

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2019.04.018

# 塔里木盆地西缘土壤碳氮垂直分布规律研究

张卓<sup>1,2</sup>,曹广超<sup>1</sup>,许泰<sup>3</sup>,张富玲<sup>1</sup>,杨荣荣<sup>1</sup>,刘芳<sup>1</sup>

(1. 青海师范大学青海省自然地理与环境过程重点实验室,西宁 810008;  
2. 新疆克州环境监测站,新疆 阿图什 845350;  
3. 陇东学院能源工程学院,甘肃 庆阳 745000)

**摘要:** 棕漠土和灌淤土在塔里木盆地西缘洪积平原上广泛分布,文章选取这两种类型的土壤作为研究对象,测试分析了在不同的土壤层位有机碳和全氮的含量,探讨了有机碳和全氮含量、以及它们与粒级组之间的相关关系。研究结果表明:洪积平原两种土壤剖面在0~100 cm层位上有机碳和全氮含量随着土壤层位深度的增加而降低,而在40~60 cm层位上两种土壤的有机碳和全氮含量差值达到最大值,并且整个剖面上有机碳和全氮含量变化呈正相关的关系。

**关键词:** 土壤有机碳;土壤全氮;垂直分布;塔里木盆地西缘;新疆

**中图分类号:** P596; S153.6 **文献标识码:** A

## 0 引言

土壤介质中的碳氮含量在分析土壤常规性质、理化特性、荒漠化程度、盐渍化程度等方面具有重要的意义,全氮主要包括氨基酸、核酸等有机氮和硝态氮、亚硝态氮以及铵态氮,同时包括部分联氮、偶氮和叠氮等含氮化合物。碳在土壤中的储量是大气的两倍,植物的三倍<sup>[1-2]</sup>。比如,锡林郭勒地区草原土壤的有机碳沿土壤剖面自上而下逐渐降低,且主要分布在0~15 cm处,表层0~10 cm土壤有机碳含量是深层土壤(80~100 cm)的4~10倍<sup>[3]</sup>。土壤碳含量的变化直接影响着区域土壤环境质量和生态变化,并对全球气候变化产生重大影响<sup>[4-5]</sup>。

前人已探讨了不同地区不同类型土壤剖面有机碳或者氮垂直分布规律特征<sup>[6-9]</sup>,但对干旱半干旱区土壤碳氮含量研究甚少<sup>[10]</sup>。青藏高原、帕米尔高原独特的大地构造位置,独特的地理和生态单元,它们

在我国碳氮收支平衡、水资源稳定、气候稳定等方面起着重要的生态安全屏障作用<sup>[11-12]</sup>。部分学者对青藏高原隆升形成的高寒区土壤有机碳含量及草地退化等原因进行了研究<sup>[13-14]</sup>,同时也零星开展了与之相邻的塔里木盆地北缘、南缘典型绿洲的不同土地利用方式、不同土壤类型中的有机碳和无机碳变化、土壤影响因子及矿化特征研究<sup>[15-16]</sup>。

因此,本文基于国家重点研发计划课题“水资源高效利用专项”(编号:2017YFC0404304),选取塔里木盆地西缘洪积平原上广泛分布的棕漠土和灌淤土两种土壤类型作为研究对象,试图探讨该区土壤剖面上有机碳和全氮含量的垂直分布规律,这对指导区域农牧业生产和生态文明建设具有重要的现实意义。

## 1 区域概况

研究区域地处塔里木盆地西缘(图1a)的喀什

**收稿日期:** 2019-06-01; **责任编辑:** 王传泰

**基金项目:** 国家重点研发计划课题“水资源高效利用专项”(编号:2017YFC0404304)资助。

**作者简介:** 张卓(1986—),男,工程师,在读博士研究生,主要从事地表环境过程与生态响应研究工作。通信地址:青海省西宁市城西区五四西路38号,青海省自然地理与环境过程重点实验室;邮政编码:810008;E-mail:sxzhangzhuo@126.com

**通信作者:** 曹广超(1971—),男,博士,教授,主要从事地表环境过程研究工作。通信地址:青海省西宁市城西区五四西路,青海省自然地理与环境过程重点实验室;邮政编码:810008;E-mail:caoguangchao@126.com

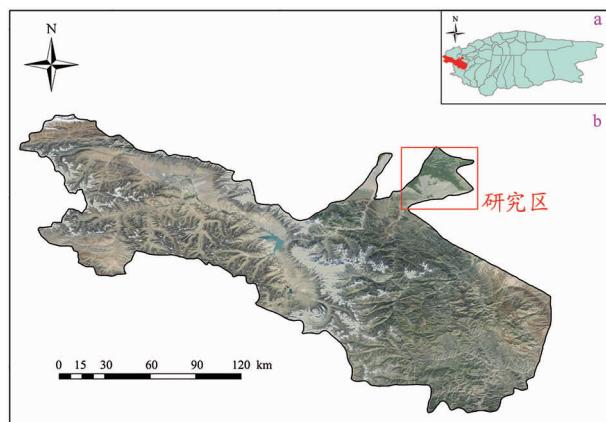


图1 研究区位置示意  
Fig. 1 Study area location diagram

平原南部帕米尔—西昆仑山东北部(图1b),系盖孜河与库孜洪河的洪积-冲积扇组成的重要地带。行政区划属于克孜勒苏州阿克陶县管辖。

区内为地域宽广的洪积-冲击扇洪积平原,平均海拔在1400 m左右;气候类型属暖温带典型大陆性气候,年均气温在12℃左右,春季升温快而秋季降温快;区内降雨量年平均约为62.3 mm<sup>[17]</sup>,区内植被除人工种植外,植被覆盖程度较低。

该区洪积-冲积扇的中上部表层为砾石层,发育着砂砾质的棕漠土;中下部细粒物增厚,水文地质条件较中上部位明显变好,小型水系发育,土壤类型主要为灌淤土。整体看来,区内地势平坦和灌溉条件优良的区块已基本开垦为农用地,灌溉条件较差的区块仍然呈现荒漠状,发育着棕漠土。

## 2 采样与分析方法

### (1)采样

为了客观反映洪积平原棕漠土和灌淤土实际情况,本次对两种土壤类型采样深度取100 cm,垂直剖面采样间隔为20 cm。每个土壤类型随机挖取3个剖面,分层进行取样,两个土壤类型累计采集300个样品,并将采集的所有土壤样品按照运输保存规范在实验室经自然风干、除杂、研磨后过筛待测。

### (2)分析测试方法

土壤有机碳采用重铬酸钾酸氧化法测试。称取0.5 g土壤,通过0.25 mm孔径筛风干土样品放入硬质试管,准确加入0.4 mol/L的重铬酸钾-硫酸溶液10.00 ml,将每个玻璃漏斗放入试管并逐个插入

铁丝笼中,将铁丝笼放入185℃—190℃的油浴锅内,使油面高于试管液面,将油浴锅温度调整下降至175℃,5 min后将试管中的残渣和消解液无损转入250 ml锥形瓶中,向锥形瓶中加入3邻菲啰啉指示剂,用硫酸亚铁溶液滴定过量的重铬酸钾,颜色变化由橙黄→蓝绿→棕红色。

土壤中的全氮测定采用凯氏定氮法。在浓硫酸、高氯酸和催化剂作用下,土壤样品中的氮全部参与氧化还原反应转化为铵态氮,用硼酸将蒸馏出的氨吸收,用标准盐酸溶液滴定,依据标准盐酸溶液的用量来计算土壤中全氮含量。

土壤粒度分析采用Mastersizer 2000型激光粒度仪进行测量,测量时遮光度分布在17%—20%之间,重复测量3次,取其平均值作为最终结果。

## 3 分析结果

### 3.1 有机碳与全氮含量剖面分布特点

为了提高分析结果的准确度和精密度,本次实验在分析过程中同时进行了两个空白实验和10%的平行土样测试。本次对塔里木盆地西缘洪积平原上土壤代表性样品的有机碳和全氮含量测试分析结果,如表1所述。

从表1中不难看出,塔里木盆地西缘洪积平原两种类型的土壤有机碳和全氮含量相对于其它地区普遍偏低,这与该地区土壤的沉积物源、气候、耕作熟化程度有关,加之长期以来平原地区在同一季节升温幅度存在差异化,不利于土壤有机碳和全氮的富集。棕漠土和灌淤土有机碳含量随土壤深度变化趋势一致,即随着土壤层位深度的增加,含量逐渐递减。灌淤土的有机碳含量在各层位均高于棕漠土,且在40~60 cm处,其w(TOC)值差异达到最大值 $1.04 \times 10^{-3}$ 。棕漠土和灌淤土全氮含量同有机碳含量随土壤层位的增加变化规律基本一致,两种土壤在0~20 cm、20~40 cm、60~80 cm、80~100 cm处含量基本相等,但棕漠土全氮含量在40~60 cm层位远远高于灌淤土含量,两者w(N)值相差达到 $0.26 \times 10^{-3}$ 。

