

绿洲化进程中不同利用强度农田对土壤质量的影响

桂东伟^{1,2,3}, 雷加强^{1,3,*}, 曾凡江^{1,3}, 穆桂金^{1,3}, 杨发相^{1,3}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830001; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

3. 新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 策勒 848300)

摘要: 土壤质量研究对于区域土地可持续利用及当地环境维护具有重要价值。以处于极端干旱背景下的塔里木盆地南缘策勒绿洲为研究区, 以农田这一重要的土地利用类型为研究对象, 探讨在绿洲化进程中不同农田利用强度对绿洲荒漠土壤的影响。2004 年根据当地农民耕作习惯建立 4 块试验农田, 分别代表当地典型的农田利用强度。通过土壤粒径分布分形特征, 及基于土壤养分指标的土壤质量指数 (SQI)、基于生产力数据的产量可持续性指数 (SYI) 分析, 多角度探讨农田在不同利用强度下的土壤质量分异特征。研究表明农田位置与人为管理强度会对土壤质量产生重要影响, 在绿洲边缘对农田开发利用应当采取谨慎的态度及合理的管理方式。研究在客观分析并揭示绿洲化进程中农田土壤质量分异的同时, 也为绿洲农田可持续利用管理提供科学建议。

关键词: 土壤质量; 农田; 利用强度; 绿洲; 策勒

Effects of different management intensities on soil nutrients of farmland during oasisization

GUI Dongwei^{1,2,3}, LEI Jiaqiang^{1,3,*}, ZEN Fanjiang^{1,3}, MU Guijin^{1,3,*}, YANG Faxiang^{1,3}

1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China

2 Graduate University of CAS, Beijing 10049, China

3 Cele National Station of Observation & Research for Desert-Grassland Ecosystem in Xinjiang, Cele, Xinjiang 848300, China

Abstract: Soil quality is a key environmental factor in developing sustainable agricultural. Soil quality research in extremely arid regions, aiming at determining effects of different utilization, is much more limited. The Cele oasis located the southern margin of Tarim Basin of Xinjiang, China was selected as a study area. Agriculture is the main land use type. However, the management intensities differ in the oasis and in the process of oasis growth. In 2004, four experimental fields were established, representing four typical land use types according to local farmers tillage practices, namely newly cultivated land (NEF), a field with normal manure (NMF), a field with high manure (HMF) and a field in the oasis' interior (OIF), in order to analyze the effects of land use types on soil particle-size distributions (PSDs) and soil nutrient contents. Additionally, the soil from an uncultivated control plot (CTP) was analyzed for comparison. The soil quality index (SQI), calculated by applying principle component analysis (PCA), were used to evaluate the effects of different land use types. The sustainable yield index (SYI) was calculated to evaluate the sustainable productivity of these land use types, based on the data from 4 years studies. Our results indicate (i) statistically significant differences in PSDs, SOM, total nitrogen N (TN), total phosphorus (TP) and available phosphorus (AP) between the different farmlands; (ii) NEF, situated in the desert oasis ecotone, showed the lowest soil quality, even lower than CTP, and the lowest indicator values; (iii) fertilization of NMF and HMF which are also situated in the desert oasis ecotone resulted in a positive effect on PSDs

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目 (2009CB421302); 国家科技支持计划资助项目 (2009BAC5401, 2006BAD26B0202-1); 新疆科技攻关与重点科技资助项目 (200633130); 新疆科技重大专项资助项目 (200733144-2); 自治区科技基础条件平台建设资助项目 (PT0801)

收稿日期: 2009-02-18; **修订日期:** 2009-06-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: desert@ms.xjb.ac.cn

and soil nutrient contents. This result is different from those from other regions due to the fact that the original natural soil (CTP) under the given extremely arid conditions has low background values. However, