

黄土高原-青藏高原过渡带农户生产系统的经济效益 ——以通渭-渭源-夏河样带为例

彭露茜, 高小叶, 侯扶江*

草地农业生态系统国家重点实验室, 农业部草牧业创新重点实验室, 兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730020

* 联系人, E-mail: cyhoufj@lzu.edu.cn

2017-07-19 收稿, 2017-09-29 修回, 2017-09-30 接受, 2017-12-18 网络版发表

国家科技基础性工作专项(2012FY111900)、国家自然科学基金(31672472)和长江学者和创新团队发展计划(IRT_17R50)资助

摘要 黄土高原-青藏高原过渡区是我国地形第一阶梯向第二阶梯过渡的重要生态区, 农户生产与独特生态环境相互作用、相互影响, 为了实现这一人类-环境耦合系统的可持续发展, 需要认识其农户生产系统的结构与特征. 为此, 建立通渭-渭源-夏河样带, 根据统计年鉴、实地问卷调查和各类政府报告统计, 收集目标数据, 分析农户作物、家畜和综合系统的生产要素投入-产出结构、生产系统水平和农户占比. 结果显示, 过渡带农户生产系统水平自东向西呈梯度变化, 根据Logistic预测模型拟合, 农户占比和农户生产系统水平显著相关($P=0.000$), 农户占比对农户生产系统水平响应速度和阈值点处农户生产系统经济效益不同. (1) 作物生产: 过渡带自东向西户均耕地面积、劳动力、作物投入和产出递减, 其中劳动力和化肥投入量占总投入75%以上, 马铃薯、玉米经济效益高于小麦; 农户占比在阈值点50%时的经济效益递减, 通渭(13.67千元/户)>渭源(12.65千元/户)>夏河(-2.68千元/户). (2) 家畜生产: 家畜养殖规模、天然草地面积、投入递增, 产出东西高, 通渭、渭源、夏河的农户的动物生产分别以猪(0.14千元/户)、羊(1.84千元/户)和牛的经济效益最高(32.79千元/户). (3) 综合生产: 经济投入, 夏河农户占比响应速率为1.30, 比通渭和渭源分别高0.61和0.70; 经济产出, 夏河农户占比响应速率最低(0.085), 低于通渭(0.17)和渭源(0.37); 农户占比增长到阈值点50%时, 经济效益夏河(30.57千元/户)>通渭(20.22千元/户)>渭源(13.07千元/户). 农户占比由增长拐点进入饱和期时, 通渭、渭源和夏河农户占比对于投入分别增加了45.76%, 47.98%和45.60%, 而产出分别增加了43.20%, 42.60%和45.60%, 阈值点处经济效益分别为30.52, 16.32和64.70千元/户. 为实现过渡带农户生产系统的生态效益和经济效益有效耦合, 可加强作物副产品 and “废弃物”补饲家畜, 在阈值点附近调控农户占比, 减少草地资源消费 “搭便车”现象.

关键词 作物生产, 家畜生产, 综合生产系统, 混合农业, 投入, 产出, Logistic 模型

草地农业是以草地资源为基础、草畜互作提供关键动力的农业系统, 植物生产与动物生产的系统耦合是其典型特征^[1], 过去也称混合(mixed farming, mixed agriculture)或综合(integrated farming, integrated agriculture)农业系统^[2,3], 它生产了世界一半以

上的食物^[4], 是区域食物安全、生态安全、农牧区社会经济发展一体化保障的生态系统^[5-7]. 过去对草地农业的研究较为重视作物与家畜系统耦合的途径与强度, 目前较为关注动植物等生物因素、气候等非生物环境因素、社会经济因素之间的互作机制与调

引用格式: 彭露茜, 高小叶, 侯扶江. 黄土高原-青藏高原过渡带农户生产系统的经济效益——以通渭-渭源-夏河样带为例. 科学通报, 2018, 63: 201-213
Peng L X, Gao X Y, Hou F J. The economic benefits of integrated farming system in the transitional region from Loess Plateau to Qinghai-Tibetan Plateau—A case study of Tongwei-Weiyuan-Xiahe transect (in Chinese). Chin Sci Bull, 2018, 63: 201-213, doi: 10.1360/N972017-00778

控^[6,7], 提高以生态生产力为基础的经济效益是核心目标之一^[8]. 农户的生产行为与经济行为是开放的、非平衡的动态耦合关系, 他们根据土地资源、气候、植物生产和家畜生产、动植物产品加工及其预期价格、农业政策等因素决定投入^[9,10], 从而推动农业系统结构的演变. 美国和澳大利亚干旱区的作物-家畜综合系统通过调整种植和养殖结构及其生产技术, 应对农产品的销售环境和市场风险^[11-13]. 美国规范农业保险、丰富种植制度一定程度上提高了土地产出^[14-16]. 西亚和非洲干旱区通过拓展农户获得农业知识与技术的渠道, 发展节水农业, 促进家畜生产对作物副产品的利用, 实现经济效益最大化^[17,18]. 我国内蒙古农牧交错带, 农牧民提高农业系统多样性, 多施厩肥, 减少化肥用量, 提升农业系统可持续性^[19,20]. 松嫩平原, 农户增加家畜的补饲, 异地饲养, 解决了农田和草地系统耦合的时空相悖^[21]. 草地农业通过农区与牧区耦合、草原与耕地耦合、作物生产与家畜生产耦合, 尤其是草畜耦合, 优化了农户生产结构, 提高了农业系统的产出.

青藏高原和黄土高原是世界独特的农业生态区, 是我国地形第一阶梯向第二阶梯、传统的农耕区向传统牧区的过渡带, 也是全球生态环境最脆弱、破坏最严重、对自然和人文环境变化响应最敏感的区域之一^[22]. 地质时期形成的地貌和气候, 历史时期在各种农业系统的交互作用下, 黄土高原-青藏高原过渡带形成了既相对稳定又相对脆弱的独特的农业系统结构和功能, 包括独特的经济特征, 不仅为黄土高原和青藏高原生态可持续性, 也为农耕文化和草原文化的传承与创新提供了农业系统基础^[23,24]. 以往的研究较为关注黄土高原和青藏高原农户生活水平、农牧业结构调整、农牧区劳动力转移、家庭牧场生产效率等社会经济要素和水土保持、草原生态系统多功能性、农牧区能值流等生态环境因素, 以实现农户生产与生态环境的耦合^[22-25]. 农户生产系统的经济投入与产出随海拔和降水梯度等自然因素的动态变化是农户生产系统优化和区域农业结构调整的基础, 但是研究报道很少. 为此, 在黄土高原-青藏高原过渡区建立通渭-渭源-夏河样带, 探讨农户作物生产和家畜生产系统的经济行为沿海拔、降水、热量等生态梯度的变化规律, 分析农户行为决策、作物-家畜相互作用对生态环境的适应性特征, 明确主导因子及其作用机制等, 旨在为区域生态安全、食物安全和社会

经济发展一体化保障提供科学的决策依据.

1 研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于甘肃省通渭县(Tongwei, TW)、渭源县(Weiyuan, WY)、夏河县(Xiahe, XH), 分别属于甘肃省定西市和甘南藏族自治州, 为青藏高原、西北内陆干旱区、秦巴山区、黄土高原等生态地理单元的交汇区(图1). 通渭-渭源-夏河地处同一纬度带, 35°N附近, 经度范围大致呈等差方式排列, 从东向西, 其海拔、降水量逐渐增加, 年均温、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温、无霜期逐渐减少, 第一性生产力变化不大(表1). 根据草原综合顺序分类法, 通渭和渭源属于微温湿润森林草原, 夏河为冷温潮湿高山草甸类^[26].

随着海拔升高, 耕地和人均耕地面积、各类作物种植面积、猪的存栏和出栏数下降, 草原和人均草原面积、牛羊等草食家畜存栏和出栏数上升; 粮食作物种植比例降低, 但经济作物与饲草作物种植比例增加(表1, 图1).