### 3.2 土壤剖面粒度含量分布特点

灌淤土主要分布在该地区洪积扇的下部,所处地形较为平坦,土层深厚,部分厚度可达3 m—5 m以上,由于耕作历史久远,土壤的碳氮含量均较高,土壤以灰黄色为主。棕漠土主要分布在该区域的山

表 1 不同层位有机碳和全氮含量统计

Table 1 The statistics of organic carbon and total nitrogen content in different layer

土壤类型	测试项目	参数	样品采集层位(深度范围)				
			0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	80~100 cm
棕漠土	有机碳(TOC)	样本数	30	30	30	30	30
		平均 $w(\text{TOC})/10^{-3}$	7.13	6.32	5.05	4.52	3.71
		标准差	0.73	0.77	0.58	0.26	0.37
	全氮(N)	变异系数	0.10	0.12	0.11	0.06	0.10
		极值	6.88~8.37	5.44~7.33	4.22~5.49	4.43~4.47	3.12~4.01
		样本数	30	30	30	30	30
灌淤土	有机碳(TOC)	平均 $w(\text{TOC})/10^{-3}$	0.83	0.77	0.91	0.63	0.54
		标准差	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06
		变异系数	0.07	0.09	0.07	0.11	0.11
	全氮(N)	极值	0.77~0.9	0.68~0.84	0.82~0.93	0.55~0.71	0.47~0.6
		样本数	30	30	30	30	30
		平均 $w(\text{TOC})/10^{-3}$	7.48	6.61	6.09	4.99	4.52
	全氮(N)	标准差	0.30	0.42	0.34	0.34	0.21
		变异系数	0.04	0.04	0.06	0.07	0.05
		极值	7.12~7.89	6.11~7.09	5.84~6.53	4.82~5.43	4.21~4.76
	灌淤土	样本数	30	30	30	30	30
		平均 $w(\text{N})/10^{-3}$	0.85	0.72	0.65	0.59	0.54
		标准差	0.04	0.03	0.05	0.03	0.04
	棕漠土	变异系数	0.05	0.04	0.07	0.06	0.08
		极值	0.79~0.87	0.69~0.76	0.57~0.69	0.56~0.64	0.48~0.56

前洪积扇,属于平原地区的洪积—冲积母质,机械组成较粗,相对于灌淤土来说,其土层较薄。

土壤剖面机械组成在垂直剖面上的变化特征如图 2、图 3 所示,该地区灌淤土和棕漠土中的砂、粉砂、黏粒含量随剖面深度变化而变化。灌淤土的砂、粉砂组分含量高于黏粒组分,砂、粉砂含量之和达到 80%以上;黏粒主要源于山上所残留的黄土及黄土状物,其它岩性的风化物占比较小,黏粒组分含量在 10%~20%之间。灌淤土和棕漠土的“砂-粉砂-黏粒”三角图解(图 4)呈现出两类土壤存在明显的差异性:灌淤土多为砂质壤土,而棕漠土属于粉砂壤土,即棕漠土的组分较灌淤土组分较细。棕漠土大部分为砾石或者砾质,黏粒组分含量也在 10%~20%之间,但砂质、粉砂质含量差异明显。两类土壤的砂质、粉砂质组分均随着剖面深度的增加,变化趋势呈相反态势。灌淤土砂质含量与粉砂质含量在 0~40 cm 差异达到最大;棕漠土砂质含量与粉砂质含量在 40~60 cm 差异达到最大,60 cm 以下砂、粉砂组分两者含量趋于平缓。

### 3.3 碳氮含量与粒度相关性分析

本次研究采用 SPASS 软件中的 Pearson 相关分析法对棕漠土和灌淤土有机碳、全氮与粒度进行相关分析,以探讨棕漠土和灌淤土中的有机碳含量、

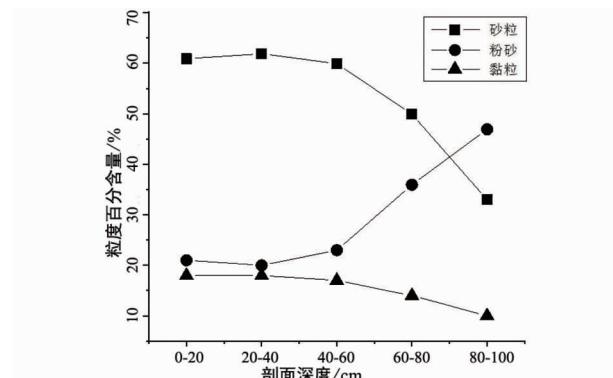


图 2 灌淤土壤剖面粒径变化  
Fig. 2 Variation of grain size in irrigation silting soil profile

