

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.02.020

红火蚁营巢对不同生境土壤氮磷钾含量的影响

杨建秀¹, 张念念², 燕迪³, 李巧³, 王庆¹, 卢志兴¹, 陈又清^{1*}

(1. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南昆明 650224; 2. 贵州林业科学研究院, 贵州贵阳 550000;
3. 西南林业大学, 云南昆明 650224)

摘要: [目的] 土壤大型节肢动物作为生态系统的工程师, 能够调控陆地生态系统的养分循环, 本研究旨在揭示红火蚁营巢对不同生境土壤氮磷钾养分含量的影响。[方法] 于2017年11月和2018年3月, 选择云南省昆明市和牟定县林地、荒地及草地3种生境类型为研究样地, 比较研究了红火蚁 (*Solenopsis invicta* Buren) 活动巢和废弃巢土壤氮磷钾养分含量特征。[结果] 红火蚁营巢均显著增加了不同生境土壤氮磷钾含量 ($P < 0.01$), 其中, 林地废弃巢中土壤磷和钾含量显著高于活动巢 ($P < 0.05$ 或 0.01), 草地则是活动巢磷和钾含量显著高于废弃巢 ($P < 0.05$ 或 0.01), 但林地和草地活动巢和废弃巢中氮含量差异不显著; 不同土层氮磷钾含量差异亦不显著; 红火蚁营巢均能显著增加壤土和砂土中氮磷钾含量, 其中, 壤土中磷和钾增加的幅度极显著高于砂土 ($P < 0.01$)。[结论] 红火蚁营巢均能显著增加林地、荒地和草地中土壤氮磷钾含量, 活动巢废弃后, 这种影响仍十分显著, 壤土中增加幅度高于砂土。

关键词: 红火蚁; 蚁巢; 土壤营养成分; 活动巢; 废弃巢

中图分类号: S714.8

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2020)02-0161-07

土壤是陆地生物生存和发展的物质基础, 土壤肥力的形成、维持与改良研究一直是生态学的研究热点^[1-2]。土壤养分状况受微生物及土壤动物等生物因素的影响^[3-5], 其中, 蚂蚁是土壤节肢动物的优势物种, 被称为“土壤生态系统工程师”, 能够改变土壤理化性质, 调控土壤肥力^[6]。蚂蚁通过觅食、筑巢及排泄等活动, 能够改变土壤的粒径、孔隙度、含水率及土壤有机质、氮、磷、钾等元素的含量^[7-11]; 同时, 蚂蚁筑巢定居可以影响其他生物类群, 从而间接影响土壤养分状况^[11-13]。

红火蚁 (*Solenopsis invicta* Buren) 被列为世界上最危险的100种入侵有害生物之一^[14], 其适应能力强, 扩散速度快^[15-16], 已在我国华南地区广泛定殖, 在林地、草地和荒地等生境均有分布^[17-20]。已有研究表明, 红火蚁营巢对土壤理化性质均会产生

不同影响^[21-23]; 但是目前关于红火蚁营巢对不同生境类型土壤理化性质影响的比较研究报道较少, 且主要集中于壤土及粉质黏土^[13]。另外, 蚁巢类型绝大多数为活动巢, 极少关注废弃巢对土壤的影响。因此, 以不同生境、不同土壤类型红火蚁活动巢及废弃巢为研究对象, 探讨红火蚁营巢对土壤营养元素影响特征具有重要的科学意义。

氮磷钾作为土壤中的主要营养元素, 是衡量土壤营养状况、植物生长和生产力的重要指标^[24-25]。本研究拟对3种不同生境下红火蚁活动巢与废弃巢中不同土层的全氮、全磷和全钾含量特征进行比较研究。主要探讨以下问题: (1) 红火蚁营巢能否对土壤中氮磷钾含量产生显著影响? (2) 红火蚁营巢对土壤氮磷钾含量垂直分布的影响是否存在差异? (3) 红火蚁营巢对不同土壤类型营养元素含量

收稿日期: 2019-05-08 修回日期: 2019-10-07

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (CAFYBB2018ZC002); 贵州省高层次创新型人才培养计划--“百”层次人才 ([2016]5669)

* 通讯作者: 陈又清 (1969-), 男, 湖北黄冈人, 研究员, 主要从事昆虫生态学研究. E-mail: cyqcaf@126.com

的影响是否存在差异?

