

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0162

许庆民, 王云英, 辛莹, 郭小伟, 杜岩功. Meta 分析放牧对中国北方草地生态系统蒸散量的影响. 草业科学, 2020, 37(10): 1952-1958.

XU Q M, WANG Y Y, XIN Y, GUO X W, DU Y G. Meta-analysis of the effect of grazing on grassland evapotranspiration in China. Pratacultural Science, 2020, 37(10): 1952-1958.

Meta 分析放牧对中国北方草地生态系统蒸散量的影响

许庆民¹, 王云英², 辛莹², 郭小伟², 杜岩功²

(1. 青海省生态环境监测中心, 青海 西宁 810007; 2. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001)

摘要: 草地是陆地生态系统的重要组成部分, 放牧为草地最主要的利用方式之一, 而蒸散是关系草地生态系统能量和水分平衡的核心环节。本研究采用 Meta 分析方法, 通过对中国草地已开展的 23 个有关放牧对草地蒸散量影响的试验结果进行耦合分析。结果表明: 放牧对中国草地生态系统蒸散量影响的平均效应值为 -0.21 ± 0.04 , 放牧极显著降低草地蒸散量 ($P < 0.001$)。不同类型草地平均效应值降低幅度从大到小依次为草甸草原、温性草原、高寒草地、荒漠草地; 除荒漠草地外, 放牧显著降低其他 3 种草地蒸散量 ($P < 0.05$)。不同放牧强度对平均效应值具有极显著影响 ($P < 0.0001$)。对草地蒸散量影响顺序从高到低依次为重度、轻度和中度放牧; 中度放牧下草地蒸散量降低幅度最小, 有利于减少土壤水分损失。土壤有机质和全氮对平均效应值具有显著影响 ($P < 0.05$), 分别可以解释 50.48% 和 23.14% 的效应值变异。未来通过对退化草地的有效恢复及草地土壤有机质和全氮含量的提高, 将会有效降低平均效应值, 减少土壤水分蒸散损失, 进而提高水分利用效率。

关键词: 放牧强度; 草地蒸散量; Meta 分析; 平均效应值

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2020)10-1952-07

Meta-analysis of the effect of grazing on grassland evapotranspiration in China

XU Qingmin¹, WANG Yunying², XIN Ying², GUO Xiaowei², DU Yangong²

(1. Qinghai Ecological Environment Monitoring Center, Xining 810007, Qinghai, China;

2. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Science, Xining, 810001, Qinghai, China)

Abstract: Grasslands are important components of terrestrial ecosystems, and grazing is a key way in which grasslands are utilized and managed. In this study, 23 experimental results of grasslands in China were analyzed using meta-analysis. These results showed that the average effect size of grazing on evapotranspiration of grassland ecosystems was approximately -0.21 ± 0.04 , and grazing activities significantly reduced the evapotranspiration of grasslands in China ($P < 0.001$). Furthermore, the order of decreasing average effect size of different grassland types was: meadow grassland, steppe, alpine grassland, and desert grassland. Except for desert grassland, grazing significantly reduced the evapotranspiration of the other grassland types. In addition, grazing intensity had a significant effect on the average effect size, and the order of influence on evapotranspiration was: heavy, light, then moderate. Thus, moderate grazing reduced evapotranspiration least, which was beneficial for the reduction of soil water loss. Both soil organic matter and total nitrogen had significant effects on the average effect value ($P < 0.05$), which could explain the effect value variation of 50.48% and 23.14%, respectively. In

收稿日期: 2020-03-27 接受日期: 2020-05-13

基金项目: 青海省自然科学基金“多稳态高寒草甸关键水文过程对人类干扰的响应机制”(2018-ZJ-914); 国家自然科学基金面上项目“高寒草甸氧化亚氮排放特征对不同种类硝化抑制剂响应”(31770532)

第一作者: 许庆民 (1983-), 男, 山东聊城人, 高级工程师, 硕士, 研究方向为高寒草地与全球变化。E-mail: 403672585@qq.com

通信作者: 杜岩功 (1981-), 男, 山东威海人, 研究员, 博士, 研究方向为草地氮素循环及其环境效应。E-mail: ygdu@nwipb.cas.cn

addition, future effective restoration of degraded grasslands and the improvement of soil organic matter and total nitrogen content will potentially reduce the average effect value of grazing on evapotranspiration, reduce the loss of soil water, and improve water use efficiency.

