

文章编号: 1000-0585(2002)03-0294-11

# 未来中国的农业资源综合生产能力与食物保障

陈百明

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 首先预测了包括耕地资源和非耕地资源在内的农业资源的未来食物生产能力; 然后以不同的营养供给量为标准, 根据人口预测方案估算了未来三个时段的食物需求量; 最后开展需求量与生产能力的平衡分析。在耕地资源生产的粮食数量与同期需求量的平衡分析中, 2010 年以小康水平的食物结构作为需求标准, 粮食生产能力略大于粮食需求量, 2030 年和 2050 年以较富裕和富裕水平的食物结构作为需求标准, 粮食生产能力已小于粮食需求量。说明依靠有限的耕地资源难以满足中国从小康生活到富裕生活过程中的食物需求。以农业资源综合生产能力为基数的供需平衡分析表明, 未来三个时段农业资源的综合生产能力所提供的食物数量均高于同期需求量。因此必须挖掘非耕地资源的食物生产潜力, 依靠农业资源综合生产能力才能保障中国从小康生活到富裕生活过程中的食物需求。

**关键词:** 农业资源; 综合生产能力; 食物保障

**中图分类号:** F323.2      **文献标识码:** A

## 1 引言

为了分析未来中国食物保障 (food security, 目前多数人译作粮食安全或食物安全, 由于在该范围内英语中还有 food safety 表示无毒害、不受污染的食物安全, 或 safe food 表示安全的、未受污染的食物, 如转基因食品的安全等; 为避免混淆, 从其内涵出发, 笔者倾向于译为食物保障)<sup>[1,2]</sup>, 必须评估农业资源综合生产能力与人口承载能力。通过计算包括耕地资源、草地资源、木本粮油林资源、内陆淡水渔业资源、海洋渔业资源等单项资源在内的农业资源综合生产能力, 为准确认识中国的人地关系、食物安全态势, 转变农业经济增长方式和可持续高效利用农业资源提供思路 and 对策。为此, 在研究中要解决的关键技术包括: 时序性方面对 2010、2030 和 2050 年的农业资源综合生产能力进行评估的关联性判定方法; 空间性方面对不同区域农业资源综合生产能力比较与协调机制; 实现农业资源综合生产能力的风险概率分析方法; 联合国粮农组织采用的“农业生态区域法”中适合中国情况的计算参数的获取与分析。同时在研究中, 应首先开展全国性专项研究, 在时序性和空间性方面实现宏观把握, 提出系统的方法和配套的区域性参数, 尔后开展区域性研

收稿日期: 2001-11-10; 修订日期: 2002-03-22

基金项目: 中国科学院创新工程重点项目 (KZCX2-310-05); 国家自然科学基金重点课题资助 (79930800)

作者简介: 陈百明 (1951-), 男, 浙江上虞人, 研究员, 博士生导师。主要从事土地资源调查、评价、开发利用及生产潜力研究。Email: chenbm@gsnrr.ac.cn.

究,使前者研究成果立即应用于区域性研究,并在区域性研究中检验结果的准确性和适用性,再反馈给全国性专项研究,两部分之间紧密配合,互相验证。

## 2 农业资源综合生产能力的评估方法与结果

农业资源是由光、热、水、土、肥、气、其他生产要素与生命物质组成的一个相互联系,彼此依存的耦合系统,只有调节农业资源系统内部的土—水—肥—气以及其他生产要素与植物生长的关系,使之处于协调状态,农业资源才会充分发挥其生产能力。所以,农业资源综合生产能力可以定义为:在一定地域、一定时期和一定的经济社会条件下,由农业资源诸要素综合投入所形成的,具有较高转换效率的可持续产出功能。可以看作是在比较农业资源诸要素综合投入过程的不同组合,以相对可持续和高效组合基础之上的内在的生产功能。农业资源综合生产能力包括耕地资源生产能力、草地资源生产能力、林地资源的木本粮油林生产能力、内陆水体的渔业生产能力及海洋资源的渔业生产能力。

农业资源综合生产能力研究以绿色植物光合作用理论为依据,光合作用是农业资源综合生产能力形成的基础。影响综合生产能力的因素既取决于植物本身由遗传特征决定的光能利用率,又受到不同投入及其组合的影响,如光能、温度、降雨、灌溉水源,以及作为植物生长载体的土地数量、质量等制约。在一定的经济社会条件下,人类影响农业资源综合生产能力的作用是有限的,受到人类对作物生长机理认识的制约,也受到物质投入和农业科技进步水平的限制。随着经济社会发展和科技水平的提高,人类影响农业资源综合生产能力的作用将不断增大,从而使农业资源综合生产能力也将在未来不同时期得以提高。

