

基于逐级递减法的洞庭湖区晚稻生产潜力 模拟与预测

李忠武^{1, 2}, 叶芳毅^{1, 2}, 李裕元³, 罗 霄^{1, 2}, 陈 瑀^{1, 2}

(1 湖南大学环境科学与工程学院, 长沙 410082; 2 环境生物与控制教育部重点实验室,
长沙 410082; 3 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125)

摘要:洞庭湖区是中国的重要商品粮基地,也是长江流域重要的农产品产业区。本文利用 2003~2007 年气象数据及全国第二次土壤普查相关资料,按照光、温、水、土逐级递减的过程,采用逐级递减法,对水稻生产力不同预测方法进行了对比研究。结果显示:2003~2007 年实际产量均值为 5904 kg/hm²,逐级计算光温潜力法所得的均值为 7808.072 kg/hm²;而基于 FAO-AEZ 方法计算的晚稻生产力 5 年均值仅为 5687.45 kg/hm²,小于实测产量。基于逐级计算光温潜力的预测模型比较适合洞庭湖区域的晚稻生产潜力预测。晚稻生产力空间分布研究结果表明,洞庭湖区晚稻生产潜力呈现由西北向东南递减的过渡趋势,中高产区主要集中于常德市所属的澧县、安乡、汉寿和临澧一带,低产区则多分布于长沙市、益阳市和岳阳市等几个区域所属县市;洞庭湖区整体的水稻生产潜力偏低,低产潜力区域达到 45%,通过各种耕作措施进一步增产的空间较大。

关键词:晚稻; 生产潜力; 逐级递减法; 洞庭湖区

文章编号: 1000-0585(2010)11-2017-09

1 引言

作物生产潜力评价是国内外广大学者普遍重视的热点研究领域,我国学者近年来对旱地农业研究给予了极大重视^[1~3]。作物生产潜力的定量模拟是农业生产潜力计算的基础。水稻作为世界三大粮食作物之一,其生产潜力的模拟与预测具有重要意义。水稻生产潜力(rice potential productivity)是指与水稻生产有关的光能、热量、降水等不可控资源和种植作物、熟制安排、肥料(外源投入)等可控资源应能实现的生产能力^[4]。近年来随着人口的增加、耕地锐减和环境退化,粮食生产问题显得日益迫切,成为制约农业可持续发展的重要因素。因此,研究水稻生产潜力,建立适当的预测模型,有助于合理开发与利用耕地资源,促进土地资源优化配置,为评价稻田生态系统的基本特征,掌握水稻生产的限制因素,规划耕作制度,制定国家或地区农业发展规划以及农业生态环境保护等提供科学依据。

目前,关于水稻生产潜力模型的研究较多,较有影响的模型主要有水稻生产潜力逐级递减模型^[5]、美国的 CERES (Crop-Environment Resource Synthesis System) 系列模型

收稿日期: 2010-03-13; 修订日期: 2010-06-13

基金项目: 国家 863 项目 (2007AA10Z222); 国家科学技术支撑计划项目 (2007BAD87B11)

作者简介: 李忠武 (1972-), 男, 湖南望城人, 博士, 教授。研究方向为农业环境信息系统。

E-mail: lizw@hnu.cn

中的水稻生产潜力模型^[4]、高亮之等人的水稻栽培计算机模拟优化决策系统 (RC-SODS)^[6]、由国际水稻研究所与荷兰瓦赫宁根大学联合研制的 ORYZA 系列模型的最新版 ORYZA 2000 模型^[7]以及综合考虑作物类型、作物生长过程中的光温、降水、蒸发、空气湿度、风速、土壤类型及地形等多种因素的 YIELD 模型^[8]等, 其中逐级递减模型和 YIELD 模型为经验性模型, 其他为偏重机理的模型。但是机理模型多为单点 (plot) 模型, 尽管其可以详细地描述水稻生产的机理性过程, 但往往需要的参数多, 数据难以获得, 影响了其在田间实际的应用, 特别在大尺度区域应用, 难度更大。经验性的模型尽管简单, 但是其多是在对田间多年的实际资料进行统计分析的基础上获得的结果, 具有一定的科学性, 在实际中也有着比较好的应用。

对于享有“鱼米之乡”美誉的洞庭湖区这一典型区域, 文倩等^[9]采用“生产力衰减法”估计了土地的生产潜力和人口承载力。但是目前对洞庭湖区水稻生产潜力模拟预测的研究却较为缺乏。因此, 本研究以洞庭湖区——中国重要的水稻商品粮基地为研究区域, 采用逐级递减的原理, 通过对两种光温潜力计算方法的对比, 以期找到适合该研究区域的水稻生产力模拟模型, 从而探讨研究区域的水稻生产力现状特征, 进一步为区域粮食政策的合理制订提供理论依据。

2 研究区概况和数据来源

2.1 研究区域

洞庭湖 (28°30′~30°20′N、110°40′~113°10′E) 位于长江中游以南, 湖南省北部, 是承纳湘、资、沅、澧四水、吞吐长江的洪道型湖泊。洞庭湖区是以洞庭湖为中心的广大地带, 是中国非常重要的商品粮基地之一, 也是世界上重要湿地之一。洞庭湖平原向东、南、西三周过渡为河湖冲积平原、环湖丘陵岗地、低山, 为一碟形盆地。区内辖岳阳市 (不含平江县)、常德市 (不含石门县)、益阳市 (不含桃江县) 和望城县、宁乡县、长沙县和长沙市区, 共有土地面积 $3.9 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全省总面积的 18.4%。研究区域属亚热带季风性气候, 春夏冷暖气流交替频繁, 夏秋晴热少雨, 秋寒偏早。多年平均气温 $16.5 \sim 17^\circ\text{C}$, 年平均降水量 1250~1450mm, 无霜期 258~275 天。

2.2 数据来源

主要气象数据, 包括太阳辐射、气温、降水等, 均来源于国家气象局中国气象科学数据共享服务网。

土壤肥力指标数据来源于“湖南省第二次全国土壤普查”资料, 其肥力指标图件是通过插值后形成的面状图。研究中通过对相关面状图层进行扫描、配准和数字化, 建立洞庭湖区土壤肥力数据库, 然后对每个肥力指标图层进行栅格化 (100m×100m), 并利用土壤肥力指数模型获得每个栅格点上的土壤修正系数。

3 研究方法

在国内外基于逐级递减原理对相关水稻生产潜力进行预测的基础上, 本研究选择两种主要的模型展开对比研究。

3.1 光温潜力计算

3.1.1 逐级计算光温潜力法

逐级计算光温潜力法是应用最为广泛的土地生产潜力研究方法, 考虑了光、温、水、

土等自然生态因子, 从作物光合作用入手, 依据作物能量过程, 逐步 衰减 来估算土地生产力。

(1) 光合潜力计算

光合生产潜力指作物在温度、水分和养分条件均保持最适宜状态时, 由太阳辐射所决定的产量, 也叫光能生产潜力。其计算公式如下^[5]:

$$Y_Q = \frac{666.7}{C} \frac{10^4}{500} F E Q \quad (1)$$

式中, Y_Q 为单位土地面积上生长期间的光合潜力 (kg/hm^2); C 为作物能量转换系数, 即 1g 干物质所结合的化学能。根据 Albritton 的资料, 水稻为 $1674 \times 10^4 \text{ J}/\text{kg}$; F 为作物的最高光能利用率, 即作物光合作用结合的能量占太阳总辐射的比率, 本研究中的光能利用效率为 4% ; E 为经济系数, 水稻经济系数在 $0.3 \sim 0.6$ 之间, 平均为 0.47 。考虑到研究区域的光热水条件较好, 本研究取水稻经济系数为 0.5 ; Q 为生长期间投入该面积上的太阳辐射能 (J/cm^2); 500 为常数。

