

DOI: 10.5846/stxb201805281168

潘影, 武俊喜, 赵延, 张燕杰, 张晓庆, 张宪洲, 余成群. 西藏河谷地区人工种草的投入产出比较分析. 生态学报, 2019, 39(12): - .

Pan Y., Wu J. X., Zhao Y., Zhang Y. J., Zhang X. Q., Zhang X. Z., Yu C. Q. Comparison of the benefits of conservation and forage planting grasslands in the river valley area of Tibet. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(12): - .

西藏河谷地区人工种草的投入产出比较分析

潘 影¹, 武俊喜^{1,2,*}, 赵 延^{1,2,3}, 张燕杰^{1,2,3}, 张晓庆⁴, 张宪洲^{1,2}, 余成群^{1,2}

1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

2 中国科学院地理科学与资源研究所生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101

3 中国科学院大学, 北京 100049

4 中国农业科学院草原研究所/农业部草地生态与修复治理重点实验室, 呼和浩特 010010

摘要: 分析了西藏河谷地区六种草地的经济投入、产出和生态系统服务价值, 模拟了投入增加下村落草地利用结构的改变与经济、生态产出的响应。结果表明: 草地恢复管理中, 围栏草地成本最低, 为 67 元/hm², 是一年生人工刈割草地的 0.9%。围栏等草地恢复管理的经济产出为 772 元/hm², 其中补贴收入占 14.6%, 另 85.4% 来自打工收入; 而多年生人工放牧和一年生人工刈割草地的经济产出为 4250 元/hm² 与 13135 元/hm²。相比经济产出, 不同草地管理方式下生态系统服务价值差距有限, 最大仅为 27%。草地投入增加下, 天然放牧草地转变为围栏草地及一年生人工刈割草地, 并最终保持约 1:1 的面积比。合理配置围栏草地与一年生人工刈割草地, 可以实现区域较大的经济收入增长和生态系统服务的保障。

关键词: 人工草地; 投入产出; 土地利用; 围栏; 生态系统服务

Comparison of the benefits of conservation and forage planting grasslands in the river valley area of Tibet

PAN Ying¹, WU Junxi^{1,2}, ZHAO Yan^{1,2,3}, ZHANG Yanjie^{1,2,3}, ZHANG Xiaoqing⁴, ZHANG Xianzhou^{1,2}, YU Chengqun^{1,2}

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

4 Institute of Grassland Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Grassland Ecology and Restoration, Ministry of Agriculture, Hohhot 010010, China

Abstract: The conservation and utilization of grasslands are the basis for the sustainable development of grasslands and animal husbandry in China; however, 90% of natural grassland has been degraded to different levels. Prohibiting the utilization of ecosystems is a common approach in ecological conservation, e.g., fencing grasslands. Meanwhile, artificial seeding of forage species has also proved to be effective for ecosystem restoration. There are limited studies on the integrated ecological and economic effects of grassland use change. In this study, the economic and ecological benefits of six grassland management strategies in the river valley area of Tibet were analyzed using three aspects: input, economic output, and ecosystem service values. The results showed that the cost of fencing grassland was the lowest at 67 yuan/hm², which was 0.9% of the cost of annual planting of mown grassland. The economic benefits of conserving grassland were 772 yuan/hm², of

基金项目: 国家自然科学基金面上基金(31570460); 国家重点研发计划(2016YFC0502004)

收稿日期: 2018-05-28; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wujx@igsrr.ac.cn

which the subsidy was 14.6% and wage income was 85.4%. The economic benefits of perennial planting of grazing grassland and annual planting of mown grassland were 4,250 and 13,135 yuan/hm², respectively. The differences in ecosystem service values among the grassland management options were limited, and the maximum gap was 27%. Considering both economic and ecological benefits, the integrated benefits of natural grazing grassland were higher than those of fencing or plowing grassland, but lower than those of the other strategies. Input (yuan/hm²) increased as natural grazing grassland converted to fenced grassland and annual planting of mown grassland at the village level, and was highest at 50:50 fenced grassland and annual planting of mown grassland. Optimizing the land allocated to fenced grassland and annual planting of mown grassland could simultaneously boost economic development and guarantee a supply of ecosystem services for the local region.

Key Words: artificial grassland; input-output; land use; fencing grassland; ecosystem services

草地的恢复和利用一直是草牧业健康发展的基础。我国草地资源丰富,面积约为 4 亿 hm²,但 90%的天然草地遭遇着不同程度的退化,其中重度退化的约为 60%^[1]。气候因素特别是持续的干旱是导致草地退化的主要原因,但过度农垦、放牧、樵采等人为干扰则是草地退化的决定性因子^[2]。

为了促进草地恢复,划区轮牧、季节性休牧、围栏封育、施肥补播、浅耕松耙是常见的草地恢复技术和方式。其中轮牧、休牧、围栏都是减少草地放牧强度,基于草地生态系统自身的恢复力进行草地的恢复^[3-4]。而施肥补播、浅耕松耙主要是通过改善草地土壤物理性状和养分,增加优质牧草的群落竞争力等方式进行草地恢复^[1,5]。除了以上草地恢复方式,人工草地即是针对重度退化草地的一种恢复手段,也是牧草生产的主要手段之一。人工草地是利用农业综合技术,完全破坏原有天然草地植被,人工播种建植草地群落^[2,6]。大量实验证明,这些方式可以很好的恢复草地生态系统^[5,7-9]。

