

基于草地资源可持续利用的干旱半干旱区草 牧业发展策略——以新疆阿勒泰地区为例

孙特生^{1*} 包亚琴¹ 李文彦^{1,2}

(¹西北师范大学社会发展与公共管理学院,兰州 730070; ²宁县自然资源局,甘肃庆阳 745200)

摘要 发展草牧业在促进农业结构调整、保障国家食品安全和生态安全等方面具有重要的战略地位和作用。本文以新疆阿勒泰地区为例,从草-畜-人社会生态系统视角,运用人口、资源与环境经济学的理论和方法,在评价草地资源可持续利用状况及其耦合协调度的基础上,提出我国北方干旱半干旱区草牧业发展策略。研究区草地资源可持续利用的整体水平较低,具体表现为草地资源的生产性不高、保护性不够、稳定性不足、经济可行性较差、社会可承受性较低;草地生态系统的非平衡性特征,草-畜-人系统内部各子系统之间交互作用的复杂性、逻辑联系的特殊性,以及在牧区生态、牧业发展和牧民增收之间缺乏有效权衡,是导致研究区草地资源可持续利用耦合协调度较低的重要原因;大力发展优质牧草产业,着力构建现代牧业体系,全力提升新型牧民素质,推进草-畜-人系统耦合,从而增强草地系统的自然过程、经济过程和社会过程的融合演进,根本解决草畜矛盾、供需矛盾和“三生”矛盾,促进干旱半干旱区草牧业持续健康发展。加强多部门交流合作,集成多学科理论方法,整合多领域政策资源,科学编制中长期草牧业发展规划,促进草牧业高质量发展和草原牧区乡村振兴;深入开展草牧业科技创新、试验示范和推广工作,加快形成优质牧草-现代牧业-新型牧民“三位一体”格局,长期维系草原牧区和谐共生的人地关系,是实现干旱半干旱区草牧业持续健康发展的长远之策、根本之策。

关键词 草地资源; 草牧业; 草-畜-人系统; 耦合协调度; 干旱半干旱区

Strategy on the development of grass-based livestock husbandry in the arid and semi-arid region based on sustainable utilization of grassland resources: A case study of Altay, Xinjiang, China. SUN Te-sheng^{1*}, BAO Ya-qin¹, LI Wen-yan^{1,2} (¹College of Social Development and Public Management, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China; ²Ningxian Municipal Bureau of Natural Resources, Qingyang 745200, Gansu, China).

Abstract: The development of “grass-based livestock husbandry” (GLiH) plays an important strategic role in promoting the adjustment of agricultural structure and ensuring national food safety and ecological safety. The underlying mechanisms for sustainable grassland use and what strategy is essential for the development of the GLiH remain unknown. In this study, we considered “grass-livestock-human” system as a coupled social ecosystem, and used the theories and methods related to population, resources and environmental economics to explore strategies on the development of the GLiH. Taking the Altay Prefecture in Xinjiang Uygur Autonomous Region, China as an example, we constructed an index system to evaluate the sustainable utilization of grassland resources, analyzed the coupling coordinative degree among productivity, protection, stability, economic feasibility, social affordability of grassland resources. We further provided strategies on the development of GLiH in the arid and semi-arid regions, northern China. The sustainability of grassland utilization in Altay Prefecture was generally at low level, which was manifested in low productivity, insufficient protection, deficient stability, poor economic feasibility.

国家自然科学基金项目(71764024)和国家科技支撑计划项目(2014BAC15B04)资助。

收稿日期: 2020-03-25 接受日期: 2020-07-06

* 通讯作者 E-mail: suntesheng@126.com

ity and relatively low social affordability. Moreover, the coupling coordinative degree among productivity, protection, stability, economic feasibility, and social affordability of grassland resources was relatively low. The result may mainly be explained by the non-equilibrium of the grassland ecosystem, the complexity of the interaction and particularity of logical connection among subsystems within the “grass-livestock-human” system, and a lack of effective trade-off among the ecosystem, the development of animal husbandry and the increase in herdsman’s income of pastoral areas. It is critically needed to promote the sustainable and healthy development of the GLiH in the ways of vigorously developing a good-quality forage industry, strongly building a modern animal husbandry system, quickly increasing the capacity of herdsman, and enhancing the coupled “grass-livestock-human” system in the arid and semi-arid regions. These strategies can be helpful to enhance the integration of natural, economic, and social processes of grassland system, and be beneficial for fundamentally resolving the contradictions between grass and livestock, between supply and demand, and among the “production-living-ecological” functions. It is necessary to strengthen communication and cooperation among multiple departments, to integrate theories and methods of multiple disciplines, and to integrate policy resources among multiple fields. We suggest to formulate medium and long-term development plans of the GLiH scientifically, and thus to promote a high-quality development of the GLiH and rural revitalization of pastoral areas. It is urgently needed to carry out in-depth scientific and technological innovation, experimental demonstration and promotion of the GLiH, to form quickly trinity pattern of good-quality forage, modern animal husbandry and new-type herdsman, and thus to chronically maintain the harmonious and symbiotic relationship between man and land in pastoral areas. The integration of all these measures would be fundamental for sustainable and healthy development of the GLiH in the arid and semi-arid regions.

Key words: grassland resource; grass-based livestock husbandry; grass-livestock-human system; coupling coordinative degree; arid and semi-arid regions.

草地是中国面积最大的陆地生态系统,也是畜牧业持续健康发展的重要物质基础。草地资源的可持续利用是保护生物多样性、保障生态安全和保证安定团结的必然要求。然而,由于近些年来人口和牲畜数量的不断增加、天然草地经营管理的粗放低效以及极端天气事件的频繁发生等,我国北方干旱半干旱区草地资源“三化”严重,草地生态系统的结构受损、功能下降,成为畜牧业持续健康发展的主要制约因素。针对草地退化的原因和机理,草地资源的开发和利用,以及草地生态的保护和修复等问题,草学、生态学、农学等领域专家学者开展了大量研究工作,相关政府部门实施了系列政策法规,为遏制草原生态环境的持续恶化、促进草地多功能性的有效发挥提供了理论指导和政策支持。比如,任继周(2004)提出草地农业系统理论;张新时(2010)呼吁,我国必须走发展人工草地和草地农业的道路;方精云等(2016)提出“用小保大”的“草牧业”发展模式和在草原牧区建设“生态草牧业试验区”的构想;沈海花等(2016)在评估我国草地面积、生产力和承载力的基础上,认为目前我国草地对放牧家畜的承载力比较低,很多地方的超载现象较为严重,平均超载率估计为 20%;樊江文等(2007)总结、分析和探

讨了草地退化成因和主要驱动机制、草地生态建设的地域性特点、草地经营管理的有效政策等科学问题;戎郁萍等(2000)主编的《草地资源可持续利用原理与技术》讲述了草地资源的成因、分布、分类、区划、评价、监测和草地资源保护及可持续利用;刘黎明等(2002)构建了草地利用系统可持续性评价的指标体系和评价方法;Wang 等(2017)研究发现,服务于生态保育目标的土地利用政策对恢复草地质量有显著的正效应。同时,为了解决草地退化和“三牧”问题,国家推进实施了“两权一制”、草畜平衡、禁休轮牧、草原生态补奖等政策制度,各地区颁布实施了促进草地畜牧业发展的指导意见。然而,相关研究和实地调研却表明,尽管我国北方干旱半干旱区草地退化趋势得到初步遏制,但草畜矛盾依然突出、人地关系依然紧张。因此,探究能够促进草-畜-人和谐共生的干旱半干旱区草牧业发展策略,成为科研人员、管理者和牧区百姓需要经常思考的课题。

中国北方干旱半干旱区草地资源分布广、面积大、类型多。该地区草地畜牧业经历了传统游牧业、放牧/圈养、现代畜牧业等发展阶段,草地资源管理经历了游牧时期、粗放型管理时期和草畜平衡刚性