1.2 数据收集与分析

1.2.1 数据收集

收集研究区3个县2011年统计年鉴和政府报告, 以及其他基本信息. 同时, 在研究区开展农户问卷调查, 采用随机抽样法与典型抽样相结合. 根据农业生产方式及种养结构, 每县选取具有代表性的乡(镇)2个, 3个县共计6个乡(镇); 村级样本依据等距随机抽样的方法, 将各县典型乡(镇)的村农户人均收入从大到小排序, 等距选取10个自然村. 由于长期开展整村推进的农业技术推广模式, 每个村内部长期以来农业生产结构稳定, 农户生产系统结构相似, 故每村随机选择3个典型农户进行调查与研究, 这样每个县样本农户为30个^[22]. 问卷内容包括3部分: 家庭情况包括家庭人口结构、耕地和草原面积、家庭收入以及收入来源; 作物生产包括作物种植面积、单产、售价以及种子、农药、化肥、薄膜、厩肥、水电、畜力、劳力投入; 动物生产包括畜群结构、家畜繁殖、放牧与补饲管理、饲草与精料投入、存栏、出栏、畜产品售价等^[27].

1.2.2 数据分析

(1) 农户生产总投入(farmer total cost)

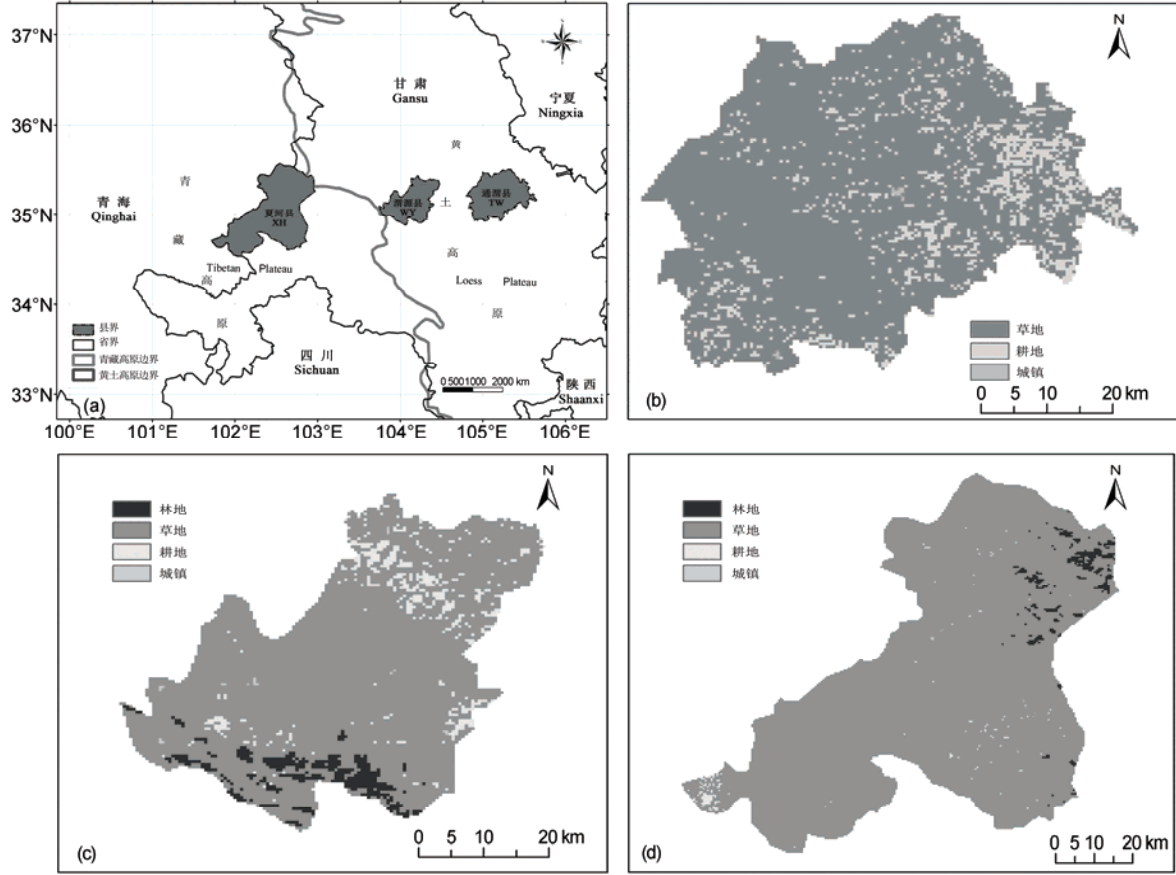


图1 研究区地理位置与土地利用类型。(a) 样带图, (b) 通渭县(TW), (c) 渭源县(WY), (d) 夏河县(XH)

Figure 1 Location and land use of research sites. (a) Transect, (b) Tongwei County (TW), (c) Weiyuan County (WY), (d) Xiahe County (XH)

$$FTC = \sum_{i=1}^n TC_i = \sum_{j=1}^n I_j \times P_j,$$

TC_i 表示农户第*i*中生产经营活动的经济投入; n 表示农户各种生产经营活动; I_j 表示农户的第*j*种生产经营活动的要素投入量, P_j 表示农户第*i*种要素投入价格。作物系统农户生产要素总投入包括自有要素和外来要素, 自有要素投入包括劳动力、土地、畜力和有机肥等, 外来要素包括种子、农药、地膜和化肥等, 作物产量包括籽实和秸秆的产量。各种家畜均换算成羊单位(sheep unit), 1头牛=5个羊单位, 1头猪=1.5个羊单位。家畜生产具有一定周期性, 根据调查获得的的家畜周转数据, 将家畜幼畜购入价格分摊到每年总投入中。农户综合生产系统中, 家畜厩肥、畜力是作物生产的投入, 作物秸秆和部分籽实用于家畜生产, 在系统内部两个子系统之间流动, 相应的农业资本没有出入系统, 分析时不纳入综合投入与产出。

(2) 农户生产总产出(farmer total output)

$$FTO = \sum_{i=1}^n P_i \times TQ_i,$$

TQ_i 表示农户第*i*种生产活动的产出量, P_i 表示第*i*种生产活动产品的价格。作物生产产出包括籽实、秸秆, 家畜产品包括乳制品、肉制品和皮毛, 农户综合生产系统的产出包括作物和家畜, 而在系统内部流动的要素不计入综合生产系统。

(3) 经济效益= $FTO-FTC$; 投入回报率= FTO/FTC ; 养分产出率=经济产量/养分(化肥)投入量, 反映了单位养分投入的作物生产力或家畜生产力, 给出了养分物质的利用效率及其施用的合理性。

农户个体基于自身投产水平进行农业生产, 满足自身消费需求和获取最高经济效益, 农户之间相互影响最终决定整个区域的农业格局^[28], 建立农户占比与其所对应的经济投产水平的关系模型, 有利于探索现有农业资源条件下, 农户对投产水平的定量相应, 以及该区域农业系统的最优农户占比。农户

表 1 样带的自然与社会状况

Table 1 The natural and social situations of three sites

	项目	通渭县	渭源县	夏河县
自然状况	海拔(m)	1970.50	2311.60	2930.20
	年均降水量(mm)	380.00	500.00	530.00
	年均温(℃)	7.70	5.70	2.60
	≥0℃年积温(℃)	2900.00	2679.00	1810.00
	无霜期(d)	160.00	135.00	56.00
	第一性生产力(gC/m ²)	2.56	2.57	2.57
人口	总人口(10 ⁴)	45.73	34.71	8.05
	农业人口(10 ⁴)	42.37	32.61	6.53
	人口密度(人/km ²)	148.00	170.00	14.00
	农民人均纯收入(千元)	2.12	2.02	2.10
土地	耕地(10 ³ ha)	115.33	53.33	11.33
	人均耕地面积(ha)	0.25	0.15	0.14
	草原面积(10 ³ ha)	60.67	54.27	502.67
	人均草原面积(ha)	0.13	0.16	6.24
种植结构	粮食作物(10 ³ ha)	92.82	34.28	4.57
	粮食作物占比(%)	73.88	68.92	50.00
	经济作物(10 ³ ha)	18.56	2.54	2.60
	经济作物占比(%)	14.77	5.11	28.45
	饲草作物(10 ³ ha)	14.25	12.92	1.97
	饲草作物占比(%)	11.34	25.98	21.55
养殖结构	牲畜存栏(10 ⁴ 只)	58.40	26.40	86.85
	人均牲畜存栏数(只)	1.28	0.76	10.79
	羊出栏数(10 ⁴ 只)	6.84	6.23	56.89
	人均羊出栏数(只)	0.15	0.18	7.07
	牛出栏(10 ⁴ 头)	0.56	0.55	2.64
	人均牛出栏数(头)	0.01	0.02	0.33
	猪出栏数(10 ⁴ 头)	18.50	12.05	0.89
	人均猪出栏数(头)	0.40	0.35	0.11

占比=样本农户数/总样本量,即现有生态资源条件下,农户追求经济效益最大化时,累计从事该项农业生产的农户占所在区域农户的比例.

1.2.3 统计分析

每一个农牧户为一个样本,每个村为一组,每个县10个重复,取平均值.采用SPSS 20.0对3个县农户生产系统经济投入和产出的差异性进行显著性分析,Microsoft Excel 2010作图.

利用SPSS 20.0对农户占比随农户生产系统经济投入、产出的变化进行曲线估计,其中,Logistic模型 R^2 最大、 F 值最高,显著性最高($P=0.000$). Logistic模

型^[29]
$$Y = \frac{K}{1 + be^{-ax}}$$
, K 表示农户占比阈值,随着农户生

产系统投入、产出增加,所有农户从事农业生产,农户累计不再增加($K=100\%$),达到饱和状态,即控制农户生产行为以调控农户占比手段失灵; b 为参数,修正统计计算农户占比对于农业生产投入与产出过程中的误差; a 表示农户占比对于农户生产系统的经济投入和产出的响应速率,即投入、产出变化一个单位,与该经济特征相对应的农户所占比例的变化,反映农户的生产经营活动追求最高经济效益,而由于市场的滞后性和资源有限性,农户占比对于农业生

产系统生产的响应速率不同,调控农户占比的效果不同.农户占比有3个变化阶段:缓慢增长阶段,快速增长阶段,饱和阶段.两个相邻的阶段之间对应着投入或产出变化的阈值、农户占比阈值.农户占比增长速度存在拐点, $Y=K/2$, $X=\frac{\ln b}{a}$ 表明农户占比对生产系统经济投入或产出变化响应最敏感;拐点之前,响应速率逐渐加快,之后逐渐变慢.每个阈值点都是农户占比增长过程中的敏感点,是调控农户占比以实现农业生产与过渡带生态效益的耦合关键时期,也是理解农业系统投入、产出差异,解决公共资源非排他性导致消费“搭便车”的困境、实现整个地区农户生产系统的安全与稳定的重要依据.

2 作物生产系统

2.1 作物投入

同一地区不同作物和不同地区同一作物生产物资投入量不同,农户作物生产总投入量自东向西递减(表2).样带自东向西,海拔递增,热量递减,农户作物生产经营活动减少,作物生产总投入显著降低($P=0.000$),其中各农作物总投入量不同,具体表现为冬小麦>玉米>马铃薯>苜蓿,农作物生产要素中,家庭劳动力和土地资源总投入最大,通渭>渭源>夏河($P<0.01$);3个地区系统外来物资,化肥投入量最大(表2).

对耕地面积和农户投入进行拟合分析,农户投入随耕地面积增加而上升,增速为通渭>夏河>渭源($P<0.05$)(图2(a)). Logistic模型中,随着投入的增加,农户占比呈现出缓慢-加速-缓慢3个增加趋势.其中,夏河的农户占比增长速度最快,依次是渭源、通渭,原因在于夏河户均耕地少,作物系统中农户对于作物投入非常敏感,调整种植规模更为迅速.农户占比增长速度到达拐点处时(农户占比为50%),农户作物生产投入自东向西递减,分别为10.84、4.24和3.96千元/户,即农户对农业种植投入意愿递减;农户占比增长到达饱和阶段阈值点处,农户占比和作物投入自东向西递减,通渭农户占比为96.55%,比渭源和夏河多2.07%和3.8%,此时作物投入为19.31千元/户,比渭源和夏河每户多12.84和17.32千元(表3).

2.2 作物产出

通渭-渭源-夏河样带,随着作物投入量降低,农

户作物生产总产出自东向西降低($P<0.05$),其中,马铃薯>冬小麦>玉米>苜蓿($P<0.01$).马铃薯化肥产出率最大,通渭比渭源高49.75%($P<0.01$)(表2).

耕地面积与产出正相关,夏河作物产出随着耕地面积增长速度低于通渭和渭源($P<0.01$),通渭和渭源无显著性差异($P=0.08$)(图2(b)). Logistics模型拟合结果显示,样带的农户占比相对于农户作物产出增长速度不同(通渭<渭源<夏河),农户占比相同时,农户作物产出呈现降低趋势,其中,农户占比增长到50%,作物生产的产出呈现递减趋势,即减少农户系统作物产出,实现农户占比调控,夏河效果更好;农户占比由快速增长阶段向饱和区过渡时,样带农户占比,通渭(96.40%)>渭源(91.80%)>夏河(85.86%),其对应的户均作物产出分别为42.27、22.01和1.64千元(表3).

2.3 经济效益

通渭农户耕地面积多,投入量大,农户作物生产总收益大于渭源和夏河($P<0.01$),其中,经济作物和饲草作物收益大于粮食作物(表2).农户占比增长拐点处,经济效益自东向西递减,通渭(13.67千元/户)>渭源(12.65千元/户)>夏河(-2.68千元/户);农户占比由快速增长阶段向饱和阶段过渡时,经济效益从黄土高原向青藏高原递减,通渭(22.96千元/户)>渭源(12.65千元/户)>夏河(-0.35千元/户)(表3).

3 家畜生产系统

3.1 家畜投入

通渭、渭源和夏河农户的家畜养殖规模不同,家畜养殖总投入量不同,渭源>通渭>夏河($P<0.05$).牛、羊养殖中,通渭和渭源每头作物秸秆和苜蓿投入量占其家畜总投入的70%以上,夏河依靠天然草地规模养殖,投入集中在精料和防疫;猪的养殖精料投入,渭源大于通渭($P<0.05$),夏河海拔高,气温低,无养殖(表4).

家畜生产投入水平影响农户养殖决策($P<0.001$),投入增加,产出增多,养殖家畜的农户比例上升(表5).样带农户养殖家畜,随着投入增多,农户占比增长速度中间低、两头高(夏河>通渭>渭源),其中,农户占比增长到50%时,渭源投入分别比通渭和渭源高3.74和6.67千元;缓慢增长阶段和饱和增长阶段,

表 2 主要作物生产要素分析(单位: 元/户)^{a)}
Table 2 The main factors of crop production in Tongwei-Weiyuan-Xiahe transect (unit: ¥/farm)^{a)}

作物点	种子	P肥	N肥	农药	家庭劳动力	机械	土地成本	总投入	总产出	农户收益	投入回报率 (%)	化肥产出率 (%)
通渭	307.88 ±20.70b**	92.91 ±5.94a**	73.04 ±4.50b	73.05 ±4.50a**	2257.81 ±129.38a**	820.34 ±40.81a**	1024.56 ±50.97a**	4649.61 ±167.00a**	4057.92 ±254.18b**	-591.70 ±134.31c	0.87 ±0.03b	5.32 ±0.28b
冬小麦	131.00 ±62.4b	22.2 ±24.5b	152.4 ±102.3b**	28.4 ±12.5b	732.41 ±30.49a	284.67 ±18.86a	355.53 ±23.56a	1239.03 ±82.05a	1706.70 ±115.99b	467.67 ±42.88b**	1.37 ±0.03c**	6.02 ±0.31b
夏河	56.84 ±4.93	14.18 ±1.23	37.46 ±3.26	12.33 ±1.12	596.27 ±50.28	52.00 ±0.4.23	-	769.09 ±64.42	477.60 ±44.00	-291.49 ±33.70	0.63 ±0.02	9.48 ±0.45*
通渭	86.8 ±38.05c**	32.14 ±2.77b**	170.99 ±14.02a**	31.54 ±2.57b**	615.29 ±47.54b**	144.33 ±11.53c**	308.88 ±24.67c**	1042.84 ±80.45a**	2633.14 ±222.19c**	1211.58 ±117.98b**	1.83 ±0.04b**	8.17 ±0.20b**
玉米	46.0 ±30.4b	15.8 ±10.7b	95.8 ±68.9b	13.6 ±9.1a	293.81 ±30.49b	67.80 ±6.73c	145.11 ±14.40b	711.60 ±71.11b	1157.31 ±123.76b	445.71 ±57.04b	1.62 ±0.03c	5.77 ±0.14b
通渭	924.00 ±92.70a**	31.31 ±2.83b**	61.90 ±6.40b**	20.71 ±1.93a**	425.17 ±35.03b**	238.93 ±19.29b**	637.50 ±51.47b**	1550.10 ±778.11a**	7978.50 ±653.78a ^{ns}	5638.96 ±466.66a ^{ns}	3.47 ±0.09b	59.85 ±2.88a
马铃薯	602.0 ±447.1a	12.5 ±14.6b	27.0 ±27.4b	8.1 ±7.0b	212.69 ±31.81b	118.09 ±16.01b	315.09 ±42.72a	829.96 ±115.72b	5175.00 ±739.20a	4345.04 ±627.07a	6.26 ±0.11b**	100.00 ±4.35a**
通渭	-	-	-	16.46 ±1.41a ^{ns}	146.83 ±20.30c ^{ns}	-	-	163.28 ±20.65a ^{ns}	2081.00 ±169.73c**	1917.71 ±158.59b**	18.96 ±2.50a**	-
苜蓿	-	-	-	10.5 ±5.1a	101.54 ±12.37c	-	-	118.00 ±12.32c	1350.20 ±110.51b	1232.20 ±105.04b	14.52 ±2.00a	-

a) 字母表示同一地点不同作物之间的显著性; *代表同一作物不同地点的显著差异 (**, 相关极显著 $P<0.01$; *, 相关显著 $P<0.05$; ns, 相关不显著 $P>0.05$)

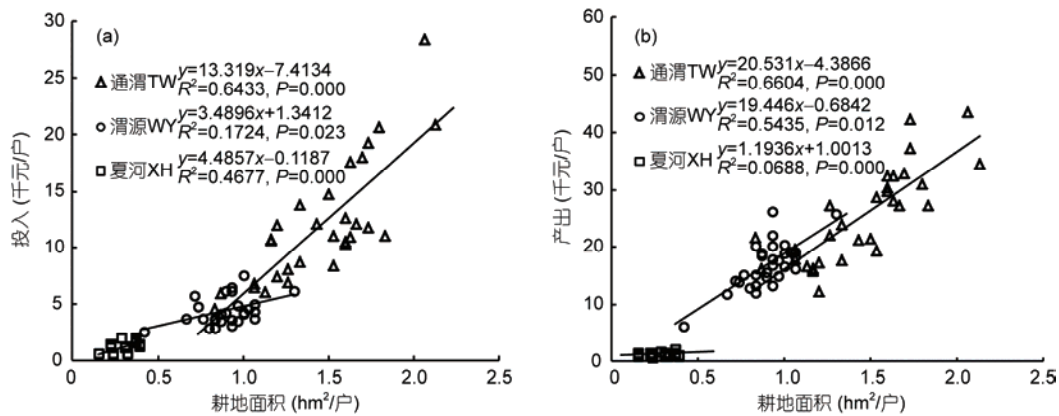


图2 作物投入和产出与耕地面积的关系。(a) 投入, (b) 产出

Figure 2 The relationship between input and output of crop production and land area. (a) Input, (b) output

表3 作物系统农户占比与农户生产活动的Logistic模型拟合

Table 3 Logistic regression equation of farmer crop production (X) and farm ratio(Y)

农户生产活动	地点	Logistic方程参数				阈值I		阈值II		阈值III	
		a	b	R ²	P	X(千元)	Y(%)	X(千元)	Y(%)	X(千元)	Y(%)
经济投入	通渭	0.39	71.50	0.97	<0.01	6.00	12.90	19.31	96.55	10.84	50.00
	渭源	1.28	224.02	0.97	<0.01	2.84	14.23	6.47	94.48	4.24	50.00
	夏河	2.72	17.63	0.91	<0.01	0.58	21.59	1.99	92.75	3.96	50.00
经济产出	通渭	0.19	95.47	0.98	<0.01	15.84	9.21	42.27	96.40	24.51	50.00
	渭源	0.43	1550.76	0.99	<0.01	11.73	10.49	22.01	91.80	16.97	50.00
	夏河	5.23	860.80	0.97	<0.01	0.91	11.91	1.64	85.86	1.28	50.00

表4 家畜生产分析^{a)}

Table 4 The analysis of livestock production system in Tongwei-Weiyuan-Xiahe transect^{a)}

家畜	地点	畜群结构		家畜生产要素投入(元/头)						家畜生产平衡			
		数量(羊单位/户)	比例(%)	幼畜	冬小麦秸秆	玉米秸秆	苜蓿	精料	防疫	投入(元/户)	产出(元/户)	经济效益(元/户)	投入回报率(%)
牛	通渭	6.28 ±0.33b	63	—	327.27 ±12.56a	84.00 ±4.60b	960.00 ±86.30a	188.70 ±20.49a	—	2289.26 ±168.48a	2146.67 ±156.75b	-142.67 ±129.80b	1.0 ±0.07b
	渭源	8.98 ±0.40b	48	—	210.00 ±8.22b	140.00 ±3.97a	600.00 ±22.47b	189.00 ±20.48a	—	2318.27 ±99.92a	2930.67 ±200.36b	612.40 ±150.10b	1.26 ±0.07b
	夏河	178.03 ±23.01a	83	—	—	—	—	19.60 ±1.40b	9.33 ±0.67	1274.33 ±204.17b	34061.33 ±4161.31a	32787.00 ±3974.70a	35.00 ±2.80a
猪	通渭	1.20 ±0.10b	17.6	150	—	—	218.00 ±33.85a	962.50 ±57.42b	—	1413.50 ±135.14b	1416.5 ±119.05b	2.95 ±63.62a	1.20 ±0.20a
	渭源	2.65 ±0.22a	14	150	—	—	118.00 ±8.38a	1158.50 ±24.91a	—	2250.00 ±187.99a	2389.6 ±246.27a	139.6 ±87.48a	1.05 ±0.03a
	夏河	—	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
羊	通渭	1.93 ±0.71b	19.4	—	84.55 ±22.52a	15.17 ±2.94a	69.00 ±13.25b	64.61 ±27.90a	—	599.20 ±164.70b	1324.40 ±472.75b	725.19 ±363.711b	1.76 ±0.43a
	渭源	7.01 ±1.04b	38	—	23.33 ±2.94a	9.33 ±1.63a	160.00 ±25.13a	84.00 ±13.28a	—	3396.81 ±507.74a	5236.60 ±765.69a	1839.80 ±369.98a	1.08 ±0.16a
	夏河	36.2 ±13.67a	17	—	—	—	—	4.20 ±0.00b	2.00 ±0.00	248.31 ±93.56b	1281.60 ±482.91b	1033.29 ±389.34ab	1.90 ±0.46a

a) 字母表示不同地点显著性

由于初始阶段存在进入成本增速慢和后期资源的稀缺性,农户占比随家畜投入加大的增速变慢.夏河地

区农户,初始阶段投入只需适龄劳动力和幼畜,就可进行家畜养殖生产活动,户均投入水平仅为0.14元,

表5 家畜系统农户占比与经济生产行为的Logistic回归方程

Table 5 The Logistic regression equation of farmer livestock production (X) and farm ratio(Y)

