

土地资源承载力研究方法的回顾与展望\*

岳晓燕,宋伶英

(宁夏大学 资源环境学院,银川 750021)

摘 要:随着政府和学术界对土地资源承载力的日益瞩目,国内涌现出大量土地资源承载力的研究方法。通过对  
其研究历程的回顾,以及不同方法优缺点的评述,提出未来土地资源承载力的研究不仅要着眼于耕地资源,更要研  
究农用地资源以及城市用地等的综合土地资源承载力,即在保护土地资源生态系统健康的情况下,一定时期、一定  
区域土地资源能够承载的人口和经济规模。

关键词:土地资源承载力;研究方法;回顾;展望

中图分类号:F301 文献标识码:A 文章编号:1005-3409(2008)01-0254-04

Research Review and Prospect of Land Carrying Capacity

YUE Xiao-yan ,SONG Ling-ying

( The School of Resource and Environment , Ningxia University , Yinchuan 750021 , China)

Abstract :With the government and academia focusing attention upon land carrying capacity increasingly ,there are many research  
methods of land carrying capacity in China. The paper reviews the research course of land carrying capacity ,evaluates the advan-  
tages and shortcomings of different methods ,puts forward the research of land carrying capacity is not only cultivated land re-  
sources ,but also agricultural land resources and urban land in the future ,namely ,the general carrying capacity of the land which  
is under the protection of ecosystem health ,the carrying scale of population and economy in the definite period and region.

Key words :land carrying capacity ;research methods ;review ;prospect

1 引 言

土地资源作为人类最基本的生活资料和最主要的劳动对象,随着人口不断增长,日益显现出人地关系紧张化的态势。全球的土地资源到底能够承载多少人口,国外学者早期就开始运用生态学、社会学、人口动力学等方法对土地资源承载力进行研究。我国的研究兴起于 20 世纪 70 年代初,其中最有力度的当推由自然资源综合考察委员会主持完成的《中国土地资源生产能力及人口承载力研究》,在此基础上后来学者对其研究方法进行不断创新。随着其研究方法不断增多,回顾其应用历程,追溯其修正进展,展望其发展趋势,对于推动我国土地资源承载力的深入研究无疑有着重要意义。

2 土地资源承载力研究的回顾

土地资源承载力在不断探索研究中基本经历了如下 3 个阶段。

2.1 以生物生产量计算土地生产潜力

2.1.1 环境因子影响下生物生产潜力研究

据中国自然资源综合考察委员会对土地资源承载力的定义:“在一定生产条件下土地资源的生产能力和一定生活水平下所承载的人口限度”,土地承载力的计算主要包括两大部分,首先根据“一定的生产条件”计算土地生产潜力,在此基础上再计算土地资源承载的人口数量。第二部分简单易算,所以土地资源承载力的核心部分也就是土地生产潜力

的计算。到目前,计算土地潜力的模型有很多种,该文根据模型的构成方法、适应范围、结构、参数的不同,将其分为机理型模型、统计型模型、混合型模型<sup>[1-2]</sup>。

(1)机理型模型<sup>[1-2]</sup>。机理型模型是以实验手段获取各种与生物干物质形成有关的生物和物理参数的动态模型,由于要求的参数多,测定复杂,只适应小范围生物生产力计算。代表模型主要有:

瓦赫宁根模型。通过模拟作物的光合、呼吸作用、叶和根生长量等因子的日变化以及碳水化合物的变化过程,模拟在水分和营养充足条件下的作物光温生产力。该模型虽然在国际上应用地域广泛,但主要应用在苜蓿、玉米、高粱、小麦等作物上,对其他作物的应用推广有限。最初公式为

$$y_0 = F \cdot y_0 + (1 - F) y_c$$

$$F = (R_{\infty} - 0.5 R_g) / 0.8 R_{\infty}$$

后来经过气候影响系数  $ET_m/(e_a - e_d)$ 、作物种类系数  $K$ 、温度系数  $CT$ 、经济系数  $CH$  的订正,形成总的计算公式:

$$Y = Y_0 \cdot ET_m(e_a - e_d) \cdot K \cdot CT \cdot CH \cdot G$$

式中: $Y_0$ ——标准作物干物质产量; $F$ ——白天的阴天部分(云覆盖度); $R_{\infty}$ ——晴天最大入射有效短波辐射; $R_g$ ——实测入射短波辐射; $y_0$ ——生育期间完全阴天时的标准作物干物质产量; $y_c$ ——生育期间完全晴天时的标准作物干物质产量; $ET_m$ ——生育期内日平均最大蒸散量; $e_a$ ——生育期内平均饱和水汽压; $e_d$ ——实际水汽压; $G$ ——总生长期; $Y$ ——光温生产潜力。