管理时期(侯向阳等,2019)。事实上,面对天然草地资源亟待保护、“三化”草地亟待恢复、牧民生活水平亟待提高的现状,传统的草地畜牧业生产难以满足经济发展与生态保育的双重要求。于是,2014年,汪洋副总理在听取草原工作汇报后,使用了“草牧业”这一词汇。2015年中央一号文件明确提出,要“加快发展草牧业,开展粮改饲和种养结合模式试点”。基于此,国内学者重点围绕草牧业的基础理论、发展现状和未来潜势等开展研究。如任继周(2015)撰文指出了“草牧业”的提出背景、核心要义和实践价值。方精云等(2018)论述了草牧业的概念、内涵及科技瓶颈问题,提出了发展草牧业应遵循的8个基本原理,总结了草牧业示范效果。白永飞等(2017)研究认为,传统草原畜牧业难以为继,亟须探索适宜于牧区特点的生态保护与草牧业发展新模式,依靠科技创新推动草牧业发展。侯向阳(2015)阐释了草牧业的概念、发展理论和科技支撑重点。赵哲等(2018)采用超效率DEA模型对呼伦贝尔地区草牧业生态效率进行评价。孙特生等(2018)分析认为,加快培育新型职业牧民,加快发展现代草牧业,加快建设良好的农牧民组织,加强草地科学放牧管理,成为干旱区草地适应性管理的迫切任务。周利光等(2014)以内蒙古锡林郭勒草原为例,开展了草原畜牧业对干旱的脆弱性评估。众所周知,草原生态环境的恶化严重制约着草地资源可持续利用,进一步影响牧业发展、牧区生态和牧民生计。截至目前,缺乏基于草地资源可持续利用的干旱半干旱区草牧业发展策略的研究成果,尚不清楚有利于草地资源可持续利用的长效机制,更不清楚有利于草牧业持续健康发展的行动策略。因而,探究干旱半干旱区草牧业发展策略及其政策启示,是本文拟解决的关键科学问题。

新疆阿勒泰地区是我国北方典型的干旱半干旱区,该地区仍然沿袭着过度依赖天然草地放牧、四季转场游牧的传统畜牧业生产方式,致使超载过牧、草畜矛盾难以避免。然而,超载过牧已成为影响该地区草地退化的主要因素,草畜矛盾已成为影响该地区草地资源可持续利用的主要矛盾(何艳琳,2014),草地生态系统已成为不能自我维持和不可持续发展的系统。如何切实建立起草地-牲畜-牧民三者之间的耦合协调关系?是开展该地区“三牧”(牧业、牧区和牧民)问题研究的重要命题。鉴于此,以新疆阿勒泰地区为例,从草-畜-人社会生态系

统视角,运用人口、资源与环境经济学的理论和方法,在分析草地资源可持续利用状况及其耦合协调度的基础上,提出中国北方干旱半干旱区草牧业发展策略,旨在为促进该地区生态安全、生产发展和生活富裕提供理论参考和实践指导。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

阿勒泰地区(44°59′35″N—49°10′45″N, 85°31′37″E—91°01′15″E)位于欧亚大陆腹地,处于新疆最北部,属于典型的干旱半干旱区。该地区气候为温带大陆性气候,山区年降水量300~500 mm,年均温-4~-2℃;山前平原区年降水量130~150 mm,年均温3.4~4.2℃;荒漠区年降水量80~90 mm,年均温6℃(杨发相,2001)。该地区草地资源丰富,位居全疆之首,是全国重点牧区之一。全区辖1市6县,人口约66万,以哈萨克族、汉族、维吾尔族、回族为主,主要从事畜牧业生产,草地利用采取四季转场、划区轮牧、季节性休牧、禁牧舍饲等模式;除喀纳斯天然草场划分为春秋牧场和夏牧场外,其他区域为三季草场、四季利用(陈华忠,2013)。

1.2 数据来源及处理

本文数据主要来源于《阿勒泰地区统计年鉴》(2010—2015)、《新疆统计年鉴》(2010—2015)、新疆维吾尔自治区阿勒泰地区第二次土地调查报告、新疆维吾尔自治区草原总站发布的各个年份的草原资源与生态监测报告、阿勒泰地区畜牧兽医局发布的关于草原保护的报告。这些统计年鉴和报告文本主要被用于分析评价阿勒泰地区草地资源可持续利用状况。

根据指标特性,将草地资源可持续利用评价指标划分为两类,一类是正向指标(+),又叫效益型指标,正向指标的数值越大,对于可持续性越有利;另一类是负向指标(-),又叫成本型指标,负向指标的数值越小,对于可持续性越有利。为了消除指标量纲的影响,采用极差标准化法对各项指标数据进行无量纲化处理。

1.3 研究方法

1.3.1 评价指标体系 遵循科学性、全面性、差异性、可操作性、动态性原则,参照相关研究成果(刘黎明等,2001,2002;王丽霞,2013),结合研究区实际,从草地资源生产性、资源保护性、资源稳定性、经济可行性和社会可承受性等维度,构建阿勒泰地区草地资源可持续利用评价指标体系(表1),并采用

表1 阿勒泰地区草地资源可持续利用评价指标体系

Table 1 Evaluation index system for sustainable utilization of grassland resources in Altay Prefecture

