

灌区农业水资源承载力模型研究^{*}

段春青¹, 邱林², 黄强¹, 陈晓楠²

(1 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2 华北水利水电学院 设备处, 河南 郑州 450008)

[摘要] 在前人承载力研究的基础上提出了承载力的新见解, 定义了承载力的四要素, 并根据农业生产的实际情况提出了灌区农业水资源承载力的概念, 建立了农业水资源承载力计算模型, 该模型计算时考虑了农业水资源的两个特殊性, 即各种作物的被承载能力及作物的需水和供水过程。最后将模型应用于河南省第三濮清南灌区, 验证了模型的正确性。

[关键词] 灌区; 农业水资源承载力; 量化模型

[中图分类号] TV 213.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)04-0135-04

近年来, 随着我国经济建设全方位、大规模地快速发展, 我国的工农业生产和城镇居民生活缺水状况日益加剧, 北方地区尤为严重。而我国耕地少, 人口多, 农业的地位是举足轻重的, 因此, 研究灌区农业水资源承载力, 对优化配置水土资源, 促进地区可持续发展有着重要意义。

目前, 国内外对水资源承载力 (Water Resources Carrying Capacity) 的研究理论还不成熟, 对其概念的认识也未达成一致^[1~4], 对农业水资源承载力的研究更少。Rijbenman^[5]用水资源承载力作为城市水资源安全保障的衡量标准; Joardor 等从供水角度对城市水资源承载力进行了相关研究, 并将其纳入城市发展规划当中^[6]; Harris^[7]着重研究了农业生产区域的水资源农业承载力。冯尚友等^[8]对水资源承载力的定义是: 在一定区域内, 一定物质生活水平下, 水资源所能够持续供给当代人和后代人需要的规模和能力。刘昌明^[9]指出: 区域水资源的承载能力是指可能提供给社会和经济的潜在水量中, 对工农业、城市等部门发展支撑的那部分水量。

农业在我国国民经济中的重要地位, 决定了灌区农业水资源评价的重大意义。本文对灌区农业水资源承载力的科学定义和定量计算进行了较深入地研究, 以为灌区的可持续发展提供依据。

1 农业水资源承载力及其量化

1.1 农业水资源承载力

本文对承载力概念的理解如下: 承载力指在一

定条件下, 承载对象承载一定规模的被承载对象的能力。要衡量这种能力的大小, 必须知道在相同条件下承载对象所能承载的被承载对象的最大规模, 认为研究的规模与最大规模越接近, 说明承载的潜力越小, 即承载这种规模的能力越小, 反之越大。本文将承载对象、被承载对象、被承载对象的规模和相同条件下被承载对象的最大规模称为承载力的四要素。

由上述理解即可定义农业水资源承载力的概念, 即研究区水资源量承载一定规模农业的能力。设研究地区目前的农业规模为 S , 该地区用于农业的水资源量最大可承载的农业规模为 $S_{\max}$, 则目前农业水资源承载力 C 为

$$C = 1 - S/S_{\max}, \quad (1)$$

从公式(1)可知, S 越小, C 越大, 即此时承载力较大, 反之, S 越接近于 $S_{\max}$, C 越小, 即此时承载力越接近饱和。

另外, 计算农业水资源承载力必须考虑以下两点特殊性: 第一, 农业由多种作物组成, 首先要计算各种作物的水资源承载力, 然后计算整个农业水资源承载力。第二, 计算中不能仅考虑作物的需水总量和供水总量, 必须考虑作物的需水过程和用水过程。

1.2 农业水资源承载力的量化

1.2.1 作物水资源承载力的量化 建立作物水资源承载力模型, 首先要确定衡量作物规模的标准, 最容易想到的是作物的种植面积, 但实际上人们关心的是作物总产量, 因此本文将作物总产量作为衡量

* [收稿日期] 2004-06-02

[基金项目] 陕西省重点实验室基金项目(02JS37); 河南省高校创新人才培养工程项目(HNCX2003-17)

[作者简介] 段春青(1980-), 女, 河南濮阳人, 在读博士, 主要从事水资源管理研究。

作物规模的标准。

设某地区用于农业的水量为 W , 该地区共有 n 种作物, 第 i 种作物有 t_i 个生育期, 在不同作物 同种作物不同生育期之间优化配水后, 第 i 种作物第 j 个生育期的供水总量为 W_{ij} , 需水量为 N_{ij} , 设作物 i 的种植面积为 A_i , 则利用 Jensen 公式得:

$$\frac{Y_i}{Y_{\max,i}} = \prod_{j=1}^{t_i} \left(\frac{W_{ij}}{10 \cdot A_i \cdot N_{ij}} \right)^{\lambda_{ij}}, \quad (2)$$

