

# 基于宏观尺度的三江平原区域农业水土资源承载力

任守德, 付强, 王凯

(东北农业大学水利与建筑学院, 哈尔滨 150030)

**摘要:** 针对现有的农业水土资源承载力评价中将农业水、土资源视为独立系统分别进行研究容易导致系统超负荷运行的问题, 该文将农业水、土资源作为一个整体系统, 提出了从微观和宏观尺度进行农业水土资源承载力评价的新思路。在构建微观和宏观农业水土资源承载力评价指标体系的基础上, 建立了农业水土资源承载力微观和宏观计算模型, 其中微观模型用于求解农业水土资源支撑的最大粮食产量和最大人口数量, 宏观模型用于评价区域农业水土资源承载力的相对等级, 并将宏观模型应用于三江平原农垦建三江分局的农业水土资源承载力分析中。结果表明该模型求得的建三江地区宏观和微观农业水土资源承载力大小和制约因素, 很好地反映出建三江分局农业水土资源承载力的实际水平, 表明该模型切实可行, 并为区域农业水土资源系统整体效能的充分利用提供了依据。

**关键词:** 水资源, 土地, 粮食, 承载力, 三江平原

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.02.002

中图分类号: S11+7

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-02-0008-07

任守德, 付强, 王凯. 基于宏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 Shoude, Fu Qiang, Wang Kai. Regional agricultural water and soil resources carrying capacity based on macro-micro scale in Sanjiang Plain[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 8-14. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

随着中国人口数量的不断增长和社会经济的快速发展, 农业面临着巨大的农产品需求压力; 与此同时, 由于工业化和城市化发展进程加快, 农业水土资源表现出的挤占、短缺和区域性结构破坏等资源非持续性利用问题将直接威胁国家和区域的粮食生产安全。中国是农业大国, 农业是社会经济发展和生态环境维持的基础, 农业水土资源作为农业生产的核心资源, 是粮食安全的必要保障, 农业水土资源的承载能力直接关系到中国的粮食生产能力。

联合国粮农组织对土地资源承载力的研究始于 1977 年, 1986 年中国科学院自然资源综合考察委员会主持的“中国土地资源生产能力及人口承载量研究”, 开创了土地资源承载力研究的先河<sup>[1]</sup>, 迄今国内学者对于土地资源承载力的研究乃方兴未艾<sup>[2]</sup>, 研究内容主要集中在耕地资源承载力方面<sup>[3]</sup>。中国从 20 世纪 80 年代末开始对城市和流域地区的水资源承载力进行了研究<sup>[4-6]</sup>, 目的是计算城市和流域地区的水资源能够支撑的最大人口数量或最大经济规模, 而对于以农业生产为主的垦区和灌区农业水土资源承载力的研究甚少。目前对于农业水土资源承载力的研究多是单独进行农业水资源可持续利用<sup>[7]</sup>或耕

地资源承载力<sup>[2-3]</sup>方面的研究。然而水资源和耕地资源作为农业发展的最基本组成因子, 水资源利用合理与否将直接影响到土地资源的生产效率; 耕地资源的数量和质量也直接制约着水资源的开发利用方式, 二者相互联系、相互渗透、相互制约, 将水、土资源视为独立系统分别进行研究的思想必然会阻碍区域水土资源系统整体效能的充分发挥, 容易导致系统超负荷运行。为此, 本文拟将农业水土资源视为一个统一系统进行整体承载力评价, 从而提高区域农业水土资源利用效率、获得更高的粮食生产效益和实现农业水土资源的可持续利用提供重要参考。

## 1 区域农业水土资源承载力概念和评价指标体系的建立

### 1.1 区域农业水土资源承载力概念

根据水资源承载力<sup>[8]</sup>和土地资源承载力<sup>[2]</sup>相关概念, 本文定义区域农业水土资源承载力概念为: 区域农业水土资源承载力是指某一地区的农业水土资源, 在一定社会历史和科学技术发展阶段, 在不破坏社会和生态系统的前提下, 最大可生产粮食产量或承载最大人口数量的能力, 是一个随着社会、经济、科学技术发展而变化的综合目标。

### 1.2 区域农业水土资源承载力评价指标体系

水土资源承载力评价指标体系作为区域水土资源承载力研究的核心内容, 如何制定适合研究区水土资源特点的承载力评价指标体系及其合理的指标等级分类标准更是水土资源承载力研究的重点和难点。因为不同区域的不同时期, 社会经济发展程度不同, 故水土资源承载力评价指标的数值是在不断变化的, 所以指标标准也应

收稿日期: 2010-05-19 修订日期: 2010-09-13

作者简介: 任守德 (1985-), 男, 黑龙江伊春人, 主要从事农业水土资源系统分析及高效可持续利用方面的研究。哈尔滨 东北农业大学水利与建筑学院, 150030。Email: rshmiydz@163.com

