

基于GIS多源数据融合的湖北省中稻增产潜力研究*

孙懿慧 贺立源

(华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070)

摘要: 在1993—2012年湖北省各县(市、区)水稻生产实际状况、气象资料、地形等多种数据的支持下,使用GIS技术建立数据库。结合中稻生长发育规律,计算中稻光合、光温、气候、耕地生产潜力及增产潜力、增产空间,将增产潜力划分为5个等级区,绘制了相应的图表,进一步研究了湖北省中稻不同种植区域对自然资源的利用现状及开发前景。湖北省中稻增产潜力巨大,理论值达1 187.8万t,限制增产潜力的主要因素是耕地和气候。

关键词: 地理信息系统 中稻 增产潜力 资源利用

中图分类号: S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)S0-0133-09

引言

开展农业增产潜力研究对提高粮食产量、完善粮食安全体系和保证农业可持续发展具有十分重要的意义^[1-2]。湖北省中稻生产自然资源优势明显,增产潜力大,但当前面临大批农村劳动力转移后对农业机械的依赖程度增强^[3]以及化肥、灌溉、农药等投入量不断加大等问题,如何提高资源有效利用率,为粮食丰收提供保障是值得关注的课题。

以往对农作物增产潜力的研究,主要以光照、温度、降水等农业气候因子为主^[4]。GIS技术的发展,为各类数据处理提供了有效的平台^[5],丁美花等提出了精准农业水稻生产潜力估算模型^[6],钟海玲等测算了三峡地区水稻生产潜力^[7]。耕地地力、植物生理生化参数的研究以及应用GIS对耕地进行作物生长管理,为农作物生产潜力研究开辟了新的途径^[8-10]。

在研究湖北省水稻光温生产潜力、可利用度和区域规划的基础上^[11],利用机制法,定量计算湖北省中稻的自然资源生产潜力^[12]。使用GIS技术对多种不同生产潜力进行叠加分析,通过数据的融合,结合生产现状,计算增产潜力,划分不同种植区域,全面揭示中稻自然资源增产潜力的空间分布特征,为更好地制定规划、指导产业调整、推进农业机械化、促进稳定增产提供理论依据。

1 资料和方法

1.1 研究区概况

湖北省是全国水稻的核心产地之一。多年来,

湖北省中稻种植发展稳定,单产较高,为国家粮食连续增产起到了支撑作用。2012年,湖北全省中稻种植面积和总产量分别占全省水稻种植面积和总产量的62.09%、70.90%,占全省粮食种植面积和总产量的29.98%和47.95%^[13]。因此,研究中稻增产潜力对湖北省粮食安全生产具有重要意义。

湖北省地处我国地貌第二阶梯和第三阶梯的过渡地带,地势起伏较大,地形地貌特征较为复杂,最高点海拔3 105 m(神农架林区的神农顶),最低点海拔只有10 m(黄梅县龙感湖湖底)。全省大部分为山地,其中湖北省西部山地,平均海拔为1 000 m左右,北部山地海拔约为500 m。平原地区占到湖北省总面积的1/5,中南部有江汉平原,地势较为平坦,中、东部大部分地区海拔在300 m以下。本文主要对鄂北岗地区、鄂中丘陵岗地区、鄂中南平原区等9个土地利用区域进行生产潜力研究^[14]。

1.2 研究资料

本文采用的数据源(起止年份为1993年至2012年)主要有:20 a的湖北省气象台站观测数据,包括湖北省77个气象站逐月温度、降雨量、日照时数、蒸发量、太阳辐射(2个站点)等气象数据;20 a的湖北省县域农业统计数据,主要有各县(市、区)的耕地面积、粮食播种以及中稻播种面积、单产量、总产量;2013年完成的湖北省各县(市、区)耕地地力评价数据;湖北省1:250 000的地形图等。

1.3 研究方法

以湖北省各农业县、市、区为单位,中稻光合生

产潜力为上限,利用气象站点的资料和作物生长发育期资料,采用计算机软件 ArcGIS 10.2,运用空间分析、地统计学等工具对数据进行处理。将气象数据、气象站各站点的经度、纬度和海拔高度导入 ArcGIS 中,利用其空间分析模块进行插值处理^[15]。空间数据与属性数据进行匹配处理,生成所需要的空间、属性一体化数据库。

依据光照、温度、水分、耕地因子对耕地生产潜力影响的机制法原理^[16-17],在计算出湖北省中稻光合、光温、气候、耕地生产潜力的基础上,运用 ArcGIS 软件进行多源数据的融合,生成湖北省中稻自然增产潜力空间分布专题图。对 1993—2012 年 20 a 的数据进行分析,并研究不同地域中稻生产的资源利用现状以及提高自然资源利用效率的增产空间,其模型为^[18]

$$Y_s = Qf(Q)f(T)f(W)f(S) = Y_Qf(T)f(W)f(S) = Y_Tf(W)f(S) = Y_Wf(S) \quad (1)$$

式中 Q ——太阳总辐射, MJ/m²

$f(Q)$ 、 $f(T)$ 、 $f(W)$ 、 $f(S)$ ——光合、温度、水分、土壤有效系数

Y_Q 、 Y_T 、 Y_W 、 Y_s ——光合、光温、气候、耕地生产潜力, kg/hm²

2 生产潜力模型

2.1 光合生产潜力

选取中稻产量形成时的光能利用情况以及损失状况,以月平均太阳总辐射值为基本数据,用生育期对各月数据进行订正^[19-20]。应用武汉、宜昌 2 个站点的辐射数据,通过建立辐射、日照时数回归方程,确定其他地区太阳辐射的数据。光合生产潜力计算式为^[21]

$$Y_Q = Qf(Q) = \frac{CS\varepsilon\varphi(1-\alpha)(1-\beta)(1-\rho)}{q(1-\eta)(1-\xi)(1-r)(1-\omega)f(L)E \sum Q_j} \quad (2)$$

