

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2021.02.012

基于 Nerlove 方法的塔里木河流域农业水资源配置模型

李东林¹, 左其亭^{1,2,3}, 张 伟³, 马军霞^{1,3}

(1. 郑州大学水利科学与工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州大学水科学研究中心, 河南 郑州 450001;
3. 郑州市水资源与水环境重点实验室, 河南 郑州 450001)

摘要: 收集 2006—2017 年塔里木河流域 5 地州的 3 种主要农作物价格和种植面积数据, 运用 Nerlove 模型预测未来小麦、玉米和棉花的种植面积, 并将预测值作为输入数据引入到水资源配置中, 以区域农业用水经济收益最大为目标, 考虑可用水量、最大最小灌溉用水需求等约束, 构建农业水资源优化配置模型。结果表明: Nerlove 模型可以很好地反映大多数农作物与价格的供给响应关系; 相较于现状年, 5 地州 3 种农作物规划年的预测种植面积, 除了和田的玉米出现负增长, 其他地州均为正增长; 分配总水量为 185.622 万 m^3 , 且空间分配极不均匀; 总收益为 103.865 亿元, 农作物分配水量越多, 其经济收益越高。

关键词: Nerlove 模型; 种植面积; 农业水资源配置模型; 塔里木河流域

中图分类号: TV213.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-6933(2021)02-0075-06

Agricultural water resources allocation model in Tarim River Basin based on Nerlove approach // LI Donglin¹, ZUO Qiting^{1,2,3}, ZHANG Wei³, MA Junxia^{1,3} (1. School of Water Conservancy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Center for Water Science Research, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3. Zhengzhou Key Laboratory of Water Resource and Environment, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The price and planting area data of three main crops in five regions of the Tarim River Basin from 2006 to 2017 were collected, and the planting area of wheat, corn and cotton were predicted by using the Nerlove model. In order to maximize the economic benefit of regional agricultural water use, the optimal allocation model of agricultural water resources is constructed by taking the predicted value as input data and considering the constraints of available water and the maximum and minimum irrigation water demand. The results show that the Nerlove model can well reflect the supply response relationship between most crops and price; the projected acreage for the three crops in the five regions in the planning year was positive except for the negative increase in corn in Hotan compared to the current year. The total amount of water distributed was 1.85622 million m^3 , and the spatial distribution was very uneven; the total revenue was 10.3865 billion yuan. The more water distributed by crops, the higher the economic revenue was.

Key words: Nerlove model; planting area; agricultural water resources allocation model; Tarim River Basin

随着人口增长、城市扩张和经济社会发展, 水资源的需求逐步增加, 导致其供需矛盾更加突出^[1-2]。水资源短缺危机进一步威胁到世界上许多国家的农业生产, 特别是在发展中国家, 如何科学合理地管理农业水资源是人类面临的重要挑战之一^[3-4]。因此, 需要考虑供水端、需水端和行政部门等多方面因素制定更有效可靠的水资源规划方案, 以帮助改善农业生产计划。农业水资源优化配置研究一直以复杂

的多目标模型和先进的模型求解算法等研究居多^[5-8], 容易忽视水资源配置的基础研究即供需水预测。常用的定额法推算农业需水可能存在预测偏大等问题^[9], 这与水资源高效节约利用的目标是背道而驰的。定额法涉及用水定额、灌溉面积和灌溉水利用系数^[10], 其中任何一个参数值的变化都会使计算结果产生波动, 从而影响所预测需水量的准确性。实际农业生产中, 农户通常根据农作物市场价格的

基金项目: 国家自然科学基金(U1803241, 51779230)

