畜禽草耦合模式探索——养鸡对退化草地植物物种多样性的影响

苏华¹, 苏本营², 许宏¹, 张秀杰¹, 李永庚^{1*}

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

2. 北京市门头沟区国家生态修复科技综合示范基地, 北京 102300

* 联系人, E-mail: liyonggeng@ibcas.ac.cn

收稿日期: 2019-02-28; 接受日期: 2019-04-15; 网络版发表日期: 2019-05-29

国家自然科学基金(批准号: 31770577, 31400338)和国家重点研发计划(编号: 2016YFC0500708)资助

摘要 将养鸡引入草地畜牧业形成畜禽草耦合新型草地利用方式, 能够促进退化草地生态和生产功能的双提升。但养鸡对退化草地物种多样性有何影响尚不清楚。为探究养鸡对退化草地植物群落的影响, 本研究在浑善达克沙地开展了退化草地典型植物饲喂鸡实验和养鸡控制实验。通过选取10种典型代表植物对鸡进行饲喂实验发现, 鸡对藜科植物(如灰绿藜)的喜食度较高, 其次喜食豆科(如花苜蓿和斜茎黄耆)和菊科植物(如蒲公英), 不喜食禾本科植物。鸡对草地植物的喜食度与其粗纤维含量显著负相关, 与其粗脂肪和粗蛋白含量显著正相关。鸡对草地植物的采食量极低, 日采食量在3~9 g干物质之间, 约占日总采食量的4%~11%。通过对比养鸡(MJ)和不放牧(CK)实验区的植物群落特征, 发现MJ对退化草地物种多样性无显著影响, 植物群落的物种丰富度维持在10种左右, MJ的多样性指数和均匀度指数分别维持在1.5左右和0.7左右; MJ显著降低植物群落高度, 实验第二年和第三年MJ的群落高度分别比CK降低了19.1%和27.2%; 但MJ显著提高了植物群落的净初级生产力(NPP), 实验第三年MJ的NPP达到464.3 g m⁻² yr⁻¹, 是CK的1.7倍; MJ的植被盖度在第三年也达到74.3%, 是CK的1.5倍。因此, 将养鸡引入传统草地畜牧业形成畜禽草耦合模式不会对物种多样性带来负面影响。但在实际生产中应注意养鸡方法, 持续关注养鸡对物种多样性的影响及其可能引发的级联反应。

关键词 畜禽草耦合, 养鸡, 退化草地, 采食量, 物种多样性, 净初级生产力

中国北方草地属欧亚草原区, 面积约为4亿公顷^[1], 不仅是中国重要的畜产品生产基地, 也是重要的生态屏障, 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]。草地利用方式以传统畜牧业为主, 当地居民多以放牧大型有蹄类家畜(如马、绵羊、山羊、牛等)为生^[4]。近20年来, 中国北方草地退

化趋势得到基本遏制, 但中度和重度退化草地面积总和仍接近总面积的70%^[5]。养分亏缺仍是限制退化草地恢复的主要因子之一^[6-8]。而鸡粪具有易分解转化、易被植物吸收的特性^[9], 是农区提高作物产量的首选有机肥^[10,11]。有学者提出将养鸡引入草地畜牧业形成畜禽草耦合新型草地利用方式^[12,13], 即通过开展规模

引用格式: 苏华, 苏本营, 许宏, 等. 畜禽草耦合模式探索——养鸡对退化草地植物物种多样性的影响. 中国科学: 生命科学, 2019, 49: 761–772
Su H, Su B Y, Xu H, et al. Exploration of livestock-poultry-grassland systems: The influences of chicken farming on plant community in degraded grasslands (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2019, 49: 761–772, doi: 10.1360/SSV-2019-0041

化小群体散养鸡, 实现“鸡产鸡粪、鸡粪养草、草养牛羊”的良性循环, 以期恢复退化草地、带动牧民增收, 实现退化草地生态和生产功能的双提升。

牧鸡能够破除大面积退化草地无法人工施肥的壁垒, 发挥鸡的“施肥机”作用, 改善退化草地土壤质量, 提高退化草地净初级生产力, 促进草牧业发展^[12]。如张显龙等人^[14]研究发现牧鸡改善了沙草地土壤的理化性状, 增加了土壤的养分含量; Su等人^[12]研究发现牧鸡改善了退化草地的土壤质量, 提升了净初级生产力; Xu等人^[13]和Sun等人^[15]研究发现牧鸡控制了退化草地的蝗虫密度, 降低了蝗灾发生风险; Xu等人^[13]研究发现牧鸡将牧鸡户的年净收入提高到传统牛羊牧户的2.3倍。因此, 通过开展畜-禽-草耦合, 有望促进中度和重度退化草地的生产力恢复。然而, 草地放牧系统的可持续生产和有效的生态服务功能不仅体现在植物生产力这一数量特征, 更体现在物种多样性这一质量特征^[16]。物种多样性的变化是影响生态系统稳定性维持的重要因子^[17,18]。因此, 有必要尽快阐明牧鸡对退化草地物种多样性的影响。

笔者在浑善达克沙地开展了草地典型植物饲喂鸡的实验和退化草地牧鸡控制实验, 旨在探索鸡对草地植物的取食喜好及其对不同植物的采食量, 了解牧鸡对草地植物群落结构, 尤其是物种多样性的影响, 以期为畜禽草耦合模式的应用与推广提供数据支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验地点

实验地点选择在位于内蒙古自治区锡林郭勒盟正蓝旗的中国科学院植物研究所浑善达克沙地生态研究站(42°54'11"N, 116°00'54"E, 海拔1300 m)。该站地处浑善达克沙地腹地, 属半干旱大陆性季风气候^[19]。当地年降雨量约为360 mm, 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 d。常年多大风, 全年平均风速为4.3 m/s。植被结构属欧亚草原植物区系^[20], 以羊草、冰草和冷蒿等为优势种, 实验样地植物名录如表1。