农户生产活动	地点	Logistic方程参数				阈值I		阈值II		阈值III	
		a	b	R ²	P	X(千元)	Y(%)	X(千元)	Y(%)	X(千元)	Y(%)
经济投入	通渭	1.01	68.59	0.98	<0.01	1.72	15.11	8.12	98.12	4.19	50.00
	渭源	0.56	84.14	0.98	<0.01	3.89	7.54	12.16	91.38	7.93	50.00
	夏河	1.47	6.32	0.97	<0.01	0.14	16.32	4.28	95.60	1.26	50.00
经济产出	通渭	1.01	75.76	0.99	<0.01	2.73	17.27	6.76	92.51	4.28	50.00
	渭源	0.95	464.75	0.99	<0.01	4.16	9.99	9.24	93.23	6.48	50.00
	夏河	0.09	14.89	0.99	<0.01	2.66	7.77	67.84	95.60	31.77	50.00

农户占比为16.32%时,农户占比增长速度加快,直到95.60%农户养殖家畜,进入饱和增长阶段。

3.2 家畜产出

通渭-渭源-夏河样带,农户家畜养殖数量自东向西递增,夏河显著高于通渭和渭源($P<0.05$),其中,牛的养殖数量远多于其他家畜(表4)。养殖规模递增,产出递增,夏河县户均养殖牛的产出最高,为34.06千元/户,分别高于渭源和通渭11.62和15.87倍($P<0.05$),渭源农户羊和猪的产出值最高。

样带内部,养殖规模递增,同一农户占比,家畜产出水平递增。缓慢增长阶段,家畜投入少,农户占比增长缓慢;饱和阶段,产投比增长缓慢,农户占比增长速度趋缓;通渭农户占比增长到17.27%时,进入快速增长阶段,大于渭源(9.99%)和通渭(7.77%),原因在于养殖规模大,产出多,农户占比增长速度快;农户占比为50%时,产出水平自东向西递减,通渭、渭源和夏河分别为4.28、6.68和31.77千元/户;通渭农户占比为92.51%时,进入饱和期,但分别比渭源和夏河少0.72%和3.09%(表5)。

3.3 经济效益

家畜养殖投入、养殖规模与产出正相关,夏河家畜养殖经济效益、投入回报率最高,通渭和渭源作物秸秆补饲家畜,但秸秆补饲与家畜生产的关系不显著($P<0.05$);食草动物牛的养殖,夏河经济效益和投

入回报率大于通渭和渭源($P<0.05$)(表4)。农户占比增长拐点处,夏河经济效益最高,达30.51千元/户,依次是渭源和通渭。

4 综合生产系统

4.1 投入

夏河投入最低,依次通渭、渭源。通渭和渭源,农户经济生产以家庭劳动力为主,养殖结构相似,农户综合系统投入水平无显著差异($P>0.05$);夏河地区依靠天然草地,放牧为主,综合系统经济投入分别低于通渭和渭源5.01和6.15千元/户($P<0.01$)(表6)。

农户占比与综合系统投入正相关($P=0.000$);农户占比相同时,综合系统经济投入,夏河<通渭<渭源(表6)。农户综合生产活动增加,样带内从事农业生产的农户数从少到多扩展明显;3个地区同时进入快速增长阶段,农户占比不同,夏河(19.65%)>通渭(13.01%)>渭源(10.11%),原因在于夏河农户利用天然草地,通渭农户作物秸秆补饲比例高,农户进行农业生产的成本低,单位投入变化很小都能引起农户数的较大增加;农户占比增长拐点处,通渭、渭源、夏河综合投入水平分别为4.85、7.50和2.42千元/户。

4.2 产出

综合系统产出自东向西先减少、后增加,其中,夏河最高($P<0.05$),通渭和渭源农户生产系统结构相

表6 样带综合生产系统分析^{a)}

Table 6 The analysis of the integrated production system in Tongwei-Weiyuan-Xiahe transect^{a)}

地点	总投入(千元/户)	总产出(千元/户)	投入回报率(%)	经济效益(千元/户)
通渭	6.54±0.93a	25.97±1.56b	5.41±0.52b	19.42±1.46b
渭源	7.68±0.49a	20.81±0.81b	3.14±0.30b	13.12±1.00b
夏河	1.53±0.23b	35.34±4.21a	29.48±2.78a	33.81±4.01a

a) 字母表示不同地点家畜养殖结构显著性;综合农业系统总投入不包括作物系统流入家畜系统的部分

似, 种植为主, 无显著性差异(表6). 农户占比增长速度不同(夏河<通渭<渭源), 缓慢增长阶段, 夏河农户养殖数少, 通渭作物系统补饲作用不明显, 同一农户占比, 综合产出水平低; 快速增长阶段, 由于作物对家畜补饲功能加强, 家畜养殖的规模效益增加, 夏河>通渭>渭源, 此时渭源控制农户生产活动的效果低于通渭和夏河; 拐点处, 综合产出水平, 夏河>通渭>渭源, 夏河产出水平为32.99千元/户, 拐点后, 农户占比增长速度开始放缓, 由于边际利润大于边际成本, 农户依然选择从事养殖, 一直到农户占比达到95.60%(表7).

4.3 经济效益

通渭、渭源和夏河县, 综合系统经济效益和投入回报率水平不同, 夏河高于通渭、渭源($P<0.01$), 原因在于夏河放牧业发达, 农户生产主要依靠天然草地, 投入少、产出多(表6). 农户占比拐点处, 经济效益两头高, 中间低, 通渭户均为30.52千元, 高于渭源14.21千元, 低于夏河34.18千元.

5 讨论

5.1 农户经营活动与农业系统演替

Logistics模型是非线性拟合重要手段之一, 被广泛用于描述和预测动植物的生长发育和社会经济等领域^[30~32]. 农户既是生产者, 也是消费者, 从事农业劳动是其主要经济活动. 本研究基于Logistics模型, 拟合分析过渡带农户占比和农户生产投入、产出关系, 结果显示, 黄土高原向青藏高原过渡时, 农户占比随农户生产投入、产出增长而增长符合“S”型, 且增长速度不同, 其中通渭地区农户占比对作物生产投入产出响应速率小, 夏河地区对家畜和综合生产

投入产出响应速率小. 当前研究显示农户作为理性人, 通过调整种植和养殖结构^[33~35], 适应气候、土地等自然环境条件^[35~39]和生产要素、农业制度等社会条件差异^[40~43], 实现经济效益最大化. 通渭地区海拔较低, 人口密度高, 农业生产对耕地依赖性强, 作物生产投入水平高、产出大, 农业系统长期以种植业为主^[44], 夏河地区地处青藏高原边缘, 海拔较高, 人口密度低, 植被为高寒草甸, 是我国优质天然草场放牧区, 种植成本增加, 家畜生产更具有经济效益^[45~47], 从而推动农业系统沿海拔梯度由种植向放牧过渡.

