

敦煌绿洲边缘植物群落与土壤养分互馈关系

赵 鹏^{1,2,3}, 屈建军¹, 韩庆杰¹, 徐先英², 姜生秀², 付贵全²

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院 沙漠与沙漠化重点实验室/敦煌戈壁荒漠生态与环境研究站, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省治沙研究所 荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室培育基地, 甘肃 兰州 730070; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 植物群落与土壤性状相互作用研究对于认识生态系统结构与功能有着重要的意义。通过对敦煌绿洲边缘典型植物群落 21 个样地(20 m×20 m)的植被和土壤系统取样调查,在分析植物群落及其土壤养分特征的基础上,采用 CCA 典范对应分析法研究了土壤养分对植物群落物种分布的影响。结果表明:调查区域植被群落共出现植物 27 种,隶属于 15 科,26 属,以藜科(*Chenopodiaceae*)植物居多,占总物种数的 29.6%。柽柳(*Tamarix chinensis*)群落的物种丰富度最大,胡杨(*Populus euphratica*)群落的物种丰富度最小。植被 0~80 cm 土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾含量排序为柽柳>黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)>梭梭(*Haloxylon ammodendron*)>沙拐枣(*Calligonum mongolicum*),全磷、全盐、速效氮含量排序为柽柳>黑果枸杞>沙拐枣>梭梭,全钾含量排序为黑果枸杞>柽柳>梭梭>沙拐枣,pH 值排序为梭梭>沙拐枣>黑果枸杞>柽柳。不同植被覆盖各养分指标之间差异显著。随土层深度的增加,柽柳和黑果枸杞群落土壤全氮、有机质、全盐、速效氮、速效钾含量逐渐降低,表聚效应明显,土壤全磷、全钾、速效磷含量逐渐增大后减小,梭梭与沙拐枣养分层次特征不明显。4 种植被群落土壤 pH 值随土层深度的增大呈波动的趋势。CCA 排序结果表明植被群落物种分布的土壤环境调控因子重要性排序为全氮>pH>全钾,土壤全氮是植物群落物种分布的最重要调控因子。

关键词: 土壤养分; 群落特征; 互馈关系; CCA; 敦煌绿洲

文章编号: 1000-694X(2018)04-0791-09

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2017.00045

中图分类号: Q948.11

文献标志码: A

0 引言

植被与土壤是陆地景观中最突出的两个组成部分,两者的分布特征及相互关系是生态学研究的重要内容^[1]。植被类型显著影响土壤腐殖质形态、营养成分、碳氮和磷的矿化速率以及硝化和反硝化速率,进而影响土壤碳氮循环过程^[2]。土壤决定了全球干旱半干旱生态系统植被群落物种组成与初级生产力之间的关系。理解土壤特征与植被景观之间的关系,有助于认识生态系统过程和植被管理^[3]。

敦煌绿洲处于中国西北内陆,西与库姆塔格沙漠接壤,是甘肃省生态环境最脆弱的地方之一。近年来,敦煌盆地以地下水资源为中心的地质环境问题日趋恶化,突出表现为湿地萎缩、植被退化;在罗布泊干涸和塔克拉玛干、库姆塔格两大沙漠步步紧

逼的形势下,盆地内西湖国家级自然保护区已成为阻挡塔克拉玛干大沙漠东侵河西走廊的最后一道屏障。敦煌盆地除部分河、湖沿岸的植被生态系统外,其余 2 270.5 km² 面积都高度依赖地下水,占总面积的 88%^[4]。以水资源开发利用为目的的水利建设活动,耕地的增加、抽水灌溉、渠系衬砌、旅游业蓬勃发展等人类活动加大了耗水量^[5],自然植被和人类活动的用水量此消彼长^[6],造成河水断流、地下水位大幅度下降、草甸衰退、土地荒漠化加剧等生态环境问题^[7-8]。敦煌盆地植被-土壤系统的研究主要包括生物多样性及保护对策^[9-10],湿地植物群落数量分类和排序^[11],天然植被的遥感制图^[12],土壤水分空间异质性^[13]及其对植被特征的影响^[14],生境质量评价^[15],群落盖度与土壤含盐量耦合关系^[16]。地下水补给区、径流区和排泄区发育着不同的优势植

收稿日期:2016-12-11; 改回日期:2017-05-08

资助项目:国家科技支撑计划(2013BAC07B02, 2012BAD16B0203); 甘肃省科技计划资助项目(1606RJYA311); 兰新高铁特大风区风沙灾害防治技术项目(HHS-TSS-ST5-1504); 中国铁路总公司科技研究开发计划课题(2015G005-B); 国家重点基础研究发展计划(2012CB723203); 国家自然科学基金项目(31560128, 41761006, 41761051, 41661008); 甘肃省沙生植物保护利用科技创新团队项目(1207TTCA002)

作者简介:赵鹏(1987—),男,甘肃凉州人,博士研究生,助理研究员,主要从事荒漠植被生态水文研究。E-mail: zhpg1987@sina.com
通信作者:屈建军(E-mail:qujianj@lzb.ac.cn)

被群落。而排泄区的地下水位埋深、土壤含盐量和含水量等对局部植被群落局部格局的演化起着非常重要的作用^[17]。已有研究较多关注植被群落特征及其对土壤水分、含盐量、地下水的响应,关于不同植被群落类型对土壤养分的影响机制认识不够。研究敦煌绿洲边缘典型植被群落土壤养分的分布规律,对探讨极端干旱区植被-土壤系统互馈关系具有重要的学术价值,对绿洲外围天然植被的保护亦具有重要的现实意义。

