

文章编号: 1000-050X(2002)05-0493-06

文献标识码: A

基于生态绿当量的土地利用结构优化

刘艳芳¹ 明冬萍¹ 杨建宇¹

(1 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要: 应用系统思想和生态学原理, 探讨了土地利用结构优化的生态标准, 并将其作为衡量生态合理与否的指标。在充分考虑挖掘其他具有绿当量用地(主要是耕地与草地)的生态服务价值的基础上, 引入森林与耕地、草地之间基于“绿量相当”的面积换算关系, 定量测算出该类用地的生态绿当量。建立了区域土地利用结构优化的多尺度控制过程模式及生态优化的数学模型, 并构建了区域土地利用结构多目标线性规划模型。以海南省琼海市为例进行了生态优化实例分析。

关键词: 土地利用结构; 森林覆盖率; 绿当量; 生态系统服务价值; 多尺度优化; 多目标线性规划

中图法分类号: P271

土地利用的总目标是取得不断增长的综合效益, 即由社会、经济、生态三效益构成的不可分割的并相互影响的效益系统。土地利用规划结构方案的制定就是要根据国民经济和社会发展及环境保护的需要, 实现土地资源的优化配置。所谓土地利用结构是指国民经济各部门占地的比重及其相互关系的总和; 优化土地利用结构是指通过一定方法使未来土地利用取得经济、社会、生态效益的最佳土地利用结构^[1], 因此在选择用地方案时就要根据经济社会发展规划和经济发展的需要, 统筹兼顾、全面安排, 合理调整土地利用结构, 综合协调国民经济各部门的用地关系, 在空间上合理布局用地, 为国民经济和社会可持续快速、健康发展创造良好的土地条件。

近年来, 随着经济和人口的日益增长, 工业化和城市化的进程不断加快, 土地利用问题日益严峻, 特别是我国人多地少, 耕地后备资源严重不足, 使得土地的合理利用更为重要。所以调整和优化土地利用结构是加强土地利用管理控制的关键, 也一直是土地学专家与土地管理部门重点研究的问题。

目前对土地利用结构合理性的研究多是采用一些系统工程的方法, 论述土地利用的经济产出的合理性, 而对生态效益不够重视, 或是没有提出合理可行的具体实施思路或方法。实际上土地利

用结构的优化不仅包括经济效益和社会效益的优化, 还应包括生态效益的优化, 因而传统的研究不可避免地存在一定的局限。在社会·经济·生态这个复杂的效益系统中, 必须认识到其整体性, 否则会造成许多生态学方面的问题, 这反过来又会影响和阻碍工农业生产的发展, 危害人们的健康, 因而对土地利用结构合理性的衡量在考虑社会效益的同时必须考虑其生态效益标准, 也有必要给出具体衡量生态合理与否的标准。

1 生态绿当量与土地利用结构优化的生态标准

1.1 绿当量概述

这里对生态标准的量化引入“绿当量”的概念。森林作为地球陆地生态的支柱, 具有涵养水源、保持水土、改善气候、维持景观和净化环境污染等众多环境功能, 即森林的生态效益。而在当今的开发建设中, 不可避免地使森林生态系统受到了破坏, 进而影响了地区可持续发展的能力。最初有些学者提出要对森林遭受破坏或削弱的生态功能进行补偿, 为制定补偿措施, 需进行生态功能“当量”的相对比较, 从而提出了绿当量的概念。

绿当量为具有和森林基本相同的生态功能当量, 其主体可以是其他绿色植被。简单地说, 绿量

就是衡量单位面积森林和其他绿色植被生态环境功能强弱的量化值。“绿量相当”的概念包括保证等量的光合作用和适合的布局,足以抵偿定量森林植被所能发挥的区域生态功能^[2],所以绿当量可以定义为其他绿色植被的绿量相对于等量森林面积的绿量的比率。