表 1 实验样地植物名录及鸡饲喂实验选取的实验材料

Table 1 Plant information in the experiment area

编号	中文名称	拉丁名	缩写	饲喂实验是否选用	科名
1	冰草	<i>Agropyron cristatum</i>	Ac	否	禾本科
2	羊草	<i>Leymus chinensis</i>	Lc	是	
3	赖草	<i>Leymus secalinus</i>	Ls	否	
4	糙隐子草	<i>Cleistogenes squarrosa</i>	Cs	是	
5	斜茎黄耆	<i>Astragalus adsurgens</i>	Aa	是	豆科
6	花苜蓿	<i>Medicago ruthenica</i>	Mr	是	
7	披针叶野决明	<i>Thermopsis lanceolata</i>	Tl	是	
8	冷蒿	<i>Artemisia frigida</i>	Af	否	菊科
9	裂叶蒿	<i>Artemisia tanacetifolia</i>	At	是	
10	蒲公英	<i>Taraxacum mongolicum</i>	Tm	是	
11	抱茎苦苣菜	<i>Ixeris sonchifolia</i>	Is	否	
12	灰绿藜	<i>Chenopodium glacialima</i>	Cg	是	藜科
13	尖头叶藜	<i>Chenopodium acuminatum</i>	Ca	否	
14	二裂委陵菜	<i>Potentilla bifurca</i>	Pb	是	蔷薇科
15	绢毛委陵菜	<i>Potentulla sericea</i>	Ps	否	
16	马蔺	<i>Iris lactea</i>	Il	是	鸢尾科
17	苔草	<i>Carex duriuscula</i>	Cd	否	莎草科
18	垂盆草	<i>Sedum sarmentosum</i>	Ss	否	景天科

1.2 牧鸡对草地植物的取食研究

采用网箱饲养法开展植物饲喂鸡实验, 网箱底面积为 1 m^2 , 高度为 0.8 m , 选择10只52周龄的成年华北柴鸡, 每两只(公母各一)为一组进行实验, 共选取10种植物材料(表1). 为避免实验鸡出现不良反应, 采取单双日间隔处理的实验方法, 单日每只鸡供给 80 g 常规饲料(玉米:豆粕=4:1), 双日进行植物材料饲喂实验. 实验日早6时开始进行实验处理, 处理前先对每种植物材料称重, 获得初始鲜重, 同时取同一批次植物采用烘干法获得含水率(WC), 根据含水率计算获得初始干重 W_{ix0} , 然后将植物材料放入网箱让鸡自由采食, 1 h后取出, 烘干称重获得采食后的干重 W_{ix1} . 为减少植物失水造成的影响, 每隔1 h处理1次, 每实验日重复5次, 计算日采食量 W_s .

$$W_s = \sum_{i=1}^{10} \sum_{x=1}^5 (W_{ix0} - W_{ix1}), \quad (1)$$

式中, i 为第 i 种植物材料; x 为实验日第 x 次饲喂处理; W_s 为总干物质采食量; W_0 为初始植物干重; W_1 为处理后的植物干重.

实验当天同时测定实验用植物材料的营养成分含量^[21]: 粗蛋白含量(CP)采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 奈氏比色法测定; 粗纤维(CFi)采用鲁氏残留法测定; 粗脂肪含量(CFa)采用定量酸和碱消煮, 乙醚脱脂及乙醇脱去醇溶性物质后高温灼烧并扣除矿物质的量测得; 粗灰分(CA)采用高温直接法测定; 无氮浸出物(FL)= $1-(\text{CP}+\text{CFa}+\text{CFi}+\text{CA})$.

1.3 牧鸡对草地植物群落特征的影响

选择均匀一致、地势平坦的退化草地^[22], 设置放牧密度为 $20\text{ m}^2/\text{只}$ 的牧鸡处理(MJ), 以不放牧处理为对照(CK), 重复3次, 共6个实验小区. 小区面积为 402 m^2 , 其中 2 m^2 用于放置小鸡舍及附属设施, 四周用蓝色塑料网($3\text{ m} \times 3\text{ m}$)对小区进行围封. 于2009年6月上旬向每小区放置10只8周龄的华北柴鸡开始MJ实验, 补饲用饲料按玉米:豆粕=4:1配置, 补饲量为每只鸡 80 g/d . 连续3年于植物生长高峰期(8月中旬)在研究样地各处理小区内随机选取5个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的样方, 参照董鸣^[23]的方法, 分别调查样方内的植物种类和群落高度(每个样方内随机选取5株目测最高的植物, 测定其自然高度取平均值); 采用目测法估测群落盖度; 采用收

获法测定植物群落的净初级生产力(NPP). 植物群落物种多样性以Shannon-wiener多样性指数(H)和均匀性指数(E)表征^[23]:

$$H = -\sum P_i \ln P_i, \quad (2)$$

式中, P_i 为种 i 的概率.

$$E = H / \ln S, \quad (3)$$

式中, H 为Shannon-wiener指数, S 为植物物种丰富度.

1.4 统计分析

采用线性回归方法分析 W_s 和植物营养成分WC, CP, CFa, CFi, CA, FL之间的相关关系, $P \leq 0.05$ 则影响显著. 采用多因素方差分析比较物种丰富度、 H 、 E 、群落高度、群落盖度和NPP受处理、年度、处理 $\times$ 年度的影响差异, $P \leq 0.05$ 则差异显著.

所有统计分析及作图均应用R语言完成.

2 结果与分析

2.1 鸡对草地植物的采食影响

为了研究鸡对草地植物的采食影响, 我们选取了北方草地10种代表性植物开展了鸡的饲喂实验. 结果显示, 鸡对不同植物种的采食量存在显著差异, 且对实验植物的日采食量均不超过 10 g 干物质(图1A). 鸡对Cg的采食量最高, 约为 8.5 g/d , 其次为Tm, Mr和Aa, 日采食量处于 $5.0\sim 7.5\text{ g}$, 再次为Pb, 日采食量约为 2.5 g . 鸡对At, Cs, Lc, Tl和Il 5种植物基本不采食, 日采食量均低于 1.5 g .

