

# 基于 DEM 的烟台市农用土地适宜性评价

闫潍虹<sup>1</sup>, 衣华鹏<sup>1</sup>, 程振龙<sup>1</sup>, 王广焯<sup>1</sup>, 龚围<sup>1</sup>, 张鑫<sup>2</sup>

(1. 鲁东大学 资源与环境工程学院, 山东 烟台 264025; 2. 烟台市国土资源局, 山东 烟台 264003)

**摘要:** [目的] 根据“耕地优先, 兼顾园、林、草用地”的原则, 进行烟台市农用土地适宜性评价, 为烟台市土地合理利用提供理论依据。[方法] 以山东省烟台市为研究区域, 以 DEM 数据为基础, 运用 ArcGIS 的空间分析功能提取海拔高度、坡度、地表起伏度, 结合有效土层厚度因子, 确定最佳农用土地适宜性评价指标体系, 生成耕地、园地、林草地的适宜性等级分布图, 最终得到烟台市农用土地适宜等级的空间布局。[结果] 与烟台市第二次土地调查数据进行对比, 烟台市目前的土地利用以耕地为主, 占土地总面积的 33%, 大于适宜性耕地面积; 实际园地面积小于适宜性面积; 林草地的实际面积略小于适宜性面积。[结论] 烟台市土地利用存在一定的不合理性, 具有一定的调整空间。

**关键词:** DEM; 烟台市; 农用土地; 适宜性评价; 评价因子

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2016)06-0210-06

**中图分类号:** P967, P208

**文献参数:** 闫潍虹, 衣华鹏, 程振龙, 等. 基于 DEM 的烟台市农用土地适宜性评价[J]. 水土保持通报, 2016, 36(6): 210-215. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.06.036

## Evaluation of Land Suitability in Yantai City Based on DEM

YAN Weihong<sup>1</sup>, YI Huapeng<sup>1</sup>, CHENG Zhenlong<sup>1</sup>, WANG Guangxuan<sup>1</sup>, GONG Wei<sup>1</sup>, ZHANG Xin<sup>2</sup>

(1. School of Resource and Environment Engineering, Ludong University, Yantai, Shandong 264025, China; 2. Yantai Municipal Land and Resources Bureau, Yantai, Shandong 264003, China)

**Abstract:** [Objective] According to the principle of giving priority to cultivated land and secondarily considering garden, forest and grass land in land management, the suitability evaluation of the agricultural land was carried out to provide a theoretical basis for rational using of the lands of Yantai City. [Methods] Taking Yantai City of Shandong Province as the study area, using the function of ArcGIS spatial analysis to extract evaluation factors as altitude, slope, relief degree of land surface from DEM data. Combining with soil thickness investigation, the best suitability evaluation index system of agricultural land were determined. Upon which, the distributional suitability rank map of cultivated land, garden, forest and grass land was generated, and the spatial distribution of agricultural land suitability level of Yantai City was formed. [Results] In comparison with the data of second land survey of the Yantai City, the major area of land using was cultivated land, took up about 33% of the total land and covered more than the suitable area. Actual area of garden was smaller than the suitability area, and the actual forest and grass land area was a little less than the suitable area. [Conclusion] The land using of Yantai City is not reasonable, and has a certain room to be adjusted.

**Keywords:** DEM; Yantai City; agricultural land; suitability evaluation; evaluation factors

土地资源是人类赖以生存和发展的最根本的物质基础,也是进行农业生产的最基本的物质条件<sup>[1]</sup>。土地适宜性评价是指综合分析某块土地的自然属性

和社会属性,评定该块土地对于某种特定用途是否适宜以及适宜的程度如何,是土地合理利用与科学规划的依据<sup>[2]</sup>。科学的土地评价起源于美国的土地潜力

收稿日期:2016-05-19

修回日期:2016-06-04

资助项目:国家自然科学基金项目“异质的植物空间分布格局和生态学机制研究”(31000197),“黄河口生态恢复工程对湿地氮循环关键生物地球化学过程的影响”(41171424),“海岛植物群落构建机制研究:以庙岛群岛为例”(31570423)

第一作者:闫潍虹(1991—),女(汉族),山东省潍坊市人,硕士研究生,主要研究方向为水土资源开发与高效利用。E-mail:weihongyan1228@163.com。

通讯作者:衣华鹏(1965—),女(汉族),山东省烟台市人,学士,教授,硕士生导师,主要从事土地资源开发利用方面的科研教学工作。E-mail:huapengyi@sina.com。

评价,20 世纪中叶,我国将较系统的土地评价工作应用在荒地调查当中,随后联合国粮农组织(FAO)《土地评价纲要》的颁布与引进,有效推动了我国土地适宜性评价工作的进展<sup>[3]</sup>。

数字高程模型(digital elevation model, DEM)在 20 世纪中叶由美国麻省理工学院(MIT)的 Miller<sup>[4]</sup>首次提出,它是用一组有序数值矩阵表示地面高程的一种实体地面模型,DEM 数据当中蕴含着大量的地表形态信息,是进行土地适宜性评价的基础。地理信息系统(geographic information system, GIS)在我国起步较晚,但是发展迅猛,20 世纪末,黄杏元等<sup>[5-6]</sup>最先将 GIS 的原理和方法应用于土地适宜性评价。基于 DEM 数据运用 GIS 空间分析功能进行的土地适宜性分析与传统的土地适宜性分析相比,不仅可以节约时间、提高工作效率,而且大大提高了工作的精度和准确度、减小了误差,为土地适宜性评价工作带来了便捷,因此,在土地适宜性评价领域得到了广泛的应用和发展,尤其是农用土地的适宜性评价<sup>[7-8]</sup>。

烟台市地形特殊,山地丘陵分布较广,适宜发展园艺和林业生产,因此,烟台地区的苹果、梨、葡萄和大樱桃等各种水果享誉海内外。但是,随着经济的发展和人口的增长,为了更好地满足生产生活的需要,开始出现了毁林开荒造田、果园挤占优质耕地等现象。本研究根据“耕地优先,兼顾园、林、草用地”的原则,对烟台市进行了农用地适宜性评价,以期为更合理地规划利用该市农用地提供理论依据。

## 1 研究区概况

烟台市位于山东半岛的东北部,地理坐标为 119°34′—121°57′E,36°16′—38°23′N。东与威海相连,南与青岛相邻,西与潍坊相接,北部濒临渤海、黄海,地理位置十分优越,是中国首批沿海开放城市之一,也是连接环渤海经济圈的节点城市。该市土地总面积约  $1.38 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,现辖芝罘区、莱山区、福山区、牟平区 4 个市辖区及长岛县,代管龙口市、莱阳市、莱州市、蓬莱市、招远市、栖霞市、海阳市 7 个县级市和国家级经济技术开发区、高新技术产业开发区、保税港区及昆嵛山生态自然保护区 4 个功能区,海岸线长约 909 km,有 63 个岛屿,总人口约 702 万。烟台地形以低山丘陵为主,其中山地占 36.62%、丘陵占 39.7%、平原占 20.78%,低山区主要分布于烟台市的中部,最高峰为昆嵛山,其海拔为 923 m,丘陵区则分布于低山区的周围,地势总体而言是中间高四周

低。气候属于暖温带大陆性季风气候,四季分明,光照充足,年平均气温为 12.7 °C,年平均降水量为 651.9 mm。烟台市河网比较发达,河流众多,多属于季风雨源型河流。烟台市土壤类型主要是棕壤、褐土和潮土,其中棕壤占土地总面积的 77.79%;植被属暖温带落叶阔叶林区。

## 2 数据来源及预处理

所用 DEM 数据是从地理空间数据云网站(<http://www.gscloud.cn/>)下载的分辨率为 90 m 的 ASTGTM\_DEM 数据,经过 ArcGIS 进行镶嵌、裁剪、投影转换等处理,最后得到烟台市的 DEM 数据。烟台市第二次土地调查数据由烟台市国土资源局提供。

## 3 农用地适宜性评价

农用地适宜性评价是土地适宜性评价的主要内容之一。农用地适宜性评价是指综合分析某块农用地的自然属性和社会属性,评定该农用地对于某种农业生产是否适宜以及适宜的程度如何,其评价过程主要包括评价对象的确定、评价因子的选取、评价指标的分级处理、评价因子权重的确定、评价体系的建立等<sup>[9-10]</sup>。

