

ISSN 0564-3929

# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办  
科学出版社 出版

2015

第52卷 第3期

Vol.52 No.3



# 土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

## 目 次

### 综述与评论

- 强还原土壤灭菌防控作物土传病的应用研究····· 蔡祖聪 张金波 黄新琦等 (469)
- 土壤裂隙及其优先流研究进展····· 张中彬 彭新华 (477)

### 研究论文

- 东北典型黑土区农耕土壤团聚体流失特征····· 温磊磊 郑粉莉 沈海鸥等 (489)
- 青藏高原永冻土活动层厚度预测指标集的建立及制图····· 陈吉科 赵玉国 赵 林等 (499)
- 贡嘎山海螺沟冰川退缩区土壤序列矿物组成变化····· 杨子江 邴海健 周 俊等 (507)
- 成都典型区水稻土有机碳组分构成及其影响因素研究····· 廖 丹 于东升 赵永存等 (517)
- 河北省土壤温度与干湿状况的时空变化特征····· 曹祥会 雷秋良 龙怀玉等 (528)
- 喀斯特小流域土壤饱和导水率垂直分布特征····· 付同刚 陈洪松 王克林 (538)
- 大沽河中游地区土壤水与浅层地下水转化关系研究····· 杨玉峥 林 青 王松禄等 (547)
- 化学转化法测定水体中硝酸盐的氮氧同位素比值····· 王 曦 曹亚澄 韩 勇等 (558)
- <sup>13</sup>C脉冲标记定量研究施氮量对光合碳在水稻-土壤系统中分布的影响 ···· 刘 萍 江春玉 李忠佩 (567)
- 垄作免耕对稻田垄埂土壤有机碳累积和作物产量的影响····· 慈 恩 王莲阁 丁长欢等 (576)
- 施入<sup>15</sup>N标记氮肥在长期不同培肥土壤的残留及其利用 ····· 赵 伟 梁 斌 周建斌 (587)
- 长期不同施肥对红壤性水稻土产量及基础地力的影响····· 鲁艳红 廖育林 周 兴等 (597)
- 长期施肥对双季稻产量变化趋势、稳定性和可持续性的影响····· 冀建华 侯红乾 刘益仁等 (607)
- 高粱分泌硝化抑制物对羟基苯丙酸与质子泵的关系研究····· 周金泉 张明超 魏志军等 (620)
- 钝化剂-锌肥降低烟草镉含量长期效果研究 ····· 曹晨亮 王 卫 马义兵等 (628)
- 钾肥和腐殖酸互作对烤烟有机钾盐指数的影响····· 郑东方 许嘉阳 许自成等 (637)
- 桉树取代马尾松对土壤养分和酶活性的影响····· 张 凯 郑 华 陈法霖等 (646)
- 荒漠区生物土壤结皮对土壤酶活性的影响····· 杨航宇 刘艳梅 王廷璞 (654)
- 高量秸秆不同深度还田对黑土有机质组成和酶活性的影响····· 矫丽娜 李志洪 殷程程等 (665)
- 链霉菌JD211对水稻幼苗促生作用及土壤细菌多样性的影响 ····· 王世强 魏赛金 杨陶陶等 (673)

### 研究简报

- 基于最小数据集的塔里木河上游绿洲土壤质量评价····· 贡 璐 张雪妮 冉启洋 (682)
- 铁膜对水稻根表面电化学性质和氮磷钾短期吸收的影响····· 郑芸芸 李忠意 李九玉等 (690)
- 长期不同施肥条件下红壤性水稻土微生物群落结构的变化····· 夏 昕 石 坤 黄欠如等 (697)
- 滨海盐碱地不同造林树种林地土壤盐碱化特征····· 王合云 李红丽 董 智等 (706)

### 信息

- 2015国际土壤年 ····· (696)

封面图片：稻田裂隙二维与三维图像 (由张中彬提供)

DOI: 10.11766/trxb201406290331

# 基于最小数据集的塔里木河上游绿洲土壤质量评价\*

贡璐<sup>1, 2</sup> 张雪妮<sup>1, 2, 3</sup> 冉启洋<sup>1, 2</sup>

(1 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046)

(2 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

(3 新疆大学干旱生态环境研究所, 乌鲁木齐 830046)

**摘要** 以塔里木河上游绿洲阿拉尔垦区为靶区, 综合考虑表征土壤物理、化学和生物学性质的 14 个土壤指标, 利用数理统计方法确定最小数据集并评价土壤质量, 同时与不含土壤酶指标的土壤质量评价结果进行对比分析。结果表明: (1) 研究区土壤质量评价适用的最小数据集 (MDS) 包括: 土壤水分、全盐、全氮和过氧化氢酶活性; (2) 研究区棉田、新开垦农田、果园和林地等大部分耕地土壤质量属于中等及以上水平 ( $SQI \geq 0.5$  的占 78.12%), 大部分分布于河岸及绿洲区域; (3) 不包含土壤酶活性指标的土壤质量评价使土壤全盐含量的权重降低, 且导致土壤质量评价结果偏低。

