

DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).201906016

蚂蚁对草地动植物及土壤作用的研究进展*

赵一军^{1,2}, 赵敏^{1,2}, 毛文娅³, 于应文^{1,2}

(1. 兰州大学 草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020;

2. 兰州大学, 农业农村部草牧业创新重点实验室, 甘肃 兰州 730020;

3. 兴义市众彝农牧发展有限公司, 贵州 兴义 562407)

摘要: 蚂蚁作为草地生态系统重要组分之一, 其种类和分布、筑巢和采食等对草地植被演变和土壤特性变化起重要作用。本文综述了中、高海拔不同草地类型中, 蚂蚁的种类及分布、蚂蚁与草地动物的关系及蚂蚁对草地植被和蚁丘土壤理化特征的影响。结果显示: (1) 蚂蚁适应性强, 分布广, 各类草地均有分布, 但不同草地类型中蚂蚁种类有所不同; (2) 蚂蚁作为草地生态系统的消费者, 与其他草地动物有竞争、捕食与被捕食、共生与寄生等关系, 这对草地健康的保持有利有弊, 但最终维持着草地生态系统的平衡; (3) 蚂蚁筑巢降低草地物种多样性, 改变草地植物群落结构; (4) 蚂蚁的挖掘、搬运、排泄和掩埋等增加蚁丘土壤养分和微生物活性, 增加土壤孔隙度而降低容重, 但其对土壤水分的影响因草地类型不同而异。为深入揭示蚂蚁在草地生态系统中的作用, 未来还需开展如下研究: 蚂蚁筑丘及采食活动对草地植被微斑块形成的作用机制及对演替的影响; 蚂蚁在草地虫害防控中的作用; 蚂蚁分泌物如何影响草地土壤微生物群落的构成。

关键词: 蚁丘; 草地类型; 种间关系; 植物群落特征; 土壤理化性质

中图分类号: S 812.2

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X (2019) 05-0889-07

Review on the Effects of Ants on Animals, Plants and Soil in Grasslands

ZHAO Yijun^{1,2}, ZHAO Min^{1,2}, MAO Wenya³, YU Yingwen^{1,2}

(1. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China; 2. Key Laboratory of Grassland Livestock Industry Innovation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China; 3. Xingyi Zhongben Agriculture and Animal Husbandry Development Co., Ltd., Xingyi 562407, China)

Abstract: Ant is one of important components of grassland ecosystem. The species, distribution, nesting and feeding of ants play an important role in vegetation succession and soil characteristics in grasslands. We summarized the species and distribution of ants in different type grasslands in middle and high altitude areas, relationship between the ants and other animals, the effects of the ants on plant community composition and physical and chemical characteristics in ant nest soil. The results indicated that: (1) The ants were high adaptability and widely distributed in each of grassland, and the species was different among different grasslands; (2) Ants acts as consumers of grassland ecosystems, the relationships between ants and other animals exhibited competition, predation and prey, symbiosis and

收稿日期: 2019-06-14

修回日期: 2019-07-31

网络首发时间: 2019-09-30 10:33:36

*基金项目: 兴义市众彝农牧发展有限公司委托项目“云贵高原禾草/三叶草草地稳定性及草畜动态平衡研究”; 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2016]2585号); 长江学者和创新团队发展计划(IRT-17R50)。

作者简介: 赵一军(1994—), 男, 甘肃会宁人, 在读硕士研究生, 主要从事草地生态学研究。

E-mail: zhaoyj18@lzu.edu.cn

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20190930.0855.006.html>



parasitism, all of these can benefit or harm the health of grassland, which will ultimately maintains the balance of the grassland ecosystem; (3) Ants reduced plant species diversity and changed the plant community structure by building nest; (4) Ants increased the nutrients and microbial activity of ant nests soil by digging, transporting, excreting and burying, and also increased porosity and reduced bulk density of nest soil, while the effect of ants on the soil moisture varied from the different grasslands. In order to deeply reveal the effects of ants on grassland ecosystem, the following studies needed to be carried out in the future: effects of anthill formation on the grassland succession and mechanisms of feeding and nesting activities of ants on the formation of grassland vegetation micro-patches; the role of ants in controlling and prevention of grassland pest; how do the ant secretions affects the composition of grasslands soil microbial communities.

Keywords: ant nest; grassland type; interspecific relationship; characteristic of plant community; physical and chemical properties of soil

蚂蚁是陆地生态系统分布最广的生物之一^[1],也是昆虫界种类最为丰富、数量最为庞大的高度社会性昆虫,对生态系统的群落结构和功能有着重要影响^[2]。全球已知蚁类有 16 亚科 296 属 15 000 种^[3],中国有 9 亚科 67 属 230 种^[4]。蚂蚁适应性较强,可生活于草地、森林、沼泽和沙漠等多个生态系统中^[4]。作为草地生态系统的固有成员,蚂蚁可通过筑巢和采食等行为改变草地的植被物种组成^[5-6]、土壤理化特性^[7-9]和微生物群落特征^[10-11],进而改变草地植被群落的结构。同时,蚂蚁作为草地生态系统的消费者,对草地生态系统的物质循环、能量流动和信息传递起积极作用^[12]。因此,蚂蚁是草地生态系统中不可忽视的生物干扰因子^[13]。本研究通过对中、高海拔不同草地类型蚂蚁种类和分布、蚁丘植被和土壤理化特性及微生物特征进行归纳和分析,以期为草地演变过程中蚂蚁对动植物及土壤作用的深入研究提供一定的参考依据。