	指标体系 Index system	指标解释 Index interpretation	指标计算 Index calculation	指标权重 Index weight
资源生产性 B ₁ Productivity	水分状况 B ₁₁ (mm) + Water status B ₁₁ (mm) +	年降水量 Annual precipitation	B ₁₁ = 12 个月的降水量之和 B ₁₁ is the sum of 12 months' precipitation	0.0320
	草地可利用率 B ₁₂ (%) + Grassland availability B ₁₂ (%) +	草地可放牧的牲畜的强度 Intensity of grassland grazing livestock	B ₁₂ = (理论可采食的牧草量/牧草总产量) × 100% B ₁₂ is the quotient of dividing theoretical edible forage by total forage	0.0351
	实际载畜量 B ₁₃ (万只羊单位) + Actual livestock carrying capacity B ₁₃ (10 ⁴ sheep unit) +	一定区域一年内草地上实际放牧的牲畜头数 Actual number of grassland grazing livestock in a year in a certain area	B ₁₃ = 年底牲畜的存栏数 + 出栏数 B ₁₃ is the sum of livestock on hand and for sale at the end of year	0.0414
	牲畜死亡率 B ₁₄ (%) - Death rate of livestock B ₁₄ (%) -	死亡牲畜数量占总牲畜数量的比率 Ratio of dead livestock to total livestock	B ₁₄ = (死亡牲畜数量/总牲畜数量) × 100% B ₁₄ is the quotient of dividing dead livestock by total livestock	0.0275
	牲畜出栏率 B ₁₅ (%) + Slaughter rate of livestock B ₁₅ (%) +	测度一定区域一年内牲畜生产力水平的指标之一 Livestock productivity in a year in a certain area	B ₁₅ = (期内出栏数/期初存栏数) × 100% B ₁₅ is the quotient of dividing livestock for sale during period by livestock on hand at the beginning of period	0.0327
	鲜草产量 B ₁₆ (万吨) + Output of fresh grass B ₁₆ (10 ⁴ ton) +	一定区域一年内累计生长的鲜草的总重量, 能反映该地区草地的生产力状况 Total output of fresh grass in a year in a certain area, and reflection of grassland productivity		0.0263
资源保护性 B ₂ Protection	植被覆盖度 B ₂₁ (%) + Vegetation coverage B ₂₁ (%) +	植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比 The percentage of ground vertical projection area of vegetation (including leaves, stems, branches) to total region area		0.1033
	水土流失治理面积 B ₂₂ (千公顷) + Governance area of soil erosion B ₂₂ (10 ³ hm ²) +	采取措施进行水土流失治理的面积 Governance area of soil erosion in the case of taking some measures		0.0625
	超载率 B ₂₃ (%) - Overgrazing rate B ₂₃ (%) -	草地的实际载畜量超过理论载畜量的比率 Ratio of actual more than theoretical livestock carrying capacity	B ₂₃ = [(实际载畜量 - 理论载畜量) / 理论载畜量] × 100% B ₂₃ is the quotient of dividing the difference between actual and theoretical livestock carrying capacity by theoretical one	0.0418
资源稳定性 B ₃ Stability	人工草地比例 B ₃₁ (%) + Ratio of artificial grassland B ₃₁ (%) +	人工草地面积占草地总面积的比例 Ratio of artificial grassland area to total grassland area	B ₃₁ = (人工草地面积/草地总面积) × 100% B ₃₁ is the quotient of dividing artificial grassland area by total grassland area	0.0458
	产草量年际变化幅度 B ₃₂ (%) - Inter-annual change range of grass yield B ₃₂ (%) -	反映草地产草量的年际变化 Describe inter-annual change of grass yield	B ₃₂ = [(本年度草地产草量 - 上一年度草地产草量) / 上一年度草地产草量] × 100% B ₃₂ is the quotient of dividing the difference between grass yield this year and that last year by that last year	0.0277
	草地覆盖率 B ₃₃ (%) + Grassland coverage B ₃₃ (%) +	草地面积占土地总面积的比率 Ratio of grassland area to total land area	B ₃₃ = (草地面积/土地总面积) × 100% B ₃₃ is the quotient of dividing grassland area by total land area	0.0605
	天然草地面积 B ₃₄ (万 hm ²) + Natural grassland area B ₃₄ (×10 ⁴ hm ²)	以天然草本植物为主, 未经改良, 用于畜牧业的草地, 包括以牧为主的疏林草地、灌丛草地 Grassland without improvement, mainly consisted of natural herbaceous plants and usually used for animal husbandry		0.0609
	草地有效灌溉面积 B ₃₅ (万亩) + Area of grassland irrigated effectively B ₃₅ (×10 ⁴ mu) +	在一般情况下, 可以直接进行正常灌溉的草地面积 Area of grassland irrigated directly and normally		0.0361
经济可行性 B ₄ Economic feasibility	单位面积草地产值 B ₄₁ (元 · hm ⁻²) + Output value of grassland per unit area B ₄₁ (yuan · hm ⁻²) +	每公顷草地产值, 研究区草地产值主要为畜牧业产值 Output value of per hectare grassland (mainly animal husbandry)	B ₄₁ = 畜牧业产值/草地面积 B ₄₁ is the quotient of dividing output value of animal husbandry by grassland area	0.0385
	单位面积纯收入 B ₄₂ (元 · hm ⁻²) + Net income per unit area B ₄₂ (yuan · hm ⁻²) +	每公顷草地的畜牧业纯收入 Net income of animal husbandry per hectare grassland	B ₄₂ = 畜牧业纯收入/草地面积 B ₄₂ is the quotient of dividing net income of animal husbandry by grassland area	0.0396

续表 1
Table 1 Continued

	指标体系 Index system	指标解释 Index interpretation	指标计算 Index calculation	指标权重 Index weight
	牧业产值 B ₄₃ (万元) + Output value of animal husbandry B ₄₃ (10 ⁴ yuan) +	研究区牧业的总产值, 主要反映该地区草地资源的经济价值 Describe economic value of grassland resources		0.0386
	年收益增长率 B ₄₄ (%) + Growth rate of annual revenue B ₄₄ (%) +	指牧业纯收入的年际变化幅度 Inter-annual change range of net income of animal husbandry	B ₄₄ = [(当年牧业纯收入 - 上年牧业纯收入) / 上年牧业纯收入] × 100% B ₄₄ is the quotient of dividing the difference between net income of animal husbandry this year and that last year by that last year	0.0552
社会可承受性 B ₅ Social affordability	畜产品商品率 B ₅₁ (%) + Commodity rate of livestock products B ₅₁ (%) +	一个地区一年内畜产品的销售量占总产量的比例, 反映草地资源所带来的畜产品的商品化程度 Describe the degree of commercialization of livestock products brought about by grassland resources	B ₅₁ = (畜产品销售率 / 畜产品生产率) × 100% B ₅₁ is the quotient of dividing sales rate by production rate of livestock products	0.0697
	人均 GDP B ₅₂ (元 · 人 ⁻¹) + GDP per capita B ₅₂ (yuan · person ⁻¹) +	即人均国内生产总值, 是衡量区域内人民生活水平高低的重要标准之一 One of important criteria evaluating people's living level	B ₅₂ = 区域国内生产总值 / 区域人口数量 B ₅₂ is the quotient of dividing GDP by population in a certain area	0.0332
	农牧民人均纯收入 B ₅₃ (元) + Net income per capita of peasants and herdsmen B ₅₃ (yuan) +	指按农村人口平均的“农牧民纯收入”, 反映一个地区农牧民收入的平均水平 Describe average income level of peasants and herdsmen in a certain area		0.0438
	人口自然增长率 B ₅₄ (‰) - Rate of natural population increase B ₅₄ (‰) -	指一年内某地区出生人口数与死亡人口数的差与年平均人口数的比率 Ratio of the difference between birth population and death population in a year to annual average population in a certain area	B ₅₄ = [(出生人口数 - 死亡人口数) / 年平均人口数] × 1000‰ B ₅₄ is the quotient of dividing the difference between birth population and death population by annual average population	0.0477

多目标线性加权函数模型, 评价该地区草地资源的可持续利用状况。表 1 中各项指标的权重, 采用变异系数法确定, 并结合各项指标对评价目标的重要性程度微调。作为一种可以不断更新的自然资源, 草地资源生产性是其可持续利用的根本前提, 水分状况、鲜草产量、草地可利用率、实际载畜量、牲畜死亡率、出栏率等指标从基础生产力、载畜能力和现实生产力三方面大致反映草地资源生产状况。草地资源保护性是其可持续利用的重要基础, 植被覆盖度、水土流失治理面积、超载率等指标可以大致反映草地退化程度、放牧强度。草地资源稳定性是其可持续利用的坚实保障, 人工草地比例、产草量年际变化幅度、草地覆盖率、天然草地面积、草地有效灌溉面积等指标可以大致反映草地抗灾能力、生产波动性和改良投入情况。经济可行性是草地资源可持续利用状况的一种外在表现形式, 每公顷产值、每公顷纯收入、牧业产值、年收益增长率等指标基本能反映草地畜牧业生产效益和增产潜力。社会可承受性体现草地资源利用方式能被社会所接受的程度, 畜产品商品率、人均 GDP、农牧民人均纯收入、人口自然增长率等指标可以大致反映草地的社会需求满足程度、对人类活动的支撑能力和人地关系状况。

