畜禽草耦合模式初探

苏华¹, 刘伟¹, 许宏¹, 苏本营², 张秀杰¹, 李永庚^{1*}

1. 中国科学院植物研究所, 植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093;

2. 中国环境科学研究院, 北京 100012

* 联系人, E-mail: liyonggeng@ibcas.ac.cn

收稿日期: 2017-03-27; 接受日期: 2017-05-03; 网络版发表日期: 2017-06-12

国家自然科学基金(批准号: 31400338, 31270572)、国家重点研发计划(批准号: 2016YFC0500708)和中国科学院战略性先导科技专项(批准号: XDA05070102)资助

摘要 草原养鸡推动畜-禽-草耦合, 成为一种新型草地利用方式, 在生物灭蝗、土壤培肥和牧民增收等方面发挥良好作用, 大范围推广有可能实现退化草地生态和生产功能的双提升. 农区散养鸡由来已久, 方法简单, 易于掌握, 能否照搬到草原牧区? 这种方式会对草地生态系统有何影响? 尚不清楚. 为此, 本研究通过开展以农区散养鸡方式养鸡(MJ)和围封(CK)对比实验, 探索以农区散养鸡方式开展养鸡的可行性. 结果表明, MJ样地内鸡群的空间分布符合依赖密度的聚集分布幂法则模型. 随距离鸡舍由近及远, 鸡的密度显著降低, 从4000只/hm²($R < 20\text{m}$)显著降低到500只/hm²($20\text{m} < R < 60\text{m}$)和100只/hm²($R > 60\text{m}$). 植物群落受MJ、距离和MJ×距离影响显著. 距离鸡栖地20m以内, MJ对植被的破坏严重, 群落高度、盖度和地上生物量均显著低于CK. 20~60m范围内, 得益于MJ的养分添加效应, 其物种丰富度、盖度和地上生物量均显著高于CK, MJ当年的升高幅度分别为110.0%, 54.7%和43.2%, MJ第二年的升高幅度与第一年相当; 而当距离大于60m时, MJ对植被无显著影响. MJ会造成鸡群的不均匀分布和近栖息地附近植被的严重破坏, 不宜在畜禽草耦合模式中应用. 实际生产过程中养鸡应尽量做到密度适中和均匀分布, 充分发挥其养分添加效应, 促进植被的生长与恢复.

关键词 畜禽草耦合, 养鸡, 土地利用, 退化草地, 地上生物量

我国天然草地面积约4亿公顷^[1], 不仅是重要的畜产品生产基地, 也是我国重要的生态屏障, 在生物多样性保护、气候调控、碳固持等方面均发挥着重要的作用^[2,3]. 长期以来, 以放牧牛羊为主的传统畜牧业始终是天然草地牧区居民的主要生产生活方式^[4]. 历史上, 草原牧民选择随季节变化“逐水草而居”的游牧生活^[5,6], 牲畜数量适中, 天然草地生态状况良好^[7]. 20世纪80年代, 牧区开始实行草原承包到户经营^[8,9], 牲

畜数量骤增, 天然草地逐渐退化, 至20世纪末, 90%以上的天然草地出现不同程度的退化^[10]. 21世纪初, 政府推行划区轮牧和禁牧休牧政策, 天然草地的生态退化趋势得以遏制^[11], 但随之而来的是日益凸显的禁牧压力与牧民收入之间的矛盾^[12]. 尽管有些农牧业发展政策, 如生态补偿政策^[12], 能够从一定程度上缓解这一矛盾, 但要从根本上解决这一矛盾, 还是要探寻生态保护背景下的草地利用模式, 如畜禽草耦合生态经

引用格式: 苏华, 刘伟, 许宏, 等. 畜禽草耦合模式初探. 中国科学: 生命科学, 2017, 47: 658–667

Su H, Liu W, Xu H, et al. A tentative exploration of livestock-poultry-grassland system. Sci Sin Vitae, 2017, 47: 658–667, doi: 10.1360/N052017-00065

济模式^[13].

