

学科总览

大渡口区生态用地结构特征及其优化研究

林佳敏 臧亚君

生态用地是城市社会-经济-自然复合生态系统的必要组成部分，为城市发展提供了多种显著的生态系统服务。而随着工业化和城市化的快速推进，人类对于城市建设用地的需求日益增加，使得土地利用中建设用地面积不断增加，从而导致生态用地数量大幅度减少、质量明显降低，人类生存环境恶化，土地生态价值减少，土地生态系统遭到破坏，生态、社会、经济发展趋于不协调。为解决上述问题，有必要就生态用地的利用现状进行分析，掌握生态用地的结构特征，并进行有效的结构优化，使生态用地保持在一个可持续发展的状态，最大限度地发挥其生态价值，缓解社会快速发展引起的城市建设用地需求日益增加与生态环境保护之间的矛盾，使人类社会可持续发展。

大渡口区是重庆主城区之一，是重庆都市圈的重要组成部分，在重庆市经济发展中处于重要地位。对大渡口区的生态用地结构特征及其结构优化进行研究，实现经济效益、社会效益和生态效益的多重优化，不仅有助于大渡口区人口、资源与环境的协调发展，而且对整个区域的经济也具有带动作用，同时为大渡口区乃至整个重庆的土地利用总体规划的制定提供一定的科学依据和参考。

一、生态用地和生态绿当量的概念

1. 生态用地的概念和分类

生态用地指的是区域或城镇土地中以提供生态系统服务功能为主的土地利用类型，即能够直接或间接改良区域生态环境、改善区域人地关系的用地类型。生态用地不仅可以直接产生生态价值，还能通过其特殊的地形地貌影响周围的环境，从而间接地为人类提供生态价值，它具有维护生物多样性、保护和改善环境质量、减缓干旱和洪涝灾害、调节气候等多种生态功能。参考我国 1984 年土地利用分类体系和生态用地相关分类体系，以土地的主体生态系统服务价值作为划分土地类型的主要依据，将生态用地分为农田、林地和水体 3 大类，因此，将研究区的土地利用类型分为农田、林地、水体和建设用地 4 大类。具体土地利用分类见表 1。

表 1 基于生态用地分类的土地利用类型

土地利用类型	内容描述
农田	耕地（灌溉水田、望天田、水浇地、旱地、菜地）、园地（果园、桑园、茶园、其他园地）、

	牧草地 (天然牧草地、改良草地、人工草地)
林地	有林地、灌木林地、疏林地、未成林造林地、迹地、苗圃
水体	河流水面、湖泊水面、水库水面、坑塘水面、苇地、沟渠、水工建筑
建设用地	居民点及工矿用地 (城镇、农村居民点, 独立工矿用地, 特殊用地)、交通用地 (铁路、公路、农村道路)

2. 生态绿当量

为了保证城市生态系统的安全, 学者们提出绿当量的概念, 用“当量”来衡量各类用地的生态功能, 通过调整各类用地的数量, 优化土地利用结构, 增强综合生态系统服务功能, 弥补由于过度采伐和管理不得当而减弱的森林生态系统服务功能, 使地区总体生态达标, 保证城市生态安全。绿当量是指具有相当的生态功能的“绿量”, 以森林的生态功能作为标准, 得到其他绿色植被的绿量相对于等量森林面积的绿量的比率, 使两者绿量相当, 最终计算出区域总体的生态绿当量。其他绿色植被所能发挥的区域生态功能, 在保证等量的光合作用和恰当的布局时, 足以抵偿定量森林植被所能发挥的区域生态功能, 即绿量相当。