式中 C ——面积系数

S ——作物利用光照强度的效率

Q_j ——作物生存期内太阳总辐射, MJ/m²

ε ——光合有效辐射占总辐射的比例, 取值 0.49

φ ——光量子转化效率, 取值 0.22

α ——植物群体反射率, 取值 0.06

β ——植物繁茂群体透射率, 取值 0.08

ρ ——作物非光合器官截获的辐射比例, 取值 0.10

q ——单位干物质含热量, 取 16.90 MJ/kg

η ——成熟谷物的含水率, 取值 0.14

ξ ——灰分率, 取值 0.08

r ——超过光饱和点光的比例, 取值 0.05

ω ——呼吸消耗占光合产物的比例, 取值 0.30

$f(L)$ ——作物叶面积动态变化订正值, 取值 0.56

E ——经济系数, 取值 0.45

2.2 光温生产潜力

光温生产潜力是由自然光照、温度条件所决定的作物生产潜力,是灌溉农业产量上限,用来修正光合生产潜力^[22-23]。 $f(T)$ 是作物光合作用的温度订正函数,利用水稻生长发育的三基点温度^[24],表示为^[25]

$$Y_T = Y_Qf(T) = Y_Q \frac{(T - T_1)(T_2 - T)^B}{(T_0 - T_1)(T_2 - T_0)^B} \quad (3)$$

其中

$$B = \frac{T_2 - T_0}{T_0 - T_1}$$

式中 T ——生育期内的平均气温

T_1 ——该时间段内作物生长发育的下限温度, 籼稻取 12℃

T_2 ——该时间段内作物生长发育的上限温度, 籼稻取 40℃

T_0 ——产量形成的最适温度, 籼稻取 30℃

2.3 气候生产潜力

气候生产潜力是当土壤性状、二氧化碳等因素处于最适宜状况时,在当地的光照、温度、水分条件下,单位面积耕地可能获得的最高农业或生物学产量^[26]。所需水分包括自然条件下的水分供给和人为灌溉,本文只考虑自然条件下水分对作物生产的影响,表示为^[27]

$$Y_W = Y_Tf(W) \quad (4)$$

$$\text{其中 } f(W) = \begin{cases} \frac{P}{ET_0} & (P < ET_0) \\ 1 & (P \geq ET_0) \end{cases}$$

式中 P ——降水量

参考作物蒸散量 ET_0 可以通过彭曼-蒙特斯 (Penman - Monteith) 公式计算得到^[28-29]

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + r \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + r(1 + 0.34U_2)} \quad (5)$$

式中 Δ ——饱和水汽压与温度关系曲线斜率

R_n ——到达作物表面的净辐射

G ——土壤热通量密度

r ——湿度表常数 T ——平均气温

U_2 ——2 m 高处的风速

潜在生产力的百分比

e_s ——饱和水汽压 e_a ——实际水汽压

2.4 耕地生产潜力

耕地是作物生长的基础,其供肥能力、保水性等影响作物的生产能力。耕地生产潜力是由光、温、水和耕地共同决定的,是单位面积耕地生产粮食的能力或数量^[30]。

本文采用的数据是近年来获取的耕地地力评价数据,由各市、州汇总得到,是湖北省耕地质量的最新反映。湖北省各县(市、区)的农业部门,根据耕地的立地条件、土壤理化性状等综合因素确定耕地地力等级,将不同县域的耕地地力划分为 4~6 个等级。

由于不同地区的评价等级存在差异,难以作绝对比较。为使不同县(市、区)域能够有效地进行比较,需对耕地等级进行校正,以各地中稻单产的高低为依据进行调整。根据耕地等级比例、产量的相对变化规律,计算各县(市、区)域中稻的耕地生产潜力^[31-32]

$$Y_s = Y_w f(S) = Y_w \frac{F_1 a_1 + F_2 a_2 + F_3 a_3 + F_4 a_4 + F_5 a_5 + F_6 a_6}{\sum F_i} \quad (i=1, 2, \dots, 6) \quad (6)$$

式中 $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6$ ——中稻在 1~6 等级耕地上的面积

$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ ——1~6 等级耕地达到

2.5 增产潜力与增产空间

增产潜力是理论生产潜力与实际产量之间的相对差值,对指导中稻增产有重要的理论指导与实际操作意义^[33]。增产空间是增产潜力在生产潜力中所占比例的体现^[34]。

$$Z = \frac{Y - X}{Y} \times 100\% \quad (7)$$

式中 Z ——增产空间 X ——实际产量

Y —— Y_0, Y_T, Y_W 或者 Y_s

根据式(7)可以计算得到湖北省中稻的光合、光温、气候和耕地生产潜力的增产空间。

3 结果与分析

3.1 各种生产潜力的区域特征

通过式(1)~(6),计算 1993—2012 年湖北省中稻光合、光温、气候、耕地生产潜力,选择合适的评价因子,根据生产潜力的大小进行分区。具体步骤为:利用 ArcGIS 软件,将各种生产潜力分别通过 Kriging 方法进行插值,生成等值线,形成单因素图层。选用不同产量间隔将各个生产潜力值均匀地划分为 5 级并赋予得分,光合、光温、气候、耕地生产等 4 种潜力的产量等级和得分统计如表 1 所示,再结合湖北省各县(市、区)的海拔高度和中稻实际单产量通过图层叠加方式,对各要素数据进行融合^[35]。

