

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0372

王玲, 施建军, 尚占环, 史惠兰, 陈伟元, 更尕陈林, 更求巴毛. 磷肥对环青海湖高寒草原植物群落特征的影响. 草业科学, 2019, 36(5): 1224-1230.

WANG L, SHI J J, SHANG Z H, SHI H L, CHEN W Y, Genggachenlin, Gengqiubamao. Effects of phosphatic fertilizer addition on plant community characteristics in an alpine grassland around Qinghai Lake. Pratacultural Science, 2019, 36(5): 1224-1230.

磷肥对环青海湖高寒草原植物群落特征的影响

王玲^{1,2}, 施建军^{1,2}, 尚占环³, 史惠兰², 陈伟元^{1,2},
更尕陈林⁴, 更求巴毛⁴

(1. 青海省畜牧兽医科学院, 青海 西宁 810016; 2. 青海大学农牧学院, 青海 西宁 810016; 3. 兰州大学生命科学学院, 甘肃 兰州 730000; 4. 长江源(可可西里) 园区国家公园管理委员会治多管理处生态保护站, 青海 治多 814599)

摘要: 为探讨环青海湖地区高寒草原适宜的磷肥施用量, 2017 年在海晏县西海镇轻度退化高寒草原上, 选用磷酸二铵, 设置 0(CK)、120(P₁)、240(P₂)、360(P₃)、480 kg·hm⁻²(P₄) 5 个施肥梯度, 以草原植物群落特征变化为指标, 筛选区域磷肥增施的优化方案。结果表明, 增施磷酸二铵后草原植物群落中禾本科、莎草科和豆科植物的重要值显著增加 ($P < 0.05$), 其中青藏扁蓿豆 (*Melilotoides archiducis-nicolai*) 的盖度和重要值极显著增加 ($P < 0.01$)。不同施肥梯度下草原群落生物量显著增加 ($P < 0.05$), 磷酸二铵施用量为 120~240 kg·hm⁻² 时草地群落生物量较高, 比对照提高 31.28%~47.13%, 净收益比对照增加 28.42%~38.37%。适宜环青海湖高寒草原经济可行的磷酸二铵施用量为 120~240 kg·hm⁻²。

关键词: 磷酸二铵; 高寒草原; 群落特征; 生物量

中图分类号: S812.4 文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2019)05-1224-07

Effects of phosphatic fertilizer addition on plant community characteristics in an alpine grassland around Qinghai Lake

WANG Ling^{1,2}, SHI Jianjun^{1,2}, SHANG Zhanhuan³, SHI Huilan², CHEN Weiyuan^{1,2},
Genggachenlin⁴, Gengqiubamao⁴

(1. Qinghai Academy of Animal Science and Veterinary Medicine, Xining 810016, Qinghai, China;
2. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, Qinghai, China;
3. College of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China;
4. Yangtze River Source (Kekexili) Park National Park Management Committee Ecological Protection Station, Zhiduo 814599, Qinghai, China)

Abstract: To determine the suitable amount of phosphate fertilizer to be used in an alpine grassland in the area surrounding Qinghai Lake, experiments were conducted in the mildly degraded alpine grassland of Xihai Town, Haiyan County in 2017. Treatments included 0 (CK), 120 (P₁), 240 (P₂), 360 (P₃), and 480 kg·ha⁻¹(P₄). The goal of the research was to examine the change in grassland plant community characteristics, to determine the optimal scheme for regional fertilization. The results showed that the application of diammonium phosphate significantly increased the important values for grasses, sedges, and legumes in grassland communities ($P < 0.05$). In particular, the coverage and importance value of lentils (*Melilotoides*

收稿日期: 2018-06-14 接受日期: 2018-12-01

基金项目: 青海省自然科学基金 (2014-ZJ-904); 青海省重大专项 (2016-NK-A7-01); 科技部重点研发计划 (2016YFC0501902-06)

第一作者: 王玲 (1993-), 女, 河南商人, 在读硕士生, 主要从事高寒草地生态研究。E-mail: 1109949426@qq.com

通信作者: 施建军 (1971-), 男, 甘肃临泽人, 研究员, 博士, 主要从事高寒草地生态研究。E-mail: 378605242@qq.com

archiducis-nicolai) ($P < 0.01$). The biomass of the grassland community increased significantly under different fertilization gradients ($P < 0.05$). The biomass of grassland community was higher, which was 31.28%~47.13% higher than that of the control, When the application rate of diammonium phosphate was 120~240 kg·ha⁻¹. The net income increased by 28.42%~38.37% compared with the control. The economically feasible amount of DAP was 120~240 kg·ha⁻¹ in the alpine grassland around Qinghai Lake.

Keywords: diammonium phosphate; alpine grassland; community characteristics; biomass

Corresponding author: SHI Jianjun E-mail: 378605242@qq.com

磷是限制植物生长发育的主要营养元素之一, 通过施加磷肥能增加土壤中营养含量, 为植物生长提供必需养分^[1]。多项研究表明在天然草地施入肥料, 一方面可提高优良牧草的分蘖数和株高, 增加优良牧草在草地群落中的比例^[2]; 另一方面可加速植物光合速率, 提高植物体内叶绿素的含量, 增加牧草产量, 改善牧草品质^[3-6]。施肥因草地类型和区域不同, 其合理施用量也不同^[2, 4]。近年来高寒草地施肥改良的研究主要集中在东北以及青海省三江源地区, 以有机肥、N、P、K 以及中微量元素肥料为基础的试验研究^[4, 6-8]。环青海湖区域施肥研究主要以高寒草甸羊粪添加以及施肥和围栏封育等调控措施为手段, 旨在寻求退化草地恢复的最佳途径, 而针对环青海湖高寒草地区域改良的相关研究很少^[9-11], 尤其是针对轻度退化高寒草地的研究尚少见报道。由于青藏高原特殊的生态系统以及土壤类型, 高寒草地对肥料添加的反应极其敏感, 施肥量过高会抑制植物生长发育, 影响植物群落生产力, 对牧草造成损害^[8]。为丰富区域施肥方案、指导区域天然草地合理施肥提供技术支撑和理论依据, 于2017年在青海省海北藏族自治州西海镇开展了不同水平磷酸二铵添加试验, 并以三江源区及青海湖地区草地施肥的研究成果为依据^[3-4, 6-9, 12], 结合试验区天然草地植被-土壤现状, 合理设置5个施肥梯度, 从中筛选出适合该地区高寒草原经济可行的磷酸二铵施用量。

1 材料与方法

1.1 试验样地基本概况

试验地选在青海省海北藏族自治州海晏县西海镇 (100°53′-101°54′ E, 36°58′-36°56′ N) 轻度退化高寒草原上, 平均海拔3210 m, 气候寒冷, 年

均温在1.5℃上下浮动, 年日照时间约2980 h, 年降水量为400 mm, 年蒸发量为1581.75 mm, 无绝对无霜期。草地类型为高寒草原。主要优势植物种有紫花针茅 (*Stipa capillata*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*); 主要伴生种有羊茅 (*Festuca ovina*)、青藏扁蓿豆 (*Melilotoides archiducis-nicolai*) 等; 毒杂草有瑞香狼毒 (*Stellera chamaejasme*)、甘肃棘豆 (*Oxytropis kansuensis*) 等。地形为略有起伏的缓坡地, 土壤为高山草甸土, pH 为7.84。0-30 cm 土壤有机质含量在10%以上, 速效磷含量104.93 mg·kg⁻¹, 速效氮含量4.79 mg·kg⁻¹, 其中氨态氮含量2.61 mg·kg⁻¹, 硝态氮含量2.18 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验地面积约67 hm², 四周用电围栏保护。在试验地中较为平坦且植被较为均一的区域选取面积为1000 m² (20 m × 50 m) 的试验样地3块, 每块重复样地划分为5个面积为200 m² (20 m × 10 m) 的试验小区, 按5个不同梯度施肥处理布设施肥试验, 随机区组设计。以三江源区及青海湖地区草地施肥的研究成果为依据^[3-4, 6-9, 12], 并结合试验区天然草地现状, 合理设置5个施肥处理。即CK, 0 kg·hm⁻²; P₁, 120 kg·hm⁻²; P₂, 240 kg·hm⁻²; P₃, 360 kg·hm⁻²; P₄, 480 kg·hm⁻²。肥料为云南云天化牌磷酸二铵 (N ≥ 18.0%, P₂O₅ ≥ 46.0%)。施肥时间为2017年6月28日, 采用撒施的方法, 均匀撒到试验小区中。