※通信作者: 付强 (1973-), 男, 辽宁锦州人, 教授, 博士生导师, 主要从事农业水土资源系统分析、节水灌溉及农业系统工程建模与优化技术研究。哈尔滨 东北农业大学水利与建筑学院, 150030。

Email: fuqiang@neau.edu.cn

该是动态的。目前对于水土资源承载力评价指标等级分类标准的确定，大多是研究者根据评价指标数值分布的大致范围及最后要划分的承载力等级，将指标标准确定为相应的级别。这样计算出来的承载力等级只能是各研究区之间相对的承载力等级，无法定量计算出研究区水土资源承载力的真正大小；在城市水资源承载力研究中，有学者采用研究区水资源支撑的最大人口数量来衡量承载力的大小<sup>[9]</sup>，这样也只能判断研究区水资源是否能支撑该区域内部人口发展情况，无法与其他研究区水资源承载力大小进行对比，其结果也只是相对的承载力大小。

针对上述问题，本文通过建立微观和宏观农业水土资源承载力评价指标体系，并运用相应的计算模型分别求出承载力的绝对数值大小和相对等级大小，从而为区域农业水土资源承载力研究提供新思路与新方法。

### 1.2.1 微观指标体系

微观指标描述农业水土资源承载力的绝对大小，用最大粮食产量和最大人口数量表示。

#### 1) 最大粮食产量

农业水土资源支撑的最大粮食产量是衡量农业水土资源承载力绝对大小的重要指标之一，它是区域消耗一定量农业水土资源而生产的总的粮食产量值。当所消耗的农业水土资源量等于区域农业水土资源的最大可利用量时，农业水土资源承载的粮食产量就是最大粮食产量。

#### 2) 最大人口数量

农业水土资源支撑的最大人口数量是衡量农业水土资源承载力绝对大小的另一个重要微观指标，它是根据研究区当年农业水土资源承载的最大粮食产量与中国人

口年平均粮食需求量的比值来计算的。由于社会发展水平不同，人们对粮食的需求量是不一样的。因此，农业水土资源支撑的最大人口数量是和社会发展水平相联系的，是一个随着社会发展而不断变化的数值。

### 1.2.2 宏观指标体系

宏观指标体系反映研究区各研究子区域之间农业水土资源承载力等级的相对大小。本文采用（driving forces-pressure-state-impact-response，简称 DPSIR）评价指标体系概念模型<sup>[10-12]</sup>建立区域农业水土资源承载力宏观指标体系。在概念模型中，“D（驱动力）”是促使农业水土资源系统变化的最原始、最关键的指标，主要是社会经济发展方面的指标；“P（压力）”集中表现为社会经济驱动力对农业水土资源利用方式上的制约；“S（状态）”是在各种压力下农业水土资源系统的现实表现，是驱动力和压力共同作用的结果；“I（影响）”则是驱动力和压力对农业水土资源系统数量和质量造成的影响；“R（响应）”即人类社会为实现农业水土资源持续利用所采取的措施。该模型的基本思想是：由于人类经济活动的“驱动力”，给农业水土资源施加了“压力”，改变了环境的“状态”，给系统造成了“影响”，人类社会则通过调整利用方式与经济政策对这些变化做出“响应”，以减缓环境压力、维持系统的持续性。DPSIR 概念模型中各因素之间具有明显的因果关系，因此，能够监测各指标之间的连续反馈机制，是寻找人类活动与环境影响之间因果链的有效途径，能够保证关键的因素和信息不被忽略，有助于系统分析环境和资源可持续发展问题。本文共选择了 25 个评价指标，各指标计算公式及作用见表 1。

表 1 区域农业水土资源承载力宏观评价指标体系  
Table 1 Macro evaluate index system of agricultural water and soil resources carrying capacity

目标	因素	指 标	计算公式	指标作用
农业 水土 资源 承载 力	驱动力 (D)	第一产业比例	第一产业增加值/GDP (%)	反映区域产业结构状况
		人均 GDP	GDP/总人口 (万元/人)	反映区域整体经济水平
		人口密度	总人口/土地总面积 (人/km <sup>2</sup> )	反映人口压力
		种植业产值比例	种植业产值/农业总产值 (%)	反映第一产业结构状况
		主要粮食作物单位面积产量	主要粮食作物年产量/播种面积 (kg/hm <sup>2</sup> )	反映主要粮食作物产量情况
	压力 (P)	粮豆作物单位面积产量	粮豆作物年产量/粮豆作物播种面积 (kg/hm <sup>2</sup> )	反映粮食作物平均产量情况
		年人均粮豆作物交售量	年粮豆作物交售量/总人口 (t/人)	反映区域粮食交售情况
		GDP 增长率	当年 GDP 增长值/上一年 GDP (%)	反映区域整体发展能力
		人口自然增长率	年净增人数/年平均人口数 (‰)	反映人口对区域水土资源的动态压力
		高耗水作物种植面积比例	水稻播种面积/总播种面积 (%)	反映农业水土资源使用情况
状态 (S)	耕地资源比例	耕地面积/土地总面积 (%)	反映区域耕地保障情况	
	农业用水定额	农业用水量/农业总产值 (m <sup>3</sup> /万元)	反映农业水资源效率	
	农业水土资源匹配系数	农业水资源量/耕地面积 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	反映农业水资源与耕地资源匹配状况	
	地下水年供水能力	机电井数 × 每口机电井年供水量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	反映农业水资源供应程度	
	有效灌溉面积比例	有效灌溉面积/耕地面积 (%)	反映农业水资源使用状况	
影响 (I)	农业水资源供需平衡指数	农业用水量/农业可供水量 (%)	反映农业水资源供需平衡状态	
	人均耕地面积	耕地面积/总人口 (hm <sup>2</sup> /人)	可持续耕地保障程度	
	农业水资源利用率	农业水资源使用量/区域水资源使用总量 (%)	反映农业水资源使用比例	
响应 (R)	农作物受灾面积比例	农作物受灾面积/耕地面积 (%)	反映生态环境与农业生产协调发展状况	
	可垦荒地比例	可垦荒地面积/土地总面积 (%)	反映区域土地可开采程度	
	单位面积耕地用电量	农业用电量/耕地面积 (kWh/hm <sup>2</sup> )	反映农业耗能水平	
	单位耕地面积农药使用量	农药使用量/耕地面积 (kg/hm <sup>2</sup> )	反映农业生产对生态环境影响程度	
	森林覆盖率	年末森林面积/土地总面积 (%)	反映区域生态环境状况	
	农机化程度	农机总动力/耕地面积 (kW/hm <sup>2</sup> )	反映农业现代化程度	
	本年度水利工程投资比例	本年水利工程总投资/水利工程累计总投资 (%)	反映农业水利发展程度	

## 2 区域农业水土资源承载力宏观与微观计算模型

### 2.1 微观计算模型

根据评价年区域农业水资源和耕地资源的年使用量情况, 计算当年区域农业水土资源匹配系数

$$R_a = W_u / S_u \quad (1)$$

式中,  $R_a$  为评价年区域农业水土资源匹配系数,  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ;  $W_u$  为评价年区域农业水资源年使用量,  $\text{m}^3$ ;  $S_u$  为评价年区域耕地资源年使用量,  $\text{hm}^2$ 。

#### 2.1.1 最大粮食产量求解模型

评价年区域农业水土资源支撑的年粮食产量, 其表达式见(2), 为了计算方便, 这里仅用耕地资源量进行计算

$$F_d = F_p / A_s \quad (2)$$

式中,  $F_d$  为评价年区域单位耕地资源量支撑的粮食产量, 它是研究区年粮食产量与生产这些粮食所用的年耕地资源量的比值,  $10^4 \text{ t}/\text{hm}^2$ ;  $A_s$  为区域耕地资源年使用量,  $\text{hm}^2$ ;  $F_p$  为区域年粮食产量,  $10^4 \text{ t}$ 。

区域农业水土资源的最大可利用量计算表达式为

$$R = \begin{cases} S_m \left( \frac{W_m}{S_m} \geq R_a \right) \\ \frac{W_m}{R_a} \left( \frac{W_m}{S_m} \leq R_a \right) \end{cases} \quad (3)$$

式中,  $R$  为区域农业水土资源的最大可利用量,  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ;  $S_m$  为评价年区域耕地资源最大可利用量,  $\text{hm}^2$ ;  $W_m$  为评价年区域农业水资源最大可利用量,  $\text{m}^3$ 。

区域农业水土资源承载的最大粮食产量, 其表达式为

$$F_m = F_d \cdot R \quad (4)$$

式中  $F_m$  为区域农业水土资源承载的最大粮食产量,  $10^4 \text{ t}$ 。

#### 2.1.2 最大人口数量求解模型

评价年区域农业水土资源支撑的人口数量计算表达式为

$$F_n = F_p / F_l \quad (5)$$

式中,  $F_n$  为评价年区域农业水土资源支撑的人口数量, 它是研究区年粮食产量与中国年人均粮食需求量的比值(万人), 而只有在全国尺度范围内进行计算, 才能计算出区域农业水土资源承载力的真正大小;  $F_l$  为评价年中国人均粮食需求量,  $\text{kg}$ 。

