方案》推出后,连续两年大豆种植面积增加,玉米种植面积减少,这一点在粮食水足迹变化中也得到了印证。第三,粮食生产条件的改善和农业技术进步的提升。粮食生产条件的改善和农业技术进步的提升能够提高粮食生产效率的同时减少生产过程中的损失,进而降低单位粮食水足迹。具体来说,2004-2017年连续十四年发布以

“三农”为主题的中央一号文件,确定农业基础地位不动摇,保障农业现代化的加快推进,在此期间黑龙江省粮食生产不断发挥农业装备水平领先,科技贡献率高的优势,确保了粮食的稳产增产。

研究期间黑龙江省粮食灰水足迹整体呈先上升后下降的趋势(图2,表2),从2009年最低点104.56亿 m^3 升至2015年最高点147.38亿 m^3 ,然后连续下降至120.94亿 m^3 。其主要原因在于粮食生产过程中化肥施用量的不断增加,据统计黑龙江省化肥施用量由2009年的198.87万t增加到2015年255.31万t,随着国家推行2020年化肥使用量“零增长”政策要求,全省在绿色发展理念下积极发展资源节约型、环境友好型、生态循环型农业,提前完成化肥施用量不增长的任务。从粮食灰水足迹的构成中,玉米生产灰水足迹最多,研究期间约占66%,水稻约占26%,大豆生产灰水足迹最少,仅为8%。

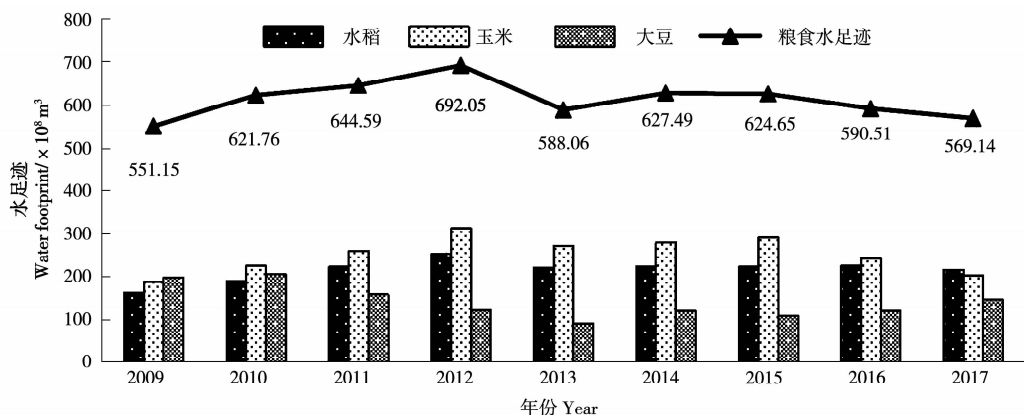


图1 2009-2017年三种粮食作物水足迹变化

Fig. 1 Water footprint changes of three food crops from 2009 to 2017

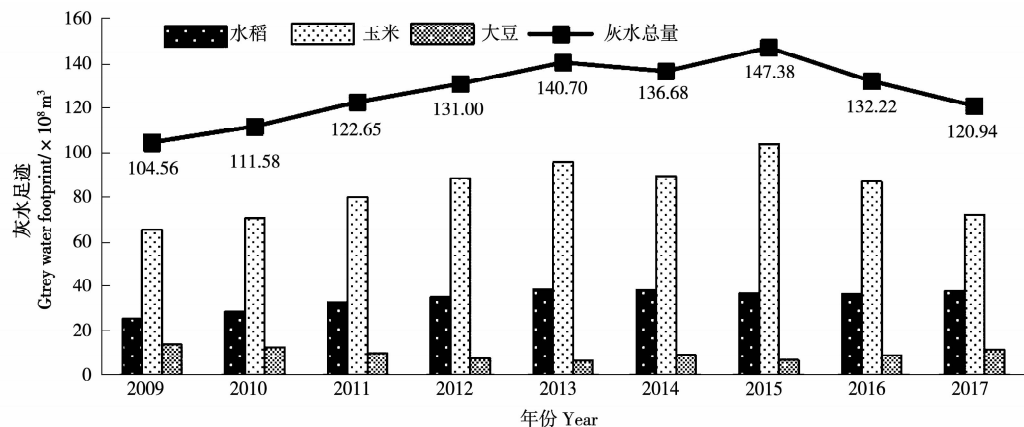


图2 2009-2017年三种粮食灰水足迹变化

Fig. 2 Grey water footprint changes of three food crops from 2009 to 2017

2.2 粮食水足迹总量与产业经济发展脱钩状况分析

依据公式(1)及表 1 的研究结果,计算出 2009-2017 年黑龙江省粮食水足迹总量与粮食产值之间的脱钩弹性指数详见表 3。

表 3 2009-2017 年黑龙江省粮食水足迹总量脱钩状态

Table 3 Decoupling of grain production water in Heilongjiang Province from 2009 to 2017

