

中国土地资源的人口 承载能力研究

石玉林 主编



5.211-53

中国科学技术出版社

内 容 提 要

本书是中国自然资源研究会,全国农业区划委员会办公室、中国科学院资源研究委员会联合召开的“全国土地承载力学术讨论会”论文选编,共81篇。内容包括:土地承载力的理论与方法;区域土地承载力的研究与估算;土地生产潜力的理论计算、实验研究、开发措施等;城市和农村、草场与林地土地资源及其人口承载力;以及农业发展战略等。这些论文反映了我国现阶段土地资源人口承载能力研究的最新水平,可供从事科研,教学,管理和生产单位的有关部门和人员参考。

(京)新登字175号

中国土地资源的人口承载能力研究

石玉林 主编

责任编辑:李文兰

封面设计:王铁麟

技术设计:范小芳

*

中国科学技术出版社出版(北京海淀区白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市燕山联营印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 11.75 字数: 293千字

1992年9月第1版 1992年9月第1次印刷

印数: 1-1100册 定价: 7.00元

ISBN 7-5046-0620-0/Z·43

前 言

人口、资源、环境与发展是当今世界面临的最重大的全球性问题。随着人口的骤增,以及由此而引起的资源短缺、环境恶化等问题日趋严重。联合国粮农组织于70年代末完成了117个发展中国家(不包括中国)的土地资源承载能力的研究表明,到本世纪末,如果继续使用传统的耕作方法,发展中国家拥有的全部可垦土地资源将只能勉强养活预期人口,其中无法依靠本国土地资源供养预期人口的国家将不少于64个。这一结论引起了国际社会和各国有关人士之极大关注,纷纷呼吁人类社会应尽快采取必要的对策。

我国人口、土地、粮食长期以来处于紧张状态。近几年居高不下的自然增长率使得人口态势更为严峻,今后,即使在比较有效的控制下,峰值也将超过16亿,而我国相对紧缺的资源,尤其是耕地和淡水资源的不足,是我国的生存与发展的制约因素。在依靠科学技术,充分开发利用960万 km^2 的国土资源的前提下,我们能不能承载未来偌大的预期人口数量?在不同时间尺度、不同投入水平下,我国土地资源分别能够供养多少人口?这就成为我国有关部门和科学界关心的一件大事。1986年,全国农业区划委员会委托中国科学院自然资源综合考察委员会组织有关单位开始了中国土地资源承载力研究;国家土地管理局也在联合国粮农组织资助下开展有关研究工作。在此背景下,由中国自然资源研究会、全国农业区划委员会办公室、中国科学院资源研究委员会于1989年12月联合召开了“全国土地承载力”学术讨论会,交流了我国几年来的研究工作情况,探讨了今后深入发展的方向和途径。来自全国科研机构、大专院校及业务主管部门等30多个单位110余名代表参加了会议,中国科学院学部委员、著名地理学家黄秉维等老一辈科学家出席会议并作了精彩的学术报告。会议收到论文50余篇。为了促进土地承载力研究的发展,会议决定从中选择一部分汇编出版一本论文集。由于我国土地承载力研究尚属一个新的领域,出版这本论文集在我国还是第一次,因此有着积极的意义。本书所选用的文章,有理论探讨性的,也有经验总结性的,还有一些涉及今后开展这项研究工作的设想和建议,都有一定的借鉴或应用价值。

会议成立了论文集编辑小组,由石玉林、陈传友、赵训经、陈百明负责论文的选编和审核工作,王勤学、丁树玲同志负责编辑出版日常工作。由于我们水平有限,不足之处欢迎批评指正。

编 者

1990年10月

目 录

关于农业生产潜力研究.....	黄秉维	1
《中国土地资源生产能力及人口承载力研究》项目概述.....	陈百明	4
农业生态区域法(AEZ)及其在土地承载力研究中的应用.....	封志明	9
土地承载力研究中的多目标规划方法.....	向平南	13
土地承载力研究中土壤养分平衡估算.....	徐继填	20
中国土地资源及人口承载力数据库系统研究.....	盛经经	23
我国土地的人口承载力潜力研究中的几个方法问题.....	郑振源 谢俊奇	29
近40年我国作物产量的变化和未来趋势的初步探讨.....	李世奎 王石立 赵四强	35
土地对作物产量的订正.....	石竹筠	42
作物生产力估算方法评价.....	吴连海 韩湘玲	47
从生物量估算研究我国农业自然资源潜力.....	李立贤	54
水土平衡与土地农业生产潜力.....	黄让堂 林耀明	59
土地资源生产能力预测方法的探讨——以江苏省淮阴市为例.....	苏壁耀	65
土地生产潜力的理论研究与统计分析.....	刘国勋 宋玉玲 王兰凤	72
区域土地承载力系统动力学分析——以甘肃省 武威地区为例.....	郭川 张志良	77
内蒙古锡林郭勒盟的草场承载力与畜草平衡分区.....	廖赤眉	84
林区土地承载力估算方法的探讨.....	陆静英	89
中国干旱区土地人口承载力发展预测研究.....	梅成瑞	94
长江三峡库区土地承载力的初步研究.....	陈鸿昭	102
江汉平原粮食生产潜力与人口承载力研究.....	高冠氏	106
上海市土地资源和土地承载力.....	过宝兴 朱佑君	111
2000年山东省人口、耕地、粮食平衡关系的对策研究	李永昌 张万清 谷懋村 施洪云	119
山西省主要粮食作物生产潜力估算及提高土地 承载力的措施.....	何少斌 武晓梅 薛宗让	126
湖南省土地资源人口承载量的估算.....	谢庭生 魏 晓	130
浙江省土地资源生产能力及人口承载力研究.....	周子康 何绍箕	138
广西人口与土地的承载力.....	周启仁	146
试论云南山地环境土地承载力研究中的几个问题.....	卢培泽 董棣美 杨焕中	152
宁夏土地资源生产力及人口承载力研究.....	梅成瑞 曲志正 李岳坤 马忠义	156
黑龙江地区水土资源与土地承载能力的初步研究.....	田济马	163
井研县土地资源承载力系统的模型设计与分析	吴月良 余建都 朱仲清 吴绍银 卢光明	170
我国农村改革和农业发展对策.....	艾云航	177

