

DOI: 10.5846/stxb201406031141

刘进辉, 王雪芹, 马洋. 沙漠绿洲过渡带柽柳灌丛沙堆—丘间地系统土壤养分分异规律. 生态学报, 2016, 36(4): - .

Liu J H, Wang X Q, Ma Y. Spatial variation of soil nutrients of *Tamarix ramosissima* nebkhas and interdune areas in a desert-oasis ecotone. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(4): - .

沙漠绿洲过渡带柽柳灌丛沙堆—丘间地系统土壤养分分异规律

刘进辉^{1,2,3}, 王雪芹^{1,*}, 马 洋^{1,2,3}

1 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011

2 新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 策勒 848300

3 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 本文以塔克拉玛干沙漠南缘策勒沙漠绿洲过渡带为研究区, 选取植被盖度依次为 30%、15—20%、10% 和 <5% 的四个典型样地, 对各样地的柽柳灌丛沙堆—丘间地系统典型部位 0—10 cm 和 10—20 cm 土壤进行系统采样, 分析土壤枯落物、有机质、全效 N、P、K 和速效 N、P、K 含量, 从风沙地貌的角度研究过渡带沙漠化进程中土壤养分分异规律。结果表明: (1) 随着植被总盖度的降低, 灌丛沙堆表层 0—10 cm 土壤的枯落物、有机质、全 N、全 K、速效 K 含量呈降低趋势, 平均降幅为 69.3%、37.0%、35.3%、8.3% 和 24.5%。全 P 含量没有明显的变化, 速效 N 和速效 P 含量呈先减小后增大的趋势; (2) 从灌丛下→沙堆边缘→丘间地→风影区, 土壤枯落物、有机质、全 N、全 P、速效 N、速效 P、速效 K 含量表现出先减小后增大的趋势, 最大值位于灌丛下部位, 最小值位于丘间地, 但在植被盖度 <5% 的样地, 沙堆—丘间地系统各部位之间养分含量无显著性差异; (3) 与 0—10 cm 土层相比, 10—20 cm 土层的枯落物、有机质、全 N、全 P 和速效 P 含量显著降低, 平均降幅为 40.0%、27.0%、25.0%、4.5% 和 2.0%, 全 K、速效 N 和速效 K 含量明显增加, 平均增幅为 4.8%、103.3% 和 12.1%。随着植被盖度的降低, 10—20 cm 土层的养分含量具有与 0—10 cm 土层相对一致的变化趋势; (4) 灌丛的生物反馈作用使得灌丛下部位具有明显的养分富集效应, 但随着植被总盖度的降低和风沙活动不断加剧, 非生物因素逐渐占据主导, 灌丛的养分富集效应趋于减弱和消失。

关键词: 沙漠绿洲过渡带; 柽柳灌丛沙堆; 枯落物; 土壤养分

Spatial variation of soil nutrients of *Tamarix ramosissima* nebkhas and interdune areas in a desert-oasis ecotone

LIU Jinhui^{1,2,3}, WANG Xueqin^{1,*}, MA Yang^{1,2,3}

1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Ürümqi 830011, China

2 Cele National Station of Observation & Research for Desert Grassland Ecosystem, Cele 848300, China

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: In this study four kinds of typical plots, with vegetation cover of 30, 15—20, 10, and <5%, respectively, were selected to investigate the spatial variation of soil nutrients in *Tamarix ramosissima* nebkhas and interdune areas in a Qira oasis-desert ecotone at the southern rim of the Taklimakan desert. Soil samples from two layers (0—10 cm and 10—20 cm) of the nebkha and interdune in the four plots were collected for analysis of the litter, soil organic matter, total N, total P, total K, available N, available P, and available K content. The following results were obtained: First, with decreasing vegetation cover from Plot 1 to Plot 4, litter content, soil organic matter content, total N content, total K content, and

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41371042); 国家科技支撑计划 (2014BAC14B02)

收稿日期: 2014-06-03; **网络出版日期:** 2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xqwang@ms.xjb.ac.cn

available K content in the top (0—10 cm) layer of the nebkhas decreased by 69.3, 37.0, 35.3, 8.3, and 24.5%, respectively. The available N and available P content decreased at first, and then increased with decrease in vegetation cover, while total P content showed no obvious change. Second, the litter content, soil organic matter content, total N content, total P content, available N content, available P content, and available K content in the top layer first decreased, and then increased from under shrubs to the margin of the nebkha, to the interdune, to the leeward shadow. The maximum values were mainly found under shrubs, while the minimum values were mainly found in the interdune regions. For each soil nutrient index, there was no significant difference between the four positions in Plot 4 (vegetation cover is <5%). Third, compared with the top soil layer, there was a significant reduction in litter content, organic matter content, total N content, total P content, total K content, available P content, and available K content in the bottom (10—20 cm) soil layer. The above corresponding mean values were lower by 40.0, 27.0, 25.0, 4.5, and 2.0%, respectively, while total K content, available N content, and available K content were higher by 4.8, 103.3, and 12.1%, respectively. With decreasing vegetation coverage, the changes in soil nutrient content in the two soil layers showed a consistent trend. Fourth, in non-desertified and lightly desertified areas of the oasis-desert ecotone, the biological feedback of shrubs led to obvious nutrient enrichment effects around them. However, as the total vegetation cover decreased and the intensity of desertification increased, non-biological factors began to play leading roles, and the nutrient enrichment effects of shrubs tended to disappear gradually.

Key Words: desert-oasis ecotone; *Tamarix ramosissima* Nebkha; litter content; soil nutrient; spatial heterogeneity

灌丛沙堆 (nebkhas) 是风沙流遇到灌丛阻拦, 沙物质在灌丛及其周围堆积而成的生物地貌类型^[1], 广泛分布于世界干旱、半干旱及半湿润沙地和部分沙质海岸带^[2-5]。它的形成演化是风成沙与灌丛相互作用的结果^[6], 如在塔里木盆地, 柽柳灌丛沙堆受植物和风沙活动的共同作用^[7], 形成沙物质与枯落物互层的交错层理^[8]。因此凡是能提供沙包形成基本条件的地区都有它的分布^[9], 也是沙地和沙漠的重要组成部分^[10]。

Klemmedson 和 Barth^[11]在对荒漠生态系统中植物生物量与养分分配关系研究时, 首次提出了“肥岛”的概念。陈广生等^[12]将其定义为干旱、半干旱区灌木冠幅下限制性土壤资源的显著聚集现象, 其中的资源是指土壤水分、养分、微生物、动物及其由灌木或乔木等带来的非生物环境等的总和。肥岛现象在很多区域及其不同种类的灌丛下被发现^[13-15], 普遍的研究都认为灌丛沙堆相比周围空地具有较强的资源富集性^{[13][16-17]}。在干旱区, 水分及/或氮是最常见的限制植物生长的非生物因素^[18], 养分资源的空间分布对于干旱环境中植被格局的确定具有重要的作用^[19], 养分有效性的提高对群落动态将产生深远的影响^[20]。Gibbens^[21]对奇瓦瓦沙漠植物根系进行了研究, 证实了该沙漠植物根系对上层土壤水分与养分存在激烈的竞争。虽然在干旱区表层土壤的含水量极低, 但当水分较充分时, 土壤养分会快速地变成限制沙漠生物过程的主要因素^[22]。有研究发现, 沙漠化逆转与较高的土壤养分水平相关^[23]。肥岛是沙漠生态系统结构与功能的一个重要组成部分, 因此有关肥岛土壤养分特点的研究对于了解区域环境变化具有非常重要的意义^[24]。尹传华^[25]研究发现, 当生态系统退化为沙漠或半沙漠时, 肥岛效应趋于削弱。Okin 等^[26]的研究则认为, 人为干扰导致干旱的灌木地土壤结皮和植被破坏, 进而引发肥岛的解体, 而肥岛的解体会对相邻地区形成间接干扰。

