

# 米脂县农地承载力系统动力学分析\*

张灿强<sup>1</sup>, 姜志德<sup>1</sup>, 王继军<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 经管学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

**摘要:** 在综合分析米脂县农地承载力系统结构、关系的基础上, 以 1998 年为起始年建立系统动力学模型, 根据米脂县社会经济发展现状及未来规划, 设定了 3 种不同的方案和 3 种营养标准, 模拟了米脂县 2008-2028 年农地人口承载力趋势, 通过各方案比较, 得出了较优的方案, 最后提出了提高该地区农地承载力的政策建议。

**关键词:** 农地承载力; 系统动力学; 米脂县

中图分类号: F323.11

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)03-0187-04

## System Dynamics of Farmland Carrying Capacity in Mizhi County

ZHANG Can qiang<sup>1</sup>, JIANG Zhi-de<sup>1</sup>, WANG Ji-jun<sup>2</sup>

(1. The Economy and Management College of Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Based on comprehensive analysis of farmland carrying capacity system, the paper establishes system dynamics model and the initial year of the model is 1998. According to the status quo of social economy and development programming, three schemes and three nutrition level are set up. The model predicts the population carrying capacity between 2008 and 2018. Analyzing on the results of the model, the paper chooses the optimization scheme. Several proposals are put forward to coordinate the economy and environment and to improve farmland carrying capacity.

**Key words:** farmland carrying capacity; system dynamics; Mizhi County

农地以其重要意义一直是土地承载力研究的重点。农地是耕地、草地、林地、养殖水域等土地类型的总和, 其系统是一复杂大系统, 农地承载力具有多重反馈回路、复杂时变、非线性的特点。以往的承载力研究方法中运用较多的有: 单因子分析法, 多目标规划法, 农业生态区域法 (AFZ)<sup>[1]</sup>, 这些方法虽各有特点, 但都存在一些不足, 突出表现为它们均未能将影响土地承载力的诸多因素作为一个整体来考虑, 难以全面、系统的描述农地系统, 因此所得的结果不能很好的反映实际<sup>[2]</sup>。

系统动力学 (System Dynamics) 由 Forrester 于 20 世纪 50 年代创立, 它在研究复杂、高阶次、多变量、多时变系统方面具有无可比拟的优势, 系统动力学模型可有效描述系统各要素的因果关系, 通过调

整系统参数等方式对模型进行模拟仿真分析, 对各种备选方案进行比较选优, 具有“政策与决策实验室”的功能。系统动力学为承载力的研究提供了有利工具, “罗马俱乐部”的“世界模型”和英国 Slessor 建立的 ECCO 模型<sup>[3]</sup> 都是系统动力学在资源环境承载力应用方面的典型代表。20 世纪 70 年代末, 系统动力学引入中国, 学者们从不同的视角将系统动力学应用在区域资源承载力研究中。首先, 一些学者将系统动力学应用到整个区域生态经济系统承载状况的分析中, 如许联芳等<sup>[4]</sup> 运用系统动力学对西南喀斯特区域农业生态经济系统的承载力进行了模拟仿真; 周立花<sup>[5]</sup> 在对靖边县生态经济系统分析的基础上, 建立系统动力学模型对该县的生态与经济系统进行仿真, 设计了该县生态与经济互动发展

\* 收稿日期: 2008-10-30

基金项目: 国家自然科学基金“黄土丘陵区退耕区域农业生态经济系统耦合过程及其模式研究”(40771082); “十一五”国家科技支撑项目“黄土高原水土流失综合治理技术研究”(2006BAD09B10)

作者简介: 张灿强(1983-), 男, 山东泰安人, 硕士研究生, 研究方向为区域经济与政策。E-mail: alec-zhang@hotmail.com

通信作者: 姜志德(1964-), 男, 重庆市人, 教授, 硕士生导师, 研究方向为资源经济学、生态经济与区域可持续发展。E-mail: zhidede@sinac.com