\* 收稿日期:2006-10-12  
基金项目:宁夏土地利用总体规划修编委托研究课题  
作者简介:岳晓燕(1981-),女,山西朔州人,硕士研究生,主要从事区域可持续发展研究。

FAO 农业生态区方法。该方法的基本思路与瓦赫宁根模型相同,但比瓦赫宁根法适用的作物种类多,因此,在计算土地生产力中应用较多,其计算公式和瓦赫宁根模型订正前的公式相同,但订正方法却不同,主要经过作物种类与生育期间的温度  $CT$ 、叶面积  $CL$ 、净干物质产量  $CN$ 、经济系数  $CH$  的订正,最后提出如下表达式:

当  $y_m \geq 20$  时,  $Y = CL \cdot CN \cdot CH \cdot G[F(0.8 + 0.01 y_m) y_0 + (1 - F)(0.5 + 0.025 y_m) y_c]$

当  $y_m < 20$  时,  $Y = CL \cdot CN \cdot CH \cdot G[F(0.8 + 0.01 y_m) y_0 + (1 - F)(0.05 y_m) y_c]$

式中:  $y_m$  ——作物干物质生产率,取决于作物种类与温度,可大于或小于标准作物假定的  $20 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$ ,其余同上。

以上两种方法综合考虑了作物的品种特性和作物生长发育与产量形成的动态过程,以及作物光合、呼吸与光温之间的关系,机理性较强,是建立在实验方法的基础之上,因此取得可靠的、符合实际的试验参数就显得非常重要。

(2)统计型模型<sup>[1-2]</sup>。统计型模型是用数理统计方法建立起一定区域生物生产力与某一自然因子的相关性的方法,可用于大范围的初级生物生产力估计,代表性模型有:

迈阿密模型。该模型是以年平均降水量和年平均温度作为预测生物生产力的一种模型。公式为

$$Y_1 = 3000 / (1 + e^{1.315 - 0.119r})$$

$$Y_1 = 3000 / (1 + e^{0.00064r})$$

式中:  $Y_1$  ——根据年平均气温计算的生物生产量 [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ];  $Y_2$  ——根据年降水量计算的生物生产量 [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ];  $t$  ——年平均温度 ( $^{\circ}\text{C}$ );  $r$  ——年平均降雨量 ( $\text{mm}$ );  $e$  ——自然对数的底。

由于式中,  $Y_1$  与  $t$  的关系呈 S 形曲线,而  $Y_2$  与  $r$  的关系呈负指数曲线。因此,在对同一地点的资料进行计算时会出现两个数值,根据最小限制律,选用其中的低值作为该地点的生物生产量。实际上,植物生长不仅受温度和降水影响,还受其他气候因子的影响,为此莱斯在桑斯维特的研究基础上提出了新的计算模型,即桑斯维特纪念模型。

桑斯维特纪念模型:该模型是通过蒸散量来模拟陆地生物生产量,公式为:

$$Y = 3000 / (1 - e^{0.0009695(E - 20)})$$

式中:  $Y$  ——生物生产量 [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ];  $E$  ——年平均蒸散量 ( $\text{mm}$ );  $e$  ——自然对数的底。

由于蒸散量受太阳辐射、温度、降水、饱和差、风速等气候因子的综合影响,所以该模型估算的生物生产能力较迈阿密模型更为准确。

(3)混合型模型<sup>[1-2]</sup>。通过对影响生物生产力的主要因素,如光能、温度、水分、农业、投入水平,分别用订正系数代表,各订正系数相乘,对太阳能逐步衰减而得到 5 个层次的模型,即:光合、光温、气候、农业、投入水平生产力模型,这是在目前无法建立机理型强的多因子复合模型情况下的一种替代性模型,适用于一定区域范围和各种生产力层次的应用,其公式为

$$Y = Y_P \cdot f(t) \cdot f(w) \cdot f(s) \cdot f(i)$$

式中:  $Y$  ——一定投入水平的作物生产潜力;  $Y_P$  ——光合生产潜力;  $f(t)$ ,  $f(w)$ ,  $f(s)$ ,  $f(i)$  ——温度、水分、土壤、投入水平订正系数。  $Y_t$ ,  $Y_w$ ,  $Y_s$  ——光温生产潜力、气候生产潜力、