区域农业水土资源承载的最大人口数量, 其表达式为

$$F_z = F_m / F_l \quad (6)$$

式中  $F_z$  为区域农业水土资源承载的最大人口数量, 它是研究区农业水土资源承载的最大粮食产量与当年中国人均粮食需求量的比值, 万人。

### 2.2 宏观计算模型

区域农业水土资源承载力宏观计算模型采用投影寻踪主成分分析模型 (projection pursuit principal components analysis, 简称 PPPCA)<sup>[13]</sup>。在建立区域农业

水土资源承载力评价指标体系时, 为了保证评价指标反映问题的全面性, 选取了大量与农业水土资源相关的指标, 而指标太多, 必然会增大计算量和问题的复杂性; 人们总希望在进行定量分析的过程中涉及的变量尽可能少, 而信息量尽可能多。投影寻踪主成分分析模型是将主成分分析法有效选择主要指标信息的特点和投影寻踪模型高效降维特性结合在一起, 并可实现统一进行指标权重确定和综合评价的目的。

投影寻踪主成分分析的基本思想是, 如果投影指标函数值大于零的部分归因于前  $d(d \leq p)$  个成分, 那么这些成分就可以“取代”原来的  $p$  ( $p$  为指标个数) 个特征, 而且信息完全利用。

步骤 1: 指标的无量纲处理分为两步:

①对原始指标进行归一化处理,

对于越大越优的指标

$$x'(i, j) = \frac{x^*(i, j) - x_{\min}(j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)}, \quad (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, p) \quad (7)$$

对于越小越优的指标

$$x'(i, j) = \frac{x_{\max}(j) - x^*(i, j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)}, \quad (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, p) \quad (8)$$

式中,  $x_{\max}(j)$ ,  $x_{\min}(j)$  分别为第  $j$  个指标值的最大值和最小值;  $x^*(i, j)$  为指标特征值;  $x'(i, j)$  为指标特征值归一化的序列。

②将  $x'(i, j)$  进行标准化处理, 即

$$x(i, j) = \frac{x'(i, j) - \bar{x}(j)}{S_x(j)} \quad (9)$$

式中  $\bar{x}(j)$ ,  $S_x(j)$  分别为第  $j$  个指标值的均值和标准差。

步骤 2: 设样本  $\{x(i, j) | i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, p\}$  是  $p$  维观测数据, 投影寻踪所要研究的是通过研究这些数据的一维投影来分析数据的结构和特征。设  $a = \{a(1), a(2), a(3), \dots, a(p)\}$  是  $p$  维单位向量, 数据在  $a$  方向上的一维投影值为  $z(i)$

$$z(i) = \sum_{j=1}^p a(j)x(i, j), \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

步骤 3: 投影指标就是  $z(i)$  的函数, 记作  $Q(a)$ 。指标值越大越好, 投影寻踪就是要求一个单位向量  $a_1$ , 使得

$$Q(a_1) = \max \left( \sum_{i=1}^n (z(i) - Ez)^2 \right) / (n-1) \left( \sum_{j=1}^p a_1^2(j) = 1 \right) \quad (11)$$

式中  $Ez$  为  $Z$  的方差。这是一个以  $\{a(j) | j = 1, 2, \dots, p\}$  为优化变量的复杂非线性优化问题, 用传统的优化方法处理较难。因此, 本文应用模拟生物优胜劣汰与群体内部染色体信息交换机制的基于实数编码的加速遗传算法 (real coding based accelerating genetic algorithm, 简称 RAGA) 来解决其高维全局寻优问题。

显然, 这里的  $Q(a)$  就是主成分分析中的协方差矩阵的最大特征值,  $a_1$  就是主成分分析中的协方差矩阵最大

特征值所对应的特征向量。如果继续做投影，在与  $a_1$  垂直的空间里求单位向量  $a_2$ ，使得

$$Q(a_2) = \max \left( \sum_{i=1}^n (z(i) - Ez)^2 \right) / (n-1) \left( \sum_{j=1}^p a_2^2(j) = 1; a_2 \perp a_1 \right) \quad (12)$$

用线性代数方法可以证明  $a_2$  就是主成分分析中第二大特征向量，如此类推，就可以求出第三、第四主成分等，共提取投影指标函数值大于零的  $d(d \leq p)$  个成分。可以看出主成分分析是投影寻踪主成分分析的特例。

步骤 4：计算各个主成分，主成分为

$$F_{i'i} = \sum_{j=1}^p a_{ij} \cdot x'(i, j), \quad (i=1, 2, \dots, n, i'=1, 2, \dots, d, d \leq p)。$$

最后求得各个评价样本的综合评价函数  $F_i$

$$F_i = \sum_{i'=1}^d \alpha_{d'} F_{i'i}, \quad (i=1, 2, \dots, n, i'=1, 2, \dots, d, d \leq p) \quad (13)$$