作者简介: 李东林, (1993—), 男, 博士研究生, 主要从事水文水资源研究。E-mail: lidonglin@163.com

通信作者: 左其亭(1967—), 男, 教授, 博士, 主要从事水文水资源研究。E-mail: zuoqt@zzu.edu.cn

动态变化来调整农作物种植面积,这给需求预测带来了不确定性。Nerlove 开发了一系列模型来描述农作物种植面积和市场价格之间的供给响应关系^[11],在农业生产计划制定中应用广泛。李晨曦等^[12]基于 Nerlove 模型测算了吉林省玉米种植面积与出售价格、成本、大豆和水稻单位面积收益比值之间的供给反应,结果表明当地玉米种植面积对价格变化的反映并不敏感。刘宏曼等^[13]运用 Nerlove 模型建立了我国大豆种植面积与价格的回归模型,发现种植面积与上一年度的种植面积、价格呈正相关关系。李丽等^[14]利用我国稻谷、小麦最低收购价和玉米临储收购价数据,结合 Nerlove 模型构建了几种农作物的种植面积函数来分析价格政策对农户生产积极性的影响。总的来看,Nerlove 模型是预测农作物种植面积的有效工具^[15],但是目前关于整合 Nerlove 模型和水资源优化配置模型来同时规划农业种植面积和灌溉用水量的研究较少。Nerlove 模型通过市场经济波动比较准确地预测未来农业种植面积,有效解决了农业需水预测的不确定性问题,增强了农业水资源配置模型的适用性。

本文将 Nerlove 模型预测的农作物种植面积作为输入数据引入水资源配置中,构建农业水资源优化配置模型,以制定合理的农业用水规划方案,以期为塔里木河流域农业水资源配置提供新思路,优化当地农业生产种植计划,促进农业水资源高效利用。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

塔里木河是我国最长的内陆河,流域坐标为 73°10'E ~ 94°5'E、34°55'N ~ 43°8'N,北倚天山,西临帕米尔高原,南靠昆仑山、阿尔金山,三面高山耸立,地势西高东低^[16]。流域总面积 102 万 km²,流经巴音郭楞蒙古自治州(以下简称“巴州”)、阿克苏地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州(以下简称“克州”)、喀什地区和和田地区等,2017 年年末总人口 1 158 万人,耕地面积 199 万 hm²,总用水量 328 亿 m³,占全疆总人口、总耕地面积和总用水量的比例分别为 50.6%、38.9% 和 59.4%。其中,塔里木河流域农业用水量占总用水量的比例高达 95%,用水结构存在较大的调整空间,农业生产计划也需要进一步优化。此外,在经济社会方面,塔里木河流域 GDP 占全疆的 28.6%,人均 GDP 为新疆平均水平的 66.7%,且城镇化水平低,经济社会发展总体上较为落后。总之,塔里木河流域是典型的干旱地区,气候干燥,降水条件较差,同时蒸发极其强烈,造成水资源禀赋差;生产水平低,以第一产业为主,经济发

展缓慢;生态环境脆弱,易受人类活动或气候变化的干扰^[17-19]。因此,合理高效的农业生产计划和水资源分配方案对该区域经济社会可持续发展和生态环境保护十分重要。

1.2 数据来源

塔里木河流域主要农作物包括小麦、玉米、棉花、水稻、油料、蔬菜和瓜果等,其中小麦、玉米和棉花的种植面积和灌溉用水量占种植总面积和灌溉总用水量的比例较高,且存在较完整的长时间序列数据,因此,考虑农作物代表性和数据可获得性,选择小麦、玉米和棉花这 3 种农作物作为研究对象。2006—2017 年小麦、玉米和棉花的出售价格、成本和排灌费数据来源于《全国农产品成本收益汇编》,本文采用的实际价格数据均按照居民消费价格指数(CPI)进行平减,以消除通货膨胀的影响^[20]。2006—2017 年农作物种植面积数据来源于《新疆统计年鉴》,水资源数据来源于《新疆水资源公报》和《新疆统计年鉴》。

2 模型构建

2.1 Nerlove 供给响应理论

在经济学领域,大多数理论和模型方法都是基于经济效益角度,其目的仅仅是使生产中的个人利益最大化。因此,农户作为耕地的所有者,理论上将根据预期的农作物价格调整农作物种植面积,以实现经济收益最大化。为了描述预期的农作物价格对种植面积的影响,Nerlove^[21]在 1956 年提出了一种供给响应模型,将预期价格与实际价格之间的关系表示为

$$P_t^* - P_{t-1}^* = \beta(P_{t-1} - P_{t-1}^*) \quad (1)$$

式中: P_t^* 、 P_{t-1}^* 分别为 t 时期和 $t-1$ 时期的预期价格; P_{t-1} 为 $t-1$ 时期的实际价格; β 为供给调整系数或期望价格形成因子,为 0~1 之间的一个常数。通过迭代方程(1),可以得到以下公式:

$$P_t^* = \beta P_{t-1} + (1 - \beta)\beta P_{t-2} + (1 - \beta)^2 \beta P_{t-3} + \dots \quad (2)$$

式中 P_{t-2} 、 P_{t-3} 分别为 $t-2$ 时期和 $t-3$ 时期的实际价格。由式(2)可知, t 时期的预期价格为前期实际价格的加权平均。为了描述预期价格形成的机理,假定期望价格与农作物种植面积之间的关系是线性的^[20]:

$$A_t = \alpha_0 + \alpha_1 P_t^* + u_t \quad (3)$$

式中: α_0 、 α_1 为系数; u_t 为 t 时期的随机残差。将式(3)代入式(1),并令 $q_0 = \alpha_0 \beta$, $q_1 = \alpha_1 \beta$, $q_2 = 1 - \beta$, 可得:

$$A_t = q_0 + q_1 P_{t-1} + q_2 A_{t-1} + u_t \quad (4)$$

式(4)显示了价格如何影响农作物种植面积,为了确保随机残差正态分布,对式(4)两边同时取对数可得:

lnA_t = r₀ + r₁lnP_{t-1} + r₂lnA_{t-1} + v_t (5)

式中:v_t为u_t取对数值,为常数;r₀为q₀取对数的值,为常数。式(5)即为 Nerlove 模型公式,本文根据塔里木河5地州3种农作物种植面积和实际价格数据,基于 Nerlove 模型预测未来种植面积,从而有效帮助制定区域农业生产计划。

2.2 农业水资源优化配置模型

基于研究区现状农业用水量、经济效益和成本等参数,以区域经济收益最大为目标,将 Nerlove 模型计算的种植面积数据作为水资源规划模型的输入,建立基于 Nerlove 方法的塔里木河流域农业水资源配置模型。目标函数为

maxB = ∑_{i=1}⁵ ∑_{j=1}³ P_jA_{ij}Y_{ij} - C_jA_{ij}Y_{ij} - W_{ij}A_{ij}I_j (6)

式中:B为塔里木河流域经济收益,元;P_j为农作物价格,元/kg;A_{ij}为农作物种植面积,hm²;Y_{ij}为农作物产量,kg/hm²;C_j为农作物成本,元/kg;W_{ij}为区域分配的水资源量,m³/hm²;I_j为排灌费,元/m³;下标i=1,2,3,4,5分别表示巴州、阿克苏、克州、喀什、和田,j=1,2,3分别表示小麦、玉米、棉花。

农作物产量和灌溉水量的关系^[22]为

Y_{ij} = aW_{ij}² + bW_{ij} + c (7)

式中系数a、b、c的取值参考文献[20]。

考虑水资源的可获取性、不同农作物灌溉需水预测等,可建立可用水量约束、最大灌溉需水量约束、最小灌溉需水量约束和非负约束如下:

∑_{i=1}⁵ ∑_{j=1}³ W_{ij} ≤ T (8)

W_{ij} ≤ W_{max} (9)

W_{ij} ≥ W_{min} (10)

W_{ij} ≥ 0 (11)

式中:T为塔里木河流域农业供水总量,m³,参考2017年供水量取值;W_{max}、W_{min}分别为5地州3种农作物的最大灌溉需水量和最小灌溉需水量,分别通过基本灌溉定额和其上/下限系数计算得到。基本灌溉定额和上/下限系数均来自新疆维吾尔自治区农业灌溉用水定额-自治区地方标准。

