

耕地复种指数研究的国内外进展

左丽君^{1 2 3}, 张增祥², 董婷婷^{1 2 3}, 汪 潇²

(1. 农业部 资源遥感与数字农业重点开放实验室, 北京 100084; 2 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100104; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 耕地是维系粮食安全的重要资源, 复种指数是耕地的一个重要属性。论文从复种指数提取方法、复种指数应用以及潜力复种指数三个方面, 对国内外在复种指数领域的研究进展及其特点进行了总结归纳, 发现遥感技术在复种指数的提取中发挥着重要的作用, 复种指数的应用呈现了多元化的趋势, 而对复种潜力的研究也存在着由定性向定量化发展的趋势。未来, 复种指数提取方法的改进、复种指数的动态机制以及影响复种指数提高的原因分析等将成为重要的研究内容。

关 键 词: 耕地; 复种指数; 进展; 展望

中图分类号: S44 3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000—3037(2009)03—0553—08

1 引言

耕地是土地资源利用的一种重要形式^[1, 2], 它承载着人类生存的基本食物来源, 其变化对粮食安全以及生态环境的稳定性都有着十分重要的影响。近年来, 随着人地矛盾的日益突出、城市化发展的推进以及粮食价格的不断攀升, 粮食问题逐步成为全球关注的热点话题, 区域粮食安全问题同样备受瞩目。

复种是区域粮食增产最简单直接并且行之有效的方式^[3~5]。以中国为例, 在 1986 ~ 1995 年的 10 年内, 我国复种指数增加了 9.7 个百分点, 增加复播面积 $850 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 其中 75% 种粮食, 年增产粮食达 $241 \times 10^8 \text{ kg}$ 占同期粮食总增产数的 36.5%^[6]。也就是说, 农作物增产中有 1/3 多是靠复种得来的。此外, 与开荒相比, 增加复种指数的效益要高。这是由于能增加复种的耕地, 其水、热、肥条件都较好^[7]。由此可见, 实施复种在粮食增产中发挥着至关重要的作用。

复种指数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, 也是宏观评价耕地资源利用基本状况的重要技术指标。它是指一块地 1 年内种植作物的次数, 一般来说, 在单产一定的情况下, 复种指数越高, 粮食产量也就越高^[8]。国内外众多专家学者在复种指数方面进行过大量的研究工作, 本文拟对这一领域的成果以及目前存在的问题进行归纳总结, 为今后这一方面研究工作的深入开展提供参考。

2 复种指数提取方法研究进展

复种指数有潜力复种指数和实际复种指数之分。潜力复种指数就是最大复种指数, 即

收稿日期: 2008-10-23 修订日期: 2008-12-01

基金项目: 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室 2008 年开放课题“耕地复种指数与灌溉面积的遥感监测及其耦合分析”(RDA0802); 国家科技基础条件平台建设地球系统科学数据共享网—全国土地覆盖遥感制图(07H0510036)。

第一作者简介: 左丽君(1982—), 女, 江西上高人, 博士研究生, 主要研究耕地动态遥感监测和土地利用动态遥感监测。E-mail: leftelion@126.com

在充分利用该地区光、热、水资源时所能达到的最大复种指数^[9]。但由于受金融条件、人力、作物品种等因素的限制,一个地区复种指数的实际情况并不一定能达到其最大的水平,其实际水平这里称为实际复种指数。

2.1 实际复种指数提取方法

2.1.1 基于统计数据的方法

传统的复种指数计算方法是基于统计数据的作物播种面积和耕地面积采用如下公式对行政区划单元上的复种指数进行估计:

$$MCI = A/A_1$$

其中, MCI 为区域耕地复种指数; A 为区域全年作物总收获面积; A_1 为区域总耕地面积。

段红平^[10]通过统计数据计算了复种指数,对湖南省 1949~1998年 50年间耕作制度的变化进行了研究,并指出,未来湖南应在提高作物单位面积产量水平的基础上,通过增加复种指数来满足农产品需求。黄国勤^[11]采用同样的方法得到南方各省的复种指数,发现我国南方地区的耕地复种潜力尚待挖掘。梁书民^[12]将计算出的复种指数与城镇化发展进行相关分析,发现随着城镇化的发展,复种指数倾向于降低。此外,史俊通等^[13]、李茂^[14]等均采用过统计数据的方法进行复种指数的计算。

可以看出,统计方法计算起来比较简单,但由于是采用统计数据进行计算,一方面,它忽略了各统计单元内部的空间异质性,不能准确地描述种植制度的空间特征;另一方面,统计数据的获取也存在一定的滞后性^[15]。

2.1.2 基于遥感的方法

随着定量遥感的发展,遥感数据反演的植被指数能够较好地反映植被生长状况;而遥感平台的发展以及数据获取门槛的降低,使得我们能够获得长时间段的时间序列数据,从而实现对植被的长期监测。在此基础上, Panigrahy S^[16]采用印度发射的 $RS LISS-1$ 的多时相高分辨率遥感数据,使用主成分分析结合最大似然法分类得到印度全国的复种指数。辜智慧^[17]采用 Savitzky-Golay滤波的方法对 $NDVI$ 时序数据进行平滑处理,建立熟制标准曲线库,利用交叉拟合度检验法进行中国农作物复种指数的提取。范锦龙^[18]提出了一种基于时间序列谐波分析法,通过提取平滑后的作物生长曲线的波峰频数得到地块复种指数的方法,并得到了较为广泛的应用。闫慧敏等^[15]采用该方法计算了全国的耕地复种指数,并分析了它对农田生态系统和土壤碳吸收的影响。彭代亮等^[19]同样采用这种方法对浙江省的复种指数进行了监测。之后,朱孝林等^[20]提出了一种基于 $NDVI$ 曲线迭代修正的复种指数遥感提取方法。

总的来说,目前基于遥感的复种指数方法基本上都是以长时间序列植被指数数据为基础,采用各种平滑去噪手段拟合得到作物生长曲线,从而进行复种指数提取。

2.2 潜力复种指数提取方法

2.2.1 基于作物生长模型的方法

AEZ(Agro-Ecological Zones)模型^[21-22]是目前国际上比较常用的计算区域耕地生产潜力的方法,它将气候、土壤、地形地势、土地利用方式、灌溉条件等因素与各种农作物的生长模型整合,最终计算得到每一块土地的最大生产潜力,其产品中包括潜力复种指数部分。这一模型在国外应用较多。Deng X等^[23]在对中国 1983~2000年期间的耕地变化研究中即采用了 AEZ方法,并指出由于耕地生产潜力(其中包括复种指数)的区域差异,使得由于耕地增加所导致的粮食产量增加基本上被耕地变化中产生的耕地生产潜力的变化所导致的粮食产量减少所抵消。

2.2.2 基于农业气候学的方法

这种方法一般将复种潜力分为热量潜力和降水潜力, 并取两者中最小的那个作为最终的复种指数潜力。而热量潜力和降水潜力分别用 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温和多年平均降水量的值来划分各复种区间。刘巽浩^[24]在考虑自然条件的情况下, 如降水(包括灌溉)、热量, 以1995年的资料为基础, 分析得到1996~2010年的15年期间, 全国复种指数可有13.4%左右的潜力, 并且增加的重点在南方14省市。史俊通等^[13]、范锦龙等^[9]均分别根据地区的热量和降水进行了复种指数潜力的计算, 最终取两者的最小值作为当地的复种指数潜力。此外, 王宏广^[25]在集农学、农业气象、地理学、土壤学等于一体的中国耕作制度区划的基础上, 根据一熟区、二熟区和三熟区的面积计算了我国的耕地复种指数潜力, 结果也为198%。

2.2.3 基于经济学模型的方法

农作物的生产与经济学中的产品生产有一定的共性, 即在某些生产要素的投入下得到了一定的产出。若将光温水等自然条件看作是生产投入要素, 复种指数看成是产出, 那么采用经济学中用来衡量技术有效性的随机边界生产函数^[26~28]就能对复种指数的潜力进行测度。Peter H Verburg等^[29]曾采用随机边界生产函数的方法以1991年统计计算的复种指数为基础, 对中国的复种指数潜力进行了计算, 并对其区域差异进行了分析。