1.3 测定指标与方法

2017年9月上旬, 每个处理重复取样6次, 取样面积为50 cm × 50 cm。利用植物群落学方法分别测定不同处理的群落总盖度、每种植物分盖度、植物自然高度^[13]。紫花针茅等禾本科植物磷利用率高, 能快速生长遮挡其他矮小植物; 磷有增强青

藏扁蓿豆根瘤的固氮能力，能促进其快速生长发育。优势种紫花针茅和伴生种青藏扁蓿豆可作为典型植物进行分析。并按照禾本科、莎草科、豆科等植物学特征对样方内植物进行分类，称取鲜重后在 80 °C 烘箱中烘干至恒重，测定地上生物量。

1.4 数据计算方法

群落多样性采用 Shannon-Wiener 指数 (H)、Pielou 均匀度指数 (E) 和丰富度指数 (S) 来计算。重要值是度量群落水平反应的综合数量指标，计算公式如下：

重要值 (P_i) = (相对盖度 + 相对高度 + 相对生物量) × 100 / 3;

$$H = -\sum P_i \ln P_i;$$

$$E = H / \ln S.$$

式中： P_i 为种 i 的重要值， S 为种 i 所在样方的物种数目。

1.5 统计分析

利用 Excel 2007 软件进行数据处理与作图，运用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析 (One-way ANOVA)。

2 结果与分析

2.1 不同磷肥水平对高寒草地植物群落特征的影响

2.1.1 对高寒草地群落盖度的影响

不同磷肥水平下，群落总盖度大小排序为 $P_3 > P_2 > P_4 > P_1 > CK$ (图 1)。 P_3 处理下，群落总盖度为 100%，比 CK 处理高 8%； P_1 处理下，群落总盖度为 95%，比 CK 处理高 2%；各施肥处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。优势种紫花针茅盖度在 P_3 处理下最大，为 34.54%，比 CK 处理高 25.45% ($P < 0.05$)。伴生种青藏扁蓿豆的盖度在 P_2 处理下最大，为 34.17%，比 CK 处理高 120.42% ($P < 0.05$)；各施肥处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。磷酸二铵对高寒草地群落总盖度的影响不显著，但对扁蓿豆的盖度影响显著。

2.1.2 对不同经济类群重要值的影响

不同经济类群重要值对磷酸二铵的响应不同，相同经济类群重要值对磷酸二铵不同施用量的响应亦不同。磷酸二铵能促进禾本科、莎草科和豆科植物重要值的增加，但杂类草重要值却有所降低

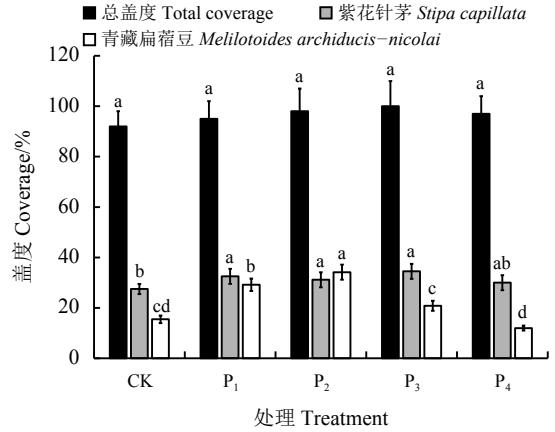


图 1 不同施肥水平对植物盖度的影响

Figure 1 Effect of different fertilization levels on plant coverage

同一类群中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

CK, 0; P_1 , 120 $kg \cdot hm^{-2}$; P_2 , 240 $kg \cdot hm^{-2}$; P_3 , 360 $kg \cdot hm^{-2}$; P_4 , 480 $kg \cdot hm^{-2}$. Different lowercase letters within the same group indicates significant difference between different degraded grasslands at the 0.05 level; similarly for the following figures.

(图 2)。 P_3 处理下，禾本科、莎草科和豆科植物重要值均最大，而杂类草重要值最小。禾本科植物重要值在不同施肥水平下均明显高于其他经济类群，表明禾本科在不同处理间均占据重要地位。增施磷酸二铵后，禾本科植物重要值比 CK 组增加 13.16%~31.58%，莎草科植物重要值比 CK 组增加 14.29%~35.71%，豆科植物重要值比 CK 组增加 11.11%~44.44%，杂类草植物重要值比 CK 组减少 18.75%~35.42%。除豆科外其他经济类群各处理间不同重要值与 CK 组比较差异显著 ($P < 0.05$)。说明磷酸二铵对高寒草地不同经济类群重要值的影响显著。