5.2 作物生产与家畜生产的系统耦合对于农业系统生态经济效益的作用

作物-家畜系统的核心组分是作物和家畜, 这两个生产系统耦合, 可显著提高农业系统的经济效益和生态效益^[1,48~50]. 夏河地区家畜养殖依靠天然草地, 作物种植少, 通渭和渭源农户种养结合密切, 家畜生产过程中, 作物秸秆补饲, 占其生产投入的70%以上, 极大降低了农户经济成本, 通渭秸秆利用率高于渭源, 故通渭综合系统经济投入小于渭源. 总体而言, 过渡带作物系统和家畜系统生产耦合途径单一^[51], 农户作为施肥主体, 增产依靠化肥投入^[52], 夏河地区化肥产出率最高, 增加化肥投入有利可图, 而通渭地区和渭源地区, 长期以种植为主, 化肥产出率低, 两地化肥产出率为7%左右, 家畜系统有机粪肥未进入作物生产, 限制了作物生产和家畜生产的有效耦合. 黄土高原向青藏高原过渡生态带环境复杂, 而草地资源和生态环境是公共产品, 具有非排他性, 农户追求自身效益容易产生“搭便车”现象, 故减少化肥投入^[52]、加强植物生产层和动物生产层耦合^[53]、寻求农业生态系统的自我调节零界点^[54]和优化农户占比等措施, 对实现生态效益和经济效益双重目标

表7 综合系统农户占比与经济生产行为的Logistic回归方程

Table 7 The Logistic regression equation of the integrated production system (X) and farm ratio(Y)

农户生产活动	地点	Logistic方程参数				阈值I		阈值II		阈值III	
		a	b	R ²	P	X(千元)	Y(%)	X(千元)	Y(%)	X(千元)	Y(%)
经济投入	通渭	0.68	26.65	0.95	<0.01	2.04	13.01	9.46	95.76	4.85	50.00
	渭源	0.60	88.09	0.99	<0.01	3.84	10.11	11.03	97.98	7.50	50.00
	夏河	1.30	23.15	0.98	<0.01	0.14	16.32	4.78	95.60	2.42	50.00
经济产出	通渭	0.18	80.45	0.98	<0.01	11.62	8.70	39.98	93.20	25.07	50.00
	渭源	0.37	2192.26	0.99	<0.01	14.40	9.03	27.35	92.60	20.57	50.00
	夏河	0.09	16.51	0.99	<0.01	2.66	7.77	69.48	95.60	32.99	50.00

尤为重要。

5.3 农业系统演替对市场的适应性

市场是农户生产的“指挥棒”，不同的农业生产方式推动农业系统演替的多向性。农业系统服务的市场是其经济子系统的驱动力^[55,56]，每一类农业系统所处气候带、农地规模和经济环境各异^[57-59]，农业资本结构不同^[60]，农户生产行为有差异^[61,62]，影响农业系统演替及其对市场服务功能的实现。黄土高原向青藏高原过渡时，通渭和渭源靠近研究区东部农业种植区，农户经营方式为种植为主、种养结合，多样性高，应对市场的多变性，马铃薯为当地最重要的现金收入来源，拓宽马铃薯销售渠道对农户增收具有重要意义。夏河农户利用天然草地规模化放牧，生产成本低，且家畜产品质量高、市场大。过渡带农户作物生产，粮食作物经济效益最低，但种植面积最

多，投入最高，原因在于经济作物虽然效益高，但对市场要求严格，青藏高原-黄土高原过渡带地形复杂、市场信息相对滞后，种植粮食作物经济安全性高，而且可自给自足，保障农户基本生活需求。

6 结论

黄土高原向青藏高原过渡，沿海拔、自然资源和农业人口数等因素梯度变化，农户生产经营以种植为主向放牧为主变化，劳动力投入是农户生产经营最大部分，提高市场对农产品的服务功能、加强作物系统对家畜生产的支撑作用、优化对天然草地的依赖性利用方式，可降低农户综合生产的经济投入，实现农业系统经济效益最大化；为缓解农户追求经济效益最大化而忽视资源的非排他性尤其是草地资源的公共性，实现该区域农户生产系统最优化，调控农户经营规模、特别是草原牧区，效果更为显著。

参考文献

- Hou F J, Nan Z B, Xie Y Z, et al. Integrated crop-livestock production systems in China. *Rangeland J*, 2008, 30: 221-231
- Ren J Z. Grazing, the basic form of grassland ecosystem and its transformation (in Chinese). *J Nat Resour*, 2012, 27: 1259-1275[任继周. 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*, 2012, 27: 1259-1275]
- Edwards C A, Grove T L, Harwood R R, et al. The role of agroecology and integrated farming systems in agricultural sustainability. *Agric Ecosyst Environ*, 1993, 46: 99-121
- Hou F J. Adaptation of mixed crop livestock systems in Asia. In: Fuhrer J, Gregory P, eds. *Climate Change Impact and Adaptation in Agricultural Systems*. London: CABI, 2014. 153-166
- Zimmermann A, Heckeil T, PérezDomínguez I, et al. Modelling farm structural change for integrated ex ante assessment: Review of methods and determinants. *Environ Sci Policy*, 2009, 12: 601-618
- Ren J Z, Hu Z Z, Zhang Z H, et al. A preliminary discussion on grassland ecological-economic regions in China (in Chinese). *Acta Pratacult Sin*, 1999, 8: 12-22 [任继周, 胡自治, 张自和, 等. 中国草业生态经济区初探. *草业学报*, 1999, 8: 12-22]
- Lemaire G, Franzluebbers A, Carvalho P C D F, et al. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agric Ecosyst Environ*, 2014, 190: 4-8
- Ren J Z, He D H, Wang N, et al. Models of coupling agro-grassland systems in desert-oasis region (in Chinese). *Acta Pratacult Sin*, 1995, 4: 11-19 [任继周, 贺达汉, 王宁, 等. 荒漠-绿洲草地农业系统的耦合与模型. *草业学报*, 1995, 4: 11-19]
- Wang E, Yu Q, Wu D, et al. Climate, agricultural production and hydrological balance in the North China Plain. *Intl J Climatol*, 2008, 28: 1959-1970
- Hansson H, Ferguson R, Olofsson C. Psychological constructs underlying farmers decisions to diversify or specialise their businesses an application of theory of planned behaviour. *J Agric Econom*, 2012, 63: 465-482
- Landi C, Stefani G, Rocchi B, et al. Regional differentiation and farm exit: a hierarchical model for tuscany. *J Agricult Econom*, 2015, 67: 208-230
- Li Y, Allen V G, Hou F J, et al. Steers grazing a rye cover crop influence growth of rye and no-till cotton. *Agron J*, 2013, 105: 1571-1580
- Sanderson T, Hertzler G, Capon T, et al. A real options analysis of Australian wheat production under climate change. *Aus J Agric Resour Econom*, 2016, 60: 79-96
- Greiner R. Factors influencing farmers' participation in contractual biodiversity conservation: A choice experiment with northern Australian pastoralists. *Aus J Agric Resour Econom*, 2015, 60: 1-21
- Havlík P, Schmid E. Crop productivity and the global livestock sector: Implications for land use change and greenhouse gas emissions. *Am J Agric Econom*, 2013, 95: 442-448
- Mulik K. Economic Impacts of Diversified Cropping Systems. *Agricultural and Applied Economics Association & Western Agricultural Economics Association*, 2015, July 26-28, San Francisco, California

