

李昌盛,张志山,张金林,等.荒漠-绿洲区土壤性质过渡特征[J].中国沙漠,2022,42(4):209-218.

## 荒漠-绿洲区土壤性质过渡特征

李昌盛<sup>1,2,3</sup>, 张志山<sup>1</sup>, 张金林<sup>4</sup>, 张秀风<sup>5</sup>,

徐冰鑫<sup>1,2</sup>, 石亚飞<sup>1,2</sup>, 霍建强<sup>1,2</sup>

(1.中国科学院西北生态环境资源研究院 沙坡头沙漠研究试验站,甘肃 兰州 730000; 2.中国科学院大学,北京 100049; 3.甘肃省植保植检站,甘肃 兰州 730020; 4.兰州大学 草地农业科技学院,甘肃 兰州 730000; 5.内蒙古巴丹吉林自然保护区雅布赖管理站,内蒙古 阿拉善盟 737300)

**摘要:**荒漠-绿洲区是干旱区地表景观格局变化最频繁的地区,深入研究荒漠-绿洲区不同景观格局土壤环境的差异对揭示干旱区生态系统过程至关重要。本研究通过采集石羊河流域荒漠、过渡带和绿洲土壤样品,综合运用多种分析方法,研究荒漠-绿洲区不同景观格局土壤理化属性的差异及其相互作用关系。结果表明:从荒漠、过渡带到绿洲景观,土壤质地和持水性能在不断好转,酸碱度和盐分状况变化不大,养分状况则表现为荒漠和过渡带具有近乎相同的有机碳和全氮含量,绿洲具有显著增加的有机碳、全氮和全磷含量。在不同深度上,荒漠景观土壤理化属性几乎没有变化;过渡带土壤质地由表层至深层不断改善,含水量逐层增大,全磷含量缓慢增加,C:N和C:P的值波动减小;绿洲景观土壤含水量由表层至深层显著增加,养分含量显著降低,C:N和C:P的值显著减小。总体而言,荒漠景观土壤理化属性的分异程度最小,绿洲景观分异程度最大,过渡带景观在土壤质地和含水量方面的分异程度较大,在土壤养分方面的分异程度较小。此外,过渡带景观土壤理化属性的自相关程度最高,且土壤质地是引起其他土壤理化属性分异的主要原因。

**关键词:**荒漠-绿洲区;景观格局;土壤质地;含水量;土壤养分

文章编号: 1000-694X(2022)04-209-10

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2021.00155

中图分类号: S153

文献标志码: A

## 0 引言

景观格局变化是全球变化研究的热点,也是景观生态学和地理科学研究的重点<sup>[1]</sup>。荒漠化和绿洲化作为干旱区最核心的地理生态过程,对干旱区景观格局的形成与演变影响重大。从国家生态安全格局来看,干旱区荒漠化防治具有全局性战略意义<sup>[2]</sup>,然而,脆弱生态系统决定了干旱荒漠区抗干扰能力较低、自维持和自调控功能较弱,荒漠化防治面临着诸多难点,形势严峻<sup>[3]</sup>。如何维持土壤-植被系统稳定,促进生态系统功能的提高,是干旱区荒漠化防治研究的重点<sup>[4-5]</sup>。绿洲化是干旱区人与自然因素共同作用下荒漠向绿洲转变的过程<sup>[6]</sup>,在维持干旱区生态环境协调发展目标的前提下,建立怎样的绿洲规模、现状和结构才能使绿洲的服务功能

发挥最大效益<sup>[4]</sup>,是绿洲化研究中亟待解决的问题。与此同时,在荒漠化和绿洲化过程共同影响下,荒漠-绿洲过渡带生态系统结构和过程也在持续变化,在干旱荒漠-绿洲区,绿洲和过渡带必须保持一定的比例才能和谐共存<sup>[3]</sup>,过渡带的存在对荒漠向绿洲的侵入起着吸纳和缓冲的作用,对维系绿洲的生态安全和可持续发展也有着重要的意义。因此,研究荒漠、过渡带和绿洲不同景观格局的生态系统分异特征,对荒漠-绿洲生态系统稳定与可持续发展具有重要的指导意义。

土壤属性的异质性程度能很好地反映不同景观生态系统的演替,土壤属性的比较对于干旱区土壤-植被系统的退化与恢复具有重要的指示作用<sup>[7]</sup>。就土壤质地而言,土壤中粉粒含量的减少加

收稿日期:2021-11-16; 改回日期:2021-12-13

资助项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0504301);国家自然科学基金项目(31971529)

作者简介:李昌盛(1977—),男,甘肃白银人,博士研究生,主要从事干旱区生态学研究。E-mail: changsli@126.com

通信作者:张志山(E-mail: zszhang@lzb.ac.cn)

剧了表层土壤的粗粒化程度,不但印证了土壤中不同粒径的颗粒损失状况,而且反映了土壤荒漠化的程度<sup>[8]</sup>。土壤水分的变化不仅是干旱区景观格局变化的风向标,还在一定程度上影响着荒漠-绿洲区的水资源决策,是荒漠化和绿洲化过程管理的关键因子<sup>[9]</sup>。而土壤养分作为重要的生态控制因子,更是对荒漠-绿洲土壤生境退化与恢复意义重大<sup>[10]</sup>。因此,开展荒漠-绿洲不同景观格局土壤理化属性的分异特征研究,深入解析土壤属性间的相互关系和作用,对于揭示荒漠-绿洲生态系统稳定机理、控制区域生产与环境保护之间的平衡具有重要意义。基于此,本研究以石羊河流域典型荒漠-绿洲区为研究样带,通过定点采集土壤样品和开展室内测试分析,系统剖析荒漠、过渡带和绿洲3种景观土壤理化属性的空间分异规律及各因子间的相互关系,为荒漠-绿洲区制定合理的生态环境治理对策提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