### 3.1 评价对象的确定

在进行农用地适宜性评价之前,首先要确定评价对象。《中华人民共和国土地管理法》中指出,按照用途土地可分为农用地、建设用地和未利用地 3 大类,其中农用地是指直接用于农业生产的土地,具体分为耕地、园地、林地、草地、农田水利用地、养殖水面等<sup>[11]</sup>。根据第二次土地调查的烟台市土地利用现状,确定烟台市目前的土地利用类型主要包括耕地、园地、林地、草地、城镇村及工矿用地、交通运输用地、水域及水利设施用地和其他用地等。

烟台市土地的利用类型比较繁多,需对农用地的实际利用情况进行综合分析。城镇村及工矿用地、交通运输用地、水域及水利设施用地等用途目前非常明确,并且比较稳定,短时间内土地利用方式不会改变;同时由于耕地、园地、林地、草地在农用地中占的比例比较大,而且与农业生产的联系最为密切,但是考虑到烟台市的具体情况,草地多分布在高大的乔木林地中,故将草地归到林地一类,最终确定本次农用地适宜性评价对象为耕地、园地和林草地。

### 3.2 评价因子的选取

评价因子的选取是农用地适宜性评价工作顺

利进行的关键。影响农用地适宜性评价的因素有很多,包括地形地貌、气候、水文、土壤等各种自然条件以及劳动力、科技水平、交通运输等社会经济条件<sup>[12]</sup>。农用地适宜性评价结果并非评价因子选取的越多越准确,但是选取太少也会影响评价结果,评价因子的选取应遵循一定的原则:综合性、主导性、差异性、针对性、现实性、独立性等<sup>[13-14]</sup>。依据评价因子选取的原则,结合实际情况,采取经验法来选取评价因子。鉴于本文主要基于 DEM 数据对烟台市的农用地适宜性进行评价,而且由于研究区域内的地质基础和土壤整体状况较为一致,社会经济状况对评价对象的影响不大,因此,最终优先选取了海拔高度、坡度、地表起伏度和有效土层厚度 4 个评价因子。

### 3.3 评价指标的分级处理

3.3.1 评价因子的指标分级 由于耕地、园地和林草地对各种适宜性评价因子的要求不同,因此不同的土地利用类型具有不同的评价指标。参考以往各评价因子指标分级的具体情况,结合烟台市实际情况,采取经验法对海拔高度、坡度、地表起伏度和有效土层厚度进行单因子分级,各因子间划分的等级数目不强求一致,各评价因子的分级指标详见表 1。

(1) 海拔高度。海拔高度能够反映热量和水分的分布状况,而热量和水分又影响农作物种类、生长与布局,因此不同的海拔高度农用地的适宜性不同。根据烟台市 DEM 数据,地面高程变化较大,最后将海拔高度划分为: $\leq 50$  m, 50~200 m, 200~500 m 及  $> 500$  m 共 4 级。(2) 坡度。坡度对农业生产的影响主要表现在地表侵蚀程度和土地利用等方面。土

壤侵蚀度与坡度成正相关,坡度越陡,土壤侵蚀越严重,水土流失越明显,水土流失导致土壤肥力降低,影响到土地的农业利用。《水土保持综合治理规划通则》指出,坡度组成一般分为 5 级: $< 5^\circ$ ,  $5^\circ \sim 15^\circ$ ,  $15^\circ \sim 25^\circ$ ,  $25^\circ \sim 35^\circ$ ,  $> 35^\circ$ ;《第二次全国土地调查技术规程》中也指出,耕地坡度分为 5 级,即  $\leq 2^\circ$ ,  $2^\circ \sim 6^\circ$ ,  $6^\circ \sim 15^\circ$ ,  $15^\circ \sim 25^\circ$ ,  $> 25^\circ$ 。根据以上 2 种坡度等级划分,结合烟台多低山丘陵地貌的实际情况,将坡度划分为以下几类: $\leq 2^\circ$ ,  $2^\circ \sim 6^\circ$ ,  $6^\circ \sim 15^\circ$ ,  $15^\circ \sim 25^\circ$ ,  $> 25^\circ$ 。(3) 地表起伏度 (relief degree of land surface, RDLS)。RDLS 是特定地域内最高点海拔和最低点海拔的差值,它反映宏观地域内地形特征<sup>[15]</sup>。RDLS 的大小,影响土地的使用功能和稳定性,且不同地物对地表起伏度有严格的技术要求,结合烟台实际情况对 RDLS 进行划分,即  $\leq 10$  m, 10~50 m, 50~100 m 和  $> 100$  m。(4) 有效土层厚度 (soil thickness)。不同的土壤有不同的土壤剖面构型,根据生物地理学的相关原理,自然土壤自上而下依次分为有机质层、淋溶层、淀积层、母质层和母岩层;耕作土壤自上而下依次是耕作层、犁底层、淀积层、母质层和母岩层。通常所说的有效土层是指具有肥力特征的有机质层或耕作层<sup>[16-17]</sup>。有效土层是肥力状况最好的土层,植物的根系和大部分微生物也集中在此,有效土层厚度是指能生长植物的实际土层厚度,不同的土壤类型具有不同的有效土层厚度。本文参考烟台市土壤志中关于烟台各土壤类型的土层厚度相关数据对有效土层进行划分,分别是: $\leq 30$  cm, 30—60 cm, 60—100 cm,  $> 100$  cm。

表 1 评价因子的分级指标

指标分级	一级指标	二级指标	三级指标	四级指标	五级指标
海拔高度/m	$\leq 50$ (平原)	50~200(低丘陵)	200~500(高丘陵)	$> 500$ (山地)	
坡度/ $^\circ$	$\leq 2$ (平地)	2~6(缓坡)	6~15(斜坡)	15~25(陡坡)	$> 25$ (急坡)
地表起伏度/m	$\leq 10$	10~50	50~100	$> 100$	
有效土层厚度/cm	$\leq 30$	30~60	60~100	$> 100$	

3.3.2 评价因子的 GIS 处理 基于烟台市 DEM 数据,运用 ArcGIS 的空间分析功能进行评价因子的提取分析,可以得到各评价因子的空间分布图。依据表 1 列出的各评价因子的分级指标,利用 ArcGIS 的重分类功能对评价因子进行分类,最后可以得到烟台市海拔高度、坡度、地表起伏度和有效土层厚度 4 个土地适宜性评价因子的分级示意图(图 1)。其中,有效土层厚度分级示意图是在各土壤类型的土层厚度数字化的基础上,根据有效土层厚度与坡度的负相关

关系,利用 ArcGIS 提取得到。图 1 利用 ArcGIS 的空间分析功能和重分类功能,将 DEM 数据中的空间数据和属性数据清晰地反映在图斑上。从图 1 可以看出,烟台市海拔普遍不高,其中丘陵地形分布最为广泛,占总面积的 71.11%;坡度比较平缓,以平地、缓坡和斜坡为主,陡坡和急坡分布较少;地表起伏度较小,烟台市 92.09%的土地地表起伏度在 50 m 以下;土壤肥沃,有 44.46%的土地有效土层厚度大于 100 cm。