1 研究地概况

本研究选取林地、荒地和草地 3 种不同红火蚁生境类型。林地：位于云南省楚雄州牟定县（25°38'36" N, 101°45'03" E），地处云南省中北部，亚热带季风气候，平均年降水量 872 mm，调查区域面积大约 9.73 hm²；该地为人工种植林，植被类型单一，主要种植余甘子（*Phyllanthus emblica* Linn.），地表覆盖稀疏杂草及其他植物，以余甘子植株为中心，在半径 20 cm 范围内施农家肥作为底肥；该地土壤类型为红壤土。荒地：位于云南省昆明市官渡区（24°56'5" N, 102°43'37" E），亚热带高原山地季风气候，平均年降水量 1 035 mm，平均气温 15℃；海拔 1 862~1 895 m，调查区域面积约 4.53 hm²，人为干扰较小，地表植被覆盖密集，主要为草本植物，如：野葵（*Malva verticillata* Linn.）、三叶鬼针草（*Bidens pilosa* L.）、曼陀罗（*Datura stramonium* Linn.）等，该地红火蚁蚁巢面积较小，没有形成较高的蚁丘，也没有发现废弃巢；该样地土壤类型主要为砂土。草地：位于云南省昆明市官渡区，地理位置、气候特征与荒地基本一致。调查区域面积大约 1.93 hm²，主要为人工绿化草地，有人工对其进行浇水、施肥等管理。草地植被类型单一，杂草稀少，人为活动频繁，干扰严重，人工管理对红火蚁产生了严重影响，蚁巢更替速度快，但该生境蚁巢数量一直保持在一个较高的水平；该样地土壤类型主要为红壤土。

2 材料与方 法

2.1 土壤样品采集

2017 年 11 月和 2018 年 3 月，利用目光搜寻法和踏查法，在样地内搜寻红火蚁巢。在林地和草地中，分别随机选取 10 个红火蚁活动巢，在荒地中，随机选取 7 个红火蚁活动巢。在林地和草地中，分别随机选取 5 个红火蚁废弃巢，在荒地生境中并未发现废弃巢，故没有荒地废弃巢的土壤样品。活动巢的判定标准为：在蚁丘受到干扰后，有大量工蚁出现在蚁丘表面，在采集土样过程中，蚁巢中大量的工蚁和卵幼存在，这种蚁巢为活动巢。废弃巢的判定标准为：蚁丘表面土壤板结，在受到干扰或采集蚁巢土壤过程中，基本没有红火蚁或者

有零星的红火蚁出现，这种蚁巢为废弃巢。在选取蚁巢时，尽量选择密度、高度、直径基本一致的蚁巢，并且蚁巢之间的间距 5 m 以上。采集蚁巢中心 0~15 cm 与 15~30 cm 土层的土壤作为蚁巢土样；对照土样参考 Petr 等^[26]的方法，在距蚁巢 2 m 左右，从四个方向采集相同厚度的土层土壤，合并混合后作为对照土样。采集土样时，清除地表植物和枯落物，每个土样采集 1 kg 左右，并将采集好的土样装入自封袋密封，带回实验室置于 4℃ 冰箱中储存备用。

2.2 土壤氮磷钾测定

土壤样本的制备参考林业行业标准 LY/T 1210-1999《森林土壤样品的采集与制备》，将土样自然风干，取风干土样 500 g，仔细挑去石块、根茎及各种新生体和侵入体，用研钵研磨，过 0.149 mm 筛备用。参考林业行业标准 LY/T 1228-2015《森林土壤氮的测定》，土壤氮采用凯氏定氮法测定；土壤磷采用酸熔法-钼锑抗比色法测定^[27]；土壤钾采用酸熔法-火焰光度计法测定^[28]。

2.3 分析方法

3 种不同生境下均采用多因素方差分析方法分析影响土壤氮磷钾含量的因素，在林地和草地中，影响因素分别为蚁巢（蚁巢土、对照土）、蚁巢状态（活动巢、废弃巢）和土层（0~15、15~30 cm）。荒地其影响因素为蚁巢和土层。采用单因素方差分析活动巢与废弃巢、壤土活动巢与砂土活动巢间的差异，采用独立样本 T 检验分析红火蚁营巢对不同土壤类型（壤土、砂土）的氮磷钾的增加量（与对照土样相比）的影响。单因素方差分析前，对数据进行方差齐性检验。所有数据在 SPSS 22.0 (IBM) 软件下进行分析，利用 Excel 2016(Microsoft) 对图表进行处理。

3 结果与分析

3.1 三种生境中影响土壤氮磷钾含量的方差分析

表 1 表明：在林地中，红火蚁营巢对土壤中的氮磷钾含量均影响显著（氮： $P < 0.001$ ，磷： $P < 0.001$ ，钾： $P < 0.001$ ）；0~15 cm 和 15~30 cm 土层的氮磷钾含量均差异不显著；活动巢和废弃巢（蚁巢状态）中氮含量差异不显著，而磷和钾含量差异显著（磷： $P = 0.018$ ，钾： $P = 0.005$ ）。

在荒地中，红火蚁营巢对土壤中的氮磷钾含量

的影响差异显著(氮: $P < 0.001$, 磷: $P = 0.006$, 钾: $P < 0.001$), 0~15 cm和15~30 cm土层的氮磷钾含量均差异不显著。

在草地中, 红火蚁营巢对土壤中的氮磷钾含量的影响均差异极显著(氮: $P < 0.001$, 磷: $P < 0.001$, 钾: $P < 0.001$), 活动巢和废弃巢中氮含量差异不显著, 而磷含量差异极显著, 钾含量差异显著($P = 0.015$), 0~15 cm和15~30 cm土层的氮磷钾含量均差异不显著(表1)。

由以上结果可知: 在林地、荒地和草地3种生境中, 红火蚁的营巢可以显著影响土壤中氮磷钾的含量, 而蚁巢状态只对土壤中的磷和钾含量产生影

响, 对氮元素的含量没有影响; 3种生境下, 不同土层的氮磷钾含量均差异不显著。

3.2 土壤中氮磷钾含量在不同生境和不同蚁巢状态中的变化规律

表2表明: 在林地中, 红火蚁活动巢中的氮磷钾含量均极显著高于对照土壤(氮: $F = 6.23$, $P < 0.001$; 磷: $F = 6.54$, $P = 0.007$; 钾: $F = 2.01$, $P < 0.001$), 氮磷钾含量分别提高了30.69%、15.08%、50.00%。废弃巢中的氮磷钾含量也极显著或显著高于对照土壤(氮: $F = 1.57$, $P < 0.001$; 磷: $F = 10.09$, $P = 0.002$; 钾: $F = 1.74$, $P = 0.017$), 氮磷钾含量分别提高了40.89%、26.40%、46.15%。

表1 3种生境下影响土壤氮磷钾含量的因素分析

Table 1 Analysis of factors effecting soil nitrogen, phosphorus and potassium concentration in three habitats

生境类型 Habitat type	影响因素 Effective factors	氮 Total nitrogen/(g·kg ⁻¹)		磷 Total phosphorus/(g·kg ⁻¹)		钾 Total potassium/(g·kg ⁻¹)	
		F	P	F	P	F	P
林地 Forestland	红火蚁营巢 Red fire ant nests	27.74	<0.001	20.53	<0.001	18.59	<0.001
	土层 Soil layer	0.02	0.891	1.76	0.191	0.27	0.607
	蚁巢状态 Nest state	0.04	0.712	5.1	0.018	15.90	0.005
荒地 Wasteland	红火蚁营巢 Red fire ant nests	16.92	<0.001	8.60	0.006	12.77	<0.001
	土层 Soil layer	0.01	0.911	0.7	0.409	0.75	0.393
草地 Grassland	红火蚁营巢 Red fire ant nests	18.96	<0.001	119.65	<0.001	13.03	<0.001
	土层 Soil layer	0.01	0.963	2.14	0.152	0.84	0.365
	蚁巢状态 Nest state	0.49	0.418	12.98	<0.001	6.47	0.015

注: 具有显著性水平的P值($P < 0.05$ 或 0.01)以粗体表示。
Note: Significant P-values ($P < 0.05$ or 0.01) were indicated in bold.