石羊河流域( $36^{\circ}29'—39^{\circ}27'N$ ,  $101^{\circ}22'—104^{\circ}16'E$ )地处黄土、青藏和蒙新三大高原的交会地带,位于甘肃省河西走廊东部、乌鞘岭以西、祁连山北麓,面积 $4.16\times 10^4\text{ km}^2$ 。流域南部为祁连山地,中部为走廊平原,北部分布有低山丘陵,东、西两侧为广袤荒漠,生态功能区可划分为祁连山水源涵养功能区、走廊盆地绿洲功能区、北部荒漠-绿洲交互功能区和荒漠区<sup>[11]</sup>。石羊河流域属于大陆性温带干旱

气候,太阳辐射强、日照充足、温差大、降水少、蒸发强烈、空气干燥。年平均降水量由南部祁连山区的600 mm逐渐减少至民勤北部腾格里沙漠的50 mm左右,年平均蒸发量则由700 mm增加到2 600 mm左右,年年均气温 $5—8^{\circ}\text{C}$ 。

石羊河流域荒漠-绿洲面积约 $2.40\times 10^4\text{ km}^2$ <sup>[12]</sup>,其中,绿洲景观以耕地、人工林地、灌草地和居住用地为主;荒漠景观以流动沙地和裸地为主;过渡带一般从绿洲外围防护林开始至无植被的荒漠结束<sup>[13]</sup>,景观以斑块状灌木林地、草地、流动沙地和裸地为主。荒漠-绿洲地带性土壤以灰棕漠土和灰棕漠土型沙土为主,非地带性土壤以风沙土为主,在地势低洼处分布有盐渍化沙土、盐化草甸土和沼泽土,在农灌区有绿洲灌淤土、盐化灌淤土和风沙灌淤土等。

### 1.2 样品采集与处理

2018年7月在石羊河流域荒漠-绿洲区进行土壤样品采集(图1),沿垂直石羊河河道方向由近及远选择绿洲、过渡带和荒漠3种地理景观,每种景观内间隔10 km设置3个采样区,每个采样区随机选择5个采样点,采集0—10、10—20、20—40、40—60、60—80、80—100、100—120、120—150 cm深度土壤样品。采样时先去除表层枯枝落叶,然后用土钻进行采样,剔除样品中明显的植物根段和枯落物等杂物后,将5个采样点相同土层土样混合作为一个样,其中一部分土样装入铝盒带回实验室,利用烘干法测定土壤含水量,其余样品装入采样袋带回实验室进行其他理化指标的测定。

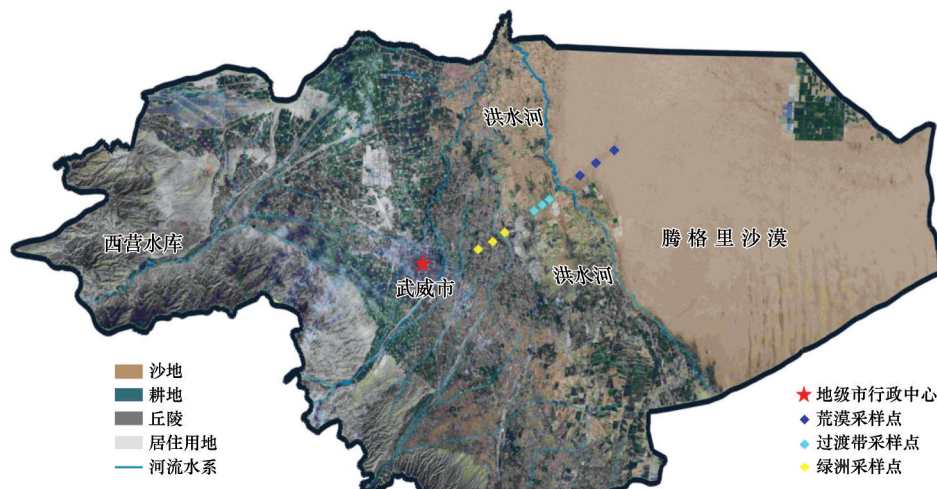


图1 研究区采样点分布

Fig.1 Sampling sites in the study area

### 1.3 分析项目与测定方法

土壤颗粒组成的分析采用湿筛加吸管法,参照美国制土壤颗粒分级标准,将其划分为黏粒( $<0.002$  mm)、粉粒( $0.002-0.05$  mm)和砂粒( $0.05-2$  mm)。土壤水分的测定采用称重法,盐分的测定采用滴定法,电导率的测定采用电导率仪(DDS-307A)法,pH值的测定采用酸度计(PHS-3C)法,有机碳的测定采用重铬酸钾容量法,全氮的测定采用流动注射分析仪(FIAstar 5000)法,全磷的测定采用钼锑抗比色法。

### 1.4 数据处理与分析

运用单因素方差分析对不同景观土壤理化属性进行差异显著性分析,运用最小显著极差法(LSD)进行多重比较,运用主坐标分析(PCoA)对土壤理化属性分异程度进行排序,运用相关分析研究土壤理化指标间的相互作用。数据分析和图表绘

制分别在SPSS 21.0和Origin 8.0中进行,PCoA排序在R 4.1.0中进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤粒径组成

荒漠和过渡带土壤粒径组成以砂粒为主(图2),平均含量分别达93.88%和78.90%,绿洲以砂粒和粉粒为主,平均含量分别达39.75%和41.13%。荒漠和过渡带土壤砂粒、粉粒和黏粒含量均没有显著差异,表明这两种景观的土壤质地差异很小。但绿洲与上述景观具有完全不同的土壤质地,表现为砂粒含量显著低于荒漠和过渡带景观、粉粒含量显著高于荒漠和过渡带景观。从荒漠、过渡带到绿洲,土壤粉粒和黏粒含量的平均值在不断增加,表明土壤质地的演变过程明显,土壤质地呈现逐渐好转的趋势。