1949年以来,我国农业资源开发利用水平的提高是国民经济发展的主要成就之一。由于农业资源在深度开发和广度开发两方面均取得长足的进步,使得我国粮食及食物生产的增长远高于人口增长的速度,特别是1978年以来,通过实行家庭承包经营,使农业资源开发利用潜力得到充分发挥,作为主要标志之一的食物生产能力不断增强,食物产量不断增加<sup>[3]</sup>,保证了我国以极有限的农业资源保障了占全球22%人口的食物需求。

### 2.1 耕地资源食物生产能力的评估方法与结果

#### 2.1.1 光温生产能力与参数的确定

光温生产能力采用联合国粮农组织的AEZ(农业生态区域)方法,其中关键技术是应用符合中国实际的参数,需要确定的参数有:作物干物质生产率,即作物生育期白天平均温度条件下,作物达光饱和时,以最大光合速率,在最大作物叶面积出现时(叶面积指数为5以上)所达到的最大总生物生长率;由于受作物的种类和生育期白天平均温度的影响,还需运用不同作物种类的温度校正系数对干物质生产率进行校正,如作物在时间和叶面积上生长校正系数;净干物质产量的校正系数;作物收获指数;作物生长周期。通过上述参数的确定,便可计算出的光温生产能力<sup>[4]</sup>。

#### 2.1.2 气候生产能力与参数的确定

在光温生产能力的基础上,通过水分的订正,即得气候生产能力,旱地作物由于水分限制造成的产量降低,可以从实际蒸散量与最大蒸散量的关系予以反映。可采用经验公式计算水分对作物产量的影响,联合国粮农组织用于灌溉计划的方法可作为计算气候生产能力时考虑水分订正的一种方法。水浇地同旱地在水分方面的区别在于除天然降水外还有人为的灌溉来增加水分的供应,减弱或消除土壤供水不足对产量的影响<sup>[5]</sup>。在作物水分预

测中, 所给出的水浇地的灌溉定额都是在 75 % 保证率的灌溉定额, 因此需要对水分的年际变化进行分析, 量化出在 75 % 灌水保证率下, 水浇地水分对作物的限制大小。

### 2.1.3 耕地资源生产能力的评估过程

(1) 土地订正: 土地是绿色植物赖以生存的物质基础, 是作物生长的载体和基本条件, 土地对作物生长的限制性十分复杂, 它包括质地、剖面构型、盐渍化程度、土壤侵蚀、土层厚度等, 必须综合考虑限制因素的作用与影响。土地订正系数有如下特点: 土地订正系数由土地条件决定, 土地对作物的限制性越大, 则订正系数越小。由于作物的生态、生理要求不一样, 在同一土地利用生产方式下, 不同的作物具有不同的修正系数。土地修正系数也是投入水平的函数。但有些投入通过改变土地条件而影响土地订正系数。如把盐渍化土壤改良为非盐渍化土壤, 坡耕地修建为水平梯田都需要投入, 但这些改良性投入已经固化在土地上, 可不再将其视为像肥料一样的投入, 而作为基本条件对待。通过对不同地区的地形、地貌和土壤的理化性质清查, 特别是土壤侵蚀造成的影响, 对各农业区的土地条件对不同作物的影响进行综合评定, 确定不同农业区不同作物的土地订正系数予以订正。

(2) 肥力订正: 不同的农业区土壤变异性较大, 基础地力不同且普遍较低, 必须依靠肥料的投入才能满足作物对养分的需求。肥力因素对以粮食生产为基础的生产能力的贡献极其重要, 在不同的土地利用方式下, 肥料的投入数量和质量及肥料的利用率变化很大, 土地的生产能力随之变化。可把肥力因子看作是人工可控因素, 在目前生产水平下肥力对作物生产能力的限制性主要在于肥料的投入水平。根据不同时期土地利用方式对肥料投入的界定和各区试验作物可能需肥量, 利用 AHP (层次分析) 方法结合专家知识对各区的肥料限制性进行综合评定, 求出各区不同时期的肥料订正系数予以订正。

(3) 其他订正: 作物在生长过程中, 由于病、虫、草害和人为管理措施不当造成的影响都有存在, 在收获和运输过程中也会出现损耗, 为此还需要考虑这些方面的因素, 予以订正。当然随着农业科技的进步和管理水平的提高, 这些损耗将逐渐变小。

通过土地订正、肥力订正和其他订正所得到的生产能力即可称为耕地资源生产能力。

#### (4) 确定土地利用方式及其构成

每一农业区的耕地资源除种植粮食作物外, 都存在一定面积的棉花、油料、糖料、蔬菜、绿肥等其它作物。因此, 在计算生产能力的过程中, 确定合理的农作物耕种面积和复种指数是预测不同地区生产能力的又一关键因素。尤其在多数地区, 复种指数高, 作物种植结构复杂, 确定出合理的粮食作物比例尤为重要。为了能够合理地分配耕地, 确定出粮食作物的种植面积, 可采取以下思路:

粮食作物与经济作物配置: 影响一个农业区粮经比例除受当地自然条件的限制外, 还受地区经济社会发展状况和当地饮食习惯影响。因此, 通过分析目前的粮经比和不同地区未来发展趋势, 采用 AHP 法, 首先确定出不同时期的粮经比例。

粮食作物种植结构配置: 粮食作物种植结构的确定类似于粮经比的确定。首先目前的作物种植结构是经过长期的劳动实践形成的, 在近期内是比较合理的种植结构。中长期预测则需通过对经济社会发展趋势分析和我国的长远规划对基期的种植结构作适当调整。

耕地水田、水浇地、旱地在不同作物的之间的配置: 粮经作物面积的配置: 粮经比例并不包括除粮经作物以外的其它作物, 目前其它作物占耕地的面积主要是菜地, 菜地

占耕地的比例很小，在对整个耕地按粮经比进行分配过程中，菜地作为其它作物用地并不参与分配。将耕地剩余的水田、水浇地、旱地按粮经比分配，从整体上对粮经面积进行控制。 水田的面积配置：水田主要是种植水稻，在面积分配过程中，将不同时期的水田和望天田面积作为水稻面积，按不同熟制分配播种面积。 水浇地的面积配置：水浇地的面积分配关键在于粮食作物和经济作物对水浇地的分配比例问题。通过粮经比例和作物种植结构比例，以水稻面积占耕地面积的比例作为已知数，算出每一种粮食作物占总耕地面积的百分数，然后再根据粮经比可推出水浇地在粮经作物之间的分配。作物内部的分配根据作物内部的种植结构进行分配。 旱地面积配置：配置原理同水浇地。

2.1.4 评估结果

通过对本次研究划分的全国 48 个二级农业区在非农建设占用耕地、生态退耕、土地整理与复垦、宜垦土地资源开发，以及农业基本建设进展等逐项分析汇总后，到 2010 年全国耕地总量将减至 1.2945 亿  $\text{hm}^2$ ，到 2030 年减至 1.2911  $\text{hm}^2$ ，到 2050 年减至 1.2883 亿  $\text{hm}^2$ 。随着工业化、城市化的发展，在不可避免地占用部分耕地的同时，工业反哺农业的能力将不断增强，投入水平持续提高，农业基础设施得以改善，使耕地质量迈上新的台阶，由此保证粮食生产能力达到新的水平。根据评估程序，分 48 个二级农业区分别计算了不同时期的粮食作物生产能力。经 48 个二级农业区汇总，不同时期粮食作物生产能力见表 1，其中 2010 年灌溉水生产效率可提高到  $1.36\text{kg}/\text{m}^3$ ，比 1995 年增加  $0.32\text{kg}$ 。2030 年和 2050 年的灌溉水生产效率分别提高到  $1.68\text{kg}/\text{m}^3$ 和  $1.90\text{kg}/\text{m}^3$ ，可分别比 2010 年增加  $0.32\text{kg}$  和  $0.54\text{kg}$ 。

表 1 不同时期粮食作物生产能力（单位：亿 kg）

Tab. 1 Grain productive capacity of different periods ( $10^8\text{kg}$ )

作物	1995 年	2010 年	2030 年	2050 年
小麦产量	1022.15	1348.97	1524.87	1705.16
玉米产量	1119.89	1828.60	2044.49	2241.37
水稻产量	1852.27	2248.97	2593.98	3335.20
粮食总产	4666.16	5918.68	6768.06	7465.05

2.2 非耕地资源食物生产能力的评估方法与结果

2.2.1 草地资源生产能力评估方法与结果

(1) 天然草地生产能力计算

草地生产能力是在一定的气候、土壤、社会经济及优化的管理水平、无杂草虫害条件下，某一草类在其可能生长期通过生物学特性，利用外界条件转化太阳辐射为生物化学潜能的能力。其单位可以为单位面积的干物质重量或经济器官重量、蛋白质重量或热能。草地生产力具有时空变化的特征，社会性经济条件的改善、草类对一地环境条件适应程度的加强，都会使草地生产潜力得到逐步提高。

1) 天然草地净初级光能潜力：指高产牧草品种在温度、水分、养分、土壤、地形和  $\text{CO}_2$  浓度等均处于最适条件，群体结构合理，无灾害影响，较好地利用实际的太阳光能资源条件下所能达到的最大生产力，可以看作是草地生物学产量的上限。为了得到净初级光能潜力，须对有效光合辐射（PAR）进行修正和计算：量子转换率修正；牧草群体对 PAR 的最大吸收率修正；生长率修正；草地植被覆盖度修正；植物呼吸修正；