这三种方法各具优缺点。总体来说, AEZ模型对作物生长的要素考虑得较为全面, 具有较高的理论意义与实际应用价值, 但是对于小区域来说精度不高。基于农业气候学模型目前的发展还属于依靠经验阶段, 热量和降水的阈值确定大都依靠经验值, 有一定的局限性。基于经济学模型的方法可实施对复种的非效益部分的原因分析, 但是应用的前提是必须有的地方复种达到了最大潜力。

3 实际复种指数应用的研究进展

国外, 关于复种指数的研究主要集中在人均耕地面积较少、复种措施较为普遍的亚非地区。Devendra等^[30]介绍了亚洲的小农业生产体系, 指出复种是亚洲农业种植的重要特点; Steve Frohking等^[31]绘制了印度水稻种植区的复种指数区划图, 并估算了各类型区的灌溉需求量。Lir等^[32]则指出中国正在用处于生态脆弱区的耕地的增加来补偿处于土壤肥沃、复种指数高的耕地的损失, 这将严重威胁中国粮食安全; Cao Z等^[33]采用复种指数作为输入变量之一建立了生态系统中原动力与物质流的效率间关系的功能模型。

在国内, 复种指数则常常作为耕地的一个重要属性在对土地资源的可持续发展、粮食安全以及对生态环境的评价中发挥重要的作用。

在土地资源可持续利用方面, 主要以复种指数作为指标来衡量土地资源承载力。贾宏俊等^[34]采用灰色系统GM(1, 1)模型预测了芜湖市的人口数量、复种指数等的发展趋势, 探讨了预测期内芜湖市土地资源人口承载力状况; 康鸳鸯等^[35]根据包括复种指数在内的4个因子对河南省粮食产量和耕地资源承载力进行了预测和分析; 彭建等^[36]则将复种指数作为衡量景观胁迫度的一个指标, 对滇西北山区进行了土地可持续性评价。

在粮食安全方面, 着重以复种指数作为输入变量, 计算耕地面积、粮食产量等的变化, 进行粮食安全分析。王梅等^[37]用播种面积单产和复种指数来度量耕地质量, 指出我国总体耕地质量下降。廉丽姝等^[38]发现影响山东省粮食生产的首要因素是粮食单产, 其次是农业自然灾害和复种指数。钟太洋等^[39]将复种指数作为区域人均基本农田需求面积模型的输入变量之一。耿玉环等^[40]在对我国耕地面积变化的资料分析后指出, 耕地复种指数是影响耕

地产量的主要原因之一。

在生态环境影响方面,主要表现在土地利用强度对土壤、水的影响上,其中,耕地利用强度的衡量指标为复种指数。黄伟生等^[41]发现提高复种指数是维持和提高耕作土壤有机碳含量的可行措施;俞海等^[42]认为复种指数对土壤肥力和有机质含量有较大影响。孔祥斌等^[43]指出包括复种指数增加在内的土地利用集约化将导致对水资源的过度开采,使区域水资源失衡;刘方等^[44]发现高复种指数将对喀斯特浅层地下水化学变化产生影响。

此外,还有许多学者就城市化^[12]、气候变化^[45-46]等对复种指数的影响展开了相关的研究工作。

4 潜力复种指数的研究进展

在国外,研究复种指数潜力的较少,大多集中是对整个粮食生产潜力的研究上,并且主要采用 AEZ模型。Caldiz DO等^[47]基于 AEZ模型预测了阿根廷国内处于不同农业生态区的农作物生产潜力、作物潜在生长周期以及潜在的生长季。Alcamo 等^[48]将 AEZ模型和 WaterGAP 2模型(Water Global Assessment and Prognosis)相结合评价了极端天气事件对俄罗斯粮食产量的影响。Tadesse B等^[49]在 AEZ分区的基础上,研究了印度国内各个不同分区以及农场规模对农业技术效率的影响。