式中, W_{ij} 为第 i 种作物第 j 个生育期的供水总量, mm^3 ; N_{ij} 为第 i 种作物第 j 个生育期的需水量, mm ; A_i 为第 i 种作物的种植面积, hm^2 ; $Y_{\max,i}$ 为作物 i 充分灌溉条件下的产量, kg/hm^2 ; λ_{ij} 为第 i 种作物第 j 个生育期的敏感系数; Y_i 为作物 i 的实际产量, kg/hm^2 。

则该作物的总产量为

$$P_i = A_i \cdot Y_{\max,i} \cdot \prod_{j=1}^{t_i} \left(\frac{W_{ij}}{10 \cdot A_i \cdot N_{ij}} \right)^{\lambda_{ij}} = A_i \left(1 - \sum_{j=1}^{t_i} \lambda_{ij} \right) \cdot Y_{\max,i} \cdot \prod_{j=1}^{t_i} \left(\frac{W_{ij}}{10 \cdot N_{ij}} \right)^{\lambda_{ij}}, \quad (3)$$

式中, P_i 为第 i 种作物的总产量, kg 。

作物的敏感系数因地区、作物种类及作物生育阶段的不同而不同, 可由研究区的实际资料, 根据 Jensen 模型利用最小二乘法或灌溉实验方法得出。作物各阶段敏感系数之和由所在区域及作物种类不同可能出现 3 种情况:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{t_i} \lambda_{ij} &= 1; \\ \sum_{j=1}^{t_i} \lambda_{ij} &< 1; \\ \sum_{j=1}^{t_i} \lambda_{ij} &> 1. \end{aligned}$$

因此, 将公式(3)分为 3 种情况进行讨论。

(1) 当 $\sum_{j=1}^{t_i} \lambda_{ij} = 1$ 时。

$$P_{\max,i} = P_i = Y_{\max,i} \cdot \prod_{j=1}^{t_i} \left(\frac{W_{ij}}{10 \cdot N_{ij}} \right)^{\lambda_{ij}}, \quad (4)$$

式中, $P_{\max,i}$ 为第 i 种作物在此供水条件下的最大产量, kg 。

(2) 当 $\sum_{j=1}^{t_i} \lambda_{ij} < 1$ 时。

由(3)式知, P_i 随 A_i 的增大而增大, 设第 i 种作物在第 j 个生育期时的株间蒸发量为 E_{ij} , 以 $\frac{W_{ij}}{10 \cdot A_i} = E_{ij}$ 为临界条件可得

$$A_{\max,i} = \min \left(\frac{W_{ij}}{10 \cdot E_{ij}} \right), j = 1, 2, \dots, t_i \quad (5)$$

式中, $A_{\max,i}$ 为作物 i 可供水的最大面积, hm^2 。则

$$P_{\max,i} = A_{\max,i} \left(1 - \sum_{j=1}^{t_i} \lambda_{ij} \right) \cdot Y_{\max,i} \cdot \prod_{j=1}^{t_i} \left(\frac{W_{ij}}{10 \cdot N_{ij}} \right)^{\lambda_{ij}}. \quad (6)$$

(3) 当 $\sum_{j=1}^{t_i} \lambda_{ij} > 1$ 时。

由(3)式知, P_i 随 A_i 的减小而增大, 按各生育期均不弃水原则, 有

$$A_{\min,i} = \max \left(\frac{W_{ij}}{10 \cdot N_{ij}} \right), j = 1, 2, \dots, t_i \quad (7)$$

式中, $A_{\min,i}$ 为作物 i 可供水的最小面积, hm^2 。则

$$P_{\max,i} = A_{\min,i} \left(1 - \sum_{j=1}^{t_i} \lambda_{ij} \right) \cdot Y_{\max,i} \cdot \prod_{j=1}^{t_i} \left(\frac{W_{ij}}{10 \cdot N_{ij}} \right)^{\lambda_{ij}}. \quad (8)$$