1 草地蚂蚁种类

蚂蚁是陆地生态系统的工程师^[14],广泛分布于各类草地。据统计,中国的草地蚂蚁共有 62 种,隶属于 3 亚科 16 属,主要分布在荒漠草原、典型草原、高寒灌草丛和高寒草甸(表 1)。其中,切叶蚁亚科(Myrmicinae)有火蚁属(*Solenopsis*)、铺道蚁属(*Tetramorium*)、红蚁属(*Myrmica*)、盘腹蚁属(*Aphaenogaster*)、收获蚁属(*Messor*)、心结蚁属(*Cardiocondyla*)、细胸蚁属(*Leptothorax*)和棱胸切叶蚁属(*Pristomyrmex*),

臭蚁亚科(Dolichoderinae)仅有酸臭蚁属(*Tapinoma*),蚁亚科(Formicinae)有斜结蚁属(*Plagiolepis*)、弓背蚁属(*Camponotus*)、悍蚁属(*Polyergus*)、毛蚁属(*Lasius*)、蚁属(*Formica*)、原蚁属(*Proformica*)和箭蚁属(*Cataglyphis*)^[4, 15-17]。

分布在荒漠草原的蚁类有 13 属 52 种,占草地蚁类总种数的 83.9%,优势种为针毛收获蚁(*M. aciculatus*)、艾箭蚁(*C. aenescens*)、铺道蚁(*T. caespitum*)、亮毛蚁(*L. fuliginosus*)、掘穴蚁(*F. cunicularia*)、佐村悍蚁(*P. samurai*)、阿禄斜结蚁(*P. alluandi*)和蒙古原蚁(*P. mongolica*)^[16];分布在典型草原的蚁类有 11 属 52 种,占草地蚁类总种数的 83.8%,优势种为黄墩蚁(*L. flavus*)、铺道蚁(*T. caespitum*)、玉米毛蚁(*L. alienus*)和亮毛蚁(*L. fuliginosus*)^[18-19];分布在高寒灌草丛的蚁类有 2 属 27 种,占草地蚁类总种数的 43.5%,优势种为小红蚁(*M. rubra*)、毛柄草地蚁(*F. villis-capra*)、角结红蚁(*M. angulinodis*)、光眼凹头蚁(*F. liophthalma*)和中华红林蚁(*F. sinensis*)^[15];分布在高寒草甸的蚁类仅有弓背蚁属(*Camponotus*)的日本弓背蚁(*C. japonicus*)和广布弓背蚁(*C. herculeanus*),占草地蚁类总种数的 3.2%。

2 蚂蚁与草地动物关系

蚂蚁在草地生态系统中通常扮演消费者的角色,并与其他动物之间存在捕食与被捕食、共生、寄生和竞争关系。在捕食关系中,蚂蚁作为捕食者,可捕食蜘蛛、千足虫、蜈蚣、蝗虫和蚯蚓等动物;同时蚂蚁作为被捕食者,也会被食肉