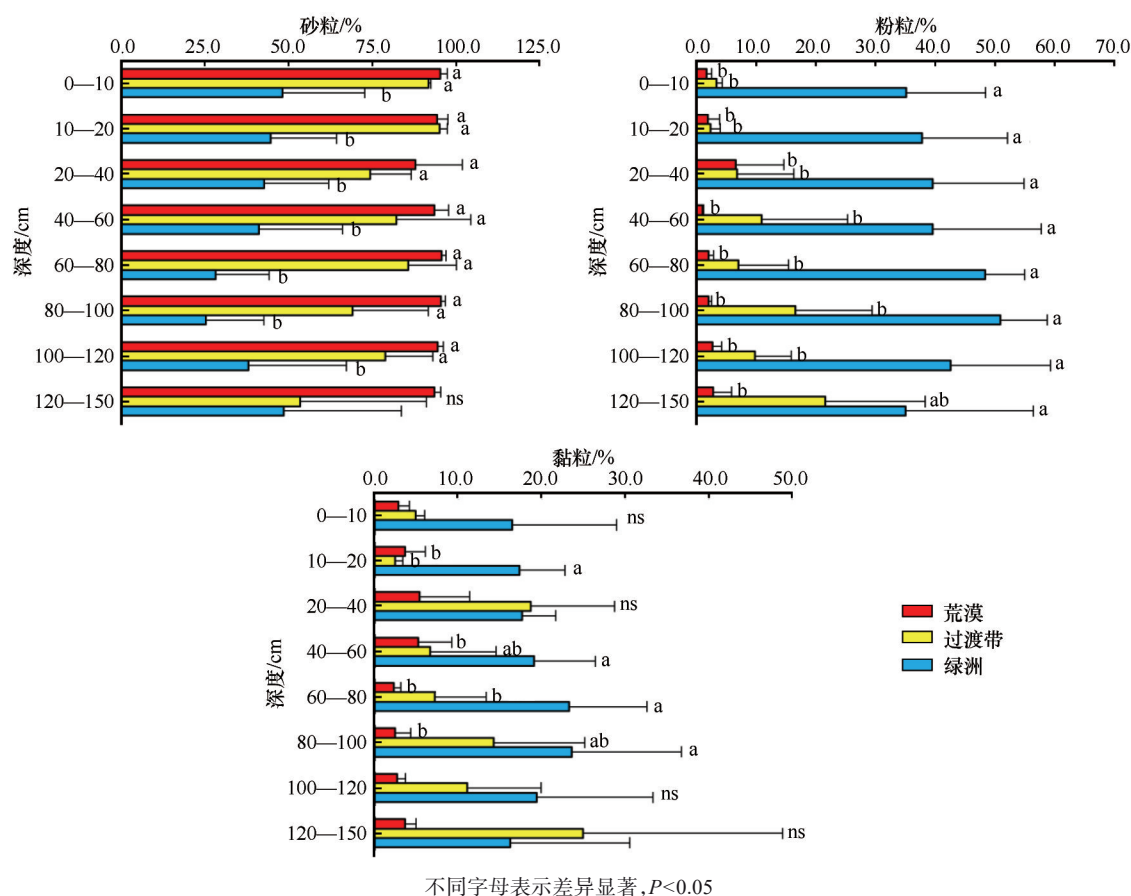


图2 不同景观土壤剖面粒径组成的变化

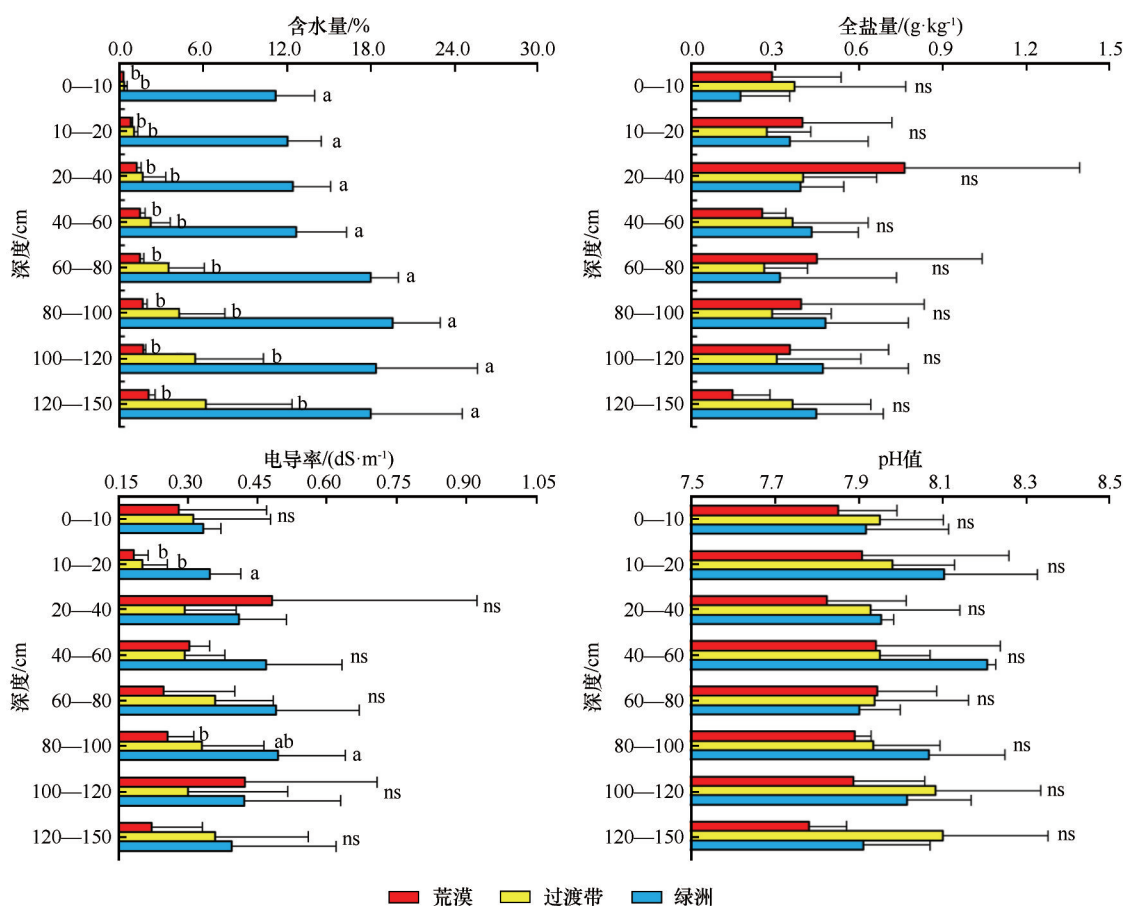
Fig.2 Changes of soil particle composition under different landscapes