全氮含量及粒度相关性,分析结果如表 2 所述。

从表 2 可以看出,灌淤土有机碳与全氮之间呈正相关,棕漠土有机碳与全氮之间正相关极为显著 ( $P<0.05$ )。灌淤土有机碳与土壤砂粒组分相关性不明显,与土壤粉砂组分呈显著负相关 ( $P<0.05$ ),与土壤黏粒组分呈显著正相关 ( $P<0.05$ );全氮与土壤砂质、黏粒组分呈显著正相关 ( $P<0.05$ ),与土壤粉砂组分呈显著负相关 ( $P<0.05$ )。棕漠土有机碳和全氮与各土壤的砂、粉砂、黏粒粒级组分之间均无显著相关性。

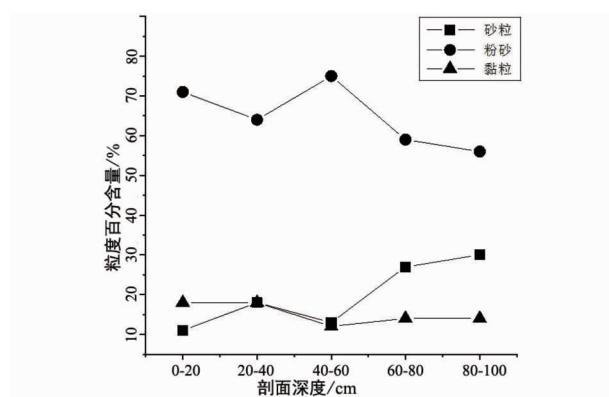


图3 棕漠土土壤剖面粒径变化

Fig. 3 Variation of grain size in brown desert soil profile

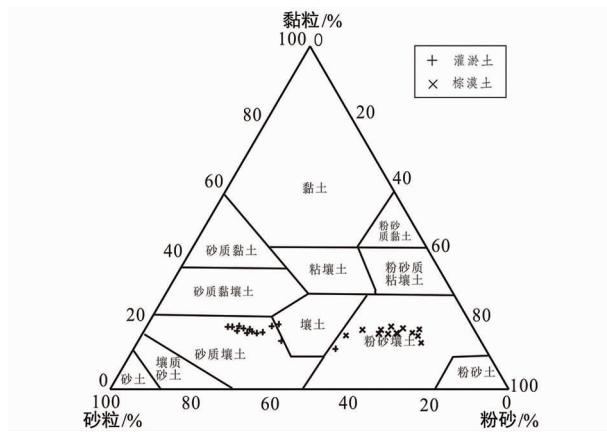


图4 灌淤土和棕漠土壤粒级分布三角图

Fig. 4 The triangular diagram of soil particle size distribution of irrigation silt and brown desert soils

表2 棕漠土和灌淤土有机碳、全氮与粒度相关性分析

Table 2 Correlation analysis of the contents of soil organic carbon and total nitrogen and the soil particle size

	灌淤土	砂	粉砂	黏粒	有机碳	全氮
砂	1					
粉砂	-0.984 **		1			
黏粒	0.994 **	-0.995 **		1		
有机碳	0.859	-0.911 *	0.909 *		1	
全氮	0.885 *	-0.903 *	0.882 *	0.796		1
棕漠土		砂	粉砂	黏粒	有机碳	全氮
砂	1					
粉砂	-0.948 *		1			
黏粒	-0.319	0		1		
有机碳	-0.822	0.603	0.787		1	
全氮	-0.845	0.643	0.739	0.982 **		1

注: \*\* 在 0.01 水平(双侧)上显著相关, \* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