1 研究区概况

敦煌盆地位于河西走廊西端,东部以双塔水库为界,西部与库姆塔格沙漠相接,南部以三危山-鸣沙山-崔木土山隆起带为界,与阿克塞盆地相隔,北部为马鬃山。年平均气温 9.9°C ,最低气温 -30°C ,最高气温 40°C ,年均降水量 39.9 mm ,蒸发量 2486 mm ,年日照时间 $3115\sim 3246.7\text{ h}$,日照率 $70\%\sim 73\%$,年总辐射量为 $641.84\text{ kJ}\cdot\text{cm}^{-2}$,年均风速 $2.2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,年大风日数 15 d ^[18]。区内不产流水系不发育,主要入

境河流有党河、疏勒河,均发源于祁连山,另外还有通过南部北截山流入盆地的泉水河、洪流沟谷等。耕作区土壤以灰钙土为主,荒漠区则以盐渍土为主,次为棕漠土、草甸土、沼泽土和风沙土等。

2 方法与材料

2.1 样地设置与调查

2014年8月,在敦煌绿洲边缘选择典型群落进行野外植被和土壤调查($39^{\circ}45.146' - 40^{\circ}18'45.7''\text{ N}$, $93^{\circ}55'43.3'' - 94^{\circ}56'49.1''\text{ E}$,图1)。每个群落类型样地设置间距为 30 m 的3个 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 的灌木样方,灌木样方的对角线布置3个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 草本样方。共调查灌木样方21个,草本样方63个。调查统计每个样方内物种名称、数量、高度、冠幅。每个 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 样方内设置土壤采样点1个,每种群落类型共3个重复,利用剖面法分 $0\sim 5$ 、 $5\sim 20$ 、 $20\sim 40$ 、 $40\sim 60$ 、 $60\sim 80\text{ cm}$ 共5层采集土壤样品。将其装入土壤密封袋带回实验室阴干,过 2 mm 筛保存。

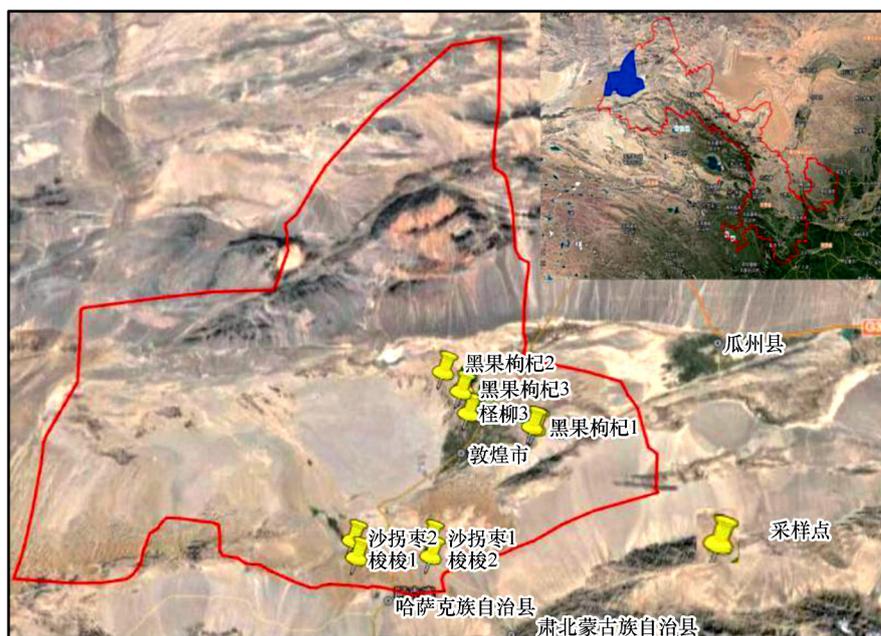


图1 研究区采样点位置

Fig. 1 Sketch diagram of sampling points

2.2 土样分析与测定

土壤样品化学性质在甘肃省农业科学研究院农业资源环境重点实验室测定,测定指标包括有机质、全氮、全磷、全钾、全盐、pH、速效氮、速效磷、速效钾。有机质采用重铬酸钾氧化-油浴加热法;全氮采

用KDY982-定氮仪测定;全磷采用氢氧化钠熔融-紫外分光光度计测定法;全钾采用氢氧化钠熔融-M41-型火焰光度计测定法;速效磷采用 $\text{NH}_4\text{F}-\text{HCl}$ 浸提,紫外分光光度计测定方法;速效钾采用 NH_4OAc 浸提火焰光度法测定(M41-型火焰光度计);速效氮采用碱解扩散法测定;pH测定采用酸度计。

括骆驼刺、黑果枸杞、沙拐枣、白刺、盐生草、节节草等 11 种,总盖度 10.1%,以湿生耐盐植物为主,主要分布在湖盆、湿地。梭梭群落伴生种有沙拐枣、驼绒藜、骆驼刺、膜果麻黄等 6 种,总盖度 3.77%,以旱生植物为主,主要分布在流动沙丘。沙拐枣群落伴生种有梭梭、膜果麻黄、白刺等 7 种,总盖度 3.66%,主要分布在半固定、流动沙丘。黑果枸杞群落伴生种有骆驼刺、芦苇、罗布麻等 4 种,总盖度 7.07%,主要分布在盐碱滩地。红砂群落伴生种有木本猪毛菜、裸果木、紫菀木等 9 种,总盖度 3.75%,主要分布在戈壁。胡杨群落伴生种只有芦苇 1 种,总盖度 5.05%。骆驼刺群落伴生种有沙拐枣、盐生草、沙蓬等 4 种,总盖度 0.95%。柽柳群落的物种丰富度最高,胡杨群落的物种丰富度最小。

3.2 典型植被群落土壤养分特征

由于凋落物、根系分泌物等的差异,不同植被覆盖对土壤养分积累的影响也不相同(图 2)。植被下 0~80 cm 土壤有机质、全氮含量排序为柽柳>黑果枸杞>梭梭>沙拐枣。柽柳与沙拐枣覆盖下有机质差异极显著($P<0.01$),而与梭梭差异显著($P<0.05$)。对于全氮含量,柽柳与黑果枸杞、梭梭、沙拐枣呈极显著差异($P<0.01$)。全磷含量排序为柽柳>黑果枸杞>沙拐枣>梭梭,其中柽柳与梭梭差异显著($P<0.05$)。全钾含量顺序为黑果枸杞>柽柳>梭梭>沙拐枣,其中沙拐枣与梭梭差异显著($P<0.05$)。pH 值排序为梭梭>沙拐枣>黑果枸杞>柽柳,柽柳与梭梭、沙拐枣差异极显著($P<0.01$),黑果

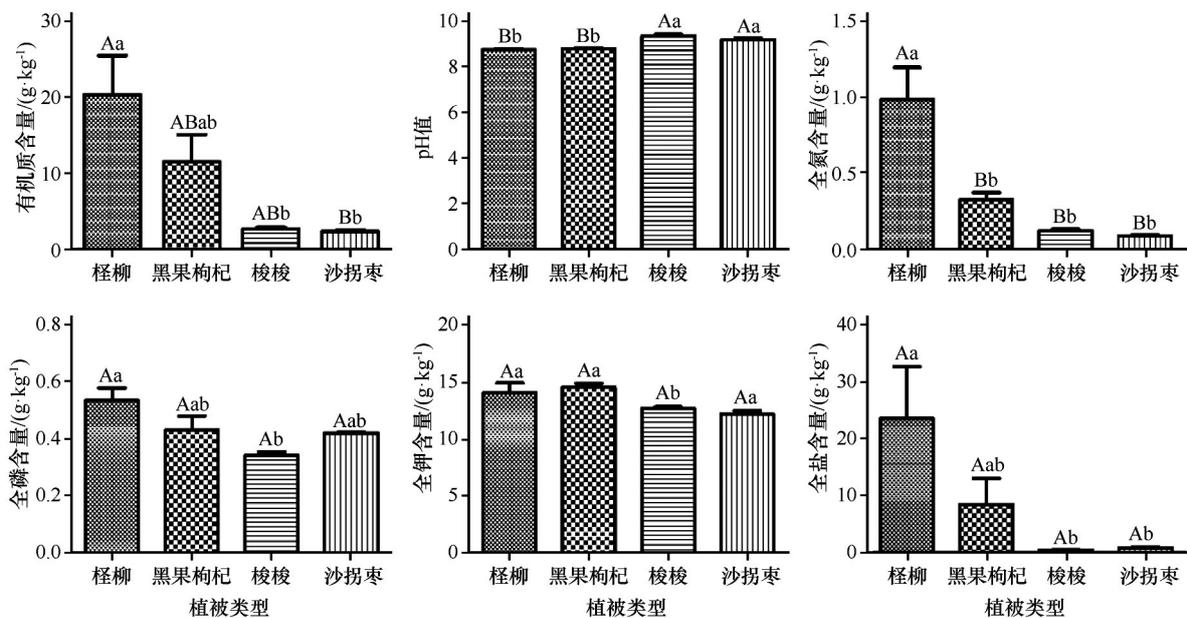


图 2 不同植被覆盖下的 0~80 cm 土壤全量养分含量(不同大写和小写字母分别表示各处理间在 0.01 和 0.05 水平差异显著)

Fig. 2 Content of the total nutrients in the soil depths of 80 cm under different vegetations

枸杞与梭梭、沙拐枣差异极显著($P<0.01$)。全盐大小排序为柽柳>黑果枸杞>沙拐枣>梭梭,其中柽柳与黑果枸杞、梭梭、沙拐枣差异极显著($P<0.01$)。

对于土壤速效养分含量,速效氮排序为柽柳>黑果枸杞>沙拐枣>梭梭,柽柳与梭梭差异显著($P<0.05$,表 2),速效磷排序为柽柳>黑果枸杞>梭梭>沙拐枣,柽柳与梭梭、沙拐枣差异显著($P<0.05$),黑果枸杞与梭梭、沙拐枣差异显著($P<0.05$)。速效钾排序为黑果枸杞>柽柳>梭梭>沙拐枣,柽柳与梭梭、沙拐枣差异显著($P<0.05$)。柽柳和黑果枸杞对土壤养分的保持能力较梭梭和沙拐枣强。

不同植被覆盖下土壤养分随土层变化特征各异

表 2 植被 0~80 cm 土层土壤速效养分含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Table 2 Content of available nutrients in the soil depths of 80 cm under different vegetations