**关键词** 土壤质量评价; 土壤酶活性; 最小数据集; 绿洲; 塔里木河上游

**中图分类号** S126 **文献标识码** A

土壤作为陆地生态系统的重要组成部分, 其质量状况与全球生态安全与可持续发展密切相关<sup>[1]</sup>。土壤质量是土壤多种功能的综合体现, 对土壤质量的评价需要选择合适的土壤质量指标。最小数据集 (MDS) 是可以反映土壤质量最少的指标参数的集合, 在土壤质量评价及监测工作中得到了广泛的应用。从前人的研究看, 该数据集的确定强调以土壤理化特性为主要指标<sup>[2-7]</sup>, 生物属性指标多选择微生物<sup>[8-9]</sup>, 而对胁迫环境敏感的土壤酶活性指标的应用相对较少<sup>[10-12]</sup>。综合考虑土壤质量评价指标, 构建能够表征土壤生态系统变化的“预警”及敏感的数据集是当前土壤科学研究的热点问题之一。

绿洲土壤是干旱区生物赖以生存和发展的基础, 其结构和功能较为脆弱, 对外界的干扰, 尤其是对以人类活动为主导的区域水土资源的开发反响强烈。塔里木河上游阿拉尔垦区是国家级优质商品棉基地和新疆特色农副产品转化增值的示范基地, 为主导的区域水土资源高强度开发利用区, 绿洲

系统内部负荷逐年加大, 土壤贫瘠化、沙化、盐碱化的现象愈发严重。土壤质量响应于内外因的综合影响, 不同土地利用类型表现出一定的差异性<sup>[13-14]</sup>。并直接影响着地区土壤资源利用以及生态恢复的途径和方向<sup>[15-16]</sup>。

绿洲化过程中土壤质量评价是干旱区土地资源可持续利用与管理的重要内容<sup>[20]</sup>。国内外学者分别对亚热带<sup>[8]</sup>、湿润带<sup>[17]</sup>的农田试验地, 酸性稻田<sup>[18]</sup>, 水旱轮作农田<sup>[6]</sup>等建立了最小数据集。本研究以塔里木河上游绿洲阿拉尔垦区为靶区, 从土壤水分、盐分、养分、酶活性等角度选择候选指标, 结合模糊数学方法, 引入 Norm 值以避免仅用因子载荷作为唯一选择标准而导致的因子信息被忽略的缺点<sup>[19]</sup>, 旨在构建研究区 MDS, 实现绿洲土壤质量评价。该研究不仅是对干旱区绿洲土壤生态应用研究的有益补充, 也有助于掌握垦区各土地利用类型土壤质量现状, 从而为流域土地资源规划和土壤生态系统的恢复、保护和可持续利用提供科学依据。

\*国家自然科学基金项目 (31160127) 资助

作者简介: 贡璐 (1978—), 女, 江苏丹阳人, 教授, 硕士生导师, 主要从事干旱区资源与环境研究。 E-mail: gonglu721@163.com

收稿日期: 2014-06-29; 收到修改稿日期: 2014-12-12

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

阿拉尔垦区位于新疆维吾尔自治区阿克苏地区中南部，地处天山中段南麓、塔克拉玛干沙漠北缘、塔里木河上游（80°30′~81°58′ E，40°22′~40°57′ N），属塔里木河冲积平原，平均海拔为1 012 m；系典型的暖温带大陆性干旱荒漠气候，温差大、光热资源丰富，年均温10.7℃，日照2 900 h。降水稀少、蒸发强烈、年均降水量为17.4~42.8 mm，且在年内各月分配不均，年均蒸发量1 125~1 600 mm。垦区灌溉由当地兵团统筹管理，灌溉方式为滴灌，测定前20 d无降水和灌溉。垦区内土壤类型为棕漠土，适宜棉花栽培。经济发展主要依靠农业，是我国重要的细绒棉和最大的长绒棉生产基地。

### 1.2 样点布设与样品采集

采样地点设置在研究区所属农一师十二团，采样时间为2013年8月。样区面积为4 km×4 km，划分为64个500 m×500 m网格，采集网格中心土壤表层0~20 cm的样品。具体样点所属土地利用类型为：棉田36个、新开垦农田10个、果园4个、林地2个、荒草地6个、沙地3个、撂荒地3个。土壤去除植物根系和石块，风干研磨过筛以供测定。

### 1.3 分析方法

为建立土壤质量评价最小数据集，共选择14个指标，包括：土壤含水量（X1）、容重（X2）、pH（X3）、电导率（X4）、全盐（X5）、有机质（X6）、全氮（X7）、碱解氮（X8）、有效磷（X9）、速效钾（X10）、过氧化氢酶（X11，0.5 mol L<sup>-1</sup> KMnO<sub>4</sub>滴定）、转化酶（X12，0.1 mol L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>滴定）、脲酶（X13）和碱性磷酸酶（X14）；具体实验方法详见文献[13]，对各指标进行3次平行测定，结果取其平均值。

### 1.4 土壤质量评价最小数据集的构建

研究选用的14个候选指标，综合考虑了土壤物理、化学和生物学特性，其中特别选择了对外界干扰敏感的酶学指标。具体方法如下：计算各土壤指标在所有特征值≥1的主成分（PC）上的载荷，据此将在同一PC上载荷≥0.5的土壤指标分为1组，若某土壤参数同时在两个PC上的载荷高于0.5，则该参数应归并到与其他参数相关性较低的那一组；分别计算各组各指标的Norm值，选取每组中

Norm值在最高总分值10%范围内的指标<sup>[20]</sup>，进一步分析每组中所选指标间的相关性，若高度相关（ $r>0.5$ ），则确定分值最高的指标进入MDS，从而获得最终的MDS。

其中，Norm值越大则表明其解释综合信息的能力就越强。计算公式如下：

$$N_{ik} = \sqrt{\sum_{i=1}^k (u_{ik}^2 \lambda_k)} \quad (1)$$

式中， $N_{ik}$ 为第*i*个变量在特征值>1的前*k*个主成分上的综合载荷； $u_{ik}$ 为第*i*个变量在第*k*个主成分上的载荷， $\lambda_k$ 为第*k*个主成分的特征值。

### 1.5 土壤质量评价指数

土壤质量评价指数计算公式如下：

$$SQI = \sum_{i=1}^n W_i \times N_i \quad (2)$$

式中， $W_i$ 为指标权重， $N_i$ 为指标隶属度， $n$ 为指标个数。其中，指标权重表示某指标与其他指标之间相关系数的平均值占所有评价指标相关系数平均值总和的比。

隶属度由评价指标所属的隶属度函数确定。隶属度函数一般分为升型和降型。

升型隶属度函数公式：

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x \leq x_1 \\ 0.9(x - x_1)/(x_2 - x_1) + 0.1 & x_1 < x < x_2 \\ 1.0 & x \geq x_2 \end{cases} \quad (3)$$

降型隶属度函数公式：

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x \geq x_2 \\ 0.9(x_2 - x)/(x_2 - x_1) + 0.1 & x_1 < x < x_2 \\ 1.0 & x \leq x_1 \end{cases} \quad (4)$$

研究根据最小数据集中各指标对土壤质量的正负效应选择函数和确定其隶属度。各指标的最小值和最大值作为函数的转折点 $x_1$ 和 $x_2$ 。

## 2 结 果

### 2.1 土壤理化性质、酶活性的统计特征

研究区土壤含水量为25.71%；土壤容重为1.27 g cm<sup>-3</sup>；全盐含量（5.07 g kg<sup>-1</sup>）高于重盐土阈值（5 g kg<sup>-1</sup>），土壤盐碱化程度较高，且变异性较强；有机质、全氮、碱解氮、有效磷分别为5.47 g kg<sup>-1</sup>、0.26 g kg<sup>-1</sup>、32.82 mg kg<sup>-1</sup>和23.63 mg kg<sup>-1</sup>，研究区

土壤养分总体较低, 变异性高 ( $CV > 79\%$ )。酶活性指标中过氧化氢酶、转化酶、脲酶和碱性磷酸酶活性分别为  $10.18 \text{ ml g}^{-1}$ 、 $3.71 \text{ ml g}^{-1}$ 、 $0.36 \text{ mg g}^{-1}$ 、

$0.17 \text{ mg g}^{-1}$ 。电导率、全盐、有机质、碱解氮、转化酶、脲酶、碱性磷酸酶符合对数正态分布, 其他指标符合正态分布 (表1)。

表1 土壤指标的统计特征值

Table 1 Statistical eigenvalues of soil indices

指标 Index	代码 Code	最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV (%)	K-S <i>p</i>	分布类型 Distribution type
土壤含水量 Soil moisture (%)	X1	4.20	49.70	25.71	10.05	39.1	0.89	N
容重 Bulk density ( $\text{g cm}^{-3}$ )	X2	0.99	1.57	1.27	0.12	9.7	0.82	N
pH	X3	7.56	9.09	8.11	0.32	3.9	0.51	N
电导率 EC ( $\text{mS cm}^{-1}$ )	X4	0.10	4.40	1.22	1.19	98.0	0.03	LN
全盐 Total salt ( $\text{g kg}^{-1}$ )	X5	0.42	19.83	5.07	5.28	104.1	0.02	LN
有机质 Organic matter ( $\text{g kg}^{-1}$ )	X6	1.15	22.16	5.47	4.62	84.5	0.04	LN
全氮 Total N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	X7	0.06	0.90	0.26	0.20	79.4	0.05	N
碱解氮 Alkalytic N ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	X8	1.00	146.2	32.82	36.10	110	0.01	LN
有效磷 Available P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	X9	1.02	82.40	23.63	20.69	87.5	0.10	N
速效钾 Available K ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	X10	46.00	551.00	202.6	117.6	58.1	0.08	N
过氧化氢酶 Catalase ( $\text{ml g}^{-1}$ )	X11	4.00	14.70	10.18	2.42	25.9	0.77	N
转化酶 Invertase ( $\text{ml g}^{-1}$ )	X12	0.70	10.47	3.71	1.88	51.3	0.03	LN
脲酶 Urease ( $\text{mg g}^{-1}$ )	X13	0.15	1.04	0.36	0.20	56.6	0.04	LN
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase ( $\text{mg g}^{-1}$ )	X14	0.01	0.72	0.17	0.15	88.2	0.02	LN

注: N表示正态分布; LN表示对数正态分布 Note: N represents normal distribution, LN represents logarithmic normal distribution

## 2.2 土壤质量评价最小数据集

分析结果表明前4个主成分特征值大于1, 累积贡献率接近80%。根据前述方法, 各指标划分为4组 (表3), 研究区土壤质量评价确定的MDS包含土壤含水量、全氮、全盐和过氧化氢酶; 四个因子间相关系数均小于0.5 (表2), 数据无冗余且较好地代表了干旱区土壤特性。其中, 土壤水分和盐分是干旱区农业生产的重要限制因素, 直接影响土壤养分的有效性; 全氮是作物生长所需的重要养分元素, 且与有机质等密切相关; 过氧化氢酶活性在一定程度上反映了研究区土壤微生物活动的强度。

## 2.3 土壤质量评价

研究区土壤含水量相对较低, 土壤养分及酶活性均不足, 土壤水分、全氮和过氧化氢酶均对土壤质量有积极的正效应, 因此属于升型隶属度函数;

而高盐分、强碱性对土壤质量有较大的负效应, 因此全盐和pH属于降型隶属度函数。结合表4及式(2)~式(4), 最终获得研究区不同土地利用类型的土壤质量评价结果 (表5)。

研究区棉田土壤质量最高, 为0.653, 主要位于样区北部及中部, 毗邻塔里木河河岸; 由于施肥、滴灌和农作物种植增加土壤肥力、改善土壤水分, 同时也淋洗土壤盐分, 土壤养分和土壤酶活性亦不断提高<sup>[21]</sup>, 因此土壤质量相对较高。主要位于研究区中部的新开农田、果园和林地土壤质量次之 (0.532~0.555), 这与人工种植管理有关。南部紧邻塔克拉玛干沙漠主要分布有新开农田和荒草地, 间或有棉田、沙地和撂荒地, 由于缺乏肥料投入, 植被覆盖度低, 土壤结构破坏和表土流失极易发生, 土壤沙化和盐渍化程度较高, 因而该区域

表2 参评指标的Person相关系数矩阵

Table 2 Pearson's correlation coefficient of the indices involved in soil quality assessment

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
X1	1													
X2	-0.547	1												
X3	-0.377**	0.432**	1											
X4	0.279*	-0.110	0.081	1										
X5	0.378**	-0.178	-0.005	0.974**	1									
X6	0.360**	-0.349**	-0.317*	0.054	0.095	1								
X7	0.408**	-0.496**	-0.463**	0.068	0.111	0.851**	1							
X8	0.455**	-0.433**	-0.361**	0.204	0.288*	0.795**	0.731**	1						
X9	0.361**	-0.405**	-0.401**	0.055	0.118	0.813**	0.846**	0.745**	1					
X10	0.407**	-0.403**	-0.208	0.524**	0.558**	0.676**	0.743**	0.692**	0.676**	1				
X11	0.301*	-0.185	-0.075	-0.205	-0.151	0.154	0.222	0.085	0.192	0.211	1			
X12	0.256*	-0.294*	-0.395**	-0.085	-0.047	0.559**	0.604**	0.514**	0.544**	0.340**	0.219	1		
X13	0.207	-0.376**	-0.451**	-0.167	-0.130	0.689**	0.794**	0.616**	0.689**	0.502**	0.151	0.662**	1	
X14	0.136	-0.154	-0.315*	0.004	0.024	0.588**	0.570**	0.464**	0.535**	0.456**	0.234	0.208	0.494**	1

\* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ 

表3 主成分载荷矩阵及Norm值计算结果

Table 3 Principal component loading matrix and calculated norm values

指标 Index	主成分载荷矩阵 Matrix of principal component loadings				分组 Grouping	Norm值 Norm value
	主成分1 PC1	主成分2 PC2	主成分3 PC3	主成分4 PC4		
	X1	0.546	0.306	-0.612		
X2	-0.576	-0.093	0.56	0.173	1	1.593
X3	-0.531	0.188	0.378	0.417	1	1.489
X4	0.176	0.951	0.104	-0.01	2	1.558
X5	0.248	0.945	0.021	-0.014	2	1.605
X6	0.878	-0.104	0.251	0.046	1	2.225
X7	0.934	-0.113	0.094	-0.003	1	2.349
X8	0.855	0.099	0.124	-0.077	1	2.154
X9	0.879	-0.099	0.159	0.015	1	2.215
X10	0.799	0.403	0.164	0.204	1	2.117
X11	0.264	-0.252	-0.432	0.774	4	1.201
X12	0.653	-0.29	-0.053	-0.199	1	1.711
X13	0.788	-0.373	0.139	-0.154	1	2.071
X14	0.607	-0.158	0.308	0.31	1	1.611

土壤水分、养分易流失,土壤酶活性降低,土壤质量退化。在以农林措施为主的驱动力下,研究区大部分土壤质量属于中等及以上水平(SQI $\geq$ 0.5占78.12%),低值区域土地利用方式可适当参考中、高质量区域的管理方式以提高土壤质量。根据前人研究,开垦6~10年的绿洲农田土壤整体质量状况趋向最高,10~15年后土壤质量开始退化<sup>[22]</sup>;研究区北部和中部区域土壤质量较高,但当地农田耕种年限平均已达30年,故应加强多年耕作农田、密植农耕区的保护,进行适当的休耕、轮耕管理,以保证该区农用地的生态循环利用和农业可持续发展<sup>[21]</sup>。对于土壤质量较低的区域,为防止土地退化和改善土壤质量,应加强防护林体系建设,建立荒漠植被保护区,同时广泛开展盐渍化土地的改良实践。

