

DOI: 10.5846/stxb201808221789

段呈, 石培礼, 张宪洲, 宗宁. 藏北高原牧区人工草地建设布局的适宜性分析. 生态学报, 2019, 39(15): - .

Duan C, Shi P L, Zhang X Z, Zong N. Suitability analysis for sown pasture planning in an alpine rangeland of the northern Tibetan Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(15): - .

藏北高原牧区人工草地建设布局的适宜性分析

段 呈^{1,2}, 石培礼^{1,2,*}, 张宪洲^{1,2}, 宗 宁¹

¹ 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

² 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 人工草地是缓解天然草地退化和提升草地生产力的一种有效途径, 但人工草地建设发展需注重区域布局、种植区划、经营管理等战略问题, 尤其是在高寒牧区建立人工草地, 目前还存在诸多值得探讨的科学问题。为此, 选取藏北高原高寒牧区为研究区, 基于遥感数据、土壤数据、气象数据、地形和土地利用数据, 结合野外实地调查, 从可利用土地资源角度考虑, 通过分析藏北现有的人工草地建设的立地条件, 识别出区域适宜人工草地建设的潜在分布区, 并与现有的人工草地分布位置及其面积进行对比分析和验证, 以期为区域未来人工草地建设布局提供科学指导。研究结果表明: 在各种约束因子的限制下, 藏北满足人工草地建设条件的适宜区域极其有限, 难以发展大面积的人工草地建设工程。水热条件和海拔是限制区域人工草地建设的主要地理因素, 尤其是那曲地区, 绝大部分区域无法满足人工牧草生长活动的积温需求。因此, 区域牧草种植规划中需重点考虑牧草品种的生物特性。另一方面, 在藏北高寒牧区建立人工草地必须慎重, 今后人工草地种植规划还需要加强牧草的抗寒性和抗旱性研究, 在人工草地的管理方面要特别关注已建人工草地的可持续性和稳定性, 防止出现草地退化和沙化等问题。

关键词: 藏北高原; 高寒牧区; 人工草地布局; 适宜性分析

Suitability analysis for sown pasture planning in an alpine rangeland of the northern Tibetan Plateau

DUAN Cheng^{1,2}, SHI Peili^{1,2,*}, ZHANG Xianzhou^{1,2}, ZONG Ning¹

¹ Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

² University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Sown pasture development is an effective means to relieve rangeland degradation and improve grassland productivity. However, sown pasture development requires effective planning, planting, and management. Particularly, there are still many scientific questions and challenges in the sown pasture development of the alpine rangeland on the northern Tibetan Plateau. Therefore, based on field investigations of current sown pasture distribution, in combination with analyses of climate, soil, topography, land use and remote sensing data, we analyzed the site conditions of sown pasture planning and identified potential areas suitable for sown pasture development in the northern Tibetan Plateau. We compared the distribution location and area of potential sown pasture with the existing one to provide scientific insight into future sown pasture planning in the region. The results showed that the suitable area for sown pasture development is very limited, with an area about 15,333 hm² in Ngari Prefecture on the northern Tibetan Plateau. Altitude and hydrothermal conditions are the main factors restricting the construction of sown pasture in the region. Especially, in Nagqu Prefecture, most areas cannot

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFC0502001, 2016YFC0501803); 国家自然科学基金青年基金 (41703079); 中国科学院西部青年学者项目 (2015)

收稿日期: 2018-08-22; 网络出版日期: 2019-00-00

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

meet the demand of accumulated temperature for forage growth activities. Therefore, the biological characteristics of forage varieties should be taken into account in regional sown pasture planning in the future. We concluded that caution should be taken into developing sown pasture in the alpine rangeland above an average altitude of 4,500 m. Further study on the cold and drought resistance of forage varieties should also be strengthened. For effective management, the sustainability and stability of sown pasture should be considered to prevent rangeland degradation and desertification.

Key Words: Northern Tibetan Plateau; alpine rangeland; sown-pasture planning; suitability analysis

人工草地是指利用综合农业技术,在完全破坏了天然植被的基础上,通过播种建植新的人工草本群落,以生产补充饲料,解决饲料季节不平衡的牧用草地^[1]。为解决草畜矛盾和畜牧业发展的瓶颈制约,在农区或者半农半牧区的边际土地和低产耕地也常被用于建立人工草地。按照牧草的生长年限,可划分为一年生人工草地和多年生人工草地。目前,发展人工草地已成为缓解牧区天然草地放牧压力 and 提升草地生产力的有效途径,其高效集约的生产方式,不仅为牧区畜牧业的稳定发展提供所需的优质牧草,而且也有助于保护和恢复退化的天然草地^[2-5]。未来畜牧业可持续发展的一项重要措施就是建立集约化经营的人工草地。在畜牧业发达的澳大利亚、新西兰和欧洲等国家,人工草地占草地总面积的比例已超过 50%,人工草地集约化经营已成为低成本、高效益的畜牧典范模式。而中国的人工草地仅占草地总面积的约 5%,西藏的人工草地占比就更低了。据 2018 年西藏自治区农牧厅的最新发布数据,人工草地面积 9.9 万公顷^[6],占可利用草地面积 7713 万公顷的 0.13%^[7],且主要集中在海拔低于 4000 m 的藏南农牧结合区域^[8-9]。现阶段我国人工草地建设中依然面临种植规模小、牧草产量低、持续性和稳定性差等问题^[10],且大部分人工草地建设的实践研究局限于内蒙古和新疆等低海拔牧区^[11-14],而对于高寒牧区人工草地的布局建设方面探讨较少,目前开展较多的实验研究主要涉及青藏高原人工草地群落特征、稳定性、持续性和管理技术等^[15-19]。