1.3.2 耦合协调度 从可持续性科学出发, 系统的

可持续性不仅取决于各组成部分的量值, 而且与各组成部分间耦合协调状态息息相关。物理学中, 耦合是指两个(或两个以上的)系统或运动形式通过各种相互作用而彼此影响的现象 (Illingworth, 1996)。耦合度就是描述系统或要素彼此相互作用影响的程度。协调度是度量系统之间或系统内部要素之间在发展过程中彼此和谐一致的程度, 体现了系统由无序走向有序的趋势(吴跃明等, 1997)。实现草地资源可持续利用不仅需要综合利用水平尽量高, 而且需要相关的社会-经济-自然要素之间有着良好的耦合协调状态。由于耦合度只能说明相互作用程度的强弱, 无法反映协调发展水平的高低。因此, 引入草地资源可持续利用耦合协调度模型, 以便更好地评判草地系统社会-经济-自然要素的耦合协调状态。本文把草地资源的生产性、保护性、稳定性、经济可行性和社会可承受性之间相互作用、彼此影响、协调发展的程度定义为草地资源可持续利用耦合协调度, 计算公式(熊建新等, 2014)如下:

$$C = \left\{ \prod_{i=1}^5 P_i / \left[\sum_{i=1}^5 P_i \right]^5 \right\}^{\frac{1}{5}}$$

$$D = \sqrt{C \cdot T}$$

式中: P_i 为各类评价项目的量值; C 为草地资源可持续利用耦合度; D 为草地资源可持续利用耦合协调

度; T 为草地资源可持续利用综合评价价值。

2 结果与分析

2.1 草地资源可持续利用状况

选取 2010—2014 年阿勒泰地区的各项评价指标数据, 进行无量纲化处理。利用多目标线性加权函数模型, 综合评价 2010—2014 年该地区草地资源的可持续利用状况(表 2)。结果表明, 2010—2014 年阿勒泰地区草地资源可持续利用水平普遍较低、总体逐步改善, 其中 2010—2012 年该地区草地资源处于临界可持续利用水平, 2013—2014 年达到基本可持续利用水平。

2.1.1 资源生产性 天然草地是干旱半干旱区的重要自然资源, 其初级生产力水平直接影响该地区的牧业生产、牧区生态和牧民生计。2010—2014 年阿勒泰地区草地资源生产性不高, 并且波动明显。其中, 2010—2013 年草地资源生产力水平介于 0.10~0.15; 2014 年草地资源生产力水平下降到不足 0.05。究其原因, 2014 年阿勒泰地区年平均降水量最少(157 mm), 草地可利用率(72.9%)、牧草产量(960.5 万 t) 和实际载畜量(1330.1 万只羊单位) 相应地均最低。然而, 当地哈萨克族牧民沿袭着“四季转场、终年放牧”的传统, 他们大多采取租借草场、储备草料、修建棚圈等适应性策略, 通过增加物质资本投入来应对极端天气气候事件, 以维持较高的牲畜出栏率(69.3%) 和较低的牲畜死亡率(0.16%)。这充分说明, 由于受到非生物因素(主要是降水波动)的影响, 阿勒泰地区天然草地的气候-植被关系明晰, 草地的非平衡性特征明显(主要表现为高度变异性和不可预测性), 草地初级生产力低、脆弱性高、载畜能力弱。另一方面, 该地区人工

草地建设不足、天然草地严重退化, 进一步制约着原本过度依赖天然草地放牧的传统畜牧业生产水平。因此, 根据自然条件(水文、气候、地貌、土壤……), 选择适宜区域, 高效发展人工草地和草地农业, 置换天然草地的生态功能, 提高草地资源生产性和有效性, 是该地区草牧业持续健康发展的关键所在。

2.1.2 资源保护性 保护草地资源既有利于维护草地生态系统健康, 又有利于维持草地资源的可持续利用, 从而有利于维系草牧业的持续健康发展。2010—2014 年阿勒泰地区草地资源保护性仍然不够。从地表植被来看, 由于阿勒泰地区草地植被类型以温性荒漠类、温性草原类和山地草甸类为主, 并且受到温带大陆性气候、山地-平原地形以及人类活动等因素的影响, 该地区植被覆盖度一直处于不足 14.0% 的较低水平。从草原治理来看, 通过实施《阿勒泰地区生态环境保护条例》, 该地区水土流失治理面积大幅度增加, 从 2010 年的 $11.30 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 增加到 2013 年的 $72.74 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、2014 年的 $79.13 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 。从放牧强度来看, 阿勒泰地区落实了草原生态补奖政策, 实施了禁牧、休牧和划区轮牧制度, 采取了围栏封育、退牧还草、休牧育草等举措, 该地区超载率波动下降, 从 2010 年、2012 年的 71.0% 下降到 2014 年的 15.2%。综合来看, 在植被覆盖度较低的情况下, 加强草原生态治理、减轻草地放牧压力, 极大地提高了草地资源保护性的整体水平, 进而提高了其对草地资源可持续利用的贡献度。上述分析表明, 作为国家重点生态功能区, 切实增加地表植被覆盖度、有效保护草原生态环境、妥善解决超载过牧问题, 是该地区草地资源可持续利用的有力保障, 是草牧业持续健康发展的必然要求。

2.1.3 资源稳定性 草地资源稳定性是指草地生

表 2 阿勒泰地区草地资源可持续利用评价结果(2010—2014 年)

Table 2 Evaluation results for sustainable utilization of grassland resources in Altay Prefecture (2010–2014)

	2010	2011	2012	2013	2014
资源生产性 B_1 Productivity	0.1067	0.1176	0.1490	0.1171	0.0380
资源保护性 B_2 Protection	0.0075	0.0293	0.0011	0.0712	0.2076
资源稳定性 B_3 Stability	0.0029	0.0275	0.1164	0.1223	0.1167
经济可行性 B_4 Economic feasibility	0.0540	0.0351	0.0729	0.1217	0.0898
社会可承受性 B_5 Social affordability	0.1475	0.1568	0.0637	0.0822	0.0684
综合评价价值 Comprehensive evaluation	0.3187	0.3663	0.4030	0.5145	0.5205
可持续利用状况 [*]	临界可持续	临界可持续	临界可持续	基本可持续	基本可持续
Sustainability of grassland utilization	Critical sustainability	Critical sustainability	Critical sustainability	Basic sustainability	Basic sustainability
耦合协调度	0.1685	0.2353	0.1964	0.3169	0.2987
Coupling coordinative degree					

注: * 参考相关研究成果(谢俊奇, 1999; 王丽霞, 2013), 确定草地资源可持续利用状况。

Note: * In this study, research results of Xie (1999) and Wang (2013) were reference for sustainability of grassland utilization.

态系统所具有的保持或恢复自身结构、功能相对稳定的能力,主要包括抵抗力稳定性和恢复力稳定性。其稳定性不仅与草地生态系统的结构、功能(Bai, 2004; Tilman, 2006)和进化特征有关,而且与外界干扰的强度和特征有关。2010—2014年阿勒泰地区草地资源稳定性不足。从相关评价指标来看,由于当地牧民对天然草地放牧的过度依赖,以及区域水土资源条件的极大限制,该地区人工草地面积占草地总面积的比例太低(2014年最高,仅占1.1%),既低于全国的平均水平,更低于畜牧业发达国家20%~70%的较高水平(张自和, 2015)。由于草地生态系统是一个不断面临意外环境胁迫的动态变化系统,草地初级生产力的不确定性特征明显,致使该地区产草量年际变化幅度波动增大,从2010年的2.0%负向增大到2014年的-14.9%。受到生态脆弱性、水分稀缺性和过牧干扰性等的综合影响,该地区草地覆盖率从2010年的71.7%下降到2014年的60.8%,天然草地面积也从2010年的 $8.44 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 减少到2014年的 $7.17 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。近些年来,阿勒泰地区大力推进大型水利工程与饲草料基地的建设,该地区草地有效灌溉面积有较大幅度的增加,从2010年的 $14.59 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增加到2013年的 $19.75 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、2014年的 $17.83 \times 10^4 \text{ hm}^2$,增幅分别为35.36%、22.16%。上述结果表明,积极创造有利条件,高效发展人工草地,扭转天然/退化草地社会-经济-自然复合生态系统的不可持续性局面,促进草-畜-人之间协同关系的形成,以维持草地资源的组分稳定性、群落稳定性以及产量稳定性,增强草业人文-自然耦合系统的抵抗力和恢复力。