- 17 Diab A M. Learning impact of farmer field schools of integrated crop-livestock systems in Sinai Peninsula, Egypt. *Annals Agric Sci*, 2015, 60: 289–296
- 18 Magnan N, Larson D M, Taylor J E. Stuck on stubble? The non-market value of agricultural byproducts for diversified farmers in Morocco. *Am J Agric Econom*, 2012, 95: 207–207
- 19 Li Y C, Jia Z, Song N P. Structure evaluation of different household agro-ecosystems in farming-pastoral transitional area (in Chinese). *J Sichuan Agric Univ*, 2008, 26: 76–80 [李艳春, 贾卓, 宋乃平. 农牧交错带不同类型农牧户农业生态系统结构评价. 四川农业大学学报, 2008, 26: 76–80]
- 20 Zhu L K, Meng J J, Liu Y, et al. Livelihoods of farming and grazing households and land use in farming-pastoral transitional zone: A case study of Uxin Banner in Ordos, Inner-Mongolia (in Chinese). *Acta Sci Nat Univ Peking*, 2011, 47: 133–140 [朱利凯, 蒙古军, 刘洋, 等. 农牧交错区农牧户生计与土地利用——以内蒙古鄂尔多斯市乌审旗为例. 北京大学学报(自然科学版), 2011, 47: 133–140]
- 21 Guan F C, Liang Z W. Breeding effects of different batches goose in the coupled crop-livestock system (in Chinese). *Chin J Eco-Agric*, 2009, 17: 537–540 [关法春, 梁正伟. 农牧耦合生产方式下不同批次肉鹅养殖效应研究. 中国生态农业学报, 2009, 17: 537–540]
- 22 Gao X Y, Hou F J. Preliminary discussion of agricultural structure and economy from Qinghai Tibet to Loess Plateau: A case study of the transitional region of Xiahe-Weiyuan-Tongwei County (in Chinese). *Pratacult Sci*, 2011, 28: 1556–1560 [高小叶, 侯扶江. 浅析青藏高原向黄土高原过渡的农业系统结构和经济特征——以夏河-渭源-通渭样带为例. 草业科学, 2011, 28: 1556–156]
- 23 Liu Y, Yan C Y, Matthew C, et al. Key sources and seasonal dynamics of greenhouse gas fluxes from yak grazing systems on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Sci Rep*, 2017, 7: 40857
- 24 Gao P, Wang Z F, Chang S H, et al. Livestock production features and development strategy in main ecological regions of northwest of China (in Chinese). *Pratacult Sci*, 2014, 31: 2316–2322 [高鹏, 王召锋, 常生华, 等. 西北主要生态区家畜生产特征及发展对策分析. 草业科学, 2014, 31: 2316–2322]
- 25 Sun Y, Angerer J P, Hou F J. Effects of grazing systems on herbage mass and live-weight gain of Tibetan sheep in Eastern Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Rangeland J*, 2015, 37: 181–190
- 26 Ren J Z, Hu Z Z, Zhao J. A grassland classification system and its application in China. *Rangeland J*, 2008, 30: 199–209
- 27 Zeng Q. Analysis and research on farm household's input and output (in Chinese). *Issues Agricult Economy*, 1991, 4: 28–32 [曾启. 农户农业投入产出的分析与研究. 农业经济问题, 1991, 4: 28–32]
- 28 Liu Y J, Li X L, He F. Animal unit conversion method based on feeding standard (in Chinese). *Acta Agrest Sin*, 2009, 17: 500–504 [刘玉杰, 李向林, 何峰. 基于饲养标准的家畜单位折算方法. 草地学报, 2009, 17: 500–504]
- 29 Duan W, Ma B, Qing Q, et al. Farmers' ecological protection behavior research based on livelihood capital (in Chinese). *Ecol Economy*, 2016, 32: 180–185 [段伟, 马奔, 秦青, 等. 基于生计资本的农户生态保护行为研究. 生态经济, 2016, 32: 180–185]
- 30 Song B, Xuan Y R, Lu F Y, et al. The analysis of Logistic equation (in Chinese). *Chin J Ecol*, 1986, 5: 57–62 [宋波, 玄玉仁, 卢凤勇, 等. 浅评逻辑斯蒂方程. 生态学杂志, 1986, 5: 57–62]
- 31 Qian Y Q, Sun Z Y, Han L, et al. Simulation of clonal growth curve based on nonlinear models of logistic and gompertz for buffalograss (*Buchloedactyloides* (Nutt.) EngelmTexoka) (in Chinese). *Sci Agric Sin*, 2011, 44: 2252–2259 [钱永强, 孙振元, 韩蕾, 等. 基于 Logistic 与 Gompertz 非线性模型的野牛草克隆生长模拟与分析. 中国农业科学, 2011, 44: 2252–2259]
- 32 Deng J, Brown J H. Models and tests of optimal density and maximal yield for crop plants. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2012, 109: 15823–15828
- 33 Wang Z F, Guan J, Su Z X, et al. Prediction of China's population increase based on Logistics model (in Chinese). *J Bohai Univ (Nat Sci Ed)*, 2010, 31: 326–330 [王志福, 管杰, 苏再兴, 等. 基于 Logistics 模型的中国人口增长预测. 渤海大学学报(自然科学版), 2010, 31: 326–330]
- 34 Hao H G, Li X B, Tan M H, et al. An analysis on crops choice and its driving factors in the agro-pastoral ecotone in northern China: A case of household survey in Taibus County Inner Mongolia (in Chinese). *J Nat Resour*, 2011, 26: 1107–1118 [郝海广, 李秀彬, 谈明洪, 等. 农牧交错区农户作物选择机制研究——以内蒙古太仆寺旗为例. 自然资源学报, 2011, 26: 1107–1118]
- 35 Luo H X. An empirical study on the impact of China's agricultural capital deepening on agricultural economy (in Chinese). *Issues Agric Economy*, 2013, 34: 4–14 [罗浩轩. 中国农业资本深化对农业经济影响的实证研究. 农业经济问题, 2013, 34: 4–14]
- 36 Bai J F, Yang J R. Research on market path selection and strategy of Chinese land system reform (in Chinese). *J Northwest A & F Univ (Soc Sci Ed)*, 2016, 16: 14–20 [白佳飞, 杨继瑞. 中国土地制度改革市场化路径选择. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2016, 16: 14–20]
- 37 Wang R, Gao Q, Chen Q. Effects of climatic change on biomass and biomass allocation in *Leymus chinensis* (Poaceae) along the North-east China Transect (NECT). *J Arid Environ*, 2003, 54: 653–665
- 38 Hollister E B, Engledow A S, Hammett A J M, et al. Shifts in microbial community structure along an ecological gradient of hypersaline soils and sediments. *ISME J*, 2010, 4: 829–838
- 39 Soustani F B, Jalali S G, Sohrabi H, et al. Growth responses to irradiance regime along an ecological gradient of *Quercus castaneifolia* seedlings of different provenance. *Ecol Res*, 2013, 29: 1–11
- 40 Sun Z W, Wang J J, Guo M C, et al. Analysis of the influence factors of eco-economic behavior of farmers in Xiannangou watershed (in Chinese). *Res Soil Water Conserv*, 2015, 22: 253–258 [孙在伟, 王继军, 郭满才, 等. 县南沟流域农户生态经济行为影响要素分析.