(2) 光温潜力计算

光温生产潜力是指作物群体在自然条件适宜的情况下, 以光能和温度作为作物产量的决定因子时, 所产生干物质的能力, 是在光合生产潜力的基础上进行温度订正而获得^[5]:

$$f(T) = \begin{cases} 0 & T \leq 0 \\ T/30 & 0 < T < 30 \\ 1 & T \geq 30 \end{cases} \quad (2)$$

$$Y_T = Y_Q \cdot f(T)$$

其中, T 为生长期内的日或者月平均温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

3.1.2 基于 FAO 模型的光温潜力直接计算法

农业生态区 (agro-ecological zone, AEZ) 模型是目前世界上应用范围最广的一个农业生产潜力评估模型。该模型是由 Kassam 等于 20 世纪 70 年代在 FAO 及 IIASA 等机构的支持下, 在 Wageningen 模型的基础上, 为农业生态区项目制定的计算作物生产潜力的一种方法^[10]。

FAO-AEZ 模型综合考虑光、温、水等因素, 并且步骤简单, 需要的数据量少, 可以直接测定作物生产力。与其他的模型相比, 该方法的数据易于收集, 便于计算, 其结果也能够较好地反映地区作物生产潜力的多年平均状况^[11]。目前, FAO-AEZ 模型已得到国际上的普遍认可和广泛应用, 并在实践中得到了很多学者的验证。其中, 陶毓汾等^[12]较早运用了 FAO-AEZ 法计算作物光温生产潜力, 并根据作物主要发育阶段需水和降水季节分配的吻合程度, 确定各阶段作物需水满足率, 计算自然降水生产潜力理论值。

基于此, 本研究部分采用 FAO-AEZ 模型^[13], 具体流程如下:

(1) 计算标准作物生物量

首先选定区域的标准作物, 然后计算其在给定地区全晴天的干物质生产量 (y_c) 和全阴天的干物质生产量 (y_o), 最后用云层覆盖率 (F) 来校正, 得到作物每日总干物质生产量 (Y_o):

$$Y_o = F \cdot y_o + (1 - F) y_c \quad (3)$$

(2) 计算光温生产力

$$Ymp = cL \quad cN \quad cH \quad G[F(0.8 + 0.01ym)yo + (1 - F)(0.5 + 0.025ym)yc]kg/ha/period$$

(4)

式中, cL 为水稻叶面积校正系数 (按表 1 进行修正); cN 为水稻净干物质校正系数 (0.5~0.6); cH 为水稻收获指数校正 (0.4~0.5); G 为水稻整个生长期天数; F 为天空中云量百分比 ($F = (R_s - 0.5R_s) / 0.8R_s$, R_{se} 为月最大短波辐射, R_s 为太阳辐射总量); y_m 为一定气候条件下某一种作物最大叶面干物质质量; y_o 为给定地点完全被云覆盖的标准作物干物质生产量; y_c 为给定地点完全无云条件下的标准作物干物质生产量。其中水稻叶面积指数修正、不同温度条件下水稻干物质参数修正以及不同月份最大短波辐射、标准作物在完全被云覆盖和完全无云条件下的干物质生产量数据均参考文献[14, 15]。

3.2 气候生产潜力修正

研究表明, 水分对作物生长和产量的影响很大^[2]。在方法 1、方法 2 计算得到光温潜力的基础上, 进行水分条件的修正, 主要是用水分修正系数乘以光温生产潜力计算得到气候生产潜力 (P_w)。

表 1 水稻叶面积指数修正表格

Tab 1 The revision coefficient of rice leaf area index

叶面积指数	1	2	3	4	5
修正值	0.2	0.3	0.4	0.48	0.5

$$P_w = Ymp \cdot f(w)$$

(5)

其中, P_w 为气候生产潜力 (kg/hm^2), Ymp 为光温生产潜力 (kg/hm^2), $f(w)$ 为水分修正系数, $f(w)$ 的计算公式为^[10]:

$$f(w) = \begin{cases} R/ET_m & R < ET_m \\ 1 & R > ET_m \end{cases}$$

(6)

其中, R 为作物生长期有效降水量 (mm) ($R = P - (1 - C_R)P$, P 为降雨量, C_R 为径流系数 (0.15~0.30)), ET_m 为潜在蒸散量 (mm)。