表2 不同生境和不同蚁巢状态中土壤氮磷钾含量

Table 2 Nitrogen, phosphorus and potassium concentration in different habitats and different ant nest state

生境类型 Habitat types	蚁巢状态 Nest state	土壤类型 Soil types	氮/(g·kg ⁻¹) Nitrogen	磷/(g·kg ⁻¹) Phosphorus	钾/(g·kg ⁻¹) Potassium
林地 Forestland	活动巢 Active nest	壤土 Loam	54.59±2.88A	1.45±0.05Ab	0.27±0.02B
	对照 CK	壤土 Loam	41.77±1.70B	1.26±0.05B	0.18±0.02C
	废弃巢 Abandoned nest	壤土 Loam	55.65±3.11A	1.58±0.07Aa	0.38±0.04Aa
	对照 CK	壤土 Loam	39.50±2.89B	1.25±0.06B	0.26±0.03b
荒地 Wasteland	活动巢 Active nest	砂土 Sand	49.97±5.97A	1.61±0.03A	0.12±0.01A
	对照 CK	砂土 Sand	21.08±3.37B	1.49±0.03B	0.06±0.01B
草地 Grassland	活动巢 Active nest	壤土 Loam	151.03±16.03A	2.87±0.10A	0.34±0.06Aa
	对照 CK	壤土 Loam	85.15±11.58B	1.52±0.05C	0.15±0.01B
	废弃巢 Abandoned nest	壤土 Loam	154.42±10.30A	2.04±0.05B	0.18±0.02b
	对照 CK	壤土 Loam	100.95±9.21B	1.84±0.04C	0.13±0.01c

注: 在同一生境条件下, 同列中不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$), 不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Notes: In the same habitat, different uppercase letters under the same nutrient composition indicate extremely significant difference ($P < 0.01$), and different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

在荒地中,活动巢中的氮磷钾含量均显著高于对照土壤(氮: $F=4.083$, $P<0.001$;磷: $F=10.21$, $P=0.005$;钾: $F=13.867$, $P<0.001$),氮磷钾含量分别提高了137.05%、8.05%、100.00%

在草地中,红火蚁活动巢中的氮磷钾含量均极显著高于对照土壤(氮: $F=2.558$, $P=0.003$;磷: $F=4.496$, $P<0.001$;钾: $F=6.356$, $P=0.003$);氮磷钾含量分别提高了77.37%、88.82%、126.67%。废弃巢中的氮磷和钾含量极显著或显著高于对照土壤(氮: $F=0.52$, $P<0.001$;磷: $F=0.92$, $P<0.001$;钾: $F=0.258$, $P=0.027$)。

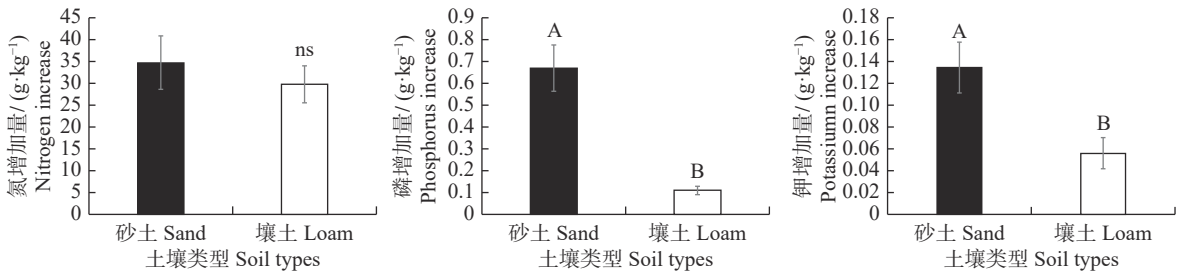
对红火蚁活动巢和废弃巢中的氮磷钾比较得出:在林地中,活动巢与废弃巢中的氮含量差异不显著($F=1.666$, $P=0.822$);废弃巢中的磷和钾含量显著高于活动巢(磷: $F=5.13$, $P=0.018$;钾: $F=3.098$, $P=0.005$),分别提高了8.97%和40.74%。在草地中,活动巢与废弃巢的氮含量差异不显著