西藏北部(藏北高原)是西藏自治区重要的牧区,目前草地畜牧业的发展依然是以天然草地为饲草来源的传统的粗放型畜牧业模式为主。作为西藏今后畜牧业的重点发展区域,牲畜对饲草料的需求巨大。但由于水热条件的限制,以高寒草地生态系统为主的天然草地生态系统脆弱,生产力不稳定,易受气候变化的影响,尤其是在降水量季节变化差异大的干旱、半干旱区,天然草地生产力的不稳定性严重制约着草地载畜量^[20-23],加之近些年受气候变化和放牧压力的影响,草地植被群落结构破坏和生物量减少,草地呈现普遍退化状态^[24-27],面临天然草地草畜平衡调控能力严重失调的巨大压力。解决西藏天然草地草畜平衡失调问题是遏制草地退化和构建高原生态安全屏障的关键所在,要缓解天然草场压力,除加强畜牧业生产体系自身机制建设外,还应多途径、多渠道地组织饲草饲料生产^[28]。例如建立人工草地、修建牲畜暖棚并进行牛羊舍饲养肥、退化草地恢复与重建、优化畜群结构和放牧强度等,都是实现高寒草地畜牧业经营持续发展的有效途径^[29]。通过建立人工草地和发展草地畜牧业,可以使因长期过牧而普遍退化的天然草地得以退牧还草,恢复退化天然草地的生态与生产功能^[30-31]。但是,人工草地建设发展需注重人工草地区域布局、牧草种植区划、人工草地与家畜饲养耦合和人工草地经营管理等战略问题^[32]。

藏北高原由于寒、旱气候条件的约束,在牧区发展大规模的人工草地是不切实际的,适宜建设人工草地的土地资源也极其有限,而且,目前部分现有人工草地存在选址布局不合理,种植模式单一,稳定性差,缺乏有效管理等问题。因此,不同于低海拔区域人工草地建设,藏北高原人工草地布局考虑的条件应更为严格,不仅要考虑牧草品种生物学特性,而且还需评价人工草地选址的适宜性及其潜在的环境影响。根据野外调查和青藏高原目前人工草地建设情况分析^[15-18, 29],藏北高原人工草地布局应该选择在海拔相对较低、土壤和水热条件较好、靠近乡镇点便于管理,以及严重退化的草地作为潜在的建立区域,不能盲目破坏天然草地和能够通过改良恢复的退化草地。此外,根据牧草品种生理特性选择合适的牧草品种和种植模式同样是布局建设中需要重点考虑的问题。

因此,本研究基于遥感数据、土壤数据、气象数据、地形和土地利用数据,结合野外人工草地调查数据,在分析了现有人工草地建设立地条件的基础上,针对藏北不同区域人工草地布局建设的适宜性进行了探讨,识别出区域适宜建设人工草地的潜在区域,并与现有人工草地进行对比分析和验证,以期对未来人工草地建设布局提供科学依据。

1 研究区概况

藏北高原又称“羌塘高原”(图 1),南北宽达 760 km,东西长约 1200 km,面积 59.5 万 km²,约占西藏自治区土地面积的一半,该区域拥有广阔天然草地资源,约占西藏天然草地面积的 59%,是西藏主要的牧业发展区。藏北高原大部分地面高度在海拔 4600—5100 m 之间,地势总倾向为西北高、东南低,气候寒冷干燥,大部分地区年平均气温低于 0℃,最暖月均温不及 14℃,最冷月均温-10℃以下。区域年平均降水量从东南部的 300 mm 左右,逐渐减至西北部的 50 mm 以下,且降水主要集中在 6—8 月,夏季日照时间长,太阳辐射强^[33]。藏北高原土壤主要以莎嘎土、冷漠土和寒漠土为主,有机质含量低。从东往西,草地植被类型包括以高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、矮嵩草(*Kobresia humilis*)和青藏苔草(*Carex moorcroftii*)为优势种的高寒草甸;以紫花针茅(*Stipa purpurea*)、丝颖针茅(*Stipa capillacea*)和座花针茅(*Stipa subsessiliflora*)为优势种的高寒草原;以及以羽柱针茅(*Stipa subsessiliflora*)、沙生针茅(*Stipa glareosa*)和驼绒藜(*Ceratoides lateens*)为优势种的荒漠草原^[34]。