西藏河谷地区是西藏人口和经济的核心,在该区域大面积推广生态恢复技术时,仍还有一些问题需要解决。例如,大面积推广后会改变原有农牧民生活方式及收入来源,这些改变又会引发财政分配和劳动力转移及就业等问题^[10-11]。现有大部分基于传统生态系统生态学的草地生态恢复研究中,对不同草地恢复和利用方式的经济成本、劳动力成本的考虑及分析不足。

投入产出分析经常被用在生态学研究,例如生态足迹研究与产业生态学研究^[12-14]。其也可被用来分析不同土地利用或者生态系统管理的成本和效益,而且可以设置不同土地利用情景,分析对不同利益相关者,例如农民和社会的成本和效益^[15]。

然而,单一的投入产出方法对生态系统的分析不足,传统的生态系统生态学对草地恢复的经济成本效益等方面分析不足。所以,如何有机地将两种学科和方法结合,是支持西藏河谷地区可持续发展和构建可持续生态学的重要基础之一。

本文将生态系统服务价值纳入投入产出分析体系,并基于投入产出的分析结果进行土地利用模拟,可以很好的兼顾经济、社会、生态问题的分析。具体拟通过样方采样和农户调研,收集和分析不同草地种植和恢复方式下西藏河谷地区人工种草等管理的投入产出,探索从经济和生态系统服务价值两个层面,不同草地投入产出效率,模拟在增加投入情况下土地利用的变化和响应。

1 材料与方法

1.1 样方设置与采样

本文研究区域为西藏拉萨市林周县卡孜乡白朗村,白朗村于 2011 年起于本村平原地带的天然放牧草地上建立了围栏草地、翻耕围栏草地、免耕补播草地 3 种植被恢复方式的样地,同时建立了多年生人工放牧与一年生人工刈割草地(表 1)。研究于 2013、2014、2015 年 3 年分别对包括天然放牧草地在内的六种草地进行植被和土壤采样。

每种样地中随机选取 3 块大样方(5 m×5 m),每个大样方中选取 3 块小样方(50 cm×50 cm)进行植被和土壤采样。其中植被覆盖度使用网格目视估算;地上生物量(AGB)使用刈割法,并将剪下的植被放入 65℃ 的烘箱烘干 48 h 后称重。因为土层较薄,土壤样品使用 5 cm 的环刀取 0—30 cm 表层土壤样品,每个小样方中取两组土壤样品,其中一组样品在室内阴凉空地阴干 15 天之后,研磨过筛后测定土壤有机碳;另一组样品洗净晾干并在 65℃ 烘箱中烘干 48 h 后称重,计算地下生物量^[16]。

表 1 研究区域六种草地管理措施
Table 1 Six grassland managements in the research area

草地类型 Grassland type	天然放牧草地 Natural grazing grassland	围栏草地 Fenced grassland	免耕补播草地 No-till reseeding grassland	翻耕围栏草地 Plowed fenced grassland	多年生人工放牧 草地 Perennial planted grazing grassland	一年生人工刈割草地 Annual planted mowing grassland
翻耕 Plowing	无	无	无	翻耕一次	翻耕一次	每年翻耕
播种 Sowing	无	无	播种一次,披碱草和老芒麦混播	无	多年生黑麦草等,播种一次	一年生绿麦草,每年播种
灌溉 Irrigation	无	无	无	无	无	无
施肥 Fertilization	无	无	磷酸二胺 150 kg/hm ² , 尿素 75 kg/hm ² 。	无	播种施肥磷酸二胺 150 kg/hm ² , 尿素 75 kg/hm ² 。后续年份追肥尿素。	有机菌肥 225 kg/hm ² 和磷酸二胺 150 kg/hm ² ; 尿素 150 kg/hm ² 。
利用方式 Utilization	放牧	禁牧	放牧	禁牧	放牧	刈割

1.2 农户调研与数据收集

于 2013 年与 2016 年进行了两次农户调研,共调查了全村 257 户中的 99 户以及村委会。分别记录了农牧户家庭情况、土地利用情况、收入及其组成,以及各种草地管理在播种、翻耕、施肥、灌溉、收获等方面的劳动力使用与报酬、机械使用与油耗、播种与施肥量及购入价格等。

1.3 投入产出分析方法框架

本文主要研究了不同草地管理下的投入、产出、收益和相对效益,并模拟了草地投入增加的情景下,草地利用结构及收益变化。

通过调研获得各种草地的投入情况包括播种、施肥、围栏、翻耕、收获时使用的种子、肥料等物资的购买价格,当年租用机械和购买柴油的花费(购买机械按报废年限下每年折旧费计算),以及雇佣劳动力成本(本村村民在劳作时并未全部发放劳务费,但为了统一劳动力成本,本文将所有劳动力价格按统一标准计算)。

产出方面分为经济产出与生态产出。其中围栏、翻耕围栏与免耕补播草地并无实际经济产出,但从牧户层面,其可获得禁牧补贴,并且空闲劳动力会有打工收入;为了方便计算,本文将调研得到的禁牧补贴与打工收入统一称为草地的经济产出。多年生人工放牧和天然放牧草地的经济产出主要来自畜牧产品的售卖,一年生人工刈割草地的经济产出主要来自牧草的售卖。生态产出主要指生态系统服务,利用生态系统服务价值定量,包括空气净化服务、碳固定服务与土壤保持服务。