表 1 不同草地类型蚂蚁种类
Tab. 1 The species of ant in different type grasslands

草地类型 grassland type	蚂蚁种类 ant species	参考文献 reference
荒漠草原 desert steppe	(1) 火蚁属 (<i>Solenopsis</i>): 火蚁 (<i>S. geminata</i>); (2) 铺道蚁属 (<i>Tetramorium</i>): 黄色铺道蚁 (<i>T. flavum</i>)、铺道蚁 (<i>T. caespitum</i>)、波纹铺道蚁 (<i>T. undatum</i>)、纹腹铺道蚁 (<i>T. striabdomen</i>)、黄胸铺道蚁 (<i>T. ochrochorax</i>); (3) 收获蚁属 (<i>Messor</i>): 针毛收获蚁 (<i>M. aciculatus</i>); (4) 心结蚁属 (<i>Cardiocondyla</i>): 黑色心结蚁 (<i>C. niger</i>)、裸氏心结蚁 (<i>C. nude</i>)、心结蚁 (<i>Cardiocondyla</i> sp.); (5) 细胸蚁属 (<i>Leptothorax</i>): 短刺细胸蚁 (<i>L. brevispinus</i>)、暗腹细胸蚁 (<i>L. opaciabdomin</i>)、网纹细胸蚁 (<i>L. reticulatus</i>)、褐斑细胸蚁 (<i>L. galeatus</i>); (6) 酸臭蚁属 (<i>Tapinoma</i>): 网背酸臭蚁 (<i>T. rectinotum</i>); (7) 斜结蚁属 (<i>Plagiolepis</i>): 心头斜结蚁 (<i>P. cardiocarenis</i>)、阿禄斜结蚁 (<i>P. alluandi</i>)、斜结蚁 (<i>Plagiolepis</i> sp.); (8) 弓背蚁属 (<i>Camponotus</i>): 日本弓背蚁 (<i>C. japonicus</i>)、广布弓背蚁 (<i>C. herculeanus</i>); (9) 悍蚁属 (<i>Polyergus</i>): 佐村悍蚁 (<i>P. samurai</i>); (10) 毛蚁属 (<i>Lasius</i>): 黑毛蚁 (<i>L. niger</i>)、玉米毛蚁 (<i>L. alienus</i>)、长须毛蚁 (<i>L. longicirrus</i>)、亮毛蚁 (<i>L. fuliginosus</i>)、黄墩蚁 (<i>L. flavus</i>)、毛蚁 (<i>Lasius</i> sp.); (11) 蚁属 (<i>Formica</i>): 凹唇蚁 (<i>F. sanguinea</i>)、小眼凹唇蚁 (<i>F. miniocca</i>)、富氏凹头蚁 (<i>F. fukaii</i>)、北京凹头蚁 (<i>F. beijingense</i>)、长凹头蚁 (<i>F. longiceps</i>)、光眼凹头蚁 (<i>F. liophthalma</i>)、亮腹黑褐蚁 (<i>F. gagatoides</i>)、光亮黑蚁 (<i>F. candida</i>)、光腹黑蚁 (<i>F. lubricabdomin</i>)、丝光蚁 (<i>F. fusca</i>)、日本黑褐蚁 (<i>F. japonica</i>)、缺毛黑褐蚁 (<i>F. aseta</i>)、毛柄草地蚁 (<i>F. villiscapa</i>)、中华红林蚁 (<i>F. sinensis</i>)、红须蚁 (<i>F. rufibarbis</i>)、红林蚁 (<i>F. sinae</i>)、格劳卡蚁 (<i>F. glauca</i>)、掘穴蚁 (<i>F. cunicularia</i>)、拟红蚁 (<i>F. subrafa</i>); (12) 原蚁属 (<i>Proformica</i>): 克氏原蚁 (<i>P. korki</i>)、维萨特原蚁 (<i>P. nusuta</i>)、蒙古原蚁 (<i>P. mongolica</i>)、贾氏原蚁 (<i>P. jacoti</i>); (13) 箭蚁属 (<i>Cataglyphis</i>): 艾箭蚁 (<i>C. aenescens</i>)、贺兰山箭蚁 (<i>C. helanensis</i>)	[4, 15-16]
典型草原 typical steppe	(1) 铺道蚁属 (<i>Tetramorium</i>): 黄色铺道蚁 (<i>T. flavum</i>)、铺道蚁 (<i>T. caespitum</i>)、波纹铺道蚁 (<i>T. undatum</i>)、纹腹铺道蚁 (<i>T. striabdomen</i>)、黄胸铺道蚁 (<i>T. ochrochorax</i>); (2) 红蚁属 (<i>Myrmica</i>): 皱红蚁 (<i>M. ruginodis</i>)、小红蚁 (<i>M. rubra</i>)、纵沟红蚁 (<i>M. sulcinodis</i>)、角结红蚁 (<i>M. angulinodis</i>)、嘉氏红蚁 (<i>M. gallienii</i>)、威氏红蚁 (<i>M. wesmaeli</i>)、平伸红蚁 (<i>M. deplanata</i>)、弯角红蚁 (<i>M. lobicornis</i>); (3) 盘腹蚁属 (<i>Aphaenogaster</i>): 暗黑盘腹蚁 (<i>A. caeciliae</i>); (4) 收获蚁属 (<i>Messor</i>): 针毛收获蚁 (<i>M. aciculatus</i>); (5) 细胸蚁属 (<i>Leptothorax</i>): 短刺细胸蚁 (<i>L. brevispinus</i>)、暗腹细胸蚁 (<i>L. opaciabdomin</i>)、网纹细胸蚁 (<i>L. reticulatus</i>)、褐斑细胸蚁 (<i>L. galeatus</i>); (6) 隆胸切叶蚁属 (<i>Pristomyrmex</i>): 双针蚁 (<i>P. pungins</i>); (7) 酸臭蚁属 (<i>Tapinoma</i>): 网背酸臭蚁 (<i>T. rectinotum</i>); (8) 弓背蚁属 (<i>Camponotus</i>): 日本弓背蚁 (<i>C. japonicus</i>)、广布弓背蚁 (<i>C. herculeanus</i>); (9) 毛蚁属 (<i>Lasius</i>): 黑毛蚁 (<i>L. niger</i>)、玉米毛蚁 (<i>L. alienus</i>)、长须毛蚁 (<i>L. longicirrus</i>)、亮毛蚁 (<i>L. fuliginosus</i>)、黄墩蚁 (<i>L. flavus</i>)、毛蚁 (<i>Lasius</i> sp.); (10) 蚁属 (<i>Lasius</i>): 凹唇蚁 (<i>F. sanguinea</i>)、小眼凹唇蚁 (<i>F. miniocca</i>)、富氏凹头蚁 (<i>F. fukaii</i>)、北京凹头蚁 (<i>F. beijingense</i>)、长凹头蚁 (<i>F. longiceps</i>)、光眼凹头蚁 (<i>F. liophthalma</i>)、亮腹黑褐蚁 (<i>F. gagatoides</i>)、光亮黑蚁 (<i>F. candida</i>)、光腹黑蚁 (<i>F. lubricabdomin</i>)、丝光蚁 (<i>F. fusca</i>)、日本黑褐蚁 (<i>F. japonica</i>)、缺毛黑褐蚁 (<i>F. aseta</i>)、毛柄草地蚁 (<i>F. villiscapa</i>)、中华红林蚁 (<i>F. sinensis</i>)、红须蚁 (<i>F. rufibarbis</i>)、红林蚁 (<i>F. sinae</i>)、格劳卡蚁 (<i>F. glauca</i>)、掘穴蚁 (<i>F. cunicularia</i>)、拟红蚁 (<i>F. subrafa</i>); (11) 原蚁属 (<i>Proformica</i>): 克氏原蚁 (<i>P. korki</i>)、维萨特原蚁 (<i>P. nusuta</i>)、蒙古原蚁 (<i>P. mongolica</i>)、贾氏原蚁 (<i>P. jacoti</i>)	[4, 15, 17]
高寒灌草丛 alpine shrub-meadow	(1) 红蚁属 (<i>Myrmica</i>): 皱红蚁 (<i>M. ruginodis</i>)、小红蚁 (<i>M. rubra</i>)、纵沟红蚁 (<i>M. sulcinodis</i>)、角结红蚁 (<i>M. angulinodis</i>)、嘉氏红蚁 (<i>M. gallienii</i>)、威氏红蚁 (<i>M. wesmaeli</i>)、平伸红蚁 (<i>M. deplanata</i>)、弯角红蚁 (<i>M. lobicornis</i>); (2) 蚁属 (<i>Formica</i>): 凹唇蚁 (<i>F. sanguinea</i>)、小眼凹唇蚁 (<i>F. miniocca</i>)、富氏凹头蚁 (<i>F. fukaii</i>)、北京凹头蚁 (<i>F. beijingense</i>)、长凹头蚁 (<i>F. longiceps</i>)、光眼凹头蚁 (<i>F. liophthalma</i>)、亮腹黑褐蚁 (<i>F. gagatoides</i>)、光亮黑蚁 (<i>F. candida</i>)、光腹黑蚁 (<i>F. lubricabdomin</i>)、丝光蚁 (<i>F. fusca</i>)、日本黑褐蚁 (<i>F. japonica</i>)、缺毛黑褐蚁 (<i>F. aseta</i>)、毛柄草地蚁 (<i>F. villiscapa</i>)、中华红林蚁 (<i>F. sinensis</i>)、红须蚁 (<i>F. rufibarbis</i>)、红林蚁 (<i>F. sinae</i>)、格劳卡蚁 (<i>F. glauca</i>)、掘穴蚁 (<i>F. cunicularia</i>)、拟红蚁 (<i>F. subrafa</i>)	[4, 15]
高寒草甸 Alpine meadow	(1) 弓背蚁属 (<i>Camponotus</i>): 日本弓背蚁 (<i>C. japonicus</i>)、广布弓背蚁 (<i>C. herculeanus</i>)	[4, 15]

昆虫、步行虫、跳蛛、蜈蚣等动物捕食^[20]。在共生关系中,同翅目昆虫如叶蝉、沫蝉和蚜虫及一些鳞翅目昆虫等的幼虫可分泌蜜露供蚂蚁取食;同时,蚂蚁通过舔食移除蜜露的机械清洗等生理刺激作用,加速同翅目昆虫吸取植物汁液,以促进昆虫的生长发育与繁殖;此外,蚂蚁还可保护共生搭档免受天敌捕食,如黑毛蚁将蚜虫的卵保护在蚁丘内,等来年春天,工蚁将新孵出的蛹搬到近旁或较远的未腐烂植物根系旁,使其避免天敌捕食^[20]。蚂蚁与动物的寄生关系仅存在于不同蚂蚁之间,如蚁亚科悍蚁属蚂蚁完全依赖蚁属蚂蚁生活,由于悍蚁自身不能外出获取食物,完全依赖蚁奴饲喂,从而两种蚁类之间存在寄生关系^[21]。

在竞争关系中,为获得更多资源,蚂蚁可分泌有毒物质、侵占其他蚂蚁蚁丘、直接掠夺其他种类蚂蚁的食物或主动进攻一些动物,如将黄蜂、臭虫、半翅目昆虫及多数其他独栖性昆虫从最适合居住的、稳定的巢址赶出,使这些处于生态学边缘的非群居昆虫在蚂蚁集体攻击下躲到更偏僻的栖息地^[20]。蒙凤群等^[6]对高寒草甸广布弓背蚁蚁丘研究发现:蚁丘上蒿草等类禾草植物受人为扰动时,蚂蚁可迅速爬上茎秆,保护蚁丘上的类禾草避免被家畜采食。

虽然蚂蚁处于草地生态系统的中间营养级,可捕食蝗虫等草地害虫,且蚂蚁对害虫防控作用的报道多见于森林生态系统,如弓背蚁属和蚁属的

蚂蚁种类对森林松毛虫有长期有效控制作用^[22],但截至目前,蚂蚁在草地虫害防控中的作用研究较少,蚂蚁与草地动物之间的关系模糊,缺乏利用蚂蚁控制草地虫害的成功案例。因此,深入探究蚂蚁在草地食物网中的作用,通过蚂蚁进行草地虫害防控,是未来蚂蚁与草地动物关系研究的主要问题之一。

3 蚂蚁对草地植被的作用

蚂蚁的筑巢和采食活动改变草地植物群落特征(表 2)。通常,蚂蚁通过挖掘地下土壤和搬运植物残体堆积于土壤表层,对植物种子和幼苗造成埋压,形成“窒息作用”,使蚁丘区域一些低矮、不耐埋的双子叶植物消失,但蚁丘区域大部分单子叶或直立型植物因茎秆较硬存活下来^[6, 23]。蒙凤群等^[6]发现:筑巢过程中,獐牙菜(*Swertia bimaculata*)、鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)等矮小植物及高山紫菀(*Aster alpinus*)、平车前(*Plantago depressa*)和肉果草(*Lancea tibetica*)等莲座状植物逐渐从蚁丘上消失,但筑巢过程对钩状蒿草(*Kobresia uncinoides*)、羊茅(*Festuca ovina*)和四川蒿草(*Kobresia setschwanensis*)等无影响。通常情况下,蚁丘上的植被盖度^[6, 8]、多年生植物比例^[6, 18]及植物物种多样性^[6, 8, 18, 23-25]均低于非蚁丘区,而其地上生物量^[8, 18, 25-26]、一年生植物比例^[6]、单子叶植物结实率^[18]和密度^[18, 25, 29]高于非蚁丘区。向泽宇等^[23]对广布弓背蚁丘研究发现:蚁丘区的植被盖度和高度较非蚁丘区分别增加 1.6% 和 2.99 cm;鱼小军^[7]和 KING 等^[13]发现:蚁丘顶部因蚂蚁堆土埋压和对多年生植物根茎的啃咬而形成裸斑,且裸斑面积随蚁丘面积增大而增

大;侯继华等^[25]发现:玉米毛蚁丘上的羊草(*Leymus chinensis*)、鸡儿肠(*Kalimeris indica*)、芦苇(*Phragmites australis*)和虎尾草(*Chloris virgata*)的密度均高于非蚁丘区;李庆新等^[18]在羊草草地的研究发现:蚁丘区和非蚁丘区的多年生植物分别占总物种数的 30.8% 和 37.5%,蚁丘区的物种多样性明显低于非蚁丘区,但蚁丘区的草地上生物量和羊草结实率分别为非蚁丘区的 153.25% 和 1.43 倍;蒙凤群等^[6]对高寒草甸广布弓背蚁丘研究发现:虽然蚁丘区植被地上生物量明显低于非蚁丘区,但蚁丘上的蚤缀(*Arenaria serpyllifolia*)、湿生扁蕾(*Gentianopsis paludosa*)和米口袋(*Gueldenstaedtia verna*)等 1 年生植物数量多于非蚁丘区。