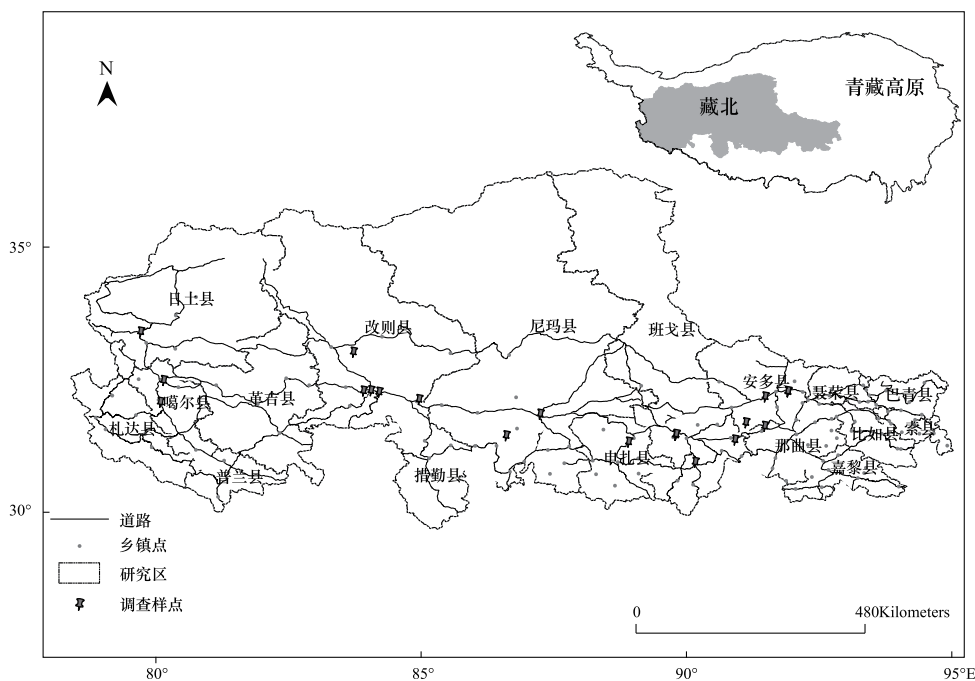


图 1 研究区和调查样点分布图

Fig.1 Map of study area and survey sites

2 高寒地区人工草地布局原则和方法

2.1 高寒地区人工草地布局原则

考虑到藏北地区特殊的地理环境条件,本研究选择适宜高寒地区开展人工种草项目建设的区域需满足以下原则(表 1)。

2.2 野外调查

于 2017 年 7 月起对藏北各县域现有人工草地进行野外调查,调查内容主要包括现有人工草地面积、位

置、海拔高度、立地条件、种植牧草品种及其长势等。为分析现有人工草地的立地条件,在研究区内不同区域选取了 20 块面积规模在 60 hm²以上的人工草地(图 1)筛选潜在人工草地适宜性条件。

表 1 高寒地区人工草地布局原则
Table 1 Principle for sown pasture layout in alpine region

影响因素 Influencing factors	布局原则 Principle for layout
气候(水热条件) Climate	温度满足牧草基本生长需求,靠近水源便于灌溉
植被 Vegetation	重度退化草地,群落盖度 < 20%
土壤 Soil	满足开垦建设和人工牧草立地条件
地形 Terrain	海拔相对较低,地势平坦的区域
草地生产力 Pasture productivity	建植的人工草地生产力显著高于天然草地,且是人工草地类型中较高的
土地利用类型 Land use	低覆盖度的退化草地
经营管理条件 Management	靠近居民点便于管理,道路便于通达

2.3 数据来源与处理

人工草地布局建设中,要根据区域气候条件、水热状况、土壤条件、人工草地类型以及社会经济条件等来确定人工草地类型及其面积^[35]。因此,结合野外调查和高原人工草地布局原则,本研究选取土壤、地形、气候、植被、土地利用类型五个方面的影响因素(表 2),各个参数通过 ArcGIS 10.2 进行处理和提取。

表 2 本研究所用的数据集
Table 2 The datasets used for sown pasture planning in this study

影响因素 Influencing factors	参数 Parameters	分辨率 Resolution	数据源 Data sources
土壤 Soil	土壤有机质、土壤碎石百分比(0—30 cm)	1 km	[36]
地形 Terrain	海拔、坡度	90 m	http://srtm.csi.cgiar.org
气候 Climate	≥10℃ 积温	500 m	http://www.resdc.cn
植被 Vegetation	植被覆盖度	1 km	https://lpdaac.usgs.gov/data_access/data_pool
土地利用 Land use	土地利用类型、水源、乡镇点和道路	30 m	http://www.resdc.cn , 谷歌地图

2.4 植被覆盖变化趋势

人工草地建设不能破坏天然草地,只能以地势较低的退化草地建设。采用 2000—2015 年的 MOD13A3 植被指数来反演植被覆盖度,为反映植被覆盖变化趋势,利用趋势变化公式,如下所示,Slope 表示影像中每一个栅格单元的植被覆盖变化趋势,> 0 为增长,< 0 为退化趋势,n 为研究时间段(2000—2015 年,16),NDVI_i表示研究期间第 i 年的植被覆盖度。本研究选择以 Slope<0 植被处于重度退化状态的区域。

$$\text{Slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (i \times \text{NDVI}_i) - \sum_{i=1}^n i \times \sum_{i=1}^n \text{NDVI}_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i\right)^2}$$

在具体操作中,我们建立了 NDVI 与群落盖度之间的相关关系,选择退化且群落盖度<20%的重度退化草地。

2.5 空间分析法

本研究根据选取的影响因素的各个参数作为人工草地布局建设适宜性分析的指标,首先利用 ArcGIS 10.2的空间分析模块提取和分析每个参数指标所确定的人工草地布局建设适宜的空间分布,然后基于各个参数的适宜性条件(表 3),将各个参数指标的适宜性空间分布图进行叠加,得到综合的人工草地在藏北的适宜性空间分布图,最后根据县级单元的边界提取人工草地潜在的适宜性面积,和现有人工草地分布位置和面积进行对比分析。

表 3 藏北高原建立人工草地环境参数的适宜性分析

Table 3 Suitability of environmental parameters for establishing sown pasture on the Northern Tibetan Plateau		
参数 Parameters	适宜性描述 Description for suitability	
土壤有机质 Soil organic matter	有机质含量满足人工种草立地条件,根据现有人工草地的土壤有机质含量分析确定阈值范围	
土壤碎石百分比 Gravel proportion	土壤碎石百分比低于一定比例,符合开垦的条件,根据现有人工草地的碎石百分比分析确定阈值范围	
海拔 Altitude	区域海拔相对较低的位置,以现有人工草地海拔分析确定阈值	
坡度 Slope	<25°地势平坦的区域	
≥10℃ 积温 Accumulated temperature	满足藏北常用牧草品种(紫花苜蓿、燕麦、箭筈豌豆、青稞、披碱草等)的基本全生育期活动积温需求	
植被覆盖度 Vegetation cover	植被覆盖度处于退化趋势的区域	
水源 Water source	靠水源点一定距离范围,便于灌溉,以现有人工草地距离水源范围确定阈值	
道路 Road	靠近道路,有道路可通达	
乡镇点 Village	靠近乡镇点一定范围,便于管理	
土地利用类型 Land use	处于退化趋势的低覆盖度草地,荒地,未利用土地	