畜禽草耦合生态经济模式是近年来得到提倡的一种新型的草地利用模式^[13-15]. 该模式以小群、低密度的养鸡方式为核心, 利用养鸡在生物灭蝗^[16,17]、培肥土壤^[13,18]和牧民增收^[13,18-20]等方面的优势, 将其作为传统畜牧业的有益补充引入草原牧区, 促进牧民生产方式多元化发展, 实现退化草地生态和生产功能的协同提升^[13]. 然而, 畜禽草耦合模式是否可以多样化发展? 能否将农区普遍应用的散养鸡方式直接照搬到草原牧区? 这种方式对草地生态系统的植被及土壤又将造成何种影响? 带着这些问题, 笔者在内蒙古锡林郭勒盟开展了连续两年的养鸡实验, 探索以农区散养鸡方式养鸡对草地植物群落特征及土壤养分状况的影响, 以期为畜禽草耦合生态经济模式的进一步推广示范提供参考和借鉴依据.

1 材料与方法

1.1 实验地点

实验地点选择在中国科学院植物研究所浑善达克沙地生态研究站(图1A, 简称浑善达克站, 42°54'11"N,

116°00'54"E, 海拔1300m). 该站地处浑善达克沙地腹地, 属半干旱大陆性季风气候^[21]. 当地年降雨量约为360mm, 80%以上集中在6~8月. 年平均气温为1.7℃, 最热月(7月)平均气温18.7℃, 最冷月(1月)平均气温-18.3℃. 年有效积温约为1900℃, 无霜期约为110天. 常年多大风, 全年平均风速为4.3m/s. 当地呈现榆树疏林草地景观, 乔木层以榆树(*Ulmus pumila*)为优势种, 灌木层以黄柳(*Salix gordejewii*)和小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)等为优势种; 草本层结构符合欧亚草原植物区系特征, 以羊草(*Leymus chinensis*)、冰草(*Agropyron cristatum*)和冷蒿(*Artemisia frigida*)等为优势种.

1.2 实验方案

2009年5月, 选择地势平坦、土壤和植被条件基本一致的开阔草地作为样地, 分别设置养鸡处理(MJ)和对照处理(CK), 重复3次(图1B). 样地面积均为4hm², 分别在中心位置建设20m×7m的大棚(图1C, 内设栖杆、料槽及水槽), 相邻两样地间大于500m, 样地间禁止牛、羊等牲畜穿行. MJ照搬农区散养鸡方式^[22], 每样地放养2000只鸡, CK不放牧任何畜禽. 供试养鸡选

图1 实验地点的卫星照片及现场照片(网络版彩图)

A: 实验地点位置图; B: 实验样地分布图(google earth); C: 养鸡样地现场

用华北柴鸡(*Gallus gallus*). 4月中旬, 将1日龄的鸡雏运送至浑善达克站的育雏温室进行脱温育雏42天, 育雏期间按常规方法进行疾病防疫. 雏鸡脱温后, 选择体格健壮、发育良好、体重约500g的60日龄华北柴鸡6000只, 分别放入MJ的3个鸡棚中, 每棚2000只. 实验开始后, 每日早6:00打开棚门, 喂食粉碎后的玉米(*Zea mays*)和豆粕(4:1), 喂食量为每只鸡50g/天, 足量喂水. 晚8:00关闭棚门, 防止野兽侵袭. 处理120天后于9月底将所有实验用鸡移除. 2010年重复上述实验.

1.3 调查、取样与分析

(1) 鸡群分布状况调查与分析. 为了了解鸡群在户外的分布规律, 2009年7月, 观察MJ样地0~20m, 20~40m, 40~60m, 60~80m, 80~100m, 100~150m, >150m范围内活动的牧鸡数量, 依据生物种群方差(S^2)和均值($\bar{x}$)之间的幂法则模型^[23,24], 判断鸡群的分布规律:

$$\lg S^2 = \lg a + b \lg m$$

当 $\lg a=0, b=1, S^2=m$, 随机分布;

当 $\lg a>0, b=1, S^2/m=a$, 聚集分布, 但不依赖于密度;

当 $\lg a>0, b>1, S^2/m=am^{b-1}$, 聚集分布, 依赖于密度;

当 $\lg a<0, b<1$, 均匀分布.