蚂蚁与植物种子之间存在互惠关系。一方面,植物种子中的脂肪体可供蚂蚁食用;另一方面,蚂蚁通过搬运种子使其远离母体,不仅避免种子种内竞争,还可避免鸟类和啮齿类动物对植物种子的采食及种子遭受火烧风险^[30]。一般而言,蚂蚁的搬运行为可增加蚁丘土壤种子库密度和种子多样性^[7, 31]。鱼小军等^[7]对高寒草甸蚁丘研究发现:深度为 0~10 cm 的蚁丘土壤含 16 种植物种子,10~20 cm 的土壤含 11 种植物种子,而距蚁丘中心 1 m 处的草地土壤植物种子种类和种子库密度均低于蚁丘区域。O'GRADY 等^[27]对石灰岩草地蚁丘研究发现:蚁丘区的马蓼(*Persicaria macalosa*)和三色堇(*Viola tricolour*)萌发率明显高于非蚁丘区。相关研究也表明:高寒草甸和石灰岩草地的土壤种子萌发率存在分异,其原因是高寒草甸蚁丘土壤保水性差,水分易蒸发散失,从而限制其种子萌发^[7];而石灰岩草地蚁

表 2 主要蚂蚁种类对草地植物群落特征的影响

Tab. 2 The influence of main ant species on the characteristics of grassland plant community

蚂蚁种类 species of ant	蚁丘群落特征 community characteristics of anthill	参考文献 reference
黄墩蚁(<i>L. flavus</i>)、 黑毛蚁(<i>L. niger</i>)、 广布弓背蚁(<i>C. herculeanus</i>)	草层高度增加, 盖度减小或增加 the increasing of vegetation height and the decreasing or raising in coverage.	[6-8, 18, 23]
黄墩蚁(<i>L. flavus</i>)、 广布弓背蚁(<i>C. herculeanus</i>)、 玉米毛蚁(<i>L. alienus</i>)	单子叶结实率和密度增加, 物种多样性减小 a higher setting rate and density of monocotyledons and a lower species diversity	[6, 8, 18, 24-25]
黄墩蚁(<i>L. flavus</i>)、 广布弓背蚁(<i>C. herculeanus</i>)	种子萌发率增加或减小, 一年生植物比例增加, 多年生植物比例减少, 牧草生物量减少或增加 the increasing/decreasing of above-biomass and germination percentage; annuals was abundant and perennials was relative rare	[7-8, 13, 18, 24, 26-27]
广布弓背蚁(<i>C. herculeanus</i>)、 掘穴蚁(<i>F. cunicularia</i>)	土壤种子库密度和种子多样性增加 a higher density and diversity in soil seed bank	[7, 9, 27-28]
广布弓背蚁(<i>C. herculeanus</i>)	草地单子叶比例增加, 双子叶比例减少或增加 a higher population proportion of monocotyledons; a higher or lower population proportion of dicotyledons	[6-8, 29]

丘, 因其土壤疏松、潮湿, 养分含量高, 更有利于种子萌发^[31-32]。已有研究表明: 蚁丘区植物种子的萌发亦受土壤温度和 pH 的影响, 蚁丘区蚁酸含量高于非蚁丘区, 会抑制种子萌发。此外, 蚂蚁对植物种子的搬运具有选择性, CHRISTIANINI 等^[33]报道: 蚂蚁对小粒种子搬运的距离远大于大粒种子, 且蚂蚁搬运和啃食后去除油质体种子的发芽势增大。由此认为: 蚂蚁搬运种子过程中, 去除种子上油质体的行为可在一定程度增加种子发芽率。

蚂蚁筑巢对草地植被的作用与植物种类有关。蚂蚁筑巢时挖掘的地下土壤堆积在地表, 对长势低矮的植物形成埋压, 使一些叶片柔软、低矮的植物如獐牙菜、鹅绒委陵菜和肉果草等双子叶植物逐渐从蚁丘上消失, 并在蚁丘中心形成裸斑, 使蚁丘植被物种多样性和盖度降低; 禾草等单子叶植物因株型较高, 叶片狭长且质硬而不易被埋压, 在蚁丘植被中占据优势, 因而其生物量、密度和结实率增加。随着蚁丘裸斑面积的扩大, 一些 1 年生植物入侵, 使蚁丘植被组成中 1 年生植物比例增加而多年生植物比例下降。此外, 蚂蚁在采食不影响植物种子发芽能力的油质体时, 会向蚁丘中搬运植物种子, 使蚁丘的土壤种子库密度和种子多样性增加。虽然现有研究对蚁丘区和非蚁丘区的植被异质性及其形成机理作出了合理解释, 但对蚁丘植被演变过程及蚂蚁对蚁丘植被微斑块形成的作用、蚁丘形状与植被物种构成之间的联系以及蚁丘对草地健康影响等方面的研究相对缺乏。

4 蚂蚁对蚁丘土壤的作用

蚂蚁筑巢活动会引起蚁丘土壤理化特性的改变 (表 3)。一般而言, 蚂蚁筑巢会降低蚁丘土壤

容重^[7-9]、水分含量^[6-8, 34]和 pH^[8-9, 26, 34-35, 37], 增加蚁丘土壤温度^[6, 8]和孔隙度^[38]。李庆新等^[18]对黄墩蚁丘的研究发现: 蚁丘区 0~30 cm 的土壤容重和水分含量低于非蚁丘区, 而孔隙度和 pH 正好相反。蒙凤群等^[6]对川西北高寒草甸广布弓背蚁丘的研究结果显示: 蚁丘中心区土壤含水量为 5.1 cm³/cm³, 非蚁丘区土壤含水量为 29.3 cm³/cm³, 后者约为前者的 6 倍, 这与鱼小军等^[7]在祁连山东麓高寒草甸蚁丘的研究结果一致。刘任涛等^[39]和陈应武等^[9]分别对科尔沁沙地和腾格里沙漠人工植被区掘穴蚁丘的研究结果显示: 蚁丘区土壤含水量明显高于非蚁丘区。造成高寒草甸和沙漠地区蚁丘土壤水分含量存在分异的原因可能是高寒草甸广布弓背蚁丘多由草屑等凋落物组成, 且土质疏松, 保水能力弱而渗水能力强^[7], 而沙漠区蚁丘因流沙覆盖而截断土壤毛细管提水作用, 使蚁丘区土壤水分蒸发降低^[47]。

蚂蚁筑巢活动增加蚁丘土壤养分。通常蚁丘区土壤有机质^[7, 35, 38, 40-41]、全 N^[7, 34, 42, 44]、全 P^[7, 9, 26, 44]、全 K^[9, 26, 35]、速效 N^[9-10, 38, 43]、速效 K^[10]、速效 P^[9-10, 38, 45]高于非蚁丘区。杨有芳等^[10]对高寒草甸广布弓背蚁丘研究发现: 蚁丘区土壤有机质、全 N、速效 N、速效 P 和速效 K 含量分别比非蚁丘区高出 30.45 g/kg、1.63 g/kg、89.16 mg/kg、5.49 mg/kg 和 200 mg/kg。与非蚁丘区相比, 蚁丘区土壤有机质、N、P 和 K 含量高, 主要是由于蚂蚁粪便、排泄物、动物尸体和植物残渣等的聚集引起的^[48-49]。此外, 由于微生物参与了土壤中生物残体的粉碎和降解、有机质的合成与分解、养分积累与释放、土壤胶体的分散与凝聚等多种物理、化学和生物过程^[39], 其在土壤发育过程中的作用十分重要。有关广布弓背蚁、黑毛蚁和黄墩蚁丘的研究结果显示: 蚁丘区域的土壤中微生物多

表 3 主要蚂蚁种类对草地土壤特征的影响

Tab. 3 The influence of main ant species on soil characteristics of grassland

蚂蚁种类 species of ant	土壤特征变化 soil characteristics	参考文献 reference
广布弓背蚁 (<i>C. herculeanus</i>)、掘穴蚁 (<i>F. cunicularia</i>)、黑毛蚁 (<i>L. niger</i>)、黄墩蚁 (<i>L. flavus</i>)、红林蚁 (<i>F. siniae</i>)	增加土壤温度和孔隙度, 提高或降低土壤水分和 pH, 降低土壤容重 the increasing of soil temperature and porosity; the increasing or decreasing of lower water content and pH; the decreasing of soil bulk density	[6-9, 18, 26, 34-39]
广布弓背蚁 (<i>C. herculeanus</i>)、掘穴蚁 (<i>F. cunicularia</i>)、黄墩蚁 (<i>L. flavus</i>)、黑毛蚁 (<i>L. niger</i>)	提高土壤有机质、全 N、全 P、全 K、速效 N、速效 P 和速效 K 含量等 a higher content of organic matter, total N, total P, total K, available N, available P and available K	[7, 9, 10, 26, 34-35, 38, 40-45]
广布弓背蚁 (<i>C. herculeanus</i>)、黑毛蚁 (<i>L. niger</i>)、黄墩蚁 (<i>L. flavus</i>)	提高土壤微生物多样性和代谢活性及微生物生物量 C the increasing of soil microbial diversity, metabolic activity and microbial biomass C	[10, 11, 34, 43, 46]

样性、代谢活性和微生物生物量 C 均明显高于非蚁丘区^[10-11, 34, 43, 46], 其原因可能是蚂蚁在挖掘过程中, 把动物尸体和排泄物掩埋, 由此增加微生物碳源, 使土壤微生物代谢活性增加^[10]。此外, 蚂蚁筑巢过程中, 草地土壤微生物群落变化特征、土壤微生物与草地植物多样性之间的关系、蚂蚁分泌物如何影响土壤微生物群落及微生境的形成至今尚不清晰。

5 展望

蚂蚁作为草地生态系统重要组成部分和消费者, 通过筑巢和采食等行为改变草地植被组成和土壤理化特性。蚂蚁位于草地生态系统中间营养级, 通过食物网与其他草地动物建立联系, 而蚂蚁与草地动物之间的种间关系极其复杂, 且这种复杂关系是草地生态系统平衡维持必不可少的关键环节。同时, 蚂蚁的筑巢和采食行为通常降低草地物种多样性, 改变草地植被群落构成, 增加蚁丘土壤种子库密度和种子多样性; 蚂蚁活动增加蚁丘土壤养分和微生物活性, 且对土壤水分的影响因草地类型而异。由此认为, 蚂蚁活动对草地生态系统的作用涉及土—草—动物各环节, 其对草地生态系统的作用过程十分复杂。但截至目前, 有关蚂蚁与草地动物之间的关系、蚂蚁活动对不同类型草地植被和土壤特性变化的影响等至今零散且不系统。因此, 未来还需研究蚂蚁筑丘及采食活动对草地植被微斑块形成的作用机制及对演替的影响、是否可利用蚂蚁与草地害虫(如同翅目昆虫等)之间的竞争关系进行草地相关虫害防控、蚂蚁分泌物如何影响草地土壤微生物群落构成等内容, 以深入揭示蚂蚁在草地生态系统中的作用。

[参考文献]