3 结果与分析

3.1 农作物种植面积预测

将农作物种植面积及价格数据进行对数处理后,运用 EViews7.2 软件进行单位根检验和 Johansen 协整检验,发现 lnA_t、lnP_{t-1}和 lnA_{t-1}为不平稳变量,其一阶差分为整平稳变量,lnA_t、lnP_{t-1}和 lnA_{t-1}存在协整关系。由此可知,对式(5)的3个变量建立回归模型不存在伪回归问题,通过 EViews7.2 进行 OLS 估计参数可以获得5地州的3种农作物的 Nerlove 模型。表1为 Nerlove 模型参数,其中R²是决定系数,其取值可以反映拟合的优劣,取值越接近1,则拟合效果越好。R²的取值范围为0.67~0.94,说明大多数地区的拟合程度较好。此外,通过联合假设检验来获得P值,以判断参数是否适合于估计模型,1-P的值反映了获得的模型为真实模型的可能性。可以看出,Nerlove 模型可以很好地反映大多数农作物种植面积与实际价格的供给响应关系,表明种植面积的规划与农作物的实际

表1 Nerlove 模型参数及预测面积

Table 1 Nerlove model parameters and predicted area

行政区	农作物	Nerlove 模型参数			R ²	(1-P)/%	2018 年预测 面积/万 hm ²	2017 年 现状面积/ 万 hm ²	变化值/ 万 hm ²	变化率/%
		r ₀	r ₁	r ₂						
巴州	小麦	1.837	0.242	0.448	0.672	99.5306	4.726	4.354	0.372	8.54
	玉米	0.907	0.715	0.571	0.726	99.7683	3.076	2.921	0.155	5.31
	棉花	0.175	0.134	0.900	0.931	99.9991	25.087	23.959	1.128	4.71
阿克苏	小麦	2.976	0.417	0.288	0.812	99.9486	14.404	14.071	0.333	2.37
	玉米	2.515	0.075	0.407	0.754	99.8489	7.380	6.921	0.459	6.63
	棉花	0.486	-0.030	0.945	0.776	99.8971	55.266	52.726	2.540	4.82
克州	小麦	1.988	0.376	0.720	0.921	99.9984	3.062	2.961	0.101	3.41
	玉米	0.770	0.253	0.692	0.889	99.9939	2.376	2.355	0.021	0.89
	棉花	-0.176	0.153	0.890	0.668	99.4994	1.071	1.032	0.039	3.78
喀什	小麦	2.546	0.137	0.504	0.929	99.9989	24.486	24.225	0.261	1.08
	玉米	1.305	0.052	0.746	0.925	99.9987	19.656	19.518	0.138	0.71
	棉花	-0.010	0.202	0.911	0.733	99.7943	47.770	44.408	3.362	7.57
和田	小麦	1.762	0.073	0.590	0.936	99.9993	9.346	9.339	0.007	0.08
	玉米	1.565	0.027	0.632	0.844	99.0760	7.511	7.522	-0.011	-0.15
	棉花	1.297	0.128	0.500	0.832	99.9679	2.834	2.724	0.110	4.04

价格高度相关。如果当地政府部门要调整农作物种植面积,就应该更加重视农作物价格的变化。

如表 1 所示,规划年 2018 年预测种植面积与现状年 2017 年种植面积进行对比可知,3 种农作物在各地变化值范围在 -0.011 万 ~ 3.362 万 hm^2 ,变化率处于 $-0.15\% \sim 8.54\%$ 之间。除和田玉米种植面积负增长外,其余地州各农作物种植面积均是正增长。其中,喀什棉花种植面积增加量最高,达到 3.362 万 hm^2 ,巴州小麦种植面积增加率最大,为 8.54%,和田小麦种植面积增加量和增加率均最低,分别为 0.007 万 hm^2 和 0.08%。

种植总面积从 2017 年的 219.036 万 hm^2 提高到 2018 年的 228.051 万 hm^2 ,增长了 4.116%。从种植结构上看,研究区小麦、玉米和棉花的种植结构由 2017 年的 17.91:25.09:57.00 变为 2018 年的 17.54:24.57:57.89,在比例上发生了微小调整,但 3 种农作物的占种植总面积的比例排序保持不变。其中,棉花是种植面积最大的农作物,在 5 地州的种植面积仅有微小的比例变化,阿克苏棉花种植面积占比最高。从种植空间上看,规划年和现状年的空间结构排序无变动,3 种农作物的种植总面积从大到小的顺序依次为:喀什、阿克苏、巴州、和田、克州。在规划年,喀什的种植面积预测值最大为 91.912 万 hm^2 ,其中,小麦、玉米和棉花的种植面积分别为 24.486 万 hm^2 、19.656 万 hm^2 和 47.770 万 hm^2 。总的来看,3 种农作物在各地州和整个流域的种植结构均只有很小的调整,说明 3 种农作物的价格在近些年来一直趋于稳定,波动较小,因此由价格变化的经济因素所引起的种植面积变化也较小。

