

文章编号: 1007-4619 (2004)06-0637-08

基于 GIS 的复种指数潜力研究

范锦龙, 吴炳方

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

摘 要: 复种指数对农业生产具有重要意义, 通过计算复种指数潜力可以对未来粮食生产潜力进行预测。本文提出基于 GIS 技术的复种指数潜力计算方法。在 GIS 软件的支持下, 分析全国农业统计数据, 使用遥感数据修正全国县级耕地面积统计数据, 进而计算各县最大复种指数, 同时收集并处理气象数据。通过分析最大复种指数与积温、降水和日照时数的关系, 提出以外包络法构建复种指数潜力模型。利用建立的复种指数潜力模型计算全国 1km 尺度的复种指数潜力, 并使用空间统计方法得到全国及分省的复种指数潜力。全国复种指数潜力为 198.5%。

关键词: 复种指数潜力; GIS; 积温; 降水

中图分类号: TP79/P201 **文献标识码:** A

1 引 言

复种指数对农业生产具有重要意义^[1], 是耕作制度研究中衡量耕地资源集约化利用程度的基础性指标, 也是国家宏观评价耕地资源利用基本状况的重要技术指标^[2], 它反映了农业生产在时间尺度上利用农业生产资源的程度。复种指数大, 说明复种次数多, 对耕地利用程度高。反之, 复种指数小, 说明复种次数少, 对耕地利用程度低。中国粮食有很大比例是来自复种的耕地, 如 1995 年中国以复间套种为中心的多熟制土地上所生产的粮食约占全国的 75%^[3]。因此, 复种指数不仅能有效地反映耕地农作物种植面积的变化, 而且可以间接反映粮食产量变化。

中国耕地复种指数潜力到底多大, 这方面的研究较少, 仅有的几篇文献, 其结论也不相同。王宏广^[4]根据一熟、二熟、三熟区的耕地面积计算得到全国复种指数潜力理论值为 198%。史俊通^[5]以省区为单元, 用 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、降水(分灌溉地与非灌溉地)计算了全国复种指数潜力, 估算结果为 181%。本

文借助 GIS 工具、根据积温、降水来计算像元级的复种指数潜力, 然后通过空间统计得到全国及各省的复种指数潜力。

2 最大复种指数与光、热、水之间的关系

复种指数反映了农作物综合利用耕地和光热水资源的状况。任何作物在生长、发育过程中, 都需要一定的水、热条件, 100—300 天的生长期、1000—3000 $^{\circ}\text{C}$ 的积温、300—800mm 的降水量是其生长、成熟的基本要求, 否则, 作物就不能完成整个生命过程。只有当一个地区生长期、积温、降水量超过主导作物需要时, 才可据多余的生长期、积温、降水量复种其他作物。因此, 水热条件是影响复种指数高低的基本因素。在中国光、热、水充足的地区, 借助不断革新的农业技术, 种植制度逐渐发展成多熟制, 复种指数得到大大提高, 光、热、水资源也得到了充分利用。现实的最大复种指数是该地区充分利用光、热、水资源的结果。因此, 根据最大复种指数与光热水之间的关系, 有可能建立复种指数潜力计算的模型。

收稿日期: 2004-03-23; 修订日期: 2004-04-20

基金项目: 科技部国家十五科技攻关课题“农业信息资源开发与共享技术研究”(2001BA513B02), 中国科学院知识创新工程重要方向项目: 全球农作物遥感估产研究(KZCX2-313)。

作者简介: 范锦龙(1975—), 男, 山西偏关人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为农业与生态环境遥感, 发表论文 10 余篇, 现工作单位为中国气象局国家卫星气象中心, E-mail: caufjl@263.net

2.1 数据收集及处理

本文收集了 1980—2000 年的全国县级农业统计数据,根据每年的农作物总播种面积与当年耕地面积的比值求得当年的复种指数。由于统计数据的质量较差,计算得到的许多县的复种指数明显是错误的。大多数人认为农业统计数据的耕地面积出入较大,官方统计数据总是低估耕地面积^[6-8],于是本文使用遥感方法得到的耕地面积代替统计数据中的耕地面积,重新计算了复种指数,然后取 21 年的复种指数最大值,得到每个县的最大复种指数。遥感方法得到的耕地面积是根据 1995 年全国 TM 解译的 1:10 万耕地数据计算的,这个数据去除了细小地物、还进行了全国平差,数据质量较高^[9]。本文各县 21 年的耕地面积均采用了 1995 年的遥感耕地面积。由于我国的行政区划代码不断变化,给实际使用带来了一些困难。本文在处理统计数据时,在 ArcView 软件的支持下,将每个县 21 年的行政代码都统一到 1999 年发布的全国行政区划代码国家标准,保证了每个县 21 年数据的对应关系,也为后面的处理奠定了基础。