二、研究区概况

大渡口区位于重庆市主城区南部, 东临巴南区, 南接江津区, 西、北靠九龙坡区, 辖区面积为 10 455.12 公顷, 是重庆大都市区之一。大渡口区共辖 5 个街道、3 个镇: 新山村街道、跃进村街道、九宫庙街道、茄子溪街道、春晖路街道、八桥镇、建胜镇、跳磴镇。大渡口区属于川东平行岭谷区, 地貌类型受地层岩性、地质构造的影响, 背斜一般隆起成山, 向斜长期剥蚀后形成丘陵。地势由西北向东南呈阶梯状逐渐由高向低变化, 西部属中梁山脉, 以低山为主, 最高点海拔为 650 米; 中部和东南部以中丘、浅丘、平坝和沿河阶地为主, 最低点位于区内长江出境处, 海拔为 150 米, 相对高差 500 米。大渡口区属亚热带季风性湿润气候, 冬暖夏热, 无霜期长, 雨量充沛。常年平均气温 18.7℃, 冬季平均气温在 6~8℃, 夏季平均气温在 27~29℃。常年日照总时数 1 000~1 200 小时, 常年降雨量在 1 000~1 400 毫米。

三、大渡口区生态用地结构特征研究

1. 生态用地现状调研

研究区面积为 10 455.12 公顷, 大渡口区辖内有 5 个街道、3 个镇。根据《大渡口区土地利用总体规划(2006—2020 年)》, 要求到 2020 年, 全区耕地保有量不少于 300 公顷, 城乡建设用地规模控制在 5 750 公顷以内。选择的遥感影像是 2015 年 10 月 21 日拍摄的分辨率为 4.16 米的 GoogleEarth 遥感影像。在 Arcgis10.2 软件的帮助下, 运用目视解译与 GIS 技术相结合的方法, 对大渡口区的遥感影像进行解译分析, 并根据网络和实地调查的地面资料数据, 确定土地利用类型, 获取各土地利用类型数据, 并制作大渡口区土地利用现状图, 如图 1 所示。



图 1 大渡口区土地利用现状图

基于大渡口区的土地利用现状图，对大渡口区的生态用地结构进行分析。土地利用现状类型分为农用地、建设用地和未利用地，由获得的数据对其进行统计，得到土地利用现状表，见表 2。由上文得到，生态用地分为耕地（水田、旱地）、林地、园地、牧草地和水域，因此，进一步统计后得到生态用地现状表，见表 3。

基于大渡口区的土地利用现状图，对大渡口区的生态用地结构进行分析。土地利用现状类型分为农用地、建设用地和未利用地，由获得的数据对其进行统计，得到土地利用现状表，见表 2；由上文得到，生态用地分为耕地（水田、旱地）、林地、园地、牧草地和水域，进一步统计后得到生态用地现状表，见表 3。

表 2 土地利用现状表

	土地总面积（公顷）	土地利用现状类型	面积（公顷）	占全区总面积的比例（%）
大渡口区	10 455.12	农用地	6 316.44	60.41
		建设用地	4 138.68	39.59
		未利用地	0	0

表 3 生态用地现状表

	土地利用类型		面积（公顷）	比例（%）
	生态用地	耕地	水田	1 046.32
旱地			1 290.68	20.43
林地		1 906.66	30.19	
园地		994.25	15.74	
牧草地		0	0	
水域		1 078.53	17.07	

2. 生态用地结构特征研究

基于上文现状调研得到的数据，从数量结构和空间分布两方面，对大渡口区的生态用地结构特征进行分析研究。

1) 从数量结构方面研究

大渡口区全区土地总面积为 10 455.12 公顷，现有农用地 5 239.46 公顷，占全区土地总面积的比例为 50.11%，现有建设用地 4 138.68 公顷，占全区土地总面积的比例为 39.59%，现有未利用地 1 076.98 公顷，占全区土地总面积的比例为 10.30%。

大渡口区共有生态用地 6 316.44 公顷，其中，现有林地 1 906.66 公顷，占比 30.19%；现有耕地 2 337.00 公顷，占比 37.00%，其中水田 1 046.32 公顷，占比 16.57%，旱地 1 290.68 公顷，占比 20.43%；园地 994.25 公顷，占比 15.74%；水域 1078.53 公顷，占比 17.07%；全区内无牧草地。大渡口区的生态用地中，耕地面积最大，林地面积第二，水域面积第三，园地面积最小，无牧草地。

