

DOI: 10.5846/stxb201903080440

宋乃平, 卞莹莹, 王磊, 陈林, 杨新国, 王响, 王兴, 曲文杰. 农牧交错带农牧复合系统的可持续机制. 生态学报, 2020, 40(21): 7931-7940.

Song N P, Bian Y Y, Wang L, Chen L, Yang X G, Wang X, Wang X, Qu W J. Sustainable mechanism of agro-pastoral complex system in agro-pastoral ecotone. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(21): 7931-7940.

农牧交错带农牧复合系统的可持续机制

宋乃平^{1,*}, 卞莹莹², 王磊¹, 陈林¹, 杨新国¹, 王响¹, 王兴¹, 曲文杰¹

1 宁夏大学西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 银川 750021

2 宁夏大学农学院, 银川 750021

摘要: 农牧复合系统具有综合资源、兼顾生态与生计、环境与经济发展的作用, 是农牧交错带脱贫致富的必由之路。目前, 农牧复合实践迫切需要建立可持续的运行机制。针对于此, 运用农户调查、土地养分测定和农牧测产、分室模型等方法, 对宁夏盐池县皖记沟村农牧复合系统的资源支持、农户农牧复合生产方式、农牧复合系统的物质流开展研究。结果表明, 促进农牧复合系统发展的主要原因是资源基础和耕地、灌木林地、草地系统耦合的生产方式。目前主要生产饲草料的水浇地和柠条林地的水资源可持续性为农牧复合系统能否长期持续的关键。加强水土资源、饲草料生产和滩羊养殖之间的系统调控和整体协同, 是农牧交错带农牧复合系统可持续发展的必然选择。

关键词: 农牧复合系统; 可持续机制; 分室模型; 农牧交错带

Sustainable mechanism of agro-pastoral complex system in agro-pastoral ecotone

SONG Naiping^{1,*}, BIAN Yingying², WANG Lei¹, CHEN Lin¹, YANG Xinguo¹, WANG Xu¹, WANG Xing¹, QU Wenjie¹

1 Ministry of Education Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwest China, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

2 College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

Abstract: An agro-pastoral complex system has functions of integrating resources and considering the balance between ecology and livelihood, and that between environmental protection and economic development at the same time. Establishing an agro-pastoral complex system is the only way to shake off poverty and enrich people's life. It is urgent to establish a sustainable operation mechanism in the practice of agro-pastoral combination at present. The present study accordingly analyzed the resource support, production mode, and material flows of the agro-pastoral complex system in the Wanjiagou village, Yanchi County, Ningxia by using the different methods including household surveys, soil nutrient determination, farming and animal husbandry yield measurements, and compartment model building. Results showed that the main factors which accelerate the development of the agro-pastoral complex system were the foundations of the resources and the production mode coupled by cultivated land, bush land, and the grassland system. At present the sustainability of the water resource in the irrigated land which mainly produces the forage and that of the water resource in the bush land of *Caragana* were the key factors of maintaining the long-term sustainability of the agro-pastoral complex system. The inevitable choice for the sustainable development of the agro-pastoral complex system in agro-pastoral ecotone is to enhance the systematic regulation and the integrated synergy between soil and water resources, forage production, and Tan sheep production.

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFC0500709)

收稿日期: 2019-03-08 ; 修订日期: 2020-06-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: songnp@163.com

Key Words: agro-pastoral complex system; sustainable mechanism; compartment model; agro-pastoral ecotone