在国内,对于潜力复种指数的研究比较多,并且表现出由定性到半定量再到定量的发展过程。

研究初期,焦点主要集中在不同地区增加复种指数的模式上。顾大川^[50]认为,肥料、水利是扩大复种增产的基本原因;劳动力和技术条件对提高复种面积也非常重要。也有研究指出,在扩大复种面积的过程中,要注意作物的搭配和品种的选择,以及复种实施过程中的季节矛盾等技术问题^[51]。许多专家学者还就不同区域如何实现提高复种面积进行了研究^[52]。陈益年^[53]提出,广东省要在二熟的基础上搞好一年三熟,主要是应抓好稻麦复种和稻肥(豆)复种;同时也要抓好稻油复种和稻薯复种。

随着对我国各区域复种制度的深入了解和研究,许多学者开始运用农业气候学的方法,采用光温生产力的经验值对我国的复种潜力进行区划,对复种指数潜力的研究进入半定量阶段。沈学年等^[54]在结合气候、地貌、土壤、作物以及社会经济情况的基础上,对我国的复种制度进行了区划。之后,刘巽浩等^[55]以自然、社会经济条件,作物种类、作物结构、熟制为区划的基本原则,在保持县级行政区划完整性的基础上对我国耕作制度进行了区划。

进入 21 世纪以来,随着遥感与 GIS 的发展,复种指数的潜力研究进入定量阶段。范锦龙等^[9]采用 GIS 的方法,对各气象要素进行整合分析,定量地计算了各耕地斑块的复种潜力,从而得出了较为细致的全国潜力复种指数区划图。王宏广等^[6]定量分析了 1985~2003 年 18 年间中国耕作制度的演变特征,以此为基本蓝图,制成了基于 GIS 的中国耕作制度区划。该区划充分体现了 1985~2003 年的社会经济条件、技术发展水平、熟制、作物布局等因素的变化。

5 发展趋势与展望

通过以上对耕地复种指数研究的总结,不难看出,复种指数从其提取到应用都获得了很大程度的发展,其发展趋势可归纳为以下几方面:

首先,对于耕地复种指数提取方法的研究,经历了由基于统计数据向基于遥感手段的转变过程。这一转变克服了基于统计数据获取复种指数的实时获取性差、空间异质性差等缺

点,使得对耕地复种指数进行实时、快捷而有效的监测成为可能。目前,基于遥感的复种指数提取方法仍处于发展中,主要集中在两个方面:其一是对植被指数时间序列曲线进行高度拟合的方法改进;其二是对各类耕地复种模式的提取。

其次,随着复种指数定量计算的发展,其在进行区域粮食安全评价、土地资源承载力以及生态环境评价中得到越来越广泛的应用。这使得这些评价向量化迈进了一步,变得更具有说服力。

最后,耕地潜力复种指数的研究也经历了定性到量化的发展历程。此外,耕地复种潜力的区域差异以及引起差异的气候、经济以及社会因素逐步成为研究的热点,为制定区域农业政策提供强有力的科学依据。

虽然之前的各种研究涵盖了复种指数的方方面面,然而,其中仍然存在着一些问题有待进一步探讨与解决:

(1)目前,基于遥感的复种指数提取方法基本上都是采用年内的时间序列植被指数数据,对数据的时间分辨率要求较高,因此,必然在空间分辨率上大打折扣。此外,已有的方法所需处理的数据量较大,运算速度受到一定的限制。在今后的研究中,可以结合一些作物物候信息,以缩小数据量为目标,构建更为简洁而快速的复种指数提取方法。

(2)以往多注重复种指数的应用研究,即以复种指数作为中间变量对粮食安全、生态环境变化等方面进行评价,而针对耕地复种指数本身的空间差异以及时间变化的研究比较少。实际上,耕地复种指数的时空变化对粮食安全具有重要的影响,其变化发生在什么类型的耕地上、促使这些变化产生的原因是什么都是有待挖掘并且具有研究价值的内容。

(3)对于复种指数的潜力研究,过去主要从农作学以及自然条件等方面展开研究,如各种作物种类如何搭配可以实现更多的复种、在某一气候条件下能够有多大的复种潜力,即多从气候要素盈余的角度出发。然而,随着城市化的发展,在农业生产比较效益的驱使下,在人类活动对自然环境的影响下,复种指数的提高受到了一系列社会经济条件以及环境因素的限制。如若这些限制因素不疏通,很难在现实层面上再去提高复种指数的潜力。因此,从社会经济角度来讨论我国复种指数潜力的提高能够对区域农业政策的制定提供重要的理论依据。