2) 从空间分布方面研究

北部和东部地区主要以建设用地为主，建设用地中主要是城镇、农村居民点和公路、农村道路，区域内还包含着少量的城市绿地。中部和南部地区主要是耕地、独立工矿用地和较大型的仓储用地，分布呈现出集中和分散相结合的特点，仓储用地分布皆较为集中。耕地的集中程度主要由地形决定，地形较为平坦的地区，耕地分布较集中；地形起伏较大的地区，耕地多以梯田的形式呈现。西部地区主要是林地、园地和部分耕地，由于西部属中梁山脉，其森林资源较为丰富，土地质量较好，因此是大渡口区林地、园地的主要分布区。大渡口区的生态用地主要集中在南部和西部地区，在北部、东部和中部地区也有零星分布。

3. 生态用地结构存在问题分析

上文从数量结构和空间分布两个方面，对大渡口区的生态用地结构特征进行了分析研究，根据研究结果，基于《大渡口区土地利用总体规划（2006—2020 年）》和大渡口区的都市核心圈地位，对区域内生态用地结构存在的问题进行分析研究，问题如下：

(1) 用地集约性不强。大渡口区内城市建设用地集约性不强，旧城和城中村改造进程缓慢，土地利用方式不合理，建设用地内部存在大量的土地浪费现象。

(2) 生态环境质量差。由现状调研可知，大渡口区主城区内用地多为建设用地，城市内部绿地面积较少，绿化结构简单，种植树木品种较为单一，公共绿地面积比例较小，沿江生态隔离带、道路绿化带存在不完善现象，部分地区的居住区绿化率较低，无法满足现代社会对城市生活环境质量的要求，建成区内部生态环境较差。

(3) 空间分布不合理。大渡口区生态用地之间的空间分布不合理，存在不科学现象，导致生态效益下降，社会、经济和生态三者的综合效益无法达到最佳，生态用地的生态服务功能减弱。

四、生态用地结构优化研究

为了优化生态用地结构，本文基于生态绿当量进行土地重分类，明确森林与耕地、草地等之间基于“绿量相当”的面积换算关系，计算出区域最佳森林覆盖率和区域内各类生态用地的生态绿当量，并将最佳森林覆盖率的生态优化标准与实际土地利用综合生态绿当量进行大小比较，以此为依据判断区域生态是否达标，若生态不达标，则制定相应结构优化方案，进行结构优化。

(一) 基于生态绿当量的土地重分类

根据生态绿当量的基本原理，将传统的土地利用类型分为三个大类，其中，生态用地包括具有绿当量的用地和隐含绿当量的用地。

- (1) 具有绿当量的用地：主要指耕地、园地、林地和牧草地，这些是可以量化估算绿当量的用地。
- (2) 隐含绿当量的用地：主要指水域，量化有难度，只能定性估算。
- (3) 不具备绿当量的用地：主要指商业用地、工矿用地和交通过地，其绿当量为零。

(二) 计算各类生态系统的生态服务分值

为了确定基于生态绿当量的最佳森林覆盖率，需要先确定区域各类生态系统的生态服务价值，引用日本专家通过调查法做出的评价分值表，从大气、水、土壤、自然灾害和生物五个方面对生态系统服务功能进行量化，基于大渡口区的实际数据，得到各类生态系统的各种环境保护功能评价分值表，见表4。

表4 生态系统各种环境保护功能评分分值表

功能	林地	水田	旱地	牧草地	水域	园地
大气组成改善-1	9.51	7.2	6.5	7.4	4.5	6.3
大气组成改善-2	10	5.1	5.1	5.48	5.1	7.3
大气净化-1	9.13	6.1	5.8	5.33	6.54	6.58
大气净化-2	8.91	6.5	5.8	5.34	6.43	6.69
气候缓和	9.45	6.2	5.4	4.9	9.32	6.46
防噪声	9.45	4.1	4	3.7	4.3	5.83
洪水防止	9.78	7.8	5.8	6.31	9.87	5.6
水源涵养	9.8	7.4	5.3	6.2	10	5.01
水质净化	9.45	7.3	6.7	6.43	9.8	5.83