农牧交错带的畜牧业具有将天然和人工牧草、农作物秸秆和籽粒、乔灌木枝叶综合转换为高价值的肉、皮、毛、奶、蛋等畜产品、实现农牧复合的天然优势^[1]。然而长期以来,农牧交错带不仅没有发挥它处于农、牧两种系统界面所应该具有的双重优势,反而集中了农区重种轻养和牧区只放不养、草地和耕地在生态功能上的割裂以及生态环境效应不良等双劣势^[2]。近 30 年随着生态恢复、农牧业生产条件改善和土地使用权全面落实,农牧交错带的农牧复合经营全面兴起^[2-5],在改善农民生计、生态环境等方面发挥了巨大作用,甚至被认为是这些地区农业和农村发展的唯一选择^[6-7]。与此类似的,以小农为单元的混合种养业或种养一体化在亚洲和非洲撒哈拉等地区大范围流行^[8-10]。但是近些年在鄂尔多斯农牧交错带所出现的牲畜数量空前增长、草原封育禁牧导致的牧草资源浪费、过度发展灌溉农业等,严重威胁农牧复合系统的可持续发展。众多研究关注农牧复合系统的耦合机理和成效^[11-14]。近年来,出现了农牧复合系统可持续性的关注。王之明^[15]研究了位于农牧交错带西端的宁夏南部地区农牧复合系统中的诸多影响可持续发展的问题。Erenstein 和 Thorpe^[16]在印度河-恒河平原的研究发现,随着农与牧之间相互作用性质的阶段性变化,它既可以促进也可以阻碍农牧系统的可持续性。Sneessens 等^[17]的研究认为,混合农牧业如果想具有更高的可持续性是有条件的。我国北方农牧交错带的农牧复合系统是在半干旱气候、环境变异较大、农户经营为主体的背景下发展的,具有脆弱生态系统特点,如何建立可持续的农牧复合系统机制,是迫切需要研究的。为此,本文选择鄂尔多斯西南缘的宁夏盐池县皖记沟村,在村域和农户尺度上,从农牧复合的资源基础、农牧复合系统物质流等方面开展农牧复合系统可持续性的分析和评价,力图构建可持续农牧复合系统机制提供参考。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏盐池县皖记沟村(37°04'—38°10'N,106°30'—107°41'E),地处鄂尔多斯高原西南和北方农牧交错带西段的北缘(图 1),北与毛乌素沙地相连,南接黄土高原。属典型的中温带大陆性气候,1954—2017 年平均气温 8.1℃,无霜期 150 d,年平均降水量 285.8 mm,集中在 7—9 月,占全年降水量的 60%以上,年际变率为 28.82%,年平均蒸发量 2710 mm。土壤类型以灰钙土和风沙土为主。植被类型主要有人工柠条林和以黑沙蒿、苦豆子、猪毛蒿、短花针茅等为优势种或建群种的草原植物群系^[18]。主要土地利用类型耕地、草地、灌木林地、沙地面积分别为 577.12 hm²、3397.41 hm²、1767.56 hm²、997.04 hm²^[19]。灌木林几乎全部为柠条林,适合于放牧。2012 年全村在册人口共 1245 人,长期居住人口不到 50%。2012 年之前种植业完全依靠自然降水,之后一些农户自打机井发展灌溉种植业,主要种植玉米、马铃薯、荞麦等。该村主要生计方式主要为滩羊养殖、作物种植和劳务收入。全村羊只数量 9263 只,85.71%的农户养羊数量在 20—200 只。自 2002 年实施禁牧政策以来,该村滩羊养殖主要为半舍饲半放牧方式。种植业、畜牧业、务工和政策补助分别占家庭总收入 17.29%、49.57%、26.67%和 6.47%。

1.2 资料来源与研究方法

(1) 农户调查。本研究采用半结构访谈问卷调查,对皖记沟行政村 5 个自然村的 119 户农户调查,采用典型调查和偶遇调查相结合的方式,内容包括农户的基本生活和农牧业生产两部分,涵盖农户基本情况、生计方式、各类土地面积和利用情况、种植作物情况、饲养牲畜情况以及政府补贴等。为克服年度间的变异,调查了每个农户 2012—2013 年 2 年的情况。

(2) 土地养分测定和测产。在整理以上数据的基础上,在杨寨子自然村选择土地面积和养羊数量不同的 9 个农户,从 2013 年 3 月起至 2014 年 10 月进行农林牧复合生态系统主要要素监测,连续监测以上农户生态系统的耕地、草地、林地的土壤养分、作物产量或生物量,畜牧业状况,投入产出的物质和货币量进行记录和取样。土壤养分采用地块五点法取 0—10 cm、10—20 cm、20—40 cm 土样,带回实验室做有机质测定。农作物