3.2 水资源分配

将 Nerlove 模型预测的农作物面积代入到式 (5) 中,求解水资源优化配置模型,可以获得未来 5 个地州的 3 种农作物的分配水资源量,总水量为 185.622 万 m^3 ,如表 2 所示。从各地州农业水资源分配量来看,喀什分配的水资源量最多,为 73.940 万 m^3 ;阿克苏次之,为 64.418 万 m^3 ;巴州居中,为 27.820 万 m^3 ;和田较少,为 14.623 万 m^3 ;克州最少,为 4.822 万 m^3 。这和 2017 年 5 地州的农业用水量大小排序情况一致,喀什和阿克苏农业用水多,和田和克州农业用水很少,农业用水量差距极大,空间分配极不均匀。实际上,水资源分布空间不均衡和各地州农作物种植结构不同在一定程度上导致了农业用水在空间上的差异化。从水资源分配的结构看,巴州、阿克苏棉花灌溉分配水资源较多,占总水量的比例分别高达 80.43% 和 75.79%;和田和克州的小麦灌溉分配水资源较多,占总水量的比例

分别为 47.96% 和 46.83%;整个研究区的小麦、玉米和棉花的分配水量占比为 22.41:14.67:62.92。综合来看,各地州的农作物分配水量和其种植面积密切相关。棉花虽然灌溉用水定额比较高,但是其经济收益更明显,故其种植面积和分配水量占比均最高。因此,未来在水资源禀赋较差的地州,有必要提高高效节水灌溉面积比重,大力培育抗旱、高收益的农作物品种。

表 2 塔里木河流域规划年农作物水资源分配量
Table 2 Crop water resources allocation
in the planning year in the Tarim River Basin

行政区	分配水量/万 m^3			占 3 种作物总分配水量比例/%		
	小麦	玉米	棉花	小麦	玉米	棉花
巴 州	3.462	1.983	22.375	12.44	7.13	80.43
阿克苏	10.600	4.998	48.820	16.45	7.76	75.79
克 州	2.258	1.624	0.940	46.83	33.68	19.49
喀 什	18.268	13.479	42.193	24.71	18.23	57.06
和 田	7.013	5.146	2.464	47.96	35.19	16.85

3.3 收益分析

已知水资源分配量,求解式 (6) 可得目标函数值最大为 103.865 亿元,各地州农作物的收益如表 3 所示。其中,喀什总收益最高,为 41.626 亿元,占塔里木河流域收益的比例为 40.08%,克州总收益最低,为 2.805 亿元,占塔里木河流域收益的比例为 2.70%。从农作物的角度看,巴州、阿克苏、喀什的棉花收益占当地收益的比例分别为 79.06%、74.25% 和 54.86%,均为最高组成部分,其他两种农作物的收益之和占比均不足 50%,收益结构极不均衡。克州和和田的小麦收益为当地收益最高的部分,所占比例分别为 46.19% 和 47.18%,收益结构相对比较均衡。此外,整个塔里木河流域小麦、玉米和棉花的收益比例为 22.98:16.16:60.86,和水资源量分配占比接近,农作物的收益和其分配的水量紧密相关,分配水量多,产生的收益也相对较高。

表 3 塔里木河流域规划年收益
Table 3 Profits in the planning year in the Tarim River Basin

行政区	收益/亿元			占 3 种作物总收益比例/%		
	小麦	玉米	棉花	小麦	玉米	棉花
巴 州	3.462	1.983	22.375	12.44	7.13	80.43
阿克苏	10.600	4.998	48.820	16.45	7.76	75.79
克 州	2.258	1.624	0.940	46.83	33.68	19.49
喀 什	18.268	13.479	42.193	24.71	18.23	57.06
和 田	7.013	5.146	2.464	47.96	35.19	16.85