续表

功能	林地	水田	旱地	牧草地	水域	园地
防止土砂崩溃	9.58	8.13	5.4	7.18	8.5	7.15
防止表面侵蚀	9.78	8.75	5.3	7.73	6.7	6.78
防止地面下沉	5.83	8.05	5.25	6.21	8.2	6.01
污染物净化	8.4	8	8.1	7.4	8.9	6.3
防止发生灾害	9.73	7.9	7.3	7.6	8.12	7.98
提供避难地	8.58	7	9.5	6.75	3.1	9.23
维持景观	9.12	7.4	7	7.93	9.89	7.74
维持娱乐空间	8.23	3.73	4.7	8.7	7.86	6.78
生物多样性保护	10	4.9	4.6	5.1	8.65	5.01
防止有害动植物	6.95	6	6	6.17	6.78	6.17
生态系统服务价值总分值	169.10	127.56	113.55	121.86	142.56	124.73

注：数值评价意义：10 为极大；7.5 为较大；5 为极小；大气组分改善-1，-2 分别表示吸收 CO₂ 和制造 O₂ 的生态服务功能；大气净化-1 表示吸尘滞尘的生态服务功能；大气净化-2 表示吸收有毒气体的生态服务功能。

表 4 中的各项分值已经考虑了各项环境功能指标的影响权重，可以分别对不同生态系统的 17 项环境保护功能评分分值进行累计求和，得到各项生态系统服务的总分值。计算得出，文中所需用地类型的生态系统服务价值：林地的生态系统服务价值为 169.10，水田为 127.56，旱地为 113.55，牧草地为 121.86，水域为 142.56，园地为 124.73。

(三) 计算各类生态系统的平均生态绿当量

以林地作为参考基准，在全年满种的前提下，假定林地的绿当量为 1.00。定义公式为

$$X = F_i / F_{林} \tag{1}$$

式中， X 为第 i 类土地利用类型的生态绿当量； F_i 为第 i 类土地利用类型的生态服务总分值； $F_{林}$ 为林地的生态服务总分值。计算可得林地的生态绿当量为 1.00，水田的生态绿当量为 0.75，旱地的生态绿当量为 0.67，牧草地的生态绿当量为 0.72，水域的生态绿当量为 0.83，园地的生态绿当量为 0.74。上述结果还应该乘以一个全年满种的生长期系数，重庆地区属于 1 年两熟地区，生长期系数取 0.67。上述结果（除水域和林地外）均乘以 0.67，得到大渡口区不同土地利用类型最终的生态绿当量，如表 5 所示。

表 5 各类用地生态绿当量

	土地利用类型	绿当量
具有生态服务价值用地	林地	1
	水田	0.5
	旱地	0.45
	园地	0.49
	牧草地	0.48
	水域	0.83

(四) 基于生态绿当量的土地利用结构优化模型

基于生态绿当量，对区域实际数据进行计算，计算得到区域最佳森林覆盖率，并以其作为优化标准，对于现有的土地利用结构进行评价，并结合经济目标、社会目标和生态目标进行综合优化，使三者优化效益最大化，该模型框架如图 2 所示。

根据土地利用结构优化系统框架，将计算得到的本区域最佳森林覆盖率的生态优化标准与区域实际生态绿当量的数值大小进行比较，衡量区域生态是否达标。因为本区域最佳森林覆盖率的生态优化标准为 1，即比较区域实际生态绿当量 X 与 1 的大小。若区域实际生态绿当量 $X \geq 1$ ，则区域生态达标；若区域实际生态绿当量 $X < 1$ ，则区域生态不达标，再次反馈，进行土地利用结构调整，优化土地利用结构，使区域生态达标。