牧草含灰分率修正。

## 2) 天然草地净初级光温潜力

净初级光温潜力表示较好地利用当地的自然光温资源,而水分等其它因子都处于最适状况时的潜在生产力,可代表有灌溉条件的人工草地的潜在生物产量。环境温度不仅限定了生长季节的长短,而且影响植物的生长速度,其具体情况相当复杂。联合国粮农组织提供了 20 余种主要作物的最高生产率与日间(即白天)温度对应数据并将这些作物分为 4 组。分析这些作物的最高生产率与日间温度的关系表明,一般作物的最适温度范围约为  $20 \sim 35$ 。考虑温度对于产量的修正应当计算不同温度下的相对生产率,相对生产率与日间温度的关系表明,在最适温度附近的  $15 \sim 20$  范围相对生产率也相当高,或者说接近最高生产率。因此可以认为昼夜平均气温不小于  $10$  的日子是适于草地生长的。至于日平均气温在  $0 \sim 10$  之间的区域,相对生产率与温度近似地呈线性关系,可以认为日平均气温  $0 \sim 10$  之间的每一日数对产量的贡献大致相当于  $> 10$  的每一日数对产量贡献的一半,这样就可以用日平均气温大于  $10$  的日数和  $0$  的日数联合表示温度的影响。

## 3) 天然草地净初级气候潜力

净初级气候潜力表示较好地利用当地的光、热、水气候资源,而其它条件处于最适状况时的潜在生物产量。水分与产量的关系是复杂的,严格地讲,只有当水分供应充分满足植物在不同生育阶段的需求时才能得到高产。当一个地区的降水量不能满足牧草生育期的水分需要时,牧草的生长就会受到水分亏缺的影响,其产量就会下降。试验证明,可用牧草相对蒸散量的不足额表述由于水分不足而造成的产量降低。

## 4) 草地最大生产潜力

土壤修正系数是根据各土壤的质地、土层厚度、侵蚀状况、坡度、排水状况、地下水深度及养分等因素,进行综合评判后确定出来的评分等级。但此种方法对于草地不大可能做到。产草量大小在一定程度地反映了草原土壤(草地等级)的差异,所以把草地产草量作为划分依据,确定草地等级的修正系数。

## (2) 草地载畜量的计算

草地理论载畜量是指在一定时期和一定草地面积上,在适牧条件下,并保证家畜正常发育和生长的状态下,能饲养放牧家畜的头数。先计算 1 个羊单位 1 年所需草地面积(1 个羊单位家畜日食量乘以 365 天/年草地单产乘以草地利用率),再计算全年羊单位载畜量(全年草地可利用面积/全年 1 个羊单位所需草地面积)。家畜日食量是指一个标准绵羊单位(即体重 40kg 的母羊及哺乳期的羔羊)维持正常生长发育和一定生产性能下,每天所需要的饲草数量,其标准为 2kg 干草。草地利用率的限制因素主要有牧草的耐牧性、生长时期、植物生长发育状况、地形、坡度、水土流失状况、家畜种类、草地管理水平等。参考《中国草地资源》中提出的数据,确定不同类型草地的利用率为:草甸类组 60%,草原类组 50%,荒漠类组 40%,草丛和灌草丛类组 55%,沼泽类组 55%。所用参数可以根据植物的特点进行一些调整后用于大面积的草地生长潜力的计算。

## (3) 评估结果

我国现有各种天然草地 3.928 亿  $\text{hm}^2$ ,预计到 2010 年全部实现退耕种草计划以后,各类草地资源面积将稳定保持在 4.0 亿  $\text{hm}^2$  以上。目前全国平均每公顷可利用草地的单产仅为 911kg(干重),理论总载畜量约为 4.5 亿个羊单位,而 1998 年全国的草食畜类已经

达到 9.7 亿个羊单位，除去约 2.0 亿个羊单位的农区和半农区以秸秆等农副产品为饲料的载畜数，目前的全国草地实际载畜量约在 7.7 亿个羊单位左右，总体超载率在 57 % 以上。在今后将有计划有针对性全面地实施草地生态建设。具体实施天然草地保护工程措施 1 亿  $\text{hm}^2$ ，实施基本草场建设措施 1.2 亿  $\text{hm}^2$ ，被开垦草地及其撂荒地全部退耕还草，使我国人工草场及改良草场占草地总面积的比例提高到并稳定在 30 % 以上；草地鼠虫害基本得到控制，草地植被盖度显著增加，牧草产量大幅度提高，牧区实现草畜平衡。预测到 2010 年、2030 年、2050 年，我国纯草地畜牧业的载畜量（不包括其它非草地畜牧业的草食畜类）年可生产牛羊肉数量及相当于粮食作物数量见表 2。