设作物的规模为 S_i , 最大规模为 $S_{\max,i}$, 由上述分析知: $S_i = P_i$, $S_{\max,i} = P_{\max,i}$, 则由公式(1)得出作物 i 的水资源承载力 C_i 为

$$C_i = \begin{cases} 1 - \left(\frac{A_i}{A_{\max,i}} \right)^{\left(1 - \sum_{j=1}^{t_i} \lambda_{ij} \right)}; & \sum_{j=1}^{t_i} \lambda_{ij} < 1 \\ 0; & \sum_{j=1}^{t_i} \lambda_{ij} = 1 \\ 1 - \left(\frac{A_i}{A_{\min,i}} \right)^{\left(1 - \sum_{j=1}^{t_i} \lambda_{ij} \right)}; & \sum_{j=1}^{t_i} \lambda_{ij} > 1 \end{cases} \quad (9)$$

1.2.2 农业水资源承载力的量化 当计算出不同作物的承载能力后, 可以使用加权的方法得出农业的承载程度, 而权值的确定以经济的大小为依据^[10]。设作物 i 的市场价格为 $(P_r)_i$ (元/kg), 则

$$Q_i = \frac{(P_r)_i}{\sum_n (P_r)_i}, \quad (10)$$

式中, Q_i 为第 i 种作物的权重。

农业水资源承载力为

$$C = \sum_n Q_i \cdot C_i, \quad (11)$$

式中, C 为农业水资源承载力。 C 值越大, 说明承载现有规模的能力越大; C 值越小, 则越接近极限承载能力, 达到饱和。

2 算 例

河南省第三濮清南灌区位于濮阳市, 东经 $114^{\circ}49' \sim 115^{\circ}18'$; 北纬 $35^{\circ}22' \sim 36^{\circ}10'$; 南起黄河,

北抵卫河及省界,西至滑县境内黄庄河及市界,东抵董楼沟、潞龙河、大屯沟,南北长约 90 km,东西宽约 29 km。灌区地跨两个流域,金堤以南为黄河流域,金堤以北为海河流域,灌溉面积 4 25 万 hm²,现种植作物以冬小麦、夏玉米、棉花为主,种植面积分别为 2 97,2 97,1 28 万 hm²。充分灌溉条件下小麦、玉米、棉花产量约分别为 54 250,4 800,1 320 kg/hm²。根据 2003 年第一季度河南市场的行情,小麦、玉米、棉花的价格分别为 1 13,1 08,

3 66 元/kg。设 Q₁,Q₂,Q₃ 分别为小麦、玉米、棉花的权重,则由(10)式得:

$$Q_1 = \frac{1\ 13}{1\ 13 + 1\ 08 + 3\ 66} = 0\ 193,$$

$$Q_2 = \frac{1\ 08}{1\ 13 + 1\ 08 + 3\ 66} = 0\ 184,$$

$$Q_3 = \frac{3\ 66}{1\ 13 + 1\ 08 + 3\ 66} = 0\ 623,$$

根据研究区的实际资料,经整理计算后,各项数据列入表 1 中。

表 1 各种作物不同生育阶段的参数

Table 1 The parameters of crops in different growth phases

作物 Crop	生育期 Developmental period	需水量/mm Water requiment	敏感系数 Sensitive	供水量/万 m ³ Water supplied	株间蒸发量/mm Row evporation
小麦 Wheat	播种- 分蘖 Planting- Tillering	43 546	0 115 6	1 036 332	14 52
	越冬 Overwintering	74 852	0 114 6	1 774 944	24 95
	返青 Revegetation	47 795	0 110 5	1 137 452	15 93
	拔节 Jointing	97 139	0 314 8	2 311 768	32 38
	抽穗- 成熟 Tassel- Ripping	216 43	0 245 4	5 150 722	72 14
玉米 Corn	播种- 拔节 Planting- Revegetation	94 903	0 175 4	2 258 554	31 63
	抽穗 Tassel	72 709	0 342 0	1 730 369	24 24
	灌浆- 成熟 Grouting- Ripping	169 745	0 230 1	4 039 686	56 58
棉花 Cotton	幼苗 Bud	40 339	0 039 0	411 986	13 45
	现蕾 Show ing bud	234 18	0 123 8	2 193 704	78 06
	开花- 结铃 Flower- Splitting	283 887	0 242 9	2 899 367	94 63
	吐絮 Opening boll	140 533	0 085 1	1 435 278	46 84