表 1 评价指标及其得分

Tab. 1 Evaluation index and its score

kg/hm²

产量等级	得分值	光合生产潜力	光温生产潜力	气候生产潜力	耕地生产潜力
1 级	5	24 640 ~ 26 200	22 500 ~ 24 800	22 160 ~ 24 400	14 800 ~ 17 400
2 级	4	23 080 ~ 24 640	20 200 ~ 22 500	19 920 ~ 22 160	12 200 ~ 14 800
3 级	3	21 520 ~ 23 080	17 900 ~ 20 200	17 680 ~ 19 920	9 600 ~ 12 200
4 级	2	19 960 ~ 21 520	15 600 ~ 17 900	15 440 ~ 17 680	7 000 ~ 9 600
5 级	1	18 400 ~ 19 960	13 300 ~ 15 600	13 200 ~ 15 440	4 400 ~ 7 000

湖北省光合生产潜力在 18 400 ~ 26 200 kg/hm² 之间。图 1 表明,中稻光合生产潜力的分布与月日照时数的分布基本一致,但是各县(市、区)之间中稻光合生产潜力差距显著。地带性分布规律较为明显,鄂西北山区北部、鄂东北丘陵东部、鄂东沿江平原东部、鄂中南平原南部较高;其次是鄂西北山区南部、湖北省东部大部分地区;光合生产潜力中等值面积较大,分布在除通山外的鄂东南丘陵低山区和大冶等地区 and 湖北省中、西部大部分地区;较低值在鄂西南山区北部;最小值出现在鄂西南山区南部。

光温生产潜力与平均气温的高低直接相关联。

如图 2 所示,湖北省各县(市、区)中稻光温生产潜力在 13 300 ~ 24 800 kg/hm² 之间,其分布值与平均气温分布趋势基本一致。但是,各县(市、区)区域之间潜力值相差较为显著,最高与最低值的等值线相差 11 500 kg/hm²。潜力最高值出现在鄂东沿江平原岗地区北部、鄂中南平原区东部、郧县和附近县(市、区)的部分地区;其次是鄂中丘陵岗地区、鄂中南平原区、鄂西北山区的部分地区;光温生产潜力中等值在湖北省西部的部分地区;潜力较低的在神农架和鄂西南山区的东部;光温生产潜力较低的是鄂西南山区西部。

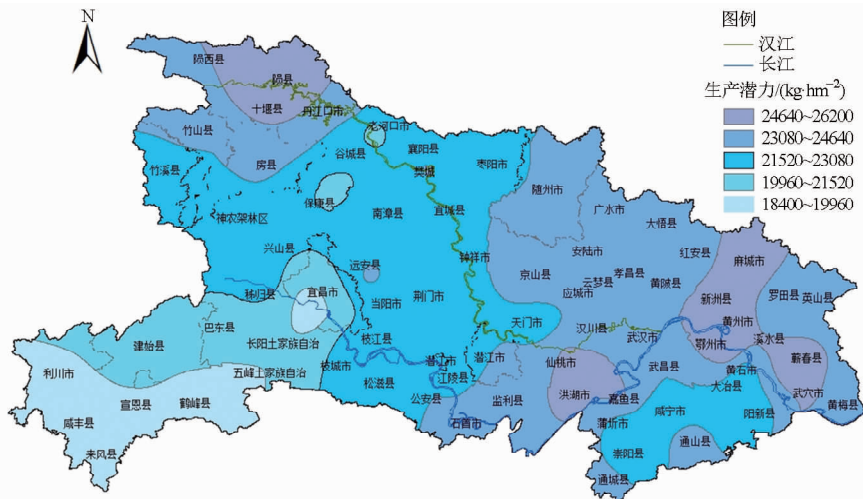


图1 湖北省中稻光合生产潜力空间分布图

Fig.1 Spatial distribution of middle-season rice photosynthesis potential productivity in Hubei province

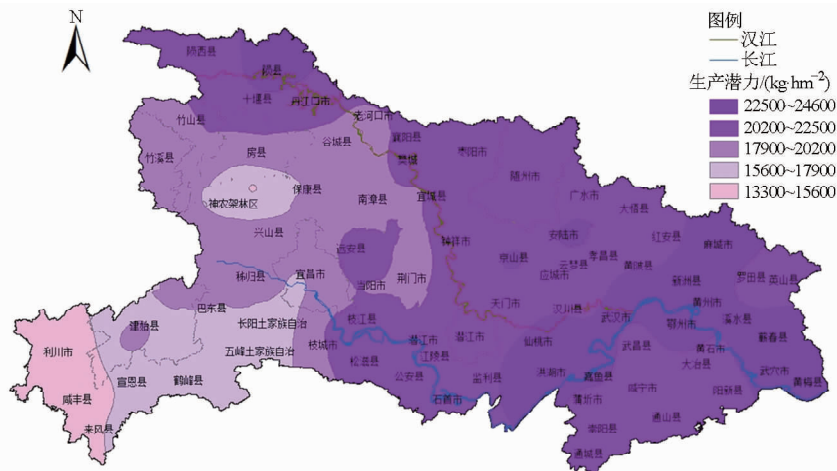


图2 湖北省中稻光温生产潜力空间分布图

Fig.2 Spatial distribution of middle-season rice light temperature potential productivity in Hubei province

图3所示,湖北省中稻气候生产潜力的范围在13 200 ~ 24 400 kg/hm²之间,最好的气候资源在鄂中南平原区的东南部地区、鄂东沿江平原岗地区的东北部地区;鄂东南部分地区的气候生产潜力略差;

