

doi:10.7515/JEE201305005

蚂蚁扰动对青海湖北岸 高寒草甸草原群落结构影响

陈 骥^{1,2}, 曹军骥^{1,3}, 张思毅⁴, 樊云龙⁵, 王小菲⁶, 魏永林⁷

(1. 中国科学院地球环境研究 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 西安交通大学 全球环境变化研究院, 西安 710049; 4. 北京师范大学 资源学院, 北京 100875;
5. 贵州师范学院 地理与旅游学院, 贵阳 550018; 6. 中国林业科学研究院 林业研究所, 北京 100091;
7. 青海省海北牧业气象试验站, 海北 810200)

摘要: 蚂蚁的筑丘活动是草地生态系统中不可忽视的生物干扰因子。本文针对青海湖北岸高寒草甸草原, 调查了不同大小的蚁丘及其周围对照草地的土壤理化性质和植被状况。结果表明: 蚂蚁筑丘活动显著地降低了土壤容重和土壤湿度, 增加土壤温度, 但对土壤 pH 值的影响较小。蚂蚁扰动改变了群落组成, 增加了大部分禾本科和豆科物种的重要值而降低了杂类草的重要值。以莎草科的矮嵩草 (*Kobresia humilis*) 和禾本科的异针茅 (*Stipa aliena* Keng)、赖草 (*Leymus secalinus*)、落草 (*Koeleria cristata*) 等为主的群落逐步演替为以禾本科的异针茅和赖草为主的群落。植物群落的盖度降低但其地上、地下生物量增加; 植物群落丰富度指数降低但均匀度指数增加。

关键词: 蚁丘; 土壤水分; 土壤温度; 生物量; 群落结构; 青海湖

中图分类号: S812 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2013)05-1461-09

Ants' hill-building activities on the plant community structure in alpine meadow grassland in the northern Qinghai Lake, China

CHEN Ji^{1,2}, CAO Jun-ji^{1,3}, ZHANG Si-yi⁴, FAN Yun-long⁵,
WANG Xiao-fei⁶, WEI Yong-lin⁷

(1. Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Institute of Global Environment Change, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;
4. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
5. School of Geography and Tourism, Guizhou Normal College, Guiyang 550018, China;
6. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;
7. Haibei Animal Husbandry Meteorological Experiment Station of Qinghai Province, Haibei 810200, China)

Abstract: As one of the most important biotic disturbance factors in terrestrial ecosystems, ants mound-building and feeding activities have profound effects on grassland ecosystems which cannot be ignored. We investigated plant height, coverage, and abundance for each species and calculated Species richness, Gleason index, Shannon-Wiener index, Simpson index, and Pielou index for small ant hills (SAH), big ant hills (BAH), and the control plots in the northern shore of Qinghai Lake, China. We also calculated relative coverage, relative frequency, relative height,

收稿日期: 2013-06-03

基金项目: 国家十一五科技支撑计划项目 (2007BAC30B01), 国家十二五科技支撑计划项目 (2012BAH31B03), 黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金资助项目 (SKLLQG1303)

通讯作者: 曹军骥, E-mail: cao@loess.llqg.ac.cn

relative abundance, relative biomass and important values. Additionally, soil bulk density, pH values, soil moisture and soil temperature were also recorded. Our results indicated that: (1) ants' hill-building activities significantly decreased soil bulk density and soil moisture, profoundly increased soil temperature, while have minor effects on pH values. (2) Ant hills altered community composition, increased important values of most of grasses and leguminosae, while decreased important values of weeds. (3) Ant hills decreased community coverage, Species richness, and Gleason index, increased biomass, Simpson index, and Pielou index, and altered plant height, plant coverage, and plant biomass. Ants' hill-building activities make the community dominated by *Kobresia humilis*, *Stipa aliena* Keng, *Leymus secalinus*, *Koeleria cristata* gradually successes into the *Stipa aliena* Keng and *Leymus secalinus* community.

Key words: ant hill; soil moisture; soil temperature; vegetation biomass; community structure; Qinghai Lake

土壤动物是陆地生态系统的重要组成部分之一, 它们与周围的生物与非生物环境关系非常密切, 共同构成完整的生态系统(刘任涛等, 2011)。蚂蚁是陆地生态系统中广泛分布的优势类群土壤动物之一, 其分布区域可从赤道到两极, 通常被认为是生态系统的“工程师”(Folgarait et al, 2002)。蚂蚁常常掘穴而居, 与蚂蚁未筑丘的土壤相比蚂蚁筑丘通常改变了土壤温度、湿度和营养物质的循环。蚂蚁的筑丘及取食活动是草地生态系统中不可忽视的生物干扰因子之一, 蚂蚁在生态系统中的筑丘活动, 增加了生态系统内部的生境异质性, 引起土壤理化性质、土壤有机质以及土壤养分循环的改变, 从而最终引起局部环境的异质性, 和异质生境内动、植物群落的变化(Sebastià and Puig, 2008), 生态系统中适度的干扰常常引起群落内部异质性的形成, 生物多样性的增加, 生态位增加, 群落结构的分化及复杂性增加(King, 1977)。蚂蚁与草地生态系统的这种相互作用关系对植物分布、群落和生态系统组成、以及物质和能量的循环都具有重要的作用(Dhillion et al, 1994)。一方面, 土壤和植物为蚂蚁提供存活与繁衍的栖息地和食物来源, 同时蚂蚁的取食活动也改变了蚁丘群落的组成; 另一方面, 蚂蚁的活动改变了土壤的理化性质影响了植物的生长(侯继华等, 2002), 蚁丘上一些植物较为丰富而另一些植物又较少, 有研究发现一年生及多年生短命植物多出现在蚁丘上(King, 1977)。植被是微气候的调节者, 植被类型或是盖度等的改变会影响到温度和湿度等微气候条