Keywords: grazing intensity; evapotranspiration; meta-analysis; effect size

Corresponding author: DU Yangong E-mail: ygdu@nwipb.cas.cn

中国草地面积约 4 亿 hm^2 , 约占国土面积的 41.7%, 是中国发展现代畜牧业的重要资源, 也是保障国家生态安全的重要屏障^[1]。随着气候变化、人口数量剧增、经济快速发展和土地利用格局改变, 水循环在区域及全球尺度上均发生明显改变^[2-3]。蒸散是维持地表水平衡和能量平衡的重要组成部分, 可以反映区域水循环特征^[4-5], 也是草地生态系统实际水分利用量的衡量指标^[6]。草地生态系统地表蒸散具有较大的年际变异特征^[5]。降水是草地土壤水分的主要来源, 并通过地下渗漏、地表径流和蒸散而损失^[7], 植物群落生产力主要受控于土壤水分供给状况^[8]。草地生态系统蒸散是土壤水分主要输出量, 也是土壤湿度、气象条件、物种多样性对天然降水再分配的响应^[9]。

放牧是草地生态系统最重要和最经济的利用方式, 长期超载放牧引起我国温带草原近 90% 面积处于退化状态^[1], 适度放牧能增加生物量和物种多样性, 促进植物群落超补偿生长^[10]。重度放牧致使草原植被受到破坏, 对土壤有机质含量和降水截留能力产生影响, 显著降低草地生态系统蒸散量^[9-11]。超载放牧大幅降低表层土壤湿度, 加剧青藏高原和内蒙古草地土壤干旱化^[12-13], 土壤水分是蒸散主要来源, 所以超载放牧对土壤水分形成负反馈, 进一步引起草地蒸散量降低^[14]。长期超载放牧引起草地土壤持水能力减弱, 是导致草地水资源涵养功能降低的重要原因^[15]。

全球气候变暖加剧草地生态系统蒸散量, 降低土壤湿度, 土壤水分严重损失, 植物生长受水分胁迫趋势明显^[16], 增加草地土壤遭受风蚀和沙化风险^[5]。随着蒸散量增加, 青藏高原高寒草地水分利用效率逐渐降低^[6]。Meta 分析可以针对相同或相似问题的多个案例研究得到普遍性结论, 并进行差异原因解析^[17-18]。目前蒸散研究仍然是陆面水循环研究的热点内容^[19], 而有关中国草地生态系统蒸散量对不同放牧强度响应特征的整合研究仍相对比较薄弱。

因此, 本研究基于 Meta 分析结果, 综合不同放牧强度对我国草地生态系统蒸散量影响强度, 解析

平均效应值与气象环境因子及土壤理化性质之间的耦合关系, 探索放牧草地生态系统蒸散量变化特征及其主要影响因素, 为缓解草地退化和提高土壤水分利用效率提供科学依据。

1 研究内容与方法

1.1 数据收集

通过 CNKI 中国知网数据库, 检索条件关键词“放牧”, 且“草地”或者“草原”, 且“蒸散”, 中文论文共搜索到 45 篇。通过原文下载, 按照如下准则进行文章筛选: 研究对象为中国草地, 草地蒸散量采用 Lysmeter 称重法测定, 试验均在生长季开展相关工作。最终 10 篇论文包含 23 组研究数据被采用, 进行统计分析。调查样点主要分布于内蒙古自治区、青海省和宁夏回族自治区。对于论文以图片发表的数据, 采用 WebPlotDigitizer (Version 4.3) 软件进行数据提取^[17]。本研究草地类型和不同放牧强度的划分, 均采用筛选后的文章原文分类方法, 为便于区域比较, 本研究将青藏高原地区高寒草甸和高原草原合成高寒草地。同时提取年均温、降水量、海拔、草地生物量、土壤有机质、全氮、容重数据。本研究引入了分类变量 (即不同放牧强度) 作为解释变量, 探讨不同放牧强度对效应值的影响幅度 (轻度、中度和重度放牧, 以围封作为对照)。

1.2 基于均值的效应值 (响应比)

$$\ln R = \ln \frac{x_e}{x_c} = \ln(x_e) - \ln(x_c)。$$

式中: x_e 为放牧草地蒸散量均值, x_c 为对照的蒸散量均值, $\ln R$ 为响应比^[17-18]。

与效应值相对应的研究内方差:

$$V_{\ln R} = \frac{S_e^2}{N_e x_e^2} + \frac{S_c^2}{N_c x_c^2}。$$

式中: $V_{\ln R}$ 为研究内方差, S_e 为处理的标准差, S_c 为对照的标准差, N_e 和 N_c 分别为处理和对照样本量。

基于随机效应模型的平均效应值及置信区间的

计算:

单个研究结论的权重: $w_i^* = 1/(v_i + \tau^2)$;

平均效应值: $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^k w_i^* y_i}{\sum_{i=1}^k w_i^*}$;

总体标准误差: $SE = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^k w_i^*}}$;

平均效应值的 95% 置信区间: $CI = \bar{y} \pm 1.96 SE$ 。

式中: v_i 表示研究内方差, τ^2 表示研究间方差, y_i 为单个研究效应值。

效应值异质性检验 (heteroskedastic, Q_t):

$Q_t = \sum_{i=1}^k w_i^* (y_i - \bar{y})^2$ 。

解释变量对效应值影响程度检验 (moderator, Q_m):

$Q_m = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^{n_i} w_i^* (y_{ij} - \bar{y})^2$ 。

式中: p 、 n_i 分别表示解释变量异质性检验值和处理样本量; j 、 i 分别代表处理和对照; y_{ij} 表示单个研究结论效应值。

1.3 数据统计分析方法

数据通过 R 语言 (3.6.1 版本) 程序 metafor 1.9-8 软件包进行分析。效应值和平均效应值的计算采用随机效应模型。当效应值的整体异质性很强时 (即 Q_t 值较高, 且 $P < 0.05$), 表明放牧试验的效应值均存在较大差异, 基于混合效应模型, 引入解释变量对这种差异进行分析。发表偏差通过漏斗图对称性检验完成 (egggers regression test), 当 P 值远大于 0.05, 则说明本研究所采用数据的漏斗图检验结果基本对称, 无发表偏差。

2 结果与分析

2.1 放牧对中国草地生态系统蒸散量影响的平均效应值

平均效应值表示放牧处理组与对照组的差异程度, 即表明放牧对草地生态系统蒸散量影响大小的指标, 效应值越大则放牧作用效应越强。放牧对中国草地生态系统蒸散量影响的平均效应值为 -0.21 ± 0.04 (95% 置信区间为 $-0.28 \sim -0.13$) (图 1)。这表明

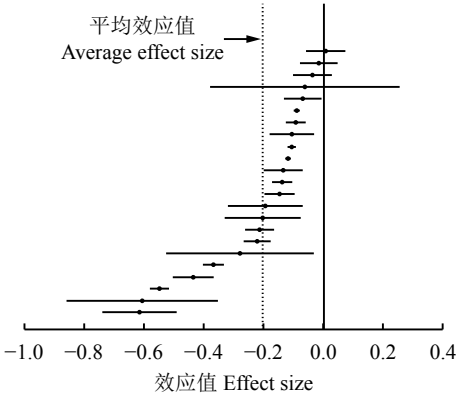


图 1 放牧对中国草地生态系统蒸散量影响的效应值森林图
Figure 1 Forest plot of effect size of grazing activity on grassland evapotranspiration

放牧显著降低中国草地生态系统蒸散量 ($P < 0.001$), 即放牧样地蒸散量约为对照样地的 81.7%。

放牧对不同类型草地蒸散量影响的平均效应值作用强度从高到低依次为草甸草原、温性草原、高寒草地、荒漠草原 (图 2)。放牧活动极显著降低草甸草原、温性草原、高寒草地的蒸散量 ($P < 0.000 1$), 但对荒漠草原无显著影响 ($P > 0.05$)。草甸草原、温性草原的平均效应值均高于中国草地平均效应值。放牧对草地蒸散量影响的效应值异质性检验表明数据异质性很强 ($P < 0.000 1$), 需要引入解释变量 (分类变量和连续变量) 对异质性的来源进行进一步探讨分析。