鄂西南山区的部分地区、鄂中丘陵岗地区的部分地区气候生产潜力处于中等水平;鄂西北的部分地区偏低;最低的地区为神农架自然保护区、鄂西北山区北部、鄂北岗地区北部、鄂中丘陵岗地区北部。

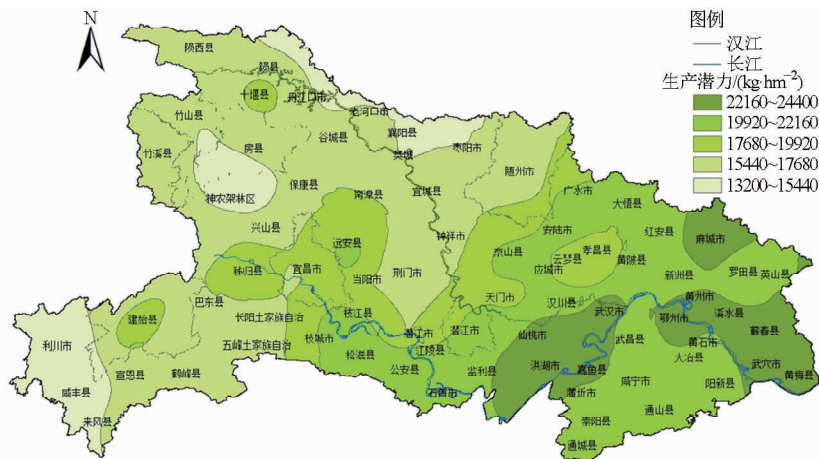


图3 湖北省中稻气候生产潜力空间分布图

Fig.3 Spatial distribution of middle-season rice climate potential productivity in Hubei province

图 4 表明,湖北省中稻耕地生产潜力在 $4\,400 \sim 17\,400 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 之间。耕地生产潜力分布呈明显的规律性,从湖北省东南向西北部方向,耕地生产潜力依次降低。耕地生产潜力最高的是鄂东沿江平原岗地区 and 鄂中南平原区的部分地区;其次是鄂中丘陵

岗地区、鄂中南平原区、鄂东南丘陵低山区的部分县(市、区);鄂北岗地区、鄂西北山区、鄂西南山区的部分地区处于中等水平;较差的是鄂西南山区的部分地区;潜力最低的是宜昌市的部分地区。

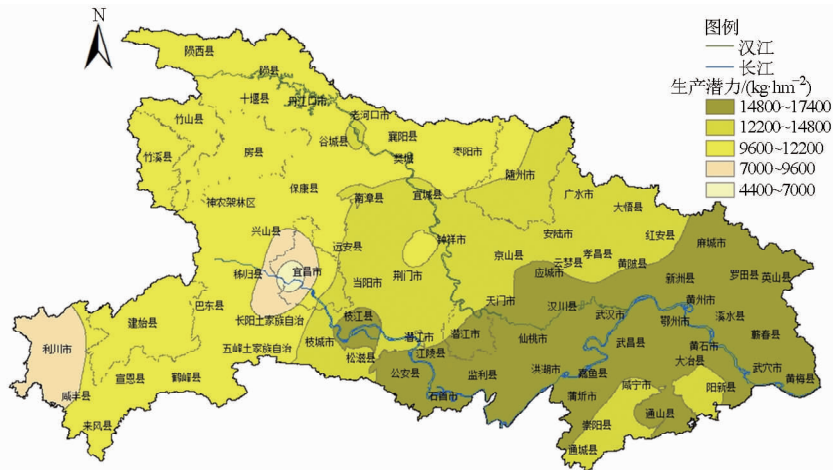


图 4 湖北省中稻耕地生产潜力空间分布图

Fig. 4 Spatial distribution of middle-season rice arable land potential productivity in Hubei province

3.2 多源数据融合结果

采用 ArcMap 空间分析模块,对 4 种生产潜力图层进行叠加和数据库融合,将不同生产潜力的等级分值进行累计相加,各种生产潜力的权重相同,计算综合得分。按照得分的高低将湖北省中稻生产种植区域划分为 I ~ V 等级增产潜力区,利用 ArcMap

制图功能,得到全省中稻增产潜力分布图(图 5)。

通过多源数据融合,各种生产潜力取相同权重,计算综合得分并对每种等级区的中稻面积进行汇总。通过应用 ArcGIS 软件统计得到不同等级区的地块面积和比例、理论单产量、实际单产量、增产潜力、增产空间(表 2)。

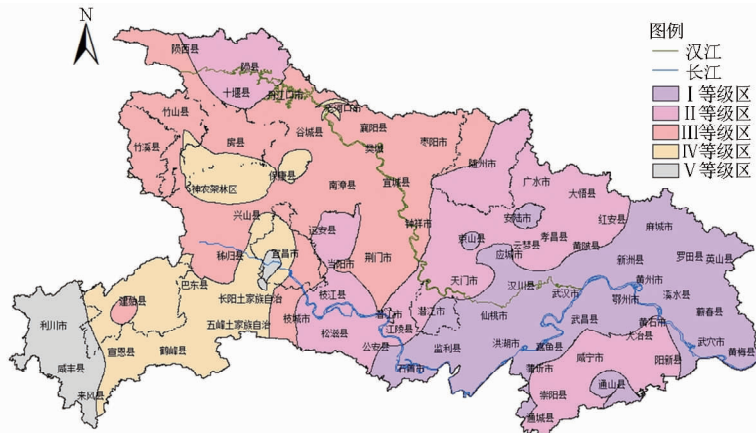


图 5 湖北省中稻增产潜力空间分布图

Fig. 5 Spatial distribution of middle-season rice yield-increasing potential in Hubei province