在众多估算蒸发蒸腾量的经验公式中, Turc Radiation 公式的计算值较接近于实际蒸散量; 另外, Turc Radiation 公式所用参数较少, 只需要气温、太阳辐射量和相对湿度资料, 植物蒸腾状态的改变及其对产量的影响已集中反映在气温、辐射和降水上。因此, 本研究采用 Turc Radiation 公式^[16], 共同考虑辐射和温度来计算参考作物蒸发蒸腾量。

当空气相对湿度大于 50% 时:

$$ET_{ai} = 0.0063 \frac{T_i}{T_i + 15} (Q_i + 50)$$

(7)

当空气相对湿度小于 50% 时:

$$ET_{oi} = 0.0063 \frac{T_i}{T_i + 15} (Q_i + 50) (1 + \frac{50 - R_i}{70})$$

(8)

其中: T_i 为日平均气温 (°C); Q_i 为太阳辐射量 ($W \cdot m^{-2}$); R_i 为日平均相对湿度。

$$ET_m = ET_o \cdot K_c$$

(9)

其中, K_c 为水稻的作物系数。

3.3 土地生产潜力修正

土地生产潜力计算的关键是土壤有效系数的确定。在采用以上 2 种方法计算气候生产潜力的基础上, 采用土壤有效系数对土地生产潜力进行修正^[5], 其可以表达为:

$$SQI = \sqrt[10]{F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot ph \cdot P \cdot Q \cdot T \cdot E \cdot G}$$

(10)

其中, SQI 为土壤质量指数, $F_1 \sim F_4$ 分别为土壤有机质、速效磷、全氮、速效钾的单因

素有效函数; pH 、 P 、 Q 、 T 、 E 、 G 分别为土壤酸碱度、土壤机械组成、光热条件、有效土层厚度、水分条件和地面坡度的单因素有效函数。各单因素有效函数的确定方法具体见文献[5]。

3.4 模型中相关参数的确定

(1) 净干物质生长量的校正 (cN)

净干物质生长量的校正系数 cN ^[17] 根据下式计算:

$$cN = 0.72(1 + 0.25cT - G)^{-1} \quad (11)$$

$$cT = 0.0108(0.044 + 0.0019T + 0.001T^2) \quad (12)$$

鉴于洞庭湖区晚稻生育期常年处于平均气温 26℃ 左右的高温天气, 将 $T = 26$ 、 $G = 124$ 代入计算得 $cN = 0.57$ 。

(2) 叶面积指数的确定 (cL)

叶面积指数是反映作物群体大小的较好的动态指标。在一定的范围内, 作物的产量随叶面积指数的增大而提高。当叶面积增加到一定的限度后, 田间郁闭, 光照不足, 光合效率减弱, 产量反而下降。研究中叶面积指数的确定参考赵安等人的研究成果, 取 cL 值为 0.5^[13]。

(3) 生育期天数的确定 (G)

本研究采用 2002 年在中国科学院桃源生态实验站用籼优桂 99 调查得到的生育期数据, 取 $G = 124$ 天 (6 月 19 日~10 月 20 日)。

(4) Kc 值的确定

Kc 为水稻的作物系数, Kc 值的获得, 根据文献[14, 15], 取其值为 1.13^[18]。

(5) q 值的确定

q 值是影响着土壤机械组成的单因素有效函数, 其含义为直径小于 0.01mm 的物理颗粒含量。

通过查阅相关资料^[19]可知, 湖南省的水稻土, 集中分布于洞庭湖畔的洞庭水网冲积平原上。湖南省水稻土主要分为四个类型: 淹育性水稻土、潜育性水稻土、漂白性水稻土以及潜育性水稻土, 分别占水稻土类面积的 7.9%、72.7%、1.1% 和 18.3%。根据第二次土壤普查调查的结果可知^[19], 这四种水稻土的 q 值分别约为 48.24%、45.37%、50.18% 和 43.85%。经加权平均, 计算的综合 q 值为 45.37%。

(6) 其他参数

考虑到洞庭湖区域的实际情况, 该区平均土层有效厚度 < 100cm, 地形高程 < 100m, 地面坡度 < 7°, 年度内积温分布 > 5300℃, 根据文献[16]中参数的确定方法, 这几项参数均取作 1。