塔克拉玛干沙漠南缘气候极端干旱, 风沙活动频繁, 不同植被条件下灌丛沙堆具有不同的蚀积特点。虽然对绿洲—沙漠过渡带灌木引起的资源岛现象已有报道^[25,27], 但基于沙漠化进程中不同植被覆盖条件下灌丛沙堆—丘间地系统土壤养分分异规律尚无系统的观测和研究。鉴于此, 本研究以策勒绿洲沙漠过渡带为研究区, 在对不同植被覆盖条件下柽柳灌丛沙堆—丘间地系统蚀积特征有所认识的前提下, 重点研究土壤养分的空间异质性变化, 揭示过渡带沙漠化进程中柽柳灌丛沙堆—丘间地系统土壤养分分异规律, 从风沙地貌的角度探讨灌丛沙堆蚀积过程对土壤养分分布的影响。研究结果有助于深入理解绿洲—沙漠过渡带土地退化成因和过程, 可为绿洲外围灌丛沙堆的科学保育和生态安全提供理论依据。

1 区域概况

研究区位于塔克拉玛干沙漠南缘策勒绿洲西部过渡带,介于 80°03′—82°10′ E,35°17′—39°30′ N 之间。该区域气候极端干旱,年均降水量 35 mm,蒸发量 2595.3 mm,干燥度 20.8,属暖温带大陆性荒漠气候。多年平均气温 11.9 ℃,1 月平均气温-5.8 ℃,7 月平均气温 25.1 ℃,极端最高气温 41.9 ℃,极端最低气温-23.9 ℃。这里风沙活动频繁,以西风为主,其频率占 62.43%—76.25%,年平均风速 1.9 m/s,最大可达 12.1 m/s。春季多大风,年平均 3—9 次,8 级以上大风年平均 40 d。土壤以风沙土和棕漠土为主,主要由极细沙和粉沙组成,土壤质地轻,含水量低,易于形成风沙流。天然植被类型单调,群落结构简单,疏叶骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、多枝柽柳(*Tamarix ramosissima*)和花花柴(*Karelinia caspic*)为主要建群种,部分可形成大小不等的植物沙包^[28]。该区域沙漠化问题在绿洲西部有集中体现,受不同程度人类活动的影响,形成植物组合与盖度呈现明显差异的四种植被类型(表 1),分别与不同程度的沙漠化土地相对应,其间均有柽柳灌丛沙堆分布。杨帆等人^[29]通过详细的灌丛沙堆蚀积分布研究发现,不同植被覆盖条件下柽柳灌丛沙堆—丘间地系统地表蚀积过程也出现明显差异:在植被覆盖较好的非沙漠化区域,地表以微弱积沙过程为主,主要是由于良好的植被拦截了相当一部分远程输送的沙尘;在植被条件居中的轻度和中度沙漠化区域,则出现地表物质的原地再分配,沙堆迎风坡和沙堆两侧局部发生风蚀,其它部位以积沙为主;在植被遭受严重破坏的重度沙漠化区域,除沙堆中上部外的大部分地表均以严重风蚀为显著特点。不同程度沙漠化地表植被状况和蚀积特征描述见表 1。

表 1 不同植被类型中柽柳灌丛沙堆地表蚀积特征描述
Table 1 The description of *Tamarix ramosissima*. Nebkha surface erosion feature in different vegetation types

植被与土地类型 Vegetation and land type	植被特征描述 Vegetation characteristics description	沙堆形态 Sand dune morphology	沙堆—丘间地系统蚀积强度与分布 The intensity of erosion and distribution in sand dune-interdune system
疏叶骆驼刺群落(轻度沙漠化土地) <i>Alhagi sparsifolia</i> (Slight sandy desertification)	植被盖度 30% 左右,以疏叶骆驼刺为主,灌丛沙堆稀疏散布。	呈半球体状	地表以微弱积沙过程为主,受降尘影响表层土壤物质组成细化。灌丛下普遍积沙,年累积积沙厚度<1 cm;沙堆边缘和丘间地积沙,累积积沙厚度<2 cm。
疏叶骆驼刺—多枝柽柳群落 (中度沙漠化土地) <i>Alhagi sparsifolia-Tamarix ramosissima</i> (Moderate sandy desertification)	植被盖度 15—20% 左右,以疏叶骆驼刺和柽柳灌丛为主,伴随有少量花花柴分布。	呈半球体状,顺风向拉伸	灌丛下呈积沙状态,年积沙厚度<1 cm;沙堆迎风坡边缘风蚀,年风蚀深度为 1—3 cm;丘间地微弱侵蚀,年累积风蚀深度<1 cm;沙堆背风坡及风影区呈积沙状态,年积沙厚度<3 cm。
多枝柽柳—疏叶骆驼刺—花花柴群落(重度沙漠化土地) <i>Tamarix ramosissima-Alhagi sparsifolia-Karelinia caspic</i> (Severe sandy desertification)	植被盖度 10%,以柽柳灌丛为主,柽柳沙堆丘间地稀疏分布有疏叶骆驼刺和花花柴。	呈半球体状,出现顺风向拉伸的风影沙尾	灌丛下呈积沙状态,年积沙厚度 1 cm 左右;沙堆迎风坡风蚀,年风蚀深度>2 cm;丘间地发生侵蚀,年侵蚀深度为 3—5 cm;沙堆两侧丘间地出现 5—7 cm 的风蚀深度;沙堆背风坡及风影区积沙,年累积积沙厚度<5 cm。
多枝柽柳群落 (严重沙漠化土地) <i>Tamarix ramosissima</i> (Very severe sandy desertification)	植被盖度<5%,大面积流沙地表,稀疏散布有柽柳灌丛沙堆,沙堆周边有植物残根出露。	圆锥体状,伴随明显的风影沙尾	灌丛下呈积沙状态,年积沙厚度<3 cm;沙堆边缘、丘间地及风影区呈强烈风蚀状态,年累积风蚀深度>5 cm,局部位置可出现 7—9 cm 的风蚀,最大的风蚀深度达到 20 cm。受风蚀影响地表组成物质粗化迹象明显。

2 研究方法

2.1 实验设计

基于大范围野外调查,在策勒绿洲西部过渡带确定四种不同植被类型的典型样地,各样地分别选择一个大小适中、相对独立的柽柳灌丛沙堆。其中,沙堆 A 位于植被盖度为 30% 左右的疏叶骆驼刺群落中,沙堆 B 位于植被盖度为 15—20% 左右的疏叶骆驼刺—多枝柽柳群落中,沙堆 C 位于植被盖度为 10% 的多枝柽柳—

疏叶骆驼刺—花花柴群落中,沙堆 D 位于植被盖度<5%的多枝怪柳群落中。根据主风向、沙堆部位及蚀积分布状况,将各灌丛沙堆—丘间地划分为四个部位,依次为沙堆灌丛下 (Under shrub)、沙堆边缘区 (Margin of nebkha)、沙堆风影区 (Leeward shadow) 和丘间地 (Interdune)。其中沙堆灌丛下包括 1、2、3、4、5 号共 5 个采样点,沙堆边缘区包括 6、8、9 号共 3 个采样点,沙堆风影区包括 7、11、14 号共 3 个采样点,丘间地包括 10、12、13、15、16、17、18 号共 7 个采样点 (图 1)。

2.2 土样采集

各样点分 0—10 cm 和 10—20 cm 两层取样。将直径 50 mm、高 100 mm 的环刀垂直压入土中,使环刀与土壤表层相平齐,用环刀托取出环刀后将土样装入自封袋,每个样点土样为三次环刀取样混合而成。10—20 cm 土样采集时,用铁锹铲去表层 10 cm 厚土壤,按相同方法采集 10—20 cm 的土样。所有土样带回实验室进行测试和分析。

2.3 指标测定

将各土样过 0.5 mm 的筛子,称取枯落物的重量,根据环刀尺寸计算沙堆各部位枯落物百分含量。过筛后的土样全部送实验室进行有机质、全 N、全 P、全 K、速效 N、速效 P 和速效 K 共 7 个指标的测定。有机质采用重铬酸钾法测定,全氮采用凯氏法利用 FOSS 全自动定氮仪测定,全磷用 DU800 紫外分光光度计测定、全钾用火焰光度计测定,速效氮用碱解扩散法测定,速效磷用钼锑抗比色法测定,速效钾用中性醋酸铵浸提法测定。

2.4 数据分析

用 SPSS 21.0 软件对各项指标进行描述统计分析和数据正态性检验 (one sample Kolomogorov-Semimov, 即 K-S 检验)。对同一灌丛沙堆不同部位之间以及不同沙堆相同部位之间的枯落物含量及土壤养分各指标数据进行单因素方差分析 (One-way ANOVA) 和多重比较 (LSD),并用 Excel 软件进行分析和作图。

3 研究结果

3.1 枯落物含量变化规律

随着植被盖度的下降,0—10 cm 土层枯落物含量总体呈降低的趋势,而沙堆不同部位降低幅度又有不同 (图 2)。对于沙堆灌丛下部位,沙堆 A 枯落物含量为 2.21%,到沙堆 D 降低至 0.94%,降幅达到 57%;对于沙堆边缘区,沙堆 A 枯落物含量为 1.16%,至沙堆 D 则降低到 0.38%,降幅达到 67%;对于丘间地,枯落物含量在沙堆 A 为 0.53%,到沙堆 D 则降至 0.13%,最大降幅为 75%;对于沙堆风影区,则从沙堆 A 的 0.5%降至沙堆 D 的 0.11%,最大降幅为 78%。就单个沙堆不同部位而言,沙堆枯落物含量以灌丛下最大,其次为沙堆边缘区,丘间地和风影区较差,其中沙堆灌丛下显著高于其它三个部位。将 4 个沙堆丘间地枯落物与灌丛下相比,沙堆 A、B、C 和 D 的降幅依次为 77%、81%、91%和 81%。与 0—10 cm 土层相比,10—20 cm 土层枯落物含量普遍降低,降幅为 40%左右,其中灌丛下变化最为明显。无论是不同沙堆间还是同一沙堆不同部位间,10—20 cm 土层与 0—10 cm 土层相比,均具有相对一致的变化趋势。

3.2 土壤有机质含量变化规律

随着植被盖度的下降,0—10 cm 土层有机质含量总体呈逐渐降低的趋势,而沙堆不同部位降低幅度又有不同 (图 3)。对于沙堆灌丛下部位,沙堆 A 有机质含量为 4.67 g/kg,到沙堆 D 降低至 2.26 g/kg,降幅达到 52%;对于沙堆边缘区,沙堆 A 有机质含量为 3.62 g/kg,至沙堆 D 则降低到 2.31 g/kg,降幅达到 36%;对于丘

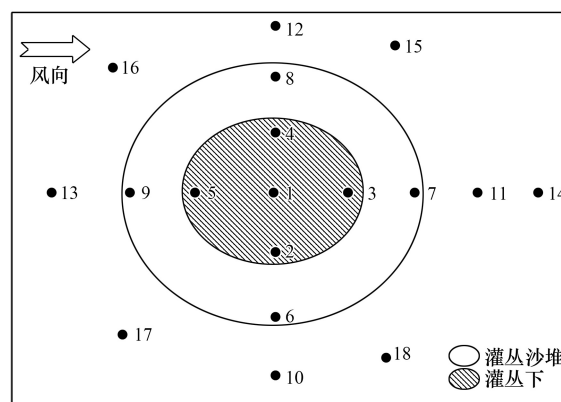


图 1 土壤采样点位置

Fig. 1 The location of soil sampling

灌丛沙堆:是指丛下积土的范围;灌丛下:是指灌丛基部分布 (或影响) 范围

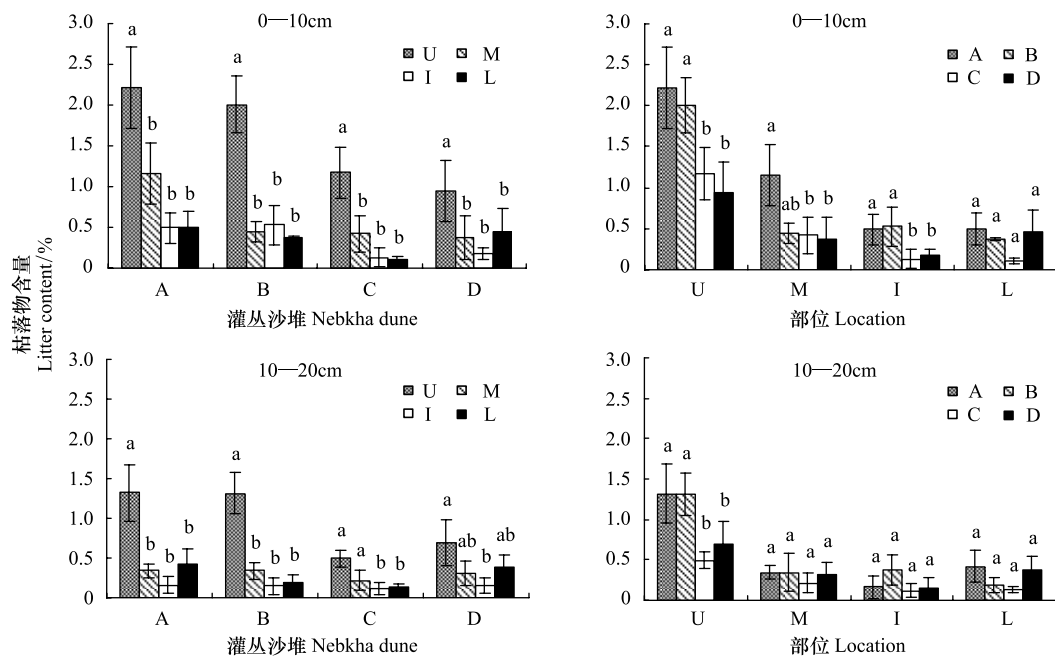


图2 土壤枯落物含量变化规律

Fig. 2 The changes of soil litter content (mean±S.E.)

Different lowercase letters indicate significant statistical differences ($P < 0.05$), U: 灌丛下 Under shrub; M: 沙堆边缘 Margin of nebkha; I: 丘间地 Interdune; L: 风影区 Leeward shadow, A、B、C 和 D 依次代表植被盖度为 30%、15—20%、10% 和 <5% 的典型样地内所选的柽柳灌丛沙堆

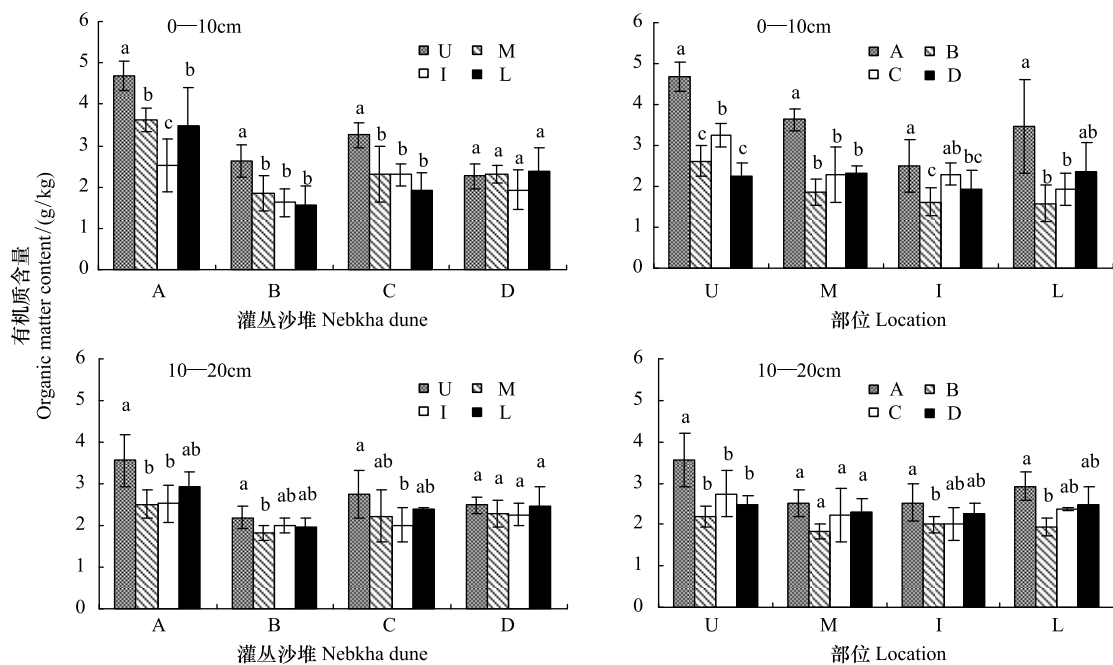


图3 土壤有机质含量变化规律

Fig. 3 The changes of soil organic matter content (mean±S.E.)