表 2 多源数据综合得分与增产类别区统计

Tab. 2 Synthesis score of multi-source data and count category area of increasing production

增产类别 等级区	综合得分	中稻面积/ hm^2	理论单产量/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	实际单产量/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	增产潜力/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	增产空间/%
I	17 ~ 20	280 299. 4	21 300	9 070	12 230	57. 42
II	14 ~ 17	343 014. 9	19 550	9 260	10 290	52. 63
III	11 ~ 14	333 476. 0	17 740	9 130	8 610	48. 53
IV	8 ~ 11	165 538. 3	16 250	6 540	9 710	59. 75
V	5 ~ 8	53 470. 5	14 720	6 460	8 260	56. 11

注:综合得分,除 I 等级区外,均满足下限不在内原则。

湖北省中稻种植的主要区域集中在 I ~ III 等级区, 20 a 平均种植面积占全省的 81.37%, 总产量占全省的 85.99%, 平均单产量为 9159.03 kg/hm²。3 个等级区中产量最高的是 II 等级区, 与 I 等级区之间实际单产量差异不大, 为 2%。IV、V 等级区种植面积占全省的 18.63%, 总产量占全省的 14.01%, 平均单产量相比 I ~ III 等级区降低了 28.8%, 为 6520.47 kg/hm²。

自然资源的优劣与增产潜力的大小呈正相关, 5 个等级区的增产潜力除 V 等级区外, 由 I ~ IV 等级区依次减小, 平均增产潜力为 10102.03 kg/hm², 各个等级区的增产空间均在 50% 上下波动, 等级区

之间相差不大。

3.3 中稻增产潜力分区特征

湖北省增产潜力高的 I ~ III 等级区, 主要分布在鄂中、鄂东, 鄂南、鄂北以及鄂西的部分地区, 包括宜昌以下长江流域和汉江平原沿线, 这部分地区自然资源优势明显, 中稻实际单产量水平高, 而且增产潜力大。IV ~ V 等级区主要分布在鄂西大部分地区、神农架及鄂北的少数地区, 自然资源以及实际单产量水平明显低于 I ~ III 等级区, I ~ V 等级区的光合、光温、气候、耕地生产潜力及增产潜力在各等级区间差异显著加大, 波动幅度也呈扩大的态势(表 3)。

表 3 各等级区生产潜力及其增产潜力

Tab.3 Production potential of rank area and its yield-increasing potential

kg/hm²

等级区	理论生产潜力				实际单产量	增产潜力
	光合	光温	气候	耕地		
I	23 080 ~ 26 200	20 200 ~ 24 800	17 680 ~ 24 400	12 200 ~ 17 400	5 140 ~ 9 920	10 830 ~ 15 610
II	21 520 ~ 26 200	17 900 ~ 24 800	13 200 ~ 22 160	9 600 ~ 17 400	3 960 ~ 13 070	6 030 ~ 15 140
III	19 970 ~ 26 200	17 900 ~ 22 500	13 200 ~ 22 160	7 000 ~ 14 800	3 960 ~ 13 070	4 900 ~ 14 010
IV	18 400 ~ 24 640	13 300 ~ 20 200	13 200 ~ 19 920	4 400 ~ 12 200	3 960 ~ 9 540	6 240 ~ 11 820
V	18 400 ~ 21 520	13 300 ~ 20 200	13 200 ~ 19 920	4 400 ~ 12 200	5 460 ~ 6 310	9 080 ~ 9 930

耕地是限制中稻单产量的重要原因, 其次是气候、光温和光合的影响。耕地生产潜力各等级区间差异明显; II ~ V 等级区气候生产潜力最低值相同; IV、V 等级区光温生产潜力相等, II、III 等级区最低值、I、II 等级区最高值相同; I ~ III 等级区光合生产潜力最高值相等。气候、耕地生产潜力在各等级区内变动幅度大于光合、光温潜力。湖北省中稻增产潜力区域分析如下(图 5):

I 等级区: 该区具有最优越的自然资源, 光合、光温、气候、耕地生产潜力均处于湖北省最高水平。该区中稻 20 a 平均种植面积占湖北省中稻种植面积的 23.84%, 增产潜力总量达 342.81 万 t, 占全省增产潜力的 28.86%, 增产空间达 57.42%, 为湖北省的高产区 and 增产潜力最高的地区。该区海拔在 20 ~ 120 m 之间, 分布在鄂中南平原区东部的洪湖、监利、仙桃、汉川等; 鄂东沿江平原的大冶、武穴、黄梅等; 鄂东北丘陵东部的麻城、罗田、英山等。鄂中丘陵的安陆、京山和鄂东南丘陵的通山, 自然资源优于周边县(市、区)而处于 I 等级区。安陆因光温、耕地生产潜力高, 实际单产量也位于该等级区的前列。京山因光温生产潜力高, 实际单产量也较高, 通山耕地生产潜力高, 但实际单产量较低, 自然资源利用情况较差。

II 等级区: 该区自然资源优越, 光合、光温、气

候、耕地生产潜力都处于湖北省较高水平。该区中稻 20 a 平均种植面积占湖北省中稻种植面积的 29.17%, 增产潜力总量达 352.96 万 t, 占全省增产潜力的 29.72%, 增产空间达 52.63%, 是湖北省中稻种植面积最大, 单产量最高的地区。该区海拔在 30 ~ 260 m 之间, 分布较为广阔, 在鄂中丘陵岗地东部随州、孝昌等地; 鄂中南平原的松滋、潜江、天门等地; 除通山外的鄂东南丘陵地区。鄂东北丘陵区的广水、大悟、红安等; 鄂西北山区北部的郧县、十堰等; 鄂西北部地区的郧县、郧西、十堰光照条件好、温度适宜, 中稻光合、光温潜力明显高于周边地区。自然资源生产潜力达到 II 等级区的水平, 但该地的实际单产量偏低, 原因在于该地的海拔较高、气候潜力较低等因素所致。