4 结 论

a. Nerlove 模型参数 R^2 的取值范围为 0.67 ~ 0.94,可以很好地反映大多数农作物与出售价格的

供给响应关系,塔里木河流域的种植面积与农作物的实际价格高度相关。

b. 相较于现状年,5地州3种农作物规划年的预测种植面积,除了和田的玉米出现负增长,负增长率0.15%,其他均为正增长,且增长范围为0.08%~8.54%,变化幅度较小;研究区域小麦、玉米和棉花的种植比例为17.54:24.57:57.89,相对于现状年,变化也很小。

c. 规划年分配总水量为185.622万 m^3 ,且空间分配极不均衡;5地州小麦、玉米和棉花的分配水量占比为22.41:14.67:62.92,各地州的农作物分配水量和其种植面积密切相关,同时和农作物的灌溉定额、经济效益和种植成本等因素有关。

d. 塔里木河流域规划年总收益为103.865亿元,小麦、玉米和棉花的收益比例为22.98:16.16:60.86,和水资源量分配占比比较接近,农作物的收益和其分配水量紧密相关,分配水量多,产生的收益也相对较高。

参考文献:

[1] 左其亭,吴滨滨,张伟,等. 跨界河流分水理论方法及黄河分水新方案计算[J]. 资源科学,2020,42(1):37-45. (ZUO Qiting, WU Binbin, ZHANG Wei, et al. A method of water distribution in transboundary rivers and the new calculation scheme of the Yellow River water distribution [J]. Resources Science, 2020, 42(1): 37-45. (in Chinese))

[2] 沈兴兴,马忠玉,曾贤刚. 水资源管理手段创新研究进展[J]. 水资源保护,2015,31(5):87-95. (SHEN Xingxing, MA Zhongyu, ZENG Xiangang. Research progress of water resource management methods innovation [J]. Water Resources Protection, 2015, 31(5): 87-95. (in Chinese))

[3] GLEICK P H. Water strategies for the next administration [J]. Science, 2016, 354(6312): 555-556.

[4] 左其亭,张志卓,吴滨滨. 基于组合权重TOPSIS模型的黄河流域九省区水资源承载力评价[J]. 水资源保护,2020,36(2):1-7. (ZUO Qiting, ZHANG Zhizhuo, WU Binbin. Evaluation of water resources carrying capacity of nine provinces in Yellow River Basin based on combined weight TOPSIS model [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(2): 1-7. (in Chinese))

[5] 岳琼,郭萍,王友芝,等. 基于区间两阶段模糊可信性约束模型的灌区水资源配置[J]. 农业机械学报,2019,50(4):228-235. (YUE Qiong, GUO Ping, WANG Youzhi, et al. Optimal water allocation of irrigation district based on interval-parameter two-stage stochastic fuzzy credibility constrained programming [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(4): 228-235. (in Chinese))

[6] 谭倩,缙天宇,张田媛,等. 基于鲁棒规划方法的农业水

资源多目标优化配置模型[J]. 水利学报,2020,51(1):56-68. (TAN Qian, GOU Tianyu, ZHANG Tianyuan, et al. A multi-objective robust programming model for agricultural water management with uncertain weights [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2020, 51(1): 56-68. (in Chinese))

[7] 刘博,崔远来,尹杰杰,等. 基于DP-PSO算法的灌区农业水资源优化配置[J]. 节水灌溉,2016(8):117-121. (LIU Bo, CUI Yuanlai, YIN Jiejie, et al. Optimal allocation of irrigated agriculture water resources based on DP-Particle swarm algorithm [J]. Water Saving Irrigation, 2016(8): 117-121. (in Chinese))

[8] 张凯,沈洁. 基于萤火虫算法和熵权法的水资源优化配置[J]. 水资源保护,2016,32(3):50-53. (ZHANG Kai, SHEN Jie. Optimal allocation of water resources based on firefly algorithm and entropy method [J]. Water Resources Protection, 2016, 32(3): 50-53. (in Chinese))