从不同深度来看,荒漠景观不同深度土壤砂粒、粉粒和黏粒含量差异均不显著,各土层土壤粒

径组成基本保持一致,土壤质地以砂质土为主。过渡带0—20 cm土层砂粒含量显著多于120—150 cm



土层( $P<0.05$ ),粉粒和黏粒含量显著少于120—150 cm土层( $P<0.05$ ),粉粒和黏粒含量呈现出由表层向深层逐渐增加的趋势,表明过渡带土壤质地由表层至深层发生了转变,由砂质土逐渐转变为砂壤土,并在120—150 cm土层转变为砂质黏壤土。绿洲景观土壤砂粒含量由表层至深层呈现出先减少(0—100 cm土层)后增加(100—150 cm)的趋势,粉粒和黏粒含量则与之相反,表明绿洲景观在60—100 cm土层含有夹层,以粉质壤土为主,而其余土层则以壤土为主。



不同字母表示差异显著,  $P<0.05$

图3 不同景观土壤剖面含水量、盐分、电导率和pH值的变化

Fig.3 Changes of soil water content, salinity, EC and pH under different landscapes

荒漠、过渡带和绿洲土壤全盐量没有显著差异,整个区域土壤平均含盐量为  $0.36 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,盐分含量较低。在10—20 cm土层,绿洲景观土壤浸提溶液电导率显著高于荒漠和过渡带,但在其他土层,电导率的差异并不显著。在深度上,荒漠景观20—40 cm土层有一个较为明显的盐分积累区,但与其他土层间并没有显著差异,不同土层间的电导率也没有显著差异。

## 2.2 土壤水分、盐分和pH值

土壤含水量呈现出从荒漠、过渡带到绿洲逐渐增加的趋势(图3),但荒漠和过渡带之间差异并不显著。沿着土层深度增加,过渡带土壤含水量逐层递增,由表层0.39%的极度水分缺失状态增加至深层的6.22%,呈现出一定的深层储水能力。绿洲景观60—150 cm土层平均土壤含水量(18.48%)高于0—60 cm土层(12.09%),表明绿洲深层土壤具有较高的含水量。

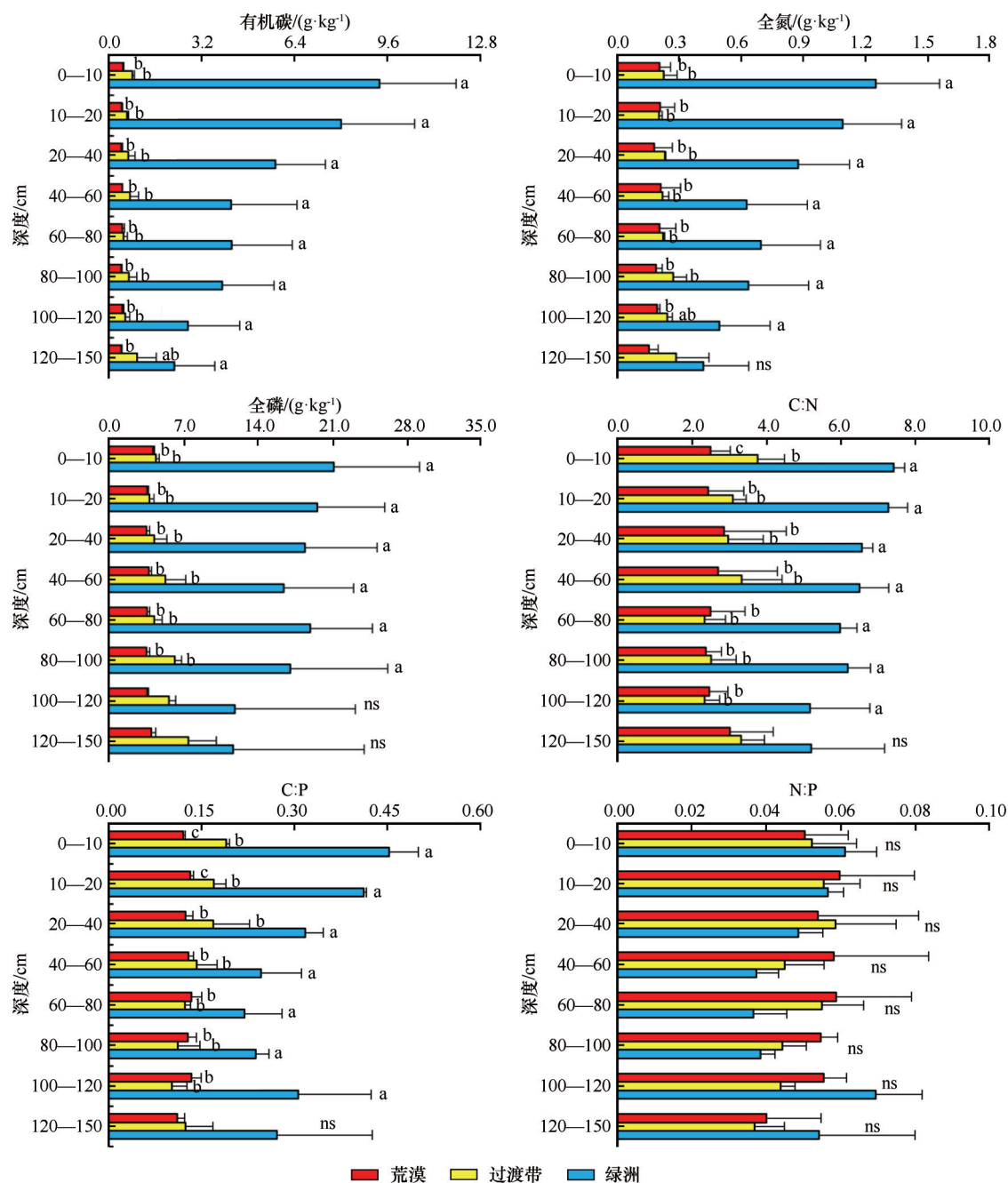
荒漠景观土壤pH值略低于绿洲(平均值分别为7.88和8.01),但3种景观类型下pH值的差异均不显著。绿洲景观40—60 cm土层pH值显著高于表层0—10 cm( $P=0.031$ )和深层100—150 cm( $P=0.028$ ),表明该层土壤比表层和深层土壤更偏碱性。