($F=7.621$, $P=0.860$),活动巢中的磷和钾含量显著高于废弃巢(磷: $F=3.420$, $P<0.001$;钾: $F=3.689$, $P=0.026$),分别提高了40.69%和88.89%。

红火蚁营巢显著增加了土壤中的氮磷钾含量,即使蚁巢废弃后,土壤中的氮磷钾含量依然显著高于没有蚂蚁营巢的对照土壤。废弃巢和活动巢的氮含量没有发生显著变化,磷和钾含量在林地和草地中呈现不同的变化趋势,在林地中,活动巢的磷和钾含量显著低于废弃巢;而在草地中,活动巢的磷和钾含量显著高于废弃巢。

3.3 红火蚁活动巢对不同土壤类型氮磷钾含量的影响

图1表明:壤土活动巢与砂土活动巢氮的增加量差异不显著($t=0.494$, $P=0.624$);而壤土活动巢磷和钾的增加量均极显著高于砂土活动巢(磷增加量: $t=3.353$, $P=0.002$;钾增加量: $t=2.818$, $P=0.007$),壤土活动巢磷和钾的增加量比砂土活动巢分别提高了500%和139%。



注:图中不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$), ns表示无显著差异($P>0.05$)

Notes: The different capital letters in the figure indicate that there is a extremely significant difference ($P<0.01$), ns: means no significant difference

图1 壤土和砂土活动巢中氮磷钾增加量比较

Fig. 1 Comparison increments of nitrogen, phosphorus and potassium concentration in loam and sandy soil of active nests

4 讨论

蚂蚁筑巢定居活动能够显著增加土壤中营养元素含量。研究表明,蚁巢内土壤氮磷钾含量显著高于蚁巢周围土壤,不同蚂蚁种类对土壤的影响能力存在差异^[29-31]。Cammeraat等^[32]研究发现,收获蚁(*Messor bouvieri*)蚁巢氮磷钾含量分别比对照土样提高了300%、571%、147%。本研究中,在林地、荒地和草地3种生境中,红火蚁巢中土壤氮磷钾含量均高于蚁巢周围土壤,3种元素分别最高提升了137.05%、88.82%、126.67%。红火蚁与收获蚁对土壤肥力的影响存在一定的差异,这可能与2种蚂蚁在食性、种群大小以及筑巢方式等特征密切相关。红火蚁在觅食过程中将动物尸体和植物残

渣搬入蚁巢内以及排泄物在蚁巢内的堆积导致了土壤养分在蚁巢内的富集^[8]。国内有研究表明,红火蚁营巢会提升土壤中的速效K含量(120%),但是会降低碱解N(65.9%)和有效P(67.9%)的含量^[33]。笔者在土壤养分指标测定时主要考虑了红火蚁对土壤中全氮、全磷和全钾的影响,对于土壤肥力有较大影响的其他指标如有机质、速效氮、速效磷和速效钾等则没有测定,在后续研究中应进行补充,以期更全面地了解红火蚁对土壤肥力的影响。

蚁巢废弃依然对土壤理化性质产生显著影响,但影响力减弱^[32,34-35]。本研究中,红火蚁巢废弃后,废弃巢内的氮磷钾含量依然显著高于蚁巢周围土壤,主要是由于蚂蚁活动停止后土壤养分含量的