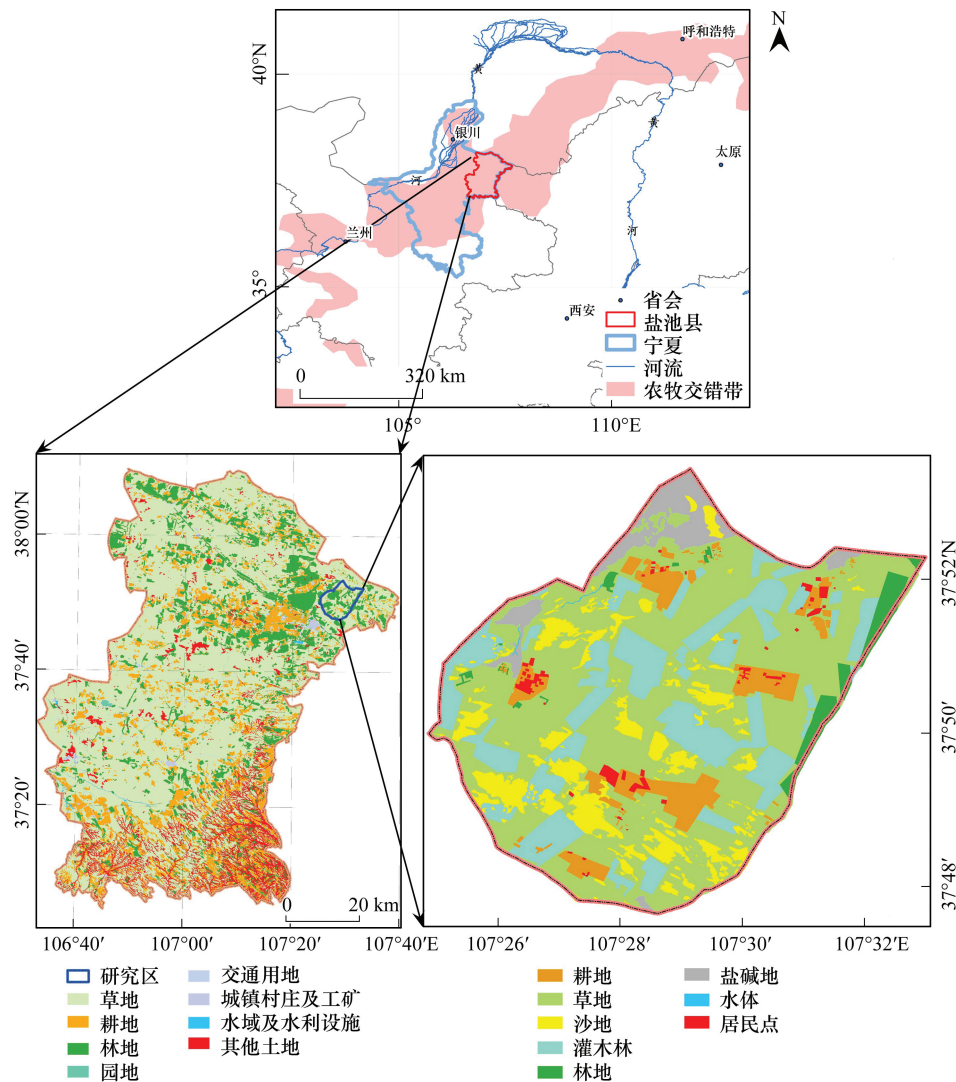


图1 研究区在北方农牧交错带的位置及土地利用结构

Fig.1 The location of study area in the agro-pastoral ecotone and its land use structure

和草地测产以地块或农户为单元采用对角线五点取样法,对玉米等大植株采用密度结合单株分解测产(包括根系重量),对于其他作物和牧草,采用样方刈割法测产(包括根系重量)^[20]。柠条测产是在地块中随机选择5个30 m×30 m样方,数柠条丛数,随机选取样方内的5丛柠条测量株高、冠幅、分枝数,用模型估算产量^[21]。

(3)羊只称重监测。在各典型农户的羊群中分别选择畜种相同、身高、体重相似的2—11个月羔羊、1—2岁、2—3岁、3岁以上的生产羊各6只,打耳标并记录编号,连续12个月称量每只羊的体重,并记录每只生产羊的产羔情况、当月饲草料结构和用量以及放牧时间。

(4)本研究还利用边界矢量数据通过剪裁获取了皖记沟村2000—2015年的MODIS NDVI数据。另有一些难以测定的数据,如每只羊的粪尿量等,从农牧业手册或文献中获取。

(5)分室模型。该模型是根据系统原理,把生态系统的若干组分或亚系统看作若干小分室,通过研究分室与分室、分室与环境间的“流”的交换关系建立的模型。本文应用分室模型分析农牧复合系统的物质流结构。假定农牧系统是线性系统,物质流完全由给予者分室控制,物质流动在研究时间内是即时的、无时滞的^[22]。对于给定的农牧生态系统,为了揭示农业生态系统的物流特征,需要对系统边界和分室做出符合需要并且尽可能简化设置。一般涉及第一性生产的若干分室、畜牧分室、人口分室、土壤分室和环境等部分^[23-24]。

模型形式如下式:

$$\dot{X} = AX + BU \quad (1)$$

$$\dot{X} = \begin{bmatrix} \frac{dx_1}{dt} \\ \frac{dx_2}{dt} \\ \vdots \\ \frac{dx_n}{dt} \end{bmatrix} A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} U = \begin{bmatrix} z_{10} \\ z_{20} \\ \vdots \\ z_{n0} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$B = \text{diag}(b_1, b_2, \cdots, b_n) \quad (3)$$

X 为某分室的库存量, U 为从生态系统外部输入的物质, A 为系数矩阵, B 为放大的倍数, n 为本生态系统中的分室个数。模型结构确定之后, 对各分室的现存量 X_i , 各分室间的流量 F_{ij} 及分室与环境间的流量 Z_{i0} 进行测定或推算。再通过计算确定各系数矩阵, 并检验系统的稳定性。

2 结果

2.1 农牧复合系统的资源基础

研究区土地利用以草地、灌木林地、沙地和耕地为主, 分别占总土地面积的 47.73%、24.83%、14.01% 和 8.11%。其植物生产力主要受气候主导, 呈现为年内冬春季低与夏秋季高的不平衡, 以及年际间受降水变率大而表现出的丰歉差异。图 2 是皖记沟村干旱年份 (2008 年) 和降水丰沛年份 (2012 年) 的 MODIS NDVI 数据, 反映了植被生产力动态^[25]。每年的 11 月到次年的 4 月是植被生产力最低的时期, 因处于非生长期所以无论年内还是年季差异都很小。5—10 月是植被生长季, 生产力有一个上升到下降的过程, 8 月到达峰值。这个时期也是生产力年内和年季差异最明显的时期, 不但年际间峰值差异大, 而且每年返青和枯黄的早晚不同。牧草生产的年内和年季波动性与牲畜对饲草料需求的平稳性之间的矛盾, 特别是冬春季和早年饲草料短缺, 是限制畜牧业发展的重大问题。传统畜牧业的牲畜冬春季和干旱年掉膘甚至死亡成为普遍现象。据调查, 皖记沟在 20 世纪 90 年代之前, 滩羊冬春季的平均掉膘量为上个秋季的 1/3 的体重。若冬季不补饲再加上死亡羊只, 冷季绵羊掉膘量会更高达 50% 以上^[26]。近些年即使在冬季补饲 0.5—1.5 kg 只羊⁻¹ d⁻¹ 玉米籽粒的情况下, 这种趋势仍未改变, 只是体重下降的幅度控制在了 10% 以内 (图 3)。