同时,本文还收集了 302 个气象站的多年平均年降水量和多年平均年日照时数,450 个气象站点的 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温数据。这些数据是由 1970—2000 年 30 年逐日气象数据计算而来。为了得到每一个县的气象数据,在 GIS 软件 ArcView 的支持下,本文对上述 4 个气象因子使用双线性方法进行了插值处理,然后从插值得到的图像上取每个县的平均值,得到每个县的气象因子数据。这里使用的也是 1999 年发布的全国行政区划代码国家标准。

2.2 相关分析

在社会科学软件统计包(SPSS)的支持下,本文分析了 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、多年平均年降水量、多年平均年日照时数与 21 年最大复种指数之间的相关性(见表 1),并对相关系数进行了双尾检验。

从表 1 看出,最大复种指数与 4 个因子之间的相关系数均较高,且均达到 0.01 的极显著水平,与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温的相关系数比与 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的相关系数高,与日照时数呈现出负相关的关系。尽管 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温与 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温都是代表热量资源的因子,但 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温与复种指数的相关系数较 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温与复种指数的相关系数高,所以在后文的分析中只选择 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温来代表热量资源,然后选择降水量代表水资源、日照时数代表光资源。

表 1 最大复种指数与光、温、水因子的相关系数

Table 1 The correlation efficiency between the maxima of Cropping Index and Light, temperature and precipitation

	$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温	$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温	多年平均年 降水量	多年平均年 日照时数
面积修正的 最大统计复种指数	0.581 **	0.531 **	0.542 **	-0.393 **

Pearson 相关系数, ** 双尾检验,在 0.01 的水平显著; * 双尾检验,在 0.05 的水平显著。

2.3 趋势分析

本文通过气象因子与最大复种指数的散点图,进一步分析气象因子与最大复种指数之间的关系。根据图 1,最大复种指数与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温之间呈现出随

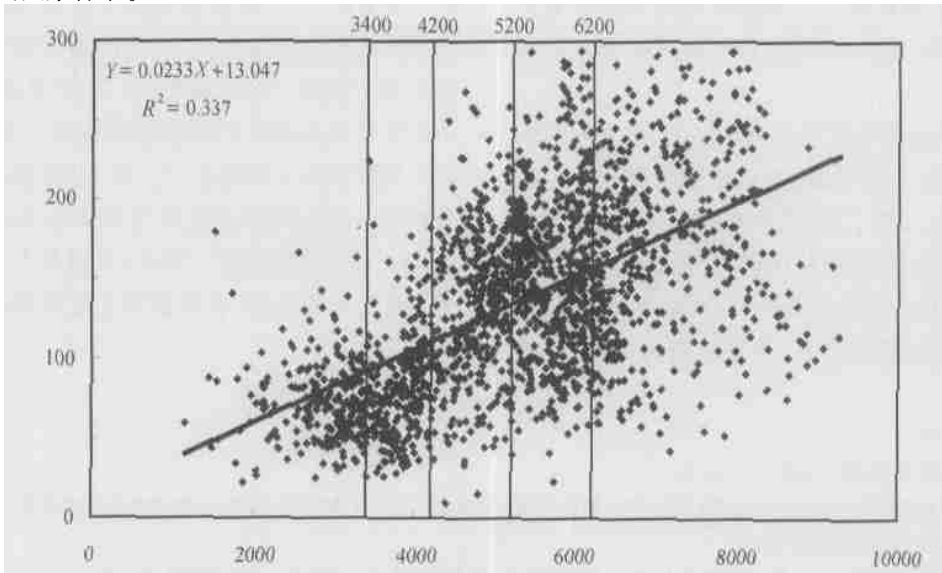


图 1 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温与最大复种指数关系

着积温增加复种指数逐渐增加的趋势。根据图 2, 最大复种指数与降水量之间呈现出随着降水量增加复种指数逐渐增加的趋势。根据图 3, 最大复种指数与日照时数之间呈现出随着日照时数增加复种指数逐渐减小的趋势。

根据表 1, 虽然日照时数与复种指数之间的相关关系较好, 但根据图 3, 随日照时数的增加, 复种指数呈减少的趋势, 说明日照时数并不是限制复种指数增加的因素。中国日照时数最低的地区为四川