降低,需要随着时间的推移逐渐减少^[32];但较活动巢相比,氮含量没有发生明显的改变,磷和钾含量发生改变,这可能与氮在土壤中大部分以腐殖质存在,不易分解被植物吸收,而磷在土壤中以有机和无机形式并存,一部分被植物吸收,钾以无机的形式存在,能够很快被植物吸收有关^[36]。在林地和草地中,磷钾在活动巢与废弃巢中呈不同的变化趋势,这可能与土地利用方式有关,草地为城市绿化草坪,人工管护提高了土壤含水率,降低了磷和钾浓度^[37]。

蚂蚁在不同土壤类型下营巢对土壤养分含量的影响程度存在差异。Lafleur等^[13]研究表明,红火蚁在壤土、砂质壤土和粉质黏土中活动,对土壤磷含量分别提高了46%、33%、18%,壤土中的提升能力高于其他类型土壤。本研究中,壤土活动巢氮的增加量与砂土活动巢无显著差异,而磷和钾的增加量均极显著高于砂土活动巢,分别提高了500%、139%。这可能与红火蚁筑巢对土壤类型的选择有关,砂质土壤稳固性差,易受侵蚀,红火蚁的蚁巢更新速度快,对土壤氮磷钾含量的改良时间短^[38-39]。另外,相较于壤土,砂土团粒结构差,有机质缺乏,保水保肥能力也差,这可能也是造成这种差异的原因。

在本研究中,林地、荒地和草地3种生境下植被类型和植物多样性均有很大的差异,而植被类型和植物多样性也是影响土壤理化性质的一个重要因素^[40-41]。蚂蚁的营巢活动会与入侵地的植被类型和植物多样性产生相互影响^[5,12],这种交互作用又是如何影响土壤营养元素的,还有待进一步研究。

5 结论

红火蚁在林地、荒地和草地中营巢均能显著提高土壤氮磷钾含量,但土壤氮磷钾含量还受到蚁巢状态和土壤类型的影响。活动巢废弃后,氮含量没有发生明显改变,磷和钾含量在林地和草地中呈现不同的变化趋势。红火蚁在壤土中营巢对土壤磷和钾的影响幅度高于砂土。

参考文献:

[1] Arshad M A, Martin S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2002, 88(2): 153-160.
[2] Qi Y, Darilek J L, Huang B, et al. Evaluating soil quality indices in an

agricultural region of Jiangsu Province, China[J]. Geoderma, 2009, 149(4): 325-334.
[3] 林英华,杨德付,张夫道,等. 栎林凋落层土壤动物群落结构及其在凋落物分解中的变化[J]. 林业科学研究, 2006, 19(3): 331-336.
[4] 章家恩,刘文高,胡刚. 不同土地利用方式下土壤微生物数量与土壤肥力的关系[J]. 生态环境学报, 2002, 11(2): 140-143.
[5] 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): 166-170.
[6] Folgarait P J. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review[J]. Biodiversity and Conservation, 1998, 7(9): 1221-1244.
[7] Wang C, Wang G, Wu P, et al. Effects of ant mounds on the plant and soil microbial community in an alpine meadow of Qinghai-Tibet Plateau: Ant mounds[J]. Land Degradation and Development, 2017, 28(5): 1538-1548.
[8] Drager K I, Hirmas D R, Hasiotis S T. Effects of ant (*Formica subsericea*) nests on physical and hydrological properties of a fine-textured soil[J]. Soil Science Society of America Journal, 2016, 80(2): 364-367.
[9] Lei S A. Ecological impacts of seed harvester ants on soil attributes in a larrea-dominated shrubland[J]. Western North American Naturalist, 2000, 60(4): 439-444.
[10] Moutinho P, Nepstad D C, Davidson E A. Influence of leaf-cutting ant nests on secondary forest growth and soil properties in Amazonia[J]. Ecology, 2003, 84(5): 1265-1276.
[11] Farji-Brener A G, Werenkraut V. A meta-analysis of leaf-cutting ant nest effects on soil fertility and plant performance[J]. Ecological Entomology, 2015, 40(2): 150-158.
[12] 祝艳,王东. 蚂蚁觅食与搬运行为对阜平黄堇和小花黄堇种子散布的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(17): 4938-4942.
[13] Lafleur B, Hooper-Bui L M, Mumma E P, et al. Soil fertility and plant growth in soils from pine forests and plantations: Effect of invasive red imported fire ants *Solenopsis invicta* Buren[J]. Pedobiologia, 2005, 49(5): 415-423.
[14] Suarez B B V. Testing the directed dispersal hypothesis: are native ant mounds (*Formica* sp.) favorable microhabitats for an invasive plant[J]. Oecologia, 2012, 169(3): 763-772.
[15] Inoue M N, Goka K. The invasion of alien ants across continents with special reference to Argentine ants and red imported fire ants[J]. Biodiversity, 2009, 10(2-3): 67-71.
[16] 吕利华,何余容,刘杰. 红火蚁的入侵、扩散、生物学及其危害[J]. 广东农业科学, 2006(5): 3-11.
[17] 张翔,陈艺欣,侯有明,等. 福建省入侵红火蚁扩散规律研究[J]. 应用昆虫学报, 2015, 52(6): 1376-1384.
[18] 钟平生,赵瑾,张颂声. 惠州市红火蚁疫情调查[J]. 广东农业科学, 2007(10): 54-56.
[19] 李慎磊,曾玲,许益锦. 广东省草皮种植场和城市草坪红火蚁发生为害程度调查[J]. 生物安全学报, 2014, 23(2): 103-106.