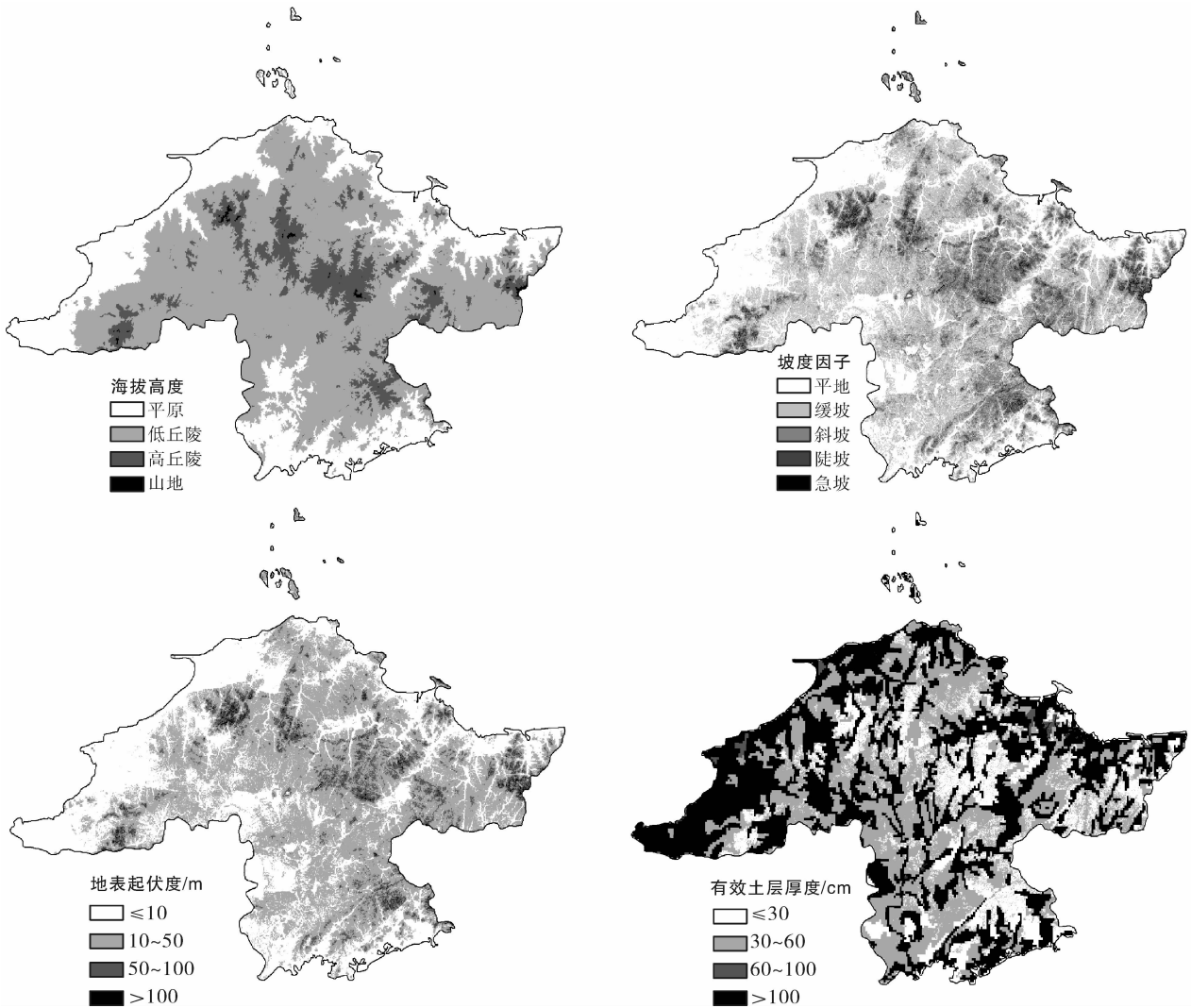


图 1 研究区各评价因子分级示意图

### 3.4 评价因子权重的确定

在农用地适宜性评价中,由于每个评价因子对评价对象的贡献大小和适宜程度不同,在计算得到各个评价因子数据后,需对这些评价因子数据赋予权重值,采用层次分析法来计算各因子的权重值。本文采用专家咨询法建立评价层次性指标,将每个权重因子两两进行比较,按照重要性标准,建立相应的判断矩阵。检验判断矩阵的一致性,如果求得的相对一致性指标 CR 小于 0.1 则一致性好,大于 0.1 则不好,需要重新调整判断矩阵。经过反复调整和检验,通过一致性检验,然后利用求和法求解各评价因子的权重,最后计算出耕地、园地和林草地的各评价因子的权重(表 2)。

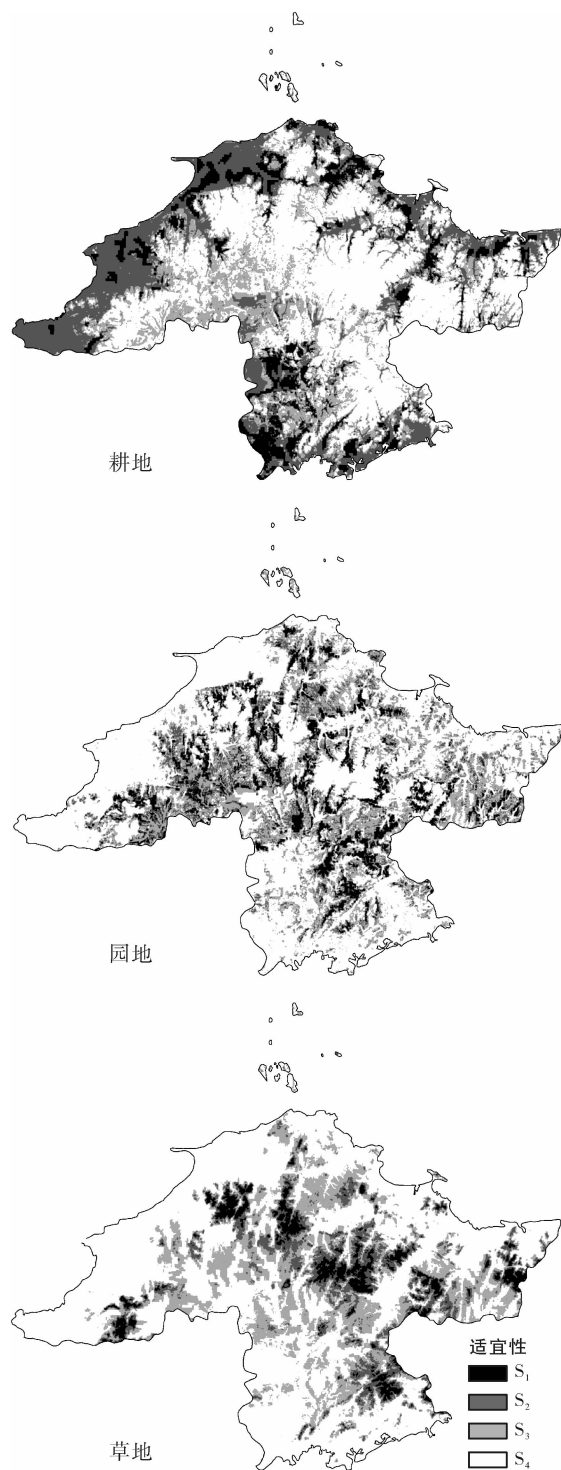
表 2 研究区各评价因子权重

评价因子	宜耕地	宜园地	宜林草地
海拔高度	0.28	0.29	0.33
坡度	0.29	0.30	0.30
地表起伏度	0.14	0.18	0.17
有效土层厚度	0.29	0.23	0.20

### 3.5 评价体系的建立

以 FAO《土地评价纲要》中土地适宜性评价的基本内容为依据,根据烟台市的实际情况,将耕地、园地和林草地的土地适宜性分为 4 等:高度适宜、中度适宜、临界适宜和不适宜。高度适宜代表土地利用高度适宜,土地适宜性评价的各项因子对土地的可持续利用没有明显限制,土地具有较高的生产效益;中度适宜表示土地利用一般适宜,土地适宜性评价的各项因子对土地利用具有轻微的限制性,生产效益一般;临界适宜代表土地适宜性评价的各项因子对土地利用具有较为明显的限制性,勉强适宜于该用途,土地的生产效益很低;不适宜是指当前的社会经济条件下,这类土地不能利用或不能持续利用<sup>[18-19]</sup>。地物对评价因子的作用和反映具有明显特征,表现为一定的适宜范围,即三基点—上限值、最适值、下限值。不同的土地利用类型对土地生态环境要素的需求构成了需求生态位。

参照 FAO 中提出的土地适宜性评价原则和方法,依据极限法,结合烟台市具体的自然环境状况,确定了评价对象的最适宜指标范围(表 3)。参考表 3 评价对象的最适宜指标范围,运用 ArcGIS 对评价对象进行量化处理并分级,得到土地适宜性分级示意图(图 2)。



注:  $S_1$  代表高度适宜,  $S_2$  代表中度适宜,  $S_3$  代表临界适宜,  $S_4$  代表不适宜;综合运用生态位法和极限法,结合烟台实际情况,把  $S_1, S_2$  定义为适宜区,而  $S_3, S_4$  为不适宜区。

图 2 研究区土地适宜性分级示意图

表 3 评价对象的最适宜指标范围

对象	海拔高度/m	坡度/(°)	地表起伏度/m	有效土层厚度/cm
耕地	0~100	0~6	0~10	>100
园地	100~200	3~15	10~20	>50
林草地	>150	>6	>20	>30