农业生产潜力,则:

$$Y_t = Y_P \cdot f(t)$$

$$Y_w = Y_P \cdot f(t) \cdot f(w) = Y_t \cdot f(w)$$

$$Y_s = Y_P \cdot f(t) \cdot f(w) \cdot f(s) = Y_t \cdot f(w) \cdot f(s) \\ = Y_w \cdot f(s)$$

这类模型在求出光合生产潜力以后,主要是求各种订正系数。

光合生产潜力。日本筑后数学模型:

$$NPP = 0.29[\exp(-0.216 RDI^2)] R_n$$

式中:  $NPP$  ——植物气候生产力,它是在植物群体自身、土壤、气候环境等均处在最佳状况下的最大产量,实际上相当于光合生产潜力的概念;  $RDI$  ——辐射干燥度,  $R_n$  ——净辐射量。由于该模型建立在生理、生态学研究基础上,考虑了主要环境、气候因子的综合影响,所以在计算各类地区的植物气候生产力方面比较符合实际情况。

黄秉维提出的光合潜力估算公式<sup>[3]</sup>:

$$P_f = 0.0146 \times Q$$

式中:  $P_f$  ——光合潜力;  $Q$  ——总辐射量; 0.0146 为由总辐射换算成光合潜力  $\text{kg}/0.07 \text{ hm}^2$  干物质的系数。

温度订正系数:

$$f_t = P_t = 4.031 \times 10^{-2} t - 5.771 \times 10^{-4} t^2$$

式中:  $P_t$  ——相对光合速率;  $t$  ——生物生育期的平均温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

水分订正系数:

$$f(w) = 1 - K_y(1 - ET_a/ET_m)$$

式中:  $K_y$  ——产量反映系数,其值一般为  $0.7 \sim 1.25$ ;  $ET_m$  ——最大蒸散量,即供水充足条件下作物的最大蒸散量;  $ET_a$  ——实际蒸散量。由于实际蒸散量计算比较困难,需要在其既无径流又无地下渗漏的情况下才能实现,所以经常根据不同降水条件、不同作物用经验方法直接给出  $f(w)$ 。

土壤订正系数:

$$f(s) = (F_1 a_1 + F_1 a_2 + \dots + F_n a_n) / F$$

式中:  $F_1, F_2, \dots, F_n$  ——1, 2, ...,  $n$  等地的面积;  $F$  ——耕地总面积;  $a_1, a_2, \dots, a_n$  ——1, 2, ...,  $n$  等地产量比值。  $f(s)$  ——影响作物产量的土地质量系数,取决于某地区土地质量构成及不同质量土地在一般条件下的平均单产。

(5)投入水平订正系数。在生产投入中,除物质投入以外,还有智能投入、技术投入等,以致难以量化,尚无特定的公式。目前主要依靠投入因素与产量的相关分析,生产经验或专家打分确定订正系数。

2.1.2 以植被潜力结构计算土地承载力

通过遥感手段获得对植物生产有影响的因子如面积指数、叶重、叶群数量、生物量、叶绿素含量及植物对光辐射的截留能力等的植物生长信息,找出生物量与生产量之间的参数,从而进行生物的估价。

运用遥感估产法较前面的实验方法在生产潜力的估算上更加准确,但是通过遥感手段获得的是作物的生产量信息,对其经济产量的潜力难以估算<sup>[4]</sup>。

2.1.3 系统动力学方法

1980 年初在联合国教科文组织的资助下,由英国科学家莱斯瑟 (Malcom Sleeser) 等提出的承载力估算综合资源的

计量技术,即 ECCO 模型,其综合考虑区域人口、资源、环境和社会经济发展多种因子的相互关系,分析系统结构,明确系统因素间的关联作用,找出因果反馈及系统流程,从而建立系统动力学模型,此模型把承载力研究与可持续发展战略相结合,模拟不同发展战略下,人口增长、经济发展对区域资源的影响,确定区域资源承载力的动态变化趋势以及未来资源利用的方向,供区域决策者选用。