## 2.3 土壤剖面碳氮磷化学计量的分异特征

绿洲景观土壤有机碳、全氮和全磷含量均显著

高于荒漠和过渡带(图4),其中有机碳含量平均高11.0倍和7.1倍,全氮含量平均高3.9倍和3.2倍,全磷含量平均高4.6倍和3.3倍。与荒漠相比,过渡带平均土壤有机碳、全氮和全磷含量稍高,但差异不

显著。此外,荒漠和过渡带土壤平均C:N值为2.77,平均C:P值为0.13,均显著低于绿洲景观(6.29和0.31),而土壤N:P值在不同景观类型中均没有显著差异。



不同字母表示差异显著,  $P < 0.05$

图4 不同景观土壤剖面有机碳、全氮、全磷含量及C:N:P化学计量的变化

Fig.4 Changes of soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus and C:N:P stoichiometry under different landscapes

从剖面来看,荒漠和过渡带土壤有机碳和全氮含量在不同土层上没有显著差异,绿洲景观土壤有机碳和全氮含量在0—40 cm土层呈现出逐层显著递减的趋势,在40—100 cm土层保持相对稳定的含

量,在100—150 cm土层则又进一步减少。荒漠景观各土层间土壤全磷含量差异不大,过渡带土壤全磷含量呈现出波动递增的趋势,其中0—40 cm土层土壤全磷显著低于120—150 cm土层( $P < 0.01$ )。绿

洲景观土壤全磷含量呈现出由表层向深层波动递减的趋势,但各层间差异不显著。此外,荒漠景观各土层间C:N和C:P差异均不显著,过渡带0—10 cm土层C:N和C:P均高于60—120 cm土层( $P>0.05$ ),其余各土层间差异同样不显著。绿洲景观0—20 cm土层C:N高于100—150 cm土层( $P>0.05$ ),C:P高于40—150 cm土层( $P>0.05$ ),其余各土层间C:N和C:P差异均不显著。

#### 2.4 土壤理化属性分异程度及相关性

为了更直观地分析不同景观格局土壤理化性质的差异,对9个采样区8个深度的土壤样本进行了PCoA排序,图5A是基于土壤粒径组成的排序,图5B是基于土壤水分、盐分和pH值的排序,图5C是基于土壤有机碳、全氮、全磷含量及化学计量的排序。可以看出,沿着PCoA轴1的方向,3个排序图均能将不同景观的土壤样本聚集在相对独立的区域内,表明3类理化指标均是决定不同景观土壤理化特性的重要因素。在3个图中,荒漠和绿洲景观样本均极少出现重合,表明这两类景观具有截然不同的土壤理化特性。此外,过渡带景观土壤样本所在区域的面积均大于荒漠景观,并在一定程度上向绿洲景观延伸,表明过渡带景观土壤理化特性值

的范围比荒漠景观大,具有显著的过渡性特征。图5A和图5C中,荒漠景观样本强烈聚集,表明所有样本的土壤质地和养分状况差异极小;相比而言,荒漠景观各个样本间的土壤水分、盐分和pH值差异较大(图5B),样本的分布较为分散,但与过渡带和绿洲景观相比,差异亦可忽略不计。过渡带景观样本间土壤养分差异较小,土壤质地、水分、盐分和pH值差异较大,而绿洲景观所有土壤理化指标均存在较大的样本间差异和垂直空间差异。

图5D是基于所有理化指标的排序,可以看出,沿轴1的方向,不同景观类型土壤理化特性的差异主要表现在土壤粒径组成、水分及养分含量的差异上,其影响顺序依次为砂粒、粉粒、含水量、全磷、黏粒、碳氮比、全氮和有机碳。

荒漠景观土壤理化指标间没有显著相关性(表1)。过渡带景观土壤理化环境存在较强的自相关性,其中砂粒含量对土壤理化特性的影响最大,与过渡带缺水少肥、pH值较高有很大相关性,与此同时,黏粒含量和土壤含水量也对过渡带景观土壤理化特性有极大的影响。绿洲景观土壤理化指标间的相关性比过渡带弱,其中土壤颗粒组成对含水量、含盐量、全磷含量和N:P的影响较大,而其他指标间的相互影响较小。