- [20] 曾 玲, 陆永跃, 何晓芳, 等. 入侵中国大陆的红火蚁的鉴定及发生为害调查[J]. 昆虫知识, 2005, 42(2): 144-148.
- [21] Hooperbui L M. Soil fertility and plant growth in soils from pine forests and plantations: effect of red imported fire ants, *Solenopsis invicta* Buren[J]. Pedobiologia-International Journal of Soil Biology, 2013, 49(5): 415-423.
- [22] Defauw S L, Vogt J T, Boykin D L. Influence of mound construction by red and hybrid imported fire ants on soil chemical properties and turfgrass in a sod production agroecosystem[J]. InsectesSociaux, 2008, 55(3): 301-312.
- [23] Kristiansen S M, Amelung W. Abandoned anthills of *Formica polyctena* and soil heterogeneity in a temperate deciduous forest: morphology and organic matter composition[J]. European Journal of Soil Science, 2010, 52(3): 355-363.
- [24] 何 斌. 植物氮磷钾的自控远红外快速联合消化和测定法[J]. 理化检验 - 化学分册, 1992, 28(4): 236-237.
- [25] Guan F, Xia M, Tang X, et al. Spatial variability of soil nitrogen, phosphorus and potassium contents in Moso bamboo forests in Yong'an City, China[J]. Catena, 2017, 150: 161-172.
- [26] Petr D, Magdalena B, Vladimira K, et al. Ant-induced soil modification and its effect on plant below-ground biomass[J]. Pedobiologia, 2005, 49(2): 127-137.
- [27] 田春秋, 邵 坤. 微波消解-磷钼蓝分光光度法测定土壤和水系沉积物中的总磷[J]. 冶金分析, 2013, 33(12): 52-56.
- [28] 彭靖茹, 甘志勇. 微波消解ICP-OES法同时测定土壤中全磷和全钾[J]. 中国土壤与肥料, 2009(3): 79-81.
- [29] Wagner D, Jones J B, Gordon D M. Development of harvester ant colonies alters soil chemistry[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(5): 797-804.
- [30] Farjibrener A G, Ghermandi L. Influence of nests of leaf-cutting ants on plant species diversity in road verges of northern patagonia[J]. Journal of Vegetation Science, 2010, 11(3): 453-460.
- [31] Finer L, Jurgensen M F, Domisch T, et al. The role of wood ants (*Formica rufa* group) in carbon and nutrient dynamics of a boreal norway spruce forest ecosystem[J]. Ecosystems, 2013, 16(2): 196-208.
- [32] Cammeraat L H, Willott S J, Compton S G, et al. The effects of ants' nests on the physical, chemical and hydrological properties of a rangeland soil in semi-arid Spain[J]. Geoderma, 2001, 105(1): 1-20.
- [33] 席银宝, 陆永跃, 曾 玲, 等. 红火蚁入侵对荔枝园土壤性理化质的影响[J]. 环境昆虫学报, 2010, 32(2): 145-151.
- [34] Vidkjr N H, Wollenweber B, Gislum R, et al. Are ant feces nutrients for Plants? A metabolomics approach to elucidate the nutritional effects on plants hosting weaver ants[J]. Metabolomics, 2015, 11(4): 1013-1028.
- [35] Kristiansen S M, Amelung W, Zech W. Phosphorus forms as affected by abandoned anthills (*Formica polyctena* Forster) in forest soils: sequential extraction and liquid-state³¹P-NMR spectroscopy[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2001, 164(1): 49-55.
- [36] 黄国弟. 植物氮磷钾营养的土壤化学原理及应用[J]. 广西热带农业, 2005(4): 20-22.
- [37] 谷秋荣, 杨占平, 王秋杰, 等. 不同灌水量对土壤氮磷钾养分移动的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(4): 30-33.
- [38] Seaman R E and Marino P C. Influence of mound building and selective seed predation by the red imported fire ant (*Solenopsis invicta*) on an old-field plant assemblage[J]. Journal of the Torrey Botanical Society, 2003, 130(3): 193-201.
- [39] Sosa B, Brazeiro A. Local and landscape-scale effects of an ant nest construction in an open dry forest of Uruguay[J]. Ecological Entomology, 2012, 37(3): 252-255.
- [40] 周择福, 李昌哲. 北京九龙山不同植被土壤水分特征的研究[J]. 林业科学研究, 1994, 7(1): 48-53.
- [41] 朱志建, 姜培坤, 徐秋芳. 不同森林植被下土壤微生物量碳和易氧化态碳的比较[J]. 林业科学研究, 2006, 19(4): 523-526.