致<sup>[19-20]</sup>。

不同层位上有机碳、全氮垂直分布规律:一方面,与沉积组分的含量有直接关系。在高寒草地 0~60 cm 土壤的沉积物层位由浅入深,特别是在 0~30 cm 粉砂和黏粒组分含量明显增加<sup>[21]</sup>。在粗细粉砂、粗细黏粒等较细的沉积物中,Ca、K、P 等极易风化元素含量增加、土壤养分随之增加,必然造成土壤剖面上有机碳和总氮比例降低的趋势。另一方面,与土壤水分、气体以及微生物多重因素相关。土壤层位加深,生物量降低<sup>[22-23]</sup>。在高寒草地,土壤的碳和氮含量明显富集于土壤上层,即腐殖质层。这与植被的枯落物量及根系的垂直延展相关:大量枯落物和残根死根腐解归还为土壤提供了丰富的碳源和氮源;层位越深,缺少生物量和腐殖质,也会造成剖面上有机碳和全氮的垂直减少的规律。

综上,土壤剖面上有机碳和全氮含量变化的原因是多方面的,不同层位沉积物的粗细程度直接影响

## 4 讨论

研究区棕漠土和灌淤土的有机碳和全氮含量在土壤层位 40~60 cm 差异达到最大值,且棕漠土的全氮量随层位变深超过了 0~20 cm 平均含量,分析数值偏高与采样位置下部具有一定厚度的细土母质,且经过了一定时间的耕作熟化有关。

塔里木盆地西缘的洪积平原土壤有机碳含量和全氮含量存在着较高的相关系数,棕漠土中有机碳和全氮相关系数高达 0.982,正相关关系极为显著,灌淤土相关系数为 0.796,这与前人的研究结果相吻合<sup>[18]</sup>。该区域土壤发育程度的不同导致土壤的粒度和碳氮含量在剖面中呈现较大差异,从表土层到深土层,有机碳和全氮含量总趋势是明显减弱,这与黄土高原土壤、高寒地区荒漠化土壤性质一

响土壤孔隙率,形成土壤水分和空气的含量变化,造成诸如碳氮等化学元素和营养元素的富集和迁移。

## 5 结语

(1) 塔里木盆地西缘洪积平原土壤表层的有机碳和全氮量与深层差异显著,这种差异显著性随着土层深度增加总趋势由大变小。两种类型土壤的有机碳和全氮含量主要聚集在表层 0~50 cm,有机碳和全氮在 40~60 cm 层位处的差异达到最大值,分别为  $w(\text{TOC})=1.04 \times 10^{-3}$ 、 $w(\text{N})=0.26 \times 10^{-3}$ 。

(2) 塔里木盆地西缘的洪积平原棕漠土中有机碳和全氮相关系数高达 0.982,呈极显著的正相关关系;灌淤土相关系数为 0.796。灌淤土的砂、粉砂组分含量明显高于黏粒组分,两者之和达到 80% 以上,黏粒组分含量在 10%~20% 之间。棕漠土粉砂组分含量明显高,且大于砂粒、黏粒组分之和,黏粒组分含量在 10%~20% 之间。

(3) 两种类型土壤的砂质、粉砂质组分随剖面深度的增加在减小。灌淤土有机碳与土壤砂粒组分相关性不明显,与粉砂组分呈显著负相关,与黏粒组分呈显著正相关;全氮与土壤砂质、黏粒组分呈显著正相关,与粉砂组分呈显著负相关。棕漠土有机碳和全氮含量与土壤的砂、粉砂、黏粒粒级组分之间均没有显著相关性特点。