1.2 各类生态系统的生态服务功能

从植物学与生态学的角度讲,各种绿色植被都不同程度地发挥着诸如森林的众多生态环境功能。根据绿当量的原理,传统土地利用可按如下方式划分。

1) 具有绿当量的用地。包括耕地、园地、林地、牧草地及部分未利用地。其生态服务作用机理与森林相似,可以量化。

2) 隐含绿当量的用地。主要指水域,其具有景观、调节大气组成、净化空气等功能,但只能定性研究,难以量化。

3) 不具备绿当量的用地。包括城镇村及工矿用地、交通用地及部分未利用地,绿当量为零。

目前对森林生态服务价值的计量有多种方法,如替代工程法、综合费用效益法、造林成本法等^[3]。由于这种价值的可计量性,则使对其他绿色植被的绿当量研究成为可能。

1.3 土地利用结构优化的生态标准研究

联合国确定森林覆盖率平均不少于20%为最低森林生态下限指标,但由于地域差异,不同区域的地形地貌、降水状况及土壤蓄水能力也不同,与之相适应的最低森林覆盖率也是不同的。1995年,张健等人提出从森林自身属性出发,在大范围内探讨森林面积数量、森林内涵质量及森林空间分布格局与其相对应的防护能力之间的关系,进而确定最佳森林覆盖率的新观点。他们以四川盆地低山丘陵区为研究对象,以森林生态防护能力为依据,计算出了各种地形区最佳防护效益森林覆盖率,实践证明该方法是合理可行的^[4]。

这里可以考虑借鉴他们的研究方法,即针对不同的区域,根据区域降水量、土壤饱和蓄水能力以及土壤自然含水量来计算区域最佳森林覆盖率^[4],并以此作为该地区生态优化的目标之一(最低森林覆盖率则作为区域生态预警的参考标准,这里不作赘述)。当然,衡量生态标准的指标只凭森林覆盖率是不全面的,实际上还可以考虑如水土流失量以及环境污染排放量等其他控制指标,但森林覆盖率在一定程度上可以反映生态状况的其他因素如人均绿地、水土流失量及大气环境质量等水平。为了简化问题,这里只采用最佳

森林覆盖率作为一个建议指标进行探讨。

据林业部门统计,虽然我国林地覆盖率达到24.01%^[3],但除去幼林地或郁闭度不够的林地等,我国目前的森林覆盖率只有11.5%^[6],且因为各地区间自然地理条件及历史条件存在着很大的差异,个别地区还达不到11.5%,因而需要采取一定的手段和措施提高森林覆盖率。此外,由于生态价值不能调拨,也不能储存,只能是当地与当代人受益,而且任何地区的任何人都有公共生态消费的权益,因而要在各个地区充分挖掘其他用地类型尤其是耕地与牧草地的生态服务价值,以满足人类对绿色消费的需求。所以,这里所指的最佳森林覆盖率是基于生态绿当量的,它的实际意义是:

基于生态绿当量的森林覆盖率=(区域森林面积+区域其他具有绿当量用地面积按“绿量相当”原则折合成的森林面积)/区域土地总面积

这里的“其他具有绿当量的用地”主要指耕地与草地,所谓的“折合”即是计算有多少农田作物或草地与定量的森林生态功能相当。在此引入森林与耕地、草地之间的基于“绿量相当”的面积换算关系,定量测算出耕地与草地的生态绿当量,作为土地利用结构优化的基础,实为本次研究与生态相结合的创新之处。

2 耕地与草地的生态绿当量的定量测算方法

2.1 测算的原理及可行性

近年来,随着人类生存环境的日益恶化,人类对生态研究的重视达到了前所未有的程度。农、林学家们对森林的生态环境功能价值的计量研究在理论与实践上已经取得了一定的成果,提出了许多合理可行的方法,对森林的生态环境服务价值进行了定量的评估,并且可以把这种价值转化为货币形态。这里拟从生物学与生态学的角度出发,借鉴以往对森林生态系统服务价值定量研究的成果,通过评价林地、耕地和草地生态系统的生态服务价值,探讨森林与耕地(主要分为水田和旱地)和草地(主要为自然草地与牧草地)之间的基于“绿量相当”的面积换算关系,即多少的农田作物与定量的森林的生态功能相当,从而测算出耕地和草地的生态绿当量。