的模式。其次,系统动力学被用于人口密度较大的城市地区的土地承载力研究,如陈传美等<sup>[6]</sup>、陈图深等<sup>[7]</sup>分别用此方法对郑州市和深圳市的土地承载力进行分析,找出了制约城市土地承载力的主要因素,提出了缓解人地矛盾的对策。再次,系统动力学方法在生态脆弱区土地承载力研究方面具有独特优势。陈克坚等<sup>[8]</sup>以吐鲁番市为例运用系统动力学模型对干旱区绿洲土地资源人口承载力进行深入分析,模拟了不同发展方案下的吐鲁番市未来 50 a 的土地承载力趋势。杨秀杰等<sup>[9]</sup>对位于三峡水库淹没区的重庆市云阳县进行了生态安全承载力的系统动力学分析,通过模型仿真,指出了云阳县生态安全承载力的敏感性制约因子,模拟了不同方案不同消费水平下的人口承载力。以上学者所建的承载力系统动力学模型为本研究提供了借鉴,然而农地利用结构对系统承载力产生重要影响,特别是国家退耕还林政策的实施使退耕区域农地利用产生重要变化,以往研究对此关注较少,特别是仿真方案的设计主要以增长速度的不同作为依据,土地利用结构在方案中没有得到充分体现。

在借鉴前人研究的基础上,论文以黄土高原退耕区米脂县为例,在分析该县农地系统的基础上,建立农地承载力的系统动力学模型,探讨影响农地承载力的主要因素及其相互关系,并设定不同方案,模拟不同营养水平下的农地人口承载力,为退耕还林及农地合理规划利用作出有益的指导。

## 1 米脂县农地承载力系统分析

### 1.1 研究区概况

米脂县隶属陕西省榆林市,地处黄土高原腹部,是国家退耕还林区。2007 年末总人口为 211 923 人,人口密度 175 人/km<sup>2</sup>,是榆林市人口密度(81 人/km<sup>2</sup>)的两倍多,是陕北典型人多地少区域。全县幅员面积 1 212 km<sup>2</sup>,农用地 10 9081 hm<sup>2</sup>,耕地、园地、林地、草地的比重为 36: 4: 43: 16。2000 年左右该县实施退耕还林政策,累计完成退耕还林 1.44 万 hm<sup>2</sup>,人均耕地由 1999 年的 0.16 hm<sup>2</sup>/cap 降到 2007 年的 0.12 hm<sup>2</sup>/cap,降幅为 22.3%,林地面积增长明显,由 1999 年的 30 392 hm<sup>2</sup> 增长到 2007 年的 47 481 hm<sup>2</sup>,增幅 56.2%。草地和园地面积变化不大,草地面积在 2002 年达到最大,近几年有减少的趋势,目前面积较退耕前有所减少。

### 1.2 农地承载系统结构及关系分析

“承载力”在物理学上包括承载体和承载物,农地承载力的承载体是农地系统,从农地的结构和生

产功能将其分为种植业子系统、畜牧业子系统、果业子系统、林业子系统,农地承载力的承载物是人口及其活动,在此分为人口子系统和消费子系统。水资源对于农地生产具有重要影响,特别是米脂县地处半干旱性气候区,年平均降雨量只有 450 mm 左右,将水资源系统作为农地承载力的子系统。生态环境、科技、资金、物质投入等是影响农产出的重要因子,将它们作为农地承载系统的外部条件。上述七大子系统及外部因素共同构成了米脂县农地承载力系统,它们之间相互联系、相互影响,形成具有因果反馈关系的网络(如图 1)。