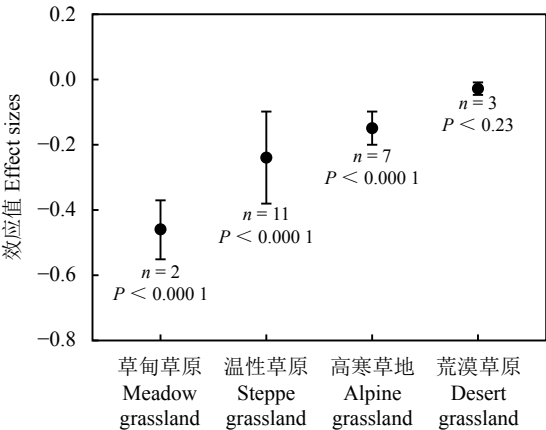


图 2 放牧对不同类型草地平均效应值的影响结果对比分析
Figure 2 Comparison of effect sizes on evapotranspiration between different types of grasslands in China

2.2 不同放牧强度对中国草地生态系统蒸散量影响的平均效应值及异质性检验

不同放牧强度对平均效应值具有极显著影响 ($P < 0.000 1$)。放牧强度对草地蒸散量影响从高到低依次为重度、轻度和中度放牧, 重度放牧与轻度和

中度放牧差异显著 ($P < 0.05$), 中度放牧与轻度放牧活动无显著差异 ($P > 0.05$) (表 1)。中度放牧下草地蒸散量降低幅度最小, 有利于减少草地土壤水分损失。残差异质性检验结果表明残差仍具有异质性, 需要引入其解释变量 ($P < 0.000\ 1$)。

2.3 平均效应值对气候因子及土壤理化性质等连续变量的响应特征

本研究进一步引入了年均气温、降水量、海拔、草地生物量、土壤有机质、全氮、容重等连续变量。解释变量异质性检验结果发现: 土壤有机质和全氮对平均效应值具有显著影响 ($P < 0.05$) (表 2)。基于拟合方程结果, 可以发现平均效应值与有机质、全氮、生物量之间存在负相关关系, 而与土壤容重、海

表 1 不同放牧强度对平均效应值的影响及 95% 置信区间
Table 1 Effects of grazing intensity on average effect size

放牧强度 Grazing intensity	平均效应值 Effect sizes	95%置信区间 Confidence interval
轻度放牧 Light grazing	$-0.16 \pm 0.07a$	$-0.27 \sim -0.02$
中度放牧 Moderate grazing	$-0.14 \pm 0.06a$	$-0.31 \sim -0.02$
重度放牧 Heavy grazing	$-0.27 \pm 0.06b$	$-0.38 \sim -0.16$

同列不同字母表示不同放牧强度之间差异显著 ($P < 0.05$)。
Different lowercase letters within the same column indicate significant differences between different grazing intensity at the 0.05 level.

拔、年均气温和降水量间均存在正相关关系。土壤有机质和全氮含量分别可以解释 50.48% 和 23.14% 的效应值变异。

表 2 放牧平均效应值对气象因子和土壤理化性质的响应
Table 2 Response of cumulative effect sizes on soil physical and climate factors

解释变量 Moderators (x)	异质性检验 Test of heterogeneity (Q_m)	P	拟合方程 Simulated equation	效应值变异 R^2 Effect size variation/%
有机质 Soil organic matter	7.80	< 0.01	$y = 1.31 - 0.27x$	50.48
全氮 Total nitrogen	5.19	< 0.05	$y = -0.16 - 0.16x$	23.14
容重 Soil bulk density	2.77	0.10	$y = -0.83 + 0.53x$	15.43
海拔 Altitude	1.99	0.16	$y = -0.30 + 0.001x$	4.76
年均气温 Mean air temperature	0.09	0.76	$y = -0.21 + 0.006x$	0.02
降水量 Precipitation	0.05	0.82	$y = -0.23 + 0.000\ 1x$	0.01
生物量 Biomass	0.01	0.96	$y = -0.26 - 0.000\ 1x$	0.00

y表示平均效应值。
y means average effect size.