(2) 调查与测定. 目测发现, MJ样地内植被状况差异明显, 鸡棚近处的植被破坏严重(图1C). 因此, 在样地内依据距离展开植被调查, 即分别在距离鸡棚0~20m(R1), 20~60m(R2), >60m(R3)范围内随机设置了1m×1m的固定样方. 本课题组于2009年8月和2010年8月开展植物群落调查, 调查了物种丰富度(样方内植物种的数量)、群落高度(样方内成熟植物个体的平均高度)、群落盖度和地上生物量等参数^[25]. 群落盖度用Canon A640数码相机拍照后利用红绿蓝阈值法计算获得^[26]. 群落地上生物量用收获法测得^[25], 贴地面剪取植物地上部分, 挑净杂物和泥土后置于65℃烘箱内烘干至恒重, 称重获得群落地上生物量.

在开展植被调查的同时分别在R1, R2和R3随机采集距表层10cm以内的土壤样品, 带回实验室, 风干过筛, 备用. 土壤样品送至植被与环境变化国家重点实验室分析测试中心, 分别测定pH、有机质含量和全氮含量^[27]. pH用电位法测定, 液土比为2.5:1; 有机质含量用重铬酸钾外加热法测定; 全氮含量用凯氏定氮法

测定.

1.4 统计分析

采用单因素方差分析分别比较了同一年份同一距离内不同处理间的物种丰富度、群落高度、群落盖度、群落地上生物量、土壤pH、有机质和全氮的差异, $P<0.05$ 则差异显著.

采用单因变量多因素方差分析比较物种丰富度、群落高度、群落盖度、群落地上生物量、土壤pH、有机质和全氮受处理、距离、年度、处理×距离的影响差异, $P<0.05$ 则差异显著.

分别将物种丰富度、群落高度、群落盖度、群落地上生物量与土壤参数(pH、有机质和全氮)进行相关性分析, 探索影响植物群落变化的土壤因子, $P<0.05$ 则显著相关.

所有统计分析用IBM SPSS Statistics 21.0(SPSS Inc, 美国)完成, 作图用Excel 2013(Microsoft Corporation, 美国)完成.

2 结果与分析

2.1 鸡群的空间分布

根据幂法则模型, 将牧鸡在不同距离范围分布的种群方差(S^2)和均值($\bar{x}$)进行线性回归发现, $\lg a=0.37$, $b=1.53$, 即 $\lg a>0, b>1$, 所以鸡群在MJ样地内呈聚集分布, 且依赖于密度(图2A).

实验过程中目测发现MJ样地内植被状况差异明显(图1C), 因此在调查和测定时将实验区域划分为3个距离范围实施, 结果发现不同距离范围内牧鸡密度差异显著($P<0.05$, 图2B). 依据面积换算密度后发现随距离变化牧鸡密度差异显著, R1的牧鸡密度达到4000只/hm²以上, R2的牧鸡密度与实验设置的密度相当, 约为500只/hm², 而R3的牧鸡密度小于100只/hm².

2.2 牧鸡对植物群落的影响

通过分析2009和2010年两年的实验数据发现, 植物群落的物种丰富度、高度、盖度和地上生物量受处理、距离和处理×距离影响显著, 年度间除高度外差异不显著(表1).

物种丰富度随距离增加变化显著, 两年趋势相似, 在R2处MJ的物种丰富度达7~9种, 显著高于CK 1倍以

图 2 鸡群分布的幂法则模型(A)和养鸡密度随距离的变化(B)
R1, R2和R3分别代表群落距鸡棚舍的距离, 下同

表 1 植物群落特征影响因子分析^{a)}

变量	因子	III型平方和	df	均方	F值	Sig.
物种丰富度	处理	14.69	1	14.69	7.78	0.01*
	距离	35.39	2	17.69	9.37	0.00*
	年度	1.36	1	1.36	0.72	0.40 ^{ns}
	处理×距离	48.39	2	24.19	12.81	0.00*
高度	处理	455.11	1	455.11	22.14	0.00*
	距离	6.50	2	3.25	0.16	0.04*
	年度	245.44	1	245.44	11.94	0.00*
	处理×距离	488.72	2	244.36	11.89	0.00*
盖度	处理	152.11	1	152.11	0.85	0.03*
	距离	4024.22	2	2012.11	11.30	0.00*
	年度	16.00	1	16.00	0.09	0.77 ^{ns}
	处理×距离	2827.56	2	1413.78	7.94	0.00*
地上生物量	处理	551.94	1	551.94	11.07	0.00*
	距离	13869.44	2	6934.72	139.11	0.00*
	年度	44.44	1	44.44	0.89	0.35 ^{ns}
	处理×距离	11970.25	2	5985.12	120.06	0.00*