不考虑酶指标评价土壤质量时pH取代过氧化氢酶,且权重略高,但全盐权重从0.201降为0.142,土壤含水量和全氮权重分别略微降低和

提高(表4);上述说明MDS包含土壤pH时,土壤全盐和含水量因子对研究区土壤质量的影响力下降,然而作为干旱区绿洲土壤质量的关键限制因子,土壤全盐和含水量对绿洲土壤质量和作物产量等的影响不容忽视<sup>[23-24]</sup>,因此土壤酶指标的介入能更真实地表征研究区土壤质量状况。不考虑土壤酶指标时,林地和荒草地土壤质量显著降低,其他土地利用类型也呈现不同程度的降低,与基于养分评价的南疆策勒绿洲土壤质量(约0.45~0.70)<sup>[20]</sup>相比亦偏低。因此,不选取土壤酶指标时的研究区土壤质量评价可能偏低,不利于土地管理和保护政策的科学实施。相对于土壤理化性质,土壤酶活性能更灵敏地响应土壤质量的变化,是反映土壤质量的敏感指标<sup>[25-27]</sup>。土壤酶的敏感性及其专一性的特点使得对一定时间“断面”的土壤质量评价更合理<sup>[28-29]</sup>,但敏感性也决定了土壤酶变异性较强,其强变异性对土壤质量的影响可能需若干时间“断

表4 土壤质量评价指标的权重

Table 4 Average correlation coefficients and weight of soil quality assessment indices

指标 Index	权重系数 Weight coefficient	所属函数 Membership or function category
土壤含水量X1	0.346 [ 0.334 ]	$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x \leq X_{4.20} \\ 0.9(x - X_{4.20}) / (X_{49.70} - X_{4.20}) + 0.1 & X_{4.20} < x < X_{49.70} \\ 1.0 & x \geq X_{49.70} \end{cases}$
全盐X5	0.204 [ 0.142 ]	$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x \geq X_{19.83} \\ 0.9(x_{19.83} - x) / (x_{19.83} - x_{0.42}) + 0.1 & X_{0.42} < x < X_{19.83} \\ 1.0 & x \leq X_{0.42} \end{cases}$
全氮X7	0.236 [ 0.282 ]	$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x \leq X_{0.06} \\ 0.9(x - X_{0.06}) / (X_{0.90} - X_{0.06}) + 0.1 & X_{0.06} < x < X_{0.90} \\ 1.0 & x \geq X_{0.90} \end{cases}$
过氧化氢酶X11	0.215 [ pH : 0.243 ]	$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x \leq X_{4.00} \\ 0.9(x - X_{4.00}) / (X_{14.70} - X_{4.00}) + 0.1 & X_{4.00} < x < X_{14.70} \\ 1.0 & x \geq X_{14.70} \end{cases}$

注:括号内为对应指标不包含土壤酶时,pH入选后的相应值 Note: Data in brackets are those of their respective indices in soil quality assessment without taking into account soil enzyme activity and pH is the value when it is included in the assessment

表5 不同土地利用类型的土壤质量

Table 5 Soil quality relative to type of land use

	棉田Cotton field	新开农田* New farm land	林地 Woodland	荒草地* Waste grassland	果园 Orchard	撂荒地 Abandoned land	沙地 Sand
土壤质量值 Value of soil quality	0.653 $\pm$ 0.08	0.553 $\pm$ 0.05	0.556 $\pm$ 0.15	0.455 $\pm$ 0.04	0.532 $\pm$ 0.14	0.444 $\pm$ 0.10	0.328 $\pm$ 0.04

注:数据表示平均值 $\pm$ 标准差,\*表示与不包含土壤酶时的土壤质量差异显著, $p < 0.05$  Note: The data in the table are means  $\pm$  standard deviation, \* means significant difference between two soil quality assessment methods