中国北方草地属于欧亚草原植物区系, 优势种多为以禾本科植物和菊科植物为主的多年生草本植物^[24]. 为了探索鸡对草地植物群落优势种的影响, 我们将10种植物按科分类汇总处理分析. 结果显示, 鸡对不同科的植物的采食量也存在显著差异(图1B). 鸡采食量最多的为藜科植物, 日采食量约为 8 g 干物质, 其次为豆科、菊科和蔷薇科植物, 其中对豆科植物的采食呈较强的偏态性. 鸡对禾本科和鸛尾科的采食量较低, 日采食量均在 1.5 g 以下.

2.2 鸡采食量与草地植物营养成分的关系

我们测定了实验用10种植物的营养成分含量, 并将 W_s 与各营养成分进行线性回归分析($y=ax+b$). 结果

图1 鸡对草地不同植物的日采食量(W_s)比较(植物名称缩写见表1)

Figure 1 Comparison of chicken daily feeding capacity (W_s) for different grassland plants (plant abbreviations are shown in Table 1)

显示, W_s 与CP, CFa和CFi存在显著的线性关系, 与WC, CA和FL则不存在显著的线性关系(图2和表2)。如图2所示, W_s 与CP和CFa均存在显著的正相关关系, 相关系数(R^2)分别为0.355和0.224, 而与CFi存在显著的负相关关系($R^2=0.714$)。因此, 鸡对草地植物的采食主要受CFi影响, 植物的CFi含量越高, 则鸡对其采食量越低(图2D); 此外, 鸡对草地植物的采食还受CP和CFa影响, 植物的CP或CFa含量越高, 则鸡对该种植物的采食量就越高(图2B和C)。

2.3 牧鸡对植物群落的影响

通过分析2009~2011年三年的实验数据发现, 植物群落的物种丰富度无论是处理间还是年度间的差异均不显著; H 和 E 年度间差异显著, 但处理间差异不显著(表3), 群落高度和NPP不仅处理间差异显著, 而且年度间差异也显著; 群落盖度年度间差异显著, 但处理间差异不显著(表3)。

实验区植物群落的物种丰富度维持在7~16种, 三个实验年度内MJ和CK的物种丰富度均有小幅波动(图3A)。实验第一年MJ和CK的物种丰富度分别为7.7±2.1种和10.0±1.2种, MJ略低于CK, 实验第二年MJ的物种丰富度上升, 达到12.0±3.5种, 是CK(8.3±1.5)的1.4倍,

实验第三年MJ略有下降, 达到9.3±2.1种, 是CK的1.2倍(图3A)。MJ的 H 受处理×年度影响显著(表3), 表现为先上升后下降的变化趋势(图3B)。实验第一年MJ的 H 为1.1±0.1, 仅为CK(1.4±0.1)的81.3%, 实验第二年增长到1.8±0.0, 达到CK的114.3%, 但在实验第三年又下降到1.5±0.2, 是CK的97.5%(图3B)。E的变化趋势与 H 类似, 但其受处理×年度的影响不显著(表3), 且始终略低于CK(图3C)。三个实验年度MJ的 E 分别达到0.6±0.1, 0.7±0.1和0.7±0.1, 分别为CK的93.4%, 96.1%和87.2%(图3C)。

MJ和CK的植物群落高度在三个实验年度内均表现出先上升后下降的趋势, 实验第二年MJ的群落高度为42.3±7.5 cm, 仅为CK(55±9.6 cm)的80.9%, 实验第三年MJ的群落高度为CK的72.8%(图3D)。尽管如此, 群落高度受处理×年度的影响不显著(表3)。盖度与高度的变化趋势类似, 在三个实验年度内表现出先上升后下降的趋势, 实验第一年MJ的盖度低于CK, 之后两年则高于CK(图3E)。三个实验年度内, MJ的盖度分别为36.7%±2.9%, 75.0%±10.0%和74.3%±12.1%, 分别为CK的75.9%, 115.4%和148.7%(图3E)。三个实验年度内CK的NPP变化较为平缓, 第一年约为195 g m⁻² yr⁻¹, 第二年和第三年均维持在250 g m⁻² yr⁻¹左右(图3F)。相比

图 2 鸡日采食量(W_s)与草地植物营养成分的关系. WC, 含水量; CP, 粗蛋白; CFa, 粗脂肪; CFi, 粗纤维; CA, 粗灰分; FL, 无氮浸出物. 植物名称缩写见表1

Figure 2 Correlation between chicken daily feeding capacity (W_s) and plant nutrients. WC, Water content; CP, crude protein ; CFa, crude fat; CFi, crude fiber; CA, crude ash; FL, nitrogen free leaching. Plant abbreviations are shown in Table 1

表 2 鸡的日采食量(y)与植物营养成分(x)的线性回归分析^{a)}

Table 2 Linear regression analysis of chicken daily feeding capacity (y) and plant nutrients (x)

自变量(x)	常数(a)	常数(b)	相关系数(R^2)	自由度(df)	P值	显著度
WC	2.054	0.019	0.007	2	0.650	ns
CP	-0.457	0.252	0.355	2	0.001	*
CFa	-2.288	1.573	0.224	2	0.008	*
CFi	13.602	-0.389	0.714	2	0.000	*
CA	3.314	0.012	0.000	2	0.936	ns
FL	-4.776	0.192	0.051	2	0.228	ns

a) WC, 含水量; CP, 粗蛋白; CFa, 粗脂肪; CFi, 粗纤维; CA, 粗灰分; FL, 无氮浸出物. *, $P \leq 0.05$ 相关关系显著, ns, 不显著

之下, MJ的NPP在实验的后两年有较大幅度的提升, 第一年与CK持平, 约为 $193 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, 第二年和第三年则分别达到 $410.2 \pm 72.7 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 和 $464.3 \pm 57.1 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, 分别为CK的161.8%和174.4%(图3F).

