DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2015.06.009

石羊河尾闾(青土湖)水面形成后土壤养分的空间特征①

刘淑娟，袁宏波，刘世增，马剑平，李发明，王 琪，刘开琳，万 翔

(甘肃省荒漠化防治重点实验室，甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站，兰州 733000)

摘 要：通过测定青土湖不同土层、不同水面距离的土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷含量及电导率，对比了不同土层和水面距离的土壤养分差异，分析了其空间变异性以及相关关系。结果表明：① 0 ~ 60 cm 土层土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、全钾含量和土壤溶液电导率值分别在距水面 100 ~ 150 m 和 300 m 处达到最大，在距水面 200 m 处为最小，呈波浪式变化，这种波浪式变化与其原湖泊沉积和区域气候环境相符合。②土壤养分含量存在显著空间变异性，各养分指标含量随土层深度变化规律明显，不同水面距离 0 ~ 40 cm 土层土壤有机质、全氮等含量均比 40 ~ 80 cm 土层高，土壤各养分除全钾含量在 0 ~ 80 cm 土层、全磷含量在 60 ~ 80 cm 土层为弱变异外，其他均属于中等变异。③在 0 ~ 40 cm 土层，土壤有机质与全氮、全钾、碱解氮、电导率呈正相关；电导率与速效磷、全磷呈正相关。青土湖的土壤各养分含量均较低，水面形成的干扰改变了原土壤的理化性质，其对土壤养分垂直分布的影响范围在 0 ~ 40 cm。

关键词：土壤养分；空间特征；青土湖

中图分类号：S718.51

土壤肥力是土壤物理、化学、生物等性质的综合反映。土壤养分是自然生态系统生产力的主导因素，土壤养分状况往往制约着生态系统的演替过程和对环境变化的响应[1–4]。氮、磷、钾等矿质元素在植物体构成和生理代谢方面发挥着重要作用，土壤中矿质元素含量可以表征土壤的供肥能力，与植物生长状况有密切的联系。土壤养分含量是反映土壤质量或土壤健康状况的一个重要指标[5–8]。土壤有机质是表征土壤质量的重要指标，是土壤养分的重要组成物质，是制约土壤肥力的关键要素，也是表征土壤环境质量的重要因素。其组成受到母质、植被和水热条件等因素的影响[9–11]。影响土壤养分空间变异的因素主要包括：成土母质、地形和人类干扰活动等。但在特定的研究区域内，由于气候条件比较一致，生态系统经过长期的自身演替，土壤由母质差异等引起的空间变异将逐渐减小，而人类干扰活动和小生境对土壤养分含量的变化有着深远的影响。研究土壤养分的空间变异性，对于了解土壤的形成过程、结构和功能具有极其重要的意义。为此，国内外学者对土壤养分的空间变化特征进行了大量的研究[12–13]。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，土壤养分的变化直接影响荒漠化的程度与发展。土壤特性往往是沙质荒漠化的一个指征，也是不同形式的土地沙质荒漠化导致的生态系统功能改变的一个非常重要的测度[14]。前人对不同干扰措施对土壤物理性状的影响进行了较为系统的研究[15–16]。

石羊河尾闾——青土湖，作为石羊河的终端，又是民勤绿洲与两大沙漠(腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠)之间的一个生态屏障，其重要性显而易见。为了区域补偿地下水和改善区域水环境，促进河流系统及区域生态系统恢复，自 2010 年 9 月开始，由政府主导，以渠道输送的形式向青土湖注入生态用水。2010 年，上游红崖山水库首次向青土湖注水，共下泄生态水量 1.29×10^7 m^3，形成水面面积 195.827 hm^2；2011 年下泄生态水量 1.26×10^7 m^3，形成水面面积 130.372 hm^2；2012 年下泄生态水量 3.0×10^7m^3，形成水面面积约 241.12 hm^2；2013年，下泄生态水量 3.20×10^7 m^3，形成水面面积 607.126 hm^2。青土湖水面的形成对区域的地下水位也产生了一定的影响，促使地下水位的逐步上升。据观测，2010 年地下水平均埋深 3.80 m，2011 年为 3.60 m，2012 年为 3.50 m，2013 年为 3.50 m。生态输水是石羊河下游生态保护与环境整治的主要目

①基金项目：国家自然科学基金项目(31160116；1260129)资助。

作者简介：刘淑娟(1979—)，女，湖南衡阳人，硕士，副研究员，研究方向为荒漠化防治。E-mail: crisbe1210@163.com

标，因此青土湖注水能否起到改善该区域生态环境、推动地方经济的发展是社会各界所关注的一个热点问题。准确把握该地区土壤养分(有机质、全氮、全磷、全钾、速效磷、碱解氮等) 特征，可为该地区土壤恢复及防沙抗沙提供科学参考。本研究选取青土湖水面形成后同一时间距水面不同距离的土壤作为对象，综合分析青土湖土壤养分的差异及其相互间的关系，旨在阐明水面形成区土壤理化特征的空间分布规律，揭示水面形成后对土壤生态特征的影响，对于评价青土湖输水对恢复受损生态与环境具有重要意义。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