式中，系数  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_d$  分别为第一、第二主成分， $\dots$ ，第  $d$  主成分的贡献率。

### 3 实例

三江平原位于黑龙江省东北部，土地面积达 10.89 万  $\text{km}^2$ ，是中国重要的商品粮基地。该地区地下水资源较为丰富，然而随着井灌水稻面积的逐年增加和城镇化进程的加快，一些地区地下水资源严重超采，已经出现漏斗现象，农业水资源出现严重危机<sup>[4]</sup>；三江平原土壤类型主要以草甸土和沼泽土为主，土壤结构主要为黑土层和黄土层，土壤特点为贮水能力强、供水能力弱。近年来，由于施肥不合理、管理不善、土壤侵蚀等人为和自然原因，导致土壤肥力水平下降，农田土壤退化较为严重<sup>[15]</sup>。可见，三江平原农业水土资源存在着严重的不合理利用问题，因此，全面评价该地区农业水土资源承载力现状十分必要。本文以三江平原腹地的农垦建三江分局为例，分析其下属 15 个国有农场 2008 年农业水土资源相关资料，从宏观尺度计算该地区农业水土资源承载力状况。

#### 3.1 微观农业水土资源承载力

##### 3.1.1 最大粮食产量

2008 年建三江分局粮食年产量为  $4.66 \times 10^6$  t，年农业用水量为  $2.39 \times 10^9$   $\text{m}^3$ ，地下水资源可开采量约为  $2.25 \times 10^9$   $\text{m}^3$ ，全局年均地表水资源总量约为  $1.07 \times 10^9$   $\text{m}^3$ ，所以农业水资源最大可利用量约为  $3.32 \times 10^9$   $\text{m}^3$ ；耕地面积  $6.74 \times 10^5$   $\text{hm}^2$ ，可垦荒地面积  $0.75 \times 10^5$   $\text{hm}^2$ ，如果将可垦荒地全部开发为耕地资源，则耕地面积将达到  $7.49 \times 10^5$   $\text{hm}^2$ ；而建三江分局 2008 年平均农业水土资源匹配系数为  $3\ 550.07$   $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ，再比较农业水资源最大可利用量和耕地资源最大可利用量的大小，将该年农业水土资源匹配系数作为衡量标准，取二者之中较小者，最后采用耕地资源最大可利用量求得：2008 年建三江分局可生产的最大粮食产量为  $5.18 \times 10^6$  t。

##### 3.1.2 最大人口数量

根据国家统计局提出的中国粮食消费标准和农业部等有关部门的一项前瞻性研究表明：2030 年中国人均粮食需求量将达到 440 kg，而 2008 年中国人均消费粮食为 380 kg<sup>[16]</sup>。通过上面求得的 2008 年建三江年最大粮食产量计算 2008 年建三江农业水土资源支撑的最大人口数量为 1 294.55 万人。黑龙江省 2008 年总人口为 3 825 万人，即仅建三江分局可生产的最大粮食产量就可支撑黑龙江总人口的 33.8%，超过黑龙江总人口的三分之一。表明该地区农业水土资源承载力还处于相对较高水平，从而可以在全国尺度范围内衡量该地区农业水土资源承载力状况。

#### 3.2 宏观农业水土资源承载力

根据《2008 年建三江农垦统计年鉴》<sup>[17]</sup>中农业水土资源相关资料，对建三江地区农业水土资源承载力 DPSIR 宏观评价指标体系概念模型中各个评价指标进行赋值，采用 Matlab7.0 对投影寻踪主成分分析模型进行编程，在 RAGA 寻优过程中，选定父代初始种群规模  $n=400$ ，交叉概率  $p_c=0.80$ ，变异概率  $p_m=0.80$ ，优秀个体数目选定为 20 个， $a=0.05$ ，加速次数为 20。最终共提取了 4 个主成分，4 个投影指标函数值分别为： $Q(a_1)=14.4275$ ， $Q(a_2)=7.0599$ ， $Q(a_3)=4.3573$ ， $Q(a_4)=1.9761$ ，各主成分的贡献率： $\alpha_1=51.86\%$ ， $\alpha_2=25.38\%$ ， $\alpha_3=15.66\%$ ， $\alpha_4=7.10\%$ 。最后通过步骤 4 求得各个评价样本的综合评价函数值及承载力相对等级见表 2。

表 2 建三江各农场农业水土资源承载力相对等级

Table 2 Agricultural water and soil resources carrying capacity relative grade of each farm in Jiansanjiang region