表 2 不同时期草地资源生产能力

Tab. 2 Grassland resources productive capacity of different periods			
类别 年度	纯草地畜牧业载畜量 (亿个羊单位)	年可生产牛羊肉 (万 t)	相当于粮食作物 (亿 kg)
2010	6.03	445	356.0
2030	8.22	606	484.8
2050	10.33	762	609.6

2.2.2 木本粮油林资源生产能力评估方法与结果

根据木本粮油林产品产量的增长规律呈一元线性回归关系的特征，对木本粮油林产品产量采用线性回归方程进行拟合后进行预测。

全国 1995 年有木本粮食林及食用油料林资源 913.46 万  $\text{hm}^2$ 。占林业用地面积的 3.7 %。其中木本粮食林面积 266.7 万  $\text{hm}^2$ ，年总产量 200 万 t。对经济林产品产量进行的预测表明，未来我国粮食林的面积和生产能力均有较大的发展潜力（见表 3）。

表 3 不同时期木本粮食林资源生产能力

Tab. 3 Food productive capacity of woodland resources in different periods						
类别 年度	粮食林面积 (万 $\text{hm}^2$ )	粮食林生产能力 (万 t)	其中 (万 t)			相当于粮食 (亿 kg)
			红枣	柿子	板栗	
2010	283	413	162	182	69	20.0
2030	625	735	290	307	138	36.4
2050	970	1057	417	433	207	52.8

2.2.3 内陆水体资源生产能力评估方法与结果

内陆水体资源生产能力包括内陆淡水养殖产量潜力和内陆淡水捕捞产量潜力两部分。

(1) 淡水养殖产量潜力

我国主要内陆淡水可养殖水面的利用率为 70 %，增加内陆淡水可养殖水面尚有一定潜力可挖。这些尚未利用的可养殖水面气候适宜，生产条件好，具有较大的生产潜力。此外，全国可以养鱼的稻田利用率仅为 21.7 %，大部分未被利用。北方还有大量的低洼盐碱荒地及沿黄河河滩、黄河故道可以开发。即使是珠江三角洲、长江三角洲、成都平原、江汉平原等人口密集地区的河网区，大小湖群之间也有很多可开发区。在评估时，根据未利用水面的比重与利用难度系数确定可增加面积。主要采用当前各农业区的各类淡水已养殖面积及已养殖稻田面积加未利用的各类可养殖面积及未利用的可养殖稻田面积的不同比例，再加低洼盐碱荒滩地中能作为养殖面积的不同开发比例汇总而得。在淡水养殖面

积单产潜力方面，今后随资金投入的加大、水产科技水平的提高、先进养殖技术的普遍推广、不断提高科学管理水平等，池塘、湖泊、水库、河沟、稻田养殖成鱼的单产水平将不断提高。为此，各类淡水养殖面积单产分别参照当前各农业区中各类养殖水面大面积平均达到的较高产、高产、最高产确定未来不同时段各农业区的池塘、湖泊、水库、河沟、稻田养殖的平均单产水平。捕捞产品产量用趋势外推法进行估算。内陆淡水养殖总产量潜力则相应为各农业区未来的各类淡水养殖面积与同期各类淡水养殖面积单产相乘，然后汇总而得。

(2) 淡水捕捞潜力

淡水捕捞虽有发展，但受滥捕、水质污染等多种因素的影响，与淡水养殖比较，其发展速度较慢，今后随着渔业政策的实施，水污染的根治和采取人工投苗等措施，淡水捕捞量将有所增加，为此用趋势外推法求得淡水捕捞产量潜力。

(3) 评估结果

我国可养鱼的水面在 670 多万  $\text{hm}^2$  以上。目前内陆淡水养殖面积已达 485.8 万  $\text{hm}^2$ ，利用率为 71.8%，淡水产品产量 1996 年已达 1253.36 万 t。其中淡水养殖产量占 87.26%，淡水捕捞产量占 12.7%。在养殖产量中，池塘占 73.4%，水库占 9%，湖泊占 6.3%，河沟占 5%，形成池塘养殖为主，湖泊、水库、河沟、稻田全面发展的格局。1996 年内陆淡水养殖水面平均单产为  $2168\text{kg}/\text{hm}^2$ ，其中池塘单产高达  $4097\text{kg}/\text{hm}^2$ 。单产水平各地差异极大，高低相差达 20 倍以上。根据分析，未利用的可养殖面积尚有 203.7 万  $\text{hm}^2$ ，可养殖的稻田还有 522.34 万  $\text{hm}^2$ ；可用于养殖的低洼盐碱荒滩有 109.49 万  $\text{hm}^2$ 。养殖水面单产，无论是池塘，还是湖泊、水库、河沟、稻田都有潜力可挖。未来内陆淡水产品将以养殖产量比例不断增加，内陆淡水养殖仍以池塘养殖为主，湖泊、水库、河沟、稻田养殖全面发展的格局。根据今后可开发的养殖面积和各养殖水面的单产潜力，按农业区分别计算淡水养殖产品产量和捕捞产品产量见表 4。