青土湖位于腾格里沙漠西北缘，海拔高度为 1 292 ~ 1 310 m。该区年平均气温为 7.8℃，≥10℃的有效积温 3 289.1℃；年平均降水量 89.8 mm，且降水多集中于 7—9 月，占全年降水总量的 73%，蒸发量达 2 600 mm 以上；无霜期 168 天，光照 3 181 h，太阳辐射 630 kJ/cm^2。调查区，输水前 2010 年地下水平均埋深 3.80 m，输水后的地下水位平均埋深为 3.50 m。研究区土壤以湖相沉积物为母质的砂土及壤质砂土为主，植被类型为典型的荒漠植被，主要植被类型为白刺群落(Form. *Nitraria tangutorum*)和芦苇群落(Form. *Phragmites communis*)，伴生灌木有黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)和盐爪爪(*Kalidium foliatum*)；草本植物种类相对较丰富，主要有：刺沙蓬(*Salsola ruthenica*)、驼蹄瓣(*Zygophyllum fabago*)、戟叶鹅绒藤(*Cynanchum sibiricum*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、砂引草(*Messerschmidia sibirica*)、碟果虫实(*Corispermum patelliforme*)、砂蓝刺头(*Echinops gmelinii*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)、骆驼蒿(*Peganum nigellastrum*)等。

1.2　样品采集与分析方法

根据试验区地貌特征、植被和水面状况，于 2012 年 10 月选择沿水面边缘东南方向 0、50、100、150、200、250、300、350、400、450 m 共计 10 个样点(图 1)，采用“S”形 5 点取样法采集土样。取样深度分别为：0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80 cm 共 4 个土层。采样时先去除地表凋落物，将所采的 5 份土样充分混匀后，带回实验室，风干、研磨后测定土壤养分。野外调查采样时，详细记录该样点的植被