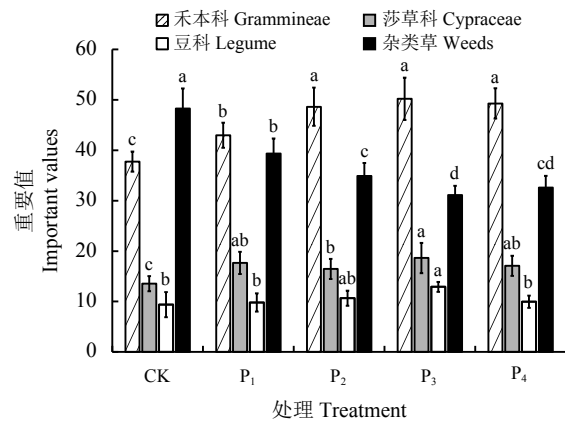


图 2 不同施肥水平对不同经济类群重要值的影响

Figure 2 Effect of different fertilization levels on importance values of different economic groups

2.1.3 对群落多样性的影响

物种多样性是反映植物群落内各物种组成、结构和动态差异程度的指标。增施磷酸二铵后，不同施肥处理与对照相比，群落物种数减少，丰富度指数降低，但它们之间差异不显著 ($P > 0.05$)，表明不同施肥量对群落物种无规律性影响 (图 3)。Shannon-Wiener 指数随施肥量增加呈“W”型变化趋势，与对照相比，各处理下多样性指数有所下降，但各处理间差异亦不显著 (图 4)。不同施肥梯度下，Pielou 均匀度指数先降低后上升， P_2 处理下均匀度指数最低， P_1 处理下均匀度指数最高，但各处理间差异也不显著 (图 5)。表明增施磷酸二铵对高寒草地物种多样性和均匀性无显著影响。

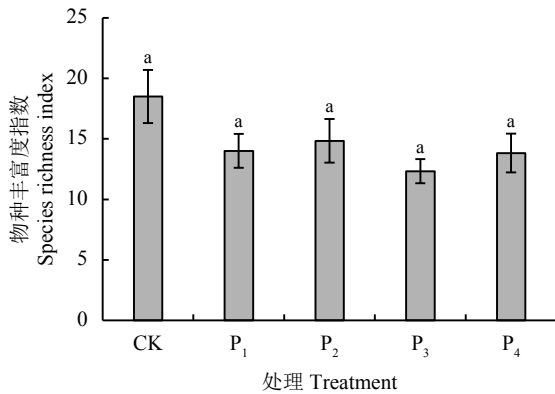


图 3 不同施肥水平处理对物种丰富度指数的影响
Figure 3 Effect of different fertilization level treatments on the species richness index

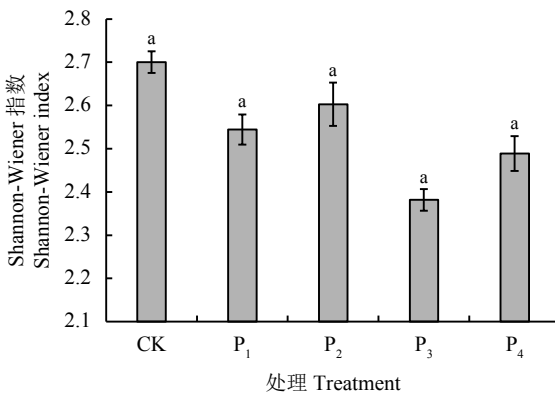


图 4 不同施肥水平处理对 Shannon-Wiener 指数的影响
Figure 4 Effect of different fertilization level treatments on the Shannon-Wiener index

2.2 不同磷肥水平对植物群落生产性能的影响

2.2.1 对高寒草地地上生物量的影响

高寒草地群落生物量与磷酸二铵施用量呈二次

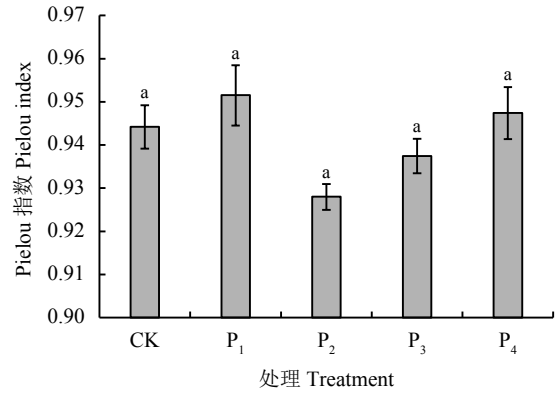


图 5 不同施肥水平处理对均匀度指数的影响
Figure 5 Effect of different fertilization treatments on the Pielou index