盆地, 但四川盆地部分地区已在实行一年三熟耕作制, 一些科研人员也认为该地区广泛推广一年三熟制的主要制约因素是热量, 而不是日照。我国南方广大地区的三熟制经实践证明是可行的, 而南方地区的日照时数较北方短, 这也说明日照并不是限制复种指数提高的气象因子。我国北方地区日照时数较长, 而复种指数较低, 障碍复种指数提高的主要因素仍然是热量和水资源。因此, 本文计算复种指数潜力时不考虑日照时数。

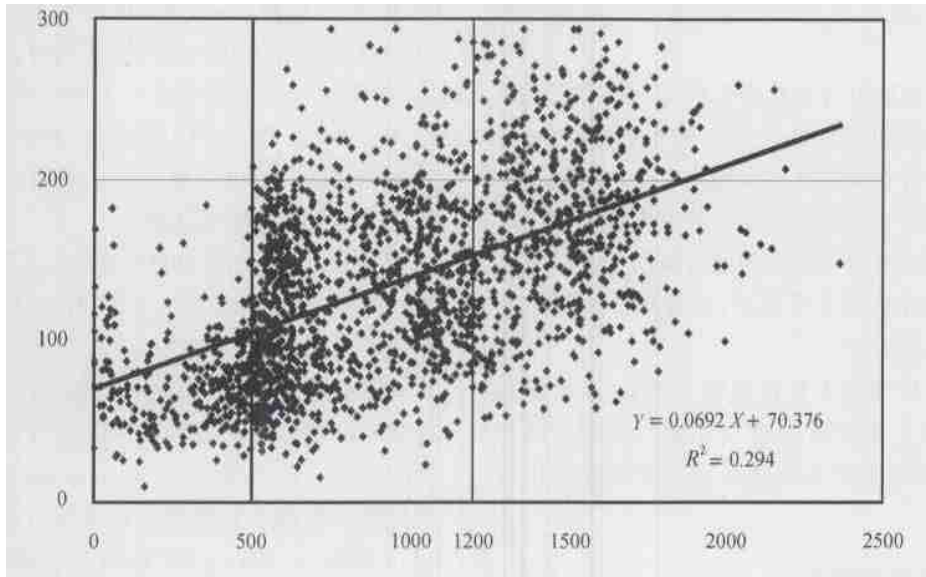


图 2 降水量与最大复种指数关系

Fig.2 The relationship between precipitation and the maximum of Cropping Index

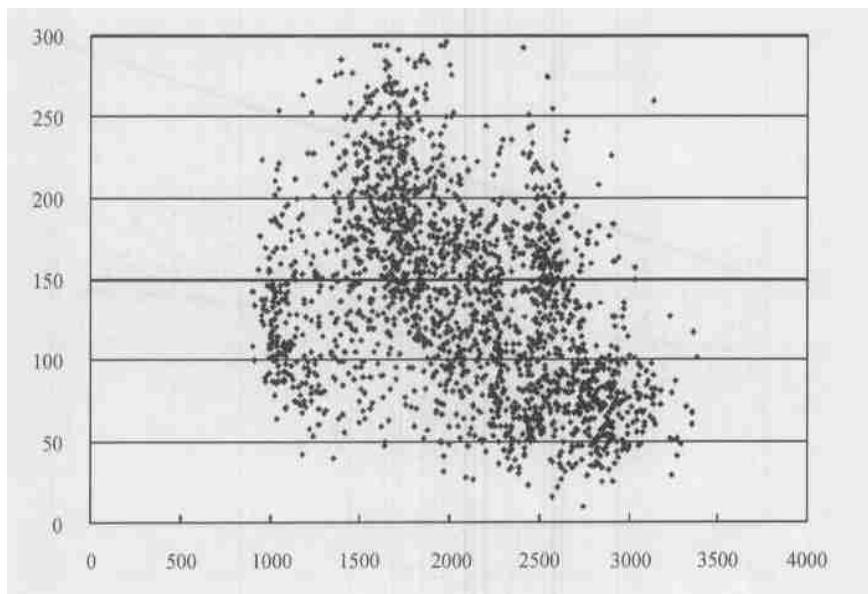


图 3 日照时数与最大复种指数关系

Fig.3 The relationship between the shine hour and the maximum of Cropping Index

3 复种指数潜力计算方法

我国农业生产经过几十年的快速发展,生产水平得到了极大提高,随之带动了种植制度改革,目前中国很多地方的种植制度已经在很高的复种指数状态下实施,因此有可能通过分析现实最大复种指数得到复种指数潜力。通过上一节的分析,给我们提供了一个思路,根据最大复种指数与气象因子的最高定量关系,可以建立复种指数潜力与气象因子的计算模型。

通常一个地区复种指数潜力的高低取决于气象因素。我国从南到北复种指数依次下降的趋势,反映了气候条件对农业生产的影响。一个地区植物生长期的长短以及生长期中影响植物发育的积温决定了该地区一年时间内可允许种植多少次作物。在没有引水灌溉条件的半干旱地区,水分条件也是影响复种指数的重要因素。

本文主要根据最大复种指数与热量、水资源的定量化关系建立复种指数潜力计算的模型。取积温、降水与复种指数的外包络线方程求取复种指数潜力。

3.1 积温复种指数潜力

如果只考虑某一温度下最大复种指数时,根据 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温与复种指数的关系,可以得到一些明显的

结论。根据图 1, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在 3400°C 以下时,复种指数基本上在 100% 以下,当 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在 $3400^{\circ}\text{C} - 4200^{\circ}\text{C}$ 的范围时,复种指数由 100% 上升到了 200%; 当 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在 $4200 - 5200^{\circ}\text{C}$ 之间时,复种指数基本稳定在 200%; 当 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在 $5200 - 6200^{\circ}\text{C}$ 之间时,复种指数从 200% 升至 300%; 当 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温大于 6200°C 时,复种指数可稳定达到 300%。也就是说 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 3400°C 、 4200°C 、 5200°C 、 6200°C 为复种指数变化的 4 个明显边界,因此,本文确定当 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在 3400°C 以下时,复种指数潜力为 100%; 当 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在 $4200 - 5200^{\circ}\text{C}$ 之间时,复种指数潜力为 200%; 当 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温大于 6200°C 时,复种指数潜力为 300%; 当 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在 $3400 - 4200^{\circ}\text{C}$ 及在 $5200 - 6200^{\circ}\text{C}$ 之间时,根据这个界限内的 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温与复种指数关系确定其潜力。

将 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在 $3400 - 4200^{\circ}\text{C}$ 之间数据及对应复种指数与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在 $5200^{\circ}\text{C} - 6200^{\circ}\text{C}$ 及对应复种指数分别取出,重做散点图,如图 4 与图 5 所示。两图中虚线为用最小二乘法拟合的回归线,实线为根据外包络线法确定的复种指数与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温外包络线曲线。 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在 $3400 - 4200^{\circ}\text{C}$ 之间时,可以确定复种指数与积温的外包络线方程为 $Y = 0.125(X - 3400) + 100$; $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在 $5200 - 6200^{\circ}\text{C}$ 之间时,可以确定复种指数与积温的外包络线方程为 $Y = 0.1(X - 5200) + 200$ 。这两个方程就是在这两个区间计算复种指数潜力的方程。

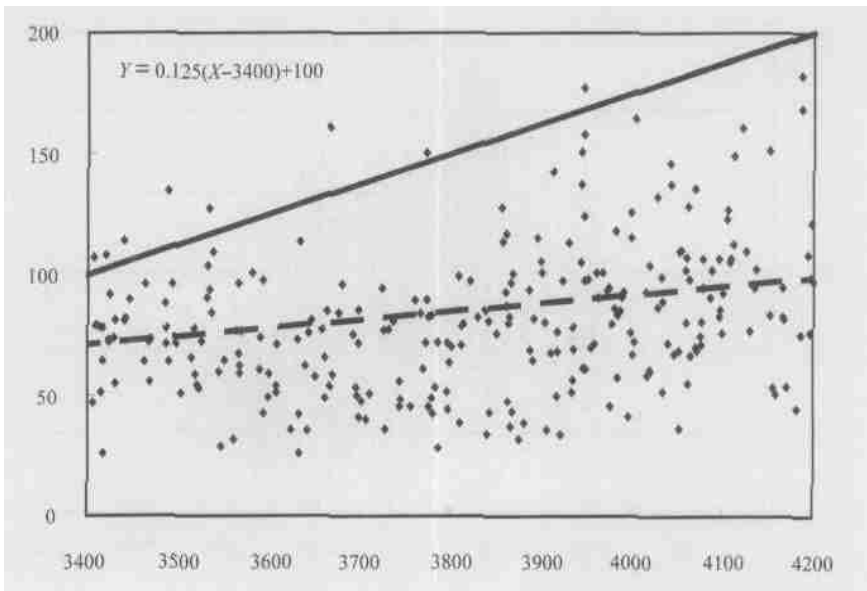


图 4 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温(3400—4200)与最大复种指数关系

Fig. 4 The relationship between the accumulated temperature above zero in between 3400 and 4200 and the maximum Cropping Index