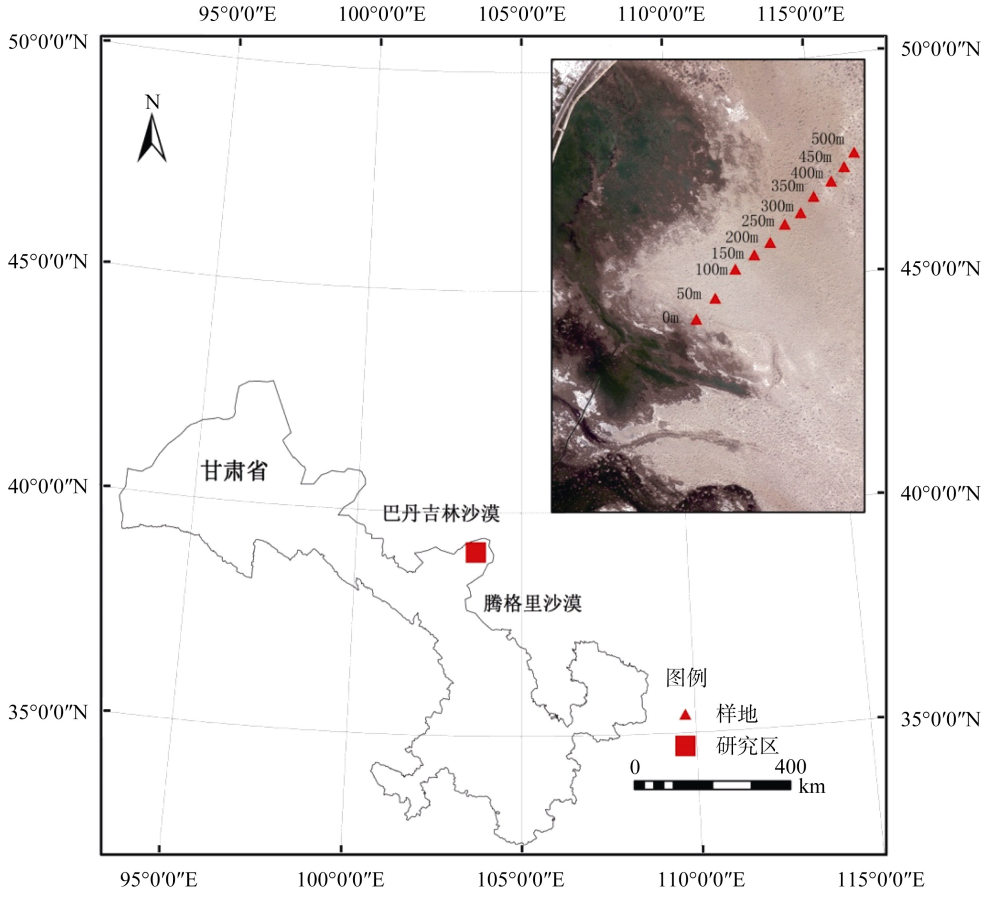

图 1　采样点位置图

Fig. 1　Map for sampling sites

表 1 采样点及地表植物种
Table 1 Distribution of the sampling sites and vegetation

距水面距离(m)	经度	纬度	海拔(m)	地下水位(m)	灌木	草本
0	103°38′0.3″	39°07′13.2″	1 297	0.70	盐爪爪、苏枸杞	芦苇、骆蹄瓣、戟叶鹅绒藤、盐生草、刺沙蓬
50	103°38′0.3″	39°07′15.6″	1 297	2.20	黑果枸杞、白刺	芦苇、骆蹄瓣、盐生草、刺沙蓬
100	103°38′5.4″	39°07′18.4″	1 298	2.40	白刺	芦苇、骆蹄瓣、盐生草、刺沙蓬
150	103°38′7.9″	39°07′19.9″	1 301	2.40	白刺	芦苇、骆蹄瓣、盐生草、刺沙蓬
200	103°38′10.0″	39°07′21.2″	1 298	2.40	白刺	骆驼蹄瓣、盐生草、刺沙蓬
250	103°38′11.9″	39°07′23.1″	1 297	2.40	白刺	骆驼蒿、骆蹄瓣、戟叶鹅绒藤、沙米、盐生草、刺沙蓬、碟果虫实、砂引草
300	103°38′14″	39°07′24.3″	1 301	2.40	白刺	骆驼蒿、骆蹄瓣、戟叶鹅绒藤、刺沙蓬
350	103°38′15.7″	39°07′26″	1 299	3.60	白刺	骆驼蒿、骆驼蹄瓣、盐生草、刺沙蓬、砂引草
400	103°38′18.0″	39°07′27.6″	1 295	3.60	白刺	骆驼蒿、骆蹄瓣、戟叶鹅绒藤、盐生草、刺沙蓬、虫实
450	103°38′19.77″	39°07′29.11″	1 299	3.80	白刺	骆驼蒿、骆蹄瓣、猪毛菜、戟叶鹅绒藤、盐生草、刺沙蓬、虫实、雾冰藜、沙蓝刺头

类型及水淹干扰情况等信息，用手持 GPS(集思宝 G190)定位。

土壤性质主要测定有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷和电导率 7 个指标。土壤有机质采用重铬酸钾–外加热法测定；全氮采用半微量开氏法测定；全磷采用 NaOH 熔融–钼锑抗显色–紫外分光光度法测定；全钾采用 NaOH 熔融–火焰光度计法测定；碱解氮采用碱解–扩散法测定；速效磷采用 0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提法测定[17]；土壤溶液电导率采用交流测量法。

采用 Excel 2007 及 SPSS 18.0 分析软件进行数据处理和统计分析，选用单因素方差分析(One-Way ANOVA) 法分析；采用最小显著差异法(LSD) 进行多重比较，显著性水平设定为α = 0. 05。

2 结果与分析

2.1 距水面不同距离的土壤有机质及氮素变化

有机质和氮素是反映植被变化对土壤影响的 2 个最主要因子。在距水面 0 ~ 450 m 范围的 0 ~ 80 cm 土层，土壤有机质含量为 1.162 ~ 5.705 g/kg (图 2)，按照国家土壤养分含量分级标准，属于极缺乏型。40 ~ 80 cm 土层在不同水面距离范围整体有机质变化趋势不明显(P>0.05)，60 ~ 80 cm 土层波动最小，变异系数(CV)为 22%，40 ~ 60 cm 土层次之，CV 为 24%。在距水面 50 ~ 200 m 范围，20 ~ 40 cm 土层的有机质含量大于其他土层(P< 0.05)，在距水面 150 m 处达到最大值；距水面 250 ~ 350 m范围 0 ~ 20 cm 土层的有机质含量明显高于其他土层(P<0.05)；20 ~ 40 cm 土层的有机质含量在距水面 200 m 处急剧降低后又增加，而 0 ~ 20 cm 土层的有机质含量在距水面300 m 处增加到最大值后又减少。

土壤全氮含量是衡量土壤氮素供应状况的重要指标，主要决定于有机质的积累和分解作用的相对强度[18]。在所观测距水面 0 ~ 450 m 范围的 0 ~ 80 cm 土层，土壤全氮含量为 0.04 ~ 0.45 g/kg，属于很缺乏。60 ~ 80 cm 土层距水面不同距离的土壤全氮含量均低于其他土层(P<0.05)。除 60 ~ 80 cm 土层，在距水面 0 ~ 150 m 范围，随着距水面距离增加，土壤全氮含量逐渐增加，在 200 m 处急剧降低后又增加，在距水面 300 m 处增加到最大值后又减少(图 2)，这与有机质的变化趋势一致；60 ~ 80 cm 土层的土壤全氮含量在距水面 0 ~ 300 m 范围波动不大，在距水面 350 m 处急剧增加到最大后又减少。在距水面 0 ~ 450 m 范围内，40 ~ 60 cm 土层的全氮含量变化最大，最大 CV 为 64.42%，高于其他各土层(P<0.05)。在距水面 50 ~ 150 m 范围的 0 ~ 20 cm 土层全氮含量低于 20 ~ 60 cm 土层，之后逐渐增至距水面 200 m 处后均高于 20 ~ 60 cm 土层。从土壤碱解氮来看(图 1)，除 60 ~ 80 cm 土层(CV 为 12%)外，其他波动明显，CV 最大为 27%，均在距水面 150 m 处到达一个峰值，随后降低，在距水面 300 m 处急剧增加到最大后又降低，与土壤全氮和有机质含量变化规律一致。众多研究也表明有机质和土壤全氮含量呈正相关[19]。青土湖属于湖积沙地，有机质含量原本不高，由于距水面较近的区域受到水溶推移作用，致使在距离水面 50 ~ 150 m 范围的 20 ~ 40 cm 土层有机质含量增加，明显高于其他土层；而在距水面 300 m 处 0 ~ 20 cm 土层的有机质含量达到最大，可能是因为植物残体分解使得有机质含量增