3 讨论

草地在放牧利用过程中, 动物通过采食、践踏和排泄等途径直接或间接改变草地植物群落结构, 最终影响草地生态系统的服务功能^[16,25,26]. 一直以来, 中国北方草地以放牧大型有蹄类家畜(如牛、羊等)为主要利用方式. 长期过度放牧已成为草地退化的主导因素^[27]. 放牧过程中家畜大量采食天然草地植物, 排泄大量粪便^[28], 其粪块分解较慢, 完全矿化需要时间较

长^[29]. 不仅如此, 家畜在草地植被组成相对简单的退化草地上, 其选择性采食表现不明显, 当食物资源匮乏时甚至饥不择食, 这不仅导致物种丰富度剧烈下降, 而且改变各物种在群落中的均匀度和重要性^[30]. 相比之下, 鸡的体尺小, 对草地植物的采食量极低(图1). 牧鸡需要补充外源饲料, 鸡粪体积小、易分解^[9], 随走随排, 能为贫瘠的草地生态系统补充养分^[12], 促进退化草地生产力恢复(图3), 但对物种多样性影响较小(表3).

3.1 牧鸡对草地植物的采食影响

鸡是杂食性动物^[31], 即使在野外放牧期间能采食部分植物、昆虫以及砂石等, 也需要补饲一定量的饲料(如玉米、豆粕等), 因此对天然草地植物的采食量

表 3 牧鸡处理和年度对植物群落特征变化的影响因子分析^{a)}

Table 3 Factor analysis of treatment (chicken farming) and time (year) on plant community characteristics^{a)}

变量	因子	自由度(df)	平方和	F值	P值	显著度
物种丰富度	处理	1	3.56	0.79	0.39	ns
	年度	2	8.11	0.90	0.43	ns
	处理×年度	2	27.44	3.05	0.09	ns
<i>H</i>	处理	1	0.00	0.13	0.73	ns
	年度	2	0.66	17.56	0.00	*
	处理×年度	2	0.18	4.83	0.03	*
<i>E</i>	处理	1	0.01	1.81	0.20	ns
	年度	2	0.10	7.76	0.01	*
	处理×年度	2	0.00	0.39	0.69	ns
群落高度	处理	1	364.50	8.13	0.01	*
	年度	2	1076.30	12.00	0.00	*
	处理×年度	2	144.00	1.61	0.24	ns
群落盖度	处理	1	256.90	3.16	0.10	ns
	年度	2	2408.80	14.81	0.00	*
	处理×年度	2	985.40	6.06	0.02	*
NPP	处理	1	63389.00	22.95	0.00	*
	年度	2	99130.00	17.95	0.00	*
	处理×年度	2	32310.00	5.85	0.02	*

a) *, $P \leq 0.05$ 影响显著; ns, 不显著

图 3 2009~2011年牧鸡(MJ)和不放牧(CK)处理植物群落物种丰富度(A)、多样性指数(*H*, (B)), 均匀性指数(*E*, (C)), 高度(D)、盖度(E)和净初级生产力(NPP, (F))的变化

Figure 3 Changes in species richness (A), diversity index (*H*, (B)), uniformity index (*E*, (C)), height (D), cover (E), and net primary production (NPP, (F)) of plant communities in the chicken farming (MJ) and no-grazing (CK) plots between 2009 and 2011

极低. 本研究结果显示鸡对草地植物的日采食量在 3~9 g 干物质之间, 约占日总采食量的 3.8%~11.3%, 绝对量与国外一些草地养鸡的研究结果有差异, 这可能与鸡的品种和草地的状况有关^[32], 但相对比例基本一致. 如 Lorenz 等人^[32]发现鸡在草地上的采食量约为 2~5 g 干物质, 约占其日总采食量的 4%; Horsted 等人^[33]估算的日采食量为 10~35 g 干物质, 约占其日总采食量的 10%~15%.

传统草地畜牧业中, 大概有 30%~50% 的地上生物量被牛、羊等草食动物采食消耗^[34]. 在与本实验地点草地类型相似的锡林郭勒草原上获得的研究结果表明, 8 月份放牧牛的日采食量约为 8.1 kg^[28]至 9.6 kg^[35]; 放牧绵羊的日采食量约为 1.9 kg^[36], 高于山羊 (~1.6 kg)^[35]. 而鸡的日总采食量仅为 80 g 左右^[13], 其中大部分为补饲饲料. 依据本研究结果, 退化草地的地上生物量约为 250 g/m², 以 20 m²/只的养鸡密度计算, 大概有不到 2% 的地上生物量被鸡作为食物消耗, 因此鸡对天然草地的采食影响较小.

动物采食对草地群落内物种的选择性强度是影响植被组成的关键因素^[37]. 为了探索退化草地植物多样性与养鸡的潜在关系, 我们分析了鸡对典型代表物种的喜食程度. 结果显示鸡在草地放牧过程中最喜食藜科植物(如灰绿藜), 其次喜食豆科(如花苜蓿和斜茎黄耆)和菊科植物(如蒲公英), 对禾本科的喜食程度较低(图 1). 这与不同植物的营养成分存在差异有关. 鸡对草地植物的喜食程度受粗纤维、粗蛋白和粗脂肪的显著影响(图 2), 其中粗纤维的影响最为显著, 相关系数(R^2)达到 0.714(表 2). 植物的粗纤维含量越高, 鸡对其喜食度越低, 因此, 鸡更喜欢采食植物的鲜嫩部位, 如嫩叶、嫩芽等^[38]. 植物的粗蛋白和粗脂肪含量越高, 鸡对其喜食度越高, 这与以往研究发现的鸡喜食植物种籽等部位的结果一致^[39]. 研究结果还显示鸡对豆科植物的采食呈现较强的偏态性, 这可能与这些植物的挥发性有机物有关^[40]. 本实验所选的披针叶野决明含有大量生物碱^[41], 适口性差^[42].