关于农业生产潜力研究

黄秉维^①

(中国科学院地理研究所)
(国家计划委员会)

计算土地人口承载力的一个主要内容是计算农业生产潜力，这是个有意义的研究课题。研究的对象是植物群体及其环境，研究的结果应当是确定一块地按其属性可以得到多少产物及如何得到这么多产物。所确定的生产力应当是持久性的(sustainable)。生态的持续性和经济的持续性，都要包括在工作计划之内。在试验研究中，试验地的面积有限，试验结果却要推广到大得多的面积上。不能得到这样的结果，意义就不大。全部工作相当复杂，在准备阶段便应有比较周到的考虑。根据已有的资料也可以进行研究，得到有用的结果。

广义的农业包括森林、草场、种植园和耕地。现在拟只谈耕地。耕地的植被是人工植被。人工植被，特别是耕地植被比较简单，但研究起来仍然相当复杂。研究工作需要按一定秩序，对有关因素进行一一分析，然后再加以综合，即在综合指导下的分析，分析基础上的综合。首先，要区分经常起作用的因素与非经常起作用的因素。前者如光合有效辐射、温度、水分、养分，后者如虫害、病害、引起倒伏的风等，二者之间没有一成不变的界限。如甘薯冻害，在中国热带地区很少出现，不必视为经常性因素，在南亚热带地区则是多数年份都会出现的因素。但是，适当的区分有助于工作的条理化。其次，有关因素可以区分为在生产实践中可以改变的和不能或不易改变的。划分可以简单一些，但对划分的依据要有充分的了解，了解它们的自然性质及其在农业生产中的作用，控制改变它们的技术条件、经济条件和社会条件。控制改变应是长效的抑短效的。有些措施见效较快，有些较慢，甚至有的要经过几年、十几年才能见效的。效能可以逐渐消退或增加，也可以伴随某些消极的影响。只有掌握了较完全的知识，才能据此提出有意义的着眼点，以作进一步的论证。因素的划分当然要打破气候、土壤、水文、地形、生物等的界线，要区别空间尺度和时间尺度，还要随着科学认识、技术进步、社会条件与经济条件的变化而更改。不能忘记，这里所说的可改变性，是在生产实践中的可改变性。如果脱离了此实践意义，没有哪一个自然因素是不可改变的。1984年，英国罗森农业试验站主任P.B. Tinker看到我写的关于华北农业的草稿，他来信告诉我，他在主持英国农业研究理事会的产量变异计划中，对生产潜力的计算与我的计算很接近，并寄来他写的“地方生产潜力与肥料使用”一文的校样，文中将因素分为遗传因素、地方因素和管理因素。管理因素就是在生产实践中可以改变的因素。一般来说可以改变的范围随时间而增加，但也有缩小的时候。如杀虫剂的

● 中国科学院学部委员。

发展对生产起了很大的作用，但后来发现有不少杀虫剂污染了土壤和作物，不得不停止使用，这便是一个明显的例子。管理因素与在生产实际中可以改变的因素在概念上几乎是一致的，但在目前，是否采用管理因素这一词，尚有待斟酌。提出遗传因素与地方因素、管理因素并列，也是值得注意的一点，以下将此略加评论。

遗传因素是农业生产的焦点。其他因素都必须通过它才能发生作用。这可以分层次来观察。首先是按作物生理的一般原理，如对量子需量、呼吸消耗、温度对酶活性的影响、作物用水效率等等一一进行分析之后，加以综合。所得结果不但是抽象的，而且不能全部用数值来表达。其次，是区分碳三植物、碳四植物和CAM植物。再次是以种为对象，以种的理想型为对象，以已有高产品种为对象，由抽象到具体，由一般到特殊。试验研究应该以种和品种为对象，理想型和探索是为良种培育提供指示。一块地种什么作物，什么品种，采取什么种植制度，在一定程度上可以选择，但有不能超越的范围。作物群体结构在一定作物与种植制度下取决于播种密度、株行距和行向。人为措施建立适当的群体结构是为了取得尽可能高的产量，其结果则取决于作物与环境因素及其相互作用。由以上所述，作物种、品种、群体结构等作物因素在概念上与环境因素区分开来，有助于在试验设计中的思考。作物因素是经常起作用的因素，是在某一范围内可以改变的因素。高产品种常常改变，但多要经过一定年期，很难预测。在同一时期，往往有几个品种，选择不仅要根据当地自然与社会经济条件，而且要照顾到十年八年中会出现一次的条件。建立作物群体结构也应如此。在群体结构中，行向的试验研究很少，少数研究或认为它与产量无关，或认为有一定的关系，似乎还值得探索，尤其是在中、高纬度地域。但这不必放在优先位置。

区分作物因素与环境因素，经常起作用因素与非经常起作用因素、可改变因素与不可改变因素之后，还应注意到观察时间。第一要注意多年平均值的局限性，频率、最大最小值和极值往往更重要；第二要注意年内不同时期，并与作物生长发育阶段联系起来；第三要考虑到周日变化，瞬时变化。

综合的最简单的方法是以限制因素律为基础。这是以养分供给为对象的研究得出的法则，后来被援用于包括各种因素的研究。由于科学知识不断增加，限制因素律即使用于以养分供给为对象的研究，也不足以说明全部问题，扩大它的应用范围，更需要加以补充。有些因素是可以互相代替的（如钠可以在一定限度内代替钾），许多因素在植物体外和在植物体内互相影响或同时发生不只一种作用（如大气中 CO_2 浓度增加，可以加速光合作用，减少蒸腾；太阳辐射、其中光合有效辐射、热量平衡互相关联又同时左右光合作用、作物体温与潜在蒸发；土壤水文性质能改变降水或灌溉的效用。）系统地掌握这些知识，限制因素律便是很有用的概念，可赖以将自然因素综合起来。

具备了上述概念框架以后，如何研究和计算生产力或生产潜力，要有一定的步骤和方法。在试验中，产量数据是首先要注意的问题。这可以是干物质产量、经济产量或地上部分产量。最好能测定 CO_2 通量，由此可以确切地知道自然因素如何影响生长与发育。不但整个生长期或15d的数据不足以了解因果关系，1d值也常常不能说明问题。由于自然因素很多，不能分别主次。如在太阳辐射中，光合有效辐射强度是应当首先考虑的因素，对形态发育有作用的辐射便可以放在以后去探讨。光合有效辐射应以光量子为计算单位（国内外都有不少人将阳光或光误认为是太阳辐射的同义语，在俄文文献中更常称光合有效辐射

为生理辐射，其实在光合有效辐射波段以外的太阳辐射也有生理作用，所以我宁愿用光合有效辐射这个比较长的名词，以避免误解），在分析中，应注意分别地面覆盖完密时，地面覆盖不完密时（需要测定叶面积指数）、叶片衰老时及不同发育阶段，还应注意光合有效辐射周日变化，不管全天光合有效辐射强弱如何，一天之中总有强度相当低的时候。忽略了这一点，有时会引致显著的误差。在其他因素都适宜的条件下，光合有效辐射所能形成的产量我称之为光合潜力。接着要着眼于温度：第一要知道由温度条件决定的生长期；第二要了解温度与作物光合酶活性的关系；第三要以作物体温来衡量温度与作物的关系，气温与叶温差值有时很大，与穗子差值更大；第四，有时短暂的低温或高温会有很大的影响，在日平均值中甚至每小时一次的测值中都无法发现。假定其他条件是适宜的，由光合有效辐射与温度决定的产量或生产力，我称之为光温生产潜力。有人称之为气候生产潜力，似不确切，因为气候因素不限于这两项。下一步考虑的因素是土壤水分。这决定于降水、土壤水文性质和蒸腾蒸发。问题很不简单，我主要用农田水分平衡方法作计算。但关于产量与土壤水分状况及蒸腾蒸发之间的关系尚有不甚了解之处，如有较好的试验条件，当可以得出比较完整的结果。条件较差，甚至暂时不具备试验条件，也仍然可以作近似的计算。计算结果可根据两类种植制度做文章。其一，是选择能得到适宜水分供应的种植制度。其二，是选择其他侧面看比较好，但得不到适宜水分供应的种植制度。如有灌溉条件，当然还可另做计算。因此，所得到的不是一笔帐。我不想现在就提出几笔帐的名称，请同志们考虑。土壤养分可给性比较复杂，它不但同它的数量和存在形态有关，而且随季节的变化而变化。作物对养分要求亦因生长发育阶段而异。要计算不施肥可以得到的产量，只能得到很粗略的结果。在事实上也绝少种作物而完全不施肥的。任何土壤种任何作物，所需养分都可由施肥得到满足，但这不能不受边际效益的限制。农产品及肥料价格变动，它的数值亦随之而变动。其意义与光合潜力或光温潜力当然不同。适当的名词有待拟定。土壤水文性质和土壤养分含量及其可给性都可以在一定限度内有长期变化。从我们的命题来说，自然应着眼于可能改良的程度。盐渍化、沼泽化强酸性土壤，如不能改良，应另订估计生产力的方法。以上举一部分例子说明在原则上如何对待各种因素，其他因素可以举一反三。

研究生产潜力，无论根据已有资料或通过试验，都可以得到有意义的结果。上面所谈，容有失当之处，也需要具体化。希望抛砖引玉，引出内容严谨的文章。

《中国土地资源生产能力及人口承载力研究》项目概述

陈百明

(中国科学院自然资源综合考察委员会
国家计划委员会)

一、目的和意义

目前,资源、环境、人口三者之间的矛盾随着人口骤增变得更加突出,由此引起的资源短缺、环境恶化等问题益发受到注目。全球的土地资源能否满足未来人口的食物需求,各个国家的土地资源是否足以使该国未来人口的需求达到自给,这些问题理所当然地为有关国际组织和各国政府所瞩目。做为试图回答这些问题的土地资源承载能力研究也就应运而生,并且得到迅速发展。联合国粮农组织在联合国人口活动基金会的资助下,已完成117个发展中国家(未包括中国)土地资源的潜在人口承载力的研究项目,其结果表明,到本世纪末,如果继续使用传统的耕作方法,发展中国家拥有的全部可垦土地将只能勉强养活预期人口,其中无法靠本国土地资源供养预期人口的国家将不少于64个。这一结论引起了国际社会和各国政府的极大关注,纷纷呼吁人类社会应尽快采取必要的对策。

我国人口与土地资源的关系和世界整体状况相似,甚至比大多数国家还要尖锐。这是因为我国人口众多,基数很大,增长的绝对值也大。目前正以每年超过1500万人的速度持续增加。而我国的平地比例小,可供开垦的后备耕地不多,现有耕地资源因各种原因不断减少。人口与耕地的反向发展使人均占有量多年来呈下降趋势,耕地已经成为最稀缺的基本资源之一,也已成为农业生产乃至国民经济发展的一个重要限制条件。可以说,我们正以历史上最严峻的资源状况承载着历史上最大数量的人口。因此土地资源承载人口的能力问题在我国也受到了广泛的关注。全国土地资源可以供养多少人口,提高土地资源承载力的可能性与途径如何,已经成为国家有关部门关心的重要问题。全国农业区划委员会为此在1986年9月委托中国科学院-国家计划委员会自然资源综合考察委员会主持“中国土地资源生产能力及人口承载力研究”项目,以期对上述问题作出科学的回答,为国家制定土地开发利用、农业结构调整、人口布局、生态建设等长远规划,研究土地、人口、粮食、农业等有关政策问题提供科学依据。