植被类型	速效氮	速效磷	速效钾
柽柳	81.43±52.99 ^a	9.08±2.92 ^a	591.62±218.79 ^{ab}
黑果枸杞	66.03±45.7 ^{ab}	9.04±3.3 ^a	711.68±408.53 ^a
梭梭	7.88±1.99 ^b	4.565±0.1 ^b	101.93±11.43 ^b
沙拐枣	20.07±8.52 ^{ab}	4.39±0.47 ^b	88.95±1.94 ^b

不同字母表示差异显著, $P<0.05$

(图 2)。随土层深度的增加,土壤全氮、有机质、全盐、速效氮、速效钾含量,柽柳和黑果枸杞群落逐渐降低,表聚效应明显(图 3),沙拐枣和梭梭群落水平

波动且明显低于前两者。柽柳和黑果枸杞群落土壤全磷、全钾、速效磷含量随着土层深度的增加而逐渐增大后减小,梭梭与沙拐枣群落整体处于波动平衡

状态。沙拐枣和梭梭群落土壤 pH 值高于柽柳和黑果枸杞群落,随土层深度的增大呈波动降低的趋势。土壤养分的空间分布与植被类型密切相关。

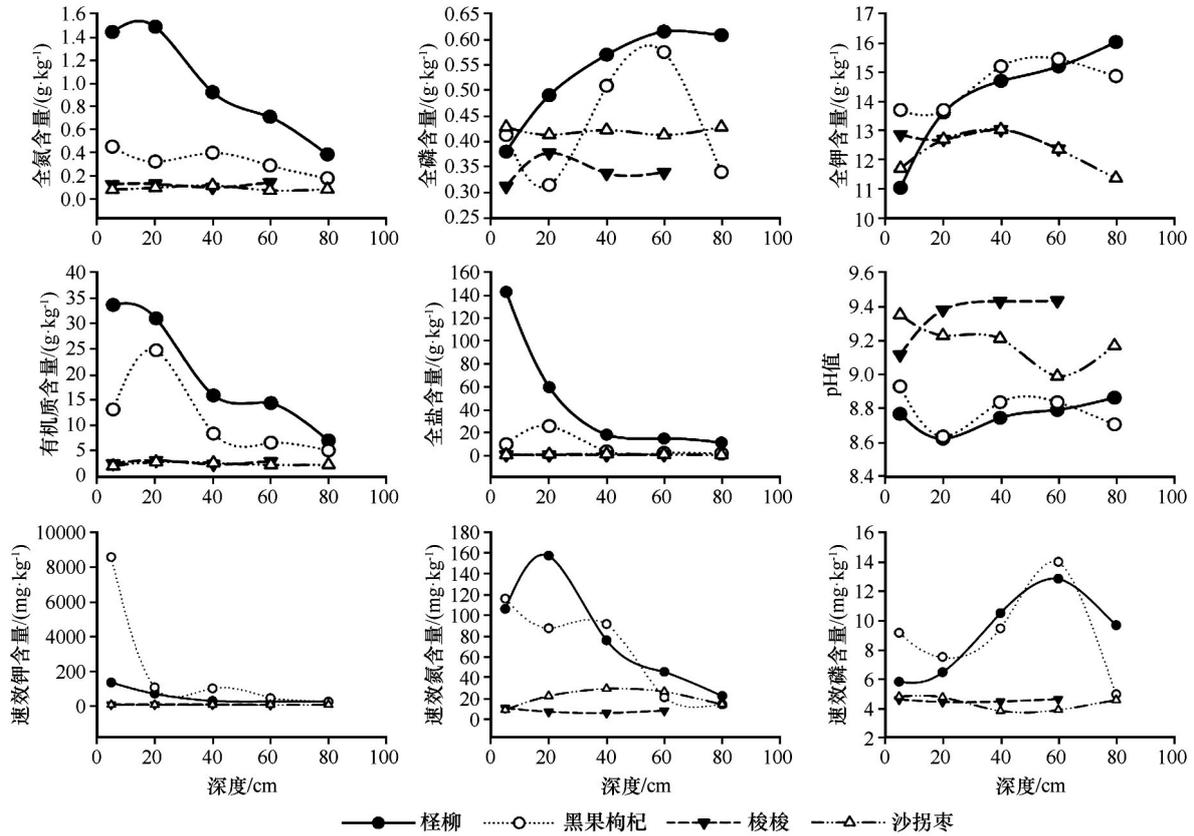


图 3 不同植被覆盖条件下的土壤养分含量层次特征

Fig. 3 Nutrient patterns in different soil layers under different vegetations

3.3 植物群落物种分布的 CCA 排序

植被群落物种重要值-样方矩阵的 DCA 排序表明,所有轴的梯度长度最大为 3.3,适合采用 CCA 排序方法。全氮、全磷、全钾、有机质、全盐、pH、速效钾、速效氮、速效磷 9 个土壤环境因子经过人工变量预选,通过蒙特卡罗检验的有 3 个包括土壤全钾 ($P=0.05$)、全氮 ($P=0.002$)、pH ($P=0.014$)。基于样方-物种重要值和样方-土壤因子矩阵的 CCA

排序结果表明:所有典范排序轴通过统计检验 ($P=0.002$),CCA 排序的前 3 个排序轴特征值占总特征值的 75.79%,包含了绝大部分信息,故采用前两轴的数据分析植被群落与环境因子的关系(表 3)。