年份	$\Delta W/W$	$\Delta GOV/GOV$	弹性系数 e	脱钩状态
2009-2010	0.118	0.162	0.733	弱脱钩
2010-2011	0.046	0.347	0.133	弱脱钩
2011-2012	0.073	0.316	0.230	弱脱钩
2012-2013	-0.115	0.263	-0.436	强脱钩
2013-2014	0.049	0.081	0.601	弱脱钩
2014-2015	0.010	-0.011	-0.896	强负脱钩
2015-2016	-0.064	0.010	-6.150	强脱钩
2016-2017	-0.045	0.088	-0.512	强脱钩

根据黑龙江省粮食水足迹总量与粮食产值之间的 Tapio 脱钩弹性系数,将 2009-2017 年黑龙江省粮食水足迹总量与粮食产值之间的脱钩状态分为 3 个阶段。

2.2.1 强脱钩期 黑龙江省粮食水足迹总量与粮食产值之间处于强脱钩期的时期分别为 2012-2013 年间、2015-2017 年间,各期间粮食生产用水表现为使用量减少产值增加。2013 年由于粮食种植结构短暂的调整,导致粮食生产用水规模的下降;2015-2017 年间在粮食结构不断调整的背景下,黑龙江省积极推行“化肥使用量零增长行动”,实现化肥使用量零增长,进而减少了粮食种植过程中灰水的污染。

2.2.2 强负脱钩期 2015 年黑龙江省粮食水足迹总量与粮食产值之间处于强负脱钩状态。2015 年秋粮收购价格整体走低,其中水稻收购价受市场价格影响变化不大,大豆收购价格低于上年同期价格,玉米种植收益下降明显,整体种植效益下降约两成^[19];黑龙江省是国家主要的大豆、水稻和玉米生产区,粮食产值受到较大的影响。

2.2.3 弱脱钩期 黑龙江省粮食水足迹总量与粮食产值之间处于弱脱钩期的时期分别为 2009-2012 年间、2013-2014 年间,各期间粮食产值增长速度明显大于粮食生产用水量。从研究期间总体

上看,弱脱钩期占一半左右,期间农田灌溉面积的提高、节水灌溉面积的提升、循环节水技术的规模应用和产业结构的调整带动粮食产值保持较高的增长速度。

3 结论与建议

3.1 结论

黑龙江省粮食水足迹总量在研究期间整体呈现先上升再下降趋势,变化主要原因是虽然黑龙江粮食产业受国家农业政策引导助力得到快速发展,但加入 WTO 后粮食价格受到国内外市场的双重挤压,随着中美贸易战的持续发酵,有必要调整粮食种植结构确保国家粮食安全,并且单位大豆水足迹远高于水稻和玉米,由此造成粮食水足迹总量的变化。在各区域的粮食水足迹中,农垦总局粮食水足迹最多,占比高达 27%,其余较多的地区依次为哈尔滨、绥化和齐齐哈尔地区,这四个地区总量占全省总量的 70%左右。

黑龙江省粮食灰水足迹在研究期间整体呈上升后下降的趋势,从 2009 年最低点 104.56 亿 m³ 升至 2015 年最高点 147.38 亿 m³,然后连续下降至 120.94 亿 m³,粮食灰水足迹的变化主要由于化肥的施用量和种植结构的直接影响,在种植结构中粮食灰水足迹主要受玉米种植的影响最大。

黑龙江省粮食水足迹总量脱钩状态分析结果表明研究期间黑龙江省粮食水足迹总量与粮食产值之间除个别时期外,整体呈现脱钩状态,并且脱钩状态由弱脱钩向强脱钩转变,说明通过政策调节和技术推广,粮食经济与水资源绿色协调发展的目标是可以实现的。

3.2 建议

基于以上结论,为进一步提升黑龙江省粮食水资源利用效率,提出以下建议:第一,针对各区域粮食水足迹和灰水足迹的空间差异性,依据粮食水足迹和灰水足迹的特点制定符合当地的区域用水政策;积极落实水资源管理制度,正确处理粮食生产与环境保护、用水需求与严格水资源管理之间的关系,加快农业水价综合改革,建立农业水资源监控体系,促进水资源高效利用。第二,坚决贯彻化肥农药零增长政策,逐步减少化肥施用量,采用生物质化肥和有机化肥替换传统化肥,从施用源头减少农业水资源的污染。