参考文献 (References):

- [1] Audsley E, Peam K R, Simoa C, et al. What can scenario modelling tell us about future European scale agricultural land use and what not? [J]. *Environmental Science & Policy* 2006 9(2): 148—162.
- [2] Stehfest E, Heistermann M, Priess J A, et al. Simulation of global crop production with the ecosystem model DaCent [J]. *Ecological Modelling* 2007 209 (2—4): 203—219.
- [3] Hayami Y, Rutan V. *Agricultural Development: An International Perspective* [M]. Baltimore: Johns Hopkins Press 1985.
- [4] Turner II B L, Hanham R Q, Portararo A V. Population pressure and agricultural intensity [J]. *Annals of the Association of American Geographers* 1977 67(3): 384—396.
- [5] Turner II B L, Doolittle W E. The concept and measure of agricultural intensity [J]. *Professional Geographer* 1978 30 (3): 297—301.
- [6] 王宏广,等. 中国耕作制度 70年 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005. [WANG Hong Guang, et al. *The Farming System of China in the Past Seventy Years*. Beijing: China Agriculture Press 2005.]
- [7] 郭柏林. 我国复种指数变化特征、效益和潜力 [J]. *经济地理*, 1997 17(3): 8—13. [GUO Bo lin. The analysis for the change of multiple cropping index in China. *Economic Geography* 1997 17(3): 8—13.]
- [8] Cao Z, Dawson R. Modeling circulation function in agroecosystems [J]. *Ecological Modelling* 2005 181 (4): 557—566.
- [9] 范锦龙, 吴炳方. 基于 GIS 的复种指数潜力研究 [J]. *遥感学报*, 2004 8(6): 637—644. [FAN Jin long, WU Bing fang. A study on cropping index potential based on GIS. *Journal of Remote Sensing* 2004 8(6): 637—644.]