件(阿娟等, 2012), 而温度又会强烈地影响到蚂蚁的采食生长和发育等活动, 反之, 蚂蚁的活动又作用于地表植被和土壤条件(刘任涛等, 2011)。

蚂蚁对生态系统影响的研究多集中在热带雨林(Haines, 1978)、非洲稀树草原(Brener and Silva, 1995)、温带山地草原(Dostál, 2005)等。以往的研究多数都集中于蚂蚁对土壤水分、容重、养分、土壤种子库和草产量的影响等方面(鱼小军等, 2010), 大部分研究结果表明由于蚂蚁采食形成的植物残渣覆盖在地表减小了水分的下渗因而降低了土壤含水量, 同时由于蚁丘对凋落物等的分解会导致土壤pH降低、电导率上升等; 少数关于蚁丘的研究结果表明与周围的非蚁丘地带相比, 蚁丘上的植被长势旺盛, 物种丰富(侯继华等, 2002); 也有研究表明不同大小蚁丘之间植物物种丰富度和多样性差异不显著, 但是优势种变化明显, 蚁丘上禾草类优势度显著高于平地, 而杂草类优势度则显著低于平地(蒙凤群等, 2011)。关于蚁丘对土壤和植被所造成的这些差异有着不同的解释机制。蚁丘改变了小区域的微气象条件, 一般来说蚁丘区域温度高于平地而湿度低于平地, 物种对埋压的耐受性及蚁丘上竞争的减弱, 共同促进了物种组成的改变(Dean et al, 1997); 也有研究认为蚁丘上物种竞争压力小, 它们的实际生态位与基础生态位相近, 土壤性质的改变不太可能影响物种组成的改变, 或者说蚁丘引起的土壤性质的改变不足以引起物种组成的改变(King, 1977); 蚂蚁的采食和搬运活动也

会强烈地影响到物种的组成, 这是由于蚂蚁对种子和幼苗的啃食或者蚂蚁对种子的搬运和传播作用 (Sebastià and Puig, 2008)。因此, 蚂蚁对植被群落组成和结构的研究还没有一致的结论, 尤其是关于不同大小面积的蚁丘对群落组成和结构的影响以及不同大小蚁丘对群落演替的影响的研究还比较少。

青藏高原以其高纬度、高海拔的独特地形成为目前全球变化的敏感区域, 因而倍受世界各国政府和科学家的普遍关注。作为青海湖流域较为典型的植被类型, 高寒草甸草原生态系统具有典型的地带性分布特征, 其生态系统功能较脆弱, 对干扰因子的响应较为强烈 (张宝成等, 2010; 陈骥等, 2014)。为此, 研究蚁丘等干扰活动对高寒草甸草原群落结构及土壤环境的影响成为诸多科学家所关注的问题。本文选择位于青海湖金银滩区域的典型草甸草原为研究对象, 旨在研究:

(1) 不同大小蚁丘中蚁群活动对土壤基本性质的影响; (2) 蚂蚁筑丘活动对高寒草甸草原植物群落结构的影响及不同大小蚁丘对群落演替的影响。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域概况

研究区地处欧亚大陆腹地, 属典型的高原大陆性气候。年平均气温和年降水量分别为 0.8℃和 398.2 mm, 年日照时间为 2912.7 h, 平均无霜期为 48 d, 土壤为砂壤土。草地植被为典型的草甸化草原植物, 主要有西北针茅 (*Stipa sareptana* var. *krylovii*), 异针茅 (*Stipa aliena* Keng)、落草 (*Koeleria cristata*)、冷地早熟禾 (*Poa crymophila*)、矮生嵩草 (*Kobresia humilis*)、猪毛蒿 (*Artemisia scoparia*)、紫菀 (*Aster tataricus*) 和花苜蓿 (*Medicago ruthenica*) 等。研究样地位于中国气象局海北草地生态实验站 (100°51'E、36°57'N, 海拔 3140 m), 隶属于青海省海北州海北牧业气象试验站, 主要为冬季牧场。实验站地形平坦, 植被分布均匀 (冠层高度为 20~30 cm), 可基本代表属于环青海湖地区草甸草原的特征。

1.2 实验设计与研究方法

研究样地大小为 1000 m×500 m, 样地位于属于中国气象局海北草地生态实验站内, 样地生长

季轻度放牧, 非生长季自由放牧。在研究样地内按照面积大小的不同选择 10 个蚁丘, 其中 5 个大蚁丘 (目测蚁丘半径在 20~30 cm), 5 个小蚁丘 (目测蚁丘半径在 10~20 cm), 同时再选定远离蚁丘, 一般距离蚁丘 4~5 m 的样方 (50 cm×50 cm) 作为对照。测量所选定的蚁丘的长轴长和短轴长, 并把蚁丘作为椭圆近似计算其面积。记录每个蚁丘和对照样地的植物种类, 各种植物盖度、数量、高度, 以及蚁丘内植被总盖度。植被盖度以 50 cm×50 cm 样方框 (100 交叉点) 采用针刺法获取, 物种盖度采用绝对盖度表示 (样方框内某物种针刺数/100), 由于蚁丘面积较小则以蚁丘实际所占的交叉点来计算。同时分种剪取地上生物量, 装入信封带回实验室在 105℃下杀青 5 min 然后置于 65℃下烘至恒重称量。采用根钻法取地下表层生物量, 根系样品用冷水洗净后与地上样品一起放于烘箱中烘至恒重称量。

1.3 土壤采样

采用烘干法测定表层土壤含水率, 用直径 3.5 cm 的土钻取小蚁丘、大蚁丘和对照区域 0~10 cm 的土样, 装入已编号的铝盒内 105℃条件烘干 24 小时, 5 次重复, 测量土壤湿度的前 3 天均无下雨。土壤温度用 POGO 土壤温度计, 野外现场测定, 5 次重复。土壤表层容重采用环刀法, 用环刀法测小蚁丘、大蚁丘和对照区域 0~10 cm 深土壤的容重 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), 5 次重复, 取出的土样装入已编号的大铝盒内 105℃条件烘干 24 小时。土壤 pH 值用风干样, 土、水比 1:5 培成溶液, 用 pH 计测定, 5 次重复。