系统动力学方法在研究上综合社会经济、资源、环境在内的大量因子进行考虑,且对一定区域的人口容量进行动态的分析,是其它方法所不能及的,但该方法在对长期发展情况进行模拟时,由于参变量难掌握,常会导致不合理的结论<sup>[4-5]</sup>。

2.1.4 其他方法

在具体区域的研究中,不同学者又采用了如下方法,例如(1)谢庭生运用如下模型<sup>[6]</sup>研究洞庭湖地区土地承载力:

$$Q_i = g \times b_i \times d_i$$

式中: $Q_i$ ——第*i*种作物总产量; $g$ ——总播种面积; $b_i$ ——第*i*种作物在总播种面积中的百分比; $d_i$ ——第*i*种作物预期单产。

(2)梅成瑞运用如下模型<sup>[7]</sup>计算了以宁夏西吉县、盐池县、银川郊区为代表的干旱半干旱地区土地资源承载力:

$$S_P = \frac{V}{L_P Q}$$

式中: $S_P$ ——土地资源承载力(人/ $\text{km}^2$ ); $V$ ——土地年生产总值(元); $L_P$ ——不同生活水平下人均占有土地产值(元); $Q$ ——划分的计算单元(县、乡或土地潜力区)土地面积( $\text{km}^2$ )。

(3)韩德林以新疆为例,运用如下模型<sup>[8]</sup>,计算出 2020 年新疆各区域土地人口承载力状况。

$$P_s = (Y_1 S_1 + Y_2 S_2 + \dots + Y_n S_n) / C_L$$

式中: $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ ——现今(或未来预测期内)所拥有绿洲内 1, 2, ...,  $n$  等耕地的单位面积粮食产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ); $S_1, S_2, \dots, S_n$  分别为 1, 2, ...,  $n$  等耕地的面积( $\text{hm}^2$ ); $C_L$ ——人均粮食消费水准( $\text{kg}/\text{人}$ )。

(4)土地资源的人口承载能力 PSCL 是由多种因素所决定的,但其中最主要的是土地单位面积的生产潜力  $P$ 、土地面积  $A$  和人口的平均需求量  $N$ ,模型<sup>[9]</sup>为

$$PSCL = \frac{P \times A}{N}$$

2.2 土地资源劳动力承载力的研究

在当前“三农”问题突出以及农村劳动力生产率较低,剩余劳动力转移已成为制约农村发展重大问题的情势下,邵晓梅等人提出了土地资源劳动力承载力,即:在充分利用土地资源自然生产力来保证单位劳动力一定收入的前提下,单位土地资源产出的各种产品所得收益能承载的最大劳动力的数量。模型<sup>[10-11]</sup>为

$$C = \frac{L}{S_{\min}} \text{ 或 } C = \frac{V}{B}$$

式中: $C$ ——区域土地资源劳动力人口承载量(人); $S_{\min}$ ——最小劳均耕地面积( $\text{hm}^2/\text{人}$ ); $L$ ——区域总耕地面积( $\text{hm}^2$ ); $V$ ——区域农产品总收益(元); $B$ ——单位农林牧渔业劳动力收入标准(元/人)。

2.3 相对资源承载力的研究

随着区域间开放度的扩大以及全球经济一体化的发展,人们的生活和生产对区域内已有自然资源的依赖性在不断增加,对社会经济资源的依赖则在不断增加。据此,学者们提出了相对资源承载力,即以比具体研究区更大的一个或数个参照区作为对比标准,根据参照区的人均资源拥有量和消费量,研究区域的资源存量,计算出研究区的各类资源的相对承载力,模型<sup>[12-13]</sup>为

(1)相对土地资源承载力:

$$C_d = I_l \times Q_l$$

式中: $C_d$ ——相对土地资源承载力; $I_l$ ——土地资源承载指数( $I_l = Q_{po}/Q_{lo}$ ,其中  $Q_{po}$  为参照区人口数量,  $Q_{lo}$  为参照区土地面积); $Q_l$ ——研究区标准土地面积。