序号	农场名	评价函数值	相对等级
1	二道河	1.5355	一级
2	浓江	1.1330	一级
3	洪河	0.9832	一级
4	创业	0.7637	二级
5	红卫	0.4745	二级
6	前锋	0.4467	二级
7	七星	0.3117	三级
8	前进	0.1887	三级
9	鸭绿江	0.1286	三级
10	大兴	0.0997	三级
11	青龙山	-0.3759	四级
12	前哨	-0.5438	四级
13	八五九	-0.6944	四级
14	胜利	-1.5225	五级
15	勤得利	-2.6849	五级

本文将建三江地区农业水土资源承载力划分为 5 个等级区：一级区表示承载力水平较高，该区农业水土资源利用良好，农业水土资源储备量比较丰富，还有很大的开发潜力；二级区表示农业水土资源利用较为合理，仍有一定的开发潜力；三级区表示农业水土资源开发利用水平已达到相对较高的规模，进一步开发的潜力很小，

四级区表示农业水土资源承载力已接近或达到临界值, 农业水资源和可垦荒地资源已基本开发殆尽; 五级区表示农业水土资源承载力已超出承载力开发限度, 农业水土资源的供给水平已很难满足建三江地区农业发展需求。

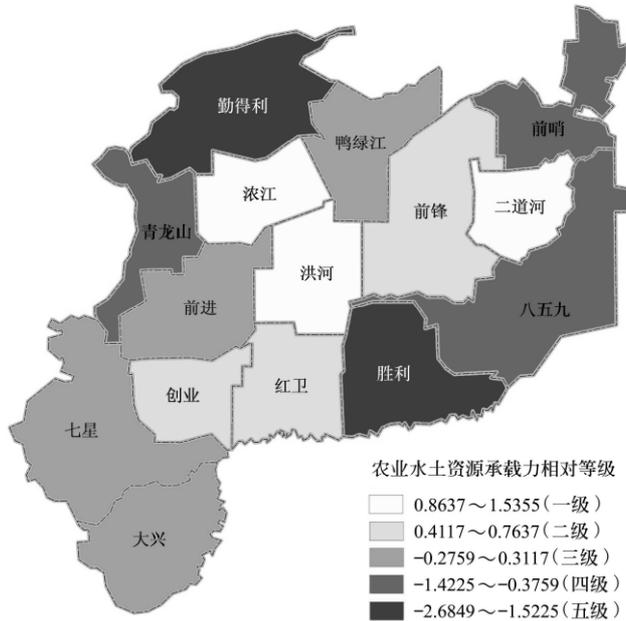


图1 2008年建三江分局各农场农业水土资源承载力相对等级图  
Fig.1 Agricultural water and soil resources carrying capacity relative grade of each farm in Jiansanjiang region in 2008

### 3.3 宏微观计算结果分析及对策建议

1) 在计算 2008 年建三江分局微观农业水土资源承载力的大小时, 农业水资源最大可利用量与耕地资源最大可利用量的比值大于当年农业水土资源匹配系数, 采用二者中的较小值进行计算的原则, 由耕地资源最大可利用量求得 2008 年建三江分局可生产的最大粮食产量为  $5.18 \times 10^6$  t, 所以耕地资源是制约 2008 年建三江地区农业水土资源支撑最大粮食产量的关键因素。这与实际情况相符, 由于近几年在经济利益的驱使下, 建三江地区耕地资源重开发、轻治理, 垦建失调, 经营管理粗放等问题, 造成了土壤耕作层变薄, 土壤肥力下降; 建设用地与农业用地的不断竞争, 使得耕地资源数量也在不断减少, 最终导致耕地资源数量和质量相对于农业水资源快速下降, 耕地资源与农业水资源的比值由 2005 年的  $4.07 \times 10^{-4} \text{ hm}^2/\text{m}^3$  下降到 2008 年的  $2.82 \times 10^{-4} \text{ hm}^2/\text{m}^3$ <sup>[17]</sup>, 下降了 30.7%。所以应加强对现有耕地的保护力度, 充分挖掘中低产田的生产潜力, 同时对现有荒地资源作出正确评价, 确定开发保护比例, 做到既有利于农业发展, 又不破坏生态环境。

2) 本文绘制了建三江分局各农场宏观农业水土资源承载力相对等级计算结果图(见图 1)。由图可知, 建三江分局的勤得利和胜利等周边农场宏观农业水土资源承载力处于较低的五级水平, 表明这 2 个农场对于农业水土资源的使用已超出了该地区农业水土资源的承载力限