4 结果分析

4.1 不同预测方法的模拟结果对比分析

研究中以洞庭湖区的典型代表区域沅江作为定点研究区域, 采用 2 种水稻生产力模拟预测模型计算了 2003~2007 年晚稻的生产潜力, 并和该点的常年实测产量进行对比, 以此确定能够反映洞庭湖区晚稻生产潜力的预测模型。

通过对 2003~2007 年多年相关气象资料的计算和土壤肥力资料的处理, 可以得到近 5 年该研究点上的水稻生产力预测结果 (表 2、图 1)。从 5 年来 (2003~2007 年) 产量的

平均值 (表 2) 可知, 该区域实测产量的均值为 5904 kg/hm^2 , 且各年份产量变化较大。逐级计算光温潜力法所得的均值为 7808.072 kg/hm^2 , 预测值大于实际值, 多年平均偏差为 32.84% 。鉴于实际的管理措施等因素没有考虑进去, 该预测结果比较正常, 这也表明该区域晚稻生产力的增产潜力空间较大。基于 FAO 方法计算的晚稻生产力 5 年均值仅为 5687.45 kg/hm^2 , 两者差距虽然较小, 但是预测值小于实测值, 特别在某些年份预测值低于实测值 10% (2007 年), 这在理论上与实际情况也不一致。基于以上分析结果, 研究认为逐级计算光温潜力的模型比基于 FAO 模型的光温潜力直接计算法预测的结果更符合该区域的现状。

表 2 两种方法模拟不同年份晚稻生产潜力结果比较 (kg/hm^2)

年份	方法 1			方法 2			实测值
	预测值	差值	差值 (%)	预测值	差值	差值 (%)	
2003	7089.42	2214.42	45.4	5481.55	606.55	12.44	4875
2004	7701.6	1956.6	34.1	5687.45	-57.55	-1.00	5745
2005	6954.3	984.3	16.5	5378.60	-591.4	-9.91	5970
2006	8408.44	2378.44	39.4	5790.40	-239.6	-3.971	6030
2007	8886.6	1986.6	28.8	6099.25	-800.75	-11.61	6900
均值	7808.072	1904.072	32.84	5687.45	-216.55	-2.8102	5904

4.2 两种方法的分析

逐级计算光温潜力法考虑了作物种类、经济系数、太阳辐射能以及能量转换系数等, 同时, 涉及参数较少, 计算相对简单, 在实际应用中有比较好的应用前景。因此, 该方法被国内外的很多作物生产潜力研究方面的专家所采用^[5]。研究结果表明, 模拟值与实测值的五年平均差值达到 20% , 有些年份达到 40% 以上, 这表明研究区域的晚稻生产潜力具有较大的增产空间, 特别是病虫害治理以及其他相关管理因素的改善, 将使得晚稻产量大幅度提高。这也更进一步表明逐级计算光温潜力法的预测值是比较符合区域实际的。

基于 FAO 模型的光温潜力直接计算法, 尽管对水稻生长过程中的各种因素考虑得较多, 但是其在预测过程中得到的计算结果和实际产量的差距太小, 有些年份甚至比实际产量小, 这和区域的实际情况不符, 这也表明该模型在洞庭湖区域的应用基本上不适宜。造成这一现象的原因, 主要是该模型来源于国家粮农组织, 相关的参数都是理想状态下全球不同区域的平均值, 因此其和洞庭湖区域的实际有一定的偏差。如果要使该模型能够应用于该区域, 还需要通过大量的实验对相关参数进行修正。

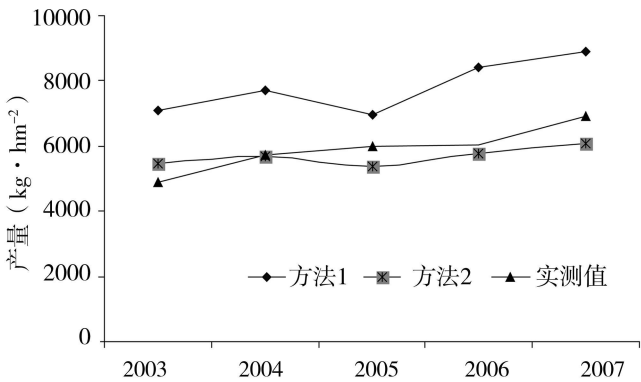


图 1 洞庭湖区 2 种晚稻生产潜力预测模型模拟结果比较

Fig 1 Comparison of simulated late rice productivity potential between two methods in Dongting Lake

根据以上比较分析，在洞庭湖区水稻生产潜力预测方法中，基于逐级递减光温潜力计算法预测的晚稻生产力结果更加接近于实际，更优于 FAO 光温潜力法。

4 3 洞庭湖区晚稻生产潜力的空间分异特征分析

在模型选择的基础上，本研究采用基于逐级递减的光温潜力计算法，利用 2007 年的气象数据以及全国第二次土壤普查的土壤数据，模拟了洞庭湖区的晚稻生产潜力状况（图 2），其中晚稻生产力按照 $> 7500\text{ kg/hm}^2$ 、 $6000\sim 7500\text{ kg/hm}^2$ 和 $< 6000\text{ kg/hm}^2$ 分别划分为高产、中产和低产区。

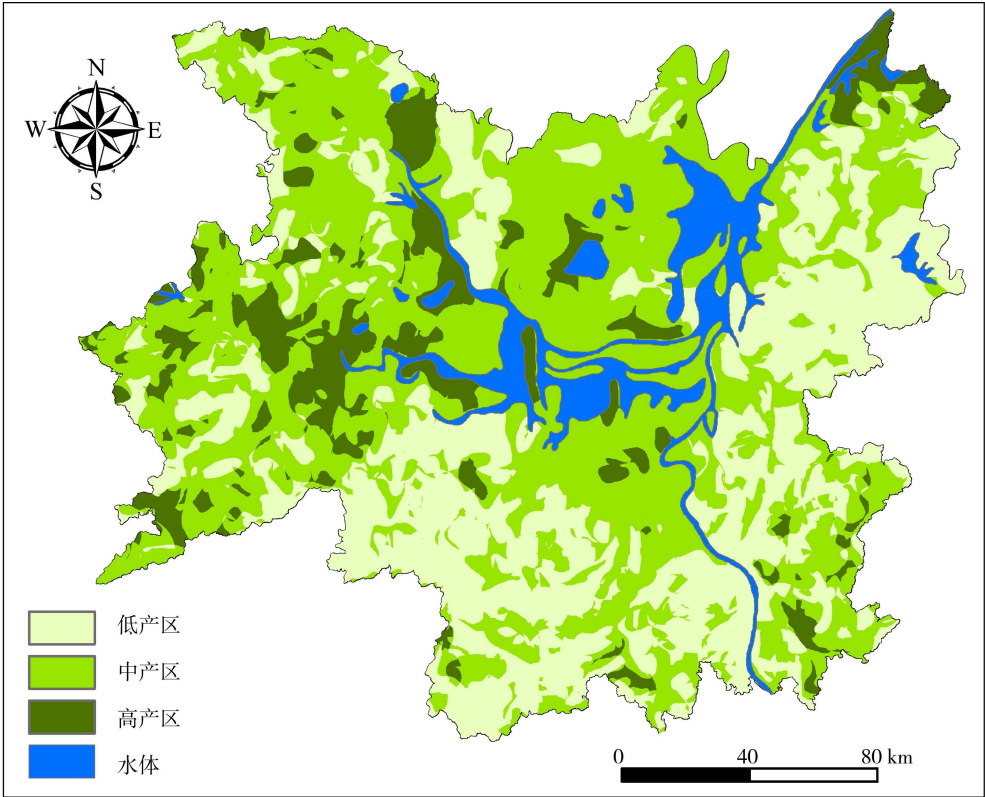


图 2 洞庭湖区 2007 年晚稻生产潜力分布图

Fig 2 The distribution of late rice productivity potential of 2007 in Dongting Lake