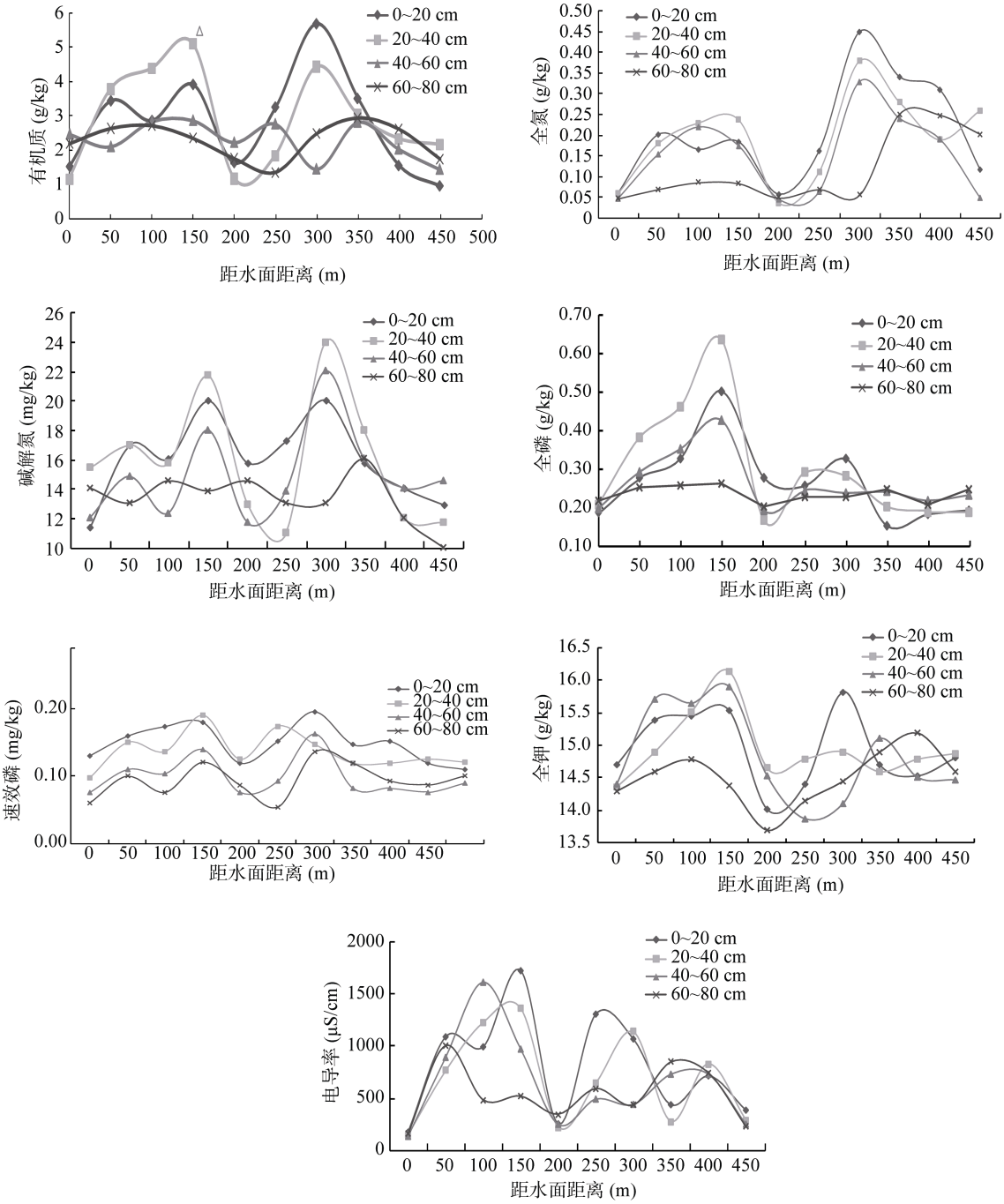

图 2　距水面不同水面距离土壤养分变化

Fig. 2　The soil nutrient changeswith the distance from water surface

加，调查中也有同样的发现，在这一区域植被覆盖度较其他区域大。

2.2　距水面不同距离的土壤磷素变化

土壤磷素是植物必需的大量营养元素。从图 2 可以看出，土壤全磷含量范围为 0.15 ~ 0.64 g/kg，属于极缺乏型。除 60 ~ 80 cm 土层(CV 为 9%)外，其他土层均在距水面 0 ~ 150 m 范围随着距水面距离增大全磷含量逐渐增加，在距水面 150 m 处达到最大值，随后急剧降低，各土层均在 200 ~ 450 m 范围内变化平缓(P>0.05)。土壤速效磷含量极低，在 0.06 ~ 0.20 mg/kg(图 2)，属于极缺乏型，CV 为 17% ~ 28%，波动不明显(P>0.05)。由于沙区土壤磷的含量相对较低，土壤中有效磷含量受土壤温度、水分和盐碱等因素的影响较大，水面形成后的水溶、淋洗和推移作用，使得土壤全磷的含量在 150 m 处达到最大，加上植被的消耗使得速效磷含量极低。

2.3　距水面不同距离的土壤钾素变化

在所观测距水面 0 ~ 450 m 范围的 0 ~ 80 cm 土

层土壤全钾含量为 13.9 ~ 15.9 g/kg，CV 在 3% ~ 5%，其变化趋势与有机质、全氮、碱解氮和全磷相似(图 2)。在距水面 0 ~ 150 m 范围，随着距水面距离增加，土壤全钾含量呈逐渐增加趋势，在距水面 200 m 处最低(除 40 ~ 60 cm 土层在距水面 250 m 处达到最低)，随后又逐渐增加，在距水面 300 ~ 350 m 范围出现新的峰值。20 ~ 60 cm 土层在距水面 150 m 处全钾含量最高，0 ~ 20 cm 土层在距水面 300 m 处全钾含量最高，60 ~ 80 cm 土层则在距水面 400 m 处。

2.4 距水面不同距离的土壤溶液电导率变化

0 ~ 80 cm 土层的电导率为 134 ~ 1 734 μS/cm。60 ~ 80 cm 土层土壤溶液电导率较其他土层变化不大，可能由于土层较深，受到水面形成的影响较小。在距水面 0 ~ 150 m 范围，0 ~ 40 cm 土层的土壤溶液电导率均为逐渐增加趋势，在距水面 150 m 处达到最大值，至距水面 200 m 处达到最小值，与有机质、全氮、碱解氮和全磷变化相似(图 2)。40 ~ 60 cm 土层土壤溶液电导率在距水面 100 m 处达到最大值，随后急速降低，在距水面 200 m 后变化趋于平缓。0 ~ 40 cm 土层土壤溶液电导率变化大于 40 ~ 60 cm 土层。在距水面 0 ~ 150 m 范围，0 ~ 40 cm 土层土壤溶液电导率 CV 最大为 258.74%，而 40 ~ 60 cm 土层只有 41.81%。各土层土壤溶液电导率随距水面距离变化的规律可能由于受到水溶后盐分向后推移和表层土壤水分蒸发双方面因素作用导致。

2.5 土壤养分的垂直分布

一般来说，CV<10%为弱变异性，10%≤CV≤100% 为中等变异性，CV>100%为强变异性[20]，土壤全磷含量在土层中的变化为 20 ~ 40 cm>0 ~ 20 cm>40 ~ 60 cm>60 ~ 80 cm(表 2)，只有 60 ~ 80 cm 土层全磷含量是弱变异，其他均为中等变异；土壤全氮含量在土层中的变化为 0 ~ 20 cm>20 ~ 40 cm>40 ~ 60 cm>60 ~ 80 cm，均为中等变异；土壤全钾含量在各土层的变化与全磷一致，均为弱变异；土壤有机质含量、碱解氮含量、速效磷含量、土壤溶液电导率与全氮含量在各土层的变化一致，均为中等变异。

表 2 不同土层土壤养分
Table 2 Soil nutrients at different depths

土层 (cm)	统计值	全磷 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	有机质 (g/kg)	电导率 (μS/cm)
0 ~ 20	平均值	0.268	0.204	14.930	16.002	0.153	2.83	818.500
	标准差	0.103	0.126	0.579	2.794	0.025	1.45	509.142
	CV(%)	38.6	61.8	3.9	17.5	16.6	51.1	62.2
20 ~ 40	平均值	0.300	0.196	14.948	15.944	0.139	2.94	690.400
	标准差	0.152	0.105	0.509	4.365	0.028	1.43	447.862
	CV(%)	50.8	53.7	3.4	27.4	19.9	48.6	64.9
40 ~ 60	平均值	0.263	0.152	14.824	14.897	0.100	2.30	651.600
	标准差	0.074	0.098	0.713	3.142	0.030	0.55	442.634
	CV(%)	28.3	64.4	4.8	21.1	29.9	24.0	67.9
60 ~ 80	平均值	0.234	0.117	14.498	13.380	0.093	2.27	537.300
	标准差	0.021	0.083	0.417	1.621	0.026	0.51	272.434
	CV(%)	9.1	71.3	2.9	12.1	28.2	22.7	50.7