度, 如果继续按照目前的农业水土资源配比状况进行生产, 将会对农业水土资源造成不可恢复的破坏; 而处于承载力相对较高的一级水平的浓江和洪河等农场, 以及二级水平的前锋等农场则主要分布在建三江中部地区。结果符合建三江地形分布特点和农业水资源利用特点, 因为建三江分局整体地形为盆地, 而且建三江地区农业用水主要以开采地下水为主, 周边地区地下水储量较低。所以形成了建三江分局宏观农业水土资源承载力等级中部高、四周低的空间分布规律; 而且由于近几年水稻的大面积种植, 地下水资源被不断开采, 造成勤得利和胜利农场的农业水土资源匹配系数(分别为  $2\ 134.17$  和  $2\ 762.55 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ) 远远小于浓江和洪河农场的农业水土资源匹配系数(分别为  $4\ 111.65$  和  $3\ 925.92 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ )<sup>[17]</sup>。所以地下水资源数量是制约 2008 年建三江分局宏观农业水土资源承载力的关键因素。因此加强建三江分局周边农场引用挠力河、黑龙江、乌苏里江水源工程的建设, 有效利用地表水资源, 灌排结合, 可以有效缓解地下水供给农业水资源的压力, 保障地下水资源储量; 大力推广节水灌溉制度, 以提高农业水资源利用效率。

3) 在分别对影响建三江分局微观和宏观农业水土资源承载力的制约因素进行分析后, 我们可以清晰的得到: 制约建三江地区微观农业水土资源承载力大小的关键因素是耕地资源, 而制约宏观农业水土资源承载力大小的关键因素则是地下水资源。所以应在加大水资源建设的同时保护和提高现有耕地资源质量, 根据不同农场农业水土资源特点, 调整水旱田种植面积比例, 使得对该地区农业水资源和耕地资源的利用达到农业水土资源的最佳匹配程度, 进而同步提高建三江地区宏微观农业水土资源承载力, 为该地区粮食生产安全和实现农业水土资源的可持续利用提供重要保障。

## 4 结论与讨论

在构建微观和宏观农业水土资源承载力评价指标体系的基础上, 建立了农业水土资源承载力微观和宏观计算模型, 其中微观模型用于求解农业水土资源支撑的最大粮食产量和最大人口数量, 宏观模型用于评价区域农业水土资源承载力的相对等级, 将模型用于计算三江平原农垦建三江分局的农业水土资源承载力水平。结果表明该模型求得的建三江地区宏观和微观农业水土资源承载力大小和制约因素, 较好地反映出建三江分局农业水土资源承载力的实际水平, 说明该模型切实可行, 并为建三江分局农业水土资源系统整体效能的充分利用提供了依据。

农业水土资源承载力研究, 对于中国粮食生产安全和农业水土资源可持续高效利用具有重大理论与现实指导意义。本文从农业水土资源承载力的研究理念、概念内涵的界定、评价指标体系的建立、承载力综合评价的模型求解上进行了全新的尝试, 可为垦区、灌区或者其他以农业生产为主的地区进行农业水土资源承载力研究