- 水土保持研究, 2015, 22: 253–258]
- 41 Fang F Q, Zhang Y L. Analysis of changes of China's agriculture total factor productivity and its impact factors: From the 1991–2008 annual Malmquist index approach (in Chinese). *Econom Theory Business Manag*, 2010, (9): 5–12 [方福前, 张艳丽. 中国农业全要素生产率的变化及其影响因素分析——基于 1991–2008 年 Malmquist 指数方法. *经济理论与经济管理*, 2010, (9): 5–12]
 - 42 Anderson K, Raussier G, Swinnen J. Political economy of public policies: Insights from distortions to agricultural and food markets. *J Econom Literature*, 2013, 51: 423–477
 - 43 He Y M, Luo B L. Property right control, institutional behavior and economic performance: Evidence from China's agricultural economic system transition (1958–2005) (in Chinese). *Chin Rural Economy*, 2010, 10: 4–15 [何一鸣, 罗必良. 产权管制、制度行为与经济绩效——来自中国农业经济体制转轨的证据(1958–2005 年). *中国农村经济*, 2010, 10: 4–15]
 - 44 Dogliotti S, García M C, Peluffo S, et al. Co-innovation of family farm systems: A systems approach to sustainable agriculture. *Agric Syst*, 2014, 126: 76–86
 - 45 Xu L. Environmental adaptability and productivity of agroecological system in the Longdong Loess Plateau (in Chinese). Doctoral Dissertation. Lanzhou: Lanzhou University, 2015 [徐磊. 陇东黄土高原农业系统的环境适应性和生产力调控. 博士学位论文. 兰州: 兰州大学, 2015]
 - 46 Wang Y X, Pan S Y, Lu T, et al. Impact of livelihood capital on the livelihood activities of herdsman on the eastern edge of the Qinghai-Tibet Plateau (in Chinese). *Resour Sci*, 2014, 36: 2157–2165 [王彦星, 潘石玉, 卢涛, 等. 生计资本对青藏高原东缘牧民生计活动的影响及区域差异. *资源科学*, 2014, 36: 2157–2165]
 - 47 Yang T T, Ding L M, Qi X J, et al. Comparative analysis of pastoral livestock production of the households with different grassland ownership (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2016, 36: 1360–1368 [杨婷婷, 丁路明, 齐小晶, 等. 不同草地所有权下家庭牧场生产效率比较分析. *生态学报*, 2016, 36: 1360–1368]
 - 48 Reimer A, Doll J E, Basso B, et al. Moving toward sustainable farming systems: Insights from private and public sector dialogues on nitrogen management. *J Soil Water Conserv*, 2017, 72: 5A–9A
 - 49 Hou F J, Xu L. History and current situation of ecosystem health research (in Chinese). *Acta Pratacult Sin*, 2009, 18: 210–225 [侯扶江, 徐磊. 生态系统健康的研究历史与现状. *草业学报*, 2009, 18: 210–225]
 - 50 Tschirhart J. Integrated ecological-economic models. *Annu Rev Resour Econom*, 2009, 1: 381–407
 - 51 Liu X Y, Wang S M, Guo Z G. The compound management model of agricultural resources and its eco-economic coupling effects in the semi-arid area of Northwest China (in Chinese). *J Natl Resour*, 2004, 19: 624–631 [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: 624–631]
 - 52 Jiang G M, Zheng Y H, Wu G L, et al. High efficiency eco-agriculture model obtain both larger yield and economic benefit: A case study in Hongyi Organic Farm (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2017, 62: 289–297 [蒋高明, 郑延海, 吴光磊, 等. 产量与经济效益共赢的高效生态农业模式: 以弘毅生态农场为例. *科学通报*, 2017, 62: 289–297]
 - 53 Hendrickson J R, Hanson J D. Principles of integrated agricultural systems: Introduction to processes and definition. *Renew Agric Food Syst*, 2008, 23: 265–271
 - 54 Wang J J, Guo M C, Jiang Z D, et al. The construction and application of an agricultural ecological-economic system coupled process model (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2010, 30: 2371–2378 [王继军, 郭满才, 姜志德, 等. 农业生态经济系统耦合过程模型的建立及应用. *生态学报*, 2010, 30: 2371–2378]
 - 55 Cumming G S, Buerkert A, Hoffmann E M, et al. Implications of agricultural transitions and urbanization for ecosystem services. *Nature*, 2014, 515: 50–57
 - 56 Hu B C. The market analysis of China's agricultural products and policy evaluation (in Chinese). *Chin Rural Economy*, 2015, (4): 4–13 [胡冰川. 中国农产品市场分析与政策评价. *中国农村经济*, 2015, (4): 4–13]
 - 57 Gornall J, Wiltshire A. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosoph Transact Royal Soc London*, 2010, 365: 2973–2989
 - 58 Xu C, Wang H H, Shi Q H. Farmers' income and production responses to rural taxation reform in three regions in China. *J Agric Econom*, 2012, 63: 291–309
 - 59 Pindado J, Requejo I. Family business performance from a governance perspective: A review of empirical research. *Intl J Manag Rev*, 2014, 17: 279–311
 - 60 Chow G C. Capital formation and economic growth in China. *Quart J Econom*, 2015, 108: 809–842
 - 61 Yan J. Study on the behavior of different types of rural households' input in cultivated land and its efficiency (in Chinese). Doctoral Dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011 [杨俊. 不同类型农户耕地投入行为及其效率研究. 博士学位论文, 武汉: 华中农业大学, 2011]
 - 62 Hao S L, Meng F L, Ke J. Cultivated land change and farm household economic behavior response in gully region of loess hilly area (in Chinese). *Chin J Eco-Agric*, 2007, 15: 172–174 [郝仕龙, 孟凡玲, 柯俊. 黄土丘陵区耕地变化与农户经济行为响应. *中国生态农业学报*, 2007, 15: 172–174]

Summary for “黄土高原-青藏高原过渡带农户生产系统的经济效益——以通渭-渭源-夏河样带为例”

The economic benefits of integrated farming system in the transitional region from Loess Plateau to Qinghai-Tibetan Plateau—A case study of Tongwei-Weiyuan-Xiahe transect

Luxi Peng, Xiaoye Gao & Fujiang Hou^{*}

State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, Key Laboratory of Grassland Livestock Industry Innovation, Ministry of Agriculture, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 7300200, China

^{*} Corresponding author, E-mail: cyhoufj@lzu.edu.cn

The region between the Loess Plateau and the Qinghai-Tibetan Plateau is an important ecological zone in China which is located in the transition zone of continental plate from the second step terrain to the first step terrain. The local people in the area mainly depend on crops, livestock and crop and livestock integration. The crop and livestock integration is strongly interrelated to ecological characteristics of the region and the human activities. In this study we investigated the key factors for economic benefits of farming systems and social structure along a transect of the region; Tongwei (TW), Weiyuan (WY) and Xiahe (XH). The data for the study was obtained by the statistical year book of China. The key factors for input and output of different crop production systems and livestock systems were used for the study. We used Logistic regression model to examine the relationship of proportion of farmers in the population and the productivity of the faming system (based on input vs output). We found a significant correlation between proportion of farmers and the farmer productivity ($P < 0.0001$). There was a noticeable contrasting gradients in crop and livestock farmer productivity from east to west of the region. In crop production systems higher productivity was observed in east while for livestock systems higher productivity was observed in west. The threshold levels for the response speed of proportion of farmers to the farm productivity and economic benefits were different in different systems. Crop production systems: cropland area, labor force, input and output of a household decreased from east to west of the region. The inputs of labor and fertilizer accounted more than 75% of the farm investment. The economic benefits were higher from potatoes and corn than wheat. The economic benefits decreased with increasing proportion of farmers in the population up to a threshold of 50%. The economic benefits of the three study sites of the region were: TW (13.67×10^3 ¥/farm) > WY (12.65×10^3 ¥/farm) > XH (-2.68×10^3 ¥/farm). Livestock production system: The total inputs for livestock farming and the natural grassland area increased east to west of the region. The total output was intermediate in WY. The economic benefits of different livestock systems were: pig (0.14×10^3 ¥/farm), sheep (1.84×10^3 ¥/farm) and cattle (32.79×10^3 ¥/farm) in TW, WY and XH respectively. Integrated production system: The response rates of proportion of farmers to input were 1.30, 0.61 and 0.70 for XH, TW and WY respectively. In contrast, the response rates of proportion of farmers to output were 0.085, 0.17, and 0.37 in XH, TW and WY. The threshold value for economic benefits and the proportion of farmers remained 50%. The economic benefits of the three study areas were: XH (30.27×10^3 ¥/farm) > TW (20.22×10^3 ¥/farm) > WY (13.07×10^3 ¥/farm). When the proportion of farmers were above the threshold point, the inputs of TW, WY and XH increased 45.76%, 47.98% and 45.60% respectively, and the output increased 43.20%, 42.60% and 45.60% respectively. The economic benefits at the threshold points were 30.52, 16.32 and 64.70×10^3 ¥/farm in TW, WY and XH respectively. The natural resources and agricultural population varied east to west of the study transect and the farming systems changed cropping to grazing. Labor was the largest input in all production systems. Our study indicates that regulating and controlling the proportion of farmers is an effective measure to realize the “win-win” scenario of economic and ecological benefits. We found that compared to crop production systems, the livestock production system and integration of crop and livestock are effective means of improving agricultural productivity, environmental sustainability and farmers’ income.

crop production, livestock production, integrated crop-livestock system, mixed farming, input, output, Logistic model

doi: 10.1360/N972017-00778