III 等级区: 该区自然资源条件好, 生产潜力大, 光合、光温、气候、耕地生产潜力都处于湖北省较高水平。该区中稻 20 a 平均种植面积占湖北省中稻种植面积的 28.36%, 增产潜力总量达 287.12 万 t, 占全省增产潜力的 24.17%, 增产空间达 48.53%, 是湖北省中稻种植面积大, 单产量较高的地区之一。该区海拔在 30 ~ 680 m 之间, 分布在鄂中丘陵西部的宜城、荆门等部分地区; 鄂北岗地的襄樊、枣阳等; 鄂西北山区东部的竹溪、竹山、南漳等; 鄂西南山区秭归、巴东等部分地区。鄂西南山区的建始, 属湿润

型山地气候,因光温、气候、耕地生产潜力比周边县(市、区)高,自然资源生产潜力达到Ⅲ等级区的范围,但是中稻的实际单产量不高。

Ⅳ等级区:该区自然资源生产潜力略差,光合、光温、气候、耕地生产潜力都不高。该区中稻 20a 平均种植面积占湖北省中稻种植面积的 14.08%,增产潜力总量达 160.74 万 t, 占全省增产潜力的 13.53%,增产空间达 59.75%,是湖北省中稻单产量水平不高的典型山区水稻种植区域。该区海拔在 130~920 m 的范围内,主要分布在鄂西南山区的鹤峰、长阳、五峰等;鄂北岗地的老河口部分地区;以及神农架、鄂西北山区的保康部分地区。神农架气温偏低,降水量较多,立体气候明显,形成多个气候带,中稻实际单产量较低。

Ⅴ等级区:该区自然资源、生产潜力都处于较差水平,该区中稻 20 a 平均种植面积占湖北省中稻种植面积的 4.55%,增产潜力总量达 44.17 万 t, 占全省增产潜力的 3.72%,增产空间达 56.11%,中稻单产量不高,面积较小。该区海拔在 100~1 070 m 之间,主要分布在鄂西南山区西南的利川、咸丰等部分地区。鄂西山区的宜昌市郊,位于长江三峡过渡地带,光、温、耕地质量差,水稻种植产量低。

4 结论

(1)湖北省中稻生产自然资源优势明显,光合、光温、气候、耕地生产潜力分别为 18 400~26 200、

13 300~24 800、13 200~24 400、4 400~17 400 kg/hm²。4 种生产潜力在地理分布上规律性明显,各区域之间自然资源的差异较大,东南部地区的县(市、区)生产潜力最高,其次是靠近江西的湖北省最东南部的地区和中部的县(市、区),然后是鄂西北地区的县(市、区),鄂西中间位置的地区次之,生产潜力最小的地区集中在鄂西南的利川、咸丰、来凤等县(市、区)的部分地区。由此可见,鄂东、鄂南的中稻自然资源生产优势要优于鄂西、鄂北地区。

(2)湖北省中稻增产潜力巨大,划分的Ⅰ~Ⅴ等级区的 5 个区域,增产潜力分别为 12 230、10 290、8 610、9 710、8 260 kg/hm²,全省中稻增产潜力理论值达 1 187.8 万 t。而增产空间同生产潜力的地理分布上趋势不相一致,增产空间的百分比则由中部地区向四周依次增加,表明湖北省中部地区的中稻生产自然资源利用的现状要优于周边区域。

(3)湖北省中稻生产必需的 4 个自然资源中,光、温资源明显优于气候和耕地资源,限制中稻增产的主要因素是耕地和气候。光、温资源差异波动也小于气候和耕地资源,光合、光温潜力的最低增产空间在 30% 以上,高于气候、耕地潜力的最低增产空间近 20 个百分点。增产空间高低波动的幅度表明,光合、光温增产空间差距低于 45%,气候、耕地增产空间差距在 60% 左右,说明各地区之间气候和耕地资源的差异要大于光、温资源。

参 考 文 献

- 1 陈惠,王加义,林晶,等. 基于 GIS 的福建省双季稻气候-土壤生产潜力[J]. 生态学杂志,2008,27(7): 1104-1108. Chen Hui, Wang Jiayi, Lin Jing, et al. Based on GIS cropping climate - soil productive potential of Fujian Province [J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(7): 1104-1108. (in Chinese)
- 2 王宗明,张柏,张树清,等. 松嫩平原农业气候生产潜力及自然资源利用率研究[J]. 中国农业气象,2005,26(1): 1-6. Wang Zongming, Zhang Bai, Zhang Shuqing, et al. Studies on agricultural climatic potential productivity and natural resources utilization ratio in Songnen plain of Heilongjiang province [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2005, 26(1): 1-6. (in Chinese)
- 3 陈志. 我国农业可持续发展与农业机械化[J]. 农业机械学报,2001,32(1): 11-15. Chen Zhi. A sustainable development of agriculture and agricultural mechanization in China [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(1): 11-15. (in Chinese)
- 4 马新明,张浩,熊淑萍,等. 基于 GIS 技术的河南粮食核心区小麦玉米区域潜力研究[J]. 农业工程学报,2010,26(1): 162-168. Ma Xinming, Zhang Hao, Xiong Shuping, et al. Potential productivity of wheat and maize in grain production center of Henan [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(1): 162-168. (in Chinese)
- 5 冷疏影. 地理信息系统支持下的中国农业生产潜力研究 [J]. 自然资源学报,1992,7(1): 71-79. Leng Shuying. Research on the potential agricultural productivity of China with the help of GIS [J]. Journal of Natural Resources, 1992, 7(1): 71-79. (in Chinese)
- 6 丁美花,杨星卫,李湘阁,等. 基于 GIS 技术的上海精准农业水稻生产潜力估算模型[J]. 土壤通报,2006,37(1): 56-60. Ding Meihua, Yang Xingwei, Li Xiangge, et al. Estimation model of rice productivity potential for precision agriculture based on GIS [J]. Journal of Soil Science, 2006, 37(1): 56-60. (in Chinese)
- 7 钟海玲,高荣,张强. 三峡库区农业气候生产潜力评价[J]. 安徽农业科学,2009,37(6): 2818-2822. Zhong Hailing, Gao Rong, Zhang Qiang. Evaluation of the climate production potential of agriculture in Three Gorges Reservoir area [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(6): 2818-2822. (in Chinese)