表 4 不同时期内陆淡水产品生产能力

Tab. 4 Food productive capacity of inland water resources in different periods				
类别 年度	内陆淡水产品生产能力 (万 t)	其 中 (万 t)		相当于粮食 (亿 kg)
		养殖产量	捕捞产量	
2010	1797	1571	226	269.55
2030	2004	1770	234	300.60
2050	2211	1970	241	331.65

2.2.4 海洋资源生产能力评估方法与结果

(1) 海洋捕捞业生产能力预测方法

为了准确地回答应当捕获多少鱼、在一定期间内应当投入多少捕捞努力量等问题，需要建立能够说明渔获量、资源量以及资源生长量等之间相互关系的数学模型。国外的应用模型较多，但比较经典且应用较多的是由美国生物学家于 1954 年建立的 Schaefer 模型。该模型是根据渔业统计资料，估计出每年的平衡渔获量和相应的资源量，再根据两者的函数关系确定待定参数值，最后确定最佳渔获量。在维持生物经济平衡的条件下，确定海洋捕捞业的最佳捕捞量是管理战略制定和可持续生产能力预测的核心。然而由于海洋渔业生物资源非常丰富，也极为复杂。而各种渔业生物的生殖、生长发育过程及其生命周期完全

不同，且受海域生态环境条件复杂性的制约，目前尚未开发出大范围渔业资源整体消亡、更新规律可以模拟的预测模型。现有的模型均是针对某一生物种群，估算该物种在特定条件下的可持续产量与最佳捕捞量，并用以指导对该鱼类的生产捕捞与资源管理。由于我国对海洋生物资源的调查、监测数据极为缺乏，目前还不可能运用模拟模型对海洋渔业资源的可持续生产能力从整体上进行大范围的预测分析。此外我国已经实施海洋捕捞业“零增长”法规，预计近海渔业资源至少到 2010 年才能得以恢复，假定届时海洋捕捞业“零增长”法规及时解除，海洋捕捞量才能缓慢增长，这也是对生产能力进行预测的主要依据之一。根据发达国家海洋捕捞业先进管理模式及其产量递增速率，同时考虑到我国海洋捕捞业迅猛增长造成海洋渔业资源严重退化，结合我国海洋捕捞业“零增长”法规实施的时限以及主要鱼种的最大可持续产量等，对我国海洋捕捞量年递增率进行多级订正，以此对未来我国海洋捕捞业生产能力进行外推预测。

(2) 海水养殖生产能力预测方法

运用 1980~1999 年期间我国海洋渔业多年统计数据，建立多元线性计量经济模型，用以分析、研究我国海水养殖业生产能力及其影响因素之间的定量关系。计量经济模型以海洋养殖业的产量作为被解释变量，以对海水养殖影响较大的三个主要因素，养殖面积、从事海洋养殖的专业劳动力和水产品的价格三个因素为解释变量。方程中有 4 个待估参数，选择 1980~1999 年的 20 年数据为样本，用 TSP 软件，采用 OLS（普通最小二乘法）对模型进行参数估计。

(3) 评估结果

我国有 200m 以内的大陆架总面积 148 万 km<sup>2</sup>；供捕捞生产的渔场面积约 281 万 km<sup>2</sup>，相当于 2.8 亿 hm<sup>2</sup>。沿海潮间带滩涂面积为 186 万 hm<sup>2</sup>；10m 等深线的浅海面积为 733 万 hm<sup>2</sup>，以 15m 等深线计算，有浅海面积 1200 万 hm<sup>2</sup>。由于中国海域地处热带、亚热带和温带三个气候带，自然形成了兼有暖水性、暖温性和冷水性的不同种群，但以暖温性种为主，约占渔获量的 2/3。中国海洋生物有 3000 多种，其中鱼类有 1694 种，经济价值较大的有 150 多种。中国沿海复杂广阔的浅海、滩涂为种类繁多的生物资源提供了优良的繁殖生长的自然条件，生物资源总数超过 2500 种，重要的增养殖生物资源有 238 种。根据海水养殖模型，结合我国海水养殖资源的利用潜力，对海水养殖业未来的生产能力进行预测；同时根据我国海洋捕捞业目前的资源状况和远洋渔业的发展趋势，对海洋捕捞业未来的捕捞生产能力也做了预测，结果见表 5。

表 5 不同时期海洋资源的水产品生产能力的

Tab. 5 Food productive capacity of marine resources in different periods				
类别 年度	水产品生产能力 (万 t)	其 中 (万 t)		相当于粮食 (亿 kg)
		养殖产量	捕捞产量	
2010	3100	1600	1500	465
2030	4800	2800	2000	720
2050	6200	3700	2500	930