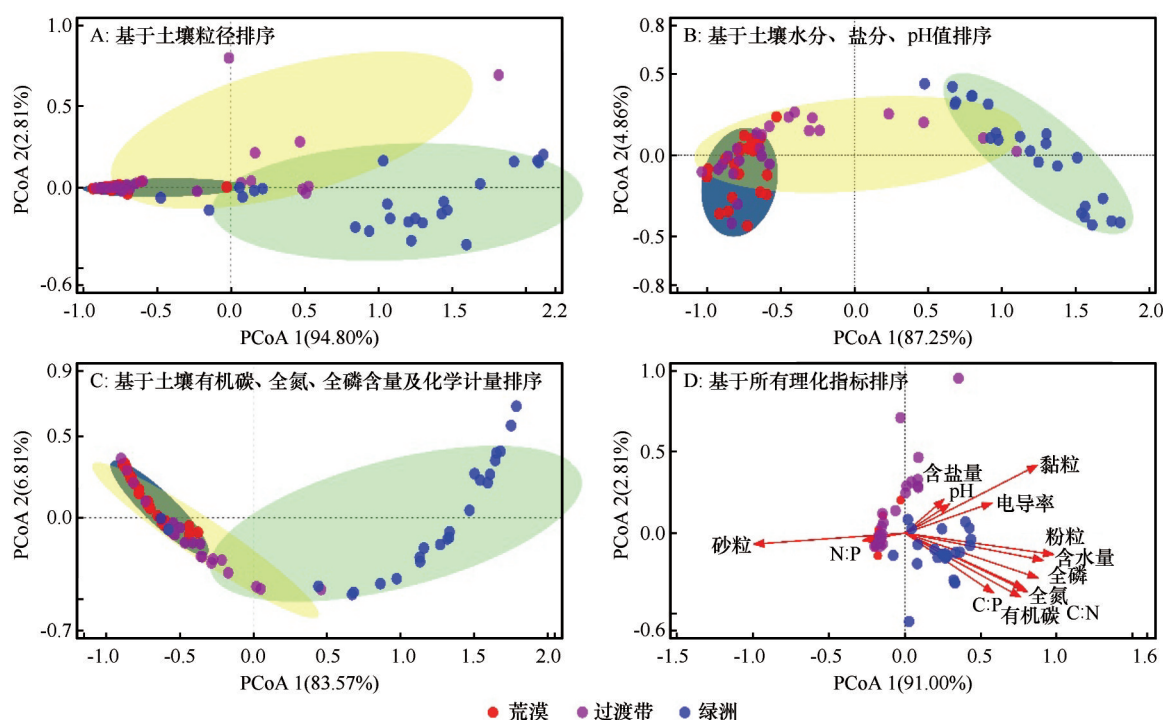


图5 不同景观土壤理化指标的主坐标排序图

Fig.5 Principal coordinate analysis (PCoA) of soil physical and chemical indexes under different landscapes

表 1 不同景观土壤理化指标间的显著相关性

Table 1 Significant correlation of soil physical and chemical indexes under different landscapes

土壤理化 指标	过渡带景观						绿洲景观				
	砂粒	粉粒	黏粒	含水量	全盐量	pH 值	砂粒	粉粒	黏粒	含水量	全盐量
含水量	-0.793**	0.683**	0.771**				-0.724**	0.741**	0.606**		
全盐量			0.472*				-0.740**	0.671**	0.745**	0.568**	
pH 值	-0.584**	0.511*	0.559**	0.715**	0.674**						
有机碳	-0.790**	0.665**	0.781**	0.553**	0.568**	0.596**					
全氮	-0.809**	0.656**	0.824**	0.762**	0.499*	0.523*	-0.448*	0.460*			
全磷	-0.866**	0.873**	0.727**	0.754**		0.623**	-0.771**	0.681**	0.803**		0.532**
C:P					0.437*					-0.442*	
N:P		-0.454*					0.564**	-0.527**	-0.546**	-0.451*	

\* 表示相关系数在 0.05 水平上显著;\*\* 表示相关系数在 0.01 水平上显著。

3 讨论

土壤颗粒组成可以反映历史时期土壤形成与沉积环境的演变<sup>[14]</sup>。从不同景观类型土壤剖面颗粒组成的分布来看,砂质土在石羊河流域荒漠景观土壤剖面上的厚度最大,是其主要土壤质地类型,结合以往研究可以发现,石羊河流域荒漠景观土壤主要由风沙土发育而来<sup>[15]</sup>,且在漫长的演化过程中,受自然因素限制,土壤颗粒的迁移主要以风沙土的堆积和剥离为主<sup>[16]</sup>,细颗粒土壤很难固定,土壤质地发生变化的可能性较小。与之相反,石羊河流域绿洲景观土壤主要受人类活动的影响,在整个土壤剖面上以质地较好的粉质壤土和壤土为主。在石羊河流域绿洲化过程中,天然荒漠逐渐转变为人工绿洲<sup>[17]</sup>,由于盖度较高且相对均一的植被覆盖减弱了风蚀对土壤的干扰,植被根系通过穿透作用和根际效应既可以将土壤分割成细颗粒,又能将土粒和土壤中的有机质与腐殖质胶结形成团粒结构<sup>[18]</sup>,因此,随着绿洲化年限的增加,绿洲景观土壤团聚体稳定性和粉粒、黏粒的含量显著增加,土壤较为松散的状况得以改变,土壤结构愈加密实,土壤质地得到显著改善<sup>[6]</sup>。

相比而言,地处荒漠和绿洲交错区的过渡带土壤质地空间异质性较强,由表层的砂质土逐渐转变为深层的砂壤土和砂质黏壤土。石羊河流域荒漠-绿洲过渡带的耕地扩张、土地退化和生态修复过程交替出现,绿洲化和荒漠化交织在一起此消彼长<sup>[17,19-20]</sup>,对过渡带土壤质地产生了深远的影响。绿洲化过程中浅层和深层土壤质地有所改善,细颗

粒土壤得以固定,但荒漠化过程中表层土壤又一次裸露,在强烈的风蚀作用下土壤结构逐层破坏,土质沙化日趋严重。目前,经过多年的生态修复治理工程,石羊河流域荒漠-绿洲过渡带逐渐形成了以梭梭和怪柳等木本旱生人工灌木林以及流动沙地、裸地为主的景观格局<sup>[12,15]</sup>,其浅层土壤除了受到变程较短的地面环境过程(风蚀、降雨)的干扰之外,还受到植物根系活动的影响,而深层土壤在多年绿洲化和荒漠化过程影响的基础上,还进一步受到具有较长空间依赖距离的地下水波动的影响<sup>[16]</sup>。因此,石羊河流域荒漠-绿洲过渡带土壤质地始终处于不断变化的过程中,空间异质性状况还有可能进一步加强。