由于耕地和草地生态服务功能的作用组成及作用机理与森林生态系统相似,这种生态绿当量的测算方法是合理、可行的。

2.2 耕地的生态绿当量测算方法

2.2.1 计算林地、耕地与草地生态系统的作用分值

1) 指标选取及其量化分值

生态系统的生态作用指标体系是一个复杂的软系统, 指标的选取既要体现各类生态系统本身的发生、发展规律, 又要体现其对生态、经济、社会环境的保护、增益和调节功能, 所以指标选取必须具有典型性、代表性和系统性^[7]。这里, 指标选取从大气、水、空间、土壤和生物5个方面考虑。

各类生态系统的环境功能是不同的。日本专家曾通过调查法进行各类生态系统环境功能的比较, 见文献[2]。

2) 计算林地、耕地与草地的生态系统的生态服务分值

因为文献[2]中的功能分值已经考虑了各项环境子功能的权重, 其生态服务总分值可以将各子功能的分值(或称指标量值)累加求和:

$$P = \sum_{i=1}^{17} F_i$$

表1 耕地与草地全年平均绿当量

Tab. 1 Average Green Equivalent of Cultivated Land and Grassland

类型	东北西北温带地区	华北暖温带地区	东南西南热带、亚热带地区	
熟制	一年一熟	一年两熟	两年三熟	一年两熟
相对于全年满种的生长期系数	0.46	0.67	0.50	0.67
水田平均绿当量(基数取0.77)	0.35	0.50	0.38	0.50
旱地平均绿当量(基数取0.68)	0.29	0.42	0.32	0.42
自然草地平均绿当量(基数取0.76)	0.35	0.51	0.38	0.51
牧草地平均绿当量(基数取0.73)	0.34	0.49	0.37	0.49
				0.61

注: 1. 相对于全年满种的生长期系数=作物生长期长度(月)/12;

2. 区域熟制与作物生长期长度采用专家建议值。

3 基于生态标准的土地利用结构优化多尺度控制过程模式

从可持续发展的角度讲, 土地利用结构的优化是多尺度的, 其表现不仅是时间上的优化, 而且也是空间上的优化; 不仅有量上的优化, 还有质上的优化。前者体现在各类用地面积及结构比例, 后者体现在土地利用的多目标性。概括起来可以从以下几方面考虑。

3.1 不同空间管理层次的宏观土地利用结构的控制与优化

图1所示的过程不仅是自上而下的指标分解与下达控制过程, 也包含了自下而上的逐级汇总与逐级反馈过程, 实际上是一个双向优化的过程。传统土地利用结构优化是采用前者, 即自上而下,

式中, P 为生态服务总分值; F 为指标量值; i 为指标体系的指标数。

由此得出林地的生态功能服务价值分值为150.46, 相同面积及全年满种情况下, 水田为115.11, 普通旱田为101.95, 自然草地为114.16, 牧草地为110.07。

2.2.2 计算耕地与草地生态系统的平均生态绿当量

根据上述生态服务价值的计算, 在全年满种的前提下, 假定林地的绿当量为1, 则水田的绿当量为0.77, 普通旱田为0.68, 自然草地为0.76, 牧草地为0.73。但实际上由于地区之间的气候差异, 同一时间各地区、各种用地的绿当量是不同的, 同一地区不同时间的各种用地的绿当量也是不同的。考虑到各地区作物的不同生长期与熟制, 以上绿当量结果还需要乘以一个相对于全年满种的生长期系数, 得出耕地与草地全年平均绿当量(表1, 草地也暂且以熟制讨论)。

如何将后者与前者结合起来目前正在研究与探索中, 所以如何寻求两个过程的平衡点, 确定出最佳协调用地方案则是难点中的难点。

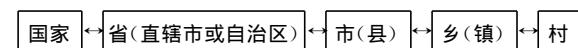


图1 空间宏观土地利用结构的控制优化示意图

Fig. 1 Bilateral Optimizing Process of Land Use Structure Based on Different Spatial Administrative Levels

3.2 不同时间层次的土地利用结构优化

在土地利用结构优化中, 某些影响土地利用的因素也随时间变化而动态变化, 且具有潜在的不可预知性, 如经济发展使人民的消费需求提高, 政府的政策导向发生转变, 技术进步使资源利用率提高, 周边地区的带动与辐射影响使本地区的主导优势发生转变等。因而在土地利用结构优化