[9] 侯保灯,高而坤,吴永祥,等. 水资源需求层次理论和初步实践[J]. 水科学进展,2014,25(6):897-906. (HOU Baodeng, GAO Erkun, WU Yongxiang, et al. Water resources demand hierarchy theory and preliminary practice [J]. Advances in Water Science, 2014, 25(6): 897-906. (in Chinese))

[10] 郭晓茜,闫强,王高尚. 水资源需求预测研究方法概述[J]. 中国矿业,2019,28(9):160-165. (GUO Xiaolian, YAN Qiang, WANG Gaoshang. Review of prediction methods on water resources demand [J]. China Mining Magazine, 2019, 28(9): 160-165. (in Chinese))

[11] 邵飞,陆迁. 基于Nerlove模型的中国不同区域玉米供给反应研究[J]. 经济问题,2011(7):73-76. (SHAO Fei, LU Qian. Research on the supply response of corn in different regions in China [J]. On Economic Problems, 2011(7): 73-76. (in Chinese))

[12] 李晨曦,余晓洋,刘文明,等. 基于Nerlove模型的玉米供给反应研究:以吉林省为例[J]. 中国农业资源与区划,2019,40(1):102-107. (LI Chenxi, YU Xiaoyang, LIU Wenming, et al. Study on maize supply response based on Nerlove model: taking Jilin province as an example [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(1): 102-107. (in Chinese))

[13] 刘宏曼,郭鉴硕. 基于Nerlove模型的我国大豆供给反应实证分析[J]. 华中农业大学学报(社会科学版),2017(6):44-50. (LIU Hongman, GUO Jianshuo. Positive analysis on supply response of soybean in China based on Nerlove model [J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2017(6): 44-50. (in Chinese))

[14] 李丽,朱璐璐. 粮食最低收购价和临时收储政策对农民生产积极性的影响研究:基于Nerlove模型的实证分析[J]. 中国物价,2018(6):30-33. (LI Li, ZHU Lulu. The impact of the minimum purchase price policy and the stockpiling policy on farmers' production enthusiasm [J]. China Price, 2018(6): 30-33. (in Chinese))

[15] ZABID I M, BABCOCK B A. Global growing area elasticities of key agricultural crops estimated using

- dynamic heterogeneous panel methods [J]. Agricultural Economics, 2018, 49(6): 681-690.
- [16] 沈强, 左其亭. 塔里木河流域灌溉定额计算及系统开发 [J]. 灌溉排水学报, 2007(5): 94-96. (SHEN Qiang, ZUO Qiting. Calculation and system development of irrigation quota for the Tarim River Basin [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2007(5): 94-96. (in Chinese))
- [17] 薛联青, 王晶, 魏光辉. 基于 PSR 模型的塔里木河流域生态脆弱性评价 [J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2019, 47(1): 13-19. (XUE Lianqing, WANG Jing, WEI Guanghui. Dynamic evaluation of the ecological vulnerability based on PSR modeling for the Tarim River Basin in Xinjiang [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2019, 47(1): 13-19. (in Chinese))
- [18] 薛联青, 符芳兵, 祝薄丽, 等. 塔里木河流域下游绿洲演变对生态输水的响应 [J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2019, 47(4): 310-316 (XUE Lianqing, FU Fangbing, ZHU Boli, et al. Response of oasis evolution to ecological water transport in the downstream of Tarim River Basin [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2019, 47(4): 310-316. (in Chinese))
- [19] 廖淑敏, 薛联青, 陈佳澄, 等. 塔里木河生态输水的累积生态响应 [J]. 水资源保护, 2019, 35(5): 120-126 (LIAO Shumin, XUE Lianqing, CHEN Jiacheng, et al. Cumulative ecological response of ecological water transmission in Tarim River [J]. Water Resources Protection, 2019, 35(5): 120-126. (in Chinese))
- [20] ZHANG F, ENGELB B A, ZHANG C L, et al. Agricultural production planning approach based on interval fuzzy credibility-constrained bi-level programming and Nerlove supply response theory [J]. Journal of Cleaner Production, 2019(233): 1158-1169.
- [21] NERLOVE M. Estimates of the elasticities of supply of selected agricultural commodities [J]. Journal of Farm Economics, 1956, 38(2): 350-351.
- [22] 肖俊夫, 刘战东, 段爱旺, 等. 中国主要农作物全生育期耗水量与产量的关系 [J]. 中国农学通报, 2008(3): 430-434. (XIAO Junfu, LIU Zhandong, DUAN Aiwang, et al. Water production function during the whole growing stage for main crops in China [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008(3): 430-434. (in Chinese))