## 参考文献:

- [1] SCHLESINGER W H. Evidence from chronosequence studies for alow carbon-storage potential of soils [J]. Nature, 1990, 348:232~234.
- [2] BATJES N H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world [J]. European Journal of Soil Science, 1996, 47:151~163.
- [3] 王艳芬, 陈佐忠. 人类活动对锡林郭勒地区主要草原土壤有机碳分布的影响[J]. 植物生态学报, 1998(6):66~72.
- [4] TOM M S, TRUNBORE S E, CHADWICK O A, et al. Mineral control of soil organic carbon storage and turn over [J]. Nature, 1997, 389:170~173.
- [5] MOHAN K WAIL, FAITH EVRENDELIK, TRISTRAM OWATTS, et al. Assessing terrestrial ecosystem sustainability: Usefulness of regional carbon and nitrogen models [J]. Nature & Resources, 1999, 35(4):21~33.
- [6] 徐桂林. 杉木林地不同更新方式土壤碳氮垂直分布及碳库管理指数[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2009.
- [7] 李珊珊, 耿增超, 姜林, 等. 秦岭火地塘林区土壤剖面碳氮垂直分布规律的研究[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(4):1~6.
- [8] 王棣, 耿增超, 余雕, 等. 秦岭典型林分土壤有机碳储量及碳氮垂直分布[J]. 生态学报, 2015, 35(16):5421~5429.
- [9] 陈小花, 杨青青, 余雪标, 等. 热带海岸典型森林类型土壤有机碳储量和碳氮垂直分布特征[J]. 热带作物学报, 2017, 38(1):38~44.
- [10] 刘淑丽, 林丽, 杜岩功, 等. 青海省高寒草甸不同退化阶段土壤无机碳分异特征[J]. 生态学杂志, 2014, 33(5):1290~1296.
- [11] 姚檀栋, 陈发虎, 崔鹏, 等. 从青藏高原到第三极和泛第三极[J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(9):924~931.
- [12] Yao T D, Thompson L, Yang W, et al. Different glacier status with atmospheric circulations in Tibetan Plateau and surroundings [J]. Natur Climate Change, 2012, 2(9):663~667.
- [13] 王华静, 宁龙梅, 徐留兴, 等. 川西北高寒地区土壤有机碳含量垂直分布特征[J]. 土壤通报, 2012, 43(1):76~80.
- [14] 卢华, 晏玉梅. 刚察县草地退化主要原因及其治理对策[J]. 青海草业, 2007, 16(2):50~51.
- [15] 贡璐, 罗艳, 解丽娜. 塔里木盆地北缘绿洲不同土地利用方式土壤有机碳、无机碳变化及其土壤影响因子[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(12):83~94.
- [16] 刘雨桐, 贡璐, 刘曾媛. 塔里木盆地南缘典型绿洲不同土壤类型土壤有机碳含量及矿化特征[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(2):162~166.
- [17] 毛端明. 克州土壤[M]. 新疆 克州: 新疆克州科委出版社, 2000:1~225.
- [18] 艾丽, 吴建国, 刘建泉, 等. 土壤有机碳和全氮含量及其与海拔、植被和气候要素的关系—以祁连山中段北坡为研究对象[J]. 中国园艺文摘, 2010, 26(3):27~34.
- [19] 党亚爱, 李世清, 王国栋, 等. 黄土高原典型土壤全氮和微生物氮剖面分布特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6):1020~1027.
- [20] 齐雁冰, 常庆瑞, 贾科利, 等. 高寒地区荒漠化现状与防治途径探讨[J]. 水土保持学报, 2003(5):39~41+178.
- [21] 袁杰, 鄂崇毅, 曹广超, 等. 30 a 耕作对高寒草地土壤碳氮与颗粒组成的影响[J]. 干旱区研究, 2017, 34(3):487~494.
- [22] 陶贞, 沈承德, 高全洲, 等. 高寒草甸土壤有机碳储量及其垂直分布特征[J]. 地理学报, 2006, 61(7):720~728.
- [23] FRANK A B. Carbon dioxide fluxes over a grazed prairie and seeded pasture in the Northern Great Plains [J]. Environmental Pollution, 2002, 116:397~403.

## Study on the vertical distribution of carbon and nitrogen at the western edge of Tarim Basin

ZHANG Zhuo<sup>1,2</sup>, CAO Guangchao<sup>1</sup>, XU Tai<sup>3</sup>, ZHANG Fulina<sup>1</sup>,  
YANG Rongrong<sup>1</sup>, LIU Fang<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Qinghai Province Physical Geography and Environmental Process,  
Qinghai Normal University, Xining 810008, China;

2. Environmental Monitoring Station of Kezilsu Prefecture,  
Atushi 845350, Xinjiang, China;

3. College of Natural Resources, College of Energy Engineering, Longdong University,  
Qingyang 745000, Gansu, China)

**Abstract:** Brown desert and alluvial soil are widely distributed in the alluvial plain of the western edge of Tarim basin. These two types of soil are choosed as research objects in this paper. We measured and analyzed the contents of organic carbon and total nitrogen in different soil layers and discussed the correlation between organic carbon content and total nitrogen content and between the contents sets of soil particle size. The results show that: contents of the organic carbon and total nitrogen of the two soils decrease with increase of depth in the interval 0 to 100 cm in the section of the diluvial plain. However, the difference of the organic carbon and total nitrogen content is biggest at the interval 40 to 60 cm. In addition, organic carbon and total nitrogen content were positively correlated throughout the section.

**Key Words:** soil organic carbon; soil total nitrogen; vertical distribution; western edge of Tarim Basin; Xinjiang