相关的抛物线型变化趋势，相关性方程为 $y = -0.0197x^2 + 11.023x + 3140.4$ ，相关性指数为 0.9979，呈显著相关关系 (图 6)。增施磷酸二铵，群落生物量明显增加，除 P_4 外，其余处理显著高于 CK ($P < 0.05$)。 P_2 处理下，群落生物量最高，为 $4645.92 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，与 CK 相比增加 47.13%，与 P_1 相比增加 12.07%，与 P_4 相比增加 20.21%，各处理之间差异显著；与 P_3 相比增加 1.27%，差异不显著 ($P > 0.05$)。

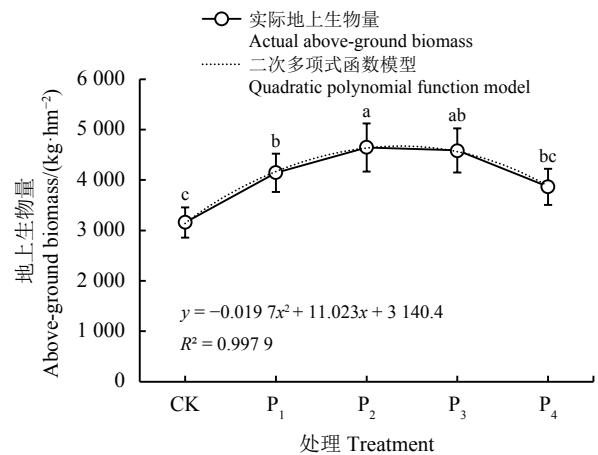


图 6 不同施肥水平与地上生物量的关系
Figure 6 Relationship between different fertilization levels and aboveground biomass

2.2.2 对经济效益的影响

以中国畜牧业信息网干草市场价格为依据，干草按 $1.4 \text{ CNY} \cdot \text{kg}^{-1}$ 计，磷酸二铵按 $3.20 \text{ CNY} \cdot \text{kg}^{-1}$ 计，施肥人工按 $225 \text{ CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$ 计，计算其收益。计算结果表明，收益与牧草干重呈正相关关系。 P_2 处理下净收益最大，为 $5740 \text{ CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，显著高于其他处理 ($P < 0.05$)，与 CK 相比提高了 38.37%。 P_1 处

理下牧草干重净收益为 5 328 CNY·hm⁻²，比 CK 增加 28.42%，二者差异显著，而与 P₃、P₄ 之间差异不显著 ($P > 0.05$)。综合比较，施肥量为 P₁、P₂ 时牧草干重净收益较高，比 CK 增加 1 179~1 592 CNY·hm⁻²，为最佳经济效益施肥范围 (图 7)。

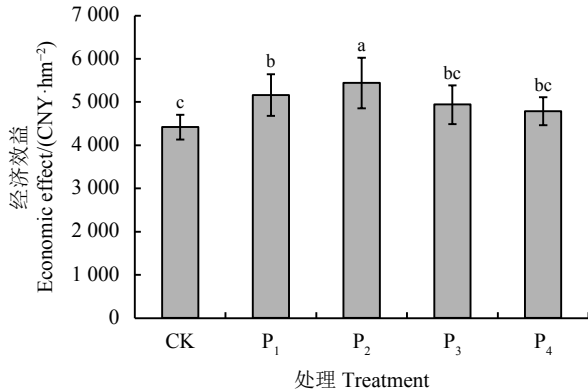


图 7 不同施肥水平与牧草干重收益的关系

Figure 7 Relationship between different fertilization levels and dry weight gain of pasture

3 讨论

3.1 磷肥对高寒草地群落特征的影响

合理配施磷酸二铵可有效提高高寒草原群落盖度，增加群落中禾本科、莎草科和豆科植物重要值，进而增加群落优势种重要值，显著降低杂类草重要值，这与王娟等^[14]研究表明施肥可以提高高寒草地植被盖度的结论一致。本研究中天然牧草盖度最大时的施肥量为 360 kg·hm⁻²，且施肥对天然牧草生长发育促进效果显著，与李青云等^[4]在三江源区栽培草地的研究中提出的适宜牧草生长的施肥量在 75~375 kg·hm⁻² 的结论一致。通过草地施肥，可以增加土壤速效养分，改善土壤营养状况，促进牧草分蘖、分枝、增加光合强度，使单位面积牧草盖度显著增长^[15-16]。