Different lowercase letters indicate significant statistical differences ($P < 0.05$), U: 灌丛下 Under shrub; M: 沙堆边缘 Margin of nebkha; I: 丘间地 Interdune; L: 风影区 Leeward shadow, A、B、C 和 D 依次代表植被盖度为 30%、15—20%、10% 和 <5% 的典型样地内所选的柽柳灌丛沙堆

间地,有机质含量在沙堆 A 为 2.50 g/kg,到沙堆 D 则降至 1.93 g/kg,最大降幅为 23%;对于沙堆风影区,有机质含量先降低后升高,最小值位于沙堆 C,含量为 1.93 g/kg。就单个沙堆不同部位而言,沙堆有机质含量以灌

丛下最大,其次为沙堆边缘区和风影区,丘间地最小,其中沙堆灌丛下显著高于其它三个部位。与 0—10 cm 土层相比,沙堆 A、B、C 各部位 10—20 cm 土层有机质含量普遍降低,其中以灌丛下和沙堆边缘两部位比较明显,平均降幅分别为 23.3% 和 30.75%。沙堆 D 各部位 10—20 cm 土层较 0—10 cm 有所增加,平均增幅为 9.66%。无论是不同沙堆间还是同一沙堆不同部位间,10—20 cm 土层与 0—10 cm 土层相比,差异显著性较枯落物含量均有减弱。

3.3 土壤全 N、全 P、全 K 含量变化规律

随着植被盖度的下降,0—10 cm 土层土壤全 N 和全 K 含量在灌丛下、沙堆边缘、丘间地三部位呈逐渐降低的趋势,而不同部位降低幅度又有不同(图 4,图 5,图 6)。对于沙堆灌丛下部位,沙堆 A 全 N 和全 K 含量分别为 0.26 g/kg 和 16.27 g/kg,到沙堆 D 分别降低至 0.13 g/kg 和 14.73 g/kg,降幅分别为 50% 和 9.4%;对于沙堆边缘区,沙堆 A 全 N 和全 K 含量分别为 0.20 g/kg 和 15.94 g/kg,至沙堆 D 则降低到 0.14 g/kg 和 14.53 g/kg,降幅为 30% 和 8.8%;对于丘间地,全 N 和全 K 含量在沙堆 A 分别为 0.15 g/kg 和 15.39 g/kg,到沙堆 D 则降至 0.11 g/kg 和 14.33 g/kg,降幅分别为 26% 和 6.8%。对于沙堆风影区,全 N 含量先降低后升高,最小值位于沙堆 B,含量为 0.12 g/kg,沙堆 D 大于沙堆 B 和沙堆 C。全 K 含量先升高后降低,最大值位于沙堆 B,含量为 16.22 g/kg。从沙堆 A→沙堆 B→沙堆 C→沙堆 D,0—10 cm 土层土壤全 P 含量变化趋势不明显。就单个沙堆不同部位而言,沙堆 A 在灌丛下全 N 和全 P 含量与其它三部位之间具有显著差异,沙堆 B、C、D 各部位之间差异不显著,四个沙堆各部位全 N 和全 K 含量最小值均位于丘间地。与 0—10 cm 土层相比,10—20 cm 土层全 N 和全 P 含量有所降低,平均降幅分别为 25% 和 4.5%,土层全 K 含量略有增加,平均增幅为 4.8%。无论是不同沙堆间还是同一沙堆不同部位间,10—20 cm 土层与 0—10 cm 土层相比,土壤全 N、全 P、全 K 含量具有相对一致的变化趋势。

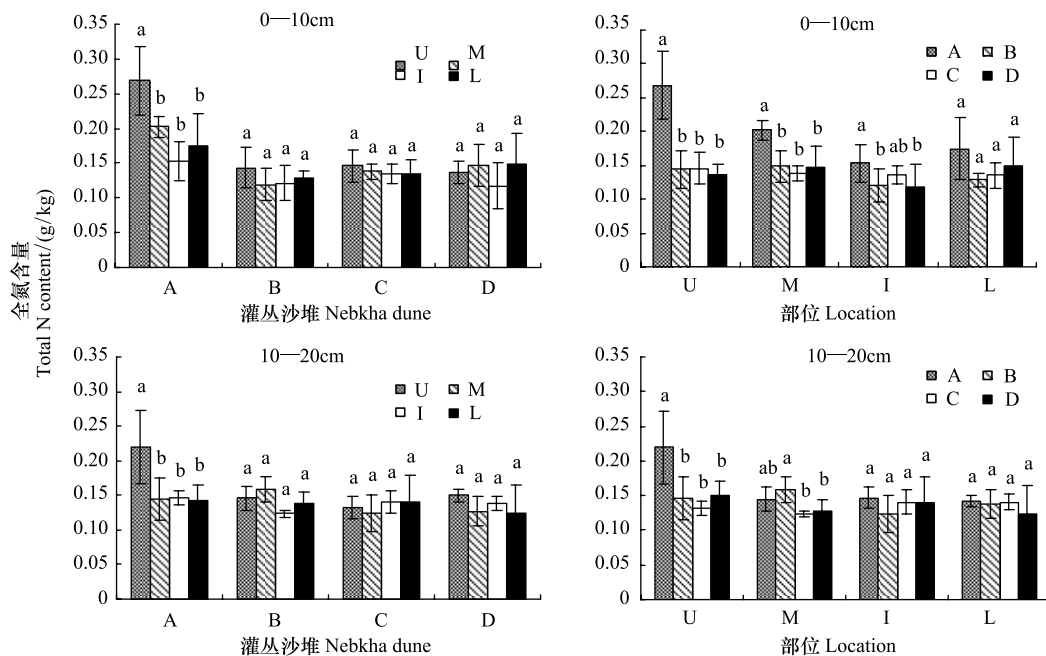


图 4 土壤全氮含量变化规律

Fig. 4 The changes of soil total nitrogen content (mean±S.E.)