3 结果分析

3.1 藏北高原现有人工草地建设立地条件分析

根据实地调查的 20 块 60 hm²规模以上的现有人工草地,提取了海拔、坡度、土地利用类型、土壤有机质、土壤碎石百分比、水源距离等参数值(图 2)。结果表明藏北地区现有人工草地均位于较高的海拔地区,海拔最高位于 4761 m,最低位于 4249 m,平均海拔 4546 m。考虑灌溉条件,现有人工草地均选择离水源较近的位置,或者离县城较近方便灌溉的区域,最远有 40 km,最近 1 km,平均距离 13 km。适宜建立人工草地的土壤属性主要考虑 0—30 cm 土层的土壤碎石百分比和土壤有机质,现有人工草地土壤有机质差别不大,均值 1.29 g/100g,而土壤碎石比最高 27.8 g/100g,最小值 1.6 g/100g,均值 16.6 g/100g,从土壤条件的选择可以看出,现有人工草地的建立通常选择土壤碎石比较低且利于开垦的区域,而土壤有机质均不高与区域地质条件有关。此外,提取土地利用类型和坡度发现现有人工草地均建立在草地覆盖度低的平坦地势区域,坡度均小于 25°,

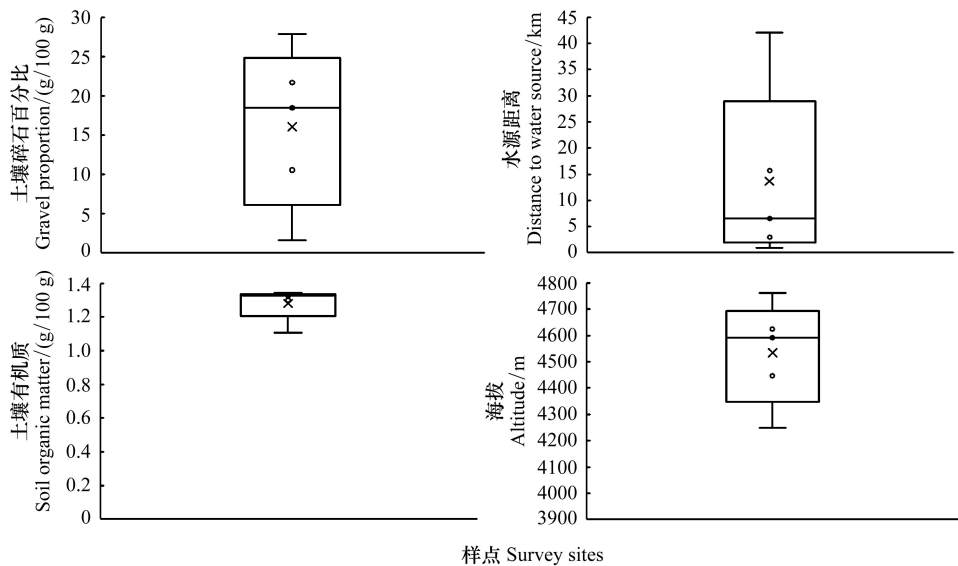


图 2 藏北高原人工草地建立条件参数

Fig.2 Parameters for establishing sown pasture on the Northern Tibetan Plateau

以利于耕作和灌溉保墒。因此,筛选人工草地潜在区域时主要考虑选择低覆盖度的退化草地和地势平坦的位置。

按照牧草生育期的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温最低的燕麦 500°C [37], 人工牧草的建植的主要区域在尼玛县及其以西的地区(图 3), 而青稞、箭筈豌豆、紫花苜蓿和披碱草的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温都高于 1500°C , 分别是 1500°C 、 1700°C 、 1700°C 和 1700°C [38-40], 藏北高原的活动积温能满足这些牧草种的地方微乎其微。因此, 本文以活动积温要求最低的燕麦为例来匡算人工草地建植的潜在最大面积。

据 2017 年调查, 藏北高原人工草地普遍种植的是一年生燕麦, 而多年生的披碱草和饲料用的青稞种植面积非常少。那曲县、尼玛县和普兰县种植的燕麦鲜草产量普遍达到 22500 kg/hm^2 以上。而那曲县那木切乡披碱草和燕麦混播的产草量约 22500 kg/hm^2 , 青稞鲜草产量为 18000 kg/hm^2 ; 班戈县披碱草鲜草产草可达到 27000 kg/hm^2 , 青稞 18000 kg/hm^2 , 而普兰县的披碱草鲜草产量只有 11250 kg/hm^2 。可见, 藏北高原燕麦产草量通常高于披碱草和青稞等牧草, 由于披碱草人工草地积温需求较高, 种子不能成熟, 还存在越冬的冻害等问题, 且 3 年以上的披碱草草地容易退化, 因此, 藏北普遍种植的是燕麦人工草地。尽管一年生燕麦种植需要的积温要求比其他牧草要低许多, 每年种植需要较高的劳动力投入, 但产草量高且比较稳定, 牧民还是普遍愿意种植燕麦。