收益分为经济收益和生态收益,分别为经济产出和生态产出减去投入。

相对效益指的是围栏、翻耕围栏、免耕补播、多年生人工放牧和一年生人工刈割草地相对天然放牧草地的投入产出效率,利用公式(1)计算:

$$\text{Relative benefit ratio} = \frac{\text{Benefit}_i - \text{Cost}_i}{\text{Benefit}_{\text{natural grassland}} - \text{Cost}_{\text{natural grassland}}}$$

(1)

式中,Relative benefit ratio 为相对效益,Benefit_{*i*}指草地类型 *i* 的产出,Cost_{*i*}指草地类型 *i* 的投入,Benefit_{natural grassland}指的是天然放牧草地的产出,Cost_{natural grassland}指天然放牧草地的投入。

相对效益也分相对经济效益、相对生态效益和相对总效益,其中 $Benefit_i$ 分别使用经济产出、生态产出以及经济产出和生态产出之和计算。相对效益反应了与天然放牧草地相比,不同草地管理方式的投入在经济和生态方面能否有所提高。

1.4 生态系统服务价值计算

1.4.1 空气净化服务价值

本文计算空气净化价值主要基于单位生物量吸收的 SO_2 量与替代成本法,计算公式为(2)和(3):

$$Value_{AP} = AGB_{total} \times Ratio_a \times Price \quad (2)$$

$$AGB_{total} = \sum_0^{LOS} AGB / [1 + \exp(a - kt)] \quad (3)$$

式中, $Value_{AP}$ 为空气净化价值(元/a), AGB_{total} 为生长季累积地上生物量(kg 干物质 $m^{-2} a^{-1}$), $Ratio_a$ 为单位草地生物量的 SO_2 吸收量系数,本文中为 $0.001 kg SO_2/kg$ 干物质^[17]。 $Price$ 为单位 SO_2 吸收的价值,利用相应环境治理工程的替代成本法计算,为 0.6 元/ $kg SO_2$ ^[18]。 LOS 为生长季长度,在本文中根据实际经验设置放牧与围栏草地为 180 天,刈割草地为 150 天; t 为天数。 AGB 为生长季巅峰的地上生物量,由采样获得。 a 与 k 为系数, $a = 2.195$, $k = 0.0293$ ^[17]。

1.4.2 生态系统碳固定服务

本文计算碳固定的价值主要基于地上、地下生物量与土壤有机碳库及替代成本法,计算公式为(4):

$$Value_{ECS} = ECS \times price_{ecs} = (AGB_c + BGB_c + Soil_c) \times price_{ecs} \quad (4)$$

式中, ECS (ecosystem carbon stock) 为生态系统碳固定服务的量($t C \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$), $Value_{ECS}$ 为生态系统碳固定价值(元/a), AGB_c , BGB_c 与 $Soil_c$ 分别是地上、地下生物量和土壤有机碳中的碳储量($t C \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$),其中地上地下生物量由采样获得,并乘以 0.45 转换系数,土壤有机碳含量为采样测定获得, $price_{ecs}$ 为单位碳储量的价值,由植树造林的替代成本法计算,为 251.4 元/ $t C$ ^[19]。

1.4.3 土壤保持服务价值

本文计算土壤保持价值主要基于通用土壤流失方程模拟出的土壤保持量及替代成本法,计算公式为(5):

$$SR = soil\ loss_{potential} - soil\ loss_{actual} = R \times K \times LS \times (1 - C_v \times P_v) \quad (5)$$

式中, SR (Soil retention) 是土壤保持服务量($t hm^{-2} a^{-1}$), $soil\ loss_{potential}$ 与 $soil\ loss_{actual}$ 分别是潜在和真实土壤侵蚀量($t hm^{-2} a^{-1}$)。 R 是降雨侵蚀因子, K 为土壤可蚀性因子, LS 是地形因子, C_v 为植被因子, P_v 为侵蚀管理因子。 R 、 K 、 LS 因子是基于气象、地形和土壤数据计算, C_v 因子主要基于采样得到的样方植被覆盖度, P_v 是基于文献综述^[20]。气象数据主要来自于中国气象数据共享网(<http://data.cma.cn/>),土壤数据和高程数据主要来自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>)。

在本研究中, R , K , LS 对于所有草地类型皆相同,分别为 3333.83, 0.03452, 8.416,而对于 P_v 因子,围栏翻耕草地、多年生人工放牧草地、一年生人工刈割草地为 1.0,天然放牧草地和免耕补播草地为 0.5,围栏草地为 0。

土壤保持的价值包括 3 个方面,一是减少泥沙淤积,二是减少土壤养分流失,三是减少废弃土地^[20],如公式(6)。

$$Value_{SR} = SR \times (price_{SAR} + price_{ALA} + price_{SNLR}) \quad (6)$$

式中, $Value_{SR}$ 是土壤保持的价值(元/a), $price_{SAR}$ (price of sediment accumulation reduction) 是减少泥沙淤积的价值,由替代成本法计算疏通由土壤流失引起的泥沙淤积的成本,为 0.8933 元/ t ^[20]。

$price_{ALA}$ (price of avoiding of land abandonment) 是减少土地废弃的价值,是将流失土壤的重量换算成单位土地面积,再计算其价值,计算公式如(7)。其中,单位土地面积价值($land_v$)是利用统计年鉴中单位土地面积 GDP 计算,为 537 元/ hm^2 ,土壤深度(soil depth)取值 30 cm,土壤容重(soil bulk density)为本研究取样