## 4 结果分析

利用 ArcGIS 的计算功能对以上数据进行计算统计,宜农用地共  $9.82 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 占该市土地总面积的 70.88%。其中,宜耕用地面积最大,为  $4.34 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 占土地总面积的 31.34%, 主要分布在烟台周边地势平缓、海拔相对较低的滨海平原、盆地及低丘陵地区;宜园用地面积为  $2.56 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 占全市土地总面积的 18.46%, 宜园用地主要分布在中部山地外围的低丘陵地区;宜林草用地面积为  $2.92 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 占全市土地总面积的 21.07%, 宜林草用地主要分布在中部海拔较高的山地丘陵地区。在烟台市宜园用地的面积具有相对优势,可开发潜力大,结合烟台市的地域优势,因地制宜,充分利用丘陵山地、荒坡地等发展烟台的特色果业,可适当地扩大果园地规模和数量,建设干鲜果生产基地。将上述所得的土地适宜性评价结果数据与第二次土地调查的数据进行对比分析,结果表明,烟台市土地利用存在一定的不合理性。其中,现有耕地面积  $4.51 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 超出适宜性耕地面积  $1.64 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 超出部分大多集中在丘陵山地地区,属于坡度大于  $15^\circ$  的坡地。由于坡度较大,水土流失较重,一般而言,土地的坡度超过  $15^\circ$ , 地面径流落差加大至水土流失的临界点,便不利于农作物的生长。利用 ArcGIS 将上述所得的土地适宜性评价栅格结果数据与土地利用现状栅格数据进行栅格空间叠加,提取烟台市不合理的土地利用区域(图 3),结果表明,烟台市建议退耕还园的耕地面积有  $1.45 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 建议退耕还林的耕地面积有  $7900 \text{ hm}^2$ , 说明第二次土地调查结果中不适宜发展耕作业的现有耕地有  $2.24 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 在确保该市耕地红线的情况下,应予以退耕还园、退耕还林。

据第二次土地利用调查,现有园地面积为  $2.39 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 宜园面积超过现有园地面积  $1.65 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。其中,前几年受价格剪刀差的影响,存在着部分地势平缓的优质耕地被果园挤占的现象,这部分土地地势低平、土层深厚、土壤肥沃,非常适宜发展耕

作业,应予以退园还耕,建议退园还耕的园地面积有 $2\,800\text{ hm}^2$ (图3);还有一部分土地海拔较高、坡度较陡,不适宜发展园业生产,对于这部分不适合发展园业的丘陵山地,建议退园还林,发展各种类型的用材林和水源涵养林,这部分面积有 $2\,900\text{ hm}^2$ (图3)。实现退耕还园后可以增加园地面积 $1.45\times 10^4\text{ hm}^2$ ,累计尚有 $8\,800\text{ hm}^2$ 可用于发展果业生产。可见果业有很大的发展空间,是未来烟台市产业发展的优势,应该因地制宜充分利用自然资源,加大果园的种植面积,丰富果园类型,壮大本市果业。现有林草用地面积 $2.87\times 10^5\text{ hm}^2$ ,比适宜性面积小 $4\,500\text{ hm}^2$ ,说明本市在水土保持方面做得比较好,但是,也存在不合理的现象。有 $7\,800\text{ hm}^2$ 的现有林草地分布在海拔相对较低、地势低平、土层深厚的低丘陵缓坡和斜坡地区,这部分土地适宜发展耕作业和果业,但是,由于这部分林草地主要为苗圃和各种防护林,所以不建议退林还耕、退林还园。此外,考虑到烟台市的地域特点,结合产业优势,牧草业不是当地的主要产业,不适合大面积推广,在现有林地区域,可以考虑适当增加草地面积,提倡乔、灌、草相结合,以草养灌、以灌养林,充分利用生态位分化理论,发挥土地的最大利用效率,增加地面覆盖度,保土蓄水,涵养水源。

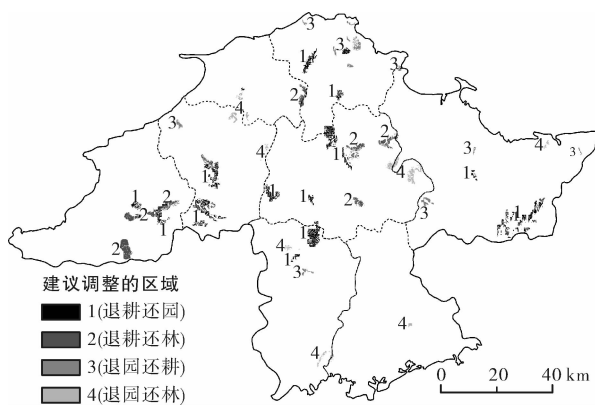


图3 研究区不合理土地利用分析图

## 5 结论及建议

(1) 烟台市各种土地利用类型的比例基本合理,农用地适宜性从高到低依次是耕地、林草地、园地。

(2) 烟台市目前的土地利用以耕地为主,现有耕地比宜耕地面积大 $1.64\times 10^4\text{ hm}^2$ ,对于位于宜耕区的现有耕地要切实保护,用地与养地相结合,依据自然条件发展多种作物生产,充分利用地力,但是在确保本市耕地红线的情况下,对于不适宜耕作区的海拔较高、坡度较陡、土层厚度小的现有耕地建议退耕还

园、退耕还林,累计面积有 $2.24\times 10^4\text{ hm}^2$ 。

(3) 实际园地面积比适宜性面积小 $1.65\times 10^4\text{ hm}^2$ ,应该因地制宜,充分利用烟台市得天独厚的自然条件,发展果业生产,丰富果园类型,把烟台建设成面向世界的干鲜果生产基地,但是对于宜耕区的地势平缓、土壤肥沃的 $2\,800\text{ hm}^2$ 园地,建议退园还耕,避免园地挤占优质耕地,对于宜林草区的海拔较高、坡度较陡的 $2\,900\text{ hm}^2$ 园地,建议退园还林,解决好用地矛盾。

(4) 林草地的实际面积略小于适宜性面积 $4\,500\text{ hm}^2$ ,说明烟台在水土保持方面做得较好,但是,还需进一步加大水土保持力度,注意乔、灌、草相结合,提高土地利用率,此外,目前烟台市也有 $7\,800\text{ hm}^2$ 的林草地位于海拔相对较低、土壤肥沃的宜耕区和宜园区,由于这部分林草地主要为苗圃和各种防护林,所以不建议退林还耕、退林还园。

(5) 通过适宜性分析发现,烟台市土地利用存在一定的不合理性,具有一定的调整空间,建议对不适宜的区域合理调整土地利用类型,优化农业产业布局,充分发挥土地的最大生产潜力,实现可持续发展。

(6) 本研究是在烟台市土地利用适宜性评价的基础上,针对烟台市现有土地利用情况提出土地资源合理利用的建议,对合理化的产业布局有一定指导意义。受时间和资料所限,本文选取的土地适宜性评价因子有限,偏重于土地自然属性,忽略了社会经济因素对土地适宜性及对生产生活的影响;而且权重和评价指标体系的确定,采用专家咨询法,一定程度地加入了人为主观因素;此外,由于DEM数据分辨率和GIS数据分析过程中的误差,对土地的适宜性评价结果也有一定的影响。

### [参考文献]

- [1] 李萍. 基于GIS的醴陵市土地适宜性评价研究[D]. 湖南长沙:湖南农业大学,2005.
- [2] 陈然. 基于GIS的农村土地生态适宜性评价及应用研究[D]. 江苏南京:南京农业大学,2011.
- [3] 张成刚,王卫. 基于GIS/RS的冀北地区农用地适宜性评价[J]. 安徽农业科学,2006,34(16):3911-3913.
- [4] 王智勇. DEM支持下的日照市茶树土地适宜性评价[D]. 山东济南:山东师范大学,2007.
- [5] 肖燕,刘凯. 黄淮海平原农业用地适宜性综合评价研究:以聊城市为例[J]. 安徽农业科学,2010,38(24):13358-13361.
- [6] 姚丹丹,苗放,杨文晖,等. 基于GIS的四川省农业土地适宜性评价研究[J]. 物探化探计算技术,2015,37(3):403-408.