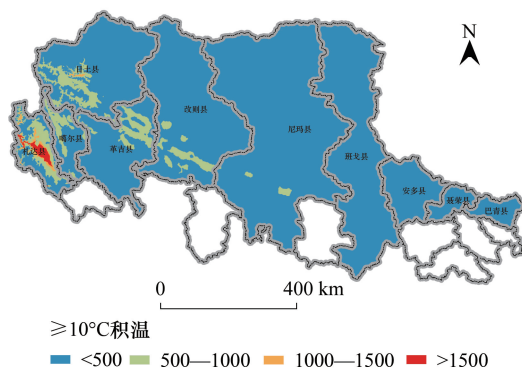


图 3 藏北高原 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温和分布区域

Fig.3 Distribution and magnitude of accumulated temperature above 10°C

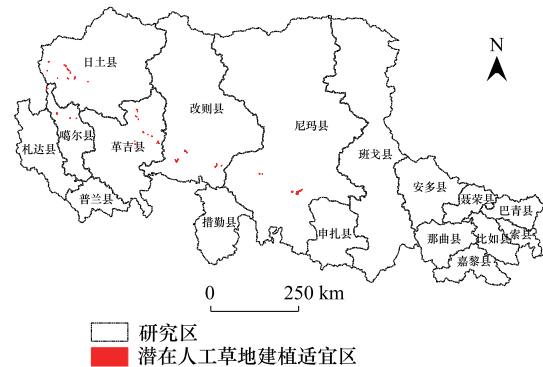


图 4 藏北高原潜在人工草地(燕麦)分布面积

Fig.4 Distribution areas of potential sown pastures of oats in the Northern Tibetan Plateau

3.2 藏北高原潜在适宜人工草地建设区域

根据人工草地建立适宜性条件分析, 确立藏北人工草地建立的基本条件(表 4), 将各个参数指标筛选出的适宜区进行叠加, 综合得出藏北潜在适宜建设人工草地的区域面积(图 4)。在本研究野外调查期间, 发现藏北种植最多的牧草品种为燕麦, 以 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温需求最低的燕麦为例, 适宜藏北区域人工草地建设的土地极其有限, 只有五个县域(尼玛县、改则县、革吉县、日土县、噶尔县)有具备人工草地建设条件的土地, 且绝大部分位于阿里地区, 那曲地区只有尼玛县有少数符合建设条件的土地, 五个县域中以尼玛县的面积最多, 改则县次之, 噶尔县最少。根据面积统计, 区域符合人工草地建设条件的潜在面积为 15333 hm^2 , 尼玛县最多 6067 hm^2 , 改则县 2933 hm^2 , 最少的噶尔县为 1333 hm^2 。此外, 各县域潜在人工草地与现有人工草地面积对比(图 5)表明,

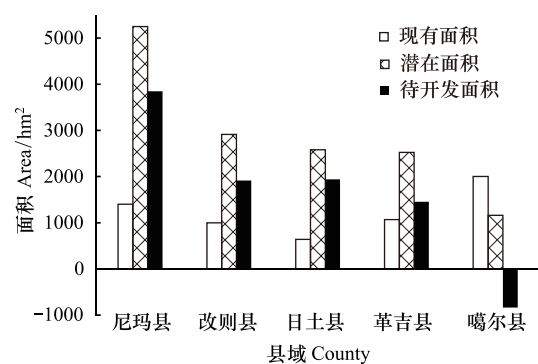


图 5 藏北高原潜在人工草地和现有人工草地面积对比

Fig.5 Comparison of cultivation areas between potential sown pastures and existing sown pastures on the Northern Tibetan Plateau

除了噶尔县现有人工草地超过潜在人工草地面积外,其他四个县域均存在多余尚待开发的面积。另外,若以其他四种常种牧草(青稞、箭筈豌豆、紫花苜蓿和披碱草)的活动积温需求提取,只有札达县和噶尔县少数区域符合条件,但这些区域却不符合人工草地建立的其他需求。因此,不同牧草品种活动积温需求是影响藏北人工建立的关键限制因素。

表 4 藏北高原人工草地建立条件
Table 4 The condition of establishing sown pasture on the Northern Tibetan Plateau

参数 Parameters	人工草地建立基本需求 Basic requirements for establishing sown pasture
海拔 Altitude	≤4500 m
坡度 Slope	<25°
土壤有机质 Soil organic matter	≥1.29g/100g
土壤碎石百分比 Gravel proportion	≤16.6g/100g
水源距离 Distance to the water source	≤15 km
植被覆盖度 Vegetation cover	Slope<0,且植被盖度<20%的重度退化草地
≥10℃ 积温 Accumulated temperature	根据牧草活动积温需求,藏北高原>10℃ 积温至少要高于 500℃ *

* 表示生育阶段即从出苗到成熟所需要的活动积温需求

3.3 藏北高原人工草地布局建设适宜性验证——以改则县为例

通过野外调查和现有人工草地分布数据收集,对比分析了改则县现有人工草地和潜在人工草地分布区域的适宜性(图 6)。改则县现有人工草地共 1000 hm²,地块分布较为零散,主要分布在改则镇、洞措乡、物玛乡和麻米乡,最大的面积为 148 hm²,最小的面积 1.78 hm²,面积超过 60 hm²的人工草地只有 7 个地块,其余的均为规模较小的地块。此外,现有人工草地只有少数几块分布在海拔 4500 m 较低的位置,其余大部分海拔在 5000 m 左右,且离水源地较远。相反地,根据适宜性分析筛选出的潜在人工草地分布主要集中在海拔 4500 m 较低的区域,离水源地近,有道路可以通达,靠近乡镇点便于管理,且大部分地块面积规模较大,分布集中。相较于现有的人工草地,筛选出的潜在人工草地分布位置更适宜作为今后发展建设的区域。