参考文献:

[1] Lovarelli D, Bacenetti J F M. Water Footprint of crop pro-

- ductions; A review[J]. The Science of the Total Environment, 2016(3):548-549.
- [2] Hoekstra A Y, Chapagain A K, Aldaya M M, et al. The water footprint assessment manual-setting the global standard[M]. London: Earthscan, 2011.
- [3] 张郁, 张峥, 苏明涛. 基于化肥污染的黑龙江垦区粮食生产灰水足迹研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(7):28-32.
- [4] 孙世坤, 王玉宝, 刘静, 等. 中国主要粮食作物的生产水足迹量化及评价[J]. 水利学报, 2016, 47(9):1115-1124.
- [5] 苏明涛, 张郁, 靳英华. 吉林省主要农作物的生产水足迹研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(7):26-30.
- [6] 操信春, 吴普特, 王玉宝等. 中国灌区粮食生产水足迹及用水评价[J]. 自然资源学报, 2014, 29(11):1826-1835.
- [7] 潘忠文, 徐承红. 我国水资源利用与经济增长脱钩分析[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2019, 18(2):97-108.
- [8] 张炜, 覃求. 水足迹视角下陕西省种植业水资源利用评价及经济发展脱钩分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(1):153-162.
- [9] 李莹, 毛世峰, 张勇. 基于虚拟水理论的黑龙江省主要农产品虚拟水价值研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(19):244-247.
- [10] 谭智湘, 张忠学, 聂堂哲. 东北半干旱地区膜下滴灌玉米生产水足迹研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(9):36-42.
- [11] 聂堂哲, 张忠学, 林彦宇, 等. 1959-2015 年黑龙江省玉米需水量时空分布特征[J]. 农业机械学报, 2018, 49(7):217-227.
- [12] 黄姣, 高阳, 李双成. 东北三省主要粮食作物虚拟水变化分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2011, 47(3):505-512.
- [13] 杨飞, 姚作芳, 宋佳, 等. 松嫩平原作物生长季气候和作物生育期的时空变化特征[J]. 中国农业气象, 2012, 33(1):18-26.
- [14] 黄成亮. 施氮量对不同秧苗素质粳 5 号产量的影响[J]. 北方水稻, 2018, 48(5):11-14.
- [15] 汪秀志, 刘崇文, 许谊强, 等. 施氮量与氮肥配置对寒地水稻产量及产量构成因素的影响[J]. 四川农业大学学报, 2012, 30(4):379-386.
- [16] 米国华, 伍大利, 陈延玲, 等. 东北玉米化肥减施增效技术途径探讨[J]. 中国农业科学, 2018, 51(14):2758-2770.
- [17] 焦晓光, 王晓军, 徐欣, 等. 秸秆覆盖条件下不同施氮水平对春玉米产量及氮肥利用率的影响[J]. 土壤与作物, 2018, 7(2):242-247.
- [18] 王家军, 刘杰, 张瑞萍, 等. 沼渣与化肥配合施用对大豆生长发育、产量和品质的影响[J]. 大豆科学, 2012, 31(1):96-98.
- [19] 陈红, 王浩坤, 秦帅. 农业碳排放的脱钩效应及驱动因素分析——以黑龙江省为例[J]. 科技管理研究, 2019, 39(17):247-252.

Quantification and Decoupling Effect Analysis of Water Footprint of Grain Crop Production in Heilongjiang Province

YANG Jian-long¹, WANG Hao-kun², CHEN Hong², QIN Shuai²

(1. Heilongjiang Development Planning Institute, Harbin 150001, China; 2. School of Economics and Management, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: In order to promote the efficient use and management of water resources in Heilongjiang Province and various regions, this paper uses water footprint theory and decoupling theory to measure and analyze the grain water footprint in Heilongjiang Province from 2009 to 2017, and then uses the decoupling theory to explore the total food and water footprint and industrial economic development. The results showed that the grain and water footprint of Heilongjiang Province first increased and then declined during the study period, and the changes were mainly affected by the increase in grain production and the adjustment of planting structure in the regions; the grey water footprint of the grain showed a downward trend after the rise during the study period. The change in footprint was mainly due to the decrease in the amount of fertilizer applied and the adjustment of the planting structure; the overall decoupling state between the total food and water footprint and the grain output value, and the decoupling state changes from decoupling to strong decoupling. Therefore, Heilongjiang Province optimizes the adjustment of grain production structure and fertilizer application based on the concept of agricultural green development, which is an important way to achieve efficient use of agricultural water resources.

Keywords: grain crops in Heilongjiang Province; water footprint; grey water footprint; water resources; decoupling effect