中对变量的控制也应有所改变。表现在不同的时间段 T_1 和 T_2 , 影响因素集由 $K_1 \rightarrow K_2$, 则控制指标集由 $B_1 \rightarrow B_2$, 进而土地利用结构由 $G_1 \rightarrow G_2$, 见图 2。

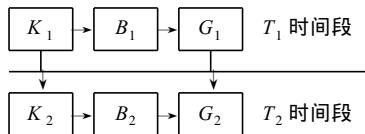


图 2 不同时间层次的土地利用结构优化示意图

Fig. 2 Optimization of Land Use Structure at Different Time

3.3 基于绿当量的最佳森林覆盖率标准的土地利用结构优化模型

重点考虑生态优化的过程, 该模型框架可用

图 3 表示。框架中利用基于绿当量的最佳森林覆盖率进行生态优化, 可按以下步骤。

设区域总面积为 $S_{\text{总}}$, 区域最佳森林覆盖率率为 r_j , 按最佳森林覆盖率要求的区域林地面积为 $S_{\text{林}}$, 区域实际林地面积为 $s_{\text{林}}$, i 类用地的面积为 s_i , 绿当量为 g_i , i 代表用地的类型且 $i=1, 2, 3, 4$ 。则有如下模型。

- ① $S_{\text{林}} = S_{\text{总}} \times r_j$, 其对应的绿当量为 $\bar{x} = 1$;
- ② 区域实际林地的绿当量 $x_{\text{林}} = \frac{s_{\text{林}}}{S_{\text{林}}} \times 100\%$;
- ③ 计算全区的绿当量 x (为林地与其他用地的和), $x = x_{\text{林}} + \sum_{i=1}^4 \left[\frac{s_i \times g_i}{S_{\text{林}}} \times 100\% \right]$;

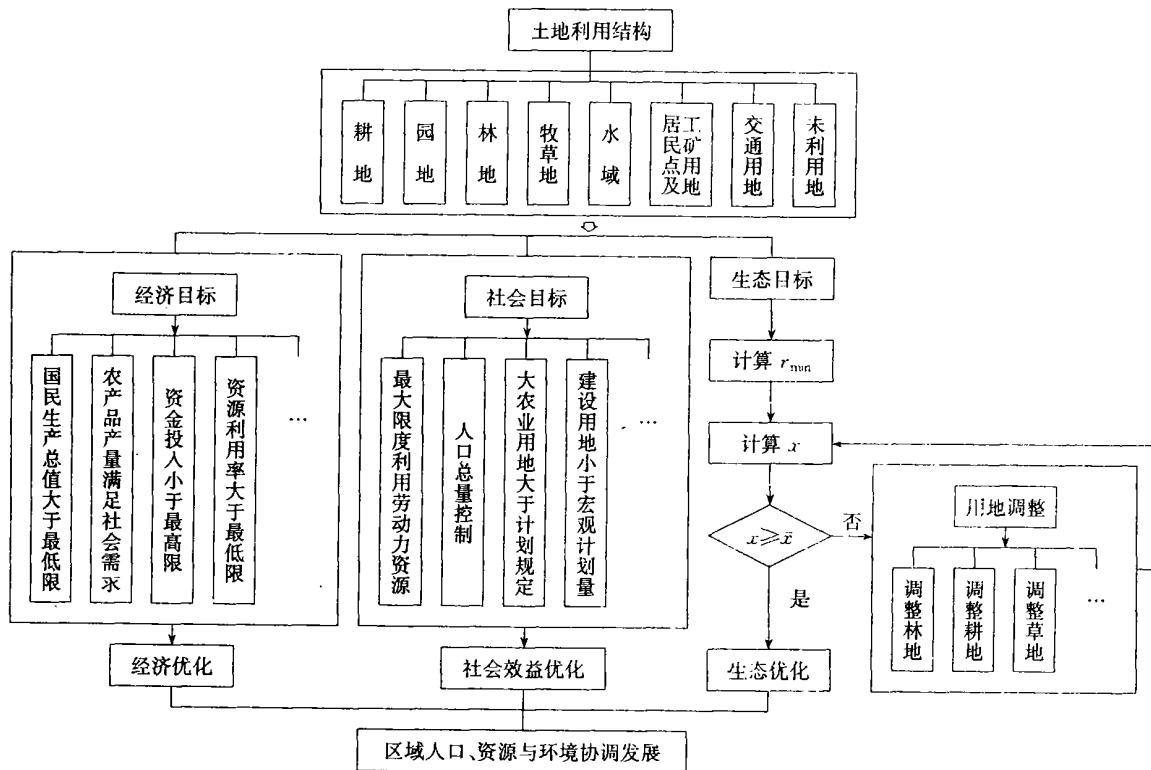


图 3 区域土地利用结构优化系统框架

Fig. 3 Systematic Frame of Optimization of Land Use Structure Based on Ecological Standard