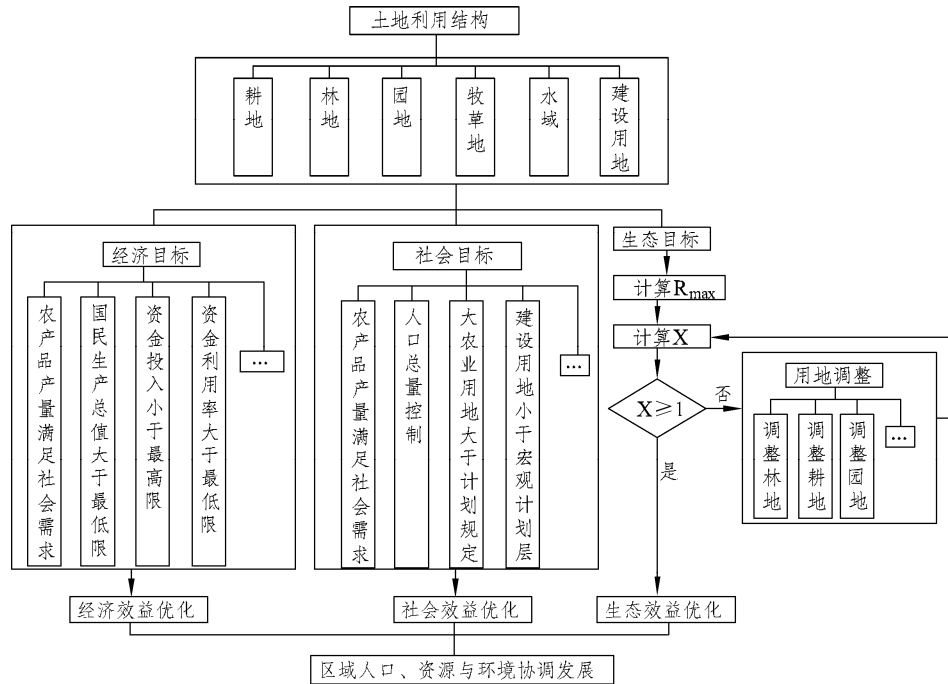


图2 土地利用结构优化系统框架

(五) 大渡口区最佳森林覆盖率计算

区域最佳森林覆盖率 R_{max} ，计算公式为：

$$R_{max} \% = (P \times S_1) / (W \times S_{总}) \times 100\% \quad (2)$$

式中， $S_{总}$ 为区域土地总面积 (hm^2)； P 为一年内日最大降水量 (t/hm^2)； S_1 为区域土地总面积减去城市、工矿、交通、水田面积之后的土地面积 (hm^2)； W 为森林土壤单位面积饱和蓄水能力 (t/hm^2)。根据2010—2015年大渡口区的实际情况调查得知， P 为 $2000 t/hm^2$ ， W 为 $2500 t/hm^2$ ， $S_{总}$ 为 $10455.1 hm^2$ ， S_1 为 $5911.9 hm^2$ ，由此计算得到大渡口区的最佳森林覆盖率为 $R_{max}=45\%$ 。

(六) 大渡口区实际生态绿当量计算

1. 区域综合绿当量计算

在进行生态优化时，首先要对区域的实际生态绿当量进行计算。设区域土地总面积为 $S_{总}$ ，最佳森林覆盖率为 R_{max} ，满足最佳森林覆盖率要求的林地面积为 $S_{林}$ ，区域实际林地面积为 $S_{实}$ ， i 代表用地类型 ($i=1, 2, 3, \dots$)， i 类用地的面积为 S_i ，绿当量为 g_i ，进行生态绿当量的计算，生态绿当量的计算步骤如下：

- ① 林地的生态绿当量，即为满足最佳森林覆盖率要求的生态绿当量，其数值为 1：

$$S_{林} = S_{总} \times R_{max} \quad (3)$$

- ② 区域实际林地的绿当量：

$$X_{林} = S_{实} / S_{林} \times 100\% \quad (4)$$

- ③ 区域各用地的绿当量：

$$X_i = S_i \times g_i / S_{林} \times 100\% \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5) \quad (5)$$