(2)相对经济资源承载力:

$$C_e = I_e \times Q_e$$

式中: $C_e$ ——相对经济资源承载力; $I_e$ ——经济资源承载指数( $I_e = Q_{po}/Q_{eo}$ ,其中  $Q_{po}$  为参照区人口数量,  $Q_{eo}$  为参照区内生产总值); $Q_e$ ——研究区区内生产总值。

(3)相对综合资源承载力:

$$C_s = w_1 C_d + w_2 C_e$$

$w_1, w_2$  作为权重值,依区域自然资源和经济资源对区域贡献作用的大小而定。

2.4 城市用地承载力研究

随着城市用地比较效益的扩大,大量的农用地不断地向城市用地转化,然而,土地资源作为生态系统的重要组成部分,不能随着效益增加而不断扩张,农用地和城市用地应该在既能够提高土地资源承载力又不对国家粮食、生态安全构成威胁的情况下进行转化,即这种转化必须保持在一定的临界值内,否则,将会对土地生态系统产生严重影响。据此,笔者认为在对土地资源承载力进行研究时,也应对城市承载力进行研究,从而明确有多少农用地转化为城市用地后,不仅可以提高土地资源的承载力,且不会对土地生态系统的整体性造成破坏。但是,城市用地的产出受到社会政策、经济技术、智能水平等因素的影响,而且城市人口的消费活动多样,消费水平多层次,以致在研究中较难作定量处理。目前尚无公认的对城市用地承载力进行测算的研究方法。

2.5 生态用地承载力研究

土地生态承载力目前还没有明确的概念,但随着人类对生态环境的不断破坏,在未来用地中考虑生态用地应该是非常有必要的。笔者认为,土地生态承载力应该是在一定区域中,为改善生态环境,保持区域生态性能稳定,满足区域生态效益所需的最少生态用地。在某种程度上生态用地是为了改善区域的生态环境,不产生经济效益。但是从可持续发展的角度,它通过改善人居环境,促进了土地、人口、经济社会和环境的协调发展,大大提高了未来土地资源承载力<sup>[14]</sup>。

3 土地资源承载力研究方法评述

土地资源生物生产量的研究主要是通过“土地—作物—生产力”对具体区域中作物的生产潜力进行估算,由于该方法是在特定的生产条件和适用范围下得到的,因此在具体研究中应根据区域特点以及历年实验数据进行订正后应用,方可使结果符合实际。

土地资源劳动力承载力的研究虽然可以明确当前土地资源能够承载的劳动力数量,劳动力所拥有的实际土地是否能够充分发挥劳动力的潜力,区域有多少剩余劳动力需要转移,但实际研究仅局限在耕地资源的劳动力承载力,未考虑其它农用地,以致影响土地资源承载力的真实程度。

相对资源承载力的研究以全国或某一特定区域为参照区,将研究区的指标值折合成全国统一的标准值进行计算,且其综合考虑土地的自然承载力和经济承载力。因此,对土地资源承载力的测算更具科学性和可比性,只是该模型只能研究当前的土地资源相对承载力,无法对未来土地资源潜力进行预测。

综上所述,可以看出目前的研究基本是对耕地资源承载力的研究,在科学技术不断发展的今天,多种土地资源都能够创造出财富,这种以耕地资源代替土地资源的计算结果在一定程度上缩小了土地资源的综合承载力。因此,在今后的研究中,不应仅研究耕地资源,而要从农用地资源和城市用地对承载力进行综合研究。据此,笔者认为土地资源承载力是“在保护土地资源生态系统健康的情况下,一定时期、一定区域的土地资源能够承载的人口和经济规模<sup>[15-16]</sup>。”

4 土地资源承载力研究展望

虽然科学技术在不断发展,土地资源承载力在不断提高,但是在一定科技条件和生产力水平下,土地的承载能力总是有一定限度的。因此,在研究土地资源承载力时,首先应考虑土地的生态特性,以及它作为生态巨系统的重要组成部分,对其他生态系统“一荣俱荣,一损俱损”的直接关联性。目前,关于土地资源承载力的研究方法虽在不断创新中日趋成熟,但土地资源承载力作为研究人地关系是否协调发展的一个重要判据,在今后的研究中应加强以下几个方面:

4.1 土地资源承载力的综合研究

首先,土地资源承载力的研究不够全面。对于载体而言,目前的研究基本上都局限于耕地资源,而对园地、林地、牧草地以及发展二、三产业的工业用地、商业用地、建设用地研究较少;对于承载对象而言,土地资源不仅承载着城乡全社会的人口,更承载着其社会经济活动<sup>[17]</sup>。

4.2 土地资源承载力的质量研究

土地作为“自然—社会—经济”复杂巨系统的基础,必然受到社会经济活动对土地生态系统的干扰。而土地生态系统的健康与良性循环是土地承载力研究的前提,因此,在大力提高区域土地资源承载力时必须对区域的土地健康进行合理的评价。相反,可以通过对区域土地资源承载力的研究,明确目前区域人地关系的协调程度,从而建立土地的健康评价体系,对不同健康程度的土地资源实施适当的生态保护,寻求合理的开发战略<sup>[17]</sup>。

4.3 土地资源承载力的预警研究

土地资源的不可移动性作为与其他资源的本质区别,决定了土地资源的数量和质量会随着人类的不断开发利用而下降,当这种下降趋势持续进行时必然会对“人口—社会—经济”系统产生影响。因此,通过土地资源承载力的研究可以明确不同区域土地资源的承载情况,建立区域土地资源的

预警系统,实现区域土地资源的可持续开发利用<sup>[17]</sup>。

4.4 土地资源承载力的功能分区研究

通过土地承载力的测算,可以明确一定区域不同分区的承载力状况,进而建立区域资源承载力和开发潜力的主体功能分区,有助于在区域规划中针对不同类型功能分区的特点以及存在的问题,实施因地制宜的评价体系和发展战略。

参考文献:

[1] 陈百明. 土地承载能力研究的国内外现状评述[C]//《中国 1:100 万土地资源图》编辑委员会. 土地资源研究文集. 北京:科学出版社,1990:127-135.

[2] 王秋兵. 土地资源学[M]. 北京:中国农业出版社,2003:191-206.

[3] 黄秉维,郑度,赵名茶,等. 现代自然地理[M]. 北京:科学出版社,1999.

[4] 郭秀锐,毛显强. 中国土地承载力计算方法研究综述[J]. 地球科学进展,2000(6):705-711.

[5] 王俭,孙铁珩等. 环境承载力研究进展[J]. 应用生态学报,2005,16(4):768-772.

[6] 谢庭生. 湖南省洞庭湖地区土地承载力初步研究[C]//《中国 1:100 万土地资源图》编辑委员会. 土地资源研究文集. 北京:科学出版社 1990:56-162.

[7] 梅成瑞. 干旱、半干旱地区土地人口承载量典型案例剖析(以宁夏西吉县、盐池县、银川郊区为例)[C]//《中国 1:100 万土地资源图》编辑委员会. 土地资源研究文集. 北京:科学出版社,1990:177-186.

[8] 韩德林. 新疆人工绿洲[M]. 北京:中国环境科学出版社,2001:71-83.

[9] 吴次芳,鲍海君,等. 土地资源安全研究的理论与方法[M]. 北京:气象出版社,2004:59-67.

[10] 邵晓梅,张洪业. 鲁西北地区现状农业土地资源劳动力承载力模拟[J]. 自然资源学报,2004,19(3):324-330.

[11] 张洪业,邵晓梅. 研究土地劳动力承载能力的意义和途径[C]//中国地理学会自然地理专业委员会. 土地覆被变化及其环境效应. 北京:星球地图出版社,2002:71-77.

[12] 黄宁生,匡耀求. 广东相对资源承载力与可持续发展问题[J]. 经济地理,2000(2):52-56.

[13] 谢红霞,任志远,莫宏伟. 区域相对资源承载力时空动态研究:以陕西省为例[J]. 干旱区资源与环境,2004(6):76-80.

[14] 孟旭光,吕宾,安翠娟. 应重视和加强土地承载力评价研究[J]. 技术经济研究,2006(2):38-40.

[15] 陈美球,刘桃菊. 土地健康与土地资源可持续利用[J]. 中国人口、资源与环境,2003,13(4):64-67.

[16] 张治城,牛海山等. “生态系统健康”内涵探讨[J]. 资源科学,2005,27(1):136-142.

[17] 罗贞礼. 土地承载力研究的回顾与展望[J]. 资源论坛,2005(2):25-27.