- 8 鲁明星,贺立源,吴礼树. 我国耕地地力评价研究进展[J]. 生态环境,2006,15(4): 866-871.
Lu Mingxing, He Liyuan, Wu Lishu. Fertility evaluation of cultivated land in China: a review[J]. Ecology and Environmental Sciences,2006,15(4): 866-871. (in Chinese)
- 9 王宗明,梁银丽. 应用 EPIC 模型计算黄土塬区作物生产潜力的初步尝试[J]. 自然资源学报,2002,17(4): 481-487.
Wang Zongming, Liang Yinli. The application of EPIC model to calculate crop productive potentialities in loessic yuan region[J]. Journal of Natural Resources,2002,17(4): 481-487. (in Chinese)
- 10 张书慧,马成林,吴才聪,等. 地理信息系统在精确农业变量施肥中的应用[J]. 农业机械学报,2003,34(3): 92-95.
Zhang Shuhui, Ma Chenglin, Wu Caicong, et al. Application of GIS to variable rate fertilization in precision agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2003,34(3): 92-95. (in Chinese)
- 11 孙懿慧,贺立源. 基于 GIS 的湖北省水稻生产潜力研究[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(10): 1209-1215.
Sun Yihui, He Liyuan. Study of rice potential productivity in Hubei Province based on GIS[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(10): 1209-1215. (in Chinese)
- 12 郑海霞,封志明,游松财. 基于 GIS 的甘肃省农业生产潜力研究[J]. 地理科学进展,2003, 22(4): 400-407.
Zheng Haixia, Feng Zhiming, You Songcai. A study on potential land productivity based on GIS technology in Gansu Province[J]. Progress in Geography,2003,22(4): 400-407. (in Chinese)
- 13 湖北省统计局. 湖北省农村统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2013.
- 14 中华人民共和国国土资源部. 湖北省土地利用总体规划[N/OL]. 2009-12-11 [2013-07-08]. http://www.mlr.gov.cn/tdsc/tdgh/200912/t20091211_129343.htm.
- 15 付清,赵小敏,乐丽红,等. 基于 GIS 和生态位适宜度模型的耕地多适宜性评价[J]. 农业工程学报,2009,25(2): 208-213.
Fu Qing, Zhao Xiaomin, Le Lihong, et al. Evaluation on multi-suitability of cultivated land based on GIS and niche-fitness model [J]. Transactions of the CSAE,2009,25(2): 208-213. (in Chinese)
- 16 党安荣,阎守邕,吴宏歧,等. 基于 GIS 的中国土地生产潜力研究[J]. 生态学报,2000,20(6): 910-915.
Dang Anrong, Yan Shouyong, Wu Hongqi, et al. A GIS based study on the potential land productivity of China[J]. Acta Ecologica Sinica,2000,20(6): 910-915. (in Chinese)
- 17 赵齐阳,邓良基,杨成建. 基于 GIS 的雅安市土地生产潜力研究[J]. 四川大学学报:自然科学版,2005,42(4): 811-817.
Zhao Qiyang, Deng Liangji, Yang Chengjian. Study on the potential productivity of Yaan City in GIS environment[J]. Journal of Sichuan University: Natural Science Edition,2005,42(4): 811-817. (in Chinese)
- 18 李克煌. 气候资源学[M]. 开封:河南大学出版社,1990.
- 19 高素华. 玉米延迟型低温冷害的动态监测[J]. 自然灾害学报,2003,12(2): 117-121.
Gao Suhua. Dynamic monitoring of growth-delaying type cold damage for corn[J]. Journal of Natural Disasters,2003,12(2): 117-121. (in Chinese)
- 20 梁佳勇,谢振文,何昆明. 广东水稻生产潜力及影响因素分析[J]. 农业与技术,2004,24(4): 63-66.
Liang Jiayong, Xie Zhenwen, He Kunming. Analysis of rice potential productivity and its affect factors in Guangdong Province [J]. Agriculture and Technology,2004,24(4): 63-66. (in Chinese)
- 21 于沪宁,赵丰收. 光热资源和农作物的光热生产潜力——以河北省栾城县为例[J]. 气象学报,1982,40(3): 327-333.
Yu Huning, Zhao Fengshou. On the light and thermal resources and the crop potential productivity—taking Luancheng county of Hebei province as an example[J]. Acta Meteorologica Sinica,1982,40(3): 327-333. (in Chinese)
- 22 刘纪远,徐新良,庄大方,等. 20 世纪 90 年代 LUCC 过程对中国农田光温生产潜力的影响[J]. 地球科学,2005,35(6): 483-492.
Liu Ji yuan, Xu Xinliang, Zhuang Dafang, et al. The influence of LUCC process to Chinese agricultural production potential of light and temperature in the 1990's[J]. Journal of Earth Science,2005,35(6): 483-492. (in Chinese)
- 23 Saitoh K, Kuroda T. Effects of high temperature on growth yield and dry-matter production of rice grown in the paddy field[J]. Plant Production Science, 2007, 10(4): 412-422.
- 24 孙雯. 气候变暖对中国水稻生产的影响[D]. 南京:南京农业大学,2011.
Sun Wen. Global warming impacts on production and photosynthetic thermal productivity of rice in China[D]. Nanjing:Nanjing Agricultural University,2011. (in Chinese)
- 25 高亮之,金之庆,黄招,等. 水稻计算机模拟模型及其应用之一[J]. 中国农业气象,1989,10(3): 3-10.
Gao Liangzhi, Jin Zhiqing, Huang Zhao, et al. Rice clock model—a computer simulation model of rice development[J]. Chinese Journal of Agrometeorology,1989,10(3): 3-10. (in Chinese)
- 26 赵俊芳,郭建平,郭定荣,等. 2011—2050 年黄淮海冬小麦、夏玉米气候生产潜力评价[J]. 应用生态学报,2011,22(12): 3189-3195.
Zhao Junfang, Guo Jianping, Wu Dingrong, et al. Climatic potential productivity of winter wheat and summer maize in Huanghuaihai Plain in 2011—2050[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2011,22(12): 3189-3195. (in Chinese)
- 27 李香,赵志忠,李鹏山. 海南岛西部干旱区乐东县水稻生产潜力研究[J]. 海南师范大学学报:自然科学版,2009,22(1): 78-82.