面对传统放牧业受天然草原生产力年内、年际较大波动造成的低效率, 农民试图从土地生产力和牧业生产力两方面改变。1980 年代到本世纪前 10 年农民自发种植, 使得皖记沟村的人工柠条林地面积从 1970 年的无扩大到 2013 年的 1767.56 hm²。2012 年到 2013 年皖记沟村共打深井 63 眼, 119 个调查农户发展水浇地 123.53 hm², 2012 年这些水浇地的 84.39% 用于种植玉米。调查户 2012—2013 年水浇地和旱耕地玉米籽粒平均产量分别为 7062.70 kg/hm² 和 2303.40 kg/hm²。玉米籽粒和秸秆用于冬春季饲喂滩羊。形成了草地、灌木林地、耕地共同支持牧业的农牧复合系统。图 4 是利用多年的草地林地样方调查、农作物测产、生物量估算数据与同期 NDVI 数据的平均值经过整合而恢复的天然草地、柠条林地、耕地的地上生物量年内动态。人工林的现存地上生物量和耕地地上生物量分别是天然草地地上生物量的 4 倍和 11 倍; 柠条林地全年有活生物量, 每年生物量增长期维持的时间最长, 峰谷差异小, 年内和年际间的均衡性好。以玉米为主的农作物的生物量季节性峰谷差异最大, 生物量维持的时间最短, 单季生物量远高于灌木林地和草地, 最适宜于刈割贮藏和冬春季补饲。天然草地牧草从返青到枯落, 其持续时间介于柠条林地与耕地之间, 生物量最低。但因其面积广大, 牧草的植物多样性、耐践踏、宜放牧等特性, 是畜牧业的主要承载体。总体来说, 草地、灌木林地、耕地生产力提升和功能互补, 特别是其中种植玉米的水浇地和柠条林地面积的增加, 使饲草料供应尤其是冬春季饲草料供给得到缓解, 大大改变了牲畜数量随草地产草量大幅波动的状况。

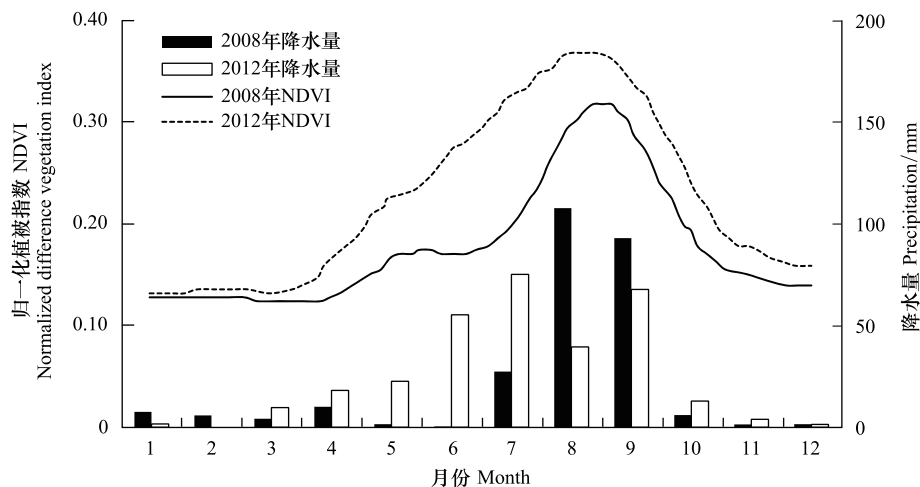


图2 皖记沟村典型降水丰枯年份的植被指数

Fig.2 Vegetation index of wet year (2012) and dry year (2008) in Wanjigou village