2.1.4 经济可行性 游牧是干旱半干旱区牧民的一种生产生活方式,草地资源的可持续利用内在的统一于该地区的经济持续增长中。2010—2014年阿勒泰地区草地资源的经济可行性较差、且波动明显,从2010年的0.0540波动上升到2014年的0.0898。从具体评价指标来看,牧业产值从2010年的21.97亿元增加到2014年的30.44亿元,增幅为38.6%;每公顷草地的牧业产值从2010年的223.24元增加到2014年的308.54元,增幅为38.2%;每公顷草地的牧业纯收入从2010年的110.12元增加到2014年的187.10元,增幅为69.9%;年收益增长率在9.0%~21.0%上下波动。但与同为全国重点牧区的呼伦贝尔市相比,还存在较大差距。上述分析表明,阿勒泰地区牧业经济质量和效益很低。这可能

是由于发展牧业经济的草地生态环境遭受到一定程度的破坏,导致依靠草地放牧的畜牧业产值难以较快增加。调研获知,该地区缺少具有示范带动力的牧业合作经济组织和具有行业影响力的畜牧业龙头企业,也缺少能切实发挥传帮带作用的牧业大户和家庭牧场,并且当地农牧民的生计资本水平普遍较低、生计资本耦合协调度也较低(孙特生等, 2018),他们无法有效应对干旱、疫病和市场等风险,更无法主动实现对草地资源的集约、高效利用。因此,根据草地类型特征实施分类经营策略(郭正刚等, 2004),努力构建具有鲜明地域特色的草业经济体系,大力推行农牧结合、种养循环、草畜配套,有力促进草地资源系统与牧业经济系统的良性循环,着力提升牧业经济的可持续性水平,全面实现牧业提质增效、牧区增绿添美和牧民增收致富。

2.1.5 社会可承受性 千百年来,作为最基本的生产要素,草地资源是我国北方游牧民族繁衍生息的生命支持系统。2010—2014年阿勒泰地区草地资源的社会可承受性较低、且波动下降,从2010年的0.1475下降到2014年的0.0684。从具体评价指标来看,哈萨克族牧民依靠草地资源给养的牲畜发展生产、维持生计,有计划地把牲畜产品在市场销售,其商品率接近于60.0%,支撑着社会不断发展;在人口自然增长率不断增加(从2010年的7.5‰增加到2014年的11.0‰)的情况下,该地区人均GDP、农牧民人均纯收入分别从2010年的22406元、5138元增加到2014年的35932元、9404元,增幅分别为60.4%、83.0%,但仍然远低于全国人均GDP、全国人均纯收入。分析表明,长期以来,广大农牧民常年以放牧为生,家庭年收入主要为牧业收入,普遍缺乏发展型生计;而草地资源“三化”、人口压力有增无减以及资本投入不足等因素又都制约着牧业收入的增加。这充分说明,该地区草地资源在为农牧民提供草畜产品、提高他们人均收入的同时,还需要得到优化开发、科学利用,使其社会可承受性得到较大幅度的提高。

2.2 草地资源可持续利用耦合协调度

草地资源可持续利用的耦合协调度既可以反映草地生物群落(牧草、动物、微生物)在结构与功能上的完整性,又可以反映草地生态环境相互联系、循环往复的必然性,还可以反映草地生物群落与生态环境之间相互依存、彼此制约的统一性(高玉鹏, 1987)。2010—2014年阿勒泰地区草地资源可持续

利用耦合协调度分别为 0.1685、0.2353、0.1964、0.3169、0.2987,整体上均处于较低水平。这是由于该地区草地生态系统属于社会-经济-自然复合生态系统,可是草地资源的生产性不高、保护性不够、稳定性不足、经济可行性较差、社会可承受性较低,而且畜牧业生产还过度依赖于天然草地放牧,导致草畜矛盾依然突出,草-畜-人系统的物质循环不畅、能量流动受阻和信息传递有限;更为重要的是,该地区草地生态系统属于非平衡生态系统,草地初级生产力的时空异质性十分显著,然而当地农牧民靠天游牧方式和生产决策行为(即社会经济系统的结构模式和运行方式)与草地生态系统的非平衡性特征不契合,也即农牧民的自适应、外力适应以及经济行为的生态外部性与草地自然生态过程不匹配。并且,受到自然环境、经济环境和社会环境等影响,在牧区生态、牧业发展和牧民增收之间缺乏有效权衡。这充分说明,干旱半干旱区草牧业发展要依据草地资源的生物学和生态经济学特征,综合考量生态系统的动态特征、经济系统的不完善特点和社会系统的贫穷落后问题,形成集牧业生产-牧民生计-牧区生态一体化的生态草牧业发展模式;须摒弃传统拼资源的粗放型畜牧业发展模式,运用草地多功能合理配置原理,加强草牧业科技创新,构建种养加销一体化、一二三产业融合发展的生态草牧业全产业链。这些对于提高草地资源可持续利用的耦合协调度,促进草牧业持续健康发展,具有极其重要的现实意义。

3 干旱半干旱区草牧业发展策略

3.1 大力发展优质牧草产业 根本解决草畜矛盾

优质牧草产业是干旱半干旱区草牧业发展的生命支撑系统。近些年来,我国优质牧草产业得到长足发展,但依然无法满足旺盛的市场需求,成为草牧业持续健康发展的瓶颈因素。由于干旱半干旱区草地生态系统的脆弱性、放牧系统的扰动性和经济系统的胁迫性,天然草地退化严重,草地资源的生产性不高、保护性不够和稳定性不足;人工草地建设滞后,优质牧草的生产量不高、载畜量有限和进口量较大,致使该地区草牧业远未实现规模化生产、集约化经营的发展目标。又由于草牧业的精髓在于“草-畜结合”“草-畜协调”“草-畜互为依存、不可分割”(方精云等,2018);种草养畜是农业现代化的主要方向(张琨等,2014);饲草料优化配比是实现草-畜高效

转化的关键(白文明等,2018)。因此,干旱半干旱区大力发展优质牧草产业,促进形成优质牧草与现代牧业的良性循环体系,有效应对草畜系统时间相悖、空间相悖和种间相悖(任继周等,1995),根本解决季节性的草畜矛盾和区域性的超载过牧,是该地区草地资源可持续利用和草牧业持续健康发展的必然选择。

具体而言,遵循“因地制宜、科学规划、分类指导”原则,运用“以小保大”原理(方精云等,2016),在水土条件较为优越的地区,建设一批集约化、规模化、专业化的优质牧草生产基地,并引进和培育牧草龙头企业,围绕牧草生产、加工、流通全过程,打造全产业链的牧草产业发展模式;在水土资源极为贫乏的地区,发展一批以粮改饲为主的旱作栽培草地(侯向阳,2017)和“粮草兼顾型”农业,种植生态适应性强的优质乡土牧草,选育和扩繁抗旱、抗寒、耐牧型的优质牧草品种,并结合草田轮作、间作或混作和农副产品的饲料化,筑牢草牧业的第一性生产力基础;在自然地理环境整体较为适宜的地区,建植一批可实行划区轮牧的节水型人工草牧场,有效降低牧草生产成本和风险,提高母畜健康水平和繁殖成活率。同时,建立牧草科技示范基地,用现代科技发展牧草产业的新食物链,重点突破一批具有典型代表性和极强地域性的优质多抗牧草新品种选育与良种繁育等关键核心技术和发展模式,形成优质牧草良种繁育体系和牧草产业科技推广体系。以研究区为例,利用水土条件较为优越的额尔齐斯河、乌伦古河两侧的低山河谷及冲洪积扇绿洲,建设集约化人工草地,根据生态适应性、群落稳定性,栽培优质牧草和饲料作物,如紫花苜蓿、全株青贮玉米、绿洲一号、苏丹草、燕麦、东方山羊豆、黑麦草等,并打造牧草产业供应链和“牧草银行”,以解决长期困扰该地区饲草料生产和畜牧业发展中草畜“两张皮”的问题。