- [10] 段红平. 湖南省耕作制度 50 年 (1949~1998) 演变分析 [J. 耕地与栽培, 2001 (3): 1~4 [DUAN Hongping Analysis of the development of Hunan farming system from 1949 to 1998. Cropping and Planting 2001 (3): 1~4]
- [11] 黄国勤. 论提高我国南方耕地复种指数 [J. 自然资源, 1995 (1): 30~37. [HUANG Guoqin On the increase of multiple cropping index of cultivated land in southern China. Nature Resources 1995 (1): 30~37]
- [12] 梁书民. 我国各地区复种发展潜力与复种行为研究 [J. 农业经济问题, 2007 (5): 85~90. [LIANG Shumin Research on the Potential of the multiple cropping index and the behavior of multiple cropping of China. Problems of Agricultural Economy 2007 (5): 85~90]
- [13] 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. [SHI Jun tong LIUMenjun LIJun Multiple cropping and sustainable development in grain production of China. Agricultural Research in the Arid Areas 1998 16(1): 51~57]
- [14] 李茂. 河南省耕地和粮食灰色关联分析 [J. 地理科学进展, 2002 21(2): 163~172 [LIMao Gray incidence analysis between cultivated area and grain yield and its affecting factors of Henan Province. Progress in Geography 2002 21(2): 163~172]
- [15] 闫慧敏, 曹明奎, 刘纪远, 等. 基于多时相遥感信息的中国农业种植制度空间格局研究 [J. 农业工程学报, 2005 21(4): 85~90 [YAN Huimin CAO Mingkui LIU Jiyuan et al. Characterizing spatial patterns of multiple cropping system in China from multi-temporal remote sensing images. Transactions of the CSAE 2005 21(4): 85~90]
- [16] Panigrahy S, Shama S A. Mapping of crop rotation using multilate Indian remote sensing satellite digital data [J. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 1997, 52(2): 85~91]
- [17] 辜智慧. 中国农作物复种指数的遥感估算方法研究——基于 SPOT/VGT 多时相 NDV 遥感数据 [D]. 北京: 北京师范大学, 2003. [GU Zhihui A Study of Calculating Multiple Cropping Index of Crop in China Using SPOT/VGT Multi Temporal NDVI Data. Beijing: Beijing Normal University 2003]
- [18] 范锦龙. 复种指数遥感监测方法研究 [D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2003 [FAN Jinlong Study on Remote Sensing Methods for Monitoring Multiple Cropping Index. Beijing: Institute of Remote Sensing Applications, CAS 2003]
- [19] 彭代亮, 黄敬峰, 金辉民. 基于 MODISNDV 的浙江省耕地复种指数监测 [J. 中国农业科学, 2006 39(7): 1352~1357 [PENG Dai-liang HUANG Jing-feng JIN Huimin The monitoring for sequential cropping index of arable land in Zhejiang Province using MODISNDVI. Scientia Agricultura Sinica 2006 39(7): 1352~1357.]
- [20] 朱孝林, 李强, 沈妙根, 等. 基于多时相 NDV 数据的复种指数提取方法研究 [J. 自然资源学报, 2008 23(3): 534~544. [ZHU Xiaolin LIQiang SHENMiaogen et al. A methodology for multiple cropping index extraction based on NDVI time-series. Journal of Natural Resources 2008 23(3): 534~544]
- [21] FAO. AEZ in Asia. World soil resources report R₁. Rome: FAO 1994 75.
- [22] FAO. Agro-ecological Zoning Guidelines. FAO soils bulletin R₁. Rome: FAO 1996 73.
- [23] Deng X, Huang J, Rozeille S et al. Cultivated land conversion and potential agricultural productivity in China [J. Land Use Policy 2006 23(4): 372~384.
- [24] 刘巽浩. 论我国耕地种植指数 (复种) 的潜力 [J. 作物杂志, 1997 (3): 1~3 [LIU Xunhao Research on the potential of the multiple cropping index in China. Crops 1997 (3): 1~3]
- [25] 王宏广. 中国农业的问题、潜力与对策 [J. 科学学研究, 1992 10(3): 38~41. [WANG Hongguang Problems, potential and countermeasure of China's agriculture. Studies in Science of Science 1992 10(3): 38~41]
- [26] Aigner D, J. Lovell C A K, Schmidt P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models [J. Journal of Econometrics 1977 6(1): 21~37]
- [27] Meeusen W, J van den Broeck. Efficiency estimation from Cobb-Douglas productions with composed error [J. International Economic Review 1977, 18(2): 435~444.
- [28] Coelli T, Prasado Rao D S, Battese G E. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers 1998.
- [29] Verburg P H, Chen Youqi, Velthkamp A. Spatial explorations of land use change and grain production in China [J. Agriculture Ecosystems and Environment 2000 82: 333~354]
- [30] Devendra C, Thomas D. Smallholder farming systems in Asia [J. Agricultural Systems 2002 71(1~2): 17~25.
- [31] Frohling S, Jagadeesh Babu Yeluriapati, Douglas E. New district level maps of rice cropping in India: A foundation for sci-

entific input into policy assessment [J]. Field Crops Research 2006 98 164—177

[32] Lin G C S Ho S P S China's land resources and land use change: Insights from the 1996 land survey [J]. Land Use Policy 2003 20(2): 87—107

[33] Cao Z Dawson R Modeling circulation function in agroecosystems [J]. Ecological Modelling 2005 181 (4): 557—565

[34] 贾宏俊, 顾也萍. 芜湖市土地资源人口承载力与可持续发展研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2001, 10(6): 491~498 [JIA Hong-jun GU Ye-ping Study on population supporting capacity of land resources and sustainable development in Wuhu Region Resources and Environment in the Yangtze Basin 2001, 10(6): 491—498]

[35] 康鸳鸯, 孙志英, 吴克宁, 等. 基于耕地地力的河南省耕地承载力研究 [J]. 河南农业科学, 2004 (5): 47~50 [KANG Yuan-yang SUN Zhi-ying WU Ke-ning et al Studies on the carrying capacity of cultivated land in Henan Province based on the cultivated land fertility Journal of Henan Agricultural Sciences 2004 (5): 47—50]