二、技术路线和基本研究内容

土地资源承载力可以表述为:在未来不同时间尺度上,以预期的技术、经济和社会发

展水平及与此相适应的物质生活水准为依据，一个国家或地区利用其自身的土地资源所能持续稳定供养的人口数量。这项研究面对着包括人口、资源、环境、经济发展在内的大系统，系统内既有自然因素的影响，又有经济、社会、文化等因素的影响。为此该项研究的学术指导思想应是在资源—资源生态—资源经济科学原理指导下，立足于资源可能性，以系统工程方法为依托的综合动态平衡研究。着重从资源可能性回答土地资源未来能够生产多少农、林、牧、渔产品，供养多少人口，与此同时分析投入产出水平、环境状况等问题，提出有关对策。

根据系统论的理论与方法，研究内容可以分解为5个基本层次，每一层次可规定其范畴和内容。

1) 各类资源之间的平衡关系：包括土地资源内部农、林、牧业利用的耕地、林地、草地资源之间的比例；以土地资源为基础，与水资源、气候资源的配合关系等。

2) 资源结构与农业生产结构之间的平衡关系：包括根据资源结构特点与国民经济发展要求，调整农业生产结构，包括农林牧业比例、农林牧各业内部比例等，使资源结构与农业生产结构趋于和谐，充分发挥资源配置效率。

3) 不同土地资源类型内部光、温、水、养分等诸因素的平衡关系；根据不同土地类型的多要素综合分析，研究在不同投入与经营管理水平下诸要素的配合情况，据此估算各种作物、林木及牧草的生产力。

4) 人口需求与土地资源生产能力之间的平衡关系：通过分析人口的增长趋势、食物结构的变化、能量的投入水平，研究预期人口需求量与土地资源可能生产的农、林、牧、渔产品之间的关系及与环境的关系等。

5) 对策与措施：通过上述层次的分析研究，探讨人口适度增长、资源合理利用、能源保证供应、环境逐步改善、经济持续稳定协调发展的对策与措施，并适时反馈给其他层次，形成整个系统的反馈机制。

鉴于经济社会的不断发展，我们认为土地资源承载能力研究应具有时间规定性，即需要放在一个具体的时间范围内来分析，所以该项目确定了3个年份（1985年、2000年、2025年）作为研究的时间尺度。其中1985年作为现状分析的依据，2000年和2025年作为预测期。特别需要说明的是，未来2个时间尺度主要表示一种时间跨度，在这2个时间尺度上的各种状况具有一定波动范围，预测值只能代表一种“谐波”水平，一个在一定幅度内振荡的量纲。

为了反映气候和土地资源条件的重大差异，进行区域之间生产潜力的对比，土地资源承载能力研究采用了中国1：100万土地资源图划分的9个土地潜力区（华南区、四川盆地—长江中下游区、云贵高原区、华北区、黄土高原区、东北区、内蒙古半干旱区、西北干旱区、青藏高原区）进行汇总，以省（自治区、直辖市）为计算单元，若省内分属不同潜力区，则分别进行研究（由于土地资源图的界线为自然区界线，为便于使用有关统计资料，潜力区界就近采用行政界线）。这种做法是基于把全国作为一个整体考虑，各省份作为其中的单元，由全国的整体指导各省份的分析，又由各省份的分析得到全国的综合，既强调全国的整体功能，又注意各地区的差异。因为从全国来看，需要立足于本国资源供养预期人口的需求，但对各省份而言，应该而且必须充分发挥资源配置效率，在农产品分配上调余补缺，使各单元之间协调有序，全国整体功能达到理想状况。

三、研究方法

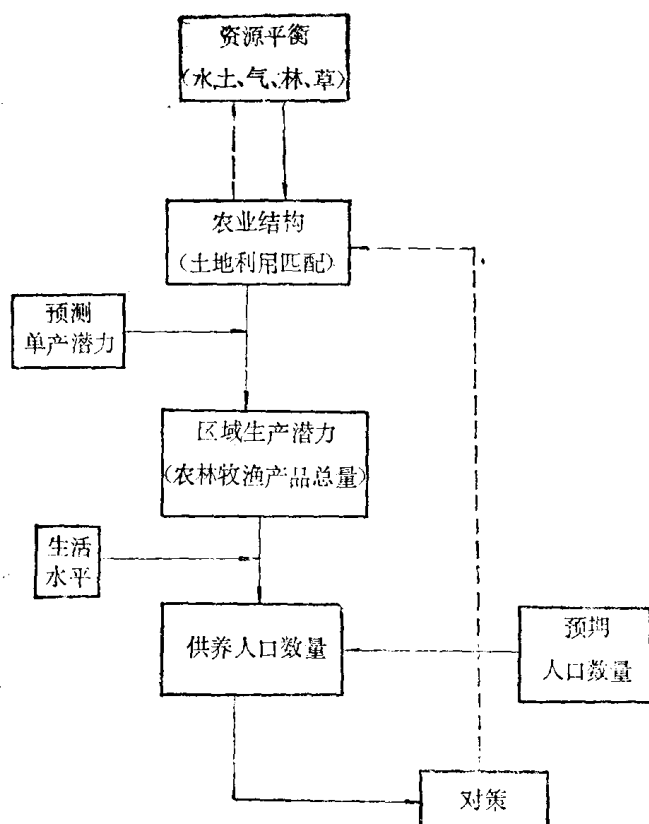


图1 土地资源生产能力及人口承载量研究的总体构思

资源配置效益，就能有效提高土地资源承载能力。在具体做法上，考虑到我国不同地区情况不尽相同，为此要求研究方法在科学性、实用性、长期性、稳定性原则的前提下有所侧重和区别。在西北干旱区、内蒙古半干旱区、华北区等应注重水土资源之间的平衡关系；南方地区则更多考虑发挥气候资源潜力，合理安排作物熟制、提高复种指数、缓解耕地紧缺的矛盾，提高土地资源生产能力；黄土高原要以保护生态环境、治理水土流失为目标，有步骤地在退耕还草的基础上合理配置作物，解决草地资源与耕地资源的平衡关系，保证农牧业生产持续稳定发展。青藏高原则应以保护性利用为主，以维护极为脆弱的生态环境。研究过程中无论采用常规的区域分析方法，还是构造数学模型，特别是一些优化性质的数学模型，都要考虑现有生产基础和社会经济条件等因素，对经济生产惯性力的影响给予足够的重视，使其具有更多的实际意义。