④ 区域全部用地的综合绿当量=区域实际林地的绿当量+区域其他用地的总绿当量 (除林地外)

$$(6)$$

2. 全区实际绿当量计算

大渡口具有生态服务价值土地利用类型面积及相应生态绿当量计算结果见表 6。

表 6 大渡口区各类用地生态绿当量

	土地利用类型	面积 (公顷)	绿当量	$S_{林}$ (公顷)	X_i (%)
具有生态服务价值用地	林地	1 906.66	1	4 729.64	40.31
	水田	1 046.32	0.5	4 729.64	11.06
	旱地	1 290.68	0.45	4 729.64	12.28
	园地	994.25	0.49	4 729.64	10.30
	牧草地	0	0.48	4 729.64	0
	水域	1 078.53	0.83	4 729.64	18.93

由表 6 可得：大渡口区全部用地的实际生态绿当量为 0.93，全区域总体生态不达标。

3. 分区实际绿当量计算

结合大渡口区产业及社会经济发展方向和目标，大渡口区土地利用总体规划中表明：北部和东部地区属主城区，区域内主要为建设用地，该区域应重点节约、集约用地，挖掘建设用地内部潜力，提高土地利用效率；中部和南部地区属综合发展区，该区域应在保护耕地的前提下，重点保障工矿用地和大型仓储用地；西部则重点保护天然林和各种林地、园地等，积极推进土地复垦，稳固生态屏障。因此，本文将大渡口区大致划分为城镇工矿仓储聚集区和农业发展与生态环境保护区两个区，并根据 ARCGIS 提取的各土地利用类型面积，分区计算绿当量。

① 城镇工矿仓储聚集区绿当量计算：

$$S_{总} = 5\,966.06 \text{ hm}^2$$

$$R_{max} = 21.64\%$$

$$S_{林} = 1\,291.06 \text{ hm}^2$$

$$X_{林} = 0.23$$

最终城镇工矿仓储聚集区的绿当量 $X = 0.83$ 。

② 农业发展与生态环境保护区绿当量计算：

$$S_{总} = 4\,489.06 \text{ hm}^2$$

$$R_{max} = 42.40\%$$

$$S_{林} = 1\,903.29 \text{ hm}^2$$

$$X_{林} = 0.67$$

最终农业发展与生态环境保护区绿当量 $X = 1.09$ 。

(七) 土地利用结构评价及其调整优化方案

因为大渡口区全部用地的实际生态绿当量为 $0.93 < 1$ ，说明目前大渡口区的整体土地利用方式不利于该区域的生态安全。同时根据分区绿当量的计算结果可以得出，城镇工矿仓储聚集区的生态绿当量小于 1，区域内生态用地分布过少，生态环境较差，导致生态安全状况堪忧，需针对该区域进行相应的用地调整；农业发展与生态环境保护区的生态绿当量大于 1，生态虽相对较为安全，但仍处于较为边缘的地带，需要进行改善。同时基于《大渡口区土地利用总体规划（2006—2020 年）》，以及大渡口区的都市核心圈地位，总体就建设用地内部结构优化和农业地调整两个大方向，进行土地利用结构调整，并制作优化后各类用地面积变化表，如表 7 所示。

(1) 节约、集约利用城市建设用地，加快大渡口区内老旧小区和城中村的改造进程，减少土地浪费现象。并通过增加大渡口区城市绿地种植的树木种类，丰富城市绿化结构，增加居住区绿化率和完善道路绿化带，提高城市公共绿地面积比例，从而增加城市内部绿地面积，提高建成区内部生态环境质量，共增加的绿地面积为 10 公顷。

(2) 在保障粮食安全和在不突破大渡口区的耕地目标值的前提下，按照耕地质量高低，对坡度较大或土质较差的耕地实行优先退耕，共实现退耕 218 公顷，并根据实际情况，对区域内条件较好的废弃地进行复垦，提高土地利用效率，共实现复垦增加耕地面积 253 公顷。