2.3 农业资源综合生产能力

上述非耕地资源的四部分累加，使我国非耕地资源的食物生产能力大致相当于粮食产量（营养价值高于同等数量的粮食）。在 2010 年为 1110.6 亿 kg，2030 年为 1541.8 亿



kg, 2050 年为 1924.1 亿 kg (见表 6)。

据此推算耕地资源和非耕地资源的综合生产能力为: 2010 年 7029.28 亿 kg、2030 年 8309.86 亿 kg 和 2050 年 9389.15 亿 kg。

表 6 非耕地的食物生产能力 (单位: 亿 kg)

Tab. 6 Food productive capacity of non-cultivable land (10<sup>8</sup>kg)

年度 类型	2010 年	2030 年	2050 年
草地资源	356.0	484.8	609.6
林地资源	20.0	36.4	52.8
内陆水体资源	259.6	300.6	331.7
海洋资源	465.0	720.0	930.0
合 计	1110.6	1541.8	1924.1

3 食物保障与人口承载能力

3.1 食物需求标准分析

按照中国当前经济发展和体制改革速度预计, 到 21 世纪中叶 (甚至能在更早些时候), 中国社会将进入中等发达国家行列<sup>[6,7]</sup>, 这一时期, 食物结构将是小康向富裕发展阶段。食物的结构将会进一步优化, 食物结构和营养水平的变化将由数量增加为主转向品质改善为主。粮食直接消费的比重呈下降趋势, 而粮食总消费量和间接消费量会有较大幅度提高<sup>[8]</sup>。人均每日从饮食中获取的热量将会逐年上升, 蛋白质摄入量也会有所提高。但从近年来已进入小康的城镇居民食物消费情况来看, 由于中国人的传统饮食习惯和一系列不主张高热量饮食的研究报告发表, 在动物蛋白质摄入量增加的大趋势下, 高热量 (高粮食转换) 的猪牛羊肉的人均消费量却逐年下降, 动物蛋白质摄取逐渐转向中热量 (中粮食转换) 的水产、家禽肉, 饮食改善朝中等粮食转换的方向 (与日本饮食改善方向类似, 而不是欧美以“红肉”为主的高粮食转换模式) 发展。这与国家在 1993 年制定的《90 年代中国食物结构改革与发展纲要》中提出的需求模式是一致的, 即今后国民的食物构成将是中热量、高蛋白、低脂肪的模式<sup>[9]</sup>。在保留传统膳食结构的基础上, 适当增加动物性食品数量, 提高食物质量。根据 2000 年实现小康目标的基本要求, 国家提出 2000 年我国人民食物消费和营养的基本目标是: 人均每日主要营养供给量达到世界平均水平, 其中热量 2600 大卡 (城乡分别为 2630 大卡和 2520 大卡), 蛋白质 72g (城乡分别为 74g 和 71g, 优质蛋白质约占 1/3), 脂肪 72g (城乡分别为 81g 和 68g)。具体是人均全年口粮 213kg (城乡分别为 230kg 和 150kg, 其中豆类 8kg), 肉类 25kg (城乡分别为 34kg 和 23kg), 蛋类 10kg (城乡分别为 12kg 和 9kg), 奶类 6kg, 水产品 9kg (城乡分别为 12kg 和 8kg), 水果 23kg, 食用植物油 8kg, 食糖 8kg。根据上述标准, 人均每年约需要 400kg 的粮食 (其中饲料粮需占 1/4 以上)。

3.2 未来食物需求量预测

根据推算, 2010 年人均每日主要营养供给量若要城乡全面接近小康水平的标准, 即热量达到 2620 大卡, 蛋白质达到 75g, 脂肪达到 74g, 则人均大致每年需要 420kg 的粮食; 2030 年人均每日主要营养供给量若要城乡全面达到小康水平的标准, 即热量达到

2650 大卡，蛋白质达到 77g，脂肪达到 76g，则人均大致每年需要 450kg 的粮食；2050 年人均每日主要营养供给量若要全面达到富裕水平的标准，即热量达到 2750 大卡，蛋白质达到 85g，脂肪达到 81 克，则人均大致每年需要 500kg 的粮食。根据人口增长的实际趋势和人口年龄结构，通过 48 个农业区分别选择一种比较符合本区实际情况的人口预测方案，并以此作为中国粮食需求的人口参照数。估算 2010 年、2030 年和 2050 年中国粮食需求量分别为 5780.04 亿 kg、6990.75 亿 kg 和 7926.50 亿 kg。