本研究采用了饲喂后称重的方法确定采食物种和采食量, 受植物失水的影响可能形成较大误差. 近年来有学者提出应用饱和链烷和长链醇可有效地区分动物对草原区植物的采食物种, 对采食量进行精确计算^[43~45], 这在以后的实验中值得借鉴.

3.2 养鸡对草地植物物种多样性的影响

养鸡对退化草地物种多样性的影响不显著. MJ 与 CK 相比较, 物种丰富度、多样性指数(H)和均匀度指数(E)均没有显著变化(表 3). 植物群落的物种丰富度维持在 10 种左右, 实验第二年 MJ 的物种丰富度最高, 为 12.0±3.5 种(图 3A). MJ 的 H 和 E 均有小幅波动, 在三年实验期内分别维持在 1.5 左右和 0.7 左右(图 3B 和 图 3C). 放牧通过改变局部植物种的定植与灭绝速率, 动态调控植物群落的多样性, 当局部物种的灭绝速率高于定植速率时, 会引起局部物种多样性的降低^[46]. 牛、羊等家畜在草地植物组成多样的健康草地上喜食大针茅、羊草等禾本科优势植物^[35], 但在草地组成相对简单的退化草地上则全面采食, 造成物种多样性的显著下降^[30]. Olff 等人^[47]对草食动物和物种多样性的关系研究发现, 随着草食动物体尺的增大, 大型草食动物对多样性的影响常比小型草食动物要强. 鸡的个体大小远远小于牛、羊等草食动物, 因此, 鸡对多样性的影响可能不会出现放牧牛羊对物种多样性的影响程度. 本研究结果表明, 养鸡喜食的物种为叶片较为鲜嫩的藜科、豆科和菊科植物, 对多为建群种或优势种的禾本科植物取食量极低(图 1). 且鸡对植物的采食仅针对部分植物器官, 如植物叶片或种籽^[38,39], 不会对植物种造成灭绝性影响, 对物种多样性的影响较小. 不仅如此, 养鸡对植物的部分采食还可能促进草地植物的补偿性生长^[48].

研究尺度的选择会影响物种多样性的响应结果, 如刘文亨等人^[37]研究发现, 当研究尺度转化到群落内功能群时, 功能群多样性与物种多样性的变化迥异. 因此, 植物多样性受养鸡草地利用方式影响而产生的变化, 可能经由物种尺度导致功能群尺度、群落尺度甚至生态系统尺度的级联反映, 需要在退化草地的畜禽草耦合应用中对各尺度多样性加以关注并深入研究.

3.3 养鸡对草地植物群落高度、盖度和生产力的影响

养鸡显著降低了退化草地的群落高度, 处理间、年度间差异显著(表 3). 实验第二年和第三年 MJ 的群落高度分别为 CK 的 80.9% 和 72.8%, 显著降低了 19.1% 和 27.2%(图 3D), 这可能与鸡的采食有关. 如图 2 所示, 鸡对植物的采食与其粗纤维含量负相关, 因此, 植物新叶

更容易被采食, 植株高度因此受到影响. 尽管如此, 群落高度在牧鸡处理和年度的交互作用下差异不显著, 因此, 牧鸡对群落高度的降低是短期效应, 长期尺度上并不会降低群落高度, 这可能与植物的补偿性生长有关^[48,49]. 在自然生态系统中, 植物受到昆虫或动物的采食经常会出现补偿效应, 有时甚至出现超补偿^[48].

牧鸡显著提高了退化草地的净初级生产力, 处理间、年度间、处理×年度间差异均显著(表3). 实验第二年和第三年, MJ的NPP分别达到CK的1.5倍以上(图3F), 该结果进一步验证了牧鸡的养分添加效应会改善土壤质量进而提高植物群落生产力的研究结论^[12]. 鸡粪是最优质的肥料之一, 含有有机质22.5%、氮1.63%、磷1.54%、钾0.85%, 并含有丰富的微量元素^[50]. 每只鸡一天排泄鸡粪的干物质量约为30 g^[51], 约60%~65%的氮、约90%以上磷和钾可被植物利用^[43]. 自由活动的鸡充当了“施肥机”的角色, 随走随排, 为贫瘠的退化草地土壤提供快速养分补给^[14,52,53], 可以显著提高土壤营养的可利用性^[54], 从而促进植物的生长^[55,56].

牧鸡对退化草地群落盖度的影响不显著, 但年度间和处理×年度间差异显著(表3). 牧鸡初期, 样地盖度低于40%, 随着牧鸡的施肥效应和松土效应显现, 土壤可利用养分含量提高, 植物生长量增加, 盖度随之提

高^[12], 实验第三年, MJ的盖度达到74.3%±12.1%, 为CK的1.5倍(图3E).

尽管研究结果显示牧鸡有利于提高植物群落的盖度和净初级生产力, 但鸡在草地上排泄的既含有大量营养, 又易分解的粪便, 还可能对草地生态系统的其他方面产生重要影响, 例如提高土壤氮矿化^[57], 促进微生物活动^[58]等, 有必要作进一步的研究. 此外, 鸡有喜刨挠和土浴的习性^[38], 鸡群有集群分布特点^[59], 大群牧放时鸡舍周围物种多样性有显著降低的风险^[59], 因此, 在畜禽草耦合应用中应尽量选用小群体牧放鸡方式, 并根据植被生长情况及时轮转.

4 结论

牧鸡过程中, 鸡对草地植物的喜食度存在显著差异, 与植物粗纤维含量负相关, 与植物粗脂肪和粗蛋白含量正相关. 鸡对藜科植物的喜食度较高, 其次喜食豆科和菊科植物, 不喜食禾本科植物. 受鸡的采食和排泄的影响, 牧鸡会影响退化草地生态系统的群落特征, 主要表现为群落高度的显著降低和净初级生产力的显著提升, 但对物种多样性无显著影响. 因此, 依据本实验结果, 将牧鸡引入传统草地畜牧业形成畜禽草耦合模式不会对物种多样性带来负面影响.