得到。

$$\text{Price ALA} = \text{land}_i \times \text{soil depth} \times \text{soil bulk density} \quad (7)$$

Price SNLR(price of soil nutrient loss reduction)是减少土壤养分流失的价值,基于土壤氮磷含量由公式(8)计算得到。

$$\text{Price SNLR} = \text{SAN} \times \text{coefficient}_a \times \text{price}_a + \text{SAP} \times \text{coefficient}_s \times \text{price}_s \quad (8)$$

其中土壤速效氮(SAN)和速效磷(SAP)为采样获得,coefficient_a与coefficient_s是将土壤速效氮磷转换为硫酸铵和过磷酸钙的系数,分别为4.762和3.373^[20],price_a与price_s是硫酸铵和过磷酸钙2017年市场价,分别为1800元/t与900元/t。

1.5 土地利用情景模拟

本文在草地投入产出分析的基础上,模拟了草地投入增加的情况下,村落土地利用结构的变化与经济、生态产出的响应。本研究假设的土地利用变化规则为土地利用的主体(牧户或者村集体)会在设置的生态保护红线之下,在成本允许的情况下改变土地利用,最大化自己的经济收益^[21]。

土地利用的模拟过程,分为两个步骤,第一步为设置草地的平均投入,第二步为模拟该投入下的土地利用结构。

第一步中的投入设置,为0、50、100、200、500、500以上按照每500元/hm²递增,每种投入下模拟一次。

第二步使用线性规划模型模拟不同收入下的土地利用结构。线性规划目标为最大化经济收益,线性规划的约束条件为生态系统服务红线、土地资源总面积以及单位土地面积的经济投入。其中生态系统服务红线即为村落草地平均生态系统服务价值不小于天然放牧草地的生态系统服务价值,在本文中使用计算出来的2441.58元/hm²;由于本文模拟的是土地利用结构的百分比变化,所以土地资源总面积为100%;单位土地面积的经济投入则为第一步设置。

具体模拟代码如公式(9):

$$\max = a \times 259.5 + b \times 772 + c \times 772 + d \times 772 + e \times 4250 + f \times 13135.737;$$

$$a + b + c + d + e + f \leq 100\%;$$

$$a \times 2441.58 + b \times 2570 + c \times 2548.6 + d \times 2076.3 + e \times 2425.9 + f \times 2309.1 \geq 2441.58;$$

$$a \times 0 + b \times 67.025 + c \times 1576.2 + d \times 478.6 + e \times 2413.125 + f \times 7663.4 \leq \text{input} \quad (9)$$

其中天然放牧、围栏、免耕补播、翻耕围栏、多年生人工放牧和一年生人工刈割草地的面积分别为a,b,c,d,e,f。input为草地投入变量,max为最大化的经济目标。

1.6 数据处理

其中不同草地的投入、产出、收益和相对效益使用Excel计算。投入提高的情景下,草地利用结构的模拟使用LINGO 17.0模拟。

2 结果与分析

2.1 不同草地管理方式的投入成本差异

包括天然放牧草地在内的六种草地管理方式,其投入成本差距巨大(表2)。

其中天然放牧草地为零投入,围栏草地的成本最低,仅有围栏的建设费用;一年生人工刈割草地最高,为围栏草地的114倍。

从成本的组成看,播种、施肥、围栏中的成本主要是物资和机械使用成本,其为人工成本的6—80倍。而收获中的成本主要人工成本,其为物资和机械使用成本的6倍多。

从时间上看,草地恢复相关的管理,包括围栏草地、免耕补播草地、翻耕围栏草地的投入成本主要集中在恢复措施实施的当年,基本无后续管理年份成本。牧草生产相关的管理,包括多年生人工放牧草地和一年生人工刈割草地的投入成本每年都保持相对较高水平。

表 2 不同草地管理的投入成本

Table 2 The actual cost of different use of grassland												
元/hm ²	播种 Sowing		施肥 Fertilization		围栏 Fencing		额外翻耕 Extra plowing		收获 Harvesting		年总和 Annual total	三年平均 Average
	物资与机械 materials and machinery	人工薪水 salary	物资与机械 materials and machinery	人工薪水 salary	物资与机械 materials and machinery	人工薪水 salary	机械 machinery	物资与机械 materials and machinery	人工薪水 salary			
围栏草地	2013	0	0	0	0	195.5	5.6	0	0	0	201.1	67.0
Fencing grassland	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2013	619.5	103.1	615	37.5	195.5	5.6	0	0	0	1576.2	525.4
免耕补播草地	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2013	0	0	165	37.5	195.5	5.6	75	0	0	478.6	159.5
翻耕围栏草地	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
天然放牧草地	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2013	4818.7	103.1	945	37.5	0	0	0	0	0	5904.3	2413.1
多年生人工放牧草地	2014	0	0	630	37.5	0	0	0	0	0	667.5	
	2015	0	0	630	37.5	0	0	0	0	0	667.5	
	2013	3559.5	103.1	3030	37.5	195.5	5.6	0	118.1	748.1	7797.5	7663.4
Perennial planting grazing grassland	2014	3559.5	103.1	3030	37.5	0	0	0	118.1	748.1	7596.4	
	2015	3559.5	103.1	3030	37.5	0	0	0	118.1	748.1	7596.4	