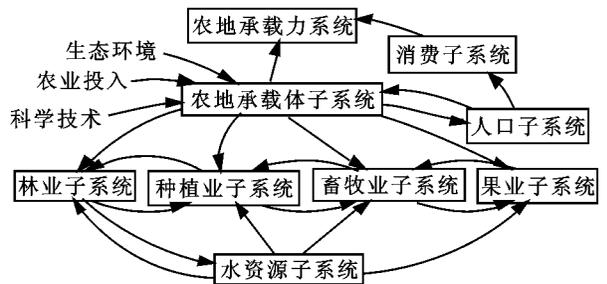


图 1 米脂县农地承载力系统关系图

系统中部分主要的因果反馈环有: (2) 耕地<sup>-</sup>→林地<sup>+</sup>→水土保持<sup>+</sup>→土壤肥力<sup>+</sup>→粮食产量<sup>+</sup>→粮食可消费量<sup>+</sup>→人口数量<sup>+</sup>→耕地; (2) 耕地<sup>-</sup>→草地<sup>+</sup>→草产量<sup>+</sup>→动物饲养量<sup>+</sup>→动物有机肥<sup>+</sup>→土壤肥力<sup>+</sup>→粮食产量<sup>-</sup>→粮食缺口<sup>+</sup>→耕地; (3) 人口数量<sup>+</sup>→食物需求<sup>+</sup>→食物供给缺口<sup>+</sup>→农地开发<sup>+</sup>→农用水需求<sup>+</sup>→农用水供给缺口<sup>-</sup>→农地食物产出<sup>+</sup>→人口数量; (4) 人口数量<sup>+</sup>→食物需求<sup>+</sup>→食物供给缺口<sup>+</sup>→农业资金和科技投入<sup>+</sup>→农地综合生产力<sup>+</sup>→食物供给<sup>+</sup>→人口数量。其中(2)和(3)为负反馈回路,(2)和(4)为正反馈回路,正反馈回路的作用是使回路中的变量偏离增强,而负反馈回路的作用则力图使控制变量趋于稳定<sup>[10]</sup>。

## 2 SD 模型的建立

### 2.1 模型的目的和边界

通过建立农地承载力的系统动力学模型确定影响系统承载力的主要因素,分析各因素间相互制约、相互促进的反馈关系,揭示系统的运行机制和控制机制,比较不同方案下农地承载力。模型的空间边界为米脂县整个行政区域,不考虑与外界的物质交换,时间边界为 1998- 2028 年,仿真步长为 1 a。