2.4 放牧对草地氧化亚氮排放影响效应值漏斗图的对称性检验

Meta 分析是对效应值和平均效应值的定量化评价, 数据来源于公开发表的论文, 这可能会受论文选择性偏倚的影响。通过对漏斗图的对称性进行检验 ($z = -1.26$, $P = 0.21$), 发现 P 值远大于 0.05, 这说明本研究所采用数据的漏斗图检验结果基本对称 (图 3)。因此, 本研究并无研究论文发表偏爱性, 研究结果具备充分可信度。

3 讨论

草地生态系统是我国最大的生态系统类型^[1, 20], 分析放牧干扰对区域草地蒸散量的影响, 有助于指导放牧制度的合理制定和缓解水资源短缺, 为草地生态系统可持续发展提供依据^[4, 21]。

本研究发现放牧干扰对中国草地生态系统蒸散

量具有显著影响, 并且重度放牧的负向平均效应值最高, 显著高于轻度和中度放牧活动。中度放牧制度最有利于降低草地生态系统蒸散量, 提高水分利用效率。这可能是因为重度放牧下草地受家畜啃食和践踏, 草地植被覆盖度相对较低, 而植物的蒸腾

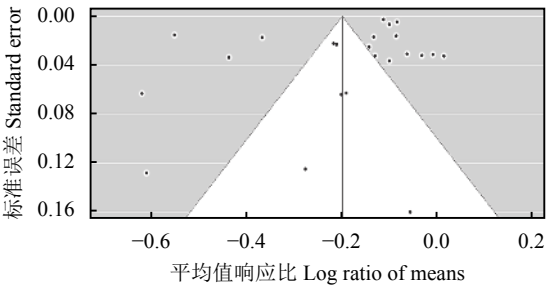


图 3 放牧对我国北方草地生态系统蒸散量影响的发表偏爱性检验
Figure 3 Eggers regression test for funnel plot asymmetry on effects size of grazing on grassland evapotranspiration in China

又是蒸散的主要部分,因而放牧导致植被的减少是整个群落蒸散减少的主要原因^[14,22]。此外,重度退化草地上小嵩草草甸逐渐成为优势物种,其地下根系极度发育,导致土壤容重降低,孔隙含量增加,土壤水分发生渗漏,进而降低土壤湿度和蒸散量^[11],草地土壤没有多余水分供给次年植物吸收利用,且形成负反馈^[12]。相似研究也表明重度放牧大幅降低表层土壤湿度,长期过度放牧加剧内蒙古草地土壤干旱化^[12]。随着高寒草地退化加剧,花朵鲜艳的杂类草占群落植物总量的比例逐渐增加,从而增强了地表反照率,进而降低了净辐射对蒸散的贡献,使得退化草地蒸散量减少^[23]。而适度放牧抑制农牧交错带牧草植被生长^[24],可以减少植被蒸散,提高土壤水分固持能力,维持土壤水分可持续利用^[25]。

草地生态系统蒸散量受降水、气温、土壤理化性质等多因素影响^[11,26]。降水量和植被蒸腾是影响宁夏荒漠草地土壤蒸散量的主要因素^[24]。气温是青藏高原高寒草地生产力的重要限制性因素,模拟增温显著增加高寒草地蒸散量^[6]。但本研究发现气温和降水量对平均效应值的影响作用均比较微弱,这

可能是因为中国北方草地均处于干旱和半干旱区,区域尺度上多年平均降水量和平均气温背景值均较低,与放牧干扰的耦合关系较弱。相似研究也发现气温对中亚干旱区草地蒸散量影响相对较弱^[4]。本研究发现土壤有机质和全氮含量是影响放牧对草地蒸散量平均效应值的主要调控因素。这可能是因为围封和适度放牧利用草地土壤有机碳、全氮含量均显著高于重度放牧样地^[21,27],土壤容重和微团聚体结构增加,土壤持水能力增加,有效降低水分的蒸散损失^[11]。

4 结论

1) 放牧干扰显著降低中国草地生态系统蒸散量,但是针对不同类型草地,放牧并未显著影响荒漠草地蒸散量。2) 不同放牧强度对平均效应值具有极显著影响。重度放牧对蒸散量的影响显著高于轻度和中度放牧干扰。中度放牧下草地蒸散量降低幅度最小,相比于重度和轻度放牧,可更有效减缓草地土壤水分损失。3) 土壤有机质和全氮对平均效应值具有显著影响,均可较好地解释该研究的效应值变异。

参考文献 References:

- [1] 侯向阳. 可持续挖掘草原生产潜力的途径、技术及政策建议. *中国农业科学*, 2016, 49(16): 3229-3238.
HOU X Y. Priority approaches, techniques and models to sustainably tap the grassland productivity potential. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(16): 3229-3238.
- [2] ZIKA J D, SKLIRIS N, NURSER A J G. Maintenance and broadening of the ocean's salinity distribution by the water cycle. *Journal of Climate*, 2015, 3(2): 215-232.
- [3] GUO X E, DAI L C, LI Q, QIAN D W, CAO G M, ZHOU H K, DU Y G. Light grazing significantly reduces soil water storage in alpine grasslands on the Qinghai-Tibet Plateau. *Sustainability*, 2020, 12: 2573-2584.
- [4] 张建财, 张丽, 郑艺, 田向军, 周宇. 基于 LPJ 模型的中亚地区植被净初级生产力与蒸散模拟. *草业科学*, 2015, 32(11): 1721-1729.
ZHANG J C, ZHANG L, ZHENG Y, TIAN X J, ZHOU Y. Simulation of vegetation net primary and evapotranspiration based on LPJ model in Central Asia. *Pratacultural Science*, 2015, 32(11): 1721-1729.
- [5] 辛蕙羽, 王凯, 杨新明, 郑循华, 陈权亮. 半干旱夏季放牧草地能量收支和地表蒸散量变化特征. *成都信息工程学院学报*, 2014, 29(5): 94-101.
XIN H Y, WANG K, YANG X M, ZHENG X H, CHEN Q L. The variation characteristics of surface energy budget and evapotranspiration over a summer grazed semi-arid grassland. *Journal of Chengdu University of Information Technology*, 2014, 29(5): 94-101.
- [6] 米兆荣, 陈立同, 张振华, 贺金生. 基于年降水、生长季降水和生长季蒸散的高寒草地水分利用效率. *植物生态学报*, 2015, 39(7): 649-660.
MI Z R, CHEN L T, ZHANG Z H, HE J S. Alpine grassland water use efficient based on annual precipitation growing season precipitation and growing season evapotranspiration. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2015, 39(7): 649-660.
- [7] 李红琴, 乔小龙, 张镡锂, 张法伟, 李英年. 封育对黄河源头玛多高寒草原水源涵养的影响. *水土保持学报*, 2015(1): 195-200.
LI H Q, QIAO X L, ZHANG Y L, ZHANG F W, LI Y N. Effects of fencing on the soil water conversation in Maduo alpine grassland-source of Yellow River. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2015(1): 195-200.