2. 耕地面积与农林牧用地规模

我国的耕地统计面积不实已是众所周知的问题，但由于缺少替代数据，一般研究工作仍以统计面积为基础，为了摆脱既统计面积不实又不得不以它为依据的窘境，本项目决定不再采用统计数，因为我们尽管不能提出很精确的数字，但毕竟已为此作了大量研究工作，得出了大体上比较接近，比统计面积更符合实际的数字。为此该项目要求研究工作以中国1:100万土地资源图量算的面积或全国土地资源概查面积为依据，自行选择更符合当地实际情况的数字，以此为依据订正现有按统计面积计算的单产及确定今后农林牧用地规

本项目总的研究方法是在资源—资源生态—资源经济科学原理指导下，依托系统工程方法和信息技术，开展综合动态平衡研究，总体构思可用框图1表示。

从框图可以看出，研究中突出了资源的可能性，同时也考虑了未来人民生活需求，力图体现反馈机制的作用。总框架内主要环节的研究方法经试点研究后作了原则性的规定，兹分述如下。

1. 资源平衡及资源结构与农业结构的匹配

这部分研究在土地资源承载力研究中占有举足轻重的地位，因为不同的资源分配与组合方式所产生的生态经济效益差别很大。如能在资源平衡的基础上，根据资源结构特点对不尽合理的农业结构进行调整，充分发挥

模。今后农耕地规模应考虑城乡建设用地所占的耕地数量、自然灾害损毁的耕地面积、营造农田防护林占用的耕地、预期的退耕规模（均使耕地数量减少）及可能开垦的宜农荒地数量（使耕地数量增加），从而得出净增或净减的数量；林地和草地的消长主要根据有关规划资料，并根据历史趋势和现实可能性经综合分析后确定。

3. 单位面积产量预测

由于2000年距今时间不长，农作物单产预测决定选用时间序列方法，根据历史资料外延递推。即认为单产受光、温、水、种、肥及耕作管理水平等诸因素影响，历年单产是上述因素综合作用的结果，从序列分析可以反映变化的历史趋势和规律。所以用历史资料通过“灰色系统（GM1，1模型）”、“逻辑斯蒂增长曲线”等方法外推2000年的单产（在历史资料或2000年预测值基础上根据实际面积与统计面积的关系进行订正），其实质是对生产诸因素进行综合的灰色处理。考虑到2025年时间幅度较大，上述方法及资料年限、数据分布等因素的限制，决定2025年的单产预测采用联合国粮农组织推荐的“农业生态区域法”。根据该方法预测的单产是作物在气候条件得到满足，而且水分、养分、盐渍度、病虫害对其生长和产量没有影响的潜在生产力水平。然而，实际上许多因素会使产量遭受损失，其机制很复杂。因此本项目仅要求根据2025年的耕地质量及其他有关情况，对用上述方法计算的潜在单产进行综合订正，主要包括对灌溉地进行土地质量订正，对旱耕地进行水分订正和土地质量订正。由于我国许多地区缺乏用上述方法计算所需要的参数，为此要求各地应尽可能搜集当地已有的观测试验资料，采用根据我国实际数据得出的参数，如确实难以获得，则可直接采用联合国粮农组织给出的参数，但应把计算结果与当地高产试验资料比较分析，以发现问题，尽可能使计算结果符合实际。

林木和草地的生产力预测未作统一规定，要求各地根据实际情况自行决定，从全国汇总看，各地基本上采用迈阿密模型或外延递推的方法。

4. 理想产量

本项目研究提出理想产量的概念。其中单产的确定采用：①灌溉地直接用“农业生态区域法”计算得到的数值；②旱耕地则再进行水分订正。后者是因为在我国有相当部分的耕地由于水资源等限制更适宜发展旱作农业。由于难以表征时间尺度，所以假定作物结构、播种面积与2025年预测值相同。这是基于如下认识：①经过多年调整，2025年农业生产结构已基本趋于稳定、合理；②虽然2025年以后耕地数量仍会由于非农占地而减少，但在提高复种指数方面仍有一定潜力，可能抵消耕地的减少而使播种面积维持在2025年的水平上，这也是我们应努力争取达到的状况。各类耕地的单产与作物播种面积确定后即可求出理想总产量。顾名思义，这是理想状态下的生产力水平，尽管我们可以促使土地资源的光、温、水、养分等要素和谐地配合，但要使它们对产量的衰减作用完全消失是极其困难的，即理想产量是极难实现的。本项目涉及这一问题主要是作为框算耕地资源潜在生产力的上限，并作为评估2000年和2025年生产力水平的参照系，分析增产潜力所在，提出进一步挖掘潜力的对策。

5. 养分平衡问题

为了简化问题，首先假定养分投入中数量较小的部分，如降雨、灌溉、种子、作物残留根茬和秸秆提供的养分与养分输出中数量较小的部分，如土壤流失、蒸发、淋失、作物秸秆等带走的养分之间基本相当。这样，养分平衡可表述为形成经济产量所带走的养分与土