### 2.2 模型的变量和参数设置

根据米脂县农地承载系统的结构分析,选取影响各子系统的主要变量,根据各变量的性质分别定

义为状态变量,速率变量、辅助变量及一系列的表函数,图 2 为所建立的米脂县农地承载力系统动力学混合图,反映了系统内部的结构及因果关系。

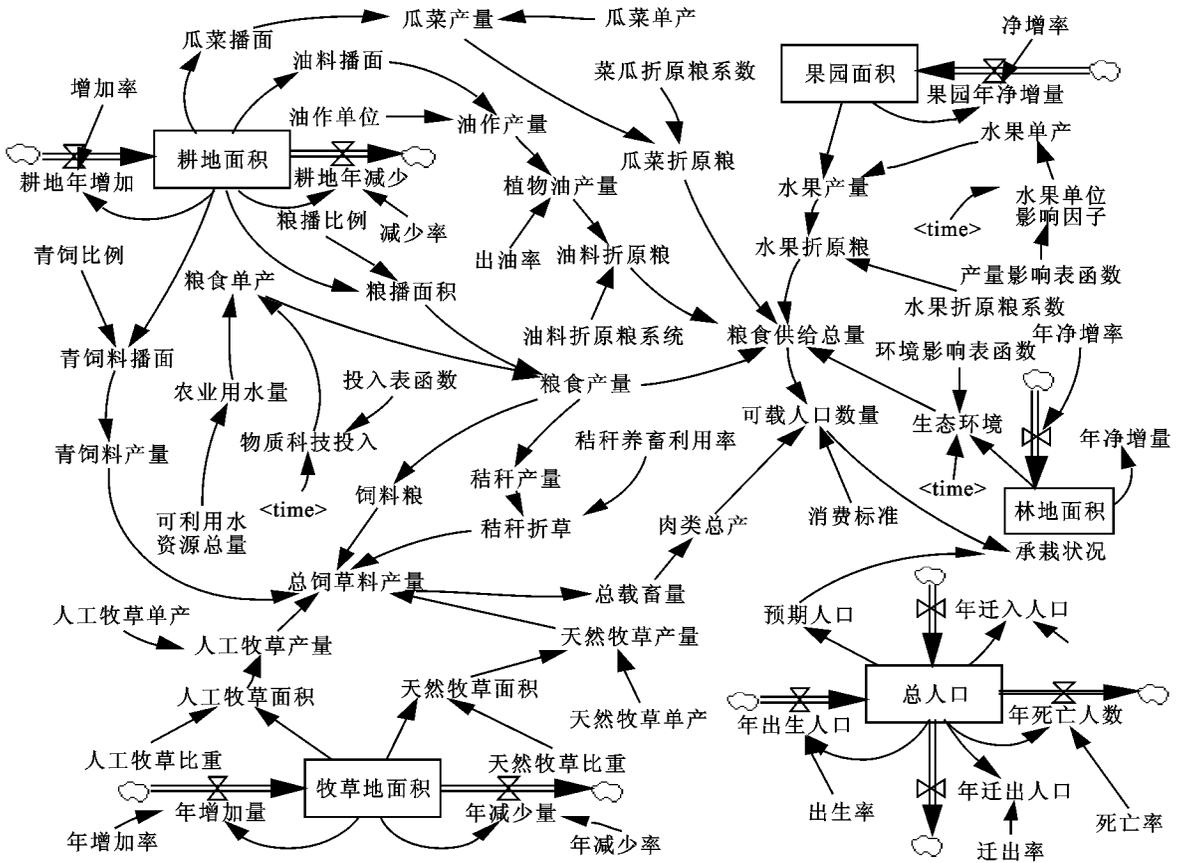


图 2 米脂县农地承载力系统动力学模型混合图

种植业子系统中选取耕地面积为状态变量,耕地增加主要考虑新开荒面积、废弃地利用面积、园地改耕地面积,耕地的减少主要是由于退耕还林还草,基建占地和因灾废弃等;科技投入和农业用水对粮食单产的影响因子用表函数的形式限定;作物种植结构中粮食、油料、蔬菜瓜类和青饲料的比重为 0.7 : 0.07 : 0.03 : 0.12。牧草地面积是影响畜牧业子系统的主要因子,将其设定为状态变量,饲草的是草地产草、秸秆产量和青饲料的总和,产量系数参考文献[11]。林地由于不直接提供食物产出,主要起水土保持和环境保护的作用,为保持生态系统的良性循环,根据米脂县实际情况,林用地的规划比例应不低于 28%<sup>[11]</sup>,林地子系统和水资源子系统作用主要在速率变量和表函数的设定中体现。人口数量的变化主要考虑出生率、死亡率、迁入率和迁出率的影响。参照国内外粮食消费标准,结合当地的实际情况,制定合理的粮食消费结构:口粮/饲料粮/种子粮和其他用粮的比例,温饱型为 60/35/5,小康型为 50/40/10,富裕型为 40/45/15。同时将人们消费的肉类、蔬菜、瓜果最终折算成原粮,温饱型为 350 kg,小康型为 400 kg,富裕型为 450 kg。

### 2.3 模型的检验

系统动力学模型有效性的检验分为直观检验、运行检验、历史检验、灵敏度分析<sup>[5]</sup>。通过对资料 and 系统混合图的直观分析,变量设置、模型结构基本合理;利用系统动力学专用软件 vensim PLE 5.7 运行该模型未出现病态结果;对米脂县 1998-2007 年的种植业、畜牧业、林果业及人口子系统进行了历史模拟检验,输出结果如表 1。

从表 1 的数据可以看出,模型对已过时段的行为模拟结果与统计数据结果吻合较好,相对误差比在允许误差范围之内,说明该模型较真实地反映实际系统。

灵敏度分析较复杂,它是通过改变模型中的参数、结构,运行模型、比较模型的输出,从而确定其影响程度。经灵敏度检验,大部分参数的变化不会导致模型根本行为的变化,同时调整政策变量可得不同的方案,说明模型的政策灵敏度较好。通过以上步骤的检验,米脂县农地承载力模型基本上能够反映系统内部的行为,可以预测该县农地承载力未来发展趋势。

表 1 模型历史仿真模拟检验

项目	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
仿真人口/人	207494	207886	208379	208673	209068	209463	209859	210256	210654	211052
实际人口/人	207494	207566	208542	208519	207163	209147	209187	208428	209258	211923
相对误差比/%	0.00	0.15	-0.08	0.07	0.92	0.15	0.32	0.88	0.67	-0.41
仿真耕地面积/hm <sup>2</sup>	33241	33064	33230	32565	31100	24880	22392	24967	25341	26355
实际耕地面积/hm <sup>2</sup>	33231	33162	33230	32410	30410	30796	25836	22947	24318	26370
相对误差比/%	0.00	-0.30	0.00	0.48	0.99	-3.70	-2.41	2.67	2.26	-0.06
仿真粮食产量/t	47786	13432	60152	21007	55286	33628	63263	31828	46708	66645
实际粮食产量/t	48182	13454	60000	20849	55244	35163	64541	31185	46162	66766
相对误差比/%	-0.82	-0.16	0.25	0.76	0.08	-4.37	-1.98	2.06	1.82	-0.18
仿真肉类总产/t	2159	2002	1923	3284	3281	3222	3655	4604	5215	5456
实际肉类总产/t	2216	2116	1870	3304	3327	3263	3670	4604	5215	5456
相对误差比/%	-2.57	-5.39	2.83	-0.61	-1.38	-1.25	-0.41	-0.09	0.75	1.26
仿真果园面积/hm <sup>2</sup>	5313	4728	4851	5158	4585	4746	4786	5026	5066	5030
实际果园面积/hm <sup>2</sup>	5313	4780	4814	5192	4573	4758	4808	5026	5050	5050
相对误差比/%	0.00	1.10	-0.76	0.21	-0.26	0.25	0.45	0.55	-0.31	0.40
仿真草地面积/hm <sup>2</sup>	18828	19019	19769	19581	22782	17886	18451	17886	17886	18075
实际草地面积/hm <sup>2</sup>	18828	18916	19629	19533	22607	17481	18217	17691	17700	17780
相对误差比/%	0.00	0.54	0.71	0.24	0.78	2.32	1.29	1.10	1.05	1.66
仿真林地面积/hm <sup>2</sup>	30000	30450	31668	31715	34411	45767	46453	47661	47482	47480
实际林地面积/hm <sup>2</sup>	30000	30392	31606	31654	34253	45512	46256	47448	47482	47480
相对误差比/%	0.00	0.19	0.20	0.19	0.46	0.56	0.43	0.45	0.48	0.53