(下转第222页)

# 冀北山地杨桦低效林改造的效益分析

马娇娇<sup>1</sup>, 王海涛<sup>2</sup>, 王海明<sup>2</sup>, 肖志军<sup>2</sup>, 黄冬梅<sup>3</sup>, 谷建才<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000;

2. 河北木兰围场国有林场管理局, 河北 承德 068450; 3. 河北农业大学 理学院, 河北 保定 071000)

**摘要:** [目的] 分析研究冀北山地杨桦低效林改造的成果, 为该地区的森林健康经营理论提供参考。[方法] 采用生态疏伐后人工林下更新的方式进行改造, 并以定量计算的方式对改造后样地和未改造对照样地分别从林地生产力、固碳释氧功能、水源涵养功能 3 方面进行效益分析。[结果] 改造后的样地较对应的对照样地在总体效益方面具备很大优势, 具体高出值分别为 25 008.89 和 14 802.17 元/ hm<sup>2</sup>, 增长率分别为 16.6%, 14.6%。其中林地生产力价值分别高于对照样地 44.9%, 73.11%; 固碳释氧价值分别高出 13.4%, 9.2%; 涵养水源价值分别高出 5.4%, 2.6%。[结论] 对杨桦低效林进行生态疏伐、人工林下更新改造后, 林分质量得到显著改善, 提高了林地生产力和林分生态功能的同时, 带来了经济效益的增长。

**关键词:** 冀北山地; 杨桦低效林; 改造; 效益分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)06-0216-07

中图分类号: S756.5

**文献参数:** 王海涛, 王海明, 肖志军, 等. 冀北山地杨桦低效林改造的效益分析[J]. 水土保持通报, 2016, 36(6): 216-222. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.06.037

## Reform Benefits of Inefficient Poplar and Birch Stands in Mountainous Area of Northern Hebei Province

MA Jiaojiao<sup>1</sup>, WANG Haitao<sup>2</sup>, WANG Haiming<sup>2</sup>, XIAO Zhijun<sup>2</sup>, HUANG Dongmei<sup>3</sup>, GU Jiancai<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000,

China; 2. Mulan Weichang Forestry Administration of Hebei Province, Chengde, Hebei 068450,

China; 3. College of Science, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

**Abstract:** [Objective] The objective of this study was to analyze the result of reforming inefficient poplar and birch stands in order to provide a theory reference for the forest health management for the region. [Methods] We reformed the stands by the means of ecological thinning and regeneration under forest canopy, and analyzed the benefits from reformed plots in comparison with the control plots by quantitative calculation from three indices, including forestland productivity, carbon fixation and oxygen release and water conservation function. [Results] Compared with the corresponding control plots, the reformed plots of poplar and birch stands had a increased benefit of 25 008.89 yuan/ hm<sup>2</sup> and 14 802.17 yuan/ hm<sup>2</sup> respectively, and the corresponding benefit rate were 16.6% and 14.6%, indicating that the reformed plots have better advantage than the control plots. The values of forestland productivity had raised by 44.9% and 73.11%, respectively in comparison with the control plots. The values of carbon fixation and oxygen release function had raised by 13.4% and 9.2%. Similarly, the values of water conservation function had raised by 5.4% and 2.6%. [Conclusion] The qualities of inefficient poplar and birch stands were significantly improved after reforming by the means of ecological thinning and regeneration under forest canopy. The reforming not only brought the growth of economic benefit, but also improved forestland productivity and ecological functions.

**Keywords:** mountainous area of Northern Hebei Province; inefficient poplar and birch stands; reform; efficiency analysis

收稿日期: 2016-01-29

修回日期: 2016-03-03

资助项目: 河北省科技厅支撑项目“河北省滦河流域水源林经营关键技术研究示范”(15227652D)

第一作者: 马娇娇(1988—), 女(汉族), 河北省石家庄市人, 硕士研究生, 研究方向为森林资产评估。E-mail: 80528252@qq.com。

通讯作者: 谷建才(1963—), 男(汉族), 河北省藁城市人, 教授, 主要从事森林可持续经营等方面的研究。E-mail: gujiancai@126.com。

根据国家林业局发布的林业行业标准《低效林改造技术规程》中的明确规定,低效林是指受人为因素的直接作用或诱导自然因素的影响,林分结构和稳定性失调,林木生长发育衰竭,系统功能退化或丧失,导致森林生态功能、林产品产量或生物量显著低于同类立地条件下相同林分平均水平的林分总称<sup>[1]</sup>。低效林改造是指为了改善林分结构,开发林地生产潜力,提高林分质量和效益水平,对低效林采取的结构调整、树种更替、林下更新、补植补播、封山育林、林分抚育、嫁接复壮等营林措施<sup>[2]</sup>。杨桦林作为冀北山地的主要森林类型之一,目前,由于林分结构不合理,森林功能难以充分发挥。加上受到多年的森林采伐以及滥垦滥牧等人为活动的干扰,森林景观破碎化严重,森林生态系统功能日趋削弱,已严重阻碍该区森林生态系统整体功能的发挥。因此,调整和改造现有林分结构,人工促进其向健康稳定的群落演替,是森林经营亟待解决的问题<sup>[3]</sup>。低效林改造对森林结构、林分生产力、林分生态功能等方面的影响十分显著,而效益上是否合理,则是技术模式能否应用推广的重要因素<sup>[4-6]</sup>。

本研究针对冀北地区杨桦林地质量差,林分结构不合理,林内树木生长状况不良等问题对林分进行改造,通过对比分析改造后样地与未改造样地之间的差距,最终回归于经济效益的差值,分析杨桦低效林改造的成果,以期对该地区的森林健康经营理论提供一定参考。

## 1 研究区概况

研究地点设在河北省木兰围场国有林场管理局管辖的北沟林场内,地处滦河上游,位于阴山山脉与大兴安岭山脉余脉的交汇处,是连接坝上高原和冀北山地的丘陵山地地带。北纬 $40^{\circ}54'$ ,东经 $117^{\circ}27'$ ,平均海拔1 250 m,属于温带大陆性气候,水热同季,昼夜温差较大,年平均温度是 $-1.5\sim 4.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,7月份气

温最高,平均约为 $18.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,极端高温 $38.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,极端低温 $-42.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。年均降水量 $380\sim 560\text{ mm}$ ,降水季节分配很不平衡,主要集中在6—8月,最大年降水量为 $636.0\text{ mm}$ ,最小年降水量为 $258.0\text{ mm}$ 。年均蒸发量 $1\ 462.9\sim 1\ 556.8\text{ mm}$ ,平均相对湿度 $63\%$ ,土质以壤土为主。植被资源丰富,森林主要乔木树种有白桦(*Betula platyphylla*)、华北落叶松(*Larix gmelini-principis-rupprechtii*)、山杨(*Pobulus davidiana*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、榆树(*Ulmus pumila*)等;灌木种类较多,且量较大,丰富多样,以绣线菊(*Spiraea Salicifolia*)、照山白(*Rhododendron micranthum*)、平榛(*Corylus heterophylla*)最为常见;地被植物主要有苔草(*Carex ussuriensis*)、小红菊(*Chrysanthemum chanetii*)、歪头菜(*Vicia unijuga*)等。其中杨桦林是该地区的主要天然林型,据统计约占辖区总面积的 $55\%$ <sup>[7]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置及调查

2012年8月,将木兰林管局北沟林场北沟营林区内的242林斑51小斑和238林斑4小斑作为研究对象进行改造,并分别对改造前后情况进行调查,小斑基本情况如下:242 H/51面积为 $7.6\text{ hm}^2$ ,坡向西北,坡位全,坡度 $16^{\circ}$ ,海拔1 510 m,土层厚度为60 cm,地被植物为苔草和平榛,覆盖度为 $35\%$ ,基本林型为35年生天然杨桦中龄林;238 H/4小斑面积为 $8\text{ hm}^2$ ,坡向东,坡位中,坡度 $22^{\circ}$ ,海拔1 115 m,土层厚度为60 cm,地被植物为苔草和平榛,覆盖度 $60\%$ ,基本林型为26年生天然杨树成熟林。现分别将2个小斑内1/2面积的林分进行林下更新改造作为改造样地(X, Y),另一半作为不采取任何经营措施,作为对照样地( $X_0, Y_0$ )。

改造后分别对2个林分进行每木检尺和树高等因子的统计,统计结果详见表1。

表1 对照样地与改造后样地基本情况

样地	面积/ $\text{hm}^2$	树种组成	郁闭度	密度/(株· $\text{hm}^{-2}$ )	平均胸径/cm	平均树高/m	蓄积量/ $(\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2})$	采伐蓄积/ $(\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2})$
$X_0$	3.8	9桦1杨	0.7	775	17.40	14.50	97.63	—
X	3.8	8桦2杨	0.6	650	18.30	15.60	92.11	5.52
$Y_0$	4.0	10杨+桦	0.8	1 035	9.30	8.60	28.75	—
Y	4.0	9杨1桦	0.7	750	10.10	9.10	26.25	2.50