④ 比较 x 与 \bar{x} 的大小, 衡量区域生态是否达标。若 $x \geq \bar{x}$, 则达标; 若 $x < \bar{x}$, 则再次反馈, 进行林地、耕地及草地的结构调整, 重新进行步骤①~④, 必要时采用政策约束强制达标。

3.4 土地利用结构多目标线性规划模型

土地利用结构优化即是在若干条件的干预、支持与制约下实现社会效益、经济效益和生态效益的最优以及三者之间的协调统一, 本文拟采用多目标线性规划方法构建模型^[12]。土地利用结

构多目标线性规划模型(如图 4 所示)与上述模型的不同之处在于其重点是力求生态目标达到最大, 而前面讨论的是在确定最佳森林覆盖率标准的前提下优化。

需要说明的是, 土地利用结构多目标线性规划模型中的其他约束可以是土地适宜性评价约束、土地总面积约束和数学上的非负约束等。

求解上述模型, 对照调整目标的要求进行综合平衡, 即可得出最佳土地利用结构。

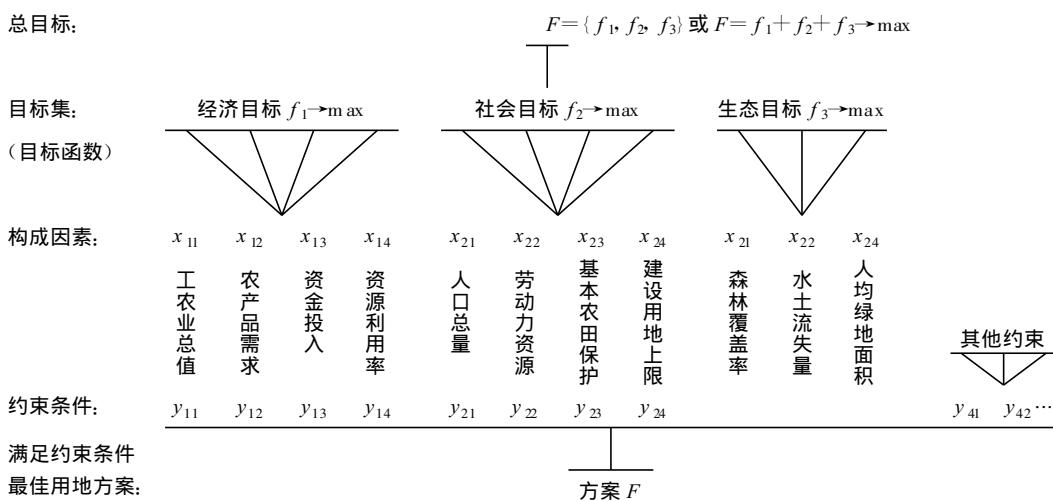


图4 多目标下的土地利用结构线性规划模型

Fig. 4 Multi-objective Linear Programming Model for Optimization of Land Use Structure

4 应用实例

因生态目标的优化是本文研究的重点, 所以这里仅对基于绿当量的最佳森林覆盖率标准的生态优化过程进行实例验证。选取海南省琼海市为实验区, 以各乡镇为样本, 以土地利用现状数据为样本数据。为使问题说明得更加明了, 剔除了现状森林覆盖率过高或过低的异常样本如农场(海南省的国营农场多以种植橡胶为主)、林场、西部

无人区以及市区所在的3个乡镇, 选取了其余乡镇中森林覆盖率最低的朝阳乡为具体实验对象。

朝阳乡位于万泉河下游, 属近海区, 地势平坦, 雨量充沛, 水利资源较丰富。以万泉河为主, 有大灵、龙滚和望浦3水库。根据1996年土地利用现状调查成果, 该地区森林覆盖率为17.01% (包括部分木本园地), 其土地利用结构见表2(限于数据的有用性, 只列出农用地)。耕地中, 水田为 666.76hm^2 , 旱田为 232.71hm^2 。