2.6 土壤养分间的相关性

在 0 ~ 20 cm 土层，土壤有机质含量与速效磷、碱解氮含量呈极显著相关，与全氮和全钾含量呈显著相关；土壤溶液电导率与全磷、碱解氮含量呈极显著相关，与速效磷呈显著相关；土壤碱解氮含量与全磷含量、速效磷含量与全氮含量也呈显著相关(表 3)。在 20 ~ 40 cm 土层，土壤有机质含量与全磷、全钾及碱解氮含量、土壤溶液电导率呈极显著相关，与全氮含量呈显著相关；土壤溶液电导率与全磷、全钾含量呈极显著相关，与速效磷含量呈显著相关；碱解氮与全氮含量呈显著相关；全钾与全磷含量呈极显著相关，速效磷与全钾含量呈显著相关；全磷与速效磷含量呈显著相关(表 4)。在 40 ~ 60 cm 土层，土壤溶液电导率与全磷、全钾含量呈显著相关；碱解氮与速效磷含量呈极显著相关，与全氮含量呈显著正相关；全钾与全磷含量呈极显著相关(表 5)。在 60 ~ 80 cm 土层，有机质与全钾含量呈显著相关；速效磷与全钾含量呈显著相关，其他指标间均无相关性。

3 讨论

青土湖输水形成水面后，由于积水的干扰，改变了原状土壤的理化性质的空间分布，促进 0 ~ 60 cm 土层土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、全钾含量和土壤溶液电导率在距水面一定距离富集，呈波浪式变

表 3　0 ~ 20 cm 土层土壤养分相关性

Table 3　The correlations among soil nutrients at the layer of 0–20 cm

	速效磷	全氮	全磷	全钾	碱解氮	电导率	有机质
速效磷	1.00						
全氮	0.70*	1.00					
全磷	0.62	0.01	1.00				
全钾	0.62	0.01	0.58	1.00			
碱解氮	0.79	0.50	0.75*	0.55	1.00		
电导率	0.75*	0.28	0.78**	0.59	0.79**	1.00	
有机质	0.90**	0.69*	0.53	0.70*	0.86**	0.65*	1.00

注：* 表示在 $P<0.05$ 水平显著相关，** 表示在 $P<0.01$ 水平极显著相关；下同。

表 4　20 ~ 40 cm 土层土壤养分相关性

Table 4　The correlations among soil nutrients at the layer of 20–40 cm

	速效磷	全氮	全磷	全钾	碱解氮	电导率	有机质
速效磷	1.00						
全氮	0.25	1.00					
全磷	0.76*	0.25	1.00				
全钾	0.75*	0.37	0.93**	1.00			
碱解氮	0.38	0.65*	0.53	0.45	1.00		
电导率	0.69*	0.52	0.80**	0.82 **	0.57	1.00	
有机质	0.61	0.73*	0.80**	0.79**	0.79**	0.87**	1.00

表 5　40 ~ 60 cm 土层土壤养分间相关性

Table 5　The correlations among soil nutrients at the layer of 40–60 cm

	速效磷	全氮	全磷	全钾	碱解氮	电导率	有机质
速效磷	1.00						
全氮	0.63	1.00					
全磷	0.55	0.31	1.00				
全钾	0.22	0.24	0.80**	1.00			
碱解氮	0.85**	0.71*	0.27	0.00	1.00		
电导率	0.24	0.50	0.75*	0.74*	–0.01	1.00	
有机质	–0.17	-0.07	0.46	0.43	–0.32	0.49	1.00

表 6　60 ~ 80 cm 土层土壤养分相关性

Table 6　The correlations among soil nutrients at the layer of 60–80 cm

	速效磷	全氮	全磷	全钾	碱解氮	电导率	有机质
速效磷	1.00						
全氮	0.18	1.00					
全磷	0.13	0.33	1.00				
全钾	0.74*	0.27	0.37	1.00			
碱解氮	–0.16	0.17	0.05	0.00	1.00		
电导率	0.32	0.27	0.31	0.47	0.27	1.00	
有机质	–0.17	–0.07	0.46	0.73*	–0.32	0.49	1.00

化。这种波浪式变化与其湖泊沉积和区域气候环境[22]相符合。由于青土湖原来湖相沉积的纹层变化，可能导致土壤成分的波浪式变化。水中泥沙携带的氮和磷等养分量可以占到养分流失总量 90% 以上[21]。受水的溶解推移作用[22–23]，水中沉积泥沙的有机质、全氮、碱解氮、全磷、全钾和土壤盐分随着水流不断向后移动，在距水面 150 m 处达到极值，在距水面 200 m 处之后达到最低值。这种土壤成分波浪式变化现象也与河岸土壤特征变化的空间分布相似[25]。以往的研究也发现青土湖水面形成对土壤分形维数的