3.3 未来粮食供需平衡分析预测

通过未来三个时段耕地资源的粮食生产能力与同期粮食需求量的平衡分析（表 7），在 2010 年，由于以小康水平的食物结构作为需求标准，所以粮食生产能力略大于粮食需求量，但到 2030 年和 2050 年，由于以较富裕和富裕水平的食物结构作为需求标准，所以粮食生产能力已小于粮食需求量。其中 2030 年的外贸依存度为 3.2%，2050 年的外贸依存度为 5.8%。当然按照国际经济学界的看法，前者仍属于足够高的粮食安全水平，后者仍属于可接受的粮食安全水平。然而考虑到尽管中国粮食缺口的相对比例不高，但其绝对数量很大，说明仅仅依靠有限的耕地资源，即使在高效利用的条件下，仍然难以满足中国从小康生活到富裕生活过程中的食物需求。

表 7 未来粮食供需平衡分析（单位：亿 kg）

Tab. 7 The balance analysis of future grain supply and demand (10<sup>8</sup> kg)

年度 类别	2010 年	2030 年	2050 年
粮食生产能力	5918.68	6768.06	7465.05
粮食需求量	5780.04	6990.75	7926.50
平衡分析	+138.64	-222.69	-461.45

表 8 未来食物供需平衡分析（单位：亿 kg）

Tab. 8 The balance of supply and demand of future food (10<sup>8</sup> kg)

年度 类别	2010 年	2030 年	2050 年
综合生产能力	7029.28	8309.86	9389.15
食物需求量	5780.04	6990.75	7926.50
平衡分析	+1249.24	+1319.11	+1462.65

如前所述，除了耕地资源，我国的非耕地资源同样蕴藏着巨大的食物生产潜力，以农业资源综合生产能力为基数的供需平衡分析表明（见表 8），未来三个时段农业资源的综合生产能力所提供的食物数量均高于同期粮食需求量，粮食储备水平能够高于联合国粮农组织规定的安全线。以上述标准计算，2010 年可以承载 16.76 亿人，2030 年可以承载 18.47 亿人，2050 年可以承载 18.78 亿人，也就是说，我国依靠农业资源的综合生产能力，完全可以提高主要营养量的供给标准（因为即使前述 2050 年的标准仍低于日本、韩国在 1992 年已达到的生活水准）。说明在高效利用有限耕地资源的同时，必须充分挖掘非耕地资源的食物生产潜力，只有依靠农业资源的综合生产能力才能保障中国从小康生活到富裕生活过程中的食物需求，同时也为进一步提高生活水平奠定基础。

## 参考文献:

- [1] Lester. R. Brown. Who will feed China? Now York: W. W. Norton & Company, 1995.
- [2] 莱斯特·布朗, 布里克·海威尔. 中国的水源短缺将震撼世界的食品安全. 陈佑启等译. 中国农业资源与区划, 1998, (1): 5~10.
- [3] 黄季琨, Scott Rozelle. 迈向二十一世纪的中国粮食: 回顾与展望. 农业经济问题, 1996(1): 17~24.
- [4] 陈百明主编. 中国农业资源综合生产能力与人口承载能力. 北京: 气象出版社, 2001. 9.
- [5] 任鸿遵, 等. 华北平原农业水资源供需状况评价方法. 地理研究, 1999, 18(1): 39~44.
- [6] 蔡运龙. 土地利用与土地覆被变化的综合研究. 地理研究, 2001, 20(6): 1~8.
- [7] 杨勤业, 等. 可持续发展代际公平的初步研究. 地理研究, 2000, 19(2): 128~133.
- [8] 中国中长期食物发展研究组. 中国中长期食物发展战略. 北京: 农业出版社, 1993.
- [9] 张子仪. 从“2116”粮食安全工程展望我国畜业的可持续发展模式. 动物科学与动物医学, 2001, 18(1): 1~3.

## On the comprehensive productive capacity and food security of future agricultural resources in China

CHEN Bai-ming

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract :** Firstly, the paper predicted future food productive capacity of agricultural resources including cultivable and non-cultivable land resources; secondly, the food demand was respectively forecasted in the coming three periods, based on the different nutrition supply amount according to the population forecast program; lastly, the comparison between the productive capacity and the demand was analyzed in the coming three periods. The results shows that the grain productive capacity will be slightly greater than the demand because the food structure of prosperous level is as the demanding standard in 2010, however, in 2030 and 2050 the productive capacity will be smaller than the demand because the food structure of hypo-affluent and affluent level is as the demanding standard. So it would be difficult to satisfy the food demand during the period converting from the prosperous level to the affluent level if only depending on the limited cultivable land resources. The balance analysis of supply and demand based on the comprehensive productive capacity of agricultural resources shows: the comprehensive productive capacity of agricultural resources would be higher than the food demand in the three coming periods. The productive potential of non-cultivable land resources should be exploited during the course of using limited cultivable land resources efficiently. The food demand could be satisfied during the period converting from prosperous level to affluent level and the living standard could be improved only by depending on the comprehensive productive capacity of agricultural resources.

**Key words :** agricultural resources; comprehensive productive capacity; food security