表 2 SD 模型仿真方案设置

方案	耕地面积/ hm <sup>2</sup>	草地面积/ hm <sup>2</sup>	果园面积/ hm <sup>2</sup>	林地 比例/%
方案 I	30000	18000	5500	39
方案 II	40000	24000	7000	31
方案 III	45000	28000	8000	24

### 3 SD 模型趋势模拟

利用所建立的农地承载力系统动力学模型对米脂县 2008-2028 年的农地承载趋势进行模拟仿真,参考米脂县政府发展规划,通过调控耕地、草地、果园和林地增加率,确定不同的农地开发速度和利用结构,通过调控水资源、科技投入、生态环境等综合影响因子表函数确定不同的作物单产提高率和畜牧业发展速度,设置三种仿真方案,作物单产提高率和畜牧业发展速度分别为 1%、2%、3%,见表 2。

图 3 分别为方案 I 方案、II 方案、III 方案所得到的模型仿真结构:

方案 I : 该方案按照现有投资水平和经济发展速度,作物单产提高率和畜牧业发展速度为 1%;农地利用结构与现状基本保持不变,作为生态用地的林地在三个方案中最大。此方案下,米脂县依靠自身农地产出将在 2019 年达到温饱水平,2027 年实现小康,未来 20 a 依然达不到较富裕的水平。

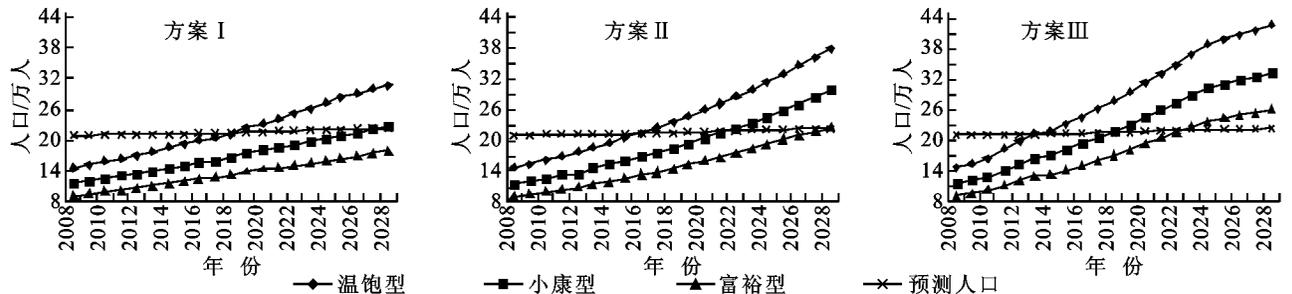


图 3 不同方案农地承载力变化趋势

方案 II: 该方案增加农业投资, 作物单产和畜牧业实现 2% 的增长速度; 同时增加耕地、草地和园地的面积, 林地的面积有所减少, 但林地比例依然高于 28% 的最低限。此方案下, 米脂县可于 2016 年达到温饱水平, 2022 年实现小康, 2028 年左右总体上可达到较富裕的生活水平。

方案 III 该方案在方案 II 的基础上继续追加农业投资, 作物单产提高率和畜牧业发展速度达到 3%; 耕地、草地和园地的面积都超过方案 I 和 II, 而林用地的比例是三个方案中最低的, 且低于 28% 的低限。此方案下, 米脂县可在 2013 年达到温饱水平, 2018 年实现小康, 2023 年可基本上达到富裕水平。