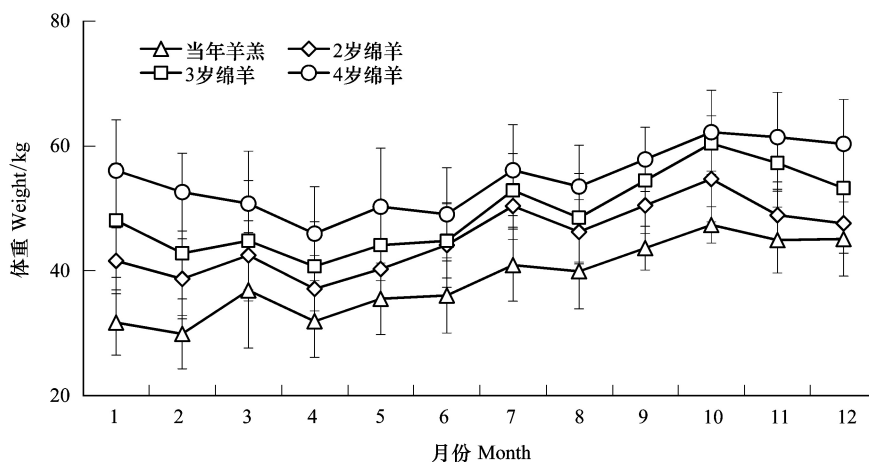


图3 皖记沟村9个监测农户滩羊体重变化

Fig.3 Weight changing of sheep in a whole year from nine sampling households in Wanjigou village

2.2 农户农牧复合系统的生产方式

在2000年以前,研究区农户主要采用全年放牧和对生育后期的母羊和羔羊补饲的畜牧业生产方式。放牧主要利用天然草原和柠条林地,补饲主要是玉米、荞麦等籽粒和土豆块茎等农作物,少数农户种植苜蓿等人工牧草用于补饲。2001年5月至今实施草原封育和禁牧的强制性制度。禁牧初期的2001—2006年农户几乎无法放牧,通过压缩养殖规模、发展农作物种植、购买秸秆等饲草料以及少量打贮青草保障养殖。2007年以后,逐步形成了现在的夏秋季夜间放牧与冬春季舍饲喂养相结合的生产方式。这个过程更加依赖种植业对牧业的支持,促进了农户将耕地、柠条林地和天然草地及少量人工草地与购买部分饲草料结合起来,发展农林草相结合的滩羊养殖。

农户是农牧业资源组织和经营的实体单元,资源分配和配比对于农牧复合系统发展至为关键。119个调查户中93.27%的农户有耕地,其中旱耕地面积为136.60 hm^2 ,水浇地面积为123.52 hm^2 ,户均分别有1.15 hm^2 的旱耕地和1.04 hm^2 的水浇地,60%的农户耕地面积在1.33—4.67 hm^2 (表1)。36个农户无水浇地,44户只有水浇地没有旱耕地。发展水浇地取代旱耕地成为趋势。旱耕地和水浇地分别有32.11%和84.39%的面积

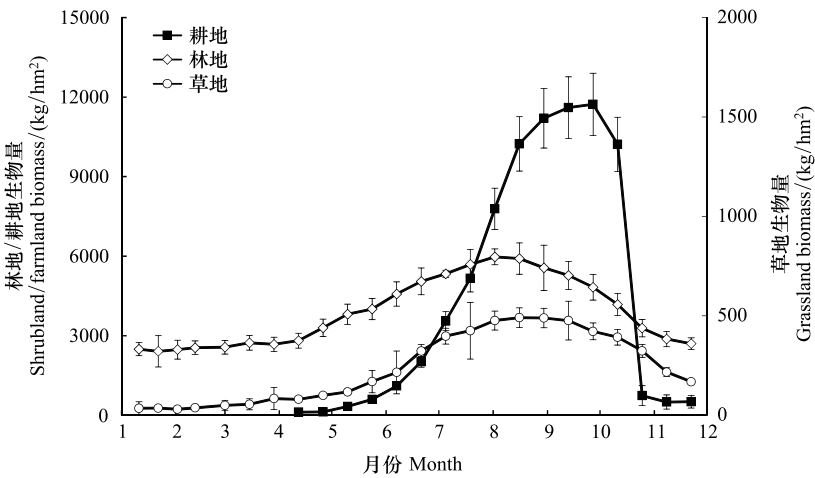


图 4 耕地、林地、草地的地上生物量动态

Fig.4 The above ground productivities of cropland, shrub and grassland

用于种植玉米,作为饲草料。户均分别有 36.32hm²的天然草地和 20.87 hm²的柠条林地,89.91%农户的天然草地面积在 13.33—73.33 hm²,80.67%农户的天然草地面积在 20 hm²以上。其中天然草地上有柠条林的农户占总调查户数的 73.10%,62.18%的农户柠条林面积在 13.33 hm²以上。57.45%的草原面积被发展成为柠条林。由此可见,农户将种植柠条林提高和稳定草原生物量作为支持滩羊养殖的主要措施之一。

表 1 调查农户的农牧复合系统特征统计 (n = 119)

Table 1 Characteristics statistics of Agro-pastoral systems for surveyed farmers (n = 119)