面”, 即在一定时间序列上的研究才能阐明。

### 3 结 论

本研究利用包含土壤酶指标的最小数据集评价了干旱区绿洲的土壤质量, 发现塔河上游绿洲土壤水分、全氮、过氧化氢酶和全盐较不包含酶指标时能更好地表征干旱区土壤质量, 可作为绿洲土壤质量评价的最小数据集指标; 研究区土壤质量沿河岸-绿洲-荒漠方向下降, 研究区大部分土壤质量属于中等及以上水平, 包括的类型主要为棉田、新开垦农田、果园和林地类型。为保证阿拉尔绿洲农业的可持续发展, 应对研究区多年耕作的农用地进行适当休耕或轮耕保护。鉴于本文研究时段较短, 选择的因子相对有限, 今后还应开展土壤指标的长期、大尺度监测, 同时考虑灌溉、土壤持水保水性以及土壤酶变异性等对干旱区耕作土壤质量影响较敏感的因素, 以提高绿洲土壤质量评价应用的普适性。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 陈美军, 段增强, 林先贵. 中国土壤质量标准研究现状及展望. 土壤学报, 2011, 48 ( 5 ): 1059—1071. Chen M J, Duan Z Q, Lin X G. Status quo and prospects of the study on soil quality standards in China ( In Chinese ). *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48 ( 5 ): 1059—1071
- [ 2 ] Yao R J, Yang J S, Gao P, et al. Determining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area. *Soil and Tillage Research*, 2013, 128: 137—148
- [ 3 ] Rezaei S A, Gilkes R J, Andrews S S. A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. *Geoderma*, 2006, 136: 229—234
- [ 4 ] Lima A C R, Hoogmoed W B, Brussaard L. Soil quality assessment in rice production systems: Establishing a minimum data set. *Journal of Environmental Quality*, 2008, 37 ( 2 ): 623—630
- [ 5 ] Yemefack M, Jetten V G, Rossiter D G. Developing a minimum dataset for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems. *Soil and Tillage Research*, 2006, 86 ( 1 ): 84—98
- [ 6 ] 刘金山, 胡承孝, 孙学成, 等. 基于最小数据集和模糊数学法的水旱轮作区土壤肥力质量评价. 土壤通报, 2012, 43 ( 5 ): 1145—1150. Liu J S, Hu C X, Sun X C, et al. Evaluation of soil fertility quality with a minimum data set and fuzzy logic in the paddy-upland rotation region of Hubei Province ( In Chinese ). *Chinese Journal of Soil Science*, 2012, 43 ( 5 ): 1145—1150
- [ 7 ] 李桂林, 陈杰, 檀满枝, 等. 基于土地利用变化建立土壤质量评价最小数据集. 土壤学报, 2008, 45 ( 1 ): 16—25. Li G L, Chen J, Tan M Z, et al. Establishment of a minimum dataset for soil quality assessment based on land use change ( In Chinese ). *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45 ( 1 ): 16—25
- [ 8 ] Govaerts B, Sayre K D, Deckers J. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research*, 2006, 87 ( 2 ): 163—174
- [ 9 ] Marzaioli R, D’Ascoli R, De Pascale R A, et al. Soil quality in a mediterranean area of southern Italy as related to different land use types. *Applied Soil Ecology*, 2010, 44: 205—212
- [ 10 ] 吴玉红, 田霄鸿, 池文博, 等. 机械化保护性耕作条件下土壤质量的数值化评价. 应用生态学报, 2010, 21 ( 6 ): 1468—1476. Wu Y H, Tian X H, Chi W B, et al. Numerical evaluation of soil quality under different conservation tillage patterns ( In Chinese ). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21 ( 6 ): 1468—1476
- [ 11 ] 黄婷, 岳西杰, 葛玺祖, 等. 基于主成分分析的黄土沟壑区土壤肥力质量评价——以长武县耕地土壤为例. 干旱地区农业研究, 2010, 28 ( 3 ): 141—147, 187. Huang T, Yue X J, Ge X Z, et al. Evaluation of soil quality on gully region of loess plateau based on principal component analysis: Case study of arable soils in Changwu county ( In Chinese ). *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28 ( 3 ): 141—147, 187
- [ 12 ] 房全孝. 土壤质量评价工具及其应用研究进展. 土壤通报, 2013, 44 ( 2 ): 496—504. Fang Q X. Advances in agricultural soil quality assessment tools and applications ( In Chinese ). *Chinese Journal of Soil Science*, 2013, 44 ( 2 ): 496—504
- [ 13 ] 贡璐, 张海峰, 吕光辉, 等. 塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价. 生态学报, 2011, 31 ( 14 ): 4136—4143. Gong L, Zhang H F, Lü G H, et al. Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River ( In Chinese ). *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 ( 14 ): 4136—4143
- [ 14 ] 贡璐, 张雪妮, 吕光辉, 等. 塔里木河上游典型绿洲不同土地利用方式下土壤质量评价. 资源科学, 2012, 34 ( 1 ): 120—127. Gong L, Zhang X N, Lü G H, et al.

- Soil quality assessment under different land use types in typical oasis of the upper reaches of the Tarim River (In Chinese). *Resources Science*, 2012, 34 (1): 120—127
- [15] Tesfahunegn G B, Tamene L, Vlek P L G. A participatory soil quality assessment in Northern Ethiopia's Mai-Negus catchment. *Catena*, 2011, 86 (1): 1—13
- [16] Ozgoz E, Gunal H, Acir N, Gokmen F, et al. Soil quality and spatial variability assessment of land use effects in a Typic Haplustoll. *Land Degradation and Development*, 2013, 24: 277—286
- [17] D' Hose T, Cougnon M, De Vliegheer A, et al. The positive relationship between soil quality and crop production: A case study on the effect of farm compost application. *Applied Soil Ecology*, 2014, 75: 189—198
- [18] Liu Z J, Zhou W, Shen J B, et al. Soil quality assessment of acid sulfate paddy soils with different productivities in Guangdong Province, China. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13 (1): 177—186
- [19] 李桂林, 陈杰, 孙志英, 等. 基于土壤特征和土地利用变化的土壤质量评价最小数据集确定. *生态学报*, 2007, 27 (7): 2715—2724. Li G L, Chen J, Sun Z Y, et al. Establishing a minimum dataset for soil quality assessment based on soil properties and land use change (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (7): 2715—2724
- [20] 桂东伟, 雷加强, 曾凡江, 等. 绿洲化进程中不同利用强度农田对土壤质量的影响. *生态学报*, 2010, 30 (7): 1780—1788. Gui D W, Lei J Q, Zeng F J, et al. Effects of different management intensities on soil nutrients of farm land during oasisization (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (7): 1780—1788
- [21] Aparicio V, Costa J L. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean pampas. *Soil and Tillage Research*, 2007, 96 (1): 155—165
- [22] 张风华, 潘旭东, 李玉义. 新疆玛河流域绿洲农田开垦后土壤环境演变分析. *中国农业科学*, 2006, 39 (2): 331—336. Zhang F H, Pan X D, Li Y Y. Research on successional regulation of soil environment after reclamation in the Manas River valley (In Chinese). *Scientia Agricultural Sinica*, 2006, 39 (2): 331—336
- [23] 巨龙, 王全九, 王琳芳, 等. 灌水量对半干旱区土壤水盐分布特征及冬小麦产量的影响. *农业工程学报*, 2007, 23 (1): 86—90. Ju L, Wang Q J, Wang L F, et al. Effects of irrigation amounts on yield of winter wheat and distribution characteristics of soil water-salt in semi-arid region (In Chinese). *Transaction of the CSAE*, 2007, 23 (1): 86—90
- [24] 李宝富, 熊黑钢, 张建兵, 等. 干旱区不同灌溉量下后备耕地土壤水盐动态变化规律研究. *地理科学*, 2013, 33 (6): 763—768. Li B F, Xiong H G, Zhang J B, et al. Dynamic of soil water-salt of reserve farmland in arid area under different irrigation conditions (In Chinese). *Scientia Geographic Sinica*, 2013, 33 (6): 763—768
- [25] 于天一, 逢焕成, 唐海明, 等. 不同母质类型水稻土酶活性及其与理化性质的关系. *土壤学报*, 2013, 50 (5): 1043—1047. Yu T Y, Pang H C, Tang H M, et al. Soil enzyme activities and their relationships with soil physicochemical properties in paddy soil derived from different parent materials under double-rice cropping system in south China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50 (5): 1043—1047
- [26] Finkenbein P, Kretschmer K, Kuka K, et al. Soil enzyme activities as bioindicators for substrate quality in revegetation of a subtropical coal mining dump. *Soil Biology & Biochemistry*, 2013, 56: 87—89
- [27] Giacometti C, Cavani L, Baldoni G, et al. Microplate-scale fluorometric soil enzyme assays as tools to assess soil quality in a long-term agricultural field experiment. *Applied Soil Ecology*, 2014, 75: 80—85
- [28] 唐玉姝, 魏朝富, 颜廷梅, 等. 土壤质量生物学指标研究进展. *土壤*, 2007, 39 (2): 157—163. Tang Y S, Wei C F, Yan T M, et al. Biological indicator of soil quality: A review (In Chinese). *Soil*, 2007, 39 (2): 157—163
- [29] 张玉兰, 陈利军, 张丽莉. 土壤质量的酶学指标研究. *土壤通报*, 2005, 36 (4): 598—604. Zhang Y L, Chen L J, Zhang L L. Enzymological indicators of soil quality (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36 (4): 598—604

## QUALITY ASSESSMENT OF OASIS SOIL IN THE UPPER REACHES OF TARIM RIVER BASED ON MINIMUM DATA SET

Gong Lu<sup>1, 2</sup> Zhang Xueni<sup>1, 2, 3</sup> Ran Qiyang<sup>1, 2</sup>

(1 College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

(2 Key Laboratory of Oasis Ecology, Education Ministry, Urumqi 830046, China)

(3 Institute of Arid Ecology and Environment, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract** Soil quality assessment of the Aler oasis reclamation zone in the upper streams of the Tarim River was performed, taking into account integratedly 14 soil physico-chemical properties including soil water content, bulk density, pH, EC, total salt, organic matter, total N, alkalytic N, available P, available K, catalase, invertase, urease, and alkaline phosphatase, and using the minimum data set defined with the statistics method. And meanwhile comparative analysis was done of the soil quality assessment with the assessment without taking into account soil enzyme activity. Results show that (1) the minimum data set (MDS) suitable for use in the soil quality assessment of the oasis is composed of 4 indices, that is, soil water content, total salt, total N and catalase; (2) most of the cotton fields, newly reclaimed farmlands, orchards and woodlands, distributed in the riparian oasis region, are moderate or over in soil quality ( $SQI \geq 0.5$  accounting for 78.12%); and (3) weight of total salt in the soil quality assessment without taking into account soil enzyme activity tends to be lower, which would lead to underassessment of the soil quality. This study may provide some references for regional soil resources utilization and decision-making for agricultural industry and ecological restoration.