2.2 不同草地管理的产出差异

同样,六种草地管理方式的产出差异也巨大。其中相比生态系统服务价值,不同草地的经济产出差距更大(表3)。

草地恢复的三种管理方式中,围栏草地、免耕补播草地、翻耕围栏草地的经济产出主要来源于 112.5 元/hm²的禁牧补贴和农牧户外出的打工收入。从平均值上看,补贴只占到草地恢复管理下农牧户收入的 14.6%,另 85.4%来自打工收入。而多年生人工放牧草地和一年生人工刈割草地的经济产出主要来自牧草和牲畜商品的售卖,分别为围栏草地的 5.5 倍与 17 倍。

从单个年份上看,2014 年的免耕补播草地,即实施措施后的第二年生态系统服务价值最高,为 2751 元/hm²。2013 年的翻耕围栏草地,即实施措施的第一年最低,为 1997 元/hm²。从三年平均值上看,围栏草地的生态系统服务价值最高,为 2570 元/hm²;一年生人工刈割草地最低,为 2309 元/hm²。

但从差距上看,不同草地管理方式下生态系统服务价值最大差距仅为 27%,而经济产出则是 17 倍。

表 3 不同草地管理的经济与生态产出
Table 3 The actual benefit of different use of grassland

		生态系统服务产出 Benefit of ecosystem services /(元/hm ²)			经济产出 Economical benefit/ (元/hm ²)			总合 Summary/(元/hm ²)		
		生态系 统碳固定 Ecosystem carbon stock	土壤保持 Soil retention	空气净化 Air purification	补贴 Subsidy	牧草牲畜 商品销售 Sale of forage and animal production	打工收入 Part-time job	生态系统 服务价值 Ecosystem services value	经济产出 Economical benefit	总产出 Total benefit
围栏草地	2013	1296.8	1240.0	39.4	112.5	0	659.5	2576.2	772.0	3348.2
Fencing grassland	2014	1397.3	1243.4	28.0	112.5	0	659.5	2668.7	772.0	3440.7
	2015	1150.7	1252.8	61.9	112.5	0	659.5	2465.3	772.0	3237.3
免耕补播草地	2013	1167.8	1212.7	42.6	112.5	0	659.5	2423.1	772.0	3195.1
No-till reseeded	2014	1519.4	1193.3	38.0	112.5	0	659.5	2750.7	772.0	3522.7
grassland	2015	1223.2	1215.5	33.2	112.5	0	659.5	2471.9	772.0	3243.9
翻耕围栏草地	2013	795.8	1143.6	27.6	112.5	0	659.5	1966.9	772.0	2738.9
Plowing and	2014	990.6	1147.4	24.4	112.5	0	659.5	2162.4	772.0	2934.4
fencing grassland	2015	911.6	1170.3	17.8	112.5	0	659.5	2099.7	772.0	2871.7
天然放牧草地	2013	1208.9	1242.9	17.2	0	259.5	0	2469.1	259.5	2728.6
Natural grazing	2014	1348.5	1189.2	22.0	0	259.5	0	2559.7	259.5	2819.2
grassland	2015	1062.6	1209.6	23.8	0	259.5	0	2296.0	259.5	2555.5
多年生人工放牧草地	2013	924.9	1239.7	107.4	0	4250	0	2272.0	4250.0	6522.0
Perennial planting	2014	1192.7	1174.6	243.1	0	4250	0	2610.4	4250.0	6860.4
mowing grassland	2015	920.5	1369.8	104.9	0	4250	0	2395.3	4250.0	6645.3
一年生人工刈割草地	2013	709.7	1224.3	348.8	0	13879.8	0	2282.9	13879.8	16162.7
Annual planting	2014	701.6	1233.2	348.5	0	13866.1	0	2283.4	13866.1	16149.5
mowing grassland	2015	829	1239.1	293.1	0	11661.3	0	2361.2	11661.3	14022.5

2.3 不同草地管理方式下投入产出收益和相对效益

利用产出减去投入,比较不同草地管理方式下的经济和生态收益(图1)。可以得出,从经济收益上看,除了实施措施第一年的免耕补播亏本,其他草地管理方式的经济收益皆为正。而生态收益方面,由于多年生人工放牧草地和一年生人工刈割草地的高投入,这两种草地管理方式的生态收益皆为负。