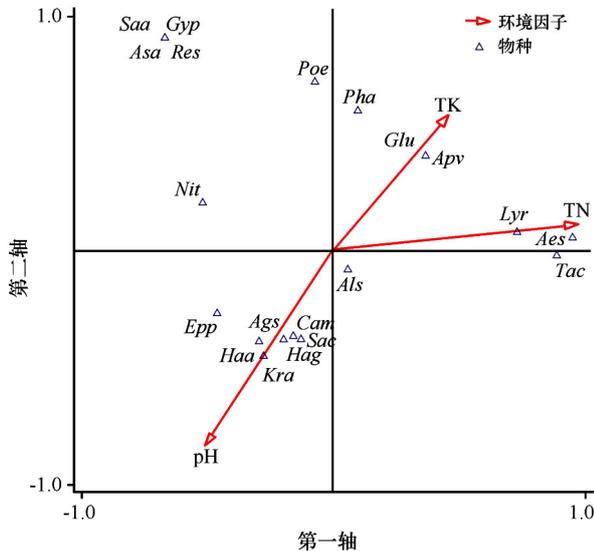
植被群落物种与环境因子 CCA 排序二维图直观地反映了物种分布与环境因子的关系。CCA 第一轴表示以土壤全氮为代表的养分梯度,第二轴表示以 pH 为代表的土壤酸碱度梯度(图 4)。柽柳、黑果枸杞群落分布在土壤全氮条件较好的区域,罗

表 3 植被群落物种变异的 CCA 排序

Table 3 The CCA analysis of the species variance of vegetation communities

排序轴	第一轴	第二轴	第三轴	第四轴
特征值	0.94	0.81	0.70	0.78
物种-环境因子相关性	0.993	0.965	0.925	0.000
物种数据累计百分比方差	20.70	38.56	54.03	71.29
物种-环境因子关系数据累计百分比方差	38.32	71.36	100.00	

布麻、芦苇、甘草的分布与土壤全钾关系密切。梭梭、沙拐枣、麻黄、驼绒藜、沙米分布在土壤酸碱度较高、养分贫瘠的流动沙丘。红砂、裸果木、木本猪毛菜、紫菀木分布在土壤酸碱度低、养分贫瘠的戈壁。前向选择并进行 Monte Carlo 检验筛选出对植被群落物种分布影响显著的环境因子有土壤全氮、pH、全钾(表 4)。其中,全氮是植被群落物种分布最重要的土壤环境调控因子。



膜果麻黄 (*Ephedra przewalskii*, Epp); 裸果木 (*Gymnocarpus przewalskii*, Gyp); 紫菀木 (*Asterothamnus alyssoides*, Asa); 黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum*, Lyr); 胡杨 (*Populus euphratica*, Poe); 罗布麻 (*Apocynum venetum*, Apv); 梭梭 (*Haloxyylon ammodendron*, Haa); 驼绒藜 (*Krascheninnikovia arborescens*, Kra); 沙蓬 (*Agriophyllum squarrosum*, Ags); 盐生草 (*Halogeton glomeratus*, Hag); 木本猪毛菜 (*Salsola arbuscular*, Saa); 沙拐枣 (*Calligonum mongolicum*, Cam); 白刺 (*Nitraria tangutorum*, Nit); 芦苇 (*Phragmites australis*, Pha); 獐毛 (*Aeluropus sinensis*, Aes); 狗尾草 (*Setaria viridis*, Sev); 红砂 (*Reaumuria soongarica*, Res); 柽柳 (*Tamarix chinensis*, Tac); 骆驼刺 (*Alhagi sparsifolia*, Als); 甘草 (*Glycyrrhiza uralensis*, Glu)

图 4 植被群落物种与环境因子的 CCA 排序图

Fig. 4 CCA two-dimensional ordination diagram for species and environmental variables of vegetation communities

表 4 环境因子的重要性排序和显著性检验结果
Table 4 Rank of importance and significance test of environmental factors

环境因子	重要性排序	环境因子所占的解释量/%	F	P
全氮/%	1	20.4	2.1	0.013*
pH	2	17.9	2.2	0.04*
全钾/%	3	15.7	2.1	0.02*

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

4 讨论

植被群落是植物长期适应一定的气候、土壤、水分等自然环境的综合体现。敦煌盆地分布有风蚀地、平原、戈壁、沙漠、湖盆等多样而又复杂的地貌景观。区域植被以温带荒漠植物为主,大致划分为阔叶林、草原、荒漠、灌丛和草甸 5 个植被型,由盐池湾向南呈沼泽→盐沼→草甸→阔叶林→荒漠演变过程,植被特征与土壤特性在空间分布上具有明显的规律性,且存在较强的空间自相关性和格局^[21]。本文调查的 7 个典型植被群落物种丰富度低,结构简单。研究区包括湿地荒漠生态系统,多枝柽柳群落可划分为 I 多枝柽柳-芦苇群丛组,II 多枝柽柳+苏枸杞群丛组,III 多枝柽柳+盐节木群丛组,IV 多枝柽柳沙包群丛组^[22],4 个群丛组与本文调查柽柳群落物种组成较为一致。优势种群均为聚集分布,由于其对生境和资源要求不一样,群落中优势物种处于不稳定阶段^[23]。陈伟涛等^[12]选择 RapidEye 数据开展植物群落遥感制图研究表明,敦煌盆地主要有红柳、胡杨、芦苇、骆驼刺、白刺、黑果枸杞、獐茅、蒙古韭和盐穗木共 9 种优势种,对本文调查到的植物种梭梭、沙拐枣、红砂、裸果木、罗布麻没有涉及,调查路线和区域的不同是造成上述现象的主要原因。野外全面翔实的群落样方调查是保证遥感植被制图精度和准确度的重要前提。