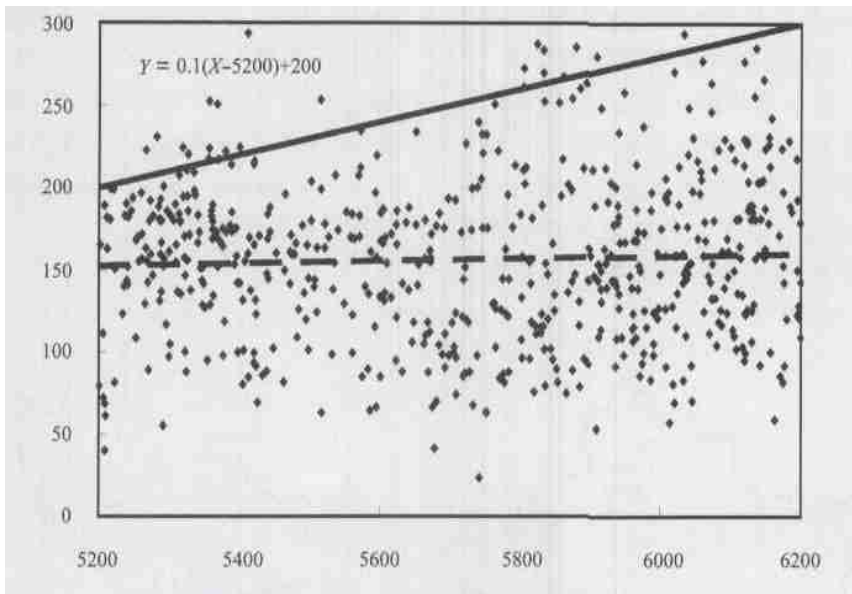


图 5 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温(5200—6200)与最大复种指数关系

Fig.5 The relationship between the accumulated temperature above zero in between 5200 to 6200 and the maximum Cropping Index

3.2 降水复种指数潜力

如果只考虑某一降水量下最大复种指数时,根据降水量与复种指数的关系,也可以得到一些明显的结论。根据图 2,降水量在 500mm 以下时,复种指数基本上在 100% 以下;当降水量在 500—1200mm 时,复种指数由 200% 升到了 300%,而 100%—200% 的复种指数几乎没有过渡;当降水量在 1200mm 以上时,复种指数可稳定在 300%。也就是说降水量 500mm、1200mm 是复种指数随降水量变化的 2 个明显边界,因此,本文确定当降水量在 500mm

以下时,复种指数潜力为 100%;当降水量在 1200mm 以上时,复种指数潜力为 300%;当降水量在 500—1200mm 时,进一步根据这个界限内的降水量与复种指数关系确定。

将降水量在 500—1200mm 之间数据及对应复种指数取出,重做散点图,如图 6 所示。图中虚线为用最小二乘法拟合的回归线,实线为根据外包络线法确定的复种指数与降水量外包络线曲线。降水量在 500—1200mm 时,可以确定复种指数与降水量的外包络线方程为 $Y=0.14(X-500)+200$ 。这个方程就是在这个区间计算复种指数潜力的方程。

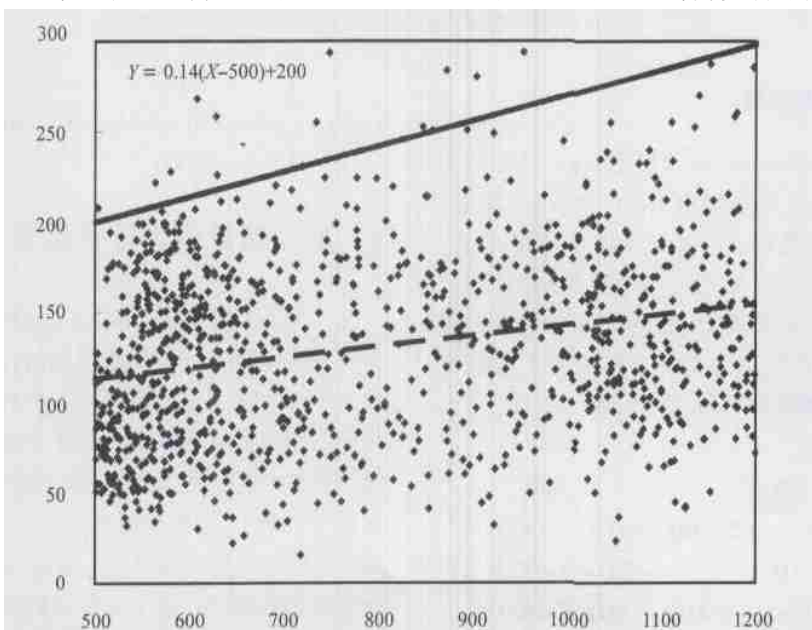


图 6 降水量(500—1200mm)与最大复种指数关系

至于在 500mm 线为什么复种指数潜力从 100% 突变至 200%，可以根据图 7 得到清楚的答案^[10]。从图 7 看，500mm 降水量等值线除东北、西藏地区外，基本上和一熟带与二熟带的分界线重合。而根据现实情况，东北地区除辽宁南部小部分地区有可能发展复种外，大部分地区复种指数潜力最多是 100%。西藏是高寒地区，复种指数潜力也顶多是