利用相对效益指数,可以比较不同草地管理方式对比天然放牧草地在经济和生态方面的相对效益(图2)。

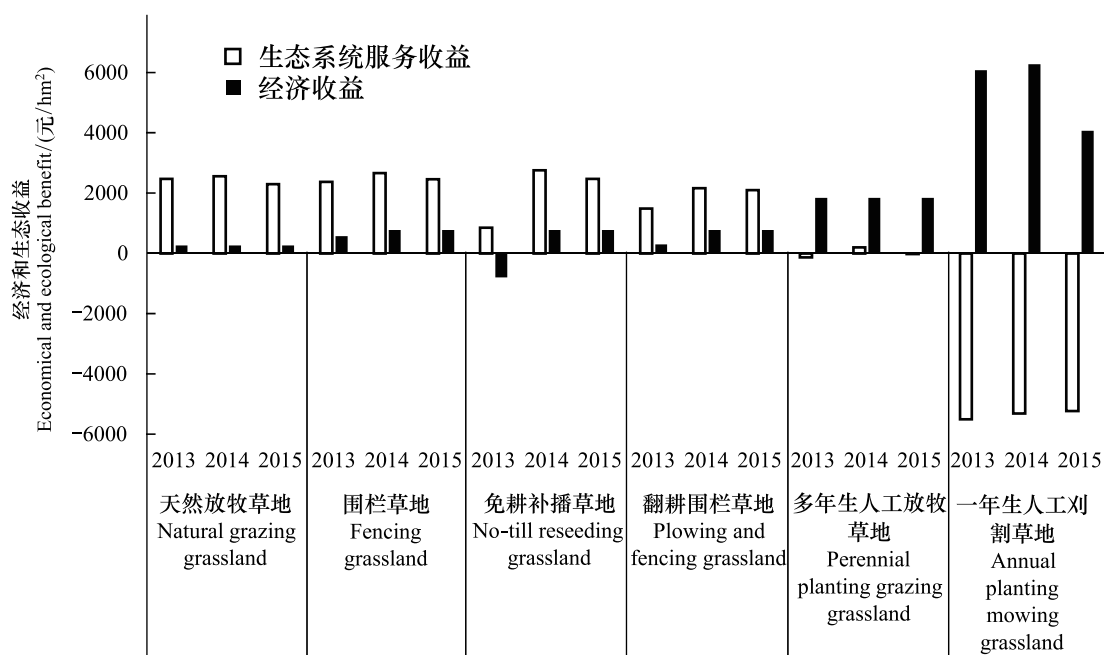


图1 不同草地管理方式下经济和生态收益

Fig.1 The economical and ecological benefit of different grasslands

对比来看,围栏、免耕补播、围栏翻耕、多年生人工放牧和一年生人工刈割五种草地,仅免耕补播在经济效益方面低于天然放牧草地,其相对经济效益指数为 0.91,小于 1。其余的皆大于天然放牧草地,而最高为一年生人工刈割草地,相对经济效益指数为 21.05。

而相对生态效益方面仅围栏草地高于 1,为 1.02,其他草地皆小于 1。表明在生态效益方面,只有围栏草地高于天然放牧草地,其余草地的生态效益由于其成本的存在,都不高于天然放牧草地;其中一年生人工刈割草地为负值,表明其在生态系统服务供给的收益方面是亏本的。

而从总效益上看,围栏、免耕补播、多年生人工放牧和一年生人工刈割草地皆高于天然放牧草地,其相对总效益值分别为 1.21、1.03、1.58 和 2.88,而翻耕围栏草地的总效益则低于天然放牧草地,其相对总效益值为 0.99。

2.4 增加投入对土地利用结构及收益的影响

增加投入会改变草地的土地利用结构,引起生态系统服务和经济产出的变化(图 3)。

从村落整体尺度上看,投入增加初期(0—112.5 元/hm²)会引起天然放牧草地向围栏草地转变,增加生态系统服务的供给和经济产出即农牧户收入。其中当投入从 0 增加到 50 元/hm²时,约 25%的天然放牧草地转变为围栏草地,经济产出从 259.5 增加至 641.8 元/hm²;生态系统服务价值从 2441.6 增加至 2537.4 元/hm²。

投入增加中期(112.5—4000 元/hm²)会引起围栏草地向一年生人工刈割草地转变,增加经济产出,但同时降低生态系统服务的供给。每增加 500 元/hm²的投入,约有 6.6%的围栏草地转变为一年生人工刈割草地,并增加 806.4 元/hm²的经济产出,减少 17.2 元/hm²的生态系统服务价值。

投入增加后期(超过 4000 元/hm²),由于本文设置的生态系统服务供给红线,土地利用结构不再发生变化,生态产出和经济产出保持不变。

3 讨论与结论

不同草地管理的效果差异很大,以往研究大多数单独从生态或者牧草产量方面分析。有学者总结国内人工草地的研究主要集中在施肥、灌溉、收获利用方式、混播方式对牧草产量与品质的影响方面^[1]。例如,紫花

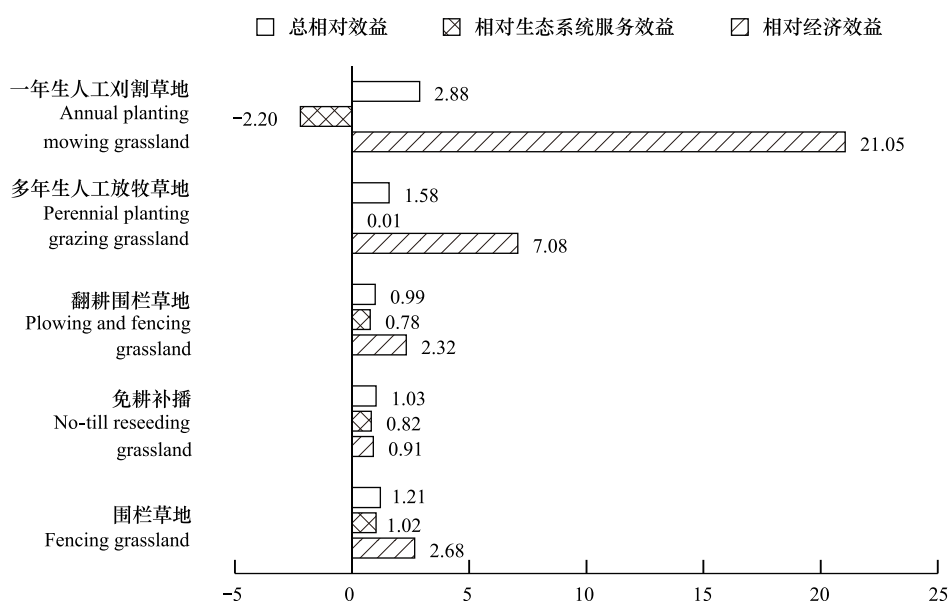


图 2 相比天然草地,不同草地管理方式下经济和生态的相对效益

Fig.2 The relative economical and ecological benefit of different grasslands, comparing to natural grazing grassland