3.2 着力构建现代牧业体系 根本解决供需矛盾

现代牧业体系是干旱半干旱区草牧业发展的重点支撑系统。近些年来,我国现代牧业发展步伐明显加快,但其发展水平依旧落后于西方发达国家,优质畜产品供给还无法满足国民改善膳食结构的现实需求,成为阻碍草牧业持续健康发展的重大问题。由于干旱半干旱区草食畜牧业的分散放牧经营、草地资源的粗放低效利用和牧业科技的研发投入不足,草地资源的经济可行性较差,致使该地区尚未形成区域化布局、规模化养殖、生态化养殖环境、标准

化生产、专业化发展、产业化经营和社会化服务的现代牧业体系。又由于发展草牧业是大农业“转方式、调结构”的最典型模式和最主要方向(侯向阳, 2015);调整牧区的产业结构,须要将传统畜牧业改造成生态牧业,同时大力发展生态旅游和生态工业(秦丹, 2004)。因此,干旱半干旱区着力构建现代牧业体系,提高供给结构的适应性和灵活性,以满足国民对更健康、更优质、更丰富的畜产品的消费需求,根本解决结构性的供需矛盾,是该地区草牧业持续健康发展的现实要求。

首先,整合区域优质畜牧资源,构建现代牧业产业体系。按照“延长产业链,提升价值链,完善利益链”的理念思路,拓展因牧业而兴的植物生产(如精细人工草业)、后动物生产(如草原文化旅游产业),促进牧区一二三产业融合发展。其次,转变传统畜牧业生产方式,建立现代畜牧业生产体系。结合干旱半干旱区生态地理背景,加强天然草地放牧生态系统适应性管理,并建立现代畜牧业发展基金,培育壮大现代畜牧业龙头企业,促进小牧户与现代畜牧业发展有机衔接,突出草地生产功能和生态功能的合理配置与协调发展。第三,发展畜牧业专业合作组织,建立现代畜牧业经营体系。大胆尝试“股份制”、“联户制”、“大户制”、“代牧制”等干旱半干旱区草牧业的适应性经营模式,大力发展现代畜牧业产业化联合体(是包括龙头企业、专业合作社、家庭牧场等主体的一体化畜牧业经营组织联盟),大量采用“公司+示范基地+专业合作社+养殖户”、“公司+协会+牧户”及专业户联合等方式,大范围搭建畜牧业物联网技术平台,促进畜牧业经营品牌化、管理规范化和产品安全化。以研究区为例,发挥该地区草地资源、秸秆资源和种畜资源(阿勒泰大尾羊、青格里绒山羊、沙吾尔牛)等优势,针对草牧业产业链条上的突出问题,推行农牧结合、种养循环、草畜配套,发展合作“游牧”、牧草种植、牲畜养殖、肉类加工等专业合作社,打造独具新疆特色的品牌畜产品,推动该地区现代畜牧业实现产业化、规模化发展。

3.3 全力提升新型牧民素质,根本解决“三生”矛盾

新型牧民素质是干旱半干旱区草牧业发展的基础支撑系统。近些年来,我国北方牧区积极推进落实各项产业发展政策和草原保护政策,牧业生产改变、牧民生活改观、牧区生态改善,但“三生”矛盾(生产、生活、生态)仍然较为突出,成为草牧业持续健康发展必须加以解决的基本问题。由于干旱半干

旱区草地资源是广大农牧民赖以生存和发展的基本生产资料,然而他们的绿色发展理念缺乏、科学养殖水平不高、生计转换能力较弱,致使草地资源的社会可承受性较低。又由于加快草牧业发展,是农牧民增收致富的重要途径;维系草原牧区和谐共生的人地关系,关键在于整体提升农牧民素质、增强他们的自适应能力。因此,干旱半干旱区全面实施新型牧民素质提升工程,充分发挥专业合作经济组织的作用,加快培育重理念、懂政策、有技能、能创业的新型牧民,为根本解决“三生”矛盾提供智力支持,为推动该地区草牧业持续健康发展提供动力源泉。

理念上,转变农牧民“只有放牧,生计才有保障”的观念,牢固树立“种草养畜”“草畜人和谐”“山水林田湖草是生命共同体”“保护草地生态是为了更好地发展草牧业”等理念。政策上,宣传落实草原生态保护补助奖励政策、草畜平衡管理政策、牧民定居政策、现代畜牧业创业补助政策等惠牧政策,让农牧民充分享受政策红利。技能上,通过职业教育、技能培训、科技学习,改造一批传统游牧民,培育一批技能型牧民,塑造一批科技型牧民,为草牧业持续健康发展储备人才。创业上,引导“有想法、敢行动”的农牧民主动对接市场需求,积极创办经济实体,着力发展创意草牧业,如休闲观光牧场、草原文化虚拟体验、特色畜产品电商……做增收致富带头人。以研究区为例,加强对中青年牧民的职业技能教育、双语教育,增强牧民生计转换能力,让部分牧民从传统畜牧生产中转移出来,减轻草地放牧压力,进而维持较高的草地生产力和生物多样性(王明君等, 2010);加大对新型职业牧民在基础设施、草地流转、市场调控、基层组织等方面的政策帮扶、资金支持力度,充分发挥他们在牧户尺度草畜系统中的适应性调节作用、在科学的草地适应性管理中的示范引领作用(孙特生等, 2018)。

3.4 推进草-畜-人系统耦合,实现草牧业持续健康发展

草-畜-人系统是干旱半干旱区草牧业发展的核心支撑系统。近些年来,国家推进实施了“两权一制”、草畜平衡、禁休轮牧、草原生态补奖等政策制度,但是草地生态依然脆弱、牧业发展仍然滞后、牧民增收步履艰难,严重制约着草牧业持续健康发展。由于干旱半干旱区草地生态系统的非平衡性特征,草-畜-人系统内部各子系统之间交互作用的复杂性、逻辑联系的特殊性,以及在牧区生态、牧业发展

和牧民增收之间缺乏有效权衡,致使各子系统之间的异质性明显而耦合协调性较差,草-畜-人系统自组织功能尚未形成。又由于草-畜-人系统的动植物之间协同关系被破坏、物质循环不畅和能量流动受阻,无法有效发挥人居-草地-畜群放牧系统单元(任继周,2012)的整合作用。因此,干旱半干旱区推进草-畜-人系统耦合,推动草畜牧业与旅游、教育、文化、康养等产业的深度融合,促进社会-经济-自然复合生态系统的协同发展,提升草畜牧业可持续发展能力,是该地区草畜牧业持续健康发展的核心要义。

从草地子系统来看,由于草地系统物质供给、能量流动是草-畜-人系统发育的动力基础,干旱半干旱区草畜牧业发展应遵循“生态优先、以草定畜”原则,科学配置草地的生态和生产功能,将草地保护与适度利用相结合(高树琴等,2019)。同时,实施“人工草”项目、“储备草”工程,通过对草地资源的调控分配,将草-畜-人各子系统有机地结合在一起。从畜牧业子系统来看,由于畜牧系统动物生产、产品供给是草-畜-人系统运转的核心纽带,干旱半干旱区草畜牧业发展应打造龙头企业带动、产业链条延伸、技术服务升级的良性环链,通过促进种养加销一体化、一二三产业融合发展,将草-畜-人各子系统有机地整合在一起。从牧民子系统来看,由于牧民系统生产决策、持续生计是草-畜-人系统耦合的关键要素,干旱半干旱区草畜牧业发展应提高农牧民组织化程度,使牧民走出“零和博弈”困境,实现“合作博弈”共赢。并通过优化重组牧区生产要素、强化巩固社区互惠纽带,将草-畜-人各子系统有机地耦合在一起。综合来看,草-畜-人系统是基于各子系统之间交互作用的复杂性、逻辑联系的特殊性,将3个界面、4个生产层(任继周,2004)连缀而成的一种多功能的、动态平衡的复杂适应性系统,是共生共荣的生命共同体;草-畜-人系统耦合必须吸纳游牧文明的精髓,建立起各子系统良性运行机制,促进各子系统相互适应、协同进化、和谐共生,努力保持天然草地系统的原真性、提升现代畜牧业系统的生产性和增强新型牧民系统的福祉性。因此,干旱半干旱区草畜牧业发展应从草-畜-人社会生态系统视角,厘清各子系统的结构性差异、时空动态特征,对系统全要素实施“弹性管理”和“精准管理”,使系统形成良性的反馈回路结构(侯彩霞等,2018),促进物质、能量在各子系统间的高效循环利用,从而夯实草畜牧业持续健康发展的核心基础。