土壤为植被提供必要的物质基础,植被的出现也影响着土壤的形成和发育。不同植被类型影响土壤养分的积累、分布和循环^[24]。植被覆盖通过其输入有机物质的差异影响着土壤养分和微生物活性,进而对土壤的团聚过程和有机碳的矿化产生影响^[25]。古尔班通古特沙漠不同典型灌木群落土壤化学计量特征差异明显^[26]。干旱、半干旱地区灌木冠幅下土壤“肥岛”的形成能够改变生态系统植被组成、结构和土壤养分格局^[27]。灌丛对土壤风蚀物质、降尘和凋落物的截获与发达根系以根际沉降形式向土壤输入大量有机物质是灌木、半灌木对沙地土壤肥力重要的影响机制^[28]。“肥岛”效应的强弱依赖于灌木种类、发育阶段以及土壤质地^[29]。柽柳能够提高盐碱地土壤养分,降低 pH 值、全盐及盐分含量^[30],改善土壤结构^[31]。本研究表明 4 种典型植被群落土壤养分状况差异明显,土壤有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷含量排序为柽柳>黑果枸杞>梭梭>沙拐枣,反映了盐渍土养分优于风沙

土,亦体现了柽柳较强的“肥岛”效应。李文斌等^[24]研究发现不同草本植被覆盖下土壤养分含量层次变化除全磷和全钾变化微弱外,土壤有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾含量随土层深度的增加而降低。此结论与本文柽柳和黑果枸杞灌木群落土壤养分层次分布大致相似。土壤养分的分布与凋落物的类型密切相关^[32],风蚀使凋落物量显著降低了50.12%,使地下部净初级生产力降低了11.4%,引起土壤呼吸过程所需底物和根系量的变化从而最终导致土壤呼吸的改变^[33],同时使土壤中的大量营养物质损失,导致土地生产力下降,促使地表养分的再分配^[34]。由于流动沙丘强烈的风蚀作用,使得研究区梭梭和沙拐枣群落土壤养分的积累较少且层次特征不明显,“肥岛”效应较弱。

氮是植物生长发育的大量营养元素,也是植物从土壤中吸收量最大的矿质元素^[35]。植物主要通过根系分泌物和植物残体向土壤提供碳、氮,影响土壤氮的输入,进而改变土壤性质^[36]。土壤全氮量是衡量土壤氮素供应状况的重要指标,主要取决于土壤有机质积累与分解作用的相对强度。植物在获得充分的氮素供应时,不仅吸收的氮量增加了,而且提高了对磷、钾、钙的吸收。当植物缺氮时,植物的碳素同化能力降低,生长明显受到抑制^[37]。土壤碳氮循环是生态系统的重要功能过程,土壤中的氮通过影响作物生长来影响土壤有机物的输入量,进而造成土壤有机碳含量差异,直接影响有机碳矿化。 NO_3^- 是土壤中可移动离子,常以溶液的形式被淋溶损失,氮损失的过程会加速一些其他元素的流失,造成土壤酸化,进而降低植物生产力,施氮缓解了青藏高原东缘高寒草甸草原植物生长的营养限制,提高了可食牧草产量^[38]。撂荒演替过程中有机质、速效磷和硝态氮有较为明显的植被土壤效应^[39]。土壤有机质和全氮是影响陕北黄土丘陵区^[40]、巴丹吉林沙漠南缘地区^[41]、藏北高寒植被^[42]、阿尔金山国家级自然保护区^[43]等不同气候带植物群落组成、多样性、生物量的关键生态因子,而全氮含量与有机质含量的高低有显著的相关性,可见土壤全氮是不同类型生态系统的限制性因子。本文研究表明全氮是植被群落物种分布的关键调控因子,与上述结论较为一致。

5 结论

研究区调查区域植被群落共出现植物27种,隶属于15科,26属,以藜科植物居多,占总物种数的

29.6%。不同植物群落的物种组成差异明显,生态型相似的植物聚集分布,每个群落都有代表其生境条件的指示种或特有种,柽柳群落的物种丰富度最大,胡杨群落的物种丰富度最小。

植被0~80 cm土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾含量排序柽柳>黑果枸杞>梭梭>沙拐枣;全磷、全盐、速效氮含量排序为柽柳>黑果枸杞>沙拐枣>梭梭;全钾含量大小排序为黑果枸杞>柽柳>梭梭>沙拐枣;pH值大小排序为梭梭>沙拐枣>黑果枸杞>柽柳。不同植被覆盖各养分指标之间差异显著。

随土层深度的增加,柽柳和黑果枸杞群落土壤全氮、有机质、全盐、速效氮、速效钾含量逐渐降低,表聚效应明显,土壤全磷、全钾、速效磷含量随着土层深度的增加而逐渐增大后减小,梭梭与沙拐枣群落整体处于波动状态。沙拐枣和梭梭群落土壤pH值高于柽柳和黑果枸杞群落,随土层深度的增大呈波动降低的趋势。整体上看,柽柳和黑果枸杞对土壤养分的保持能力较梭梭和沙拐枣强,肥岛效应明显。CCA排序结果表明植被群落物种分布土壤环境因子重要性排序为全氮>pH>全钾,土壤全氮是植物群落物种分布的最重要调控因子。