[36] 彭建, 王仰麟, 张源, 等. 滇西北山区土地持续利用动态评价与分析 [J]. 地理研究, 2006 25(3): 406~414 [PENG Jian WANG Yang-lin ZHANG Yuan et al Research on the evaluation and analysis of land use sustainability dynamics in mountain areas of northwest of Yunnan Province China: A case study of Yongsheng County Geographical Research 2006 25(3): 406—414]

[37] 王梅, 曲福田. 关于耕地总量动态平衡的思考 [J]. 中国人口 资源与环境, 2004 14(3): 100~104 [WANG Mei QU Fu-tian Consideration on dynamic balance maintenance of total arable land China Population Resources and Environment 2004 14(3): 100—104]

[38] 廉丽姝, 王慧, 宋晓言. 山东省粮食生产系统的动态关联分析 [J]. 国土与自然资源研究, 2005 (1): 19~20 [LIAN Li-zhu WANG Hui SONG Xiao-yan Grey incidence analysis between crop and its affecting actors in Shandong Province Territory & Natural Resources Study 2005 (1): 19—20]

[39] 钟太洋, 黄贤金, 马其芳, 等. 区域人均基本农田需求面积测算模型及应用——以江苏省为例 [J]. 自然资源学报, 2006 21(5): 717~726 [ZHONG Tai-yang HUANG Xian-jin MA Qi-fang et al Theoretical model and its application of regional per capita basic farmland area: A case study of Jiangsu Province Journal of Natural Resources 2006 21(5): 717—726]

[40] 耿玉环, 张建军, 田明中. 论我国耕地保护与粮食安全 [J]. 资源开发与市场, 2007 23(10): 906~909 [GENG Yu-huan ZHANG Jian-jun TIAN Ming-zhong Cultivated land protection and food security in China Resource Development & Market 2007 23(10): 906—909]

[41] 黄伟生, 彭佩钦, 苏以荣, 等. 洞庭湖区耕地利用方式对土壤活性有机碳的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2006 25(3): 756~760 [HUANG Wei-sheng PENG Pei-qin SU Yi-rong et al Soil active organic carbon of farmland under different uses in Dongting Lake Region J Agro Environ Sci 2006 25(3): 756—760]

[42] 俞海, 黄季焜, Scott Rozelle, 等. 土壤肥力变化的社会经济影响因素分析 [J]. 资源科学, 2003 25(2): 63~72 [YU Hai HUANG Ji-kun Scott Rozelle et al Impact of socio-economic factors on soil fertility over time Resources Science 2003 25(2): 63—72]

[43] 孔祥斌, 张凤荣, 齐伟, 等. 集约化农业土地利用变化对水资源的影响——以河北省曲周县为例 [J]. 自然资源学报, 2004 19(6): 747~753 [KONG Xiang-bin ZHANG Feng-rong QI Wei et al The effect of land use change on water resource in intensive agricultural region: A case study of Quzhou County in Hebei Province Journal of Natural Resources 2004 19(6): 747—753]

[44] 刘方, 罗海波, 刘元生, 等. 喀斯特石漠化区农业土地利用对浅层地下水质量的影响 [J]. 中国农业科学, 2007 40(6): 1214~1221 [LIU Fang LUO Hai-bo LIU Yuan-sheng et al The effect of agricultural land usage on shallow groundwater quality in karst rocky desertification area Scientia Agricultura Sinica 2007 40(6): 1214—1221]

[45] 张厚瑄. 中国种植制度对全球气候变化响应的有关问题—I. 气候变化对我国种植制度的影响 [J]. 中国农业气象, 2000 21(1): 9~13 [ZHANG Hou-xuan The problems concerning the response of China's cropping system to global climatic changes I. The effect of climatic changes on cropping systems in China Chinese Journal of Agrometeorology 2000 21(1): 9—13]

[46] 张厚瑄. 中国种植制度对全球气候变化响应的有关问题—II. 我国种植制度对气候变化响应的主要问题 [J]. 中国农业气象, 2000 21(2): 10~13 [ZHANG Hou-xuan Response of cropping system in China to global climatic changes II. Effect of cropping system in China global climatic changes Chinese Journal of Agrometeorology 2000 21(2): 10—13]