三个方案相比较, 方案 I 中生态用地的林地面积得到最大保证, 但是农地承载力提高速度较慢, 难以满足人民生活水平提高的需要; 方案 III 农地承载力提高速度虽较快, 当地生活水平在未来 15 a 即可实现较富裕的目标, 但耕地、草地和园地的增长对作为生态用地的林地挤占较大, 势必造成水土流失的加重, 作物单产的过快提高往往依靠大量化肥农药的施用, 又将对环境造成危害, 此方案是一种不可持续的发展模式。相比之下, 方案 II 中林用地的比例高于 28% 的最低限, 在保证水土保持等生态用地需求的前提下, 农地承载力实现较快增长, 为此模型的优选方案。

## 4 结论与建议

通过对米脂县农地承载力系统动力学模型的分析, 发现目前该县依靠自身农地产出难以承载现有人口; 农地资源开发速度和结构是影响农地系统承载力的重要因素, 农业投资, 灌溉条件, 科学技术等外部因子也对农业生产水平和承载能力产生重要影响; 林地等生态用地是生态环境良性循环的前提和基础, 农地资源的开发和系统承载力的持续提高必须保障生态用地。

针对当前米脂县农地承载状况, 笔者提出如下政策建议: 首先保护生态环境, 巩固退耕还林(草)的成果, 加强天然林保护和三北防护林建设工程, 实现经济环境和谐发展; 其次, 增加农业投入, 提高作物单产, 加强农业基础设施建设, 尤其是灌溉设施, 充分利用无定河及各支毛沟水资源, 同时发展农业节灌技术, 增施化肥并完善化肥的施用结构, 有效防止病虫害, 增加农业技术投入, 强化对农民的技术培训, 建设高产草地, 提高牧草的单产水平; 再次, 合理规划农用地结构, 保证生态用地, 针对不同地形地貌, 宜农则农、宜林则林、宜草则草。

### 参考文献:

- [1] 陈百明. 我国的土地资源承载能力研究[J]. 自然资源, 1989(1): 5-26.
- [2] 张传国, 方创林, 全华. 干旱区绿洲承载力研究的全新审视与展望[J]. 资源科学, 2002, 26(2): 549-555.
- [3] Sleeser M. Enhancement of Carrying Capacity Options ECCO[M]. The Resource Use Institute, 1990.
- [4] 许联芳, 杨勋林, 王克林, 等. 西南喀斯特区域农业生态系统承载力系统动力学分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(3): 312-323.
- [5] 周立花. 靖边县生态与经济系统 SD 模型研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2007.
- [6] 陈传美, 郑垂勇, 马彩霞. 郑州市土地承载力系统动力学研究[J]. 河海大学学报, 1999, 27(1): 53-56.
- [7] 陈图深, 童玉芬, 曾序春. 深圳市人口承载力分析及对策研究[J]. 西北人口, 2008, 29(3): 27-30.
- [8] 陈克坚, 彭补拙, 濮励杰. 干旱区绿洲土地资源人口承载力研究[J]. 安徽师大学报: 自然科学版, 1998, 21(2): 170-174.
- [9] 杨秀杰, 罗文锋, 周世星. 云阳县生态安全承载力的系统动力学分析[J]. 生化研究, 2005, 21(3): 98-102.
- [10] 王其藩. 系统动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.
- [11] 王国宏. 黄土高原植被恢复与新产业带形成的生态学基础研究[M]. 北京: 中国科学院植物研究所, 2003.

(上接第 186 页)

I-109 属于中等材积量、较低耗水型; C 类 NL895 为较低材积量、低耗水型; D 类 I-107 为较高材积量、较高耗水型; E 类中林 46、中缓 12 为低材积量、中等耗水型。

### 参考文献:

- [1] 苏建平, 康博文. 我国树木蒸腾耗水研究进展[J]. 水土

保持研究, 2004, 11(2): 178-179.

- [2] 李洪建, 柴宝峰, 王孟本, 等. 北京杨水分生特性研究[J]. 生态学报, 2000, 20(3): 417-422.
- [3] 王颖. 林木蒸腾耗水研究综述[J]. 河北林果研究, 2007, 22(1): 39-43.
- [4] 牛丽丽, 张学培, 曹奇光. 植物蒸腾耗水研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 158-163.