致谢 感谢中国科学院植物研究所浑善达克沙地生态研究站提供实验样地支持; 感谢中国科学院植物研究所公共技术服务中心提供的植物营养成分分析测试技术支持.

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: 1–9
- 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 Zou J R, Zhao X Q. Effects of livestock enclosure and grazing on carbon sequestration in grassland ecosystem (in Chinese). *Pratacul Sci*, 2015, 32: 1748–1756 [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 Li W, Xu F, Zheng S, et al. Patterns and thresholds of grazing-induced changes in community structure and ecosystem functioning: Species-level responses and the critical role of species traits. *J Appl Ecol*, 2017, 54: 963–975
- 5 Zhang Y Z, Wang Z Q, Yang Y, et al. Research on the quantitative evaluation of grassland degradation and spatial and temporal distribution on the Mongolia Plateau (in Chinese). *Pratacul Sci*, 2018, 35: 233–243 [张艳珍, 王钊齐, 杨悦, 等. 蒙古高原草地退化程度时空分布定量研究. 草业科学, 2018, 35: 233–243]
- 6 Bai Y, Wu J, Clark C M, et al. Tradeoffs and thresholds in the effects of nitrogen addition on biodiversity and ecosystem functioning: Evidence from Inner Mongolia grasslands. *Glob Change Biol*, 2010, 16: 358–372

- 7 Yu Z, Zeng D, Jiang F, et al. Responses of biomass to the addition of water, nitrogen and phosphorus in Keerqin sandy grassland, Inner Mongolia, China. *J Forry Res*, 2009, 20: 23–26
- 8 He X, Ma W H, Liang C Z, et al. Effects of nutrients additions on community biomass varied among different grassland ecosystems of Inner Mongolia (in Chinese). *Acta Sci Nat-Univ Pekinensis*, 2015, 51: 657–666 [贺星, 马文红, 梁存柱, 等. 养分添加对内蒙古不同草地生态系统生物量的影响. 北京大学学报: 自然科学版, 2015, 51: 657–666]
- 9 Zhao M, Chen X H, Zhao Z Y, et al. Releasing of N, P and K of organic fertilizers and their effects on the contents of available Cu, Zn, Fe and Mn in soil (in Chinese). *Chin J Eco-Agric*, 2007, 15: 47–50 [赵明, 陈雪辉, 赵征宇, 等. 鸡粪等有机肥料的养分释放及土壤有效铜、锌、铁、锰含量的影响. 中国生态农业学报, 2007, 15: 47–50]
- 10 McBride M B. Cadmium uptake by crops estimated from soil total Cd and pH. *Soil Sci*, 2002, 167: 62–67
- 11 Zhang N N, Jia S G, Kang H, et al. Effects of the fresh chicken manure and bio-organic fertilizer on the nutrient deposition of nitrogen, phosphorus and potassium from rapeseed and soil (in Chinese). *Heilongjiang Anim Sci Vet Med*, 2014, (11): 98–100 [张楠楠, 贾淑庚, 陈辉, 等. 鲜鸡粪和生物有机肥对油菜和土壤N、P、K养分沉积的影响. 黑龙江畜牧兽医, 2014, (11): 98–100]
- 12 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*, 2018, 29: 240–249
- 13 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
- 14 Zhang X L, Su H, Li Y G, et al. Effects of different chicken grazing densities on soil nutrients of sandy grassland (in Chinese). *J Shenyang Agric Univ*, 2015, 46: 42–47 [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]
- 15 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
- 16 Wang D L, Wang L. Interactions between herbivores and plant diversity (in Chinese). *Acta Agrestia Sin*, 2011, 19: 699–704 [王德利, 王岭. 草食动物与草地植物多样性的互作关系研究进展. 草地学报, 2011, 19: 699–704]
- 17 Cardinale B J, Palmer M A, Collins S L. Species diversity enhances ecosystem functioning through interspecific facilitation. *Nature*, 2002, 415: 426–429
- 18 Bai Y, Han X, Wu J, et al. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland. *Nature*, 2004, 431: 181–184
- 19 Ding G D, Li S Y, Cai J Y, et al. Pasture resources evaluation and stocking density in Hunshandake Sandy Land: Case study of Zhenglan Banner, Inner Mongolia (in Chinese). *Chin J Ecol*, 2005, 24: 1038–1042 [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]
- 20 Su H, Li Y, Liu W, et al. Changes in water use with growth in *Ulmus pumila* in semiarid sandy land of northern China. *Trees*, 2014, 28: 41–52
- 21 Zhang L Y. Feed Analysis and Quality Test Technology (in Chinese). Beijing: China Agriculture University Press, 2007 [张丽英. 饲料分析及饲料品质检测技术. 北京: 中国农业大学出版社, 2007]
- 22 Li N, Yu W L, Hu X L, et al. Effect of fencing on community characteristics of degenerated grassland in Hunshandake Sandy Land (in Chinese). *J Arid Land Res Environ*, 2009, 23: 157–160 [李那何芽, 余伟莅, 胡小龙, 等. 围栏禁牧对浑善达克沙地退化草场植物群落特征的影响. 干旱区资源与环境, 2009, 23: 157–160]
- 23 Dong M. Survey, Observation and Analysis of Terrestrial Biocommunities (in Chinese). Beijing: Standards Press of China, 1997 [董鸣. 陆地生物群落调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社出版, 1997]
- 24 Guo J X, Li J S, Tand S M, et al. Comparative study on flora of seed plant of steppe in the Loess Plateau and the Inner Mongolia Plateau (in Chinese). *Acta Agrestia Sin*, 2018, 26: 298–305 [郭建鑫, 李金升, 唐士明, 等. 黄土高原与内蒙古高原草原种子植物区系比较研究. 草地学报, 2018, 26: 298–305]
- 25 Golodets C, Kigel J, Sternberg M. Plant diversity partitioning in grazed Mediterranean grassland at multiple spatial and temporal scales. *J Appl Ecol*, 2011, 48: 1260–1268
- 26 Schrama M, Heijning P, Bakker J P, et al. Herbivore trampling as an alternative pathway for explaining differences in nitrogen mineralization in moist grasslands. *Oecologia*, 2013, 172: 231–243
- 27 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
- 28 Liu G H, Wang S P, Zhang Y J, et al. Estimation of diet composition and herbage intake of grazing cows using n-alkane technique in Inner