Different lowercase letters indicate significant statistical differences ($P < 0.05$), U: 灌丛下 Under shrub; M: 沙堆边缘 Margin of nebkha; I: 丘间地 Interdune; L: 风影区 Leeward shadow, A、B、C 和 D 依次代表植被盖度为 30%、15—20%、10% 和 <5% 的典型样地内所选的柽柳灌丛沙堆

3.4 土壤速效 N、速效 P、速效 K 含量变化规律

随着植被盖度的减小,0—10 cm 土层土壤速效 N 含量在灌丛下和沙堆边缘两部位呈先减小后增大的趋势,丘间地和风影区两部位呈先减小后增大再减小的趋势(图 7,图 8,图 9)。土壤速效 P 含量总体呈先减小

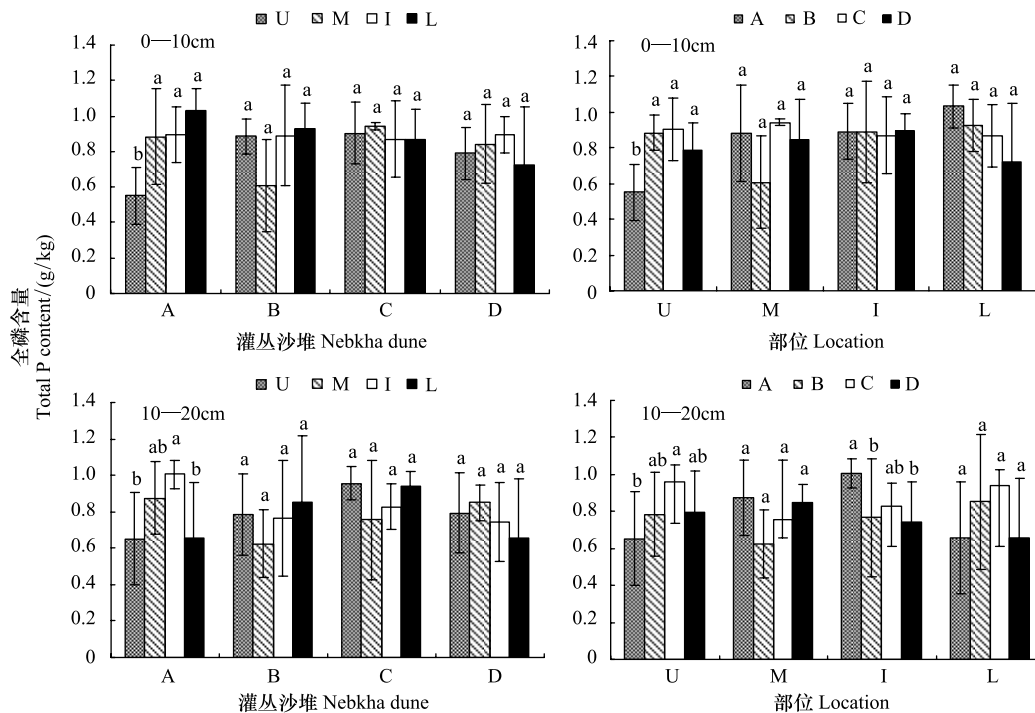


图5 土壤全磷含量变化规律

Fig. 5 The changes of soil total phosphorus content (mean±S.E.)

Different lowercase letters indicate significant statistical differences ($P < 0.05$), U: 灌丛下 Under shrub; M: 沙堆边缘 Margin of nebkha; I: 丘间地 Interdune; L: 风影区 Leeward shadow, A、B、C 和 D 依次代表植被盖度为 30%、15—20%、10% 和 <5% 的典型样地内所选的柽柳灌丛沙堆

后增大的规律,沙堆 A 四个部位速效 P 含量均大于其它三个沙堆。土壤速效 K 含量总体呈逐渐降低的趋势,而沙堆不同部位降低幅度又有不同。对于沙堆灌丛下部位,沙堆 A 土壤速效 K 含量为 473.9 mg/kg,到沙堆 D 降低至 311.31 mg/kg,降幅达到 34.3%;对于沙堆边缘区,沙堆含量为 402.5 mg/kg,至沙堆 D 则降低到 272.84 mg/kg,降幅达到 32.21%;对于丘间地,速效 K 含量在沙堆 A 为 287.49 mg/kg,到沙堆 D 则降至 235.72 mg/kg,降幅为 18%;对于沙堆风影区,则从沙堆 A 的 316 mg/kg 降至沙堆 D 的 273.9 mg/kg,降幅为 13.32%。就单个沙堆而言,沙堆 C 灌丛下土壤速效 N 含量与丘间地、风影区两部位之间具有显著差异,其余沙堆各部位之间没有显著差异。土壤速效 P 含量四个沙堆四个部位之间均没有显著性差异。四个沙堆从灌丛下→沙堆边缘→丘间地→风影区速效 K 含量大体呈先减小后增大的趋势,最小值位于丘间地。

与 0—10 cm 土层相比,10—20 cm 土层土壤速效 N 含量明显增加,而沙堆不同部位增加幅度又有不同。对于沙堆灌丛下部位,0—10 cm 土层速效 N 平均含量为 36.75 mg/kg,到 10—20 cm 土层增加至 47.5 mg/kg,增幅达到 29.25%;对于沙堆边缘区,0—10 cm 土层含量为 35 mg/kg,至 10—20 cm 土层增加到 75 mg/kg,增幅达到 114%;对于丘间地,0—10 cm 土层含量为 45 mg/kg,到 10—20 cm 土层增加至 97.25 mg/kg,最大增幅为 116%;对于沙堆风影区,则从 0—10 cm 土层的 46.5 mg/kg 增至 10—20 cm 土层的 118.25 mg/kg,最大增幅为 154%。10—20 cm 土层速效 N 含量,在四个沙堆均表现出从灌丛下→沙堆边缘→丘间地→风影区土壤逐渐增大的趋势。土壤速效 K 含量也有所增加,平均增幅为 12.06%,其中以丘间地增加比较明显,增幅为 22%。土壤速效 P 含量略有降低,平均降幅为 2%,其中沙堆 A 降低比较明显,降幅为 11.4%。不同沙堆间土壤速效 P 含量与 0—10 cm 土层相比,具有相对一致的变化趋势。

4 讨论

本项研究发现,随着植被盖度的降低,沙堆各部位枯落物及有机质含量呈降低趋势,这主要是由于植被覆盖条件和风沙活动相互作用的结果。杨东亮等人^[30]对研究区典型下垫面风沙活动的详细研究发现,骆驼刺

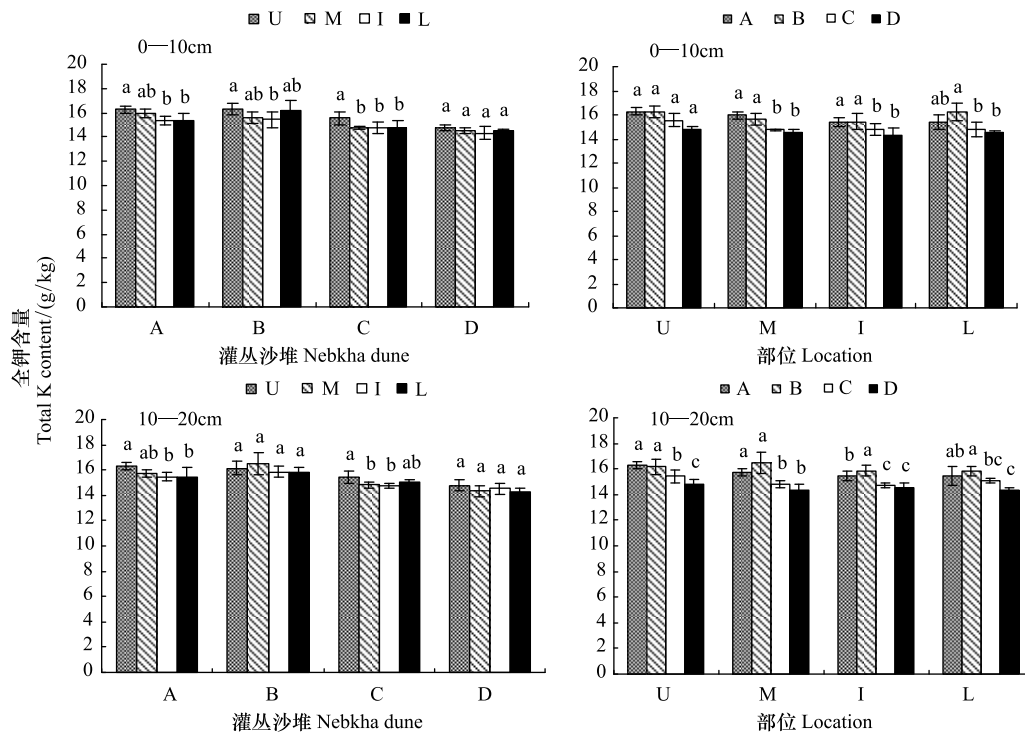


图6 土壤全钾含量变化规律

Fig. 6 The changes of soil total potassium content (mean±S.E.)