本研究中禾本科植物重要值在不同施肥水平下均明显高于群落其他经济类群，表明禾本科植物能快速吸收土壤中速效磷，获得较高的生长速度。磷能促进豆科植物根瘤发育，改善根瘤的固氮能力，促进豆科植物的生长发育^[17]，本研究中增施磷酸二铵后，青藏扁蓿豆重要值显著高于不添加对照，印证了这一结果。增施磷酸二铵后，群落物种多样性指数和丰富度指数略有降低，与对

照相比差异不显著，这与施肥显著降低群落多样性尤其是降低物种丰富度的结论^[18-19]不同，这可能与试验地草地的退化演替阶段即植物群落本身不同有关。禾本科植物氮、磷利用率较高，能快速生长遮挡其他矮小植物，导致其不能正常进行光合作用，造成其他物种逐渐减少，从而降低群落多样性^[8]。

3.2 磷肥对经济效益的影响

磷肥可以大幅度提高草地生产力，维持生态系统的稳定性^[12,20]。随着磷酸二铵施用量的增加，群落生物量亦随之增加，当施肥量为 279.17 kg·hm⁻² 时生物量最高 (4 645.92 kg·hm⁻²)，继续增加施肥量，生物量呈现下降趋势，总体呈现正态分布规律，这与徐明岗等^[18]对南方红壤丘陵区牧草肥料效应研究中的变化趋势相同，但徐明岗等指出肥料最佳施肥量为 30 g·m⁻²，与本研究中最佳施肥量不一致，生物量增加水平亦不同。这可能与当地土壤类型、质地、物理性质以及气候有关，这些因素在一定程度上影响牧草生长发育。李青云等^[4]在三江源区二龄老芒麦 (*Elymus sibiricus*) 栽培草地施肥试验中指出磷酸二铵施用量为 375 kg·hm⁻² 时，生物量增加幅度最明显。造成施肥水平和生物量变化趋势产生差异性的原因可能是草地类型不同，植物群落不同对磷酸二铵吸收和利用率不同。

施用磷酸二铵并不是越多越好，而是存在一个阈值，超过了此阈值，群落生物量会逐渐降低，施肥量过高还会抑制植物生长发育，对牧草造成损害^[8]。本研究中磷酸二铵施用量达到 240 kg·hm⁻² 时草地生物量最高，增加施肥量后草地生物量开始下降。这很好地印证了上述结论。研究^[10,20]表明，施肥量过高会对植物的生长产生一定负面影响，进而降低群落生物量。随着施肥量的增加，生物量先增加后降低，投入产出比先增加后逐步减小，本研究中磷酸二铵施用量为 240 kg·hm⁻² 时获最大净收益，最大净收益为 5 740 CNY·hm⁻²，此时投入产出比最适宜，较符合生产实际，是较理想的施肥水平。与李青云等^[4]认为三江源区栽培草地较适宜的施肥量一致。通过对环青海湖地区轻度退化高寒草原添加磷酸二铵进而找到最宜施用量，以期通过施肥获取更高经济效益。在后续研究中应考虑设置不同肥料组合的施肥处理以期获得海晏县高寒草原更加准确的施肥数据^[21]。

4 结论

施用磷酸二铵使高寒草地群落总盖度增加3.26%~8.70%, 紫花针茅盖度增加9.10%~25.45%, 青藏扁蓐豆盖度增加34.41%~120.43%。施肥显著增加了禾本科、莎草科和豆科植物的重要值, 而显著降低了杂类草的重要值, 草地群落多样性和

丰富度指数在施肥后均有所降低, 但差异性均不显著 ($P > 0.05$)。施肥量处理为 $360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 牧草盖度最大, 重要值最大。

磷酸二铵施用量为 $120 \sim 240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时草地群落生物量较高, 分别比对照提高31.28%~47.13%, 净收益比对照增加28.42%~38.37%。因此, $120 \sim 240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 为最宜增产幅度施肥水平范围。

参考文献 References:

- [1] 戴建军, 石发庆, 张海军, 王兆荣. 黑龙江省西部草地土壤磷素状况及调控. *中国草地*, 2001, 23(3): 45-48.
DAI J J, SHI F Q, ZHANG H J, WANG Z R. Status and control of phosphorus in grassland soil in western Heilongjiang Province. *China Grassland*, 2001, 23(3): 45-48.
- [2] 李小坤, 鲁剑巍, 鲁君明, 陈防, 黄元仿. 磷肥用量对黑麦草产量及经济效益的影响. *草业科学*, 2006, 23(10): 18-22.
LI X K, LU J W, LU J M, CHEN F, HUANG Y F. Effects of phosphate fertilizer application on yield and economic benefit of Ryegrass. *Pratacultural Science*, 2006, 23(10): 18-22.
- [3] 德科加. 施肥对三江源区高寒草甸初级生产力和土壤养分的影响. 兰州: 甘肃农业大学博士学位论文, 2014.
Dekeja. Effect of fertilization on primary productivity and soil nutrients of alpine meadow in the source region of the Three Rivers. Lanzhou: PhD Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2014.
- [4] 李青云, 施建军, 马玉寿, 董全民. 三江源区人工草地施肥效应研究. *草业科学*, 2004, 21(4): 35-38.
LI Q Y, SHI J J, MA Y S, DONG Q M. Study on fertilizer effect of artificial grassland in Three River Source Region. *Pratacultural Science*, 2004, 21(4): 35-38.
- [5] 金雄, 徐金芳, 常智慧. 磷对草坪的影响. *草业科学*, 2014, 31(10): 1891-1899.
JIN X, XU J F, CHANG Z H. Effects of phosphorus on turfgrass. *Pratacultural Science*, 2014, 31(10): 1891-1899.
- [6] 曹文侠, 李文, 李小龙, 徐长林, 师尚礼, 韩天虎. 施氮对高寒草甸草原植物群落和土壤养分的影响. *中国沙漠*, 2015, 35(3): 658-666.
CAO W X, LI W, LI X L, XU C L, SHI S L, HAN T H. Effects of nitrogen application on plant communities and soil nutrients in alpine meadow grassland. *Journal of Desert Research*, 2015, 35(3): 658-666.
- [7] 德科加, 周青平, 徐成体, 蒋卫平. 施肥对青海省山地草原类草地上生物量的影响. *中国土壤与肥料*, 2010, 3(1): 38-40.
Dekeja, ZHOU Q P, XU C T, JIANG W P. Effect of fertilization on the biomass of grassland in mountain grassland of Qinghai Province. *Chinese Journal of Soil and Fertilizer*, 2010, 3(1): 38-40.
- [8] 施建军, 洪绶曾, 马玉寿, 张德罡, 王彦龙, 杨时海, 董全民, 李世雄. 施肥和杂草防除对三江源区人工草地群落特征的影响. *草地学报*, 2011, 19(5): 724-728.
SHI J J, HONG Y Z, MA Y S, ZHANG D G, WANG Y L, YANG S H, DONG Q M, LI S X. Effects of fertilization and weed control on the characteristics of artificial grassland community in Three River Source Region. *Acta Agrestia Sinica*, 2011, 19(5): 724-728.
- [9] 周国英, 陈桂琛, 赵以莲, 王顺忠, 李伟, 彭敏. 施肥和围栏封育对青海湖地区高寒草原影响的比较研究 I. 群落结构及其物种多样性. *草业学报*, 2004, 13(1): 26-31.
ZHOU G Y, CHEN G Z, ZHAO Y L, WANG S Z, LI W, PENG M. A comparative study on the effects of fertilization and fence enclosure on alpine grassland in Qinghai Lake Region I. Community structure and species diversity. *Acta Prataculturae Sinica*, 2004, 13(1): 26-31.
- [10] 周国英, 陈桂琛, 赵以莲, 王顺忠, 孙菁. 施肥和围栏封育对青海湖地区高寒草原影响的比较研究 II. 地上生物量季节动态. *草业科学*, 2005, 22(1): 59-63.
ZHOU G Y, CHEN G Z, ZHAO Y L, WANG S Z, SUN J. A comparative study on the effects of fertilization and fencing on alpine grassland in Qinghai Lake area II. Seasonal dynamics of aboveground biomass. *Pratacultural Science*, 2005, 22(1): 59-63.