土壤水分是荒漠-绿洲形成不同景观的主要影响因素。荒漠景观由于多种自然因素(如气候、水文和风沙移动等)的影响,土壤水分含量最低且空间异质性最弱,整体处于水分极度匮乏的状态。过渡带和绿洲景观土壤水分与土壤颗粒组成关系密切,表现为土壤粉粒和黏粒含量越多,土壤含水量越大,这与以往学者的研究结果一致<sup>[21-22]</sup>,说明较多的土壤细颗粒可以显著增强土壤的持水性能。除此之外,绿洲景观土壤水分还受到人为灌溉及种植结构等因素的影响,在作物根系层始终保持着较高的土壤含水量。

不同景观土壤养分的空间异质性差异较大且成因各不相同。荒漠景观土壤养分匮乏主要与植被覆盖率极低和风蚀导致的有机质分解和氮磷流失有关<sup>[23]</sup>。过渡带景观土壤养分与土壤质地和水分状况有关,在细颗粒含量越高、土壤水分状况越



好的土壤中,土壤有机碳、氮和磷的含量越高;不仅如此,土壤细颗粒还通过增加土壤持水性能间接维持较高的土壤养分状况。在绿洲景观中,土壤养分的空间异质性显著强于土壤颗粒组成,表明其较少受到土壤颗粒组成的影响,这主要是因为绿洲人工施肥等农耕措施显著改变了土壤的养分结构,使耕作层始终保持相对较高的土壤养分含量。

C:N:P是评价土壤养分组成的重要指标,也是确定土壤碳、氮、磷平衡特征的重要参数。石羊河流域荒漠景观土壤C:N在不同深度上稳定在2.59左右,远低于Tian等<sup>[24]</sup>报道的中国土壤平均C:N水平(11.90),可见荒漠土壤碳氮循环较弱,土壤有机质形成极为不易。过渡带和绿洲景观土壤C:N呈现出一定的空间异质性,且不同景观间的差异较大,这主要与各土层土壤碳和氮元素来源的差异性有关<sup>[25]</sup>,不同的土壤演变过程、植被覆盖类型及人为施肥等因素,均对不同景观的土壤碳氮循环产生较大影响<sup>[26-27]</sup>。与荒漠景观土壤C:P持续稳定的状态不同,过渡带和绿洲景观土壤C:P由浅层至深层呈现出相反的变化趋势,这主要与两种景观不同的土壤全磷分布状况有关。在过渡带景观中,土壤磷主要来源于母质,是较难移动的元素<sup>[28]</sup>,因此土壤全磷含量主要取决于母质的含磷量。此外,过渡带深层土壤较高的pH值对土壤P元素的积累也有一定的促进作用。而在绿洲景观中,人为的磷肥施用是其浅层具有较高P元素的主要原因。

荒漠、过渡带和绿洲3种景观各自独立又相互关联影响。荒漠景观土壤属性相对单一,受外界干扰最小,空间分异程度最低。过渡带景观比邻绿洲景观受到一定程度人类活动的影响,其土壤属性的分异程度介于荒漠和绿洲景观之间,具有典型的过渡性特征。而对绿洲景观而言,由于人类活动干扰剧烈,土壤属性的分异程度也最高。此外,由于过渡带同时受到荒漠化和绿洲化两种陆表过程的影响,物质和能量的交换频繁且复杂,因此,过渡带景观土壤理化属性的演变是一个十分漫长的过程,具有典型的强自相关特征。

## 4 结论

从荒漠、过渡带到绿洲景观,细颗粒土壤逐渐增加,土壤质地显著改善。此外,荒漠和绿洲景观具有较小的土壤质地剖面异质性,而过渡带景观土壤质地沿深度逐渐壤土化,更有利于木本旱生灌木

的生长。

从荒漠、过渡带到绿洲景观,土壤持水性能显著提高,且从表层至深层,过渡带和绿洲景观土壤储水能力显著增强。

荒漠和过渡带景观土壤有机碳、全氮、全磷含量及C:N和C:P的值显著低于绿洲景观,其中,荒漠景观各指标均没有显著空间异质性,过渡带景观土壤全磷含量从表层至深层缓慢增加,C:N和C:P的值波动减小;绿洲景观土壤养分从表层至深层递减,但N:P的值与荒漠和过渡带景观没有显著差异。

荒漠景观土壤质地和养分指标的样本间差异极小,但土壤水分、盐分和pH值差异较大。过渡带景观土壤养分的样本间差异较小,其他理化指标差异较大。绿洲景观所有土壤理化指标均存在较大的样本间差异和垂直空间差异。此外,过渡带景观土壤理化属性的自相关程度最高,且土壤质地是引起其他土壤理化属性分异的主要原因。

## 参考文献:

- [1] 彭建,吕丹娜,董建权,等.过程耦合与空间集成:国土空间生态修复的景观生态学认知[J].自然资源学报,2020,35(1):3-13.
- [2] 张百平,张雪芹,郑度.西北干旱区不宜作为我国耕地后备资源基地[J].干旱区研究,2010,27(1):1-5.
- [3] 陈亚宁,陈亚鹏,朱成刚,等.西北干旱荒漠区生态系统可持续管理理念与模式[J].生态学报,2019,39(20):7410-7417.
- [4] 李新荣,回嵘,苏洁琼,等.中国干旱区恢复生态学研究进展及趋势评述[J].地理科学进展,2014,33(11):1435-1443.
- [5] Yang X, Ding Z, Fan X, et al. Processes and mechanisms of desertification in northern China during the last 30 years, with a special reference to the Hunshandake Sandy Land, eastern Inner Mongolia[J]. Catena, 2007, 71: 2-12.
- [6] 赵文智,杨荣,刘冰,等.中国绿洲化及其研究进展[J].中国沙漠,2016,36(1):1-5.
- [7] Li X R, Zhang Z S, Huang L, et al. Review of the ecohydrological processes and feedback mechanisms controlling sand-binding vegetation systems in sandy desert regions of China[J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(13): 1-14.
- [8] 赵文智,刘志民,程国栋.土地沙质荒漠化过程的土壤分形特征[J].土壤学报,2002,39(6):877-881.
- [9] 李毅,门旗,罗英.土壤水分空间变异性对灌溉决策的影响研究[J].干旱地区农业研究,2000,18(2):80-85.
- [10] 许文强,罗格平,陈曦,等.天山北坡绿洲土壤有机碳和养分时空变异特征[J].地理研究,2006,25(6):1013-1021.
- [11] 张建明.石羊河流域土地利用/土地覆被变化及其环境效应[D].兰州:兰州大学,2007:100-106.