100%。因此，本文利用降水量构建复种指数潜力模型时，不模拟 100%—200% 之间的复种指数潜力也是合理的。从图 7 也可以看到 1200mm 等值线和两熟与三熟带的分界线也是基本重合的。这也充分说明本文用 500mm、1200mm 作为复种指数潜力预测的分界线也是合理的。

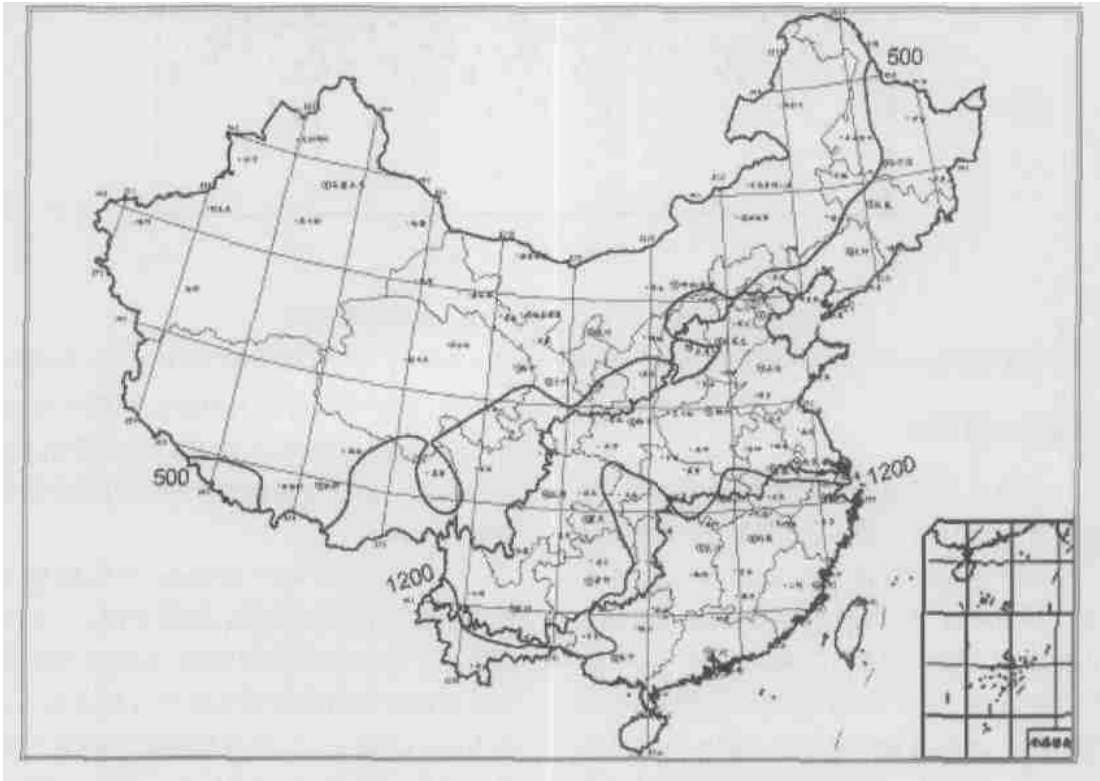


图 7 降水量等值线与熟制区划的空间位置

Fig.7 Map of contour of precipitation and zone of the planting system

3.3 复种指数潜力模型

根据上一节的分析，可以分别建立(1)、(2)两个模型。 M_T 为积温复种指数潜力， T 为 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温， M_R 为降水复种指数潜力， R 为多年平均降水量。由于积温与降水量均是制约复种指数提高的因素，哪一个因素起的限制作用大，最终复种指数潜力就小，也就是说复种指数潜力是两个模型模拟的最低值。本文的复种指数潜力 $MCI = \text{MIN}(M_T, M_R)$ ，也即取两者的最小值。

$$M_T = \begin{cases} 100 & T < 3400 \\ (T - 3400) \times 0.125 + 100 & 3400 \leq T < 4200 \\ 200 & 4200 \leq T < 5200 \\ (T - 5200) \times 0.1 + 200 & 5200 \leq T < 6200 \\ 300 & T \geq 6200 \end{cases} \quad (1)$$

$$M_R = \begin{cases} 100 & R < 500 \\ (R - 500) \times 0.14 + 200 & 500 \leq R < 1200 \\ 300 & R \geq 1200 \end{cases} \quad (2)$$