农户类型 Farmer's type	均值± 标准差 Mean±SD	农户/个 Farmers	羊只/只 Sheep	劳力/个 Labor force	面积 Area/hm ²				玉米产量/×10 ² kg	
					旱耕地 Dry land	水浇地 Irrigable land	天然草地 Natural grassland	灌木林地 Shrub land	秸秆 Straw	籽粒 Grain
未养羊农户 No breeding household	均值	10	0.00	1.00	1.31	0.36	35.07	23.27	37.97	24.21
	标准差		0.00	0.89	1.31	0.61	24.71	25.87	104.54	65.16
养羊小户 Small breeding household	均值	32	31.22	1.84	1.08	0.60	30.76	21.40	33.63	23.97
n ≤ 50	标准差		8.93	1.03	1.07	0.61	17.20	20.30	56.10	38.26
养羊中等户 Medium breeding household	均值	47	64.34	1.85	1.21	1.22	36.62	16.95	90.85	66.37
50 ≤ n ≤ 100	标准差		12.05	0.74	1.19	1.60	18.58	16.07	82.73	63.42
养羊大户 Big breeding household	均值	30	174.67	1.93	1.07	1.45	42.21	25.64	150.86	103.93
n ≥ 100	标准差		71.03	1.06	1.68	1.75	28.96	30.06	136.23	91.38
整体规模 All household	均值	119	77.84	1.80	1.15	1.04	36.32	20.87	94.72	66.26
	标准差		69.86	0.96	1.31	1.43	22.27	22.57	115.51	79.07

在上述资源支持下,皖记沟村滩羊规模由 20 世纪 90 年代后期的 4031 只增加到现在的 9263 只。调查农户平均养羊 77.84 只,人均 17.69 只,保证人均 4000 元以上的年收入。未养羊的农户仅占调查户数的 8.40%。大、中、小养羊户户数接近,他们之间的养殖规模差异较大。相对而言,三类农户之间天然草地面积差异不大,但是柠条林地和水浇地的面积差异大,特别是耕地产出的玉米秸秆和籽粒的产量差异很大。由此可见,养殖规模的限制因子是耕地面积,特别是水浇地及其产出的秸秆和籽粒的产量,柠条林面积的贡献也较大。劳动力数量和旱耕地对养殖规模的影响不明显(表 1)。

$$\frac{dX_9}{dt} = -0.7594X_9 + 0.3042X_6 + 0.0180X_7$$

方程组中各分室(X_i)的系数总和是其物质流通量,反映了物质流动性。各分室在不同方程的代数和是其流通率,反映了其流入流出的平衡性。从方程组的形式看,每个库都有向外的输出,因而自身的系数为负。秸秆(X_4)全部输出,也就是全年的秸秆没有剩余。输出份额高的还有作物籽粒(X_3)和农家肥(X_9)。土壤有机质(X_8)的输出最低,人口(X_6)、牧草(X_2)、牲畜(X_7)的输出量都不高,说明库内份额较高(属于惰性库)。土壤有机质库获得根茬(X_5)、牲畜、农家肥的输入份额都很高。牲畜库获得作物籽粒、秸秆和牧草的输入,以及牧草库获得土壤有机质的输入份额也较高。从同一库的流通率代数和来看,接近于0,也就是有机质输出和输入基本平衡的有柠条(X_1)、牧草、根茬、人口等库。作物秸秆、籽粒和农家肥等库的输出远远大于输入。而牲畜和土壤有机质库的输入远远大于输出(表2),说明其周转速率较慢,在系统内的贮存较多。从流通量来看,在系统中比较活跃的是柠条、籽粒、秸秆、农家肥,足见农林子系统对于农牧复合系统物质补充的及时性。而牧草、人口、有机质在系统中的流通量低,前者主要是禁牧造成的,说明系统的牧草还有进一步利用的潜力。9个监测农户的粮食和肉类消费量占自家生产的份额都可以忽略不计。

表2 分室模型中各分室的流通量和流通率

Table 2 The flux and flow rate of each chamber in the compartment model

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
系数总和	1.2356	0.5806	1.2294	1.4655	1.0004	0.5513	1.0057	0.6747	1.2267
代数和	-0.0836	0	-0.4258	-0.5345	-0.0040	0.0571	0.4651	0.4471	-0.2921

禁牧使得畜牧业的物质来源主要转向依靠种植业,而牧草和柠条的输入量还有潜力。作物秸秆在全部输出到牲畜之后,还不能满足需要。秸秆在饲草料结构中的比例过大,降低了饲草料结构中的蛋白含量,这是目前农户饲养效率不高的主要原因。

3 讨论

农牧复合系统的可持续机制主要体现在水土环境、植物生产、家畜生产、人类需求之间的物流平衡、生态效率、协同关系^[27,28]。分室模型分析显示,促使研究区在禁牧条件下羊只数量翻番的主要资源是耕地特别是水浇地生产的大量作物籽实和秸秆,以及柠条林。水浇地和柠条林地不但具有比天然草地高4到11倍的生产力,而且产量较稳定,柠条的粗蛋白含量高。但是在研究区维持水浇地和柠条林地生产的长期机制是资源供给的可持续性,特别是水资源。宁夏地区玉米生长期内需水量为549 mm,按照研究区50%保障率降水即279 mm条件下,玉米生长期多年平均灌溉需水量为6888 m³/hm²。研究区多年平均地下水最大利用量为112.15×10⁴ m³/a。可灌溉耕地162.82 hm²^[29],现有的水浇地面积已经接近可灌溉上限。而且这个推断还有赖于地下水循环的研究结果。研究区连年抽取地下水会否引起土壤饱气带水分的趋势性下降,进而引发草原退化,需要进一步监测。世界其他干旱半干旱区土地集约利用导致土地退化的案例不胜枚举^[14,17,30]。更为严峻的是,研究区柠条林在进入老龄林之后面临普遍的土壤干旱化^[31]。禁牧政策使得农户将放牧压力由天然草地转向耕地和柠条林地。农牧交错带的水土资源密度小,土地生产力的本质是面积效应。如果不能正常发挥大面积天然草地的作用,让耕地承担更大规模的滩羊养殖,农牧复合系统是难以持续的。