(3) 适应大渡口区发展畜牧养殖业的产业规划，满足城市发展需求，在整体规划条件下，在中、南部地区适量发展牧草地，共增加牧草地面积 40 公顷。

(4) 出于现状与目标值差距较大的考虑，以大渡口区内现有的已治理水库（红领巾、陈家郭、口袋沟、翠湖）为基础，结合实际情况和城市规划进行城市湿地公园的修建，在提高城市生态效益的同时，为城市居民提供一个极好的休闲场所和亲水景观。

(5) 以大渡口区内现有的生态廊道为基础，设置并完善区内沿江生态隔离带、道路绿化带、高压线生态绿色廊道等，并根据各区域绿地的连接原则，使区域内的道路生态廊道、生态隔离带、河流生态廊道、高压线廊道等形成一个整体的网络状生态系统。

(6) 以大渡口区已有的大渡口义渡公园、大渡口森林公园以及大大小小的城市公园为基础，对区内现有城市公园绿地进行改建和扩建，并结合区内老旧小区和城中村改造、工厂搬迁、大型公建的开发建设等，开辟新的公园绿地，增加公园林地面积，丰富种植树木种类，完善城市生态绿地建设，改善城市生态环境，共增加林地 296 公顷。

表 7 优化后各类用地面积变化表

	土地利用类型	优化前面积 (公顷)	增加面积 (公顷)	优化后面积 (公顷)
具有生态服务价值用地	林地	1 906.66	306	2 212.66
	水田	1 046.32	0	1 046.32
	旱地	1 290.68	35	1 325.68
	园地	994.25	0	994.25
	牧草地	0	40	40
	水域	1 078.53	0	1 078.53

(八) 优化后各类用地生态绿当量计算

对土地利用结构优化后的各类用地再次进行生态绿当量计算，检验土地利用结构优化后，生态是否达标，优化后各类用地生态绿当量见表 8。

表 8 优化后各类用地生态绿当量

	土地利用类型	面积 (公顷)	绿当量	$S_{林}$ (公顷)	X_i (%)
具有生态服务价值用地	林地	2 212.66	1	4 729.64	46.78
	水田	1 046.32	0.5	4 730.64	11.06
	旱地	1 325.68	0.45	4 731.64	12.61
	园地	994.25	0.49	4 732.64	10.3
	牧草地	40	0.48	4 733.64	0.41
	水域	1 078.53	0.83	4 734.64	18.93

优化后，大渡口区全部用地的实际生态绿当量为 1.001，所得数据大于 1，说明区域生态达标，生态得到优化，优化后的土地利用结构有利于区域生态安全。

五、结论

本文在土地利用现状调研的基础上，进行土地利用结构调整，优化土地利用结构，使区域生态得到优化。引入生态绿当量的概念，通过最佳森林覆盖率的计算，确定区域结构优化标准，基于生态用地利用的现状数据，运用生态绿当量模型，对各类用地的生态服务价值进行定量研究，通过区域综合实际生态绿当量与理想生态绿当量之间数据大小的比较，判断该区域是否满足生态标准。不满足生态标准的，通过各类用地面积的增减，进行土地利用结构优化，使调整后的区域综合生态绿当量满足优化标准，区域生态安全达标，同时也为科学制定土地利用总体规划和城市规划提高参考和依据。

参考文献

- [1] 董雅文，周雯，周岚，周惠. 城市化地区生态防护研究——以江苏省南京市为例[J]. 城市研究，1999(2): 6-10.
- [2] 张红旗，王立新，贾宝全. 西北干旱区生态用地概念及其功能分类研究[J]. 中国生态农业学报，2004, 12(2): 5-8.
- [3] 唐运平，张征云，孙贻超，温娟，姚立英，李月. 天津市生态用地需求预测与布局规划[J]. 中国科技成果，2008(11): 4-11.
- [4] 柏益尧，李海莉，程志光，左玉辉. 生态用地与“三地平衡”[J]. 环境污染与防治：网络版，2004(4).