林分中林冠投影面积与林地面积之比,称为郁闭度。本次研究郁闭度的测定方法采用样点测定法,即在林分调查中,机械设置100个样点,在各样点位置

上采用抬头垂直仰视的方法判断该样点是否被树冠覆盖,统计被覆盖的样点数占有样点总数的比例即为郁闭度<sup>[8]</sup>。



覆盖度指林地中灌木等对于地表遮盖占据的地表面积与总林地地表面积之比。本次研究覆盖度的测定选择较为简便的采样针刺法:如样方框为  $1 \text{ m}^2$ , 借助于钢卷尺和样方框绳上每隔  $2.5 \text{ cm}$  的标记, 用粗约  $2 \text{ mm}$  的细针(针越细结果越准确), 按顺序在样方内上下左右间隔  $62.5 \text{ px}$  的点(共 100 个点)上, 从植被的上方垂直下插, 如果针与植物接触, 即算作 1 次“有”、如没有接触则算“无”不划记。最后计算划记的数次, 用百分数表示即为灌木覆盖度<sup>[9]</sup>。采用抽样的方式在 4 个样地内分别随机测取 10 个样方框, 根据测定结果的平均值计算样地覆盖度。

对林分的改造按照间密留稀、留优去劣的原则, 伐除被压木、弯曲木、病腐木、枯立木等价值量随林龄的增加而降低的贬值资源以及霸王树。根据研究需要, 采伐方式以生态疏伐为主, 生态疏伐是根据林分自然稀疏规律, 有目的的伐除生长不良以及过密林分中的部分林木, 调整林分树种组成和空间结构, 以促进保留木生长和林下植被更新的抚育间伐方式<sup>[10]</sup>, 而不仅限于为调节目的树种个体间的矛盾而进行的单纯疏伐措施。采伐强度按照国家标准控制在 20% 以内, 伐后郁闭度减小, 因此在林内造成一定的开阔空间。然后通过破土、割灌、扩穴除草、折灌等措施在林间空地内进行林下人工植苗更新, 植苗密度为  $1110 \text{ 株}/\text{hm}^2$ , 更新苗主要以当地易成活的针叶树种云杉、红松为主, 株数比例为 3:2。随着林下更新层的生长, 逐渐在经营抚育的过程中将上层阔叶林伐除, 基本实现杨桦低效林向针阔混交林或针叶林的改造。

## 2.2 指标选取

改造后的林分密度降低, 径高结构分布、树种组成等因子发生变化, 并且由于更新苗的引入, 使林地生产力、林分生态功能等发生改变<sup>[11]</sup>。因此, 本研究采用定量计算的方式, 从林地生产力价值、林分固碳释氧价值和林分涵养水源价值 3 个方面对低效林改造所产生的效益进行对比分析。

2.2.1 林地生产力价值 林地生产力通常是指单位面积上林木生长潜力的高低, 它是衡量森林资源质量的重要指标。本研究从林木生长价值和更新苗的潜在价值 2 个方面对林地生产力进行阐述。

(1) 林木生长量通过调查林地的树木生长量, 掌握林地生产力。在 2015 年 8 月对 4 个样地进行调查, 填写样地调查表。并通过解析木的方式, 分别在每个样地内选取 3 株平均木, 共 12 株, 对解析木数据进行分析, 得出单木在 2012—2015 年的生长量, 推算出样地内林分蓄积量的增长量, 从而根据木材价格计算出林木生长价值。

(2) 更新苗的价值按照投入产出比的方法计算收益。统计造林时所用苗木量以及用工量总费用, 再针对当前的幼苗进行调查, 测量苗高, 统计成活率, 按大苗价格计算期间收益。

2.2.2 林分固碳释氧价值 固碳释氧是森林在生长发育过程中, 不断的与大气进行物质交换的过程, 通过固定大气中的  $\text{CO}_2$ , 并释放出  $\text{O}_2$ , 维持大气中的碳氧平衡, 减少温室效应<sup>[12-13]</sup>。固碳释氧量利用生物量推算法。按照《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1724-2008)中公布的参数为依据, 计算森林生态系统固碳释氧服务功能的经济价值<sup>[11]</sup>, 公式如下:

$$Q_c = P_i \cdot C_c \times 1.63 \cdot D_c \cdot W \quad (1)$$

式中:  $Q_c$  ——林分固碳价值(元);  $P_i$  ——样地面积( $\text{hm}^2$ );  $C_c$  ——固碳价格(1 200 元/t), 1.63 ——计算系数;  $D_c$  —— $\text{CO}_2$  中的碳含量, 为 27.27%;  $W$  ——林分净生产力( $\text{t}/\text{hm}^2$ )。

$$Q_o = P_i \cdot C_o \times 1.19W \quad (2)$$

式中:  $Q_o$  ——林分释氧价值(元);  $C_o$  ——氧气价格(1 000 元/t); 1.19 ——计算系数。

林分净生产力是指森林在一定时期内的生长量与耗损量之和, 其中耗损量包括凋落量、枯损量和虫蚀量(即动物和昆虫等的啃噬量, 由于量很小通常予以忽略)<sup>[13]</sup>。本研究中杨桦次生林生长发育良好, 虫蚀量基本可以忽略, 凋落量和枯损量按实际调查中枯立木的量计数, 公式为:

$$W = U - U_0 \quad (3)$$

式中:  $W$  ——林分净生产力( $\text{t}/\text{hm}^2$ );  $U_0$  ——枯立木生物量( $\text{t}/\text{hm}^2$ )。

1996 年方精云等收集了全国各地的 758 组生物量和生产力研究数据, 建立了生物量与蓄积量的线性回归方程及 21 个优势树种的计算参数, 2000 年通过充实和完善, 对参数进行了修订<sup>[15-16]</sup>。该方程已被广大研究者认同和采纳, 本研究即采用此回归方程, 根据调查资料中已有的林分蓄积量按下式计算生物量:

$$U = \alpha V + \beta \quad (4)$$

式中:  $U$  ——每  $1 \text{ hm}^2$  林分生物量( $\text{t}/\text{hm}^2$ );  $V$  ——每  $1 \text{ hm}^2$  蓄积( $\text{m}^3/\text{hm}^2$ );  $\alpha, \beta$  ——参数。

2.2.3 涵养水源价值涵养 水源是指森林生态系统对于水分的拦蓄能力, 本研究认为森林的水源涵养量主要有以下 3 个方面: 冠层截留量、枯落物持水量和土壤蓄水量<sup>[17]</sup>。

$$R = \sum (P_i \cdot H \cdot a_i) \quad (5)$$

式中:  $R$  ——冠层截留量( $\text{m}^3$ );  $H$  ——研究区内平

均年降水量(m);  $a_i$  ——冠层截留率(%)。

枯落物持水量的测定采用室外样方采集和室内浸水法,分别在样地内随机选取3个大小为30 cm×30 cm的样方a,b,c测定枯落物的未分解层、半分解层厚度,并用塑封袋分层取样。在尽量保持原状的情况下带回室内进行自然称重和烘干称重,然后采用浸泡法测定枯落物的最大持水量。

根据杨桦根系分布特征,在上述枯落物采集点利用环刀对土壤进行分层取样分析,将土壤分为3层:0—10,10—20,20—30 cm,用环刀每层取3个样点作平行数据,计算时取平均值作为该层土壤的有效值。将土样密封后带回实验室,进行烘干、称重,测定土壤容重。并利用环刀法测定土壤毛管孔隙度、非毛管孔隙度等,计算土壤蓄水量。

### 3 结果与分析

#### 3.1 林地生产力价值

3.1.1 林木生长价值 2015年8月,在4个样地内分别选取3株平均木做解析木,根据解析木数据,测量并计算单木在最近3a内的生长量,分别取3株解析木生长量的平均值作为样地内的单株生长量。另外,由于样地原本立地条件较差,改造样地内枯立木、病腐木等在进行疏伐时已予以清除,但未改造样地内仍然存在较大数量,经过统计,4个样地内的枯立木、病腐木的总量分别为85株( $X_0$ )、12株(X)、181株( $Y_0$ )、35株(Y),不计入现有林分密度(表2)。

表2 各样地生长量变化情况及生长价值统计

样地	$X_0$	X	$Y_0$	Y
胸径生长量/cm	1.50	1.80	1.20	1.50
树高生长量/m	0.72	0.81	0.50	0.62
材积生长量/ $m^3$	0.028	0.037	0.012	0.019
枯立木总株数	85	12	181	35
材积平均增长量/ ( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )	21.07	23.93	11.88	14.46
林木价值平均增长 量/(元· $hm^{-2}$ )	15 383.79	17 471.97	8 670.58	10 552.15