壤释放的养分，固氮作物固定的氮素、人工施用的有机肥与化肥所含养分之间的数量对比问题。其中除土壤释放养分这一项难以计算外，其他各项均较易计量，其中的难点是如何考虑肥料的后效问题，特别是磷肥，其当季利用率低，一般仅为15~30%，但却对以后几年留存明显效用。作为某一年份的养分平衡若只考虑当年利用率会使需求量偏大。我们认为在一个连续施肥的系统里，可以把几年的效用计入一个年度。

土壤释放养分的计算尚未见公认较好的方法和参数，为此本项目采用参照我国土壤现有肥力水平和化肥肥效现状，制订土壤供肥能力的订正系数，以大致代表土壤释放养分在养分平衡中所起的作用。

6. 投入水平问题

本项目在投入水平方面主要考虑无机能量投入。无机能量投入中，由于我国人多地少，精耕细作的适度规模经营将长期是生产的主要方式，农机动力不会构成制约，农用电、燃油、农药、地膜等能量投入经测算可以基本满足预期产量的要求，所以无机能量投入的关键主要在于化肥投入。本项目采用先计算预期产量所需肥料数量，减去有机肥等可能提供部分，得出所需化肥数量（如上节所述）。以预期化肥生产量能够完全满足需求做为高投入水平，以预期的2种化肥生产量分别作为中、低投入水平。根据在不同产量水平下，氮、磷、钾肥不足对产量的影响（包括单独的及配比不适的影响），计算可能造成的减产数量。再根据化肥能量投入在无机能投入总量中的比重及土地生产能力与无机能投入量关系的历史资料分析，估算出无机能投入水平和总能量投入水平的需求关系。

四、结 语

本项目研究仅仅是我国开展土地资源承载能力研究的开端，反映我国特色的研究体系尚待完善与发展，研究方法也有待于进一步深化，特别是测算土地生产力的一系列参数，还需要协调全国有关部门的野外观测试验站，统一（或增设）观测试验项目，统一标准和方法，形成全国性的土地生产力定位观测网络，提出我国的一系列参数，为研究工作奠定坚实的基础。

农业生态区域法(AEZ) 及其在土地承载力研究中的应用

封志明

(中国科学院自然资源综合考察委员会)
(国家计划委员会)

较确切地估算区域土地生产力,尤其是作物潜在生产力,是土地承载力研究的基础和关键。无疑,生产力预测结果的正确性直接影响着土地承载力研究的结论。在《中国土地资源生产能力及人口承载量研究》项目中,土地生产力的估算是按2000年、2025年和作物潜在生产力实现时期3个水平年进行的,其土地生产力估算的目标时序关系如图2所示。2000年的作物单产水平实际上是一种近期预测值,主要采用3次指数平滑、回归方程、Logistic曲线、GM(1,1)模型和增长率推延等方法顺向趋势外推获得。2025年的作物单产水平在一定意义上是一种远景数值,由建立在作物生理机制上的作物潜在生产力理论值,经各种限制性因子的逆向逐步修订求出。尽管目前有关作物潜在生产力或作物单产潜力的理论计算方法众多,但大多与实际相距甚远。因此,经对比分析,我们选择了不但机制合理、适应性广,而且资料容易采集、计算简便易行、已得到广泛应用的“农业生态区域法(AEZ)”。

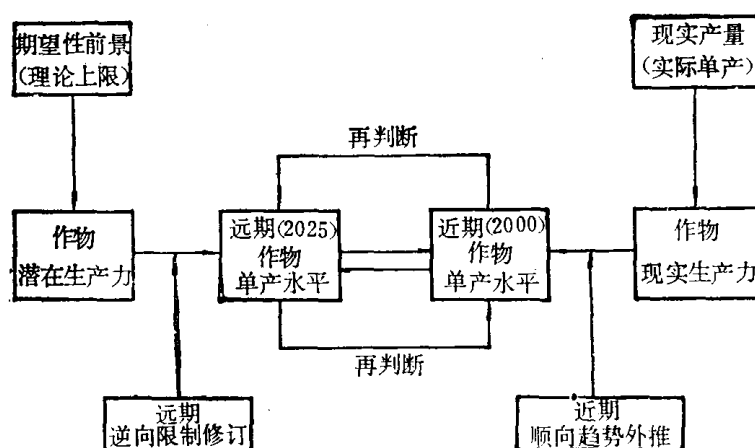


图2 土地生产力估算的目标时序关系图

1. 农业生态区域法与作物潜在生产力的估算

1) 农业生态区域法的计算及其结果涵义:农业生态区域法(Agro-ecoeological Zone)是卡萨姆(Kassam)(1977年)为联合国粮农组织的农业生态区域项目制定的计算作物光温生产潜力的方法。一种对气候适应,在没有限制条件下种植,生育期为G天的高产品种,

其潜在产量(y_{mp})的计算公式为:

$$y_{mp} = \begin{cases} CL \cdot CN \cdot CH \cdot G \cdot [F(0.8 + 0.01y_m)y_0 \\ + (1-F)(0.5 + 0.025y_m)y_c] & \text{当 } y_m \geq 20 \text{ kg/ha/h} \\ CL \cdot CN \cdot CH \cdot G \cdot [F(0.5 + 0.025y_m)y_0 \\ + (1-F)(0.05y_m)] & \text{当 } y_m < 20 \text{ kg/ha/h} \end{cases}$$

式中:

CL = 作物生长和叶面积校正系数

CN = 净干物质生长量修正系数

$$CN = 0.36 / (1 + 0.25C_i \cdot G)$$

式中 G 为生长期天数,

$$C_i = C_{30}(0.044 + 0.0019T + 0.0010T^2)$$

C_i 与作物种类和温度有关,

C_{30} 为30℃时系数值,豆科植物为0.0283,非豆科植物为0.0108。

CH = 经济系数

G = 全生育期天数

F = 全天中的阴天部分

$$F = (R_{s0} - 0.5R_s) / 0.8R_{s0}$$

式中 R_{s0} 为晴天最大有效短波入射辐射量, (Cal/cm²/d),

R_s 为实测短波辐射量(Cal/cm²/d)。可由下式求得。

$$R_s = (0.25 + 0.5n/N)R_0 \cdot 59$$

式中 R_0 是大气顶的太阳辐射(mm), n/N 为日照百分率。

y_m = 在一定气候条件下某种作物的最大干物质生产率(kg/ha/d)

y_0 = 在一定地方某种标准作物在全阴天中的干物质总生产率(kg/ha/d)

y_c = 在一定地方某种标准作物在全晴天(无云)中的干物质总生产率(kg/ha/d)

通过上述公式求得的作物潜在产量(y_{mp}),是在理想条件下仅受光温和作物品种影响的理论潜力,又称为热量生产潜势。它是裸露于自然气温下作物生产力的上限值,通常反映着区域土地的最大生产力,保证灌溉的肥沃土地上作物争取的就是这种潜力。考虑到我国的气候特点、地域差异和作物品种特性,应用公式运算前必须做好大量数据的采集、核查、分析、验证、归纳和分区工作,方法中所涉及的诸多元素都应尽量按不同地区农业生产的主体特征进行修订,诸如以点代面的典型性,选用推广中的优良品种或区域试验中的当选品种的生育期,以及最大光合速率的调整和经济系数的确定等,最后在经当地高产典型或高产试验结果验证无悖时,给出恰当的作物热量生产潜势(y_{mp}),它是估价区域土地潜在生产力和不同时期作物单产水平的重要依据。

2) 降水生产潜势的意义及其估价:降水生产潜势是指在有限的降水条件下所能实现的最大生产力(y_p),它是依赖于自然降水的作物生产力上限值,旱作(雨育)农业寻求的正是这种潜力。有限的可利用水资源和可水利化土地双重限制了水浇地的发展规模,相当部分耕地只能旱作,寻求作物的降水生产潜势,这在我国北方更普遍。

降水生产潜势(y_p)是通过热量生产潜势(y_{mp})的修正获得的,这个修正主要反映水分不足对产量的影响。修正的途径主要是:

直接订正 据公式 $(1 - y_p/y_{mp}) = K_y(1 - ET_a/ET_m)$ 来严格订正。式中, K_y 为产量反映系数; ET_a 为作物实际蒸散量; ET_m 为作物最大蒸散量, $ET_m = K_c \cdot ET_0$; K_c 为作物系数, ET_0 为参照作物蒸散量,可以通过彭曼法等计算求得。由此得出水分订正系数:

$$f(\omega) = 1 - K_y \cdot [1 - ET_a / (K_c \cdot ET_0)]$$

式中 K_y 、 K_c 值在不同作物,不同生长时期均不同,一般而言,我们只需宏观掌握水分条件对作物产量的影响,可把作物总生长期中的 K_c 作常数处理。

鉴于上述计算方法的繁琐,可以采用近似公式求取水分订正系数:

$$f(\omega) = \begin{cases} P/E_0 & \text{当 } P < E_0 \\ 1 & \text{当 } P \geq E_0 \end{cases}$$

式中, P 为月平均降水量, $E_0 = 0.0018(T + 25)^2(100 - R)$, E_0 为蒸发力, T 为月平均温度, R 为月平均相对湿度。

经验订正 经验订正的方法主要是: 1) 利用当地已有的实验结果; 2) 利用现状期旱地与水浇地大田作物的单产比值; 3) 利用水浇地旱灾年景与丰收年景的作物单产比值。作水分订正系数 $f(\omega)$,对农业生态区域法的估算结果进行简单订正。

2. 潜在生产力框算及生产力指数的确定

在《中国土地资源生产能力及人口承载力研究》中,我国耕地资源潜在生产力——粮食理论总产和生物生产总量的框算以及耕地生产力指数的确定,就是以农业生态区域法计算的热量生产潜势(y_{mp})、及经过水分订正的降水生产潜势(y_p)为基础的。

1) 我国耕地资源的潜在生产力计算: 届时,我国的土地质量将得到充分改善,限制性因子大多被消除,肥料供应充足,无病虫害影响,水浇地完全获得灌溉满足作物需水情况下的热量生产潜势。虽考虑到水利设施的配套完善,水资源调控能力的提高,土地的平整,保灌面积进一步扩大,但仍有相当部分耕地由于较强的限制因子存在而难以灌溉,只能旱作,谋求降水生产潜势。尽管届时耕地会有所减少,但复种指数会有所提高,正负相抵,耕地规模、农作物播种面积均以2025年的水平为准,在分省、分潜力区计算的基础上,汇总出了我国的耕地资源潜在生产力。

结果表明,我国目前的粮食生产能力,尚不到理论生产量的2/5,农业生产还有较大的潜力可挖。

2) 各潜力区的区际差异及生产力指数: 土地资源潜在生产力是反映类型差异与区域差异不可忽视的特征之一。研究表明,《中国百万分之一土地资源图》中9大土地潜力区差异明显,无论以生物生产力,还是以粮食生产力计,各潜力区高低相差均达2~3倍。

若以全国耕地潜在生产力均值为1,各潜力区生物潜在生产力均值与其相对应的数值,我们称为区域生物生产力指数,以小数表示。则生物生产力指数不仅为定性说明的土地潜力区差异提供了一个具有可比性的量化指标,而且为各土地潜力区之间土地等级的比较,以及全国土地质量的标准化评价创造了条件。

3. 2025年土地生产力的逆向修订

2025年土地生产力或作物单产水平是以农业生态区域法估算的作物热量生产潜势(y_{mp})及经过水分订正的降水生产潜势(y_p)为出发点,考虑各种自然限制因子和生产技术