- Li Xiang, Zhao Zhizhong, Li Pengshan. Study on rice productive potential in Ledong County of arid area of western in Hainan Island[J]. Journal of Hainan Normal University: Natural Science,2009,22(1): 78-82. (in Chinese)
- 28 李勇,杨晓光,叶清,等. 1961—2007 年长江中下游地区水稻需水量的变化特征[J]. 农业工程学报,2011,27(9): 175-183.
- Li Yong, Yang Xiaoguang, Ye Qing, et al. Variation characteristics of rice water requirement in middle and lower reaches of Yangtze River during 1961—2007[J]. Transactions of the CSAE,2011,27(9): 175-183. (in Chinese)
- 29 孙世坤. 石羊河流域作物气候生产潜力及灌溉对策的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010.
- Sun Shikun. Study on climatic potential productivity and irrigation suggestion in Shiyang River basin[D]. Yangling: Northwest A&F University,2010. (in Chinese)
- 30 张军连,林培. 土地生产潜力评价中土壤修正系数模型的研究——以河北省涿鹿县为例[J]. 自然资源学报,1994,9(3): 260-270.
- Zhang Junlian, Lin Pei. A study on the calculation model of the soil modification coefficient for land potential productivity evaluation in Zhuolu county, Hubei Province[J]. Journal of Natural Resources,1994,9(3): 260-270. (in Chinese)
- 31 周兆德. 农业生产潜力及人口承载力理论探讨[M]. 北京:中国林业出版社,2007: 187-188.
- 32 石竹筠. 我国南方红壤丘陵土地资源及其开发利用自然资源[J]. 自然资源,1989(6): 42-45.
- Shi Zhuyun. Red soil hilly land resources and its exploitation and utilization of natural resources in southern China[J]. Resources Science,1989(6):42-45. (in Chinese)
- 33 孙贤国,许韶伟. 广东省水稻生产潜力与增产潜力研究[J]. 中山大学学报:自然科学版,1996,35(增刊1): 50-55.
- Sun Xianguo, Xu Shaowei. Production potential and yield increment potential of paddy rice in Guangdong[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni,1996,35(Supp.1): 50-55. (in Chinese)
- 34 王秀芬,尤飞,杨艳昭. 基于 AEZ 模型的黑龙江省玉米生产潜力变化分析[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(6):59-64.
- Wang Xiufen, You Fei, Yang Yanzhao. Analysis of maize potential productivity change based on AEZ model in Heilongjiang province[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition,2012,40(6):59-64. (in Chinese)
- 35 侯西勇,岳燕珍,于贵瑞,等. 基于 GIS 的华北-辽南土地潜力区土地适宜性评价[J]. 资源科学,2007,29(4): 201-207.
- Hou Xiyong, Yue Yanzhen, Yu Guirui, et al. Evaluating the land resource suitability based on GIS: a case study in north China-south Liaoning region[J]. Resources Science,2007,29(4): 201-207. (in Chinese)

Yield-increasing Potential of Middle-season Rice in Hubei Province Based on GIS and Multi-source Data

Sun Yihui He Liyuan

(College of Resource and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Based on researches of light-temperature production potential, availability and regional planning of rice in Hubei province using GIS method, this paper reported the establishment of GIS based database by combination of mechanism method and experience approach, with the support of data of sub-counties' (cities, districts) rice actual production, meteorological data, terrain and etc. in Hubei province between years 1993—2012. The potential productivities of light, temperature, climate, arable land, yield-increasing potential and potential increase space were calculated by considering rules of production and development of middle-season rice. The yield potential was divided into five districts and the charts were drawn respectively. Natural resources and utilization status in different middle-season rice growing regions of sub-counties and cities in Hubei province were investigated further. The potential yield of middle-season rice in Hubei province is great and the theoretical value can reach 11 877 957 tons. The main limiting factors of potential yield are the arable land and the climate. The results of this study and the established database will provide valuable referees for guidance and plan of rice cultivation, industrial restructuring and implementation of high technology project in Hubei province.

Key words: GIS Middle-season rice Yield-increasing potential Resource utilization