- Mongolia typical steppes (in Chinese). *Acta Agrestia Sin*, 2009, 17: 693–698 [刘贵河, 汪诗平, 张英俊, 等. 链烷技术估测典型草原放牧牛食性食量方法研究. *草地学报*, 2009, 17: 693–698]
- 29 Zhao D, Liu X M. Changes of organic nitrogen fractions during the decomposition of sheep and cattle dung in Inner Mongolia steppe (in Chinese). *J Inner Mongolia Univ-Nat Sci Ed*, 2018, 49: 174–181 [赵东, 刘新民. 内蒙古典型草原羊粪和牛粪分解过程中有机氮组分的变化. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 2018, 49: 174–181]
- 30 Wang S P, Li Y H, Wang Y F, et al. Influence of different stocking rates on plant diversity of *Artemisia frigida* community in Inner Mongolia steppe (in Chinese). *Acta Bot Sin*, 2001, 43: 89–96 [汪诗平, 李永宏, 王艳芬, 等. 不同放牧率对内蒙古冷蒿草原植物多样性的影响. *植物学报*, 2001, 43: 89–96]
- 31 Lomu M A, Glatz P C, Ru Y J. Metabolizable energy of crop contents in free-range hens. *Int J Poultry Sci*, 2004, 3: 728–732
- 32 Lorenz C, Kany T, Grashorn M. Method to estimate feed intake from pasture in broilers and laying hens. *Archiv für Geflügelkunde*, 2013, 77: 160–165
- 33 Horsted K, Hammershøj M, Hermansen J E. Short-term effects on productivity and egg quality in nutrient-restricted versus non-restricted organic layers with access to different forage crops. *Acta Agric Scand Sect A-Anim Sci*, 2006, 56: 42–54
- 34 Giese M, Brueck H, Gao Y Z, et al. N balance and cycling of Inner Mongolia typical steppe: A comprehensive case study of grazing effects. *Ecol Monogr*, 2013, 83: 195–219
- 35 Li Y L, Shi C J, Cheng J W, et al. The daily intake and forage species selection of three types of grazing livestock on a typical steppe in Inner Mongolia (in Chinese). *Acta Agrestia Sin*, 2018, 26: 1091–1096 [李艳龙, 石椿琚, 程建伟, 等. 内蒙古典型草原三种家畜采食量和食性选择的研究. *草地学报*, 2018, 26: 1091–1096]
- 36 Guo Q, Yin G M, Zhao H P, et al. Study on grazing behavior and feed intake of grazing sheep (in Chinese). *Chin J Grassland*, 2011, 33: 95–98 +110 [郭强, 殷国梅, 赵和平, 等. 放牧绵羊牧食行为及采食量研究. *中国草地学报*, 2011, 33: 95–98+110]
- 37 Liu W T, Wei Z J, Lv S J, et al. Response mechanism of plant diversity to herbivore foraging in desert grassland. *Chin J Plant Ecol*, 2016, 40: 564–573 [刘文亭, 卫智军, 吕世杰, 等. 荒漠草地植物多样性对草食动物采食的响应机制. *植物生态学报*, 2016, 40: 564–573]
- 38 Liu Z Y, Sun T, Yuan F, et al. The effects of temperature on the behaviors of free-ranging chicken in the alpine grassland (in Chinese). *Pratacultural Sci*, 2011, 28: 1370–1373 [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]
- 39 Fanatico A. Sustainable chicken production: Livestock production guide. Arkansas: Appropriate Technoloty Transfer for Rural Areas, 1998
- 40 Bai J H, Wang G C, Bradly B, et al. Prestudy on the volatile organic compound in Inner Mongolia grassland (in Chinese). *Sci Technol Eng*, 2003, 3: 179–181 [白建辉, 王庚辰, Bradly Baker, 等. 内蒙古草地挥发性有机物的预研究. *科学技术与工程*, 2003, 3: 179–181]
- 41 Li Y, Chao X Y, Zhang Y K. Research progress of *Thermopsis lanceolate* (in Chinese). *J Agric Sci*, 2007, 28: 80–84 [李勇, 晁向阳, 张永康. 披针叶黄华的研究进展. *农业科学研究*, 2007, 28: 80–84]
- 42 Li Y, Wei Y M, Shi Y F. Study on toxicity of alkaloids of *Thermopsis lanceolate* (in Chinese). *Prog Vet Med*, 2016, 37: 78–82 [李勇, 魏彦明, 石雅芳. 披针叶黄华生物碱的毒性试验研究. *动物医学进展*, 2016, 37: 78–82]
- 43 Jiang C, Zhang Y J, Luo H L, et al. Optimum combination of plant wax compositions as markers in the composition estimation of dietary plant species of desert steppe in Inner Mongolia (in Chinese). *Acta Agrestia Sin*, 2012, 20: 576–582 [姜超, 张英俊, 罗海玲, 等. 内蒙古荒漠草原区分采食成分的最佳蜡脂指示剂组合. *草地学报*, 2012, 20: 576–582]
- 44 Lou Y J, Li Z W, Massimo M. Study on assessing the intake and the species of grass grazing by alpaca with alkane (in Chinese). *Acta Zoonutr Sin*, 2004, 16: 40–43 [娄玉杰, 李子文, Massimo M. 利用链烷烃测定放牧羊驼采食量及种类的研究. *动物营养学报*, 2004, 16: 40–43]
- 45 Liu G H, Zhang Y J, Wang S P, et al. Estimation of diet composition and herbage intake of grazing sheep at different stocking rates in Inner Mongolia typical steppe by using *n*-alkanes technique (in Chinese). *Acta Pratacul Sin*, 2013, 22: 71–79 [刘贵河, 张英俊, 汪诗平, 等. 链烷技术估测典型草原不同放牧率绵羊食性食量方法研究. *草地学报*, 2013, 22: 71–79]
- 46 Olff H, Ritchie M E. Effects of herbivores on grassland plant diversity. *Trends Ecol Evol*, 1998, 13: 261–265
- 47 Olff H, Ritchie M E, Prins H H T. Global environmental controls of diversity in large herbivores. *Nature*, 2002, 415: 901–904
- 48 Yuan B Z, Wang J, Zhao S L. Plant compensation for animal herbivory—Factors affecting plant compensation (in Chinese). *Chin J Ecol*, 1997, 16: 41–85 [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, 16: 41–85]
- 49 An Y, Li B, Yang C, et al. Plant compensatory growth and grassland sustainable use (in Chinese). *Grassland China*, 2001, 23: 1–5 [安渊, 李博, 杨持, 等. 植物补偿性生长与草地可持续利用研究. *中国草地学报*, 2001, 23: 1–5]
- 50 Li Q W, Luo R. Hen manure resources for comprehensive development and utilization (in Chinese). *Poult Sci*, 2013, (7): 45–48 [李琼文, 罗锐.