实验过程如下。

表2 朝阳乡土地利用现状表

Fig. 2 Actual Data of Land Use of Chaoyang Town

	耕地	园地	林地	牧草地	全乡土地总面积
面积/ hm^2	899.47	37.78	471.34	0	2 913.66
占全乡土地总面积/%	30.89	1.30	16.17	0	100

1) 根据农业部门提供的土壤及降水相关数据, 采用张健等人确定区域最佳森林覆盖率的方法计算出朝阳乡最佳森林覆盖率 r_j 为36.78%。

2) 计算全乡绿当量(作物熟制为一年三熟) $x=0.92$ 。

3) 修正 r_j 。因为朝阳乡属近海区, 对海防林的要求比较高, 上述 r_j 的计算结果需进行修正。根据海岸线长度与海南省规定的海防林带宽度指标计算该防护林带的绿当量为 $x_{\text{防}}$, 得:

$$\text{修正系数} = 1 + x_{\text{防}} / \bar{x} \approx 1 + 0.05 = 1.05$$

最后确定朝阳乡最低森林覆盖率为 $36.78\% \times 1.05 = 38.62\%$ 。

4) $x < \bar{x} = 1$, 所以需进行用地调整。

5) 结合本乡发展计划与实际条件, 牧草地面积保持不变, 只能调整林地与耕地。调整方案如

下。①按照森林分类经营管理原则, 规划新增生态公益林 129.5hm^2 (部分为海防林), 主要起涵养水源和维持生态平衡的作用; 新增木本用地 14.29hm^2 , 提供一定数量的木材、水果或工业原料。规划期间由于建设占地等减少林地 13.09hm^2 , 实增林地 130.70hm^2 。②2010年规划耕地指标 901.72hm^2 , 规划期间建设占地 5.40hm^2 (旱田), 灾毁 6.00hm^2 (水田 4.73hm^2 , 旱田 1.27hm^2), 通过开发复垦增加耕地 14.97hm^2 (旱田 13.66hm^2 , 水田 1.31hm^2), 实增耕地 2.25hm^2 。

6) 再次计算绿当量 $x = 1.03$ 。

7) $x > \bar{x}$, 满足生态标准, 生态达到优化。

经实验论证, 该方法可以有效地对区域生态进行控制, 且具体过程可以用计算机编程实现, 简单易行。

5 结 论

1) 该研究将生态绿当量的概念首次引入土地利用结构的生态优化,并提出不同地区生态标准不同的思想。这在我国目前土地利用生态结构不合理、地区生态环境差异较大、森林覆盖率偏低的情况下,更具有实际意义。

2) 利用生态学原理提出了基于生态绿当量的森林覆盖率,充分挖掘各类用地尤其是耕地与草地的生态服务功能,突破了原有的只重视其产出功能的局限。我国拥有约 19.38 亿亩的耕地资源及 39.66 亿亩的可利用草地资源,分别占全国土地总面积的 13.59% 和 27.81% (1999 年数据)^[5],如能恰当利用,其在区域生命支持系统中所起的作用也是十分重要的。

3) 本文提出了生态优化的原理与数学模型,原理简单,可实际应用于土地利用规划中,利用林地、耕地与草地的面积之和来进行生态优化控制,提高规划的合理性与准确性。

4) 由于土地利用是基于时间和空间上的动态过程,所以可以利用 GIS 技术,特别是 GIS 的强大空间分析功能在时间上对区域土地利用进行动态监测和分析,便于提供区域生态预警。