1.4 数据处理方法与作图

利用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 进行数据整理及统计分析。应用最小显著性差异 (LSD) 方法检验差异性, 通过单因子方差分析 (One-way ANOVA) 比较不同样地间群落物种指数变化。应用 origin 8.0 作图。采用如下公式计算各相应指标。

1.4.1 植物群落重要值

$$\text{重要值: } IV = (RC + RH + RF + RA + RB) / 5$$

式中, RC 表示相对盖度, RH 表示相对高度, RF 表示相对频度, RA 表示相对多度, RB 表示相对生物量。

1.4.2 植物群落物种多样性测度

(1) 物种丰富度指数 (Species richness, R):

$$R=S$$

(2) Gleason 丰富度指数 (Gleason index, G):

$$G=S/\ln A$$

(3) Shannon-Wiener 指数: $H = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$

(4) Simpson 指数: $D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$

(5) Pielou 均匀度指数: $J = (-\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i) / \ln S$

式中, S 为种 i 所在样方的物种数, A 为样方面积, P_i 为种 i 的相对重要值 (陈利云和王弋博, 2014)。

(6) β 多样性指数 (βCS): $\beta CS = 1 - CS$;

Sorenson 指数 (CS): $CS = 2j/(a+b)$;

式中, j 为两个群落或样地共有种数; a 和 b 为样方 A 和样方 B 的物种数。

2 结果与分析

2.1 蚁丘筑丘活动对土壤容重、pH 值、湿度及温度的影响

蚂蚁筑丘活动改变了蚁丘区域和对照区域的土壤容重、pH 值、湿度及温度 (图 1), 而且在不同大小面积的蚁丘区域也有一定的差异。蚂蚁筑丘活动显著地降低了土壤容重 ($p < 0.05$), 但在大小蚁丘间的差异并不显著; 与对照相比, 小蚁丘和大蚁丘分别降低了土壤容重的 26.00% 和 13.66%。小蚁丘、大蚁丘和对照的土壤容重值分别为 $70.55 \pm 13.08 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、 $82.32 \pm 8.36 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 和 $95.34 \pm 3.54 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。土壤 pH 值在大、小蚁丘和对照之间并未达显著差异, 小蚁丘、大蚁丘和对照土壤的 pH 值分别为 7.76 ± 0.06 、 7.77 ± 0.07 和 7.70 ± 0.10 。

蚁丘内的土壤温度较高, 土壤湿度较低 ($p < 0.05$)。与对照区域相比, 小蚁丘和大蚁丘分别增加了土壤温度的 9.90% 和 18.00%; 降低了土壤含水率的 10.17% 和 20.19%。在大、小蚁丘内土壤温度并不存在差异, 都显著地高于对照, 小蚁丘、大蚁丘和对照的土壤温度分别为 $22.28 \pm 0.44 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $23.92 \pm 0.47 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $20.27 \pm 0.40 \text{ }^\circ\text{C}$; 然而土壤湿度在大、小蚁丘和对照内也表现出显著性的差异, 小蚁丘、大蚁丘和对照的土壤湿度分别为 $17.16\% \pm 2.03\%$ 、 $15.13\% \pm 3.43\%$ 和 $19.11\% \pm 3.87\%$ (图 1)。

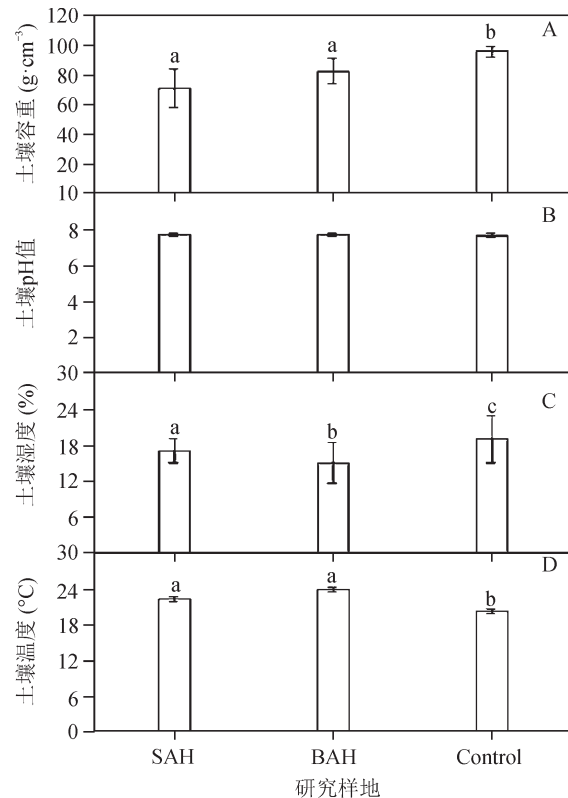


图 1 蚁丘对土壤容重 (A)、pH 值 (B)、湿度 (C) 及温度 (D) 的影响

Fig.1 Effects of ant-hills on soil bulk density (A), pH values (B), soil moisture (C) and soil temperature (D), (Mean±SE).

注: 不同小写字母表示在对照和蚁丘内差异显著 ($p < 0.05$), (Mean±SE)。

NOTE: Different lowercase letters express the difference between control plots and ant hills ($p < 0.05$).

2.2 蚁丘筑丘活动对植物群落组成及群落结构的影响

蚂蚁筑丘活动改变了蚁丘内部和对照区域的群落组成和物种的相对盖度、相对频度、相对多度、相对高度以及重要值 (表 1)。总体上, 蚂蚁通过筑丘增加了异针茅、赖草 (*Leymus secalinus*)、冷地早熟禾、青藏苔草 (*Carex moorcroftii*)、花苜蓿和紫菀的相对盖度、相对频度、相对多度、相对高度、相对生物量以及重要值。蚂蚁筑丘活动使得蚁丘内的物种偏向禾本科的异针茅、赖草和豆科的花苜蓿, 使得以莎草科的矮嵩草和禾本科的异针茅、赖草、落草等为主的群落逐步演替为以禾本科的异针茅和赖草为主的群落。此外, 蚂蚁筑丘活动也降低了大多数杂类草物种的相对盖度、相对频度、相对多

度、相对高度和重要值, 例如蚂蚁筑丘降低了二裂委陵菜 (*Potentilla bifurca*)、龙胆 (*Gentiana scabra*) 和金黄柴胡 (*Bupleurum aureum*) 的相对频度, 甚至还使白花枝子花 (*Dracocephalum heterophyllum*) 在所研究的蚁丘区域出现频率为 0 (表 1)。蚁丘上禾本科赖草、莎草科青藏苔草、以及豆科的多枝黄芪 (*Astragalus polycladus*) 和花苜蓿的重要值高于对照, 并且在大蚁丘区域的重要值也高于小蚁丘的; 而杂草类的重要值基本都小于对照区域。

2.3 蚁丘对群落盖度、地上生物量和地下生物量的影响

如图 2 所示, 蚂蚁筑丘活动显著地降低了禾本科、豆科、莎草科和杂草的盖度, 但在大、小蚁

丘间的差异并不显著。蚂蚁筑丘活动也显著地增加了禾本科、豆科和莎草科的地上生物量, 但对杂草地上生物量的影响并不显著。同时, 蚁丘面积也影响到了地上生物量在不同经济型生物间的分配和地上总生物量, 但这种差异并未达到显著水平。同时蚁丘内群落盖度显著低于对照, 小蚁丘、大蚁丘和对照的盖度分别为 $45.80\% \pm 0.75\%$ 、 $49.4\% \pm 0.48\%$ 和 $90.8\% \pm 1.00\%$; 但蚁丘内群落地上生物量和地下生物量却显著高于对照 (图 2, 图 3), 小蚁丘、大蚁丘和对照的地上生物量分别为 $524.84 \pm 88.75 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $421.36 \pm 70.36 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $206.73 \pm 6.17 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 0~10 cm 地下生物量分别为 $2406.62 \pm 896.60 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $1784.49 \pm 520.84 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $1514.78 \pm 301.17 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

表 1 蚂蚁筑丘对群落物种组成和特征值的影响
Table 1 Effects of hill-building activities of ants on species composition and their characteristics

物种	相对盖度			相对频度			相对多度			相对高度			相对生物量			重要值		
	小蚁丘	大蚁丘	对照	小蚁丘	大蚁丘	对照	小蚁丘	大蚁丘	对照	小蚁丘	大蚁丘	对照	小蚁丘	大蚁丘	对照	小蚁丘	大蚁丘	对照
矮嵩草 (<i>Kobresia humilis</i>)	12.87	12.97	17.95	12.82	13.89	8.20	8.64	10.42	16.16	9.21	10.34	7.99	22.94	22.99	21.50	13.30	14.12	14.36
异针茅 (<i>Stipa aliena</i> Keng)	16.81	15.50	14.80	7.69	13.89	8.20	13.26	14.39	13.95	19.29	12.53	21.79	18.37	16.24	16.80	15.08	14.51	15.11
赖草 (<i>Leymus secalinus</i>)	7.51	7.12	4.41	12.82	13.89	8.20	9.19	16.38	3.87	13.63	13.24	8.96	9.97	8.70	8.13	10.62	11.87	6.71
沿草 (<i>Koeleria cristata</i>)	7.29	10.56	11.18	12.82	13.89	8.20	8.10	10.17	24.62	5.83	15.68	15.98	8.12	16.32	13.70	8.43	13.33	14.74
冷地早熟禾 (<i>Poa crymophila</i>)	11.37	10.18	10.24	12.82	13.89	8.20	9.46	12.66	15.67	13.48	13.93	11.01	4.78	5.14	4.80	10.38	11.16	9.98
青藏苔草 (<i>Carex moorcroftii</i>)	4.29	6.93	4.72	5.45	8.33	8.20	8.10	8.68	3.86	8.64	9.50	4.62	5.46	6.32	4.13	6.39	7.95	5.11
多枝黄芪 (<i>Astragalus polycladus</i>)	4.45	5.74	5.83	12.82	8.33	8.20	4.73	6.20	7.17	2.47	4.31	3.04	5.30	4.35	4.40	5.95	5.79	5.73
花苜蓿 (<i>Medicago ruthenica</i>)	9.65	14.93	6.04	2.56	5.56	4.92	6.75	6.20	2.86	4.28	3.42	3.31	8.21	7.57	6.52	6.29	7.53	4.73
猪毛蒿 (<i>Artemisia scoparia</i>)	3.22	5.74	4.57	2.56	2.78	8.20	4.05	6.20	4.50	4.20	12.01	7.19	4.50	8.79	5.64	3.71	7.10	6.02
紫菀 (<i>Aster tataricus</i>)	4.83	4.59	3.94	5.13	2.78	8.20	5.40	3.72	2.61	3.63	2.46	3.62	2.61	2.88	4.91	4.32	3.29	4.66
狼毒 (<i>Stellera chamaejasme</i>)	4.29	-	3.15	2.56	-	1.64	4.05	-	1.86	2.82	-	5.31	1.32	-	2.71	3.01	-	2.93
二裂委陵菜 (<i>Potentilla bifurca</i>)	3.75	5.74	5.67	5.13	2.78	8.20	5.40	4.96	2.47	2.04	2.58	2.67	1.28	0.70	2.30	3.52	3.35	4.26
龙胆 (<i>Gentiana scabra</i>)	4.29	-	4.33	2.56	-	6.56	6.75	-	3.06	1.96	-	2.14	0.66	-	2.29	3.25	-	3.68
白花枝子花 (<i>Dracocephalum heterophyllum</i>)	-	-	3.15	-	-	3.28	0.00	-	1.44	-	-	2.40	-	-	2.17	-	-	2.49
金黄柴胡 (<i>Bupleurum aureum</i>)	5.36	-	-	2.24	-	-	6.10	-	-	8.51	-	-	6.46	-	-	5.73	-	-

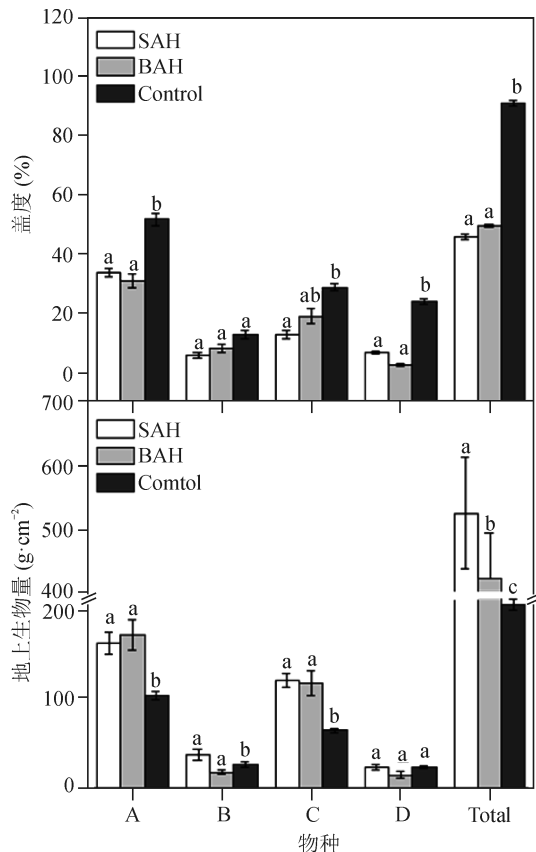


图2 蚁丘对禾本科、豆科、莎草科和杂草盖度和地上生物量的影响, (Mean±SE)

Fig.2 Effects of ant-hills on coverage and aboveground biomass of alpine grasses,

Leguminosae, Cyperaceae and weeds, (Mean±SE)

注: 大写字母 A、B、C、D 分别代表禾草科、豆科、莎草科和杂草。不同的小写字母 a、b 表示差异显著 ($p < 0.05$)。

NOTE: Uppercase letters A, B, C and D indicate grasses, Leguminosae, Cyperaceae and weeds, respectively. Different lowercase letters express the difference between control plots and OTCs ($p < 0.05$).

蚂蚁筑丘对不同物种的盖度、生物量和高度也有不同的影响(表2)。总体上, 蚁丘区域内莎草科的矮嵩草、青藏苔草, 禾本科赖草和豆科的花苜蓿的生物量、盖度和高度都显著高于对照区域, 但在不同大小蚁丘区域内多无显著性差异。同时蚁丘内杂草的盖度、生物量和高度基本都低于对照区域, 而且除盖度外, 蚁丘对杂草的高度和生物量都无显著的影响。

2.4 蚁丘筑丘活动对植物群落物种多样性指数的影响

如表3所示, 蚂蚁筑丘活动及不同大小的蚁丘面积对群落多样性有不同的影响。物种丰富度指数是表征群落中物种多少的参数, 蚂蚁筑丘降低了物种丰富度指数 R , 小蚁丘、大蚁丘和对照的

物种丰富度指数 R 分别为 7.40 ± 1.67 、 7.20 ± 0.84 和 12 ± 0.71 。Gleason 丰富度指数是样方内物种数目和面积的数学式, 其变化也表现为, 对照区域 > 小蚁丘区域 > 大蚁丘区域。蚂蚁筑丘降低了物种丰富度指数, 说明蚁丘上的植物种类小于对照。

Pielou 均匀度指数是以多样性指数为基础的, 与样本面积大小有关。研究表明, 蚁丘区域的 Pielou 均匀度指数高于对照区域, 与物种丰富度指数表显出相反的规律。蚁丘区域的均匀度高于对照, 这可能是由于蚁丘降低了杂草和稀有种出现的频率, 在对照样方中, 稀有种种类增加, 杂草数量增加, 群落的物种趋于均匀化, 均匀度指数较小(表3)。

与物种丰富度指数和均匀度指数不同, 多样性指数是物种水平上群落多样性和异质性程度的度量, 是物种丰富度与种的多度结合起来的函数。Shannon-Wiener 指数, Simpson 指数表现出相似的变化规律, 即小蚁丘 > 大蚁丘 > 对照(表3)。 β 多样性指数 (βCS) 反应的是环境梯度的变化引起物种替代程度的改变, 是不同群落间物种组成差异的的衡量, 不同群落间物种共有种越少则 β 多样性指数就越大。研究表明, β 多样性指数变化为大蚁丘与对照 > 小蚁丘与对照 > 大、小蚁丘之间的, 分别为 0.44、0.36 和 0.27(表4)。

3 讨论

蚂蚁在草地生态系统中的干扰作用主要体现在对土壤和植物的影响。以往的研究表明, 蚂蚁在筑丘活动中可以明显地改变蚁丘土壤的容重、含水量、酸碱度和温度(蒙凤群等, 2011)。从而产生与周围不同的微环境, 形成蚁丘内局部的环境异质性。我们的研究表明: 与对照相比, 小蚁丘和大蚁丘都降低了土壤容重、土壤湿度, 增加了土壤 pH 值和土壤温度。这可能是由于蚂蚁的活动及搬运作用使得土壤从下层被运到上层, 因此上层土壤碱性增大; 由于蚂蚁的挖掘活动以及将草搬运聚集到蚁丘上, 蚁丘上的土壤容重显著小于对照土壤容重。研究区域的蚁丘多由草屑等立枯体组成, 容重较少, 因此渗水较快而保水较差; 而对照区域土壤较结实, 土壤渗水较慢持水能力强, 这使得在我们的研究区域, 蚁丘内的土壤水分低于对照区域。蚁丘区域内疏松结构和较低的盖度以及裸斑的形成是导致蚁丘区域内部土壤温度高于对照的主要原因之一。

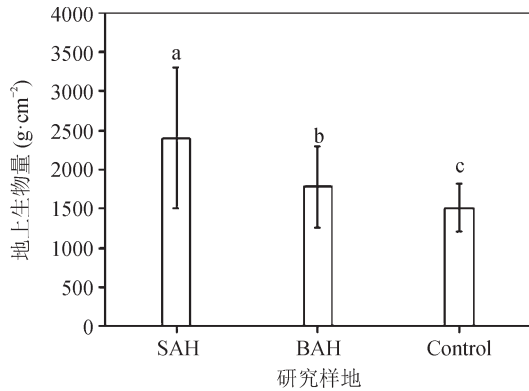


图 3 蚂蚁筑丘对地下生物量的影响, (Mean±SE)

Fig.3 Effects of ant-hills on belowground biomass. (Mean±SE)

注: 不同小写字母表示在对照和蚁丘内差异显著 ($p < 0.05$)。

NOTE: Different lowercase letters express the difference between control plots and ant hills ($p < 0.05$).

土壤条件的改变有选择性地改变了植物的生长和繁殖规律。蚁丘上赖草、青藏苔草和花苜蓿等生长茂盛, 占有相对较多的资源, 这有可能阻

止了其他物种的入侵及定居, 导致蚁丘上植物多样性低于周围地区。以往的研究也表明, 蚂蚁活动会有选择性地影响植被群落的演替, 这主要是由于蚂蚁的取食、对土壤环境的改变以及对种子分布的影响 (King, 1981)。蚁丘区域尤其是蚁丘中心区域往往会形成裸斑 (陈应武等, 2007), 这些区域也是蚂蚁频繁活动的区域。蚁丘中这种裸斑的形成导致了蚁丘区域的盖度低于对照区域。裸斑的形成主要是由于: (1) 蚂蚁对土壤的搬运作用影响了种子的萌发和幼苗的生长, 不耐土埋的种类就逐渐从蚁丘植物群落中消失; (2) 蚂蚁对多年生植物地下部分的啃咬会导致其地下部分的死亡 (King, 1977)。蚁丘内部的盖度降低但生物量却有所增加, 这主要是由于蚁丘对群落的选择性演替, 增加了占地上生物量比重较大的赖草、青藏苔草和花苜蓿的生长。

表 2 蚂蚁筑丘对个体生长指标的影响
Table 2 Effects of hill-building activities of ants on growth patterns of different species

物种	生物量 (g·m ⁻²)			盖度 (%)			高度 (cm)		
	小蚁丘	大蚁丘	对照	小蚁丘	大蚁丘	对照	小蚁丘	大蚁丘	对照
矮嵩草 (<i>Kobresia humilis</i>)	113.5±16.26A	90.28±22.03A	57.15±6.43B	12.00±5.43A	13.30±6.82A	12.80±5.89A	14.55±2.63A	16.91±2.61A	12.78±7.02B
异针茅 (<i>Stipa aliena</i> Keng)	47.42±21.36A	44.82±17.02A	57.79±7.71A	15.67±5.86A	7.40±6.07B	18.80±7.01A	30.46±5.72A	20.49±6.87B	34.84±3.67A
赖草 (<i>Leymus secalimus</i>)	47.82±16.37A	32.57±8.21A	11.07±4.73B	7.00±3.32A	6.20±1.48A	5.60±2.97A	21.52±8.50A	21.66±2.13A	14.33±5.79B
溲草 (<i>Koeleria cristata</i>)	36.61±9.67A	67.19±16.70B	29.54±4.47A	6.80±3.56A	9.20±3.56A	14.20±3.19B	9.20±1.73A	25.65±10.70B	25.56±1.75B
冷地早熟禾 (<i>Poa crymophila</i>)	30.28±10.35A	27.08±7.21A	3.87±0.85B	10.60±7.99A	8.00±4.18B	13.00±1.54A	21.29±5.33A	22.79±2.24A	17.6±1.49B
青藏苔草 (<i>Carex moorcroftii</i>)	5.49±1.01A	15.58±13.17B	4.59±0.48A	4.00±1.10A	13.00±8.19B	6.00±1.87A	13.64±5.48A	15.55±4.34A	7.38±2.33B
多枝黄芪 (<i>Astragalus polycladus</i>)	14.56±12.14A	4.17±1.86B	15.96±4.16A	4.15±3.66A	5.00±1.73A	7.40±4.16A	3.90±3.19A	7.05±3.15B	4.86±0.32A
花苜蓿 (<i>Medicago ruthenica</i>)	6.29±2.13A	9.25±5.74B	5.85±3.01A	9.00±2.23A	13.00±7.07B	7.67±4.04A	6.76±2.23A	5.59±0.33A	5.29±2.68A
猪毛蒿 (<i>Artemisia scoparia</i>)	2.89±1.94A	8.26±2.52B	7.85±1.10B	3.00±0.52A	5.00±2.12A	5.80±3.83A	6.64±1.56A	19.64±1.84B	11.5±2.68C
紫菀 (<i>Aster tataricus</i>)	1.21±0.21A	1.67±0.89A	4.11±0.74B	4.50±3.54A	4.00±1.89A	5.00±1.00A	5.74±2.49A	4.02±1.05A	5.79±2.42A
狼毒 (<i>Stellera chamaejasme</i>)	2.34±1.70A	-	0.74±0.31B	4.00±0.24A	-	4.00±0.59A	4.46±1.15A	-	8.49±2.77B
二裂委陵菜 (<i>Potentilla bifurca</i>)	0.91±0.18A	0.73±0.24A	4.97±2.22B	3.50±2.12A	5.00±2.11A	7.20±5.17A	3.22±0.14A	4.22±0.25A	4.27±1.16A
龙胆 (<i>Gentiana scabra</i>)	0.91±0.11A	-	2.22±0.63B	4.00±1.14A	-	5.50±1.29A	3.10±0.29A	-	3.42±0.83A
白花枝子花 (<i>Dracocephalum heterophyllum</i>)	-	-	1.01±0.85	-	-	4.00±2.83	-	-	3.84±3.59
金黄紫胡 (<i>Bupleurum aureum</i>)	11.13±9.53A	-	-	5.00	-	-	13.44±3.65	-	-

表3 蚁丘和对照区域植物群落物种丰富度、均匀度和多样性指数

Table 3 The richness, evenness and biodiversity indices of plant communities on ant-hills and control plots

样地	小蚁丘	大蚁丘	对照
<i>R</i>	7.40 ± 1.67	7.20 ± 0.84	12 ± 0.71
<i>G</i>	1.32 ± 0.26	1.17 ± 0.18	1.53 ± 0.09
<i>H</i>	2.51 ± 0.18	2.47 ± 0.15	2.45 ± 0.32
<i>D</i>	0.93 ± 0.09	0.91 ± 0.08	0.90 ± 0.11
<i>J</i>	0.95 ± 0.07	0.96 ± 0.06	0.93 ± 0.12

注: *R*, 物种丰富度指数; *G*, Gleason 丰富度指数; *H*, Shannon-Wiener 指数; *D*, Simpson 指数; *J*, Pielou 均匀度指数, (Mean±SE)。

Note: *R*, Species richness; *G*, Gleasonindex; *H*, Shannon-Wienerindex; *D*, Simpsonindex; *J*, Pielouindex, (Mean±SE).

表4 蚁丘和对照区域植物群落β多样性指数
Table 4 β diversity index of ant hills and control plots

样地	大蚁丘	对照
小蚁丘	0.27	0.36
大蚁丘		0.44

植物的群落组成依赖于局部环境(张娟红等, 2014)。研究表明, 蚂蚁筑丘活动改变了蚁丘内部和对照区域的群落组成和物种的相对盖度、相对频度、相对多度、相对高度以及重要值。这和美国 Arizona 沙漠的研究是相一致的, 即一些植物在蚁丘上相当丰富而其他植物相对稀少(Rissing, 1986)。这说明蚁丘造成了明显的植物群落的异质性。蚁丘与植物之间既存在着互惠关系也存在着有害关系, 一方面, 植物为蚂蚁提供食物来源和栖息场所, 而蚂蚁则通过对土壤微环境的改变(容重、温度、湿度、pH 值以及土壤养分的循环)促进了植物的生长, 改变了群落组成(刘任涛等, 2011); 另一方面蚂蚁对土壤的搬运作用影响了种子的萌发和幼苗的生长, 不耐土埋的种类就逐渐从蚁丘植物群落中消失, 同时由于蚂蚁对多年生植物地下部分的啃咬取食会导致其地下部分的死亡(King, 1977)。此外, 蚂蚁也可为植物传播、保护种子, 并为特定种子的萌发及幼苗的生长提供更为有利的微环境。蚂蚁还可以为植物提供保护, 包括帮助植物移走小型植食性昆虫及它们的卵、去除入侵的藤本植物(Dostál, 2005)。土壤理化性质等生境条件变化可以引起群落植物种类组成的改变, 进而引起群落的相对盖度、相对频度、相对多度、相对高度以及重要值的变化。我们的

研究表明, 蚁丘上禾本科赖草、莎草科青藏苔草、以及豆科的多枝黄芪和花苜蓿的重要值高于对照, 并且在大蚁丘区域的重要值也高于小蚁丘的; 而杂草类的重要值基本都小于对照区域。这说明蚁丘在一定程度上能改变群落的整体结构, 包括植物物种组成和多样性。

蚂蚁筑丘活动显著地降低了禾本科、豆科、莎草科和杂草的盖度, 但在大、小蚁丘间的差异并不显著, 然而蚁丘区域内禾本科、豆科、莎草科的地上生物量却显著高于对照区域。同时, 蚂蚁筑丘对不同物种的盖度、生物量和高度也有不同的影响, 蚁丘区域内莎草科的矮蒿草、青藏苔草, 禾本科赖草和豆科的花苜蓿的生物量、盖度和高度都显著高于对照区域。相关研究表明, 蚂蚁对土壤的搬运作用会使得大部分矮小的杂草类由于窒息作用而消失, 存活下来的多为禾草类等相对较高的植物, 并且这些植物具有较强的竞争优势, 会在后来的群落竞争中占优势地位(陈应武等, 2007)。研究表明, 异针茅、赖草、冷地早熟禾、青藏苔草、花苜蓿和紫菀等草甸化草原的主要种具有较强的环境适应性, 可能忍受因蚂蚁筑丘而引起的 pH 值上升, 以及土壤含水量下降、温度升高的暖干趋势。所以蚁丘的形成, 和蚁丘所引起的土壤微环境的异质性, 蚂蚁筑丘活动及不同大小的蚁丘面积对群落多样性有不同的影响。总体表现为, 丰富度指数和多样性指数的下降以及物种均匀度指数的增加, 同时群落间β多样性指数也有了一定的差异。我们的研究结果证实了蚁丘植物群落确实发生了演替, 而导致演替发生的因素是多样的。蚂蚁的群体活动使蚁丘高度和面积均逐渐增加, 大的蚁丘中心点可高出平地 30 cm 以上, 这样的改变给我们研究的相对平坦的草地生态系统带来了较大的生境异质性。首先, 蚁丘土壤水分的减少和平均温度的提高, 可能直接导致一些不耐旱物种消失。其次, 蚂蚁从其他地方搬运大量的枯草和碎屑的筑丘活动, 使得筑丘区域不断被埋压, 此时的埋压作用可能是矮小杂草类消失的主要原因。此外, 除了蚁丘生境物理特征, 蚂蚁的啃食和搬运行为可能也影响了群落演替。取食过程中可能对植物有选择性破坏, 导致部分植株死亡, 而对种子的散布作用则可能给蚁丘带来一些特有种。

生境物理环境的不断改变、蚂蚁和植物的相互作用以及植物之间的竞争作用, 可能共同促进

了蚁丘上植物群落的演替过程。蚂蚁筑丘活动对所研究的高寒草甸化草原有重要的影响,能有效改善及减缓草原植被退化,提高优良牧草的比例。在我们的研究区域里,每100 m²内平均有蚁丘10到20个,以小蚁丘为主。虽然相对占地面积较小,但我们的研究表明,大、小蚁丘区域内的禾草科等优良牧草的生物量比对照区域增加了67.83%和58.51%,大、小蚁丘区域内的总生物量比对照区域增加了153.88%和103.82%。蚁丘的存在显著提高了草甸群落中禾草类的总体比例,大大改变了群落组成。这种群落内部异质性的存在可能对群落的更新和稳定有重要影响。

参考文献

- 阿 娟,张福顺,张晓东,等. 2012. 荒漠植物群落特征及其与气候因子的对应分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 26(1): 174–178. [A J, Zhang F S, Zhang X D, et al. 2012. The characteristics of desert plant desert plant community and the corresponding analysis on climatic factors [J]. *Journal of Arid Land Resource and Environment*, 26(1): 174–178.]
- 陈 骥,曹军骥,金 钊,等. 2014. 模拟增温对青海湖鸟岛高寒草原群落结构影响初步研究 [J]. *干旱区资源与环境*, 28(5): 127–133. [Chen J, Cao J J, Jin Z, et al. 2014. A primary study of the influence of short-term experimental warming on alpine steppe of bird island Qinghai Lake [J]. *Journal of Arid Land Resource and Environment*, 28(5): 127–133.]
- 陈利云,王弋博. 2014. 麦积山草地植物群落物种多样性及结构相似性特征 [J]. *干旱区资源与环境*, 28(1): 148–152. [Chen L Y, Wang Y B. 2014. Species diversity, community structure similarity of the grassland communities, Maiji Mountain [J]. *Journal of Arid Land Resource and Environment*, 28(1): 148–152.]
- 陈应武,李新荣,苏延桂,等. 2007. 腾格里沙漠人工植被区掘穴蚁 (*Formica cunicularia*) 的生态功能 [J]. *生态学报*, 27(4): 1508–1514. [Chen Y W, Li X R, Su Y G, et al. 2007. Study on the eco-functions of *Formica cunicularia* (hymenoptera: formicidae) in a revegetated area on the southeast fringe of Tengger desert, North China [J]. *Acta Ecological Sinica*, 27(4): 1508–1514.]
- 侯继华,周道玮,姜世成. 2002. 蚂蚁筑丘活动对松嫩草地植物群落多样性的影响 [J]. *植物生态学报*, 26(3): 323–329. [Hou J H, Zhou D W, Jiang S C, 2002. The effect of hill-building activities of ants on the species diversity of plant communities in songnen grassland [J]. *Journal of Plant Ecology*, 26(3): 323–329.]
- 蒙凤群,高贤明,孙书存. 2011. 川西北高寒草甸蚁丘植物群落演替: 种类组成与物种多样性 [J]. *植物分类与资源学报*, 33(2): 191–199. [Meng F Q, Gao X M, Sun S C. 2011. Plant community succession on ant-hills of a sub-alpine meadow in Northwestern Sichuan, China: species composition and diversity [J]. *Plant Diversity and Resources*, 33(2): 191–199.]
- 刘任涛,赵哈林,赵学勇. 2011. 沙地生态系统中蚂蚁活动与地表植被及土壤环境间的互作关系 [J]. *干旱区资源与环境*, 25(12): 166–170. [Liu R T, Zhao H L, Zhao X Y. 2011. Interactions among ant activity, ground vegetation and soil conditions in the sandy ecosystem [J]. *Journal of Arid Land Resource and Environment*, 25(12): 166–170.]
- 鱼小军,蒲小鹏,黄世杰,等. 2010. 蚂蚁对东祁连山高寒草地生态系统的影响 [J]. *草业学报*, 19(2): 140–145. [Yu X J, Pu X P, Huang S J, et al. 2010. Effects of ants (*Tetramorium* sp.) on eastern Qilian Mountains alpine grassland ecosystem [J]. *Acta Pratacul Turae Sinica*, 19(2): 140–145.]
- 张娟红,何彤慧,程 志,等. 2014. 宁夏平原沟渠湿地植物群落数量特征比较研究 [J]. *干旱区资源与环境*, 28(1): 153–157. [Zhang J H, He D H, Cheng Z, et al. 2014. The comparison research on quantity features of ditch wetland plant communities in Ningxia plain [J]. *Journal of Arid Land Resource and Environment*, 28(1): 153–157.]
- 张宝成,曹军骥,王启元,等. 2010. 环境变化对青海湖天然草场牧草产量的影响 [J]. *干旱区资源与环境*, 24(7): 4. [Zhang B C, Cao J J, Wang Q Y, et al. 2010. The impact of environment change on forage production in Qinghai lake nature grassland [J]. *Journal of Arid Land Resource and Environment*, 24(7): 4.]
- Brener A G F, Silva J F. 1995. Leaf-cutting ant nests and soil fertility in a well-drained savanna in western Venezuela [J]. *Biotropica*, 250–254.
- Dean W, Milton S, Klotz S. 1997. The role of ant nest-mounds in maintaining small-scale patchiness in dry grasslands in Central Germany [J]. *Biodiversity & Conservation*, 6(9): 1293–1307.