参考文献:

- [1] 陈玉福,董鸣.毛乌素沙地景观的植被与土壤特征空间格局及其相关分析[J].植物生态学报,2001,25(3):265-269.
- [2] Tapia-torres Y, L. Pez-lozano N E, Souza V, et al. Vegetation-soil system controls soil mechanisms for nitrogen transformations in an oligotrophic Mexican desert[J]. Journal of Arid Environments, 2015, 114: 62-69.
- [3] Mcaluliffe J R. Landscape evolution, soil formation, and ecological Patterns and Processes in Sonoran Desert bajadas[J]. Ecological Monographs, 1994, 64(2): 112-148.
- [4] 陈伟涛,王焰新,孙自永,等.干旱内陆区依赖地下水的生态系统研究:以敦煌盆地为例[J].第四纪研究,2014,34(5):950-958.
- [5] 张喜凤,张兰慧,顾娟,等.敦煌绿洲地下水时空变异特征及其对土地利用/覆被变化的响应分析[J].兰州大学学报:自然科学版,2014(3):311-317.
- [6] 马利邦,牛叔文,杨丽娜.水资源利用对敦煌市生态环境演变的影响分析[J].自然资源学报,2012,27(9):1531-1542.
- [7] 张明泉,赵转军,曾正中.敦煌盆地水环境特征与水资源可持续利用[J].干旱区资源与环境,2003,17(4):71-77.
- [8] 丘明新,杨祖成.甘肃疏勒河中、下游地区地下水位下降和土壤盐渍化对草甸植被的影响及其解决的途径[J].生态学杂志,1986(4):46-49.
- [9] 蔡正旺,苏雪,牟迈,等.甘肃敦煌南湖自然保护区生物多样性及保护对策[J].西北师范大学学报:自然科学版,2007,43

- (6):71-74+78.
- [10] 刘旻霞,袁海峰. 敦煌西湖自然保护区湿地生物多样性及保护对策研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(11):75-79.
- [11] 代雪玲,董治宝,蔺菊明,等. 敦煌阳关自然保护区湿地植物群落数量分类和排序[J]. 生态科学, 2015, 34(5):129-134.
- [12] 陈伟涛,孙自永,李显巨,等. 内陆干旱区天然植物群落遥感制图研究——以敦煌盆地为例[J]. 干旱区地理, 2014, 37(6):1257-1263.
- [13] 孙飞达,陈文业,袁海峰,等. 甘肃敦煌西湖荒漠-湿地生态系统土壤水分空间异质性及其影响因子研究[J]. 西北植物学报, 2016, 36(1):165-173.
- [14] 陈文业,赵明,张继强,等. 甘肃敦煌西湖荒漠-湿地生态系统土壤水分含量对植被特征的影响[J]. 林业科学, 2015, 51(11):8-16.
- [15] 刘旻霞. 敦煌西湖自然保护区生物多样性特征及生境质量评价[J]. 干旱区资源与环境, 2009(3):171-175.
- [16] 郑姚闯,崔国发,雷霆,等. 甘肃敦煌西湖湿地植物群落平均密度与土壤含盐量耦合关系[J]. 生态学报, 2009, 29(9):4665-4672.
- [17] 李亮. 土壤-地下水系统对天然植被生长的影响研究:以敦煌盆地为例[D]. 北京:中国地质大学, 2013.
- [18] 戚登臣,陈文业,张继强,等. 敦煌西湖湿地生态系统现状、退化原因及综合修复对策[J]. 草业学报, 2010, 19(4):194-203.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000:189-200.
- [20] 戈峰. 现代生态学[M]. 北京:科学出版社, 2000:156-157.
- [21] 陈文业,赵明,张继强,等. 敦煌西湖荒漠-湿地生态系统植被与土壤水分空间异质性研究[J]. 冰川冻土, 2015, 37(6):1670-1679.
- [22] 郑姚闯,崔国发,雷霆,等. 甘肃敦煌西湖多枝桠柳群落特征和种群格局[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(4):34-44.
- [23] 张瑾,陈文业,张继强,等. 甘肃敦煌西湖荒漠湿地生态系统优势植物种群分布格局及种间关联性[J]. 中国沙漠, 2013, 33(2):349-357.
- [24] 李文斌,李新平. 陕北风沙区不同植被覆盖下的土壤养分特征[J]. 生态学报, 2012, 32(22):6991-6999.
- [25] 罗友进,赵光,高明,等. 不同植被覆盖对土壤有机碳矿化及团聚体碳分布的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(6):117-122.
- [26] 陶冶,吴甘霖,刘耀斌,等. 古尔班通古特沙漠典型灌木群落土壤化学计量特征及其影响因素[J]. 中国沙漠, 2017, 37(2):305-314.
- [27] 陈广生,曾德慧,陈伏生,等. 干旱和半干旱地区灌木下土壤“肥岛”研究进展[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12):2295-2300.
- [28] 苏永中,赵哈林,张铜会. 几种灌木、半灌木对沙地土壤肥力影响机制的研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7):802-806.
- [29] 曹艳峰,丁俊祥,于亚军,等. 不同质地土壤中荒漠灌木梭梭“肥岛”的初步探讨[J]. 土壤学报, 2016, 53(1):261-270.
- [30] 雷金银,班乃荣,张永宏,等. 柽柳对盐碱土养分与盐分的影响及其区化特征[J]. 水土保持通报, 2011, 31(2):73-76.
- [31] 曹国栋,陈接华,夏军,等. 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质[J]. 生态学报, 2013, 33(1):195-204.
- [32] 王凯博,时伟宇,上官周平. 黄土丘陵区天然和人工植被类型对土壤理化性质的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15):80-86.
- [33] 高静静. 风蚀和放牧对温带草原碳循环的影响[D]. 河南开封:河南大学, 2013.
- [34] 罗万银,董治宝. 风蚀对土壤养分及碳循环影响的研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2005, 24(4):75-83.
- [35] Kirkby E A. plant growth in relation to nitrogensupply[J]. Ecological Bulletins, 1981, 33:249-267.
- [36] Rutigliano F A, D'ascoli R, Virzo Santo de A. Soil microbial metabolism and nutrient status in a Mediterranean area as affected by plant cover[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(11):1719-1729.
- [37] 孙向阳. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社, 2004:248-249.
- [38] 曹文侠,李文,李小龙,等. 施氮对高寒草甸草原植物群落和土壤养分的影响[J]. 中国沙漠, 2015, 35(3):658-666.
- [39] 杜峰,梁宗锁,徐学选,等. 陕北黄土丘陵区撂荒地群落生物量及植被土壤养分效应[J]. 生态学报, 2007, 27(5):1673-1683.
- [40] 杨丽霞,陈少锋,安娟娟,等. 陕北黄土丘陵区不同植被类型群落多样性与土壤有机质、全氮关系研究[J]. 草地学报, 2014, 22(2):291-298.
- [41] 王蒙,董治宝,罗万银,等. 巴丹吉林沙漠南缘植被物种多样性及其与土壤特性的关系[J]. 西北植物学报, 2015, 35(2):379-388.
- [42] 赵景学,曲广鹏,多吉顿珠,等. 藏北高寒植被群落物种多样性与土壤环境因子的关系[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(6):105-108.
- [43] 沙威,董世魁,刘世梁,等. 阿尔金山自然保护区植物群落生物量和物种多样性的空间格局及其影响因素[J]. 生态学杂志, 2016, 35(2):330-337.