**Key Words** Soil quality assessment; Soil enzyme activity; Minimum data set (MDS); Oasis; The upper reaches of Tarim River

(责任编辑：檀满枝)

CONTENTS

**Reviews and Comments**

- Application of reductive soil disinfection to suppress soil-borne pathogens ..... Cai Zucong, Zhang Jinbo, Huang Xinqi, et al. ( 475 )  
 A review of researches on soil cracks and their impacts on preferential flow...Zhang Zhongbin, Peng Xinhua ( 488 )

**Research Articles**

- Characteristics of soil aggregate loss in croplands in the typical black soil region of Northeast China ..... Wen Leilei, Zheng Fenli, Shen Haiou, et al. ( 498 )  
 Construction of an index set for predicting thickness of active layer of permafrost in Qinghai-Tibet Plateau and for mapping ..... Chen Jike, Zhao Yuguo, Zhao Lin, et al. ( 506 )  
 Variation of mineral composition along the soil chronosequence at the Hailuoguo Glacier foreland of Gongga Mountain ..... Yang Zijiang, Bing Haijian, Zhou Jun, et al. ( 515 )  
 Composition of organic carbon in paddy soil in typical area of Chengdu and its influencing factors ..... Liao Dan, Yu Dongsheng, ZhaoYongcun, et al. ( 526 )  
 Spatio-temporal variation of soil temperature and soil moisture regime in Hebei Province ..... Cao Xianghui, Lei Qiuliang, Long Huaiyu, et al. ( 536 )  
 Vertical distribution of soil saturated hydraulic conductivity in a small karst catchment ..... Fu Tonggang, Chen Hongsong, Wang Kelin ( 546 )  
 Transformation between soil water and shallow groundwater in the middle reaches of the Dagu River ..... Yang Yuzheng, Lin Qing, Wang Songlu, et al. ( 556 )  
 Determination of nitrogen and oxygen isotope ratio of nitrate in water with a chemical conversion method ..... Wang Xi, Cao Yacheng, Han Yong, et al. ( 565 )  
 Quantitative research on effects of nitrogen application rate on distribution of photosynthetic carbon in rice-soil system using <sup>13</sup>C pulse labeling technique ..... Liu Ping, Jiang Chunyu, Li Zhongpei ( 574 )  
 Effects of no-tillage ridge-cultivation on soil organic carbon accumulation in ridges and crop yields in paddy fields ..... Ci En, Wang Liange, Ding Changhuan, et al. ( 585 )  
 Residual of applied <sup>15</sup>N fertilizer in soils under long-term different patterns of fertilization and its utilization ..... Zhao Wei, Liang Bin, Zhou Jianbin ( 595 )  
 Effect of long-term fertilization on rice yield and basic soil productivity in red paddy soil under double-rice system ..... Lu Yanhong, Liao Yulin, Zhou Xing, et al. ( 605 )  
 Effects of long-term fertilization on yield variation trend, yield stability and sustainability in the double cropping rice system ..... Ji Jianhua, Hou Hongqian, Liu Yiren, et al. ( 618 )  
 Relationship between exudation of nitrification inhibitor MHPP and plasma membrane proton pump of sorghum root ..... Zhou Jinquan, Zhang Mingchao, Wei Zhijun, et al. ( 527 )  
 Effects of long-term amendment with passivant and zinc fertilizer on cadmium reduction in tobacco growing in a Cd contaminated field ..... Cao Chenliang, Wang Wei, Ma Yibing, et al. ( 635 )  
 Effects of interaction between potassium and humic acid on index of organic potassium salt in flue-cured tobacco ..... Zheng Dongfang, Xu Jiayang, Xu Zicheng, et al. ( 645 )  
 Impacts of replacement of *Pinus* with *Eucalyptus* on soil nutrients and enzyme activities ..... Zhang Kai, Zheng Hua, Chen Falin, et al. ( 653 )  
 Effects of biological soil crusts on soil enzyme activities in desert areas ..... Yang Hangyu, Liu Yanmei, Wang Tingpu ( 663 )  
 Effect of incorporation of crop straw on composition of soil organic matter and enzyme activity in black soil relative to depth and rate of the incorporation ..... Jiao Lina, Li Zhihong, Yin Chengcheng, et al. ( 671 )  
 Effect of *Streptomyces* JD211 promoting growth of rice seedlings and diversity of soil bacteria ..... Wang Shiqiang, Wei Saijin, Yang Taotao, et al. ( 681 )

**Research Notes**

- Quality assessment of oasis soil in the upper reaches of Tarim River based on minimum data set ..... Gong Lu, Zhang Xueni, Ran Qiyang ( 689 )  
 Effect of iron plaque on surface electrochemical properties and short-term N, P and K uptake by rice roots .....Zheng Yunyun, Li Zhongyi, Li Jiuyu, et al. ( 695 )  
 The changes of microbial community structure in red paddy soil under long-term fertilization ..... Xia Xin, Shi Kun, Huang Qianru, et al. ( 705 )  
 Salinization characteristics of afforested coastal saline soil as affected by species of trees used in afforestation ..... Wang Heyun, Li Hongli, Dong Zhi, et al. ( 712 )

**Cover Picture:** Two dimensional and three dimensional images of soil cracks in paddy field ( by Zhang Zhongbin )

# 《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

## 土 壤 学 报

### Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

## ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 3 May, 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会  
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008  
电话: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica  
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China  
Tel: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正  
主 管 中 国 科 学 院  
主 办 中 国 土 壤 学 会  
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng  
Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Soil Science Society of China  
Undertaken by Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司  
总发行 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717  
电话: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company  
Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China  
Tel: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation  
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