- [1] WHITFORD W G, BARNES G, STEINBERGER Y. Effects of three species of Chihuahuan Desert ants on annual plants and soil properties[J]. Journal of Arid Environments, 2008, 72(4): 392. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2007.07.012.
- [2] FOLGARAIT P J. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review[J]. Biodiversity and Conservation, 1998, 7(9): 1221. DOI: 10.1023/a:1008891901953.
- [3] BOLTON B. A new general catalogue of the ants of the world[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1995.
- [4] 吴坚, 王常禄. 中国蚂蚁[M]. 北京: 中国林业出版, 1995.
- [5] GRUBB P J, GREEN H E, MERRIFIELD R C J. The ecology of chalk heath: its relevance to the calcicole-cal-cifuge and soil acidification problems[J]. Journal of Ecology, 1969, 57(1): 175. DOI: 10.2307/2258215.
- [6] 蒙凤群, 高贤明, 孙书存. 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, 2011, 33(2): 191. DOI: 10.3724/SP.J.1143.2011.10186.
- [7] 鱼小军, 蒲小鹏, 黄世杰, 等. 蚂蚁对东祁连山高寒草地生态系统的影响[J]. 草业学报, 2010, 19(2): 140. DOI: 10.11686/cyxb20100220.
- [8] 陈骥, 曹军骥, 张思毅, 等. 蚂蚁扰动对青海湖北岸高寒草甸草原群落结构影响[J]. 地球环境学报, 2013, 4(5): 1461. DOI: 10.7515/JEE201305005.
- [9] 陈应武, 李新荣, 苏延桂, 等. 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, 2007, 27(4): 1508. DOI: 10.3321/j.issn:1000-0933.2007.04.030.
- [10] 杨有芳, 字洪标, 刘敏, 等. 高寒草甸土壤微生物群落功能多样性对广布弓背蚁丘扰动的响应[J]. 草业学报, 2017, 26(1): 43. DOI: 10.11686/cyxb2016066.
- [11] DAUBER J, WOLTERS V. Microbial activity and functional diversity in the mounds of three different ant species[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32(1): 93. DOI: 10.1016/s0038-0717(99)00135-2.
- [12] 陈元瑶, 魏琮, 贺虹, 等. 秦岭地区 2 种蚂蚁巢内土壤理化性质和微生物量的相关性研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(2): 121. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7461.2012.02.26.
- [13] KING T J. The plant ecology of ant-hills in calcareous grasslands: III. Factors affecting the population sizes of selected species[J]. Journal of Ecology, 1977, 65(1): 279. DOI: 10.2307/2259079.
- [14] BROWN G, SCHERBER C, RAMOS P, et al. The effects of harvester ant (*Messor ebeninus* Forel) nests on vegetation and soil properties in a desert dwarf shrub community in north-eastern Arabia[J]. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of plants, 2012, 207(7): 503. DOI: 10.1016/j.flora.2012.06.009.
- [15] 长有德, 贺达汉. 中国西北地区蚂蚁区系特征[J]. 动物学报, 2002, 48(3): 322. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5507.2002.03.005.
- [16] 长有德, 贺达汉, 李秋霞. 宁夏荒漠草原优势蚁类行为生态学特性的初步研究[J]. 宁夏农学院学报, 1999, 20(1): 7.
- [17] 侯继华, 周道玮, 姜世成. 吉林西部草原地区蚂蚁种类及分布[J]. 生态学报, 2002, 22(10): 1781. DOI: 10.3321/j.issn:1000-0933.2002.10.029.
- [18] 李庆新, 盛连喜, 周道玮, 等. 松嫩草原黄墩蚁对羊草群落组成与生物量的影响[J]. 生态学杂志, 2003, 22(6): 49. DOI: 10.3321/j.issn:1000-4890.2003.06.010.
- [19] 孙晓玲, 任炳忠. 东北地区的蚂蚁资源及其研究进展[J]. 松辽学刊(自然科学版), 2001(3): 20. DOI: 10.3969/j.issn.1674-3873.2001.03.007.
- [20] 贝尔特·荷尔多布勒, 爱德华·威尔逊. 蚂蚁的故事[M]. 海南: 海南出版社, 2003.
- [21] 李秋霞, 贺达汉, 长有德, 等. 蚂蚁取食行为研究概况[J]. 宁夏农学院学报, 2000, 24(2): 94.
- [22] 刘雨芳, 古德祥. 蚂蚁在森林害虫管理中的作用[J]. 昆