- [8] 殷国梅, 边继武, 张园园, 刘思博, 薛艳林, 李敬忠. 不同放牧率下冷蒿生物量对蒸散的影响. *畜牧与饲料科学*, 2018, 39(1): 29-32.
YIN G M, BIAN J W, ZHANG Y Y, LIU S B, XUE Y L, LI J Z. Effect of biomass on evapotranspiration in *Artemisia frigida* at different stocking rates. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2018, 39(1): 29-32.
- [9] 许庆民, 周赓, 郭小伟, 曹莹芳, 杜岩功. 青藏高原高寒草甸群落特征对氮沉降和增水的响应. *草原与草坪*, 2017, 37(5): 8-13.
XU Q M, ZHOU G, GUO X W, CAO Y F, DU Y G. Response of plant community on nitrogen deposition and adding precipitation in alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Grassland and Turf*, 2017, 37(5): 8-13.
- [10] 刘树敏. 不同放牧压力下大兴安岭西麓草甸草原群落土壤特征及水分利用变化研究. 呼和浩特: 内蒙古大学硕士学位论文, 2016.
LIU S M. Study on soil characteristics and water use change of meadow community in the western foot of Daxinganling Mountains under different grazing pressures. Master Thesis. Hohhot: Inner Mongolia University, 2016.
- [11] 贺慧丹, 祝景彬, 未亚西, 李红琴, 杨永胜, 李英年. 牧压梯度下高寒草甸实际蒸散量及植物生产水分有效利用率的研究. *生态环境学报*, 2017, 26(9): 1488-1493.
HE H D, ZHU J B, WEI Y X, LI H Q, YANG Y S, LI Y N. Study on the actual evapotranspiration and the water utilization effectively in alpine meadow under different grazing gradients. *Ecology and Environmental Sciences*, 2017, 26(9): 1488-1493.
- [12] 陈有君. 典型草原区土壤湿度的时序特征. 呼和浩特: 内蒙古农业大学硕士论文, 2006.
CHEN Y J. Temporal characteristics of soil moisture in typical grassland. Master Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2006.
- [13] 戚培同, 古松, 唐艳鸿, 杜明远, 吴力博, 赵亮. 三种方法测定高寒草甸生态系统蒸散比较. *生态学报*, 2008, 28(1): 202-211.
QI P T, GU S, TANG Y H, DU M Y, WU L B, ZHAO L. Comparison of three methods for measurement of evapotranspiration in an alpine meadow. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 202-211.
- [14] 舒锴, 柯浔, 辛莹, 郭小伟, 曹广民, 杜岩功, 周华坤. 青藏高原多稳态高寒草甸生态系统蒸散特征对比研究. *草原与草坪*, 2019, 39(6): 83-88.
SHU K, KE X, XIN Y, GUO X W, CAO G M, DU Y G, ZHOU H K. Comparative study on evapotranspiration characteristics of multiple-stable alpine meadow ecosystem. *Grassland and Turf*, 2019, 39(6): 83-88.
- [15] ESHTAWI T, EVERS M, TISCHBEIN B. Integrated hydrologic modeling as a key for sustainable urban water resources planning. *Water Research*, 2016, 101: 411-428.
- [16] 张核真, 路红亚, 洪健昌, 马鹏飞. 藏西北地区气候变化及其对草地畜牧业的影响. *干旱区研究*, 2013, 30(2): 308-314.
ZHANG H Z, LU H Y, HONG J C, MA P F. Climate change and its effect on steppe animal husbandry in northwest Tibet. *Arid Zone Research*, 2013, 30(2): 308-314.
- [17] BURDA B U, O'CONNOR E A, WEBBER E M. Estimating data from figures with a Web-based program: Considerations for a systematic review. *Research Synthesis Methods*, 2017, 8(3): 258-263.
- [18] ZHAN T Y, ZHANG Z C, SUN J, LIU M, ZHANG X B, PENG F, TSUNEKAWA A, ZHOU H K, GOU X W, FU S. Meta-analysis demonstrating that moderate grazing can improve the soil quality across China's grassland ecosystems. *Applied Soil Ecology*, 2019, 147: 103438.
- [19] DAI L C, KE X, GUO X W, DU Y G, ZHANG F W, LI Y K, LI Q, LIN L, PENG C J, SHU K, CAO G M. Responses of biomass allocation across two vegetation types to climate fluctuations in the northern Qinghai-Tibet Plateau. *Ecology and Evolution*, 2019, 9(10): 6105-6115.
- [20] 王德利, 王岭. 草地管理概念的新释义. *科学通报*, 2019, 64(11): 1106-1113.
WANG D L, WANG L. A new perspective on the concept of grassland management. *Chinese Science Bulletin*, 2019, 64(11): 1106-1113.
- [21] DU Y G, SHU K, GUO X W, ZHU P J. Moderate grazing promotes grassland nitrous oxide emission by increasing ammonia-oxidizing archaea abundance on the Tibetan Plateau. *Current Microbiology*, 2019, 76(5): 620-625.
- [22] 杜岩功, 崔晓勇, 葛劲松, 赵旭东, 任杰, 王勇. 三江源地区高寒草地群落特征研究. *草业科学*, 2010, 27(3): 9-14.
DU Y G, CUI Y X, GE J S, ZHAO X D, REN J, WANG Y. Community characteristics study on alpine grassland in source regions of three rivers. *Pratacultural Science*, 2010, 27(3): 9-14.
- [23] 李婧梅, 蔡海, 程茜, 乔春连, 褚晖, 陈懂懂, 徐世晓, 赵新全, 赵亮. 青海省三江源地区退化草地蒸散特征. *草业学报*, 2012, 21(3): 223-233.
LI J M, CAI H, CHENG Q, QIAO C L, CHU H, CHEN D D, XU S X, ZHAO X Q, ZHAO L. Characterizing the evapotranspiration

of a degraded grassland in the Sanjiangyuan Region of Qinghai Province. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21(3): 223-233.

[24] 刘娜娜, 陈丽丽, 孔德杰. 宁夏盐池不同草地类型的土壤水分平衡研究. *水土保持研究*, 2016, 23(1): 23-28.
LIU N N, CHEN L L, KONG D J. Soil moisture budget in different types of grasslands in Yanchi County of Ningxia arid zone. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(1): 23-28.