其中相对效益值 <0 ,表示该种草地在生态或经济效益方面亏本; $0<$ 相对效益值 <1 表示,虽然不亏本,但是该草地在生态或经济方面没有天然放牧草地收益高;相对效益值 >1 表明,该草地在生态或经济方面比天然放牧草地收益高

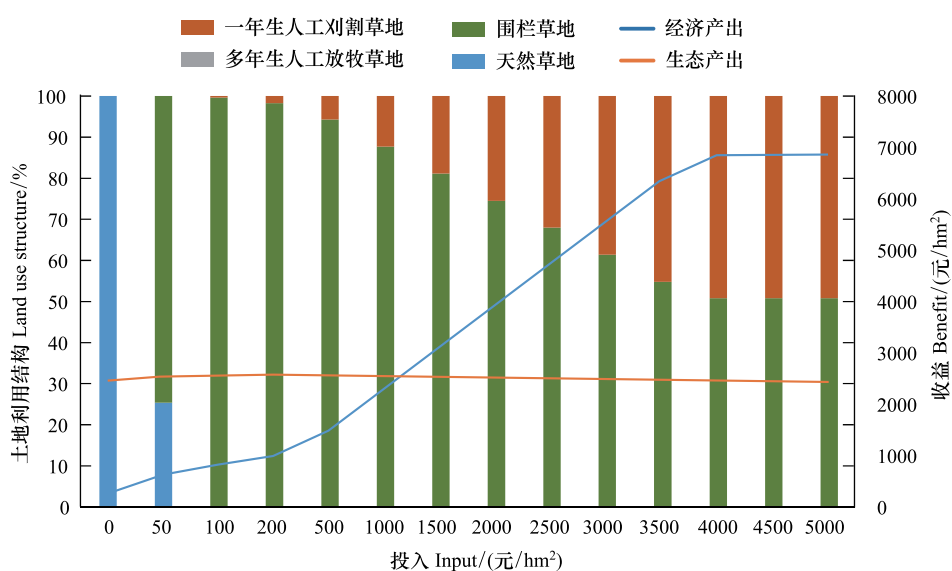


图 3 草地投入增加下土地利用的变化及经济生态产出响应

Fig.3 The land use change and the response of economical and ecological output along the increase of grassland input

苜蓿和其他草种混播的产量要高于单播 14%—25%,牧草粗蛋白含量也要高于单播^[22]。生长期补水也会增加牧草生物量,最高能促进单播紫花苜蓿产量增加 157.52%^[23]。在本文中,在生态和牧草产量数据基础上,将生态系统服务价值纳入投入产出分析方法中,可以综合比较不同草地管理的投入和生态、经济效益。结果表明,人工草地能较大的提高牧草产量和经济效益,但是会降低生态效益;但从总效益上看,一年生人工刈割草地和多年生人工放牧草地仍皆高于天然放牧草地和围栏草地。但是,生态系统服务价值定量方法的局限性和不确定性有可能影响到投入产出分析中经济产出和生态产出的比较,最终影响总效益^[24-25]。

草地围栏一般针对轻度退化的草地,基于生态系统自身的弹性和恢复力,在消除和减少人类干扰等退化

因素后,对草地进行恢复。围栏可以显著提高草地盖度、地上生物量和土壤碳氮库^[7]。翻耕主要会改善土壤通气性,增强土壤动物和微生物的活动,同时会切断无性繁殖牧草的地下茎,促进分蘖,增加其恢复速率;翻耕后补播和施肥能增加土壤养分,增强优质牧草的繁殖和扩张,促进恢复^[2]。在本文中,若不考虑成本和效益,围栏和免耕补播都能较好地恢复草地,且免耕补播第二年生态系统服务价值在各年份各草地类型中最高;但若考虑成本,围栏草地的总体投入产出效益还是高于免耕补播。因此,考虑到性价比,只有那些无法通过生态系统自身恢复力恢复的中重度退化草地,才需选择免耕补播恢复。

模拟投入增加下土地利用优化结构和草地总效益响应的结果表明,当草地投入不足时,围栏草地是一个相对效益比较高的草地恢复和利用方式,但是对牧户收入的增长非常依赖禁牧补贴和城市打工岗位的供给。对于多年生人工放牧草地,虽然其投入比一年生人工刈割草地低,同时经济效益比围栏草地高,但由于其在经济方面的性价比不如刈割草地,生态方面的性价比不如围栏草地;因此在土地利用结构调整的最优模型中,并未出现。而一年生人工刈割草地,不仅经济效益高,其收获时需要大量劳动力。

所以,当草地投入增加,或者当城市打工岗位不足时,可根据经济增长和生态保护目标,合理配置围栏草地与一年生人工刈割草地,实现整个区域较大的经济收入增长和生态系统服务的保障;并且本地吸纳劳动力和解决就业。本文将生态系统服务价值纳入投入产出分析中,并在此基础上进行土地利用模拟;此方法的构建对生态系统生态学和产业生态学的跨学科研究有一定推动性,未来研究应进一步通过学科交叉促进可持续发展的研究。

参考文献 (References):