4 结论

发展草畜牧业在促进农业结构调整、保障国家食品安全和生态安全等方面具有重要的战略地位和作用。本文以新疆阿勒泰地区为例,从草-畜-人社会生态系统视角,运用人口、资源与环境经济学的理论和方法,在评价草地资源可持续利用状况及其耦合协调度的基础上,提出我国北方干旱半干旱区草畜牧业发展策略。主要结论为:

(1) 研究区草地资源可持续利用的整体水平较低,具体表现为草地资源的生产性不高、保护性不够、稳定性不足、经济可行性较差、社会可承受性较低。

(2) 草地生态系统的非平衡性特征、草-畜-人系统内部各子系统之间交互作用的复杂性、逻辑联系的特殊性,以及在牧区生态、畜牧业发展和牧民增收之间缺乏有效权衡,是导致研究区草地资源可持续利用耦合协调度较低的重要原因。

(3) 大力发展优质牧草产业,着力构建现代畜牧业体系,全力提升新型牧民素质,推进草-畜-人系统耦合,从而增强草地系统的自然过程、经济过程和社会过程的融合演进,根本解决草畜矛盾、供需矛盾和“三生”矛盾,促进干旱半干旱区草畜牧业持续健康发展。

5 政策启示

在国家“加快发展草畜牧业,开展粮改饲和种养结合模式试点”的背景下,本文从保障国家食品安全和生态安全的战略高度,开展干旱半干旱区草畜牧业发展策略研究,政策启示如下:

(1) 深入开展草畜牧业系统工程谋划,加强多部门交流合作,集成多学科理论方法,科学编制中长期草畜牧业发展规划。

(2) 深入开展草畜牧业政策制度研究,整合助力畜牧业生产、牧民生计和牧区生态的政策资源,形成助推草-畜-人系统耦合的政策制度,对于促进草畜牧业高质量发展和草原牧区乡村振兴,具有极其重要的现实意义。

(3) 深入开展草畜牧业科技示范推广,突破一批重大基础理论和关键技术,加快形成优质牧草-现代畜牧业-新型牧民“三位一体”格局,长期维系草原牧区和谐共生的人地关系,是实现干旱半干旱区草畜牧业持续健康发展的长远之策、根本之策。

参考文献

白文明,侯龙鱼,宋世环,等. 2018. 饲草料优化配比是实现

- 草-畜高效转化的关键. 科学通报, **63**(17): 1686-1692. [Bai WM, Hou LY, Song SH, et al. 2018. Optimal formula feed is a key for efficient transformation of forage to animal products in grass-based live-stock husbandry. *Chinese Science Bulletin*, **63**(17): 1686-1692.]
- 白永飞, 王 扬. 2017. 长期生态研究和试验示范对草原生态保护和草业可持续发展提供科技支撑. 中国科学院院刊, **32**(8): 910-916. [Bai YF, Wang Y. 2017. Long-term ecological research and demonstrations support protection and sustainable management of grassland ecosystems. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, **32**(8): 910-916.]
- 陈华忠. 2013. 阿勒泰地区牧民定居工程综合效益评价(硕士学位论文). 乌鲁木齐: 新疆农业大学. [Chen HZ. 2013. Evaluate the Comprehensive Benefit of the Herdsmen Settlement Project in the Aletai Area (Master's thesis). Urumqi: Xinjiang Agricultural University.]
- 樊江文, 钟华平, 陈立波, 等. 2007. 我国北方干旱和半干旱区草地退化的若干科学问题. 中国草地学报, **29**(5): 95-101. [Fan JW, Zhong HP, Chen LB, et al. 2007. Some scientific problems of grassland degradation in arid and semi-arid regions in northern China. *Chinese Journal of Grassland*, **29**(5): 95-101.]
- 方精云, 白永飞, 李凌浩, 等. 2016. 我国草原牧区可持续发展的科学基础与实践. 科学通报, **61**(2): 155-164. [Fang JY, Bai YF, Li LH, et al. 2016. Scientific basis and practical ways for sustainable development of China's pasture regions. *Chinese Science Bulletin*, **61**(2): 155-164.]
- 方精云, 景海春, 张文浩, 等. 2018. 论草牧业的理论体系及其实践. 科学通报, **63**(17): 1619-1631. [Fang JY, Jing HC, Zhang WH, et al. 2018. The concept of "Grass-based Livestock Husbandry" and its practice in Hulun Buir, Inner Mongolia. *Chinese Science Bulletin*, **63**(17): 1619-1631.]
- 方精云, 潘庆民, 高树琴, 等. 2016. "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, **33**(10): 1913-1916. [Fang JY, Pan QM, Gao SQ, et al. 2016. "Small vs. Large Area" principle: Protecting and restoring a large area of natural grassland by establishing a small area of cultivated pasture. *Pratacultural Science*, **33**(10): 1913-1916.]
- 高树琴, 胡兆民, 韩 勇, 等. 2019. 生态草牧业在我国精准扶贫中的作用和潜力——中国科学院植物研究所科技扶贫实践与模式探索. 中国科学院院刊, **34**(2): 223-230+126. [Gao SQ, Hu ZM, Han Y, et al. 2019. On role and potential of grass-based livestock husbandry in poverty alleviation—Practice and pattern exploration of S&T poverty alleviation by Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, **34**(2): 223-230 + 126.]
- 高玉鹏. 1987. 草地生态系统的平衡与破坏. 家畜生态学报, (2): 46-49. [Gao YP. 1987. Balance and destruction of grassland ecosystems. *Journal of Animal Ecology*, (2): 46-49.]
- 郭正刚, 梁天刚, 刘兴元. 2004. 新疆阿勒泰地区草地类型特征及其分类经营. 应用生态学报, **15**(9): 1594-1598. [Guo ZG, Liang TG, Liu XY. 2004. Features of grassland resources and their classified management in Aletai region of Xinjiang. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **15**(9): 1594-1598.]
- 何艳琳. 2014. 阿勒泰地区草地退化成因研究(硕士学位论文). 乌鲁木齐: 新疆农业大学. [He YL. 2014. Studies on Reasons of Grassland Degradation in Aletai Area (Master's thesis). Urumqi: Xinjiang Agricultural University.]
- 侯彩霞, 周立华, 文 岩, 等. 2018. 生态政策下草原社会-生态系统恢复力评价——以宁夏盐池县为例. 中国人口·资源与环境, **28**(8): 117-126. [Hou CX, Zhou LH, Wen Y, et al. 2018. Evaluation of social-ecosystems resilience in ecological policy: A case study in Yanchi, Ningxia, China. *China Population, Resources and Environment*, **28**(8): 117-126.]
- 侯向阳, 李西良, 高新磊. 2019. 中国草原管理的发展过程与趋势. 中国农业资源与区划, **40**(7): 1-10. [Hou XY, Li XL, Gao XL. 2019. The process and future trend of grassland management in China. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, **40**(7): 1-10.]
- 侯向阳. 2015. 我国草业发展理论及科技支撑重点. 草业科学, **32**(5): 823-827. [Hou XY. 2015. The development theory and key supporting science and technologies of grasslands and animal husbandry in China. *Pratacultural Science*, **32**(5): 823-827.]
- 侯向阳. 2017. 西部半干旱地区应大力发展旱作栽培草地. 草业科学, **34**(1): 161-164. [Hou XY. 2017. Semiarid area should develop dry farming grasslands. *Pratacultural Science*, **34**(1): 161-164.]
- 刘黎明, 谢花林, 赵英伟. 2001. 我国草地资源可持续利用评价指标体系的研究. 中国土地科学, **15**(4): 43-46, 42. [Liu LM, Xie HL, Zhao YW. 2001. Study on evaluation index system of sustainable utilization of grassland resources in China. *China Land Science*, **15**(4): 43-46, 42.]
- 刘黎明, 赵英伟, 郑建宗. 2002. 草地利用系统可持续性评价方法研究. 中国草地, **24**(6): 2-7. [Liu LM, Zhao YW, Zheng JZ. 2002. Study on the approach for evaluating sustainable rangeland use system in China. *Grassland of China*, **24**(6): 2-7.]
- 秦 丹. 2004. 西藏草原生态经济可持续发展研究(硕士学位论文). 成都: 四川师范大学. [Qin D. 2004. The study of the Sustainable Development of the Grassland Ecological economy in Tibet (Master's Thesis). Chengdu: Sichuan Normal University.]
- 任继周, 朱兴运. 1995. 中国河西走廊草地农业的基本格局和它的系统相悖——草原退化的机理初探. 草业学报, **4**(1): 69-79. [Ren JZ, Zhu XY. 1995. The pattern of agro-grassland system and system discordance in Hexi corridor of China: The mechanism of grassland degradation.