Different lowercase letters indicate significant statistical differences ($P < 0.05$), U: 灌丛下 Under shrub; M: 沙堆边缘 Margin of nebkha; I: 丘间地 Interdune; L: 风影区 Leeward shadow, A、B、C 和 D 依次代表植被盖度为 30%、15—20%、10% 和 <5% 的典型样地内所选的柽柳灌丛沙堆

群落分布区风沙活动强度明显比其它区域弱,一方面植被条件较好会产生较多的枯落物覆盖地表,另一方面风沙活动弱,致使枯落物和有机质能够在灌丛下大量的累积。随着植被条件变差,对风力的阻滞作用减弱,风沙活动强度增加,地表由积沙状态变为风蚀状态,势必造成枯落物和有机质累积量的减弱,肥岛效应趋于消失。

有学者^[31-36]对柽柳灌丛沙堆表面压力及流场分布特征研究发现,沙堆表面风蚀主要发生在沙堆迎风坡及两侧区域,而沙堆背风区域和灌丛保护的沙堆顶部是积沙发生的主要区域。本项研究发现就单个灌丛沙堆而言,枯落物和有机质含量以灌丛下最大,其次为沙堆边缘,再次为风影区和丘间地,这与沙堆各部位的蚀积状况相对应。土壤有机质、全 N、全 K、速效 K 含量与枯落物含量表现出相同的变化趋势,说明枯落物是该研究区表层土壤养分的主要来源,枯落物的累积对养分的富集有很大的影响。土壤有机质、全 N、全 K、速效 P、速效 K 含量最大值都位于灌丛下部位,这除了枯落物分解的贡献外,还与灌丛对风速的降低和降尘的捕获有关。灌丛沙堆四个部位土壤有机质、全 N、全 P、全 K、速效 K 含量的最小值都位于丘间地,主要是由于丘间地风蚀作用较强烈,致使土壤细粒物质和养分流失。

随着植被盖度的降低风蚀作用普遍增强,在重度沙漠化区域表现最为强烈,沙物质处于频繁的交换状态^[15],所以本研究发现沙堆 D 土壤各养分指标四个部位之间没有显著性差异。Li 等^[37]研究发现直径小于 50 μm 的土壤微粒含有较高的有机碳和全氮,本项研究中灌丛沙堆风影区部位沙物质主要以沉积为主,细粒物质最容易在此部位沉积,灌丛沙堆土壤有机质、全 N、全 P、速效 N、速效 P、速效 K 含量从灌丛下→沙堆边缘→丘间地→风影区表现出先减小后增大的趋势。由于沙堆 D 所在区域风沙活动频繁,导致灌丛沙堆沙物质也处于频繁的交换运移状态,灌丛沙堆 10—20 cm 土层有机质、全 N、速效 N、速效 P、速效 K 含量相比 0—10 cm 土层各部位之间差异性明显减弱。

在生物过程与非生物过程的交互作用下,干旱区土壤资源具有较强的空间异质性,肥岛现象正是这种异

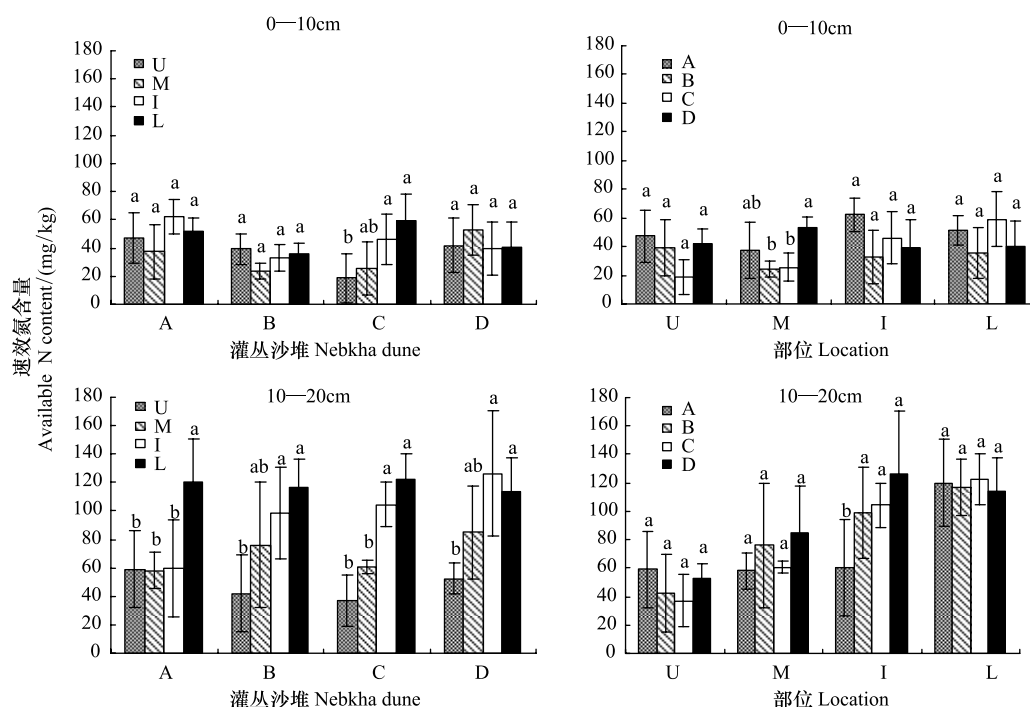


图7 土壤速效氮含量变化规律

Fig. 7 The changes of soil available nitrogen content (mean±S.E.)

Different lowercase letters indicate significant statistical differences ($P < 0.05$), U: 灌丛下 Under shrub; M: 沙堆边缘 Margin of nebkha; I: 丘间地 Interdune; L: 风影区 Leeward shadow, A、B、C 和 D 依次代表植被盖度为 30%、15—20%、10% 和 <5% 的典型样地内所选的柽柳灌丛沙堆

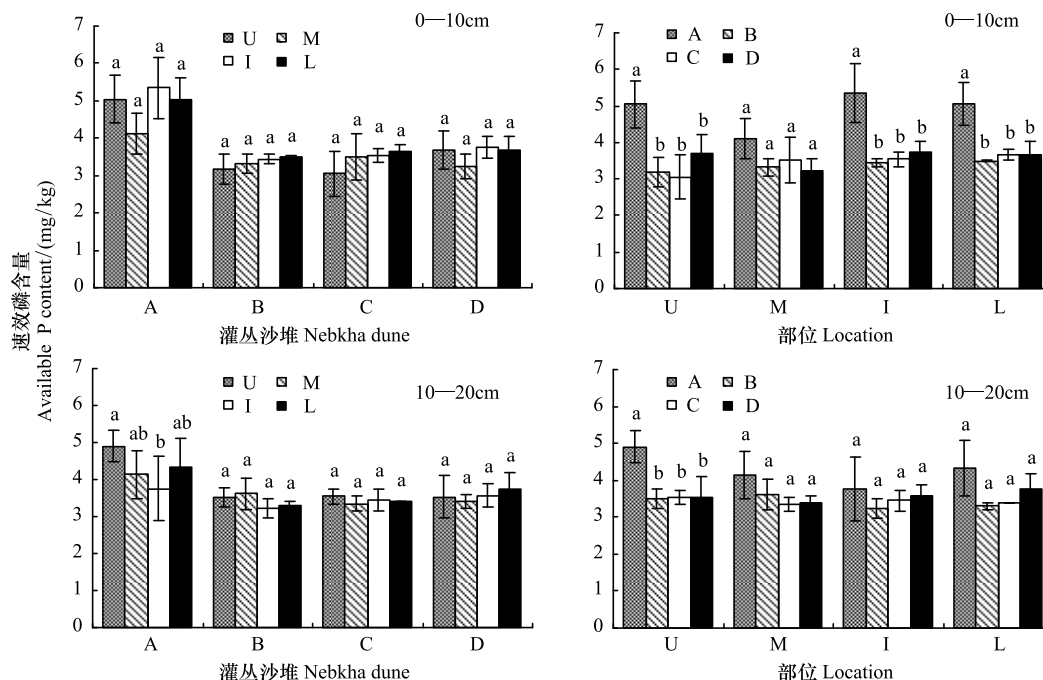


图8 土壤速效磷含量变化规律

Fig. 8 The changes of soil available phosphorus content (mean±S.E.)