4 复种指数潜力计算结果

本文在 GIS 软件 ArcView 的支持下，使用多年平均 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温和多年平均降水量数据，首先采用双线性插值法进行插值，插成空间分辨率为 1km 的图像，得到全国积温和降水量栅格图。然后，根据上一节建立的复种指数潜力模型分别计算了积温复种指数潜力和降水复种指数潜力，得到全国积温复种指数潜力栅格图和降水复种指数潜力栅格图。最后，取每一个像元的积温复种指数潜力与降水复种指数潜力二者的最小值，得到全国复种指数潜力分布图，如图8所示。表2为

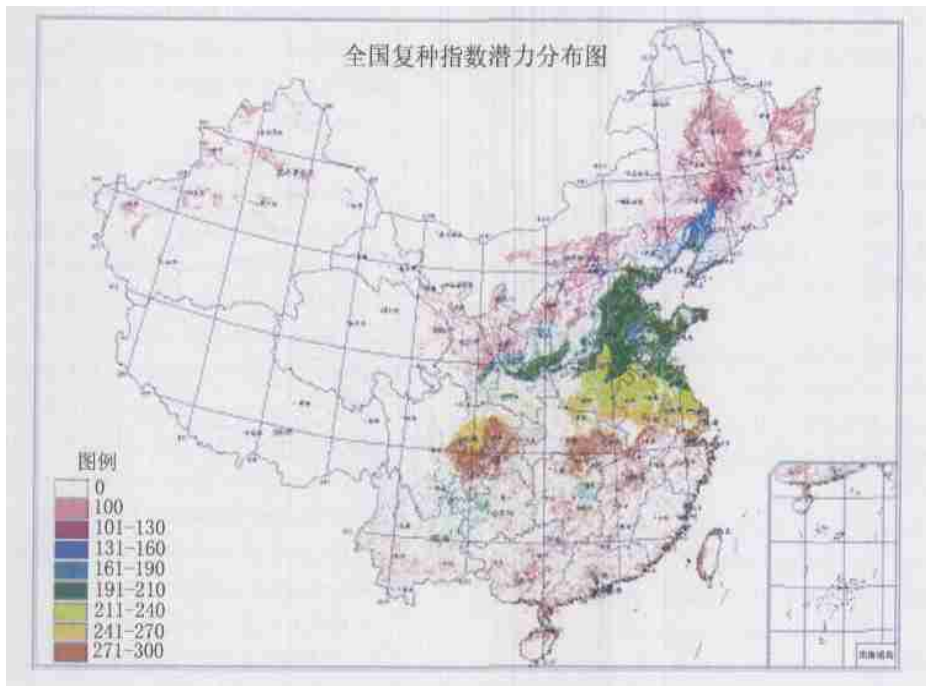


图 8 全国复种指数潜力

Fig.8 Cropping Index potential over China

表 2 复种指数潜力

Table 2 Cropping Index potential over China

省市	复种指数潜力/%	省市	复种指数潜力/%	省市	复种指数潜力/%	省市	复种指数潜力/%
全 国	198.5	黑 龙 江	100.0	河 南	221.4	贵 州	244.0
北 京	193.7	上 海	261.6	湖 北	281.7	云 南	259.7
天 津	200.0	江 苏	226.1	湖 南	276.8	西 藏	100.0
河 北	183.5	浙 江	288.0	广 东	300.0	陕 西	178.5
山 西	156.0	安 徽	246.9	广 西	298.4	甘 肃	131.3
内 蒙 古	103.6	福 建	300.0	海 南	294.4	青 海	100.0
辽 宁	160.5	江 西	298.5	重 庆	287.7	宁 夏	106.1
吉 林	106.6	山 东	199.5	四 川	276.5	新 疆	99.7

全国及分省的复种指数潜力。全国复种指数潜力为 198.5%。

5 结论与讨论

本文提出基于 GIS 技术的复种指数潜力计算方法,通过研究形成以下结论:

(1) 最大复种指数与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温之间呈现出随着积温增加复种指数逐渐增加的趋势;最大复种指数与降水量之间呈现出随着降水量增加复种指数逐渐增加的趋势;最大复种指数与日照时数之间呈现出随着日照时数增加复种指数逐渐减小的趋势。表