由表2可以看出,在研究期间X,Y样地的单木生长量较 $X_0$ , $Y_0$ 都有所提高,胸径生长率分别提高了20%,24%,树高生长率分别提高了12.5%,16%,从而带来材积生长率的提高,分别为32.14%,58.3%。因此,根据样地调查表,计算出各样地的材积平均增长量,按照当地木材价格730元/ $m^3$ ,可知林木生长所产生的价值为15 383.79,17 471.97,8 670.58,10 552.15元/ $hm^2$ 。改造后样地X,Y的林木生长

材积价值较对照样地 $X_0$ , $Y_0$ 的分别增长了13.6%,21.7%。说明在进行了改造措施后,由于林分密度降低,林木生长空间开阔,对光照、水分等因子的吸收加强,因此林分生长量有了较大提高,从而带来了整个样地内林分蓄积量的大幅度提升,产生出更高的林木价值。

3.1.2 更新苗的价值改造时样地 X,Y所选取的苗木规格基本都在35~45 cm左右,按照当地苗木价格1.2元/株计算,用工费用为3 000元/ $hm^2$ 。经过调查统计,苗木成活率均为95%,平均苗高为云杉55 cm、红松50 cm,按此规格历年平均苗木价位为云杉6元/株,红松10元/株。因此,按照投入产出比的方法,更新苗价值=大苗价格×成活率×造林株数—小苗价格×造林株数—用工费用,得出在研究期间内,样地X,Y内的更新苗所产生的价值分别4 826.4,4 458元/ $hm^2$ 。

#### 3.2 固碳释氧价值

对于固碳释氧价值的研究采用生物量推算的方法。以方精云等<sup>[16]</sup>对生物量和蓄积量线性回归方程的研究,所得出的参数为参考,根据上述公式,得出表3结果。

表3 对照样地与改造后样地的固碳释氧价值对比

样地	$X_0$	X	$Y_0$	Y
蓄积增长量/ ( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )	21.07	23.93	11.88	14.46
净生产力增量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	20.55	23.31	13.30	14.52
固碳价值增量/ (元· $hm^{-2}$ )	41 647.97	47 238.01	28 371.61	30 985.28
释氧价值增量/ (元· $hm^{-2}$ )	92 915.20	105 386.40	63 296.10	69 127.10
合计	134 563.17	152 624.41	91 667.71	100 112.38

分析表3可以得出,改造后的样地净生产力的增加量较改造前分别提高了2.76,1.22  $t/hm^2$ ,这是由于蓄积量的增长量有所提高,以及采取疏伐措施后X,Y样地内枯立木的数量较 $X_0$ , $Y_0$ 少。因此,结果是X,Y样地的固碳释氧价值均高于 $X_0$ , $Y_0$ 样地,增长幅度分别为18 061.24,8 444.67元/ $hm^2$ ,增长率分别为13.4%,9.2%。说明由于蓄积量增长较改造前的提升,带动林分净生产力的提升,因此所产生的固碳释氧价值也相应的增多,改造后的样地表现出一定的优势。

#### 3.3 涵养水源价值

3.3.1 冠层截留量 本研究冠层截留量参照温远光

等<sup>[18]</sup>对中国主要森林类型冠层截留规律的研究过程总结出的北温带山地落叶阔叶林的林冠截留率回归方程,降水量参照河北省围场县 2012—2015 年的平均降水量为 435.4 mm,代入公式(5)中可得各样地的冠层截留量分别为 777.18, 750.18, 824.65, 797.85 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

可以看出,由于进行疏伐,伐除霸王树、被压木等对林分生长的不利因子,但同时也对林分冠层产生了影响,造成林冠面积降低,林分的郁闭度减小,因此对

降水的截留程度随之减小。但在研究期间,改造后的林分林冠生长空间增大,林冠面积较 2012 年改造之初增加,再加上对照样地内枯木的数量较多,因此冠层截留差距不大,分别为 -27, -26.8 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

3.3.2 枯落物持水量室外收集 枯落物,室内称重,计算样地内的枯落物总量。然后烘干,浸泡 12 h,测定样方枯落物的最大持水量,推算整个样地的蓄水总量。以每块样地中所取得的 3 个样方的平均值作为有效值。整理结果详见表 4。

表 4 对照样地与改造后样地的枯落物持水量

样地	枯落物厚度/cm			枯落物现存量/(t·hm <sup>-2</sup> )		最大持水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )
	总厚度	未分解层	半分解层	未分解层	半分解层	
X <sub>0</sub>	6.5	3.0	3.5	7.65	23.10	33.47
X	6.0	2.5	3.5	7.28	22.30	32.84
Y <sub>0</sub>	7.5	3.0	4.5	8.95	12.87	38.52
Y	8.0	3.5	4.5	9.22	13.46	37.08

由表 4 可以看出,对照样地的枯落物厚度比改造后的样地枯落物厚度大,这是由于改造后的样地由于进行疏伐,林分密度降低,郁闭度减小,树种组成改变。再加上人工进行林下更新造林,造成枯落物总储量较对照样地少,从而导致改造后的样地蓄水总量小于改造前,但差距幅度较小,分别为 -0.63, -1.44 t/hm<sup>2</sup>。

3.3.3 土壤蓄水量 土壤容重是反映土壤物理性质的重要参数,容重反映土壤透水性、通气性和根系延展时阻力的大小。土壤容重小,表明土壤疏松多孔,

结构性良好;反之,则表明土壤紧实板结而缺少团粒结构<sup>[19]</sup>。

土壤孔隙度是反映土壤物理性质的重要参数,是土壤中养分、水分、空气、微生物等的迁移通道、贮存库和活动场所。对森林生态系统而言,毛管孔隙度的大小反映了森林植被吸持水分用于维持自身生长发育的能力,而非毛管孔隙度的大小反映了森林植被滞留水分、发挥涵养水源和削减水土流失的能力<sup>[20]</sup>。因此本次研究以有效持水量作为林分土壤蓄水量。计算整理结果详见表 5。

表 5 对照样地与改造后样地的土壤蓄水量

样地	土层厚度/ cm	土壤容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	毛管孔隙 度/%	非毛管孔隙 度/%	饱和持水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	有效持水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	合计/ (t·hm <sup>-2</sup> )
X <sub>0</sub>	0—10	1.09	39.60	2.70	423.00	27.00	114.00
	10—20	1.12	42.50	3.10	456.00	31.00	
	20—30	1.13	49.80	5.60	554.00	56.00	
X	0—10	0.82	39.20	4.60	438.00	46.00	191.00
	10—20	0.85	40.70	6.80	475.00	68.00	
	20—30	0.94	52.10	7.70	598.00	77.00	
Y <sub>0</sub>	0—10	0.63	42.10	10.40	525.00	104.00	184.00
	10—20	0.85	45.60	4.20	498.00	42.00	
	20—30	0.89	52.30	3.80	561.00	38.00	
Y	0—10	0.55	46.20	11.20	574.00	112.00	239.00
	10—20	0.77	50.20	6.70	569.00	67.00	
	20—30	0.86	54.10	6.00	601.00	60.00	

由表5可以看出,在同一样地内的土层,土壤容重随着厚度的增加而增大,说明表层土较下层土更加疏松。在不同的样地内,X,Y样地各土层的土壤容重较 $X_0$ , $Y_0$ 样地小,说明改造后土质更加疏松,结构更好。非毛管孔隙度也较改造前增大,因此土壤的有效持水能力增大,增长幅度别为77,55 t/hm<sup>2</sup>。这是由于改造后林分密度更加合理,以及更新苗的引入,

土壤性能和土壤结构的优化,对水分的拦蓄能力增强。

涵养水源量=冠层截留量+枯落物持水量+土壤蓄水量。

因此,可以计算出各样地的涵养水源量。按照水库工程库容的成本价0.67元/t计算,则各样地所产生的涵养水源价值如表6所示。

表6 对照样地与改造后样地的涵养水源价值统计

t/hm<sup>2</sup>

样地	冠层截留量	枯落物持水量	土壤蓄水量	涵养水源量	价值合计
$X_0$	777.18	33.47	114.00	924.65	619.52
X	750.18	32.84	191.00	974.02	652.59
$Y_0$	824.65	38.52	184.00	1 047.17	701.60
Y	797.85	37.08	239.00	1 073.93	719.53

由表6及上述总结可以得出,虽然改造后样地X,Y在冠层截留量和枯落物持水量方面较对照样地 $X_0$ , $Y_0$ 稍低。

但由于改造后的林地土壤结构的改变,蓄水能力增加,总体涵养水源量仍然保持高于改造前的趋

势,高出值分别为49.37,26.76 t/hm<sup>2</sup>,相应的所改造出的涵养水源价值分别高出33.07,17.93元/hm<sup>2</sup>。