从饲草料与牲畜协同的层次看,实行以草定畜,特别是冬春季、歉收年饲草料对牲畜数量和养殖效率的限制,以及目前饲料结构反映的能量有余、蛋白短缺对养殖效率的影响。禁牧政策催生出来的冬季春舍饲喂养,实质上是将草地、耕地、林地的生物量进行削峰填谷,或者错峰利用,达到饲草料在时间上的均衡,突破了长期制约养殖规模扩大的冬春季饲草料不足的瓶颈^[27-28]。研究区农户将生产目标由原来的粮食、牲畜多元分散向滩羊养殖的特色草牧业集中,形成了耕地、草地、柠条林地生产与滩羊养殖之间的协同关系。突破了传统畜牧业冬春季饲草料量少质低对滩羊养殖的瓶颈。饲草料错峰利用面临利用时间与饲草料营养高峰不一致而

导致的营养流失问题,大大降低了饲草料利用效率和效益。如玉米秸秆乳熟期的粗蛋白含量可达 7%,而农户黄贮的玉米秸秆到冬季其粗蛋白含量不足 2%^[32]。天然草地的牧草也有冬春季蛋白含量显著下降的问题。柠条粗蛋白含量随季节的变化相对较小。从需求方面来说,以目前农户的饲草料结构计算,蛋白含量尚不到饲草料的 8%,距离 12%的基本标准还有较大差距。这也是冬春季补饲玉米籽粒较多,能量远超滩羊需求,而仍然掉膘的原因。面对饲草料错峰利用与营养高峰不一致的矛盾,要采取系统性措施。目前要大力推广玉米青贮,保证有 5%以上的粗蛋白含量。还要在冬春季增加外部蛋白饲料如豆粕等的输入,提高饲草料的整体利用效率和效益。长远措施是将土地利用结构与作物和植物结构相结合,将更多的人工草地转向发展高蛋白饲草料,如二年生的草木樨。苏丹草、高丹草等也要在蛋白含量较高的生长期刈割。利用封育禁牧的机遇,开展天然草原改良。在硬质土荒漠草原补播胡枝子等豆科植物,在覆沙地补播草木犀状黄芪等,在沙地补播沙打旺、苦豆子等,提高牧草蛋白含量。由此可见,资源基础和系统耦合生产方式是农牧复合系统生产能力提高的真正原因。

4 结论

研究区通过种植柠条林充分利用土壤水、发展水浇地充分利用地下水,提高土地利用集约度,为滩羊养殖提供了大量饲草料,成为禁牧之后畜牧业的主要支撑。禁牧政策所诱发的草地、耕地、林地与滩羊养殖的系统耦合,减少了冬春季饲草料量少质低对畜牧业的瓶颈,提高了养殖效率。资源基础和系统耦合生产方式是农牧复合系统生产能力提高的真正原因。

禁牧使得放牧压力由草地转向耕地和柠条林地,二者均存在水资源不可持续的风险。加强水土资源、饲草料生产和滩羊养殖之间的系统调控和整体协同,是农牧交错带农牧复合系统可持续发展的必然选择。控制地下水开发强度,促进水肥与作物耦合,降低柠条种植密度,控制滩羊养殖规模,适度开放草地,协调耕地、林地、草地之间的耦合利用,是农牧复合系统长期持续的关键措施。

参考文献(References):