- Acta Prataculture Sinica*, **4**(1): 69-79.]
- 任继周. 2004. 草地农业生态系统通论. 合肥: 安徽教育出版社. [Ren JZ. 2004. General Theory of Grassland Agricultural Ecosystem. Hefei: Anhui Education Press.]
- 任继周. 2012. 放牧, 草原生态系统存在的基本方式——兼论放牧的转型. 自然资源学报, **27**(8): 1259-1275. [Ren JZ. 2012. Grazing, the basic form of grassland ecosystem and its transformation. *Journal of Natural Resources*, **27**(8): 1259-1275.]
- 任继周. 2015. 我对“草牧业”一词的初步理解. 草业科学, **32**(5): 7-10. [Ren JZ. 2015. My preliminary understanding on “Grass-based Livestock Husbandry”. *Pratacultural Science*, **32**(5): 7-10.]
- 戎郁萍, 赵萌莉, 韩国栋. 2000. 草地资源可持续利用原理与技术. 北京: 中国农业出版社. [Rong YP, Zhao ML, Han GD. 2000. Principle and Technology on Sustainable Utilization of Grassland Resources. Beijing: China Agriculture Press.]
- 沈海花, 朱言坤, 赵霞, 等. 2016. 中国草地资源的现状分析. 科学通报, **61**(2): 139-154. [Shen HH, Zhu YK, Zhao X, et al. 2016. Analysis of current grassland resources in China. *Chinese Science Bulletin*, **61**(2): 139-154.]
- 孙特生, 胡晓慧. 2018. 基于农牧民生计资本的干旱区草地适应性管理——以准噶尔北部的富蕴县为例. 自然资源学报, **33**(5): 761-774. [Sun TS, Hu XH. 2018. Grassland adaptive management in arid region based on livelihood capitals of peasants and herdsmen—A case study of Fuyun county in the north of Junggar basin, China. *Journal of Natural Resources*, **33**(5): 761-774.]
- 王丽霞. 2013. 内蒙古察哈尔右翼中旗可持续草地资源利用评价(硕士学位论文). 呼和浩特: 内蒙古师范大学. [Wang LX. 2013. Evaluation of Grassland Resources Sustainable Utilization in Chahaeryuyizhongqi of Inner Mongolia (Master's Thesis). Hohhot: Inner Mongolia Normal University.]
- 王明君, 韩国栋, 崔国文, 等. 2010. 放牧强度对草甸草原生产力和多样性的影响. 生态学杂志, **29**(5): 862-868. [Wang MJ, Han GD, Cui GW, et al. 2010. Effects of grazing intensity on the biodiversity and productivity of meadow steppe. *Chinese Journal of Ecology*, **29**(5): 862-868.]
- 吴跃明, 张翼, 王勤耕, 等. 1997. 论环境-经济系统协调度. 环境污染与防治, (1): 20-23. [Wu YM, Zhang Y, Wang QG, et al. 1997. On environment-economy coordinated degree. *Environmental Pollution and Control*, (1): 20-23.]
- 谢俊奇. 1999. 可持续土地利用系统研究. 中国土地科学, **13**(4): 35-38. [Xie JQ. 1999. Research on sustainable land use system. *China Land Science*, **13**(4): 35-38.]
- 熊建新, 陈端吕, 彭保发, 等. 2014. 洞庭湖区生态承载力系统耦合协调度时空分异. 地理科学, **34**(9): 1108-1116. [Xiong JX, Chen DL, Peng BF, et al. 2014. Spatio-temporal difference of coupling coordinative degree of ecological carrying capacity in the Dongting Lake region. *Scientia Geographica Sinica*, **34**(9): 1108-1116.]
- 杨发相. 2001. 新疆阿勒泰地区土地“三化”分析. 青海环境, (1): 17-20. [Yang FX. 2001. Analysis of land “three modernizations” in Altay, Xinjiang. *Journal of Qinghai Environment*, (1): 17-20.]
- 张琨, 吕学谦. 2014. 种草养畜是农业现代化的主要方向——访中国科学院院士张新时. 高科技与产业化, (4): 40-43. [Zhang K, Lü XQ. 2014. Planting grass and raising livestock is the main direction of agricultural modernization: An interview with Zhang Xinshi, academician of the Chinese Academy of Sciences. *High-Technology and Commercialization*, (4): 40-43.]
- 张新时. 2010. 我国必须走发展人工草地和草地农业的道路. 科学与社会, (3): 18-21. [Zhang XS. 2010. China must take the road of developing artificial grassland and grassland agriculture. *Science and Society*, (3): 18-21.]
- 张自和. 2015. 强化人工草地建设推动草畜产业化发展. 草原与草业, **27**(2): 3-6. [Zhang ZH. 2015. Strengthening the construction of artificial grassland and promoting the industrialization of grass and livestock. *Grassland and Prataculture*, **27**(2): 3-6.]
- 赵哲, 白羽萍, 胡兆民, 等. 2018. 基于超效率DEA的呼伦贝尔地区草牧业生态效率评价及影响因素分析. 生态学报, **38**(22): 7968-7978. [Zhao Z, Bai YP, Hu ZM, et al. 2018. Evaluation of ecological efficiency and factors influencing grassland animal husbandry in the Hulunbuir region based on a super-efficiency DEA model. *Acta Ecologica Sinica*, **38**(22): 7968-7978.]
- 周利光, 杜凤莲, 张雪峰, 等. 2014. 草原畜牧业对干旱的脆弱性评估——以内蒙古锡林郭勒草原为例. 生态学杂志, **33**(1): 259-268. [Zhou LG, Du FL, Zhang XF et al. 2014. The vulnerability assessment of grassland livestock industry to drought: A case study in pasture of Xilin-gol, Inner Mongolia. *Chinese Journal of Ecology*, **33**(1): 259-268.]
- Bai YF, Han XG, Wu JG, et al. 2004. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland. *Nature*, **431**: 181-184.
- Illingworth V. 1996. The Penguin Dictionary of Physics. London: Penguin Books Ltd.
- Tilman D, Reich PB, Knops JMH. 2006. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, **441**: 629-632.
- Wang Z, Deng XZ, Song W, et al. 2017. What is the main cause of grassland degradation? A case study of grassland ecosystem service in the middle-south Inner Mongolia. *Catena*, **150**: 100-107.

作者简介 孙特生,男,1975年生,博士,教授,主要从事水土资源利用与生态系统管理研究。E-mail: suntesheng@126.com

责任编辑 张敏