- 虫天敌, 1996, 18(4): 187.
- [23] 向泽宇, 张莉, 刘雪娟. 蚁丘干扰下高寒草甸植物群落特征和生态位[J]. 生态学杂志, 2016, 35(2): 321. DOI: [10.13292/j.1000-4890.201602.036](https://doi.org/10.13292/j.1000-4890.201602.036).
- [24] LENOIR L. Effects of ants on plant diversity in semi-natural grasslands[J]. *Arthropod-Plant Interactions*, 2009, 3(3): 163. DOI: [10.1007/s11829-009-9066-7](https://doi.org/10.1007/s11829-009-9066-7).
- [25] 侯继华, 周道玮, 姜世成. 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, 2002, 26(3): 323. DOI: [10.3321/j.issn:1005-264X.2002.03.011](https://doi.org/10.3321/j.issn:1005-264X.2002.03.011).
- [26] EHRLE A, ANDERSEN A N, LEVICK S R, et al. Yellow-meadow ant (*Lasius flavus*) mound development determines soil properties and growth responses of different plant functional types[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2017, 81: 83. DOI: [10.1016/j.ejsobi.2017.06.006](https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.06.006).
- [27] O'GRADY A, BREEN J, HARRINGTON T J, et al. The seed bank in soil from the nests of grassland ants in a unique limestone grassland community in Ireland[J]. *Ecological Engineering*, 2013, 61(Part A): 58. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2013.09.011](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.011).
- [28] DAUBER J, ROMMELER A, WOLTERS V. The ant *Lasius flavus* alters the viable seed bank in pastures[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2006, 42(S1): S157. DOI: [10.1016/j.ejsobi.2006.06.002](https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.06.002).
- [29] SEBASTIA M T, PUIG L. Complex vegetation responses to soil disturbances in mountain grassland[J]. *Plant Ecology*, 2008, 199(1): 77. DOI: [10.2307/40305563](https://doi.org/10.2307/40305563).
- [30] 鲁长虎. 蚁对植物种子的传播作用[J]. 生态学杂志, 2002, 21(2): 64. DOI: [10.3321/j.issn:1000-4890.2002.02.016](https://doi.org/10.3321/j.issn:1000-4890.2002.02.016).
- [31] HUGHES L, WESTOBY M. Fate of seeds adapted for dispersal by ants in Australian acleorophyll vegetation[J]. *Ecology*, 1992, 73(4): 1285. DOI: [10.2307/1940676](https://doi.org/10.2307/1940676).
- [32] CULVER D C, BEATTIE A J. Myrmecochory in *viola*: dynamics of seed-ant interactions in some West Virginia species[J]. *Journal of Ecology*, 1978, 66(1): 53. DOI: [10.2307/2259181](https://doi.org/10.2307/2259181).
- [33] CHRISTIANINI A V, MAYHÉ-NUNES A J, OLIVEIRA P S. The role of ants in the removal of non-myrmecochorous diaspores and seed germination in a neotropical savanna[J]. *Journal of Tropical Ecology*, 2007, 23(3): 343. DOI: [10.2307/4499103](https://doi.org/10.2307/4499103).
- [34] BOOTS B, KEITH A M, NIECHOJ R, et al. Unique soil microbial assemblages associated with grassland ant species with different nesting and foraging strategies[J]. *Pedobiologia*, 2012, 55(1): 33. DOI: [10.1016/j.pedobi.2011.10.004](https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2011.10.004).
- [35] JÍLKOVÁ V, MATĚJČEK L, FROUZ J. Changes in the pH and other soil chemical parameters in soil surrounding wood ant (*Formica polyctena*) nests[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2011, 47(1): 72. DOI: [10.1016/j.ejsobi.2010.10.002](https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2010.10.002).
- [36] JÍLKOVÁ V, ŠEBEK O, FROUZ J. Mechanisms of pH change in wood ant (*Formica polyctena*) nests[J]. *Pedobiologia*, 2012, 55(5): 247. DOI: [10.1016/j.pedobi.2012.04.002](https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2012.04.002).
- [37] BOOTS B, CLIPSON N. Linking ecosystem modification by the yellow meadow ant (*Lasius flavus*) to microbial assemblages in different soil environments[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2013, 55: 100. DOI: [10.1016/j.ejsobi.2013.01.002](https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.01.002).
- [38] 李庆新, 盛连喜, 周道玮, 等. 松嫩草原黄墩蚁[J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(4): 528. DOI: [10.3321/j.issn:1006-687X.2006.04.019](https://doi.org/10.3321/j.issn:1006-687X.2006.04.019).
- [39] 刘任涛, 赵哈林, 赵学勇. 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, 2011, 25(12): 166. DOI: [10.13448/j.cnki.jalre.2011.12.020](https://doi.org/10.13448/j.cnki.jalre.2011.12.020).
- [40] PÉTAL J. The influence of ants on carbon and nitrogen mineralization in drained fen soils[J]. *Applied Soil Ecology*, 1998, 9(1/2/3): 271. DOI: [10.1016/S0929-1393\(97\)00052-8](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(97)00052-8).
- [41] ZHANG Z S, WEI Z, WANG J J. Ants alter molecular characteristics of soil organic carbon determined by pyrolysis-chromatography/mass spectrometry[J]. *Applied Soil Ecology*, 2018, 130: 91. DOI: [10.1016/j.apsoil.2018.05.020](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.05.020).
- [42] DEAN W R J, YEATON R I. The effects of harvester ant *Messor capensis* nest-mounds on the physical and chemical properties of soils in the Southern Karoo, South Africa[J]. *Journal of Arid Environments*, 1993, 25(2): 249. DOI: [10.1006/jare.1993.1059](https://doi.org/10.1006/jare.1993.1059).
- [43] DAUBER J, SCHROETER D, WOLTERS V. Species specific effects of ants on microbial activity and N-availability in the soil of an old-field[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2001, 37(4): 259. DOI: [10.1016/s1164-5563\(01\)01094-9](https://doi.org/10.1016/s1164-5563(01)01094-9).
- [44] BRENER A G F, SILVA J F. Leaf-cutting ant nests and soil fertility in a well-drained savanna in Western Venezuela[J]. *Biotropica*, 1995, 27(2): 250. DOI: [10.2307/2389001](https://doi.org/10.2307/2389001).
- [45] HOLEC M, FROUZA J. The effect of two ant species *Lasius niger* and *Lasius flavus* on soil properties in two contrasting habitats[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2006, 42(S1): S213. DOI: [10.1016/j.ejsobi.2006.07.033](https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.07.033).
- [46] JÍLKOVÁ V, CAITHAML T, FROUZ J. Relative importance of honeydew and resin for the microbial activity in wood ant nest and forest floor substrate - a laboratory study[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, 117: 1. DOI: [10.1016/j.soilbio.2017.11.002](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.11.002).
- [47] 肖洪浪, 李新荣, 段争虎, 等. 流沙固定过程中土壤—植被系统演变[J]. 中国沙漠, 2003, 23(6): 2. DOI: [10.3321/j.issn:1000-694X.2003.06.001](https://doi.org/10.3321/j.issn:1000-694X.2003.06.001).
- [48] MANDEL R D, SORENSON C J. The role of the western harvester ant (*Pogonomyrmex occidentalis*) in soil formation[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1982, 46(4): 785. DOI: [10.2136/sssaj1982.03615995004600040024x](https://doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600040024x).
- [49] LEVAN M A, STONE E L. Soil modification by colonies of black meadow ants in a New York old field[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1983, 47(6): 1192. DOI: [10.2136/sssaj1983.03615995004700060026x](https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700060026x).

责任编辑: 何馨成