水平的影响，逆向修订求得的。

在农业生产比较发达的地区，2025年作物产量的获得一般是通过耕地质量订正系数(K)直接修订的，计算公式为：

$$K = F_1 a_1 + F_2 a_2 + F_3 a_3$$

式中， F_1 、 F_2 、 F_3 ，分别为1、2、3等地占总耕地比例， a_1 、 a_2 、 a_3 分别为1、2、3等地的生产力系数。

修订的方法主要有3类：①如果认为各作物在3个等级的耕地上基本均匀分布，可采用上述 K 值直接订正总产，并给出相应的单产；②如果占有比较详尽的作物分布规律方面的资料，则可分门别类，按不同的作物求取 K 值进行订正；③可将作物粗分成大类，如北方的小麦、玉米和杂粮，南方的水田和旱地分别求取 K 值，进行订正。

在农业发展比较落后，单产较低的地区，考虑到发展速度的可能性，采用“生产水平指数”的概念来预计2025年的单产水平。

所谓生产水平指数是指某作物的现实或预期产量与土地生产潜力之比，用小数表示。随科技进步与投入水平的提高，作物实际产量不断增加，生产水平指数也相应增大。因此，我们可以用生产水平指数的变化情况来预测未来的作物产量。其计算公式为：

$$y_t = y(a + bt)$$

式中： y_t 是某年作物产量(kg/亩) y 是土地生产潜力(kg/亩) a 是基年的生产水平指数 b 是生产水平指数年增长率 t 是时间

则2025年单产水平的计算可以2000年(或1985年)为基年估算，以避免单产估计过高的问题。

农业生态区域法除上述各项作用外，还可对近、中期预测起参证作用，甚至作近、中期Logistic曲线预测中的极限值(K)。

4. 问题及讨论

由非洲大陆发展起来的农业生态区域法已得到联合国粮农组织及一些同行学者和专家的普遍承认，其应用范围日趋广泛。考虑到我国特定的气候条件和强烈的地域差异，结合我们的切身体会，具体运用农业生态区域法必须注意：①要根据地区差异及对计算结果的影响，确定计算时的选点和每个点在区域上的代表性。大范围选点时一般应在中间纬度，同时要注意海拔高度的影响。②由于地区差异较大，不同地区的计算必须考虑其可能存在的区域差异，即需要对计算所采用的系列参数和计算方法进行试验订正或验证，结果应与当地实际高产典型和试验产量比较，以便修正某些不适应的参数，特别是造成估算偏低的参数。③叶面积订正时，为估算区域土地潜在生产力服务，一律假设叶面积指数为 $LAI = 5$ ， CL 取1。为2025年，尤其是为更近年份服务，最好据当地优良品种的实际 LAI 资料修正，经系数(CH)的选择也应如此。④作物生育期的确定最好选用当地推广中的优良品种或区域试验中的当选品种，至少要选择高产的当家品种。

虽然在《中国土地资源生产能力及人口承载力研究》中，我们注意到了上述种种问题，当然也给予了充分考虑，但由于缺乏足够而有说服力的实验参数，一些地区虽有翔实的气候资料，在计算结果与实际情况无悖时，大多参数也只好直接采用粮农组织的资料，这无疑对整个计算结果是会有所影响的。因此，我们建议在我国已有的实验站(点)和一些特殊地区设立新的实验站加强或开展这方面的工作，以便以试验来取得各类有关参数，进一步探讨农业生态区域法在我国的应用问题。

土地承载力研究中的多目标规划方法

向平南

(中国科学院自然资源综合考察委员会)
(国家计划委员会)

随着人口—土地矛盾的日益尖锐化,如何使这两者的关系协调发展已是举世瞩目的紧迫任务。土地承载力作为反映区域内人口与土地关系的综合指标,通过对它的研究,将为区域经济发展、农业发展战略以及农业与人口政策的制定等提供基本依据和背景材料。

一、土地承载力研究方法构思

目前,国内外对土地承载力的定义各有差异,但其基本含义仍然是一致的。我国对土地承载力具有代表性的定义是:某区域在一定时期、一定生产条件下土地资源的生产能力及按一定生活消费水平可承载的人口数量。用数学式表达便是:

$$LP = f[R(t), P(t), C(t)]$$

式中: LP ——土地承载力; $R(t)$ ——农业自然资源; $P(t)$ ——生产技术和管理水平;
 $C(t)$ ——人口生活消费水平; t ——时间。

可见,土地承载力是以土地资源为核心的农业自然资源、生产技术和管理水平以及人口消费水平等3个作用因子所决定的。其中农业自然资源是基础,人口生活消费的主要农畜产品均来自土地资源,而土地资源与气候、水等资源又相互作用、相互制约,它们的数量和质量对土地承载力起着决定性的作用;生产技术和管理水平制约着农业自然资源开发利用的程度,在土地承载力研究中,它是一个关键性的作用因子;人口消费水平一方面作为衡量土地承载力的指标,另一方面又反馈于农业自然资源的利用方式,从而造成农林畜产品的种类和数量的差异。上述3个作用因子分别又都是时间的函数,具有明显的动态特性。因此,土地承载力的研究也具有时间性,要建立一个动态的土地承载力模型,目前还有大量问题难以解决。这样,只有通过划分不同的时段进行研究以反映这种动态特性。即使是同一时段,由于3个作用因子仍有多种可能的变化动态。因此,土地承载力研究应有多种可供选择的方案。可见,土地承载力研究必须寻求一种既能充分匹配3个作用因子又能灵活运用的方法。

土地承载力研究涉及到各类资源之间的平衡关系,资源结构与农业生产结构之间的平衡关系,不同土地资源类型内部光、温、水、养分等诸因素的平衡关系以及人口需求与土地资源生产能力之间的平衡关系。种种平衡关系构成一个极其复杂的系统(见图3)。

简单地看,上述系统是由提供农林畜产品的土地资源子系统与人口消费水平子系统所