综上所述,对上述3方面的价值进行统一后进行归一化处理得出表7所示。

表7 对照样地与改造后样地总体效益价值

元/hm<sup>2</sup>

样地	林地生产力价值			固碳释氧价值	涵养水源价值	总计
	林木生长价值	更新苗价值	合计			
$X_0$	15 383.79	—	15 383.79	134 563.17	619.52	150 566.48
X	17 471.97	4 826.40	22 298.37	152 624.41	652.59	175 575.37
$Y_0$	8 670.58	—	8 670.58	91 667.71	701.60	101 039.89
Y	10 552.15	4 458.00	15 010.15	100 112.38	719.53	115 842.06

由表7可以看出,改造措施使林分结构发生变化,导致林地生产力和林分的生态功能也发生改变,改造后的样地X,Y无论是在林地生产力还是林分生态价值方面均高于对照样地 $X_0$ , $Y_0$ 。疏伐措施以及更新苗的引入直接带来林地生长力的提高,较对照样地 $X_0$ , $Y_0$ 分别高出6 914.58,6 339.57元/hm<sup>2</sup>,增长率分别为44.9%,73.11%。固碳释氧价值方面有了很大程度的提高,这是由于改造后的林分蓄积量的增加,从而净生产力提高,导致林分的固碳释氧价值有了相应的提高,分别提高了18 061,8 444.68元/hm<sup>2</sup>,增长率分别为13.4%,9.2%。同理,涵养水源价值的增长量分别为33.07,17.93元/hm<sup>2</sup>,增长率5.4%,2.6%。

因此,综合3方面量化因素可知,改造后的样地X,Y在研究期间所增长的价值要高于未改造的对照样地 $X_0$ , $Y_0$ ,在可计算范围内的价值增长量和价值增长率分别为25 008.89(16.6%),14 802.17元/hm<sup>2</sup>(14.6%)。

## 4 讨论与结论

通过对杨桦低效林的改造,分析研究了改造后的林分与未进行改造的林分在研究期间内所产生的不同效益的问题,分别从林地生产力、林分固碳释氧和水源涵养3个方面的价值进行对比。结果表明,改造后的林分在各方面的效益都具备绝对优势,总体价值分别高于未改造的对照样地的价值量为25 008.89,14 802.17元/hm<sup>2</sup>。这说明对杨桦低效林的改造不仅能够改善林分结构,还能带来林地生产力和林分生态功能的提高,并同时带来经济效益的增长。

(1) 林地生产力价值。改造后的样地在林地生产力方面高于对照样地的价值分别为6 914.58,6 339.57元/hm<sup>2</sup>。其中表现在林木生长价值方面的高出的值分别为2 088.18,1 881.57元/hm<sup>2</sup>。表明在进行改造后,由于林分结构发生变化,林分生长能力得到提升,原有的林分结构不能更好的发挥林分的生长潜力,说明改造的必要性。另一方面,更新苗带

来的价值分别为 4 826.4, 4 458 元/hm<sup>2</sup>, 这部分相对于未进行林下更新改造的林分来说是纯收益。

(2) 固碳释氧价值。改造后的样地在固碳释氧功能方面较对照样地的增加量分别为 18 061, 8 444.68 元/hm<sup>2</sup>。表明在对林分进行改造后, 由于林分蓄积量的增加, 其生物量、净生产力等指标也相应的增长, 直接带来了经济价值的增长。

(3) 涵养水源价值。改造后样地在研究期间内在涵养水源价值方面高出对照样地的价值分别为 33.07, 17.93 元/hm<sup>2</sup>。由于林分密度的减小和更新苗的引入, 总体上林分对水分的拦蓄能力增强。另外, 分析土壤性质的差异可以看出, 改造后的样地土壤性能较对照样地优良, 预测能在保持水土方面具备更大的潜力。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 国家林业局长防办, 四川省林业勘查设计院. LY/T1690-2007 低效林改造技术规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [2] 庞学勇, 包维楷. 岷江上游中山区低效林改造对枯落物水文作用的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 119-121.
- [3] 谷建才. 华北土石山区典型区域主要类型森林健康分析与评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [4] 宋继琴, 黄道平. 北京大兴低效林更新改造成果效益分析[J]. 林业资源管理, 2015, 6(3): 136-137.
- [5] 穆帅. 燕山山地华北落叶松低效林改造经济效果分析评价[D]. 河北 石家庄: 河北农业大学, 2013.
- [6] 吴丽娟. 伐根嫁接更新改造杨树低效林效益分析[J]. 林业资源管理, 2013, 10(5): 47-49.
- [7] 张建华. 冀北山地华北落叶松典型林分结构功能评价与近自然经营研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [8] 孟宪宇. 测树学[M]. 2 版. 北京: 中国林业出版社, 1996.
- [9] 张光辉, 梁一民. 论有效植被盖度[J]. 中国水土保持, 1996(5): 28-29.
- [10] 刘相兵, 刘亚茜. 生态疏伐对林分密度及直径结构的影响[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(3): 145-149.
- [11] 骆宗诗, 侯波. 四川盆地低山丘陵区柏木低效防护林的改造[J]. 中南林业科技大学学报, 2009, 29(6): 82-84.
- [12] 刘国华, 傅伯杰. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 733-739.
- [13] 陈遐林. 华北主要森林类型的碳汇功能研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2003.
- [14] 曹阳, 陈云明. 陕西省森林碳储量生产力及固碳释氧经济价值的动态变化[J]. 西北农林科技大学学报, 2013, 41(5): 113-119.
- [15] Woodbury P B, Smith J E. Carbon sequestration in the U. S. forest sector from 1990 to 2010[J]. Forest Ecology and Management, 2007, 241(1): 14-27.
- [16] 方精云. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. 生态学报, 1996, 16(5): 497-508.
- [17] 司今, 韩鹏. 林水源涵养价值核算方法评述与实例研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(12): 2100-2104.
- [18] 温远光, 刘世荣. 我国主要森林生态系统类型降水截留规律的数量分析[J]. 林业科学, 1995, 31(4): 289-297.
- [19] 周志立, 张丽玮. 木兰围场 3 种典型林分枯落物及土壤持水能力[J]. 水土保持学报, 2015, 29(1): 207-213.
- [20] 李红云, 杨吉华. 济南市南部山区森林涵养水源功能的价值评价[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 89-92.
- [7] 荆新全. 基于 GIS 的土地适宜性评价及其应用研究[D]. 内蒙古 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2011.
- [8] 王虹力. 基于 GIS 的县级土地适宜性评价系统研究: 以吉林省九台市为例[D]. 吉林 长春: 吉林农业大学, 2008.
- [9] 李振. 基于 GIS 的黄河三角洲农业用地适宜性评价[J]. 黑龙江科技信息, 2011, 3(8): 3-3.
- [10] 李瀛山. 丹江市农用地生态适宜性评价[D]. 湖北 武汉: 华中农业大学, 2007.
- [11] 孟相彩. 海口市农用地生态适宜性评价[D]. 海南海口: 海南师范大学, 2014.
- [12] 陈颖, 吴柏清, 邹卓阳, 等. 基于 GIS 的土地适宜性评价: 以四川省马尔康县为例[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 100-103.
- [13] 王威翔. 海南省五指山市土地适宜性评价[D]. 湖南株洲: 中南林业科技大学, 2014.
- [14] 彭瑶. 基于 GIS 的农村土地生态适宜性评价及其在规划中的应用研究[D]. 江苏 南京: 南京农业大学, 2013.
- [15] 彭晓鹏, 赵克飞. 基于 GIS 的山地城镇空间拓展土地适宜性评价: 以大埔县为例[J]. 热带地理, 2013, 33(4): 480-488.
- [16] 解运杰, 刘凤飞, 白建宏, 等. 基于 GIS 技术的黑龙江省典型土壤有效土层厚度调查研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 251-253.
- [17] 刘明皓. 基于 GIS 的土地适宜性评价方法研究: 以重庆市城口县为例[J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2007, 24(4): 21-25.
- [18] 刘靖. 基于 GIS 的县级土地适宜性评价[D]. 陕西 西安: 西安科技大学, 2013.
- [19] 胡彩婷. 永兴县农用地适宜性评价与农业产业优化布局研究[D]. 湖南 长沙: 湖南农业大学, 2013.

(上接第 215 页)