影响范围在 0 ~150 m，水面的形成使得土壤黏粒、细粉粒在 0 ~ 150 m 增加，土壤养分的空间分布也出现同样的分布趋势[24]。青土湖输水形成水面后，这种波浪式变化更明显，水体形成促进了土壤理化性质的空间变化。这种变化也可能也与植被变化有一定关系相关，因为观测区的植被也表现出带状的分布，但植被与土壤的关系还有待进一步研究。

青土湖土壤养分各指标垂直分布存在差异，水面形成后土壤养分的淋洗与沉降作用明显，影响了土壤养分在表层的分布。0 ~ 40 cm 土层土壤有机质、全氮等含量比下层的高。说明水面的形成对土壤养分垂直分布的影响范围在 0 ~ 40 cm。青土湖区域土壤荒漠化严重，风蚀造成土壤表层粗化，细物质减少，有机质和养分含量减少[9]。但是，在有风蚀作用的影响下，青土湖岸的上层土壤有机质、全氮等含量仍然比下层土壤的含量高，充分表明了水面形成对土壤理化性质产生了分层作用。

青土湖岸的 20 ~ 40 cm 土层，土壤有机质含量与全磷、全钾及碱解氮含量、土壤溶液电导率呈极显著正相关；全钾与全磷含量呈极显著正相关。这种现象与河岸的土壤有机质与全氮相关性相似。比拉力·依明等[26]在研究博尔塔拉河下游河岸带土壤养分特征时发现在 20 cm 和 40 cm 土层有机质含量与全氮呈正相关，也与湿地土壤有机质与全氮的空间分布类同。贺小容等[19]及张启新等[27]研究发现，土壤有机质与全氮呈显著相关，土层全氮和碱解氮、速效磷变化规律一致。

4 结论

1) 青土湖水面形成的干扰改变了原状土壤的理化性质，促进了0 ~ 60 cm 土层土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、全钾含量和土壤溶液电导率在距水面一定距离富集，分别在距水面 100 ~ 150 m 和 300 m 处达到最大值，在距水面 200 m 处为最小，呈波浪式变化。

2) 青土湖水水面的形成对土壤养分垂直分布的影响范围在 0 ~ 40 cm。0 ~ 40 cm 土层的土壤有机质、全氮等含量均比 40 ~ 80 cm 土层高，土壤各养分除全钾含量在 0 ~ 80 cm 土层、全磷含量在 60 ~ 80 cm 土层为弱变异外，其他均属于中等变异。

3) 青土湖岸的土壤有机质与速效磷、碱解氮含量相关性显著。土壤溶液电导率与全磷、碱解氮含量呈极显著相关。在 0 ~ 20 cm 土层，土壤有机质含量与速效磷、碱解氮含量呈极显著相关，在 20 ~ 40 cm 土层，土壤有机质含量与全磷、全钾及碱解氮含量、土壤溶液电导率呈极显著相关；土壤溶液电导率与全磷、全钾含量呈极显著相关；全钾与全磷含量呈极显著相关。

参考文献：

[1] Auustin RAE. Small scale spatial soil plant relationship in semiarid gypsum environments[J]. Plant and Soil. 2000: 220: 139–150

[2] Jackson RB, CaldwellMM. The scale of nutrient heterogeneity around individual plants and its quantify-cation with geostatistics[J]. Ecology, 1993: 74: 612–614

[3] Maestre FT, BradfordMA, Reynolds JF. Soil Nutrient heterogeneity interactswith elevated CO_2 and nutrient availability to determine species and assemblage responses in a model grassland community[J]. New Phytol, 2005: 168 (3): 637–650

[4] 钱亦兵, 吴兆宁, 杨海峰, 蒋超，玉素甫艾力．古尔班通古特沙漠南部风沙土粒度分布的空间异质性[J]. 干旱区地理, 2009, 32 (5): 655–661

[5] 于年文, 李俊才, 王家珍, 蔡忠民, 沙守峰, 李宏军．辽宁省‘南果梨’园土壤和叶片养分状况调查分析[J]. 果树学报, 2013, 30(2): 254–259

[6] 郭全恩, 郭天文, 王益权, 马忠明, 刘军, 南丽丽．甘肃省干旱地区苹果叶片营养和土壤养分相关性研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(1): 114–117

[7] 李广会, 郭素娟, 邹锋, 熊欢, 吕文军．板栗叶片营养与土壤养分的动态变化及回归分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(9): 41–46

[8] 刘景双，杨继松，于君宝，王金达．三江平原沼泽湿地土壤有机碳的垂直分布特征研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 5–8

[9] 吕晓东, 马忠明, 杨虎德. 民勤绿洲耕作土壤养分时空变异特征及其影响因素[J]．干旱区研究, 2010, 27(4): 487–494

[10] 白雪, 王文杰, 王维, 吴昊．浙江省宁波市土壤有机质的时空变异特征[J]．环境科学研究, 2010, 23(2): 191–197

[11] 张勇, 庞学勇, 包维楷, 尤琛，汤浩茹，胡庭兴. 土壤有机质及其研究方法综述[J]．世界科技研究与发展，2005, 27(5): 72–76

[12] 彭晚霞, 王克林, 宋同清, 王久荣，肖润林，曾馥平，汤宇．亚热带丘陵茶园间作白三叶草的生态效应[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3 647–3 655