提供参考。

### [参 考 文 献]

- [1] 封志明, 杨艳昭, 张晶. 中国基于人粮关系的土地资源承载力研究: 从分到县到全国[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 865—875.  
Feng Zhiming, Yang Yanzhao, Zhang Jing. The land carrying capacity of china based on man-grain relationship[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 865—875. (in Chinese with English abstract)
- [2] 任守德, 付强, 王凯. 区域水土资源承载力研究进展[J]. 农业系统科学与综合研究, 2010, 26(2): 222—226.  
Ren Shoude, Fu Qiang, Wang Kai. Research progresses of regional water and soil resources carrying capacity[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2010, 26(2): 222—226. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李祥明. 黄淮海平原耕地资源承载力的研究: 以安徽淮北亳州、涡阳、蒙城、怀远为例[J]. 自然资源, 1992(1): 12—20.  
Li Xiangming. Study on soil resources carrying capacity in Huang-Huai-Hai Plain—Take Bozhou, Woyang, Mengcheng, Huaiyuan in Anhui Huaibei for example[J]. Natural Resources, 1992(1): 12—20. (in Chinese with English abstract)
- [4] 张永勇, 夏军, 王中根. 区域水资源承载力理论与方法探讨[J]. 地理科学进展, 2007, 26(2): 126—132.  
Zhang Yongyong, Xia Jun, Wang Zhonggen. Research on regional water resources carrying capacity theory and method [J]. Progress in Geography, 2007, 26(2): 126—132. (in Chinese with English abstract)
- [5] 赵小勇, 付强. 投影寻踪模型的改进及其在城市水资源承载能力预测中的应用[J]. 数学的实践与认识, 2007, 37(7): 76—81.  
Zhao Xiaoyong, Fu Qiang. Improvement of projection pursuit model and its application in predicting the city water resources capacity[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2007, 37(7): 76—81. (in Chinese with English abstract)
- [6] 赵建世, 王忠静, 秦韬, 等. 海河流域水资源承载能力演变分析[J]. 水利学报, 2008, 39(6): 647—658.  
Zhao Jianshi, Wang Zhongjing, Qin Tao, et al. Analysis on evolution of water resources carrying capacity of Haihe River basin[J]. Journal of hydraulic engineering, 2008, 39(6): 647—658. (in Chinese with English abstract)
- [7] 黄初龙, 邓伟, 杨建锋. 我国农业水资源可持续利用研究进展[J]. 农业系统科学与综合研究, 2005, 21(2): 141—145.  
Huang Chulong, Deng Wei, Yang Jianfeng. Advances in studies of sustainable utilization of agricultural water resources[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2005, 21(2): 141—145. (in Chinese with English abstract)
- [8] 段春青, 刘昌明, 陈晓楠. 区域水资源承载力概念及研究方法的探讨[J]. 地理学报, 2010, 65(1): 82—90.  
Duan Chunqing, Liu Changming, Chen Xiaonan. Preliminary research on regional water resources carrying capacity conception and method[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(1): 82—90. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王友贞, 施国庆, 王德胜. 区域水资源承载力评价指标体系的研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(4): 597—604.  
Wang Youzhen, Shi Guoqing, Wang Desheng. Study on evaluation indexes of regional water resources carrying capacity[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(4): 597—604. (in Chinese with English abstract)
- [10] Nikolaos Th Skoulikidis. The environmental state of rivers in the Balkans—A review within the DPSIR framework[J]. Science of the Total Environment. 2009, 407(8): 2501—2516.
- [11] 陈洋波, 陈俊合, 李长兴, 等. 基于 DPSIR 模型的深圳市水资源承载能力评价指标体系[J]. 水利学报, 2004(7): 98—103.  
Chen Yangbo, Chen Junhe, Li Changxing, et al.. Indicators for water resources carrying capacity assessment based on driving forces-pressure-state-impact-response model[J]. Journal of hydraulic engineering, 2004, (7): 98—103. (in Chinese with English abstract)
- [12] 于伯华, 吕昌河. 基于 DPSIR 模型的农业土地资源持续利用评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 53—58.  
Yu Bohua, Lü Changhe. Assessment of sustainable use of agricultural land resources based on DPSIR Framework[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(9): 53—58. (in Chinese with English abstract)
- [13] 付强, 赵小勇. 投影寻踪模型原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [14] 刘东, 付强. 三江平原井灌水稻区地下水动态变化规律的小波神经网络分析[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(3): 86—89.  
Liu Dong, Fu Qiang. Dynamic variation regularities analysis of groundwater in well irrigation paddy in sanjiang plain based on wavelet neural network[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(3): 86—89. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王子龙, 付强, 姜秋香. 基于 GIS 与属性识别模型的土壤肥力综合评价[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 76—80.  
Wang Zilong, Fu Qiang, Jiang Qiuxiang. Comprehensive evaluation of soil fertility based on GIS and attribute recognition model[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(6): 76—80. (in Chinese with English abstract)
- [16] 张士功. 耕地资源与粮食安全[D]. 北京: 中国农业科学院, 2005.  
Zhang Shigong. Land Resources and Food Security[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2005. (in Chinese with English abstract)
- [17] 黑龙江省农垦总局建三江分局. 建三江农垦统计年鉴[Z]. 2008.

## Regional agricultural water and soil resources carrying capacity based on macro-micro scale in Sanjiang Plain

Ren Shoude, Fu Qiang, Wang Kai

*(College of Water Conservancy and Architecture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)*

**Abstract:** The agricultural water resources and soil resources are viewed as independent system, which are respectively researched in evaluating the carrying capacity of agricultural water and soil resources. It is easy to cause the overload operation of the agricultural water and soil resources system. This paper studied the carrying capacity of agricultural water and soil resources as a whole system, and put forward a new idea that the carrying capacity of agricultural water and soil resources is evaluated from the macro and micro scale. On the basis of building microcosmic and macroscopic evaluation index system for the carrying capacity of agricultural water and soil resources, it also established the micro and macroscopic computing models. The microscopic model was used to compute the maximum grain yield and the maximum number of people that the agricultural water and soil resources can support. The macroscopic model was used to evaluate the regional relative rank of the carrying capacity of agricultural water and soil resources. The models were also used to analyze the carrying capacity of agricultural water and soil resources of Jiansanjiang region of Sanjiang plain. The results showed that the size and restrictive factors of agricultural water and soil resources carrying capacity in Jiansanjiang region, which is obtained by macro-micro model, reflected the realistic levels of carrying capacity of agricultural water and soil resources of Jiansanjiang region. It shows that the model is practical, and can provide the basis for making full use of overall efficiency of regional agricultural water and soil resources carrying capacity system.

**Key words:** water resources, soils, grain, carrying capacity, Sanjiang plain