Mound Building Effects of Red Fire Ants (*Solenopsis invicta* Buren) on the Concentrations of Soil Nitrogen, Phosphorus and Potassium across Different Habitats

YANG Jian-xiu¹, ZHANG Nian-nian², YAN Di³, LI Qiao³, WANG Qing¹, LU Zhi-xing¹, CHEN You-qing¹

(1. Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China; 2. Guizhou Academy of Forestry, Guiyang 550000, Guizhou, China; 3. Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: [Objective] This study aims at revealing the effects of mound building of *Solenopsis invicta* on soil nitrogen, phosphorus and potassium concentrations across three habitats. [Method] Three habitats (forestland, wasteland, and grassland) were selected as research sites in Kunming and Mouding, Yunnan Province in November 2017 and March 2018. The characteristics of nitrogen, phosphorus and potassium concentrations in active and abandoned nests of *S. invicta* were compared. [Result] Ant colonization significantly increased the soil nitrogen, phosphorus and potassium concentrations in all the three habitats ($P < 0.01$). The phosphorus and potassium concentrations were significantly higher in abandoned nests than in the active nests in forestland ($P < 0.05$ or 0.01), while that in grassland were significantly higher than in abandoned nests ($P < 0.05$ or 0.01). However, there was no significant difference in nitrogen concentration between active and abandoned nests in forestland and grassland, and no significant difference was found in nitrogen, phosphorus and potassium concentrations among different soil layers. Ant colonization significantly increased the concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium in loam soils and sandy soils. The rising level of phosphorus and potassium contents was extremely higher in loam soils than in sandy soils ($P < 0.01$). [Conclusion] The colonization of *S. invicta* can significantly increase soil nitrogen, phosphorus and potassium concentrations in the three habitats. This effects will be still significant after active nests are abandoned, and the increase in loam soils will be higher than that in sandy soils.

Keywords: *Solenopsis invicta*; ant nest; soil nutrients; active nest; abandoned nest

(责任编辑: 徐玉秀)