鸡粪资源综合利用. 家禽科学, 2013, (7): 45–48]

- 51 Simmons J D, Hughes B L, Allen W H. Research note: Growth and waste production of broilers during brooding. *Poult Sci*, 1987, 66: 762–764
- 52 Shi S N, Yu Z Y, Zeng D H, et al. Effects of chicken grazing intensity and sampling time on soil nitrogen availability in sandy grassland (in Chinese). *Chin J Ecol*, 2013, 2120–2125 [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, 2120–2125]
- 53 Liu X B, Wang S T, Gao C D. Effects of ecology and economic in pastured chicken to control locusts (in Chinese). *Chin J Anim Sci*, 2014, 50: 23–28 [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]
- 54 Frost C J, Hunter M D. Insect canopy herbivory and frass deposition affect soil nutrient dynamics and export in oak mesocosms. *Ecology*, 2004, 85: 3335–3347
- 55 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
- 56 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: 911–916
- 57 Liu B R, Wang C H, Zhang L H, et al. Effect of nitrogen addition and mowing on soil nitrogen mineralization in abandoned grasslands in Inner Mongolia (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2015, 35: 6335–6343 [刘碧荣, 王常慧, 张丽华, 等. 氮素添加和刈割对内蒙古弃耕草地土壤氮矿化的影响. 生态学报, 2015, 35: 6335–6343]
- 58 van der Waal C, Kool A, Meijer S S, et al. Large herbivores may alter vegetation structure of semi-arid savannas through soil nutrient mediation. *Oecologia*, 2011, 165: 1095–1107
- 59 Su H, Liu W, Xu H, et al. A tentative exploration of livestock-poultry-grassland system. *Sci Sin-Vitae*, 2017, 47: 658–667 [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]

Exploration of livestock-poultry-grassland systems: The influences of chicken farming on plant community in degraded grasslands

SU Hua¹, SU BenYing², XU Hong¹, ZHANG XiuJie¹ & LI YongGeng¹

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

² The Science and Technology of Ecology Restoration State Comprehensive Model Bases of Beijing Mentougou District, Beijing 102300, China

Livestock-poultry-grassland (LPG), a novel land use that couples chicken farming and livestock grazing in the grasslands of northern China, has great potential in improving both ecological and productive functions of degraded grasslands. However, previous studies have mainly focused on the influences of chicken farming on grassland production and herder income while ignoring their influences on species diversity. We carried out two experiments to clarify how chicken farming influences the plant communities in degraded grasslands. First, we selected 10 typical plants for a chicken feeding experiment, and results showed that plants in the *Chenopodiaceae* family, such as *Chenopodium glaucum*, were the favorite forage, followed by plants in the *Leguminosae* family, such as *Medicago ruthenica* and *Astragalus adsurgens*, and plants in the *Compositae* family, such as *Taraxacum mongolicum*. Plants in *Gramineae* family were rarely consumed. When chickens were farmed in grasslands, their total intake amount was significantly negatively correlated with plant crude fiber content and was significantly positively correlated with both plant crude fat and crude protein contents. Chickens consumed plants in very low amounts, typically between 3–9 g dry matter per chicken per day, accounting for 4%–11% of the total food intake. In the second experiment, we compared chicken farming (MJ) with zero grazing (CK) in degraded grasslands over 3 years, and results showed that species richness did not significantly differ between treatments or years. There were around 10 species in the plant communities of both MJ and CK during the 3-year period. The Shannon Wiener diversity and evenness indexes of the plant community were maintained at approximately 1.5 and 0.7, respectively. In MJ, plant height in the community was significantly reduced. In the second and third years, compared to CK, the plant height in MJ decreased by 19.1% and 27.2%, respectively. However, in MJ, the net primary production improved, reaching 464.3 g m⁻² yr⁻¹ in the third year, 1.7 times that in CK. Vegetation cover in MJ reached 74.3%, 1.5 times that in CK. Overall, chicken farming had no negative impacts on species diversity. However, if LPG is employed in the future in degraded grasslands, we should pay continuous attention to choosing suitable chicken farming methods and monitoring biodiversity changes and their consequences.

livestock-poultry-grassland system, chicken farming, degraded grassland, feed intake, species diversity, net primary production

doi: [10.1360/SSV-2019-0041](https://doi.org/10.1360/SSV-2019-0041)