[25] 米雪, 李晓兵, 王宏, 黄奇, 白云晓. 内蒙古典型草原不同放牧强度下羊草光合生理生态特性分析. *中国草地学报*, 2015(3): 94-100.
MI X, LI X B, WANG H, HUANG Q, BAI Y X. Photosynthetic ecophysiology characteristics of *Leymus chinensis* under different grazing intensities in Inner Mongolia steppe. *Chinese Journal of Grassland*, 2015(3): 94-100.

[26] HOVENDEN M J, NEWTON C D, WILLS K E. Seasonal not annual rainfall determines grassland biomass response to CO₂. *Nature*, 2014, 511: 583-586.

[27] CHEN L T, JING X, DAN F B F, SHI Y, KUHN P, SCHOLTEN T, HE J S. Changes of carbon stocks in alpine grassland soils from 2002 to 2011 on the Tibetan Plateau and their climatic causes. *Geoderma*, 2017, 288: 166-171.

(责任编辑 张瑾)

2020 年 9 月国际市场主要畜产品与饲料价格分析

9 月国际饲料价格除棉籽饼和苜蓿粉外, 其他饲料价格持续上涨; 畜产品市场价格除育肥牛、牛奶、鸡肉和牛肉外, 其他畜产品价格持续上涨。

一、国际饲料市场除棉籽饼和苜蓿粉外, 其他饲料价格持续上涨

9 月份棉籽饼和苜蓿粉平均价格分别为 285.75 和 305.00 USD·t⁻¹, 环比分别下跌 0.57% 和 0.85%。玉米、大豆、高粱、豆粕、菜籽和豆粉平均价格分别为 143.75、366.58、188.90、357.08、397.49 和 319.72 USD·t⁻¹, 环比分别上涨 11.61%、10.25%、27.64%、11.62%、5.83% 和 10.61%。

二、畜产品市场价格除育肥牛、牛奶、鸡肉和牛肉外, 其他畜产品价格持续上涨

9 月份育肥牛、牛奶、欧盟鸡肉和牛肉市场价格分别为 3.09、0.26、2.43 和 4.73 USD·kg⁻¹, 环比分别下跌 2.08%、0.83%、0.79% 和 2.46%。其他畜产品, 瘦肉猪、新西兰羊肉、羊羔肉和欧盟猪肉市场价格分别为 1.44、4.58、6.26 和 1.54 USD·kg⁻¹, 环比依次上涨 23.07%、1.94%、1.65% 和 4.84%。

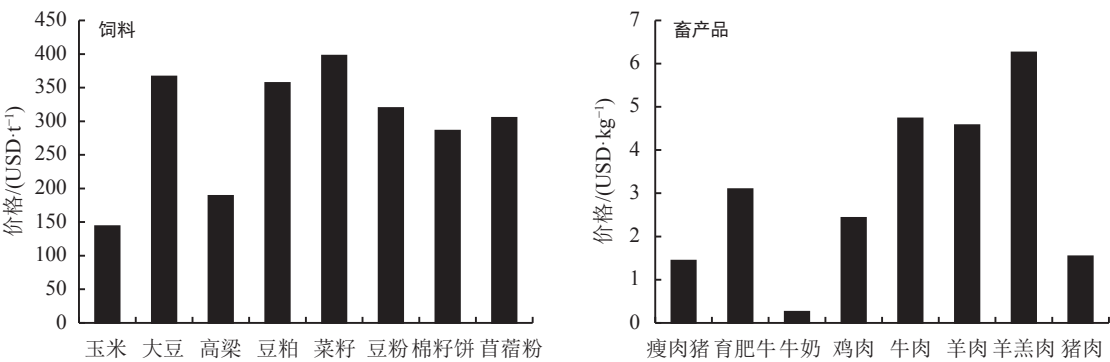


图 1 2020 年 9 月国际市场主要饲料与畜产品价格

数据来源: 国际市场商品价格网 <http://price.mofcom.gov.cn/>; 中国农业信息 <http://www.agri.gov.cn/>; 鸡肉 <http://www.indexmundi.com/>; 羊肉 <http://interest.co.nz/rural>; 牛肉 <http://www.thebeefsite.com/>; 猪肉 <http://www.thepigsite.com/>; 货币汇率 <http://qq.ip138.com/hl.asp>。

(兰州大学草地农业科技学院 杨春涛 整理)