- [11] 侯宪宽, 芦光新, 董全民, 郑伟, 宋磊. 施肥对环青海湖地区草甸群落生长的影响. 草地学报, 2014, 22(3): 488-492.
HOU X K, LU G X, DONG Q M, ZHENG W, SONG L. Effects of fertilization on the growth of meadow communities in the Qinghai Lake region. *Journal of Grassland*, 2014, 22(3): 488-492.
- [12] 党永智, 李欣, 权欣, 德科加, 张明, 芦光新. 施用有机肥对高寒草甸地上生物量及物种多样性的影响. 青海畜牧兽医杂志, 2015, 45(6): 4-6.
DANG Y Z, LI X, QUAN X, DE K J, ZHANG M, LU G X. Effects of applying organic manure on aboveground biomass and species diversity in alpine meadow. *Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2015, 45(6): 4-6.
- [13] 周青平, 金继运, 德科加, 徐成体. 不同施氮水平对高寒草地牧草增产效益的研究. 土壤肥料, 2005(3): 29-31.
ZHOU Q P, JIN J Y, Dekeja, XU C T. Effects of different nitrogen application levels on yield increase of pasture in Alpine Grassland. *Soil Fertilizer*, 2005(3): 29-31.
- [14] 王娟, 焦婷, 聂中南, 祁娟, 张德罡, 肖元明, 霍诗梅. 不同施肥处理对高寒草地上生物量及植物群落特征的影响. 草原与草坪, 2017, 37(3): 91-96.
WANG J, JIAO T, NIE Z N, QI J, ZHANG D G, XIAO Y M, HUO S M. Effects of different fertilization treatments on the aboveground biomass and community characteristics of alpine grassland. *Grassland and Turf*, 2017, 37(3): 91-96.
- [15] 乔江, 赵建宁, 王慧, 李玉洁, 于雯超, 杨殿林. 施氮肥对草原生态系统影响的研究进展. 草原与草业, 2013(2): 22-28.
QIAO J, ZHAO J N, WANG H, LI Y J, YU W C, YANG D L. Research progress on the effect of nitrogen fertilizer on grassland ecosystem. *Grassland & Prata*, 2013(2): 22-28.
- [16] JOHNSTON A E, POULTON P R. The role of phosphorus in crop production and soil fertility: 150 years of field experiments at Rothamsted, United Kingdom. *Phosphate Fertilizers and the Environment*, 1992: 45-64.
- [17] 白玉婷, 卫智军, 刘文昌, 张爽, 王天乐, 肖嘉圃. 草地施肥研究及存在问题分析. 草原与草业, 2016, 28(2): 7-12.
BAI Y T, WEI Z J, LIU W T, ZHANG S, WANG T L, XIAO J P. Study on grassland fertilization and analysis of existing problems. *Grassland and Prataculture*, 2016, 28(2): 7-12.
- [18] 徐明岗, 张久权, 文石林. 南方红壤丘陵区牧草的肥料效应与施肥. 草业科学, 1997, 14(6): 21-23.
XU M G, ZHANG J Q, WEN S L. Fertilizer effects and fertilization of forage grown in Hilly Region of southern China. *Pratacultural Science*, 1997, 14(6): 21-23.
- [19] 顾梦鹤, 王涛, 杜国祯. 施肥对高寒地区多年生人工草地生产力及稳定性的影响. 兰州大学学报(自然科学版), 2010, 46(6): 59-63.
GU M H, WANG T, DU G Z. Effects of fertilization on productivity and stability of perennial artificial grassland in high-cold area. *Journal of Lanzhou University (Natural Science)*, 2010, 46(6): 59-63.
- [20] 邱波, 罗燕江. 不同施肥梯度对甘南退化高寒草甸生产力和物种多样性的影响. 兰州大学学报(自然科学版), 2004, 40(3): 56-59.
QIU B, LUO Y J. Effects of different fertilization gradient on productivity and species diversity of degraded alpine meadow in Gannan. *Journal of Lanzhou University (Natural Science)*, 2004, 40(3): 56-59.
- [21] 施建军, 马玉寿, 董全民, 王柳英, 王彦龙. “黑土型”退化草地人工植被施肥试验研究. 草业学报, 2007, 16(2): 25-31.
SHI J J, MA Y S, DONG Q M, WANG L Y, WANG Y L. Experimental study on artificial vegetation fertilization of “Black Soil Type” degraded grassland. *Acta Prataculturae Sinica*, 2007, 16(2): 25-31.

(责任编辑 魏晓燕)