a) *: $P<0.05$; ns: $P>0.05$; 下同

上(图3A和C). MJ的地上生物量也表现出随距离增加先上升后下降的趋势, 两年的变化趋势相似(图3B和D). 以2009年为例, R1处MJ的地上生物量显著低于CK 71.4%, R2处则MJ显著高于CK 43.2%. 群落高度随距离变化显著, 2009年R1和R2处MJ的高度显著低于CK, 2010年R1处MJ的高度显著低于CK, 在R2和R3处无显著差异(图4A和C). MJ的群落盖度随距离增加先上升

后下降, 两年趋势相似(图4B和D). 以2009年为例, R1处MJ的群落高度显著低于CK 54.2%, R2处则MJ显著高于CK 51.7%.

2.3 养鸡对土壤养分状况的影响

通过分析2009和2010年两年的实验数据发现, 土壤pH、有机质和全氮含量受处理、距离、年度和处

图3 牧鸡对植物群落的物种丰富度和地上生物量的影响

*: 差异显著, $P < 0.05$; ns: 差异不显著, $P > 0.05$. 下同

理×距离的影响显著(表2).

牧鸡对土壤酸碱度具有显著的改变, R1和R2处MJ的pH均显著低于CK, 两年趋势类似(图5A和D), 以2009年为例, R1和R2处MJ的pH分别为6.7和7.9, 均显著低于CK的8.8. MJ的有机质随距离增加先上升后下降, 两年的趋势相似(图5B和E). 以2009年为例, MJ的有机质在R1处显著高于CK 65.8%, 在R2处达25.97 g/kg, 显著高于CK 113.6%. MJ的全氮含量变化与有机质变化趋势类似, 也随距离增加先上升后下降, 两年的趋势相似(图5C和F). 以2009年为例, MJ的全氮在R1处显著高于CK 32.2%, 在R2处达0.41 g/kg, 显著高于CK 53.0%.

2.4 牧鸡区植物群落特征与土壤养分状况的相关性分析

将牧鸡区的植物群落特征与土壤养分状况进行相关性分析发现, 群落高度、盖度和地上生物量的变

化与土壤pH的变化显著相关, 物种丰富度的变化与土壤有机质的变化显著相关, 而地上生物量的变化还与土壤全氮的变化显著相关(表3).

3 讨论

以农区散养鸡方式开展草原牧鸡(MJ)会造成牧鸡区域内鸡群密度的不均匀分布. 鸡群在草地上的分布规律符合依赖于密度的聚集分布幂法则模型(图2). 这种聚集分布使得牧鸡区域内的鸡群密度分布极其不均, 距鸡舍越近, 密度越大, 如0~20m半径内(R1)的牧鸡密度高达每公顷4000只以上, 20~60m范围内(R2)则下降到每公顷约500只, 而仅有极少量的牧鸡会到距离鸡舍大于60m(R3)的范围内活动. 因此, 虽然散养或牧放给鸡提供了广阔的外部空间, 但大部分鸡仍然倾向于聚集在其栖息地附近, Dawkins等人^[28]和Nielsen

图 4 牧鸡对植物群落的高度和盖度的影响

表 2 土壤状况影响因子分析

变量	因子	III 型平方和	df	均方	F 值	Sig.
pH	处理	7.77	1	7.77	376.00	0.00*
	距离	4.88	2	2.44	118.07	0.00*
	年度	0.13	1	0.13	6.51	0.02*
	处理×距离	4.71	2	2.36	114.13	0.00*
有机质	处理	518.85	1	518.85	552.10	0.00*
	距离	162.51	2	81.26	86.46	0.00*
	年度	19.35	1	19.35	20.59	0.00*
	处理×距离	181.35	2	90.67	96.48	0.00*
全氮	处理	0.12	1	0.12	64.55	0.00*
	距离	0.08	2	0.04	23.42	0.00*
	年度	0.17	1	0.17	95.24	0.00*
	处理×距离	0.07	2	0.04	19.74	0.00*

图5 牧鸡对土壤pH、有机质和全氮含量的影响

表3 植物群落物种丰富度、高度、盖度和地上生物量与土壤状况的相关性分析^{a)}

项目	pH	有机质	全氮
物种丰富度	0.200	0.416*	0.299
群落高度	0.566*	-0.251	-0.044
群落盖度	0.395*	0.212	0.316
地上生物量	0.550*	0.224	0.341*

a) *: $P < 0.05$

等人^[29]的研究结果也显示了这一现象. 这可能与鸡的生活习性和饲料供给位置有关^[29], 通过鸡舍的合理排布和水料供给位置的调控可以避免鸡群聚集^[13].

综合2009和2010年两年的数据分析发现, 植物群落特征受处理、距离和处理×距离影响显著(表1). 物种丰富度、盖度和地上生物量的年度间差异不显著, 相较于围封对照(CK)随距离的平稳变化, MJ表现出随

距离增加先上升后下降的趋势(图3和4), 这可能与牧鸡的聚集分布有关。

首先, R1处MJ的物种丰富度与CK无显著差异, 而盖度和地上生物量均显著低于CK(图3和4)。鸡喜欢啄食蝗虫等具有高蛋白、高维生素和高矿物质含量的昆虫^[30], 还喜欢采食植物的幼嫩组织, 如叶和芽等^[30], 而少有对植物个体的破坏性影响, 因此不会影响物种丰富度。Lorenz等人^[31]发现, 鸡在户外的采食量约为2~5 g干物质, 约占总采食量的3.7%~4.3%。以此测算, 在R1范围内活动的鸡(约1200只)每天的采食量将达2400~6000 g干物质, 户外生长期按120天计算, 每年的采食量为 $28.8 \times 10^4 \sim 72.0 \times 10^4$ g干物质, 则MJ会导致R1范围内 $229.3 \sim 573.2 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 的干物质损失, 这对于草地 $56.6 \sim 196.7 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 的地上初级生产力来说无疑具有毁灭性影响^[32]。不仅如此, 鸡的刨挠、土浴等行为对植被也有一定影响^[30]。

其次, R2处MJ的物种丰富度、盖度和地上生物量均显著高于CK(图3和4), 该结果进一步验证了适宜的牧鸡密度会改善植物群落状况的研究结论^[18,33]。当密度适宜时, 牧鸡的养分添加效应得到凸显^[13,18]。自由活动的鸡充当了“施肥者”的角色, 可为草地添加养分, 调节土壤酸碱度, 提高土壤有机质和全氮含量(图5), 从而促进植物的生长^[34,35]。不仅如此, 鸡对幼嫩组织的采食还对群落高度具有调节作用(图4), 对植物生长有补偿效应^[36], 进而提升群落盖度和地上生物量。

为了更好地了解牧鸡对植物群落的调节机理, 本课题组于2009和2010年对样地内土壤pH、有机质和全氮含量进行了监测, 发现土壤养分状况受处理、距离、年度和处理×距离的影响显著(表2)。土壤养分状况的变化可能主要与鸡粪对土壤的养分添加效应有关。鸡粪分解产生有机酸, 矿化产生铵态氮, 这两种化学过程均会引起土壤pH降低^[37], 从而调节MJ区土壤的酸碱度(图5)。鸡粪还是最优质的肥料之一, 其纯氮含量高达1.63%^[38], 经常被施入农田用于提升农作物的产量^[39]。史胜南等人^[33]、刘笑冰等人^[40]和张显龙等人^[41]的研究也发现牧鸡增加了土壤的养分含量。不仅如此, MJ过程中还需要按需补饲, 以满足鸡的生长

需求。补饲饲料本身就含有丰富的有机质和氮, 如本实验中所用到的玉米和豆粕的氮含量分别为1.3%和6.4%^[42], 这些饲料本身或转化为鸡粪进入土壤, 均能提高土壤有机质和全氮含量, 使得MJ区土壤的有机质和全氮含量显著高于CK(图5)。

MJ区鸡的聚集性分布使得鸡粪对土壤的养分添加效应出现相应的变化, 通过相关性分析发现, 土壤pH对群落盖度和地上生物量有显著促进作用, 土壤有机质对物种丰富度有显著促进作用, 土壤全氮含量对地上生物量有显著促进作用(表3)。尽管理论上讲牧鸡密度越高, 有机质和全氮含量应越高, 但结果显示R1的土壤养分含量较CK并不高, 而R2的提升效果最明显, 这可能与R1处牧鸡密度过大造成植被破坏严重有关(图1), 加上大量鸡的刨挠对植被盖度的破坏, 表层土壤得不到有效固定, 而当地又常年多大风, 年均风速高达4~5 m/s, 从而导致表层土壤流失, 影响养分含量。而R2处牧鸡密度适中, 养分得到有效固定、吸收, 土壤有机质和全氮含量分别比CK提高了113.6%和53.0%, 使得植被状况显著优于CK。

4 结论

以农区散养鸡方式牧鸡, 鸡群喜聚集分布在栖息棚舍附近, 造成牧鸡密度不均, 形成自鸡栖息地向外由过密向过疏的密度分布模式, 造成牧鸡区域草地的物种丰富度、群落高度、群落盖度和地上生物量也随距离增加产生显著变化。近距离区域内植物群落遭牧鸡破坏, 表现为群落盖度和地上生物量的显著下降; 中间区域内植物群落因牧鸡的养分添加效应得到促进, 表现为物种丰富度、群落盖度和地上生物量的显著上升; 远距离区域内植物群落因少有鸡到达而未受显著影响。这些变化受牧鸡对土壤pH、有机质和全氮含量的调节作用影响。因此, 农区散养鸡方式不宜应用于畜禽草耦合模式。实际生产中为了实现草地生产和生态功能的双提升, 应注意规避大密度牧鸡造成的生态风险, 合理调控牧鸡区域与密度, 防止密度过大对草地的破坏, 充分发挥牧鸡的养分添加效应, 尽量做到适宜密度下鸡群的均匀分布。

致谢 感谢浑善达克沙地生态研究站张彪和李本福在取样过程中给予的帮助; 感谢内蒙古正蓝旗巴音胡硕嘎查那松乌日图、苏伊拉图、陶刚特木尔等人在鸡群管理过程中给予的支持和帮助。