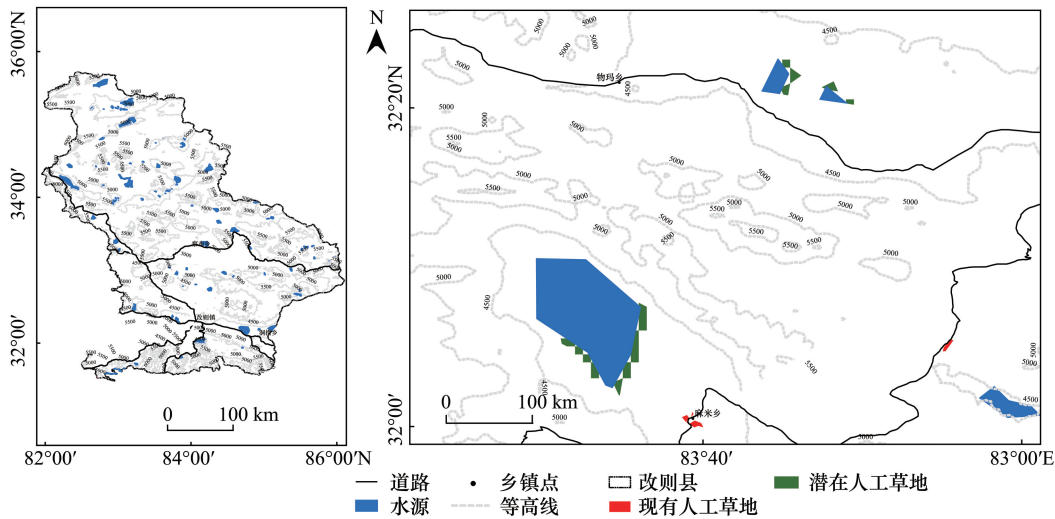


图 6 改则县地势图和人工草地布局图

Fig.6 Topography and sown pastures layout in Gerze County topography, sown pasture layout area

4 讨论

本文利用气象、土壤、地形、土地利用、遥感数据并结合野外调查,从可利用土地资源的角度考虑,综合分

析藏北高原牧区人工草地建设布局的适宜性,识别出适宜人工草地建设的潜在分布位置和面积。研究发现,影响该区人工草地布局最重要的因子是水热条件和海拔,且在综合考虑灌溉条件、交通的可达性和低盖度退化草地等人工草地布局综合约束条件下,能满足人工草地建设条件的适宜区域极其有限。

影响人工草地布局的基础为土地适宜性,其中热量和水分两大因子尤其重要^[41]。低温和生长季节短是限制高寒草地植被生产力的主要限制因子^[42-43],对牧草的生长物候和生产力具有重要影响。本研究以燕麦的积温需求为例选取温度适宜区,发现藏北高原大部分区域,尤其是那曲地区无法满足人工牧草种植的积温需求,只有阿里地区的五个县能满足燕麦生长的活动积温要求。水分条件也是影响牧草生产力的关键因子,区域草地的产草量与降水量直接相关^[44]。西部的阿里地区虽满足积温需求但由于降水量低,气候干旱,满足灌溉条件的水源点也较少。因此,从水热条件来看,藏北高原牧区发展人工草地面临二难境地,即东部的那曲地区降水较丰富,但积温较低,而西部的阿里地区虽然积温达到要求,但降水显得严重不足。水热条件的不协调,都会限制人工草地的发展及其生产力。藏北高原地处高寒牧区,气候呈现寒、旱的特征,水热条件的制约成为人工草地的首要约束条件。从目前对积温要求较低的燕麦人工草地种植分布区分析来看,藏北高原牧区种植面积潜在面积只有 15333 hm²,难以达到西藏自治区初步在该区每个县建立人工草地 1000 hm²的目标,而且适宜燕麦种植的还在阿里的 5 个县,这些县的降水量少,灌溉条件比较难以满足,需要通过修建水渠或者引夏季融雪的雪水灌溉,成本很高。因此,从人工草地经济可行性和成本效益角度来说,藏北高原人工草地建设还面临诸多问题,难以大面积发展人工草地。比较可行的是,藏北牧区建设以家庭圈窝种草为主要形式的牧户家庭种草模式。同时在农区或者农牧交错带,在保障粮食安全基础上建设冬饲料牧草生产基地,通过区域农牧耦合的方式解决藏北牧区饲草问题。

在牧草种类选择方面,披碱草虽然长期被认为是高寒牧区人工草地建设的首选牧草物种,但从牧草品种的适应性来看,该牧草的品种需要的积温较高,在海拔普遍超过 4500m 的藏北高原地区,面临冻害的风险较高。而且,披碱草人工植被在自然演替状态下短期内就会发生严重退化^[45-46],在退化草地补播或者翻耕后种植的垂穗披碱草根系比较浅,不耐践踏和啃食,不能形成长期稳定的放牧群落。其他牧草种类也同样面临类似问题。相比之下,燕麦虽然是一年生品种,但在 6—9 月的生长季作为饲料作物种植,能获得较高的产草量,在藏北地区受到牧民欢迎,种植面积也比其他牧草品种广得多。当然,种植一年生牧草,频繁地耕作、投入成本、产出效益和可持续性都是需要慎重考虑的。否则,人工草地生产力下降至天然草地水平,投入和产出效益不成正比这都是没有实践价值的。

适宜不同牧草品种生长所需的积温和水分条件不同,因此,未来人工草地建设布局时需考虑牧草品种的抗寒性和抗旱性,应结合牧草种植区划,选取适合的种植模式。另外,本研究选取植被指数反演的覆盖度作为反映草地退化的指标,植被覆盖单独作为反映草地退化的指标太单一,草地退化不单是覆盖度的变化,还包括群落结构的退化,今后需要结合土壤和植被群落结构变化来综合反映草地退化^[25],选择严重退化草地作为发展建设人工草地的区域,而不是可改良和恢复的退化草地。

总得来说,藏北高原牧区由于地理环境条件的限制,草地生产力十分有限,且适宜发展人工草地的潜在区域也极其有限,从草地生态系统服务功能和国家生态安全建设角度来看,其供给服务发展潜力有限,国家也将藏北高原定位于高原生态安全保障。要解决藏北草畜间的矛盾,关键是草料的供给,应选择海拔低,水热条件好的农区作为发展人工草地的重点区域。西藏“一江两河”(雅鲁藏布江及其支流拉萨河、年楚河)流域的农区,由于较低的海拔和良好的水热条件,土地资源相对丰富,与藏北牧区人工草地建设适宜性相比,有着巨大的潜力。但农区由于粮食保障的需求,土地资源长期以来以耕地利用为主,人工草地建设未得到足够重视,粮草争地的矛盾长期存在,还未充分发挥农区草地的最大效益^[47]。面对西藏不同区域草地生态系统服务供给和需求存在的空间弹性差异,只有因地制宜地调控供给和需求差异才能使得生态系统服务效用最大化。因此,如何合理有效地将以藏北为代表的牧区和“一江两河”流域的农区相结合,发展区域农牧耦合是今后西藏畜牧业发展的重要战略任务^[48-49]。