Mutual Feedback Relationship between Vegetation Communities and Soil Nutrient in the Edge of Dunhuang Oasis

Zhao Peng^{1,2,3}, Qu Jianjun¹, Han Qingjie¹, Xu Xianying², Jiang Shengxiu², Fu Guiquan²

(1. Key Laboratory of Desert and Desertification/Dunhuang Gobi Desert Ecological and Environmental Research Station, Northwest Institute of Eco-environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. State Key Laboratory of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Research on interaction relationship between vegetation community and soil properties has significance to understanding the structure and function. Through the systematic sampling and survey of 21 samples plots of 20 m×20 m dimensions, based on the analysis of the characteristics of communities and soil nutrient, the relationship between species distribution of communities and soil nutrient were investigated with the methods of canonical corresponding analysis (CCA). The results show that: there were 27 kinds of species in study area, which belong to 15 families and 26 genera. The majority of species were Chenopodiaceae plant and accounted for 29.6% of total species number. The species richness of *Tamarix chinensis* community was the highest, and that of *Populus euphratica* was the lowest. Four vegetation cover including *T. chinensis* community, *Lycium ruthenicum* community, *Haloxylon ammodendron* community and *Calligonum mongolicum* community in edge of Dunhuang Oasis were selected as a case study. Soil samples were collected at depths of 0–5, 5–20, 20–40, 40–60 and 60–80 cm, to analyze their physicochemical properties. The soil in depths of 80 cm organic matter content (SOM), total nitrogen (TN), available phosphorus (AP), available potassium (AK) decreased in order of *T. chinensis* > *L. ruthenicum* > *H. ammodendron* > *C. mongolicum*; Total phosphorus (TP), total salt (TS) and available nitrogen (AN) decreased in order of *T. chinensis* > *L. ruthenicum* > *C. mongolicum* > *H. ammodendron*; Total potassium (TK) decreased in order of *L. ruthenicum* > *T. chinensis* > *H. ammodendron* > *C. mongolicum*; pH decreased in order of *T. chinensis* > *L. ruthenicum* > *H. ammodendron* > *C. mongolicum*. There were significant difference of each nutrient index among different vegetation cover. The TN, SOM, TS, AN and AK of *T. chinensis* and *L. ruthenicum* community presented a decreasing trend with the increase of soil depths, which reflected an obvious surface aggregation effect. That of *H. ammodendron* and *C. mongolicum* community were in a fluctuation trend. With increase of soil depths, the content of TP, TK and AP increased first and then decrease in *T. chinensis* and *L. ruthenicum* community, which of *H. ammodendron* and *C. mongolicum* community were also in a fluctuation trend. The trend of pH all four community showed a fluctuation. The result of CCA ordination show that importance rank of environmental factors which regulated the distribution of species in study area were TN > pH > TK. Soil total nitrogen is an important regulatory factor for the distribution of plant communities. Key words: soil nutrient; community's characteristic; mutual feedback relationship; canonical corresponding analysis; Dunhuang oasis

Key words: soil nutrient; community's characteristic; mutual feedback relationship; canonical corresponding analysis; Dunhuang oasis