参考文献

- 1 Zhang Y J, Zhang X Q, Wang X Y, et al. Establishing the carrying capacity of the grasslands of China: a review. *Rangel J*, 2014, 36: 1
- 2 Kang L, Han X, Zhang Z, et al. Grassland ecosystems in China: review of current knowledge and research advancement. *Philos Trans R Soc B-Biol Sci*, 2007, 362: 997–1008
- 3 邹婧汝, 赵新全. 围栏禁牧与放牧对草地生态系统固碳能力的影响. *草业科学*, 2015, 32: 1748–1756
- 4 Wu X, Zhang X, Dong S, et al. Local perceptions of rangeland degradation and climate change in the pastoral society of Qinghai-Tibetan Plateau. *Rangel J*, 2015, 37: 11
- 5 Wiesmeier M, Munro S, Barthold F, et al. Carbon storage capacity of semi-arid grassland soils and sequestration potentials in northern China. *Glob Change Biol*, 2015, 21: 3836–3845
- 6 张卫国, 范旭东, 杨国荣. 甘南牧区传统游牧制度的科学性初考. *草业科学*, 2014, 31: 1573–1579
- 7 张新时, 唐海萍, 董孝斌, 等. 中国草原的困境及其转型. *科学通报*, 2016, 61: 165–177
- 8 Reiche M, Funk R, Hoffmann C, et al. Vertical dust concentration measurements within the boundary layer to assess regional source-sink relations of dust in semi-arid grasslands of Inner Mongolia, China. *Environ Earth Sci*, 2015, 73: 163–174
- 9 Li W, Huntsinger L. China's grassland contract policy and its impacts on herder ability to benefit in Inner Mongolia: tragic feedbacks. *Ecol Soc*, 2011, 16: 1
- 10 Harris R B, Wenying W, Badinqiuying W, et al. Herbivory and competition of Tibetan steppe vegetation in winter pasture: effects of livestock enclosure and plateau pika reduction. *PLoS ONE*, 2015, 10: e0132897
- 11 Briske D D, Zhao M, Han G, et al. Strategies to alleviate poverty and grassland degradation in Inner Mongolia: intensification vs production efficiency of livestock systems. *J Environ Manage*, 2015, 152: 177–182
- 12 鲁春霞, 谢高地, 成升魁, 等. 中国草地资源利用: 生产功能与生态功能的冲突与协调. *自然资源学报*, 2009, 24: 1685–1696
- 13 Su H, Liu W, Xu H, et al. Introducing chicken farming into traditional ruminant-grazing dominated production systems for promoting ecological restoration of degraded rangeland in northern China. *Land Degrad Dev*, 2017, in press, doi: 10.1002/ldr.2719
- 14 李永庚. 草原牧鸡——为了浑善达克沙地明天的绿色. *生命世界*, 2010, 11: 20–25
- 15 Adeel Z, Safriel U. Achieving sustainability by introducing alternative livelihoods. *Sust Sci*, 2008, 3: 125–133
- 16 孙涛, 刘志云, 龙瑞军. 管理措施对牧鸡生长性能及草地蝗虫数量的影响. *生态学报*, 2014, 34: 6568–6572
- 17 Sun T, Long R J, Liu Z Y. The effect of a diet containing grasshoppers and access to free-range on carcass and meat physicochemical and sensory characteristics in broilers. *Brit Poultry Sci*, 2013, 54: 130–137
- 18 Xu H, Su H, Su B, et al. Restoring the degraded grassland and improving sustainability of grassland ecosystem through chicken farming: a case study in northern China. *Agr Ecosyst Environ*, 2014, 186: 115–123
- 19 Liu M, Wang B, Osborne C P, et al. Chicken farming in grassland increases environmental sustainability and economic efficiency. *PLoS ONE*, 2013, 8: e53977
- 20 Sun T, Liu X, Sun G, et al. Grasshopper plague control in the alpine rangelands of the Qilian Mountains, China. A socio-economic and biological approach. *Land Degrad Dev*, 2016, 27: 1763–1770
- 21 丁国栋, 李素艳, 蔡京艳, 等. 浑善达克沙地草场资源评价与载畜量研究——以内蒙古正蓝旗沙地区为例. *生态学杂志*, 2005, 24: 1038–1042
- 22 胡秋红, 张力小, 王长波. 两种典型养鸡模式的能值分析. *生态学报*, 2011, 31: 7227–7234
- 23 Taylor L R. Aggregation, variance and the mean. *Nature*, 1961, 189: 732–735
- 24 沈佐锐. 关于Taylor幂法则的统计学讨论. *生态学杂志*, 1990, 6: 64–67
- 25 董鸣. 陆地生物群落调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 1996
- 26 陈祖刚, 巴图娜存, 徐芝英, 等. 基于数码相机的草地植被盖度测量方法对比研究. *草业学报*, 2014, 23: 20–27
- 27 刘光崧. 中国生态系统研究网络观测与分析标准方法——土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996
- 28 Dawkins M S, Cook P A, Whittingham M J, et al. What makes free-range broiler chickens range? *In situ* measurement of habitat preference. *Anim Behav*, 2003, 66: 151–160
- 29 Nielsen B L, Thomsen M G, Sørensen J P, et al. Feed and strain effects on the use of outdoor areas by broilers. *Brit Poultry Sci*, 2003, 44: 161–169
- 30 刘志云, 孙涛, 袁丰, 等. 温度变化对高寒草地牧鸡行为影响初探. *草业科学*, 2011, 28: 1370–1373
- 31 Lorenz C, Kany T, Grashorn M. Method to estimate feed intake from pasture in broilers and laying hens. *Archiv Fur Geflügelkunde*, 2013, 77: 160–165
- 32 马文红, 杨元合, 贺金生, 等. 内蒙古温带草地生物量及其与环境因子的关系. *中国科学: 生命科学*, 2008, 38: 84–92
- 33 史胜南, 于占源, 曾德慧, 等. 牧鸡密度与取样时间对沙质草地土壤氮素有效性的影响. *生态学杂志*, 2013, 32: 2120–2125