明日照时数不是限制复种指数增加的因素。

(2) 根据最大复种指数与气象因子的关系,取积温、降水与复种指数的外包络线方程,可以建立复种指数潜力的计算模型。

(3) 利用本文提出的复种指数潜力模型,计算得到全国复种指数潜力为 198.5%。

本文基于 1km 尺度计算复种指数潜力是一个新的尝试。本文计算的全国复种指数潜力与一些文献相近,是本文的方法可靠性的佐证。但是,复种指数潜力不是一个静态的指标,随着农业生产水平的提高和全球气温变暖,不同区域的复种指数潜力也随着变化。据三年前的调查,我国冬小麦种植北

线已经北移到黑龙江省南部。因此,对复种指数潜力的预测方法仍然需要不断完善。

参 考 文 献 (References)

- [1] Liu Y H, Zhang L F. Application of Land Equivalent Ratio(LER) on Sequential Cropping [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 1998, **29**(3): 220—223. [刘玉华, 张立峰. 土地当量比和复种指数的应用研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1998, **29**(3): 220—223.]
- [2] Bian X M, Feng J X. Method of Calculating Cropping System Index of Diversified Multiple Cropping Systems [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1999, **22**(1): 11—15. [卞新民, 冯金侠. 多元多熟种植制度复种指数计算方法探讨[J]. 南京农业大学学报, 1999, **22**(1): 11—15.]
- [3] Liu X H. A Study on the Potential of Multicropping Index of China Arable Land [J]. *Crop Magazine*, 1997, **3**: 1—2. [刘巽浩. 论中国耕地种植指数(复种)的潜力[J]. 作物杂志, 1997, **3**: 1—2.]
- [4] Wang H G. A Study on the Potential of Agricultural Production and the Development Road in China[D]. P. H. D Dissertation, China Agricultural University, 1990; 32—36. [王宏广. 中国农业生产潜力及发展道路研究[D]. 博士论文, 中国农业大学, 1990, 32—36.]
- [5] Shi J T, Liu M J, Li J. Multicropping and Sustainable Development in Grain Production of China [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1998, **16**(1): 51—57. [史俊通, 刘孟君, 李军. 论复种与我国粮食生产的可持续发展[J]. 干旱地区农业研究, 1998, **16**(1): 51—57.]
- [6] Crook F W. Under-reporting of China's Cultivated Area; Implications for World Agricultural Trade. In *China: International Agriculture and Trade Report*. Washington, DC: US Department of Agriculture, Economic Research Service (Situation and Outlook Series, RS-93-4).
- [7] Peter B. Reich, David P. Turner, Paul Bolstad. An Approach to Spatially Distributed Modeling of Net Primary Production (NPP) at the Landscape Scale and Its Application in Validation of EOS NPP Products [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1999, **70**: 69—81.
- [8] Peter H. Verburg, Youqi Chen and Tom (A.) Veldkamp. Spatial explorations of land use change and grain production in China [J]. *Agriculture Ecosystems Environment*, 2000, **82**: 333—354.
- [9] Liu J Y. Study on National Resources & Environment Survey and Dynamic Monitoring Using Remote Sensing [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1997, **1**(3): 225—230. [刘纪远. 国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究[J]. 遥感学报, 1997, **1**(3): 225—230.]
- [10] Fan J L, Wu B F. A Methodology for Retrieving a Multicropping Index from NDVI Profiles [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, **8**(6): 628—636. [范锦龙, 吴炳方. 复种指数遥感监测方法[J]. 遥感学报, 2004, **8**(6): 628—636.]

A Study on Cropping Index Potential Based on GIS

FAN Jin-long, WU Bing-fang

(Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Cropping index is a very important indicator. Food production potential in the future can be forecasted by the cropping index potential. However, there were little studies on the cropping index potential. Several references estimated the cropping index potential over China by the very simple means or with the provincial statistical data. The results were different. This paper put forward the methods of calculating cropping index potential based on GIS technology.

The agricultural statistical data were processed. The statistical data of the area of arable land of each county were replaced by the data of the area of arable land extracted from remotely sensed data due to the quality of the statistical data. The maximum of cropping index of each county then was calculated further. The climatic data were collected and processed, too. After analyzing the relationship between the maximum of cropping index and the accumulated temperature, precipitation and sun hour data, this paper put forward the model of cropping index potential by the means of the outside envelope. Then this paper calculated the cropping index potential over China with 1 km resolution based on the model the paper proposed. The cropping index potential of the whole China and each province were obtained by using the spatial statistical methods. According to the results, the cropping index potential of the whole China is 198.5%.

Key words: cropping index potential; GIS; accumulated temperature; precipitation