5 结论

藏北高原人工草地布局最重要的影响因子是水热条件和海拔,决定了人工牧草种植的适宜性;其次,灌溉条件和交通的可达性是人工草地建设可行性需要重点考虑的要素;此外,人工草地只能建设在低盖度的严重退化草地上,不能破坏天然草地和可以改良恢复的轻度退化草地。在多因素的约束下,藏北高原能满足人工草地建设条件的适宜区域极其有限,以生长季较短、活动积温受限最低的一年生燕麦种植为例,其潜在的适宜区总面积约 15333 hm²,而且主要集中分布在降水条件较差的阿里地区,考虑引水灌溉的建设经济成本,要想建立大规模成片的人工草地是非常难的。对于水热因子限制条件来说,东部的那曲地区降水较充沛,主要受积温不足的限制;而西部的阿里地区则主要受到水分的限制,需要加强灌溉设施建设。因此,要在平均海拔超过 4500m 的藏北高寒牧区建立人工草地必须慎重,人工草地建设应该重点考虑海拔较低的“一江两河”地区。今后人工草地种植规划还需要加强牧草的抗寒性和抗旱性研究,在人工草地的管理方面要特别关注已建人工草地的可持续性、稳定性、生产力和牧草质量,防止出现草地退化和沙化等问题。

参考文献 (References):

- [1] 胡自治. 世界人工草地及其分类现状. 国外畜牧学——草原与牧草, 1995, (2): 1-8.
- [2] 张新时. 我国必须走发展人工草地和草地农业的道路. 科学对社会的影响, 2010, (3): 18-21.
- [3] 方精云. 我国草原牧区呼唤新的草业发展模式. 科学通报, 2016, 61(2): 137-138.
- [4] 方精云, 白永飞, 李凌浩, 蒋高明, 黄建辉, 黄振英, 张文浩, 高树琴. 我国草原牧区可持续发展的科学基础与实践. 科学通报, 2016, 61(2): 155-164.
- [5] 方精云, 潘庆民, 高树琴, 景海春, 张文浩. “以小保大”原理: 用小面积人工草地建设换取大面积天然草地的保护与修复. 草业科学, 2016, 33(10): 1913-1916.
- [6] 西藏农牧信息网. 区农牧厅关于改革开放 40 年来西藏农牧业重大发展成就的报告. (2018-05-31). <http://xzm.agri.gov.cn/index/xinxi/gonggao/2018/0725/1640.html>.
- [7] 西藏自治区人民政府. 西藏发布最新草原普查数据: 草原总面积 13.23 亿亩. (2016-10-25). http://www.xizang.gov.cn/zwgk/xwfbh/201610/t20161028_91436.html.
- [8] 魏学红, 郑维列. 浅谈西藏人工草地的建设. 西藏科技, 2006, (5): 53-54.
- [9] 沈海花, 朱言坤, 赵霞, 耿晓庆, 高树琴, 方精云. 中国草地资源的现状分析. 科学通报, 2016, 61(2): 139-154.
- [10] 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(5/6): 511-520.
- [11] 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.
- [12] 贾纳提, 刘梦, 梁维维, 李学森, 麦丽亚·伊尔斯比克. 旱作条件下新疆天山北坡中山带人工草地建植效果评价. 草地学报, 2016, 24(5): 1126-1130.
- [13] 王博杰, 唐海萍, 何丽, 林国辉, 赵世杰, 赵明旭. 农牧交错区旱作条件下苜蓿和冰草人工草地稳定性研究. 草业学报, 2016, 25(4): 222-229.
- [14] 李达, 王笛, 陈金强, 辛晓平, 徐丽君, 杨桂霞, 唐雪娟, 郭明英. 呼伦贝尔人工栽培草地土壤微生物对无芒雀麦不同播种密度的响应. 草业学报, 2018, 27(1): 53-61.
- [15] 张耀生, 赵新全. 高寒牧区中华羊茅人工草地退化演替的数量特征研究. 应用生态学报, 2002, 13(3): 285-289.
- [16] 张耀生, 赵新全, 黄德清. 青藏高寒牧区多年生人工草地持续利用的研究. 草业学报, 2003, 12(3): 22-27.
- [17] 周华坤, 赵新全, 赵亮, 韩发, 古松. 高山草甸垂穗披碱草人工草地群落特征及稳定性研究. 中国草地学报, 2007, 29(2): 13-25.
- [18] 董全民, 马玉寿, 赵新全. 江河源区“黑土型”退化人工草地管理技术研究. 草业科学, 2007, 24(8): 9-15.
- [19] 董全民, 赵新全, 马玉寿, 施建军, 王彦龙, 李世雄, 杨时海, 盛丽. 放牧强度对高寒混播人工草地群落特征及地上现存量的影响. 草地学报, 2012, 20(1): 10-16.
- [20] O'Reagain P, Bushell J, Holloway C, Reid A. Managing for rainfall variability: effect of grazing strategy on cattle production in a dry tropical savanna. Animal Production Science, 2009, 49(2): 85-99.
- [21] O'Reagain P, Bushell J, Holmes B. Managing for rainfall variability: long-term profitability of different grazing strategies in a northern Australian