- [1] 白永飞, 玉柱, 杨青川, 万宏伟, 黄建辉, 纪宝明, 李昂. 人工草地生产力和稳定性的调控机理研究: 问题、进展与展望. 科学通报, 2018, 63(S1): 511-520.
- [2] 牛书丽, 蒋高明. 人工草地在退化草地恢复中的作用及其研究现状. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1662-1666.
- [3] Wu J S, Feng Y F, Zhang X Z, Wurst S, Tietjen B, Tarolli P, Song C Q. Grazing exclusion by fencing non-linearly restored the degraded alpine grasslands on the Tibetan Plateau. Scientific Reports, 2017, 7: 15202.
- [4] Bi X, Li B, Fu Q, Fan Y, Ma L X, Yang Z H, Nan B, Dai X H, Zhang X S. Effects of grazing exclusion on the grassland ecosystems of mountain meadows and temperate typical steppe in a mountain-basin system in Central Asia's arid regions, China. Science of the Total Environment, 2018, 630: 254-263.
- [5] Diabate B, Wang X Y, Gao Y Z, Yu P J, Wu Z F, Zhou D W, Yang H J. Tillage and haymaking practices speed up belowground net productivity restoration in the degraded Songnen grassland. Soil and Tillage Research, 2018, 175: 62-70.
- [6] Wu G L, Liu Z H, Zhang L, Hu T M, Chen J M. Effects of artificial grassland establishment on soil nutrients and carbon properties in a black-soil-type degraded grassland. Plant and Soil, 2010, 333(1/2): 469-479.
- [7] Wang K B, Deng L, Ren Z P, Li J P, Shanguan Z P. Grazing exclusion significantly improves grassland ecosystem C and N pools in a desert steppe of Northwest China. CATENA, 2016, 137: 441-448.
- [8] Shang Z H, Ma Y S, Long R J, Ding L M. Effect of fencing, artificial seeding and abandonment on vegetation composition and dynamics of 'black soil land' in the headwaters of the Yangtze and the Yellow Rivers of the Qinghai-Tibetan Plateau. Land Degradation & Development, 2008, 19(5): 554-563.
- [9] Dong S K, Wang X X, Liu S L, Li Y Y, Su X K, Wen L, Zhu L. Reproductive responses of alpine plants to grassland degradation and artificial restoration in the Qinghai-Tibetan Plateau. Grass and Forage Science, 2015, 70(2): 229-238.
- [10] Liu J G, Li S X, Ouyang Z Y, Tam C, Chen X D. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2008, 105(28): 9477-9482.
- [11] 刘艳华, 宋乃平, 陶燕格, 王磊. 禁牧政策影响下的农村劳动力转移机制分析——以宁夏盐池县为例. 资源科学, 2007, 29(4): 40-45.
- [12] 梁赛, 王亚菲, 徐明, 张天柱. 环境投入产出分析在产业生态学中的应用. 生态学报, 2016, 36(22): 7217-7227.
- [13] 王雪, 施晓清. 基于投入产出表的北京市产业生态效率. 生态学报, 2018, 38(8): 2660-2671.
- [14] 曹淑艳, 谢高地. 基于投入产出分析的中国生态足迹模型. 生态学报, 2007, 27(4): 1499-1507.
- [15] Niang A, Pernollet C A, Gauthier-Clerc M, Guillemain M. A cost-benefit analysis of rice field winter flooding for conservation purposes in Camargue, Southern France. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2016, 231: 193-205.

- [16] Wu J X, Zhao Y, Yu C Q, Luo L M, Pan Y. Land management influences trade-offs and the total supply of ecosystem services in alpine grassland in Tibet, China. *Journal of Environmental Management*, 2017, 193: 70-78.
- [17] 赵苗苗, 赵海凤, 李仁强, 张丽云, 赵峰侠, 刘丽香, 沈瑞昌, 徐明. 青海省 1998—2012 年草地生态系统服务功能价值评估. *自然资源学报*, 2017, 32(3): 418-433.
- [18] 马新辉, 孙根年, 任志远. 西安市植被净化大气物质量的测定及其价值评价. *干旱区资源与环境*, 2002, 16(4): 83-86.
- [19] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 王效科. 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探——以海南岛尖峰岭热带森林为例. *应用生态学报*, 2000, 11(4): 481-484.
- [20] 肖玉, 谢高地, 安凯. 青藏高原生态系统土壤保持功能及其价值. *生态学报*, 2003, 23(11): 2367-2378.
- [21] Pan Y, Yu Z R, Holst J, Doluschitz R. Integrated assessment of cropping patterns under different policy scenarios in Quzhou County, North China Plain. *Land Use Policy*, 2014, 40: 131-139.
- [22] 刘敏, 龚吉蕊, 王忆慧, 张梓榆, 徐沙, 罗亲普. 豆禾混播建植人工草地对牧草产量和草质的影响. *干旱区研究*, 2016, 33(1): 179-185.
- [23] 王海青, 田育红, 黄薇霖, 肖随丽. 不同灌溉量对内蒙古人工草地主要牧草产量和水分利用效率的影响. *生态学报*, 2015, 35(10): 3225-3232.
- [24] 杨光梅, 李文华, 闵庆文. 生态系统服务价值评估研究进展——国外学者观点. *生态学报*, 2006, 26(1): 205-212.
- [25] Costanza R, de Groot R, Braat L, Kubiszewski I, Fioramonti L, Sutton P, Farber S, Grasso M. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 2017, 28: 1-16.