由表 1 资料和公式(5)、(9)计算出各种作物的水资源承载力:小麦 0 083,玉米 0 198,棉花 0 331。利用以上数据和公式(11)综合计算,该灌区农业水资源承载力为 0 259。

由上述计算结果可以看出,综合考虑 3 种因素后灌区总的农业水资源承载力已经达到 0 259,说明该灌区综合农业水资源承载力将接近饱和,为了实现可持续发展应当尽快制定合理措施,缓解该灌区农业水资源压力。

3 结 语

(1) 本文在前人承载力研究的基础上提出了承载力的新见解,并且定义了承载力的四要素,即承载

对象、被承载对象、被承载对象的规模以及相同条件下被承载对象的最大规模。在此基础上根据农业的实际情况提出了灌区农业水资源承载力的概念,建立了农业水资源承载力计算模型。

(2) 在模型计算时,必须考虑农业水资源承载力的特殊性:作物种类的多样性和作物不同阶段的需水供水过程。因此,量化过程中分别考虑各种作物的被承载能力,根据经济比例确定权重,计算灌区总农业水资源承载力,以科学的描述农业水资源承载能力的大小。

(3) 将量化模型运用到河南省第三濮清南灌区,实例验证了模型的正确性,该模型可以计算灌区的水资源承载规模,为灌区的可持续发展提供依据。

[参考文献]

[1] 姚治君,王建华,江 东,等. 区域水资源承载力的研究进展及其理论探析[J]. 水科学进展, 2002, 13(1): 111- 115
[2] 冯宝平,张展羽,贾仁普. 水资源承载能力研究现状[J]. 人民黄河, 2003, 25(11): 32- 35
[3] 冯耀龙,韩文秀,王志江,等. 区域水资源承载力研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(1): 109- 113
[4] 朱一中,夏 军,谈 戈. 西北地区水资源承载能力预测与评价[J]. 资源科学, 2003, 25(4): 43- 48

- [5] Rijdsbeman. Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water system [J]. *Environment Impact Assessment Review*, 2000, 129(3): 333- 345
- [6] Hrllich Anne H. Looking for the ceiling estimates of the earth's carrying capacity[J]. *American Scientist Research Triangle Park*, 1996, 84(5): 494- 499
- [7] Harris Jonathan M. Carrying capacity in agriculture globe and regional issue[J]. *Ecological Economics*, 1999, 129(3) : 443- 461.
- [8] 冯尚友, 刘国全. 水资源持续利用的框架[J]. *水科学进展*, 1997, 8(4): 301- 307.
- [9] 刘昌明. 水与可持续发展——定义与内涵[J]. *水科学进展*, 1997, 8(4): 377- 384
- [10] 邱林, 陈守煜, 马建琴, 等. 区域灌溉水资源优化分配模型及其应用[J]. *人民黄河*, 1998, 20(9): 15- 18

Research on quantitative model of water resources carrying capacity in irrigation area

DUAN Chun-qing¹, QIU L in², HUANG Qiang¹, CHEN Xiao-nan²

(1 *Xi'an University of Technology, Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Xi'an, Shaanxi 710048, China;*

2 *North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Equipment Department, Zhengzhou, Henan 450008, China*)

Abstract: Based on the previously study on the carrying capacity, the paper put forward new comprehension about the carrying capacity, and defined four factors of the carrying capacity; then the paper brought forward the concepts of the agricultural water resources carrying capacity in irrigation area and established the calculation model of the agricultural water resources carrying capacity. The model considered two particularities about the agricultural water resources: the carrying capacity between different crops and the water demand and supply process. Finally the model was used in the third Pu-Qing-Nan irrigation area, Henan province, the correctness of the model was validated.

Key words: irrigation area; the agricultural water resources carrying capacity; quantitative model

(上接第 134 页)

Abstract ID: 1671-9387(2005)04-0132-EA

Predicting annual runoff with grey self-memory model

SHEN Bing^{1,2}, LI Rong-feng², HUANG Ling-mei², ZHAO Chang-sen²

(1 *Open-oriented Laboratory of Agricultural Water and Soil Engineering at NW SUAF, MOE, Yangling, Shaanxi 712100, China;*

2 *College of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China*)

Abstract: The grey self-memory model for annual runoff was established on grey system and self-memory theory. Examples show that the suggested model can reflect the extreme trend of recorded annual runoff dynamic variation with satisfactory simulation and predicting precision.

Key words: annual runoff; grey forecasting; self-memory model