- tropical savanna. *Animal Production Science*, 2011, 51(3): 210-224.
- [22] O'Reagain P J, Scanlan J C. Sustainable management for rangelands in a variable climate: evidence and insights from northern Australia. *Animal*, 2013, 7 Suppl 1: 68-78.
- [23] O'Reagain P, Scanlan J, Hunt L, Cowley R, Walsh D. Sustainable grazing management for temporal and spatial variability in North Australian rangelands - a synthesis of the latest evidence and recommendations. *The Rangeland Journal*, 2014, 36(3): 223-232.
- [24] 高清竹, 李玉娥, 林而达, 江村旺扎, 万运帆, 熊伟, 王宝山, 李文福. 藏北地区草地退化的时空分布特征. *地理学报*, 2005, 60(6): 965-973.
- [25] 孙鸿烈, 郑度, 姚檀栋, 张德铨. 青藏高原国家生态安全屏障保护与建设. *地理学报*, 2012, 67(1): 3-12.
- [26] Harris R B. Rangeland degradation on the Qinghai-Tibetan plateau: a review of the evidence of its magnitude and causes. *Journal of Arid Environments*, 2010, 74(1): 1-12.
- [27] Chen B X, Zhang X Z, Tao J, Wu J S, Wang J S, Shi P L, Zhang Y J, Yu C Q. The impact of climate change and anthropogenic activities on alpine grassland over the Qinghai-Tibet Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2014, 189-190: 11-18.
- [28] 何永涛, 张宪洲, 余成群. 青藏高原农牧系统耦合发展及其生态效应. *中国科学院院刊*, 2016, 31(1): 112-117.
- [29] 赵新全, 张耀生, 周兴民. 高寒草甸畜牧业可持续发展: 理论与实践. *资源科学*, 2000, 22(4): 50-61.
- [30] 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.
- [31] 张新时, 唐海萍, 董孝斌, 李波, 黄永梅, 龚吉蕊. 中国草原的困境及其转型. *科学通报*, 2016, 61(2): 165-177.
- [32] 李凌浩, 路鹏, 顾雪莹, 毛小涛, 高树琴, 张英俊. 人工草地建设原理与生产范式. *科学通报*, 2016, 61(2): 193-200.
- [33] 李明森. 藏北高原草地资源合理利用. *自然资源学报*, 2000, 15(4): 335-339.
- [34] Wu J S, Zhang X Z, Shen Z X, Shi P L, Xu X L, Li X J. Grazing-exclusion effects on aboveground biomass and water-use efficiency of alpine grasslands on the Northern Tibetan Plateau. *Rangeland Ecology & Management*, 2013, 66(4): 454-461.
- [35] 白永飞, 潘庆民, 邢旗. 草地生产与生态功能合理配置的理论基础与关键技术. *科学通报*, 2016, 61(2): 201-212.
- [36] Wei S G, Dai Y J, Liu B Y, Zhu A X, Duan Q Y, Wu L Z, Ji D Y, Ye A Z, Yuan H, Zhang Q, Chen D D, Chen M, Chu J T, Dou Y J, Guo J X, Li H Q, Li J J, Liang L, Liang X, Liu H P, Liu S Y, Miao C Y, Zhang Y Z. A China data set of soil properties for land surface modeling. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 2013, 5(2): 212-224.
- [37] 郎百宁, 车敦仁. 燕麦对生态条件的要求及我省种植区初议. *青海畜牧兽医杂志*, 1990, (6): 25-27.
- [38] 冯西博. 青藏高原生态条件下青稞营养成分的分析. *福建农业学报*, 2016, 31(12): 1312-1317.
- [39] 刘树成. 箭舌豌豆生育期和活动积温的相关分析. *中国草业科学*, 1988, (3): 49-51.
- [40] 徐斌, 杨秀春, 白可喻, 陈仲新, 覃志豪, 邱建军. 中国苜蓿综合气候区划研究. *草地学报*, 2007, 15(4): 316-321.
- [41] 郑建宗. 柴达木地区人工草地生产布局战略思考. *中国草食动物科学*, 2013, 33(1): 70-72.
- [42] Piao S L, Fang J Y, He J S. Variations in vegetation net primary production in the Qinghai-Xizang Plateau, China, from 1982 to 1999. *Climatic Change*, 2006, 74(1/3): 253-267.
- [43] Liu X F, Zhu X F, Pan Y Z, Zhu W Q, Zhang J S, Zhang D H. Thermal growing season and response of alpine grassland to climate variability across the Three-Rivers Headwater Region, China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2016, 220: 30-37.
- [44] Del Grosso S, Parton W, Stohlgren T, Zheng D L, Bachelet D, Prince S, Hibbard K, Olson R. Global potential net primary production predicted from vegetation class, precipitation, and temperature. *Ecology*, 2008, 89(8): 2117-2126.
- [45] 马玉寿, 施建军, 董全民, 王彦龙, 盛丽. 人工调控措施对“黑土型”退化草地垂穗披碱草人工植被的影响. *青海畜牧兽医杂志*, 2006, 36(2): 1-3.
- [46] 邱正强, 马玉寿, 施建军, 潘多峰, 李瑞江. 甘肃马先蒿对“黑土型”退化草地垂穗披碱草人工草地的影响. *草原与草坪*, 2006, (5): 26-29.
- [47] 余成群, 钟志明. 西藏农牧业转型发展的战略取向及其路径抉择. *中国科学院院刊*, 2015, 30(3): 313-321.
- [48] 成升魁, 闵庆文. 西藏农牧业发展若干战略问题探讨. *资源科学*, 2002, 24(5): 1-7.
- [49] 张宪洲, 何永涛, 沈振西, 王景升, 余成群, 张扬建, 石培礼, 付刚, 朱军涛. 西藏地区可持续发展面临的主要生态环境问题及对策. *中国科学院院刊*, 2015, 30(3): 306-312.