- [1] 宋乃平,王兴,杨新国,吴旭东,陈林,米楠. 农牧交错带县域农牧系统对气候波动的响应机制. 生态学报, 2016, 36(13): 3969-3977.
- [2] 张新时,唐海萍. 中国北方农牧交错带优化生态-生产范式集成. 北京: 科学出版社, 2008: 24.
- [3] 樊胜岳,周立华,赵成章. 中国荒漠化治理的生态经济模式与制度选择. 北京: 科学出版社, 2005: 49-70.
- [4] 王继军,姜志德,连坡,郭满才,姜峻,苏鑫,李慧,牛艳丽. 70 年来陕西省纸坊沟流域农业生态经济系统耦合态势. 生态学报, 2009, 29(9): 5130-5137.
- [5] 顾凤岐,袁洪亮. 农林牧复合生态系统的关联稳定性. 东北林业大学学报, 2010, 38(12): 127-129.
- [6] 刘兴元,王锁民,郭正刚. 半干旱地区农业资源的复合经营模式及生态经济耦合效应研究. 自然资源学报, 2004, 19(5): 624-631.
- [7] Iiyama M, Maitima J, Kariuki P. Crop-livestock diversification patterns in relation to income and manure use: a case study from a Rift valley community, Kenya. African Journal of Agricultural Research, 2007, 2(3): 58-66.
- [8] Devendra C, Thomas D. Crop-animal interactions in mixed farming systems in Asia. Agricultural Systems, 2002, 71(1/2): 27-40.
- [9] Bogahawatte C. Evaluating Crop-livestock-Based farming systems: a village level study in the dry zone rainfed district of Sri Lanka. Agricultural Systems, 1984, 14(4): 199-212.
- [10] Msuya D G. Farming systems and crop-livestock land use consensus. Tanzanian perspectives. Open Journal of Ecology, 2013, 3(7): 40020.
- [11] 任继周,万长贵. 系统耦合与荒漠—绿洲草地农业系统——以祁连山-临泽剖面为例. 草业学报, 1994, 3(3): 1-8.
- [12] 林慧龙,侯扶江. 草地农业生态系统中的系统耦合与系统相悖研究动态. 生态学报, 2004, 24(6): 1252-1258.
- [13] Van De Koppel J, Rietkerk M. Herbivore regulation and irreversible vegetation change in semi-arid grazing systems. Oikos, 2000, 90(2): 253-260.
- [14] Descheemaeker K, Amede T, Hailelassie A. Improving water productivity in mixed crop-livestock farming systems of sub-Saharan Africa. Agricultural Water Management, 2010, 97(5): 579-586.
- [15] 王之明. 宁南山区农牧复合结构模式与可持续发展研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [16] Erenstein O, Thorpe W. Crop-livestock interactions along agro-ecological gradients: a meso-level analysis in the Indo-Gangetic Plains, India. Environment, Development and Sustainability, 2010, 12(5): 669-689.

- [17] Sneessens I, Veyssset P, Benoit M, Lamadon A, Brunshwig G. Direct and indirect impacts of crop-livestock organization on mixed crop-livestock systems sustainability: a model-based study. *Animal*, 2016, 10(11): 1911-1922.
- [18] 宋乃平, 王兴, 陈林, 薛毅, 陈娟, 随金明, 王磊, 杨新国. 荒漠草原“土岛”生境群落物种共存机制. *生物多样性*, 2018, 26(7): 667-677.
- [19] 宋乃平, 杨新国, 何秀珍, 何彤慧, 李勇, 刘孝勇. 荒漠草原人工柠条林重建的土壤养分效应. *水土保持通报*, 2012, 32(4): 21-26.
- [20] 卞莹莹. 荒漠草原区农林牧复合系统结构与模式优化研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2015.
- [21] 王新云, 郭艺歌, 何杰. 基于多元遥感数据的草地生物量估算方法. *农业工程学报*, 2014, 30(11): 159-166.
- [22] 刘铁斌, 韩纯儒. 农业生态系统物质循环的分室模型. *生态与农村环境学报*, 1988, 4(4): 52-58.
- [23] 冷志杰, 孟军, 徐中儒. 农牧生态系统物流模型的建立及持续性分析. *农业现代化研究*, 1999, 20(2): 115-119.
- [24] 尹海东. 农牧生态系统物流模型的建立与分析. *东北农业大学学报*, 2011, 42(8): 74-78.
- [25] 戴声佩, 张勃, 王海军, 郭玲霞, 王亚敏. 中国西北地区植被时空演变特征及其对气候变化的响应. *遥感技术与应用*, 2010, 25(1): 69-76.
- [26] 汪诗平, 王艳芬, 陈佐忠. 内蒙古草地畜牧业可持续发展的生物经济原则研究. *生态学报*, 2001, 21(4): 617-623.
- [27] 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: 165-177.
- [28] 任继周, 胥刚, 李向林, 林慧龙, 唐增. 中国草业科学的发展轨迹与展望. *科学通报*, 2016, 61: 178-192.
- [29] 随金明, 宋乃平, 王兴, 张玉萍. 灌溉条件下农牧交错带作物产量影响因子分析——以盐池县皖记沟村为例. *中国农业资源与区划*, 2017, 38(5): 128-133.
- [30] Naveh Z. 景观与恢复生态学——跨学科的挑战. 李秀珍, 冷文芳, 解伏菊, 李团胜, 角媛梅, 译. 北京: 高等教育出版社, 2010: 133-134.
- [31] 宋乃平, 杨明秀, 王磊, 王兴, 肖绪培, 曲文杰. 荒漠草原区人工柠条林土壤水分周年动态变化. *生态学杂志*, 2014, 33(10): 2618-2624.
- [32] 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.
- [33] 李向林. 发展草地农业建设生态文明. *民主与科学*, 2018, (3): 17-20.
- [34] 任继周. 草业琐谈五十从秸秆说起——兼及牧草、饲草、刍草. *草业科学*, 2007, 24(6): 74-75.