(收稿日期: 2020-06-27 编辑: 彭桃英)

(上接第 74 页)

- [18] 朱长明, 李均力, 沈占锋, 等. 基于 MODIS 密集时间序列数据的塔里木河下游植被活动过程监测 [J]. 资源科学, 2019, 41(3): 591-600. (ZHU Changming, LI Junli, SHEN Zhanfeng, et al. Spatiotemporal dynamics of vegetation activities in the lower reach of the Tarim River based on MODIS intensive time series data [J]. Resources Science, 2019, 41(3): 591-600. (in Chinese))
- [19] LIU G, KURBAN A, DUAN H, et al. Desert riparian forest colonization in the lower reaches of Tarim River based on remote sensing analysis [J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 71(10): 4579-4589.
- [20] 何立恒, 鲍其胜, 隋铭明. 《土地利用现状分类》在土地利用现状调查中的应用研究 [J]. 安徽农业科学, 2010(7): 440-442. (HE Liheng, BAO Qisheng, SUI Mingming. Study on the application of *classification of land use status* in the survey of land use status. [J]. Anhui Agricultural Science, 2010(7): 440-442. (in Chinese))
- [21] 王永嘉, 郭宇宏. 生态输水前后塔里木河下游绿洲特征分析 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(2): 37-42. (WANG Yongjia, GUO Yuhong. Characteristics of oasis before and after the ecology water transportation in lower reaches of the Tarim River [J]. Desert and Oasis Meteorology, 2018, 12(2): 37-42. (in Chinese))
- [22] 阿布都米吉提·阿布力克木, 阿里木江·卡斯木, 艾里西尔·库尔班, 等. 基于多源空间数据的塔里木河下游湖泊变化研究 [J]. 地理研究, 2016, 35(11): 2071-2090. (ABLEKIM Abdimijit, KASIMU Alimujiang, KURBAN Alishir, et al. Evolution of small lakes in lower reaches of Tarim River based on multi-source spatial data [J]. Geographical Research, 2016, 35(11): 2071-2090. (in Chinese))
- [23] 牛婷. 塔里木河下游植被恢复遥感定量评估研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014.
- [24] 万红梅. 塔里木河下游植被恢复的遥感测度 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012.
- [25] 白元, 徐海量, 张青青, 等. 基于地下水恢复的塔里木河下游生态需水量估算 [J]. 生态学报, 2015, 35(3): 630-640. (BAI Yuan, XU Hailiang, ZHANG Qinqin, et al. Evaluation on ecological water requirement in the lower reaches of Tarim River based on groundwater restoration [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 630-640. (in Chinese))
- [26] 李超, 李畅游, 赵水霞, 等. 基于遥感数据的河冰过程解译及分析 [J]. 水利水电科技进展, 2016, 36(3): 52-56. (LI Chao, LI Changyou, ZHAO Shuixia, et al. Interpretation and analysis of river ice process based on remote sensing data [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2016, 36(3): 52-56. (in Chinese))
- [27] 廖淑敏, 薛联青, 陈佳澄, 等. 塔里木河生态输水的累积生态响应 [J]. 水资源保护, 2019, 35(5): 120-126 (LIAO Shumin, XUE Lianqing, CHEN Jiacheng, et al. Cumulative ecological response of ecological water transmission in Tarim River [J]. Water Resources Protection, 2019, 35(5): 120-126. (in Chinese))
- [28] 邓铭江, 周海鹰, 徐海量, 等. 塔里木河下游生态输水与生态调度研究 [J]. 中国科学, 2016, 46(8): 864-876. (DENG Mingjiang, ZHOU Haiying, XU Hailiang, et al. Research on the ecological operation in the lower reaches of Tarim River based on water conveyance [J]. Science Sinica Technologica, 2016, 46(8): 864-876. (in Chinese))

(收稿日期: 2020-06-27 编辑: 彭桃英)