[13] Lin HS, Wheeler D, Bell J, Wilding L. Assessment of soil spatial variability at multiple scales [J]. Ecological Modelling, 2005, 182: 271–290

[14] Scrdesinger WH, Reynolds JF, Cunningham GL, Huenneke LF, Jarrell WM, Virginia RA,Whitford WG. Biological feedbacks in global desertification[J]. Science, 1990, 247: 1 043–1 048

[15] 展争艳, 李小刚, 张德罡, 王哲锋．利用方式对高寒牧区土壤有机碳含量及土壤结构性质的影响[J]. 土壤学报, 2005, 42(5): 777–782

[16] 高英志, 韩兴国, 汪诗平. 放牧对草原土壤的影响[M]. 生态学报, 2004, 24(4): 790–797
[17] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996
[18] 张茨林, 谢颂华, 陈文波, 江波. 面状开发建设项目水土流失监测研究[J]. 水土保持通报, 2007, 27(4): 71–74
[19] 贺小容, 何丙辉, 秦伟, 左长清, 李天阳, 姚云. 不同坡长条件下扰动地表对土壤养分的影响[J]. 水土保持报, 2013, 27(5): 154–163
[20] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2008
[21] Young R, Olness A, Mutchler C, Moldenhauer C K. Chemical and physical enrichments of sediment from cropland[J]. Trans. The ASAE, 1986, 29(1): 165–169
[22] 施祺, 王建民, 陈发虎. 石羊河古终端湖泊沉积物粒度特征与沉积环境初探[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1999, 35(1): 194–198
[23] 刘强, 游海涛, 刘嘉麒. 湖泊沉积物年纹层的研究方法及其意义[J]. 第四纪研究, 2004, 24(6): 684–694
[24] 刘淑娟, 袁宏波, 刘世增, 刘虎俊, 李发明, 郭树江, 王琪, 郭春秀, 李菁菁, 魏怀东. 石羊河尾闾水面形成区土壤颗粒的分形特征[J]. 水土保持通报, 2013, 33(6): 285–289
[25] 李银科, 刘世增, 刘虎俊, 魏怀东, 杨自辉, 张莹花, 刘淑娟. 石羊河流域中下游沙漠－河岸过渡带土壤特征研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6): 29–35
[26] 张启新, 李洁. 土壤有机质与全氮相关关系分析[J]. 硅谷, 2010(16): 122–123
[27] 比拉力·依明, 王勇辉, 海米提·依米提. 博尔塔拉河下游河岸带土壤养分特征及其相关性分析[J]. 干旱区研究, 2014, 31(2): 216–221

The Spatial Characteristics of Soil Nutrients After the Formation of Water in the Tail-streams of Shiyang River (Qintu Lake)

LIU Shu-juan, YUAN Hong-bo, LIU Shi-zeng, MA Jian-ping,
LI Fa-ming, WANG Qi, LIU Kai-lin, WAN Xiang

(*Gansu Key Laboratory of Desertification Combating*, *Gansu Minqin National Studies Station for Desert Steppe Ecosystem*, *Lanzhou* 733000, *China*)

Abstract: Soil samples were collected from several sites with different distances away from water surface in Qingtu Lake, and then soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, alkaline hydrolysis nitrogen, available phospherus and conductivity were measured to investigate the spatial variability of soil nutrients and the correlation among them. Results showed that: 1) soil organic matter, total nitrogen, available nitrogen, total phosphorus, total potassium and electrical conductivity of the soil solution at 0–60 cm depth of soil profiles increased with the distance from water surface and reached their maximum values at sites of 100–150 m away from water surface and then decreased with the distance and reached their minimum values at site of 200 m away from water surface. These parameters then increased with further increase in distance away from water surface and reached their maximum values at site of 300 m away from water surface again. The waving changes of soil nutrients were consistent with original lake sediments and regional climate environment; 2) the variability of soil nutrient contents was significant, and each nutrient varied with soil depth. Soil organic matter and total nitrogen at the depth of 0–40 cm were higher than these at the depth of 40–80 cm. Soil total potassium content in 0–80 cm and total soil phosphorus in 60–80 cm were weak variation, other soil nutrients belonged to moderate variability; 3) at 0–40 cm soil depth, organic matter was positively correlated with total nitrogen, total potassium, available nitrogen, and the conductivity. The conductivity was positively correlated with available phosphorus, and total phosphorus. The contents of soil nutrients around Qingtu Lake were low. Interference of water formation changed the physical and chemical properties of the soil, and the effect of water formation on the vertical distribution of soil nutrients reached the depth of 40 cm.

Key words: Soil nutrients; Spatial characteristics; Qingtu Lake