由图 2 可知，洞庭湖区晚稻生产潜力呈现出由西北向东南递减的过渡趋势，高产区 ($> 7500\text{kg/hm}^2$) 和中产区 ($6000\sim 7500\text{ kg/hm}^2$) 主要集中于常德的澧县、安乡、汉寿和临澧一带，低产区 ($< 6000\text{kg/hm}^2$) 则多分布于长沙、益阳和岳阳等几个区域。通过对不同级别晚稻生产力所占区域比例进行的统计结果表明，洞庭湖区不同产量级别的差异较大，呈现中低产区域比例偏大的局面，其中中产区域所占面积为 40.40%，低产区域面积达到近 45.00%，而高产区域仅为 14.60%。结合沅江晚稻生产力模拟产量和实际产量的比较表明，洞庭湖区晚稻的整体生产潜力不是很高，而通过合理的管理措施，如改变施肥制度等，洞庭湖区的晚稻生产力还有大幅增产的空间。

考虑到研究区域气象辐射条件的基本一致性，形成水稻生产潜力空间分布特征的原因主要是土壤特性的空间异质性。一般情况下，低山区气温偏低，冷浸田多，泥温较低，且

受到水土流失的影响, 土壤养分含量偏低, 使得土壤养分的修正系数较低, 并导致水稻生产潜力不高; 而位于丘陵坡面的水田, 如水源能保证供应, 排水较好, 土壤通透性良好, 土壤有效系数偏高, 水稻生产力相应也要好一些。在河湖冲积平原地区, 由于接受上游水土流失而来的土壤养分, 土壤特性条件好, 水、肥、气、热较易协调, 加上精耕细作, 其土壤有效系数高, 这也是中高产田之所以集中于澧县、汉寿、安乡及临澧的原因之一。

5 结论

(1) 两种基于逐级递减原理的水稻生产潜力预测模型中, 基于逐级光温潜力计算法计算的结果更加接近于实际, 能更好地反映洞庭湖区水稻产量的总体变化趋势。

(2) 洞庭湖区晚稻生产潜力预测结果表明, 该区晚稻生产潜力呈现出由西北向东南递减的过渡趋势, 高产区和中产区主要集中于常德的澧县、安乡、汉寿和临澧一带, 低产区则多分布于长沙、益阳和岳阳等几个区域。

(3) 洞庭湖区目前晚稻生产潜力以中低产田为主, 高产田比例不高, 仅为 14%。但通过合理的施肥制度、水分管理以及加强病虫害管理, 晚稻产量提高的潜力很大。

参考文献:

- [1] 张义丰, 王又丰, 刘录祥, 等 中国北方旱地农业研究进展与思考 地理研究, 2002, 21(3): 305~ 312
- [2] 李忠武, 蔡强国, 唐政洪, 等 黄土丘陵沟壑区作物生产潜力影响因素分析 地理研究, 2001, 20(5): 601~ 608
- [3] 刘慧 干旱区绿洲农业资源优化配置模式研究 地理研究, 1999, (增刊): 66~ 72
- [4] Mahmood R, Legates D R, Meo M The role of soil water availability in potential rainfed rice productivity in Bangladesh: applications of the CERES- Rice model Applied Geography, 2004, 24: 139~ 159
- [5] 赵齐阳, 邓良基, 杨成建 基于 GIS 的雅安市土地生产潜力研究 四川大学学报(自然科学版), 2005, 42(4): 811~ 817
- [6] 高亮之, 金之庆 RCSODS 水稻栽培计算机模拟优化决策系统 计算机农业应用, 1993, (3): 14~ 20
- [7] Bouman B A M, Kropff M J, Tuong T P, *et al* ORYZA 2000: Modeling Lowland Rice International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, and Wageningen University and Research Centre, Wageningen, Netherlands, 2001 235
- [8] 徐勇, 杨波, 刘国彬, 等 黄土高原作物产量及水土流失地形分异模拟 地理学报, 2008, 63(11): 1218~ 1226
- [9] 文倩, 杨柳青青, 霍金炜 西洞庭湖区土地生产潜力与人口承载力研究 以湖南省安乡县为例 湖南农业科学, 2009, (4): 130~ 132
- [10] 刘建栋, 周秀骧, 于强 FAO 生产潜力模型中基本参数的修正 自然资源学报, 2001, 16(3): 240~ 247
- [11] 李三爱, 居辉, 池宝亮 作物生产潜力研究进展 中国农业气象, 2005, 26(2): 106~ 111
- [12] 陶毓汾, 王立祥 中国北方旱农地区水分潜力及开发 北京: 气象出版社, 1993
- [13] 赵安, 赵小敏 FAO AEZ 法计算气候生产潜力的模型及应用分析 江西农业大学学报, 1998, 20(4): 528~ 533
- [14] Doorenbos J, Kassam A H Yield Responses to Water Irrigation and Drainage Paper, vol 33 Food and Agricultural Organization, Rome, 1996.
- [15] Doorenbos J, Pruitt W O Crop water requirements Irrigation and Drainage Paper, vol 24 Food and Agricultural Organization, Rome, 1977
- [16] Turc L Estimation of irrigation water requirement, potential evapotranspiration: A single climatic formula evolved up to date Annals Agronomy, 1961, 12: 13~ 49
- [17] 何毓蓉, 周红艺, 张保华 四川省耕地地力生产潜力及承载力研究 地理科学, 2004, 24(1): 20~ 25
- [18] 於忠祥, 姚建国 作物最高理论产量计算方法的应用 以合肥地区水稻为例 生物数学学报, 2000, 15(2): 189~ 193
- [19] 湖南省农业厅. 湖南土壤 北京: 农业出版社, 1989

Predictive analysis of late rice potential productivity in Dongting Lake Area (DLA) based on stepwise diminishing method

LI Zhong-wu^{1, 2}, YE Fang-yi^{1, 2}, LI Yu-yuan³, LUO Xiao^{1, 2}, CHEN Yu^{1, 2}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;

2. Key Laboratory of Environmental Biology and Pollution Control (Hunan University),
Ministry of Education, Changsha 410082, China;

3. Institute of Subtropical Agriculture, CAS, Changsha 410125, China)

Abstract: The Dongting Lake Area (DLA), a famous and important commodity grain production base in China, is one of nine industrial belts of the top agricultural products, and belongs to the top grain industrial belt of double-cropping paddy in the Yangtze River Basin. Therefore, the investigations based on the rice productivity of the DLA is vital for the optimization of the land resource allocation, assessment of the paddy field ecosystem, design of agricultural development plan and protection of agricultural eco-environment. According to the meteorological analysis data from 2003 to 2007 and the soil analysis data of the Second National Field Survey, utilizing the stepwise diminishing method of light, temperature, water and soil, a comparative research was carried out to build an appropriate rice potential productivity model for the DLA. Two rice potential productivity models (photosynthesis-temperature potential productivity calculation by step-by-step model and FAO-AEZ model) were investigated, followed by the analysis of the spatial distribution of late rice potential productivity with the assistance of Geographic Information System (GIS). The results showed that the mean simulation value of five years (2003-2007) predicted by a step-by-step model achieved 7808 072 kg/hm², higher than the observation value (5904 kg/hm²); while the simulation value obtained by FAO-AEZ model was only 5687.45 kg/hm², even lower than the mean observation value, which is unreasonable for the actuality of DLA. This disclosed that the model based on step-by-step calculation of photosynthesis-temperature potential productivity was appropriate to predict the late rice potential productivity in the study area. At the same time, the research also revealed that the late rice potential productivity in the DLA decreased gradually from northwest to southeast. The regions of Lixian, Anxiang, Hanshou and Linli counties in Changde city contributed high or medium yields, while the low yield areas were mainly distributed in Changsha, Yiyang and Yueyang cities. The late rice potential productivity of the DLA was inadequate, and the low yield area occupied 45% of the total DLA, which exhibited great potential for the improvement of the late rice yield by means of sound tillage control measures, including rational fertilization system and water management.

Key words: late rice; potential productivity; stepwise diminishing method; Dongting Lake Area (DLA)