- 34 Wang B, Jiang G. Effect of chicken litter on grassland productivity and environmental quality in a sandland ecosystem. *Acta Ecol Sin*, 2011, 31: 14–23
- 35 Brink G E, Rowe D E, Sistani K R. Broiler litter application effects on yield and nutrient uptake of ‘Alicia’ bermudagrass. *Agron J*, 2002, 94: 911
- 36 原保忠, 王静, 赵松岭. 植物受动物采食后的补偿作用——影响补偿作用的因素. *生态学杂志*, 1997, 6: 41–85
- 37 Tamir G, Shenker M, Heller H, et al. Can soil carbonate dissolution lead to overestimation of soil respiration? *Soil Sci Soc Am J*, 2011, 75: 1414
- 38 李琼文, 罗锐. 鸡粪资源综合利用. *家禽科学*, 2013, 7: 45–48
- 39 王文石, 田雨, 娄玉杰. 施用鸡粪对特高多花黑麦草SPAD值、干草产量和蛋白质含量的影响. *草业学报*, 2016, 25: 240–244
- 40 刘笑冰, 王树涛, 高程达. “草原牧鸡治蝗”的生态和经济效应. *中国畜牧杂志*, 2014, 50: 23–28
- 41 张显龙, 苏华, 李永庚, 等. 不同牧鸡密度对沙草地土壤养分状况的影响. *沈阳农业大学学报*, 2015, 46: 42–47
- 42 林杉, 冯明磊, 胡荣桂, 等. 三峡库区小流域农户氮循环和排放特征. *环境科学*, 2010, 31: 632–638

A tentative exploration of livestock-poultry-grassland system

SU Hua¹, LIU Wei¹, XU Hong¹, SU BenYing², ZHANG XiuJie¹ & LI YongGeng^{1*}

¹ State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;

² Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

The livestock-poultry-grassland (LPG) system, a novel land use of grassland promoted by chicken farming, is important for controlling locust disaster, fertilizing infertile soils, and providing income to herders. It has great potential to improve both ecological and productive functions of degraded grasslands. The common chicken-farming mode used in agricultural regions (MJ) is simple and easy to learn. The feasibility of introducing MJ in grassland pastoral regions is unclear, because its effects on vegetation have not been studied. We experimented by comparing MJ and zero grazing (CK). The results showed that chickens in MJ plots had a clumped pattern and depended on the stocking rate. The stocking rates of free-range chickens significantly decreased with distance from the chicken house, from 4000 birds per hm^2 (at $R < 20\text{m}$) to 500 per hm^2 ($20\text{m} < R < 60\text{m}$) and 100 per hm^2 ($R > 60\text{m}$). The plant community was significantly affected by MJ, distance, and MJ $\times$ distance. At distances from 0 to 20m, the vegetation was severely damaged by MJ, with community height, coverage, and aboveground biomass significantly lower than those in CK. At distances from 20 to 60m, species richness, coverage, and aboveground biomass of MJ were significantly greater than those of CK because of nutrient addition, with an increase of 110.0%, 54.7%, and 43.2%, respectively, in the current year. These values remained nearly the same in the subsequent year. At distances greater than 60m, MJ had no significant effects on the vegetation. Therefore, considering the uneven distribution of chickens and severe vegetation damage around the chicken house, MJ is not suitable for the LPG system. To promote vegetation growth and grassland restoration, we propose chicken farming with a moderate stocking rate and an evenly distributed mode as well as the maximum possible development of the nutrient addition effect.

livestock-poultry-grassland system, chicken farming, land use, degraded grassland, aboveground biomass

doi: [10.1360/N052017-00065](https://doi.org/10.1360/N052017-00065)