- [12] 毛忠超,李森,张志山,等.荒漠-过渡带-绿洲界定:以石羊河流域为例[J].中国沙漠,2020,40(2):177-184.
- [13] 张帅普.绿洲荒漠交错区土壤水分时空分布及随机模拟[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2017:18-20.
- [14] 陈小红,段争虎,何洪泽.荒漠-绿洲边缘区生态过渡带的土壤颗粒分形特征[J].土壤,2009,41(1):97-101.
- [15] 王新友.石羊河流域人工固沙植被的固碳过程、速率和效益研究.[D].兰州:兰州大学,2020:25-32.
- [16] 李育,王岳,张成琦,等.干旱区内陆河流域中游地区全新世沉积相变与环境变化:以石羊河流域为例[J].地理研究,2014,33(10):1866-1880.
- [17] 卢辉雄,聂振龙,刘敏,等.基于RS和GIS的石羊河流域近50年土地覆被类型变化研究[J].地质与资源,2020,29(2):165-171.
- [18] Helliwell J R, Sturrock C J, Miller A J, et al. The role of plant species and soil condition in the structural development of the rhizosphere[J]. Plant, Cell & Environment, 2019, 42(6): 1794-1986.
- [19] 文星,王涛,薛娴,等.1975-2010年石羊河流域绿洲时空演变研究[J].中国沙漠,2013,33(2):478-485.
- [20] 刘艳萍.石羊河流域重点治理项目对凉州区生态恢复的影响[D].甘肃:兰州大学,2016:25-36.
- [21] Li X, Shao M, Zhao C, et al. Spatial variability of soil water content and related factors across the Hexi Corridor of China [J]. Journal of Arid Land, 2019, 11(1): 123-134.
- [22] Sadeghian N, Vaezi A R, Majnooniheris A, et al. Soil physical degradation and rill detachment by raindrop impact in semi-arid region[J]. Catena, 2021, 207(4): 105603.
- [23] 王蓬,王海荣.土地荒漠化过程中土壤养分变化分析及对策研究[J].安徽农业科学,2012,40(24):3.
- [24] Tian H, Chen G, Chi Z, et al. Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: a synthesis of observational data[J]. Biogeochemistry, 2010, 98: 139-151.
- [25] 张珂,苏永中,王婷,等.荒漠绿洲区不同种植年限人工梭梭林土壤化学计量特征[J].生态学报,2016,36(11):3235-3243.
- [26] Sainju U M, Singh H P, Singh B P. Cover crop effects on soil carbon and nitrogen under bioenergy sorghum crops[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 70(6): 410-417.
- [27] 周晶,姜昕,马鸣超,等.长期施氮对土壤肥力及土壤微生物的影响[J].中国土壤与肥料,2016,6:8-13.
- [28] 郭颖.青藏高原不同植被类型土壤磷分布特征及影响因素[D].天津:天津师范大学,2017:12-45.

## Transition characteristics of soil properties in desert-oasis

Li Changsheng<sup>1,2,3</sup>, Zhang Zhishan<sup>1</sup>, Zhang Jinlin<sup>4</sup>, Zhang Xiufeng<sup>5</sup>,

Xu Bingxin<sup>1,2</sup>, Shi Yafei<sup>1,2</sup>, Huo Jianqiang<sup>1,2</sup>

(1. Shapotou Desert Research and Experimental Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Plant Protection and Quarantine Station of Gansu Province, Lanzhou 730000, China; 4. College of Grassland Agricultural Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 5. Yabulai Management Station of Badan Jilin Nature Reserve, Alxa League 737300, Inner Mongolia, China)

**Abstract:** Desert-oasis transition area has the most frequent landscape changes in arid area. It is very important to deeply understand the differences of soil environment under different landscapes in desert-oasis transition area in order to reveal the ecosystem processes in arid area. By collecting soil samples from different landscapes (i.e., desert, transition zone and oasis) in Shiyang River Basin, and comprehensively using a variety of analysis methods, this study investigated the heterogeneity and their interactions of soil physical and chemical properties. The results demonstrated that soil texture and water holding capacity improved from desert, transition zone to oasis landscapes while the value of pH and salinity had little change. The landscapes of desert and transition zone had nearly the same organic carbon and total nitrogen contents, and the oasis landscapes had significantly increased organic carbon, total nitrogen, and total phosphorus contents. At different depths, the soil physical and chemical properties in desert landscape had little change. However, the soil texture in the transition zone landscape improved from surface to deep layer, the water content increased layer by layer, the total phosphorus content increased slowly, and the values of C:N and C:P decreased irregularly. From surface to deep layer, the soil water content in oasis landscape increased significantly, the nutrients decreased significantly, and the values of C:N and C:P decreased significantly. In general, desert landscape had the smallest heterogeneity degree of soil physical and chemical properties, while oasis landscape had the largest one. As for the transition zone landscape, it had larger heterogeneity in soil texture and water content, and had smaller heterogeneity in soil nutrients. In addition, the transition zone landscape obtained the highest autocorrelation degree of soil physical and chemical properties, and soil texture was the main reason for the heterogeneity of other soil physical and chemical properties.

**Key words:** desert-oasis transition area; landscape pattern; soil texture; moisture content; soil nutrient