- [47] Caldiz D Q, Haverkort A J, Struik P C. Analysis of a complex crop production system in interdependent agro-ecological zones: A methodological approach for potatoes in Argentina [J]. *Agricultural Systems* 2002, 73 (3): 297—311.
- [48] Alcamo J, Dronin N, Endejan M, et al. A new assessment of climate change impacts on food production shortfalls and water availability in Russia [J]. *Global Environmental Change* 2007, 17(3—4): 429—444.
- [49] Tadesse B, Krishnamoorthy S. Technical efficiency in paddy farms of Tamil Nadu: An analysis based on farm size and ecological zone [J]. *Agricultural Economics* 1997, 16 (3): 185—192.
- [50] 顾大川. 关于扩大复种面积问题 [A]. 中华人民共和国农业部粮食作物生产局. 改变耕作制度, 扩大复种面积 [C]. 北京: 农业出版社, 1958. 7~10 [GU Da-chuan. The problem of enlargement of the area of multiple cropping. In Bureau of Grain Production of Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. *Changing Farming System, Enlarge the Area of Multiple Cropping*. Beijing: Agriculture Press, 1958. 7—10.]
- [51] 北京农业大学, 河北农业大学, 河南农学院, 等. 耕作学 [M]. 北京: 农业出版社, 1961 [Beijing Agriculture University, Hebei Agriculture University, Henan Agriculture University, et al. *Cropping Science*. Beijing: Agriculture Press, 1961.]
- [52] 农业资料编辑委员会. 改革耕作制度的初步经验 [M]. 北京: 农业出版社, 1958 [Editorial Committee of the Agricultural Material. *Experiences of the Cropping System Changing*. Beijing: Agriculture Press, 1958.]
- [53] 陈益年. 改革耕作制度 实行合理轮作 [A]. 中国作物学会全国耕作制度研究会筹备会. 耕作制度研究论文集 [C]. 北京: 农业出版社, 1981. 173~180 [CHEN Yi-nian. Farming system reforming reasonable rotation implement. In China Society of Crops. *Papers of Researches on Farming System*. Beijing: Agriculture Press, 1981. 173—180.]
- [54] 沈学年, 刘翼浩, 等. 多数种植 [M]. 北京: 农业出版社, 1983. [SHEN Xue-nian, LIU Xun-hao, et al. *Multiple Cropping*. Beijing: Agriculture Press, 1983.]
- [55] 刘翼浩, 韩湘玲, 等. 中国耕作制度区划 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1987 [LIU Xun-hao, HAN Xiang-ling, et al. *Region of Farming System in China*. Beijing: Beijing Agriculture University Press, 1987.]

Progress in the Research on the Multiple Cropping Index

ZUO Lijun^{2,3}, ZHANG Zeng-xiang, DONG Ting-ting^{2,3}, WANG Xiao

(1 Key Laboratory of Resources Remote Sensing & Digital Agriculture, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China;

2 Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China; 3 Graduate University

of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Cultivated land is a very important type of resources as it plays a crucial role in the food security, while multiple cropping index is one of the significant features to cultivated land. This paper reviewed the research progress and its characteristics at home and abroad from the perspectives of method for multiple cropping index extraction, applications of multiple cropping index and potential multiple cropping index. And some conclusions have been drawn: firstly, a change has been taken place in method to extract multiple cropping index which is from method based on statistical data to method based on remote sensing data; secondly, as an important feature for cultivated land, multiple cropping index has been popularly used in the assessment of regional food security, carrying capacity of land resources and ecological environment; and thirdly, the research on potential multiple cropping index is also experiencing a change from qualitative work to quantitative work. Based on these, the existing problem has been analysed and the trend for the future research has been put forward. Improvement of method for multiple cropping index extraction, changing mechanism of multiple cropping index and affecting factor for the promotion of multiple cropping could be the main research contents in the future research of multiple cropping index.

Key words: cultivated land; multiple cropping index; progress of research; outlook