Different lowercase letters indicate significant statistical differences ($P < 0.05$), U: 灌丛下 Under shrub; M: 沙堆边缘 Margin of nebkha; I: 丘间地 Interdune; L: 风影区 Leeward shadow, A、B、C 和 D 依次代表植被盖度为 30%、15—20%、10% 和 <5% 的典型样地内所选的柽柳灌丛沙堆

质性的充分体现^[38]。生物作用大于非生物作用是荒漠生态系统中土壤资源在灌丛下富集的重要原因^[39]。

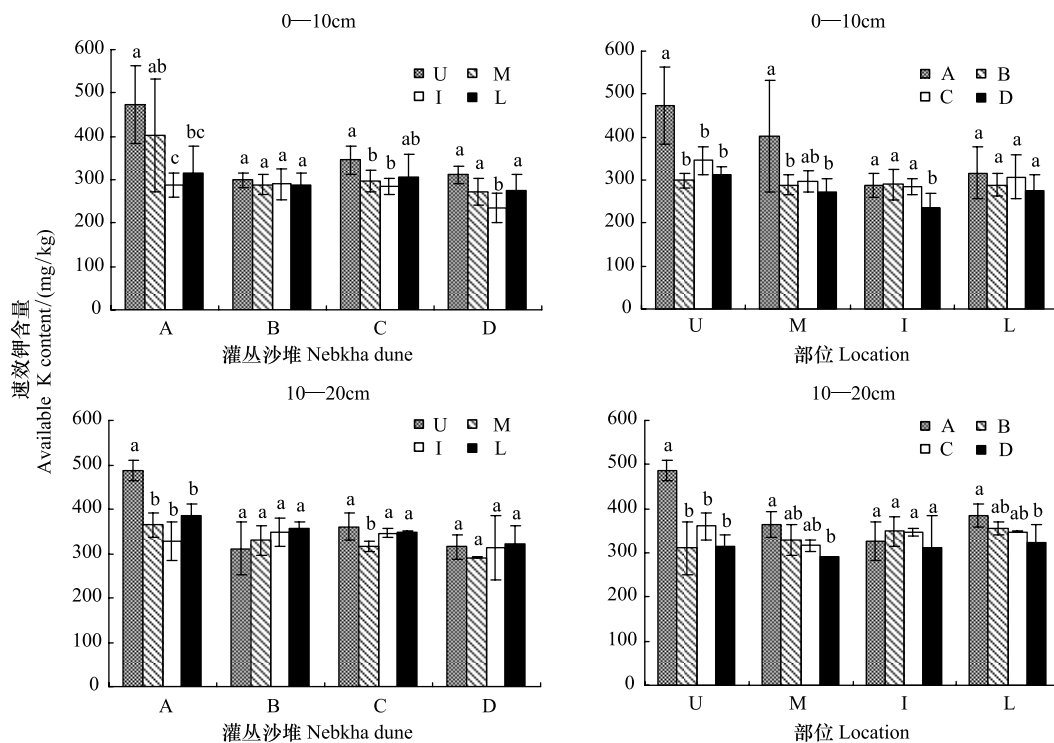


图9 土壤速效钾含量变化规律

Fig. 9 The changes of soil available potassium content (mean±S.E.)

Different lowercase letters indicate significant statistical differences ($P < 0.05$), U: 灌丛下 Under shrub; M: 沙堆边缘 Margin of nebkha; I: 丘间地 Interdune; L: 风影区 Leeward shadow, A、B、C 和 D 依次代表植被盖度为 30%、15—20%、10% 和 <5% 的典型样地内所选的怪柳灌丛沙堆

本研究表明,在植被覆盖较好的条件下,灌丛植物对降尘的捕获、对风速的明显降低,致使枯落物和有机质累积。随着植被的大量破坏,沙漠化程度加剧,非生物作用大于生物作用时肥岛现象则趋于消失。本项研究沙堆 D 养分含量的变化规律都证实了这种说法。

荒漠化土壤养分的变化是荒漠化过程中能流、物流中的重要一环^[11]。土壤养分的供给与植物生长之间的平衡关系决定了生态环境演化的过程,荒漠化过程是这种平衡关系被破坏的表现。在脆弱的生态环境中,土壤养分与植被之间存在着密切的联系,土壤养分的变化直接影响荒漠化的程度与发展^[40]。有学者研究指出长期的放牧会引起水分、氮及其他土壤资源的异质性,这种异质性会促进荒漠灌木的入侵,导致土壤资源在灌木下的长期累积,灌丛间裸地的土壤则因侵蚀而流失,这种物理与生物的双重作用导致灌丛岛的形成,同时会导致土地退化^[16,41]。李新荣^[42]研究发现灌木的定居会引起土壤资源的空间异质性变化,在流动沙地的恢复治理过程中可以利用这一原理打破流动沙地质地均一、养分贫瘠的特点,将有限的资源集中在灌木丛下,促进灌木的生长从而实现流沙地的固定。这也是在荒漠化治理过程中选择旱生灌木种作为先锋植物的原因。本项研究发现在策勒绿洲沙漠过渡带荒漠化过程中,随着植被盖度的降低,风沙活动不断加剧,致使养分呈现有的这种分布规律,但是这种养分的分布对该研究区的植被将产生怎样的影响有待进一步的研究。

5 结论

(1)随着植被盖度的降低,灌丛沙堆表层 0—10 cm 各部位土壤枯落物和有机质呈降低趋势,平均降幅为 69.3% 和 37.0%。就单个灌丛沙堆而言,枯落物和有机质含量以灌丛下最大,其次为沙堆边缘和风影区,丘间地最小。10—20 cm 土层枯落物和有机质含量相对于 0—10 cm 土层明显降低,平均降幅为 40.0% 和 27.0%,沙堆各部位之间的差异显著性均有减弱,但两个土层的变化趋势保持一致。

(2)随着植被盖度的降低,灌丛沙堆表层 0—10 cm 土壤全 N 含量在灌丛下、沙堆边缘、丘间地三部位呈

逐渐降低的趋势,平均降幅为 50.0%、30.0%和 26.0%。在沙堆风影区全 N 含量呈先降低后升高的趋势。灌丛沙堆土壤全 K 含量呈降低趋势,平均降幅为 8.3%。土壤全 P 含量没有明显的变化趋势。就单个灌丛沙堆而言,全 N、全 K 含量以灌丛下最大,其次为沙堆边缘和风影区,丘间地最小。与 0—10 cm 土层相比,10—20 cm 土层全 N 和全 P 含量有所降低,平均降幅为 25.0%和 4.5%,土层全 K 含量略有增加,平均增幅为 4.8%。但两个土层的变化趋势保持一致。

(3)随着植被盖度的降低,灌丛沙堆表层 0—10 cm 土壤速效 N 和速效 P 含量各部位大体呈先减小后增大的趋势,各部位之间没有显著的差异性,土壤速效 K 呈降低趋势,灌丛下、沙堆边缘、丘间地和风影区各部位的降幅为 34.3%、32.2%、18.0%、13.3%。与 0—10 cm 土层相比,10—20 cm 土层土壤速效 N 和速效 K 含量明显增加,平均增幅为 103.3%和 12.1%,风影区速效 N 含量明显高于其他三个部位。土壤速效 P 含量略有降低,平均降幅为 2%。

(4)在荒漠绿洲过渡带,轻度沙漠化和中度沙漠化区域,灌丛的生物反馈作用使得灌丛下部位具有明显的养分富集效应,但随着植被总盖度的降低,风沙活动不断加剧,导致养分富集效应逐渐减弱,肥岛效应消失。

参考文献 (References):