5) 本文对土地利用结构生态标准的衡量指标只取了森林覆盖率,这种选取还不尽全面,有待进一步完善。

6) 目前对耕地与草地的生态绿当量的测算还处在探讨阶段,由于生态系统服务功能的复杂性和其时空上的动态异质性,这种测算方法还需做进一步的研究。

参 考 文 献

- 王万茂. 土地利用规划学. 北京: 中国大地出版社, 1996
- 毛文永. 生态环境影响评价概论. 北京: 中国环境出版社, 1998
- 李金昌. 生态价值论. 重庆: 重庆大学出版社, 1996
- 张 健, 宫渊波, 陈林武. 最佳防护效益森林覆盖率定量探讨. 林业科学, 1996(4)
- 鹿心社. 1999 年中国国土资源报告. 北京: 海洋出版社, 2000
- 钱 易, 唐孝炎. 环境保护与可持续发展. 北京: 高等教育出版社, 2000
- 雷孝章, 王金锡, 彭沛好, 等. 中国生态林业工程效益评价指标体系. 自然资源学报, 1999, 14(2): 175~182
- 刘艳芳. 经济地理学. 武汉: 华中师范大学出版社, 1992
- 张贵祥, 黄凌云, 刘彦随. 区域土地利用结构优化数学模型——以浙江省乐清市为例. 山西师范大学学报(自然科学版), 2000, 14(3): 90~94
- 耿 红, 王泽民. 基于灰色线性规划的土地利用结构优化研究. 武汉测绘科技大学学报, 1999, 25(2): 167~171
- 耿 红. 县级土地利用总体规划相关问题研究: [学位论文]. 武汉: 武汉测绘科技大学, 1999
- 薛嘉庆. 线性规划. 北京: 高等教育出版社, 1989
- 薛兆瑞, 马大明, 段延青, 等. 城市生态规划研究. 北京: 气象出版社, 1993

作者简介: 刘艳芳, 教授。现主要从事城市环境分析、土地评价和土地利用规划的研究和教学工作。代表成果: 在城市灾害防御能力分析、城市旅游资源评价、土地利用规划、土地评价模型研究及 GIS 应用等方面取得多项成果。

E-mail: yfhu610@sohu.com

Optimization of Land Use Structure Based on Ecological Green Equivalent

LIU Yanfang¹ MING Dongping¹ YANG Jianyu¹

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China 430079)

Abstract: Optimization of land use structure consists of economic, social and ecological optimization. Applying the minds of system engineering and principles of ecology, this paper presents such thoughts as: ① the optimal forest-coverage rate calculated according to the reality of a district is set as the main standard of ecological rationality in the district; ② through considering the value of ecosystem services of the land with green equivalent (mainly cultivated land and grassland) and based on the rule: green equivalent, this paper introduces the area conversion between woods and crops, also between woods and grass. Sequentially the value of ecosystem (下转第 515 页)

Mathematical Definition on the Visual Variables of the Cartographic Symbols

WEI Wenzhan¹ ZHONG Yexun¹ HUANG Rentao² PENG Yueying¹

(1) Institute of Mathematics and Information Science, Guangxi Teachers' College, 175 Mingxiu Road, Nanning, China 530001)

(2) School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China 430079)

Abstract: Cartographic symbols are composed of different basic picture elements. According to the definitions in the topology and theory of set, the mathematical definitions of eight of visual variables which are form, size, direction, density, lightness, construction colour and place, are given in this paper.

Key words: visual variable; picture element; cartographic symbol; combination

About the author: WEI Wenzhan, professor. His main research orientations are geometrical theory of Banach space and the mathematical elements of cartography. His main achievements include research of geometrical properties of complex space and its martingale characterization, and the proof of cartographic symbol system belonging to Boolean algebraic one and its application.

E mail: weiwz@mail.gxtc.edu.cn

(上接第 498 页)

services of theirs is assessed; ③this paper establishes a multi-dimension controlling model of optimization of land use structure. Especially, a mathematic model of ecological optimization based on green equivalent is built. In addition, a multi-objective linear programming model for optimization of land use structure is designed. In the end, this paper tests and verifies this theory of ecological optimization based on green equivalent and the optimal forest-coverage rate with Qionghai City in Hainan Province as an example. This research is significant for rationality of land use structure and sustainable land use.

Key words: land use structure; forest-coverage rate; green equivalent; value of ecosystem services; multi-dimension optimization; multi-objective linear programming

About the author: LIU Yanfang, professor. She is mainly concentrated on the research and education in the urban environment studies land evaluation and land use planning. Her typical achievements of researches include assessment on urban anti-disaster ability and urban tourism resources land use planning, land evaluation modelling and GIS applications etc.

E mail: yliu610@sohu.com