- [1] Tengberg A. Nebkha dunes as indicators of wind erosion and land degradation in the Sahel zone of Burkina Faso. *Journal of Arid Environments*, 1995, 30(3): 265-282.
- [2] 穆桂金. 塔克拉玛干沙漠灌草丘的发育特征及环境意义. *干旱区研究*, 1994, 11(1): 34-40.
- [3] Nickling W G, Wolfe S A. The morphology and origin of Nabkhas, region of Mopti, Mali, West Africa. *Journal of Arid Environments*, 1994, 28(1): 13-30.
- [4] Mares M A. *Encyclopedia of Deserts*. Norman: University of Oklahoma Press, 1999: 189-189.
- [5] Tengberg A, Chen D L. A comparative analysis of nebkhas in central Tunisia and northern Burkina Faso. *Geomorphology*, 1998, 22(2): 181-192.
- [6] Ardon K, Tsoar H, Blumberg D G. Dynamics of nebkhas superimposed on a parabolic dune and their effect on the dune dynamics. *Journal of Arid Environments*, 2009, 73(11): 1014-1022.
- [7] Li Z Z, Wu S L, Chen S J, Chen X L, Jin J H, Liu Q. Bio-geomorphologic features and growth process of *Tamarix nabkhas* in Hotan River Basin, Xinjiang. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(2): 205-218.
- [8] Qong M, Takamura H, Hudaberdi M. Formation and internal structure of *Tamarix* cones in the Taklimakan Desert. *Journal of Arid Environments*, 2002, 50(1): 81-97.
- [9] 武胜利, 李志忠, 肖晨曦, 孙秋梅, 刘丽梅. 灌丛沙堆的研究进展与意义. *中国沙漠*, 2006, 26(5): 734-738.
- [10] 朱震达, 陈广庭. *中国土地沙质荒漠化*. 北京: 科学出版社, 1994, 24-24.
- [11] Klemmedson J O, Barth R C. Distribution and balance of biomass and nutrients in desert shrub ecosystems. *US/IBP Desert Biome Research Memo*. Logan: Utah State University Press, 1975: 18-18.
- [12] 陈广生, 曾德慧, 陈伏生, 范志平, 耿海东. 干旱和半干旱地区灌木下土壤“肥岛”研究进展. *应用生态学报*, 2003, 14(12): 2295-2300.
- [13] Charley J L, West N E. Plant-induced soil chemical patterns in some shrub-dominated semi-desert ecosystems of Utah. *Journal of Ecology*, 1975, 63(3): 945-963.
- [14] Schlesinger W H, Raikes J A, Hartley A E, Cross A F. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology*, 1996, 77(2): 364-374.
- [15] Li P X, Wang N, He W M, Krüsi B O, Gao S Q, Zhang S M, Yu F H, Dong M. Fertile islands under *Artemisia ordosica* in inland dunes of northern China: Effects of habitats and plant developmental stages. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72(6): 953-963.
- [16] Schlesinger W H, Pilmanis A M. Plant-soil interactions in deserts. *Biogeochemistry*, 1998, 42(1/2): 169-187.
- [17] Zaady E. Seasonal change and nitrogen cycling in a patchy Negev Desert: a review. *Arid Land Research and Management*, 2005, 19(2): 111-124.
- [18] Smith W K, Monson R K, Anderson J E. *Physiological Ecology of North American Desert Plants*; with 86 figures and 21 tables. New York, NY: Springer, 1997.
- [19] Aguiar M R, Sala O E. Patch structure, dynamics and implications for the functioning of arid ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, 1999, 14(7): 273-277.
- [20] Dhillon S S. Environmental heterogeneity, animal disturbances, microsite characteristics, and seedling establishment in a *Quercus havardii* community. *Restoration Ecology*, 1999, 7(4): 399-406.

- [21] Gibbens R P, Lenz J M. Root systems of some Chihuahuan Desert plants. *Journal of Arid Environments*, 2001, 49(2): 221-263.
- [22] West N E, Skujins J. Nitrogen in Desert Ecosystems. Stroudsburg, PA: Dowden, Hutchinson and Ross Inc., 1978.
- [23] Allington G R H, Valone T J. Reversal of desertification; the role of physical and chemical soil properties. *Journal of Arid Environments*, 2010, 74(8): 973-977.
- [24] Titus J H, Nowak R S, Smith S D. Soil resource heterogeneity in the Mojave Desert. *Journal of Arid Environments*, 2002, 52(3): 269-292.
- [25] 尹传华. 塔克拉玛干沙漠北部柽柳灌丛肥岛、盐岛的特征及其与荒漠化过程的关系 [D]. 北京: 中国农业大学, 2007.
- [26] Okin G S, Murray B, Schlesinger W H. Degradation of sandy arid shrubland environments; observations, process modelling, and management implications. *Journal of Arid Environments*, 2001, 47(2): 123-144.
- [27] Li J, Zhao C, Zhu H, Li Y, Wang F. Effect of plant species on shrub fertile island at an oasis - desert ecotone in the South Junggar Basin, China. *Journal of Arid Environments*, 2007, 71(4): 350-361.
- [28] 杨帆, 王雪芹, 杨东亮, 韩章勇, 郑新倩. 风沙侵袭影响下绿洲边缘植物群落点格局分析. *干旱区研究*, 2012, 29(5): 763-769.
- [29] 杨帆, 王雪芹, 杨东亮, 韩章勇. 不同沙源供给条件下柽柳灌丛与沙堆形态的互馈关系—以策勒绿洲沙漠过渡带为例. *生态学报*, 2012, 32(9): 2707-2719.
- [30] 杨东亮. 策勒绿洲-沙漠过渡带典型下垫面风沙活动研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2011.
- [31] 武胜利, 李志忠, 惠军, 肖晨曦, 孙秋梅. 灌丛沙堆表面压力分布特征的实验研究. *干旱区地理*, 2006, 29(6): 790-796.
- [32] 李志忠, 武胜利, 肖晨曦, 刘丽梅, 孙秋梅, 张中华. 新疆和田河流域灌丛沙堆风洞流场的实验研究(II). *中国沙漠*, 2007, 27(1): 15-19.
- [33] 李志忠, 武胜利, 肖晨曦, 刘丽梅, 孙秋梅, 张中华. 新疆和田河流域灌丛沙堆风洞流场的实验研究(I). *中国沙漠*, 2007, 27(1): 9-14.
- [34] Judd M J, Raupach M R, Finnigan J J. A wind tunnel study of turbulent flow around single and multiple windbreaks, part I: velocity fields. *Boundary-Layer Meteorology*, 1996, 80(1/2): 127-165.
- [35] 凌裕泉, 屈建军, 金炯. 稀疏天然植被对输沙量的影响. *中国沙漠*, 2003, 23(1): 12-17.
- [36] 李志忠, 武胜利, 王晓峰, 何牡丹, 葛琳, 穆赫塔尔, 徐国强. 新疆和田河流域柽柳沙堆的生物地貌发育过程. *地理学报*, 2007, 62(5): 462-470.
- [37] Li J R, Okin G S, Epstein H E. Effects of enhanced wind erosion on surface soil texture and characteristics of windblown sediments. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences (2005—2012)*, 2009, 114(G2).
- [38] Wezel A, Rajot J L, Herbrig C. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger. *Journal of Arid Environments*, 2000, 44(4): 383-398.
- [39] Garner W, Steinberger Y. A proposed mechanism for the formation of fertile islands in the desert ecosystem. *Journal of Arid Environments*, 1989, 16(3): 257-262.
- [40] 吕贻忠, 马兴旺. 荒漠化土壤养分变化的影响因素研究进展. *生态环境*, 2003, 12(4): 473-477.
- [41] Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L, Huenneke L F, Jarrell W M, Virginia R A, Whitford W G. Biological feedbacks in global desertification. *Science*, 1990, 247(4946): 1043-1048.
- [42] 李新荣. 干旱沙区土壤空间异质性变化对植被恢复的影响. *中国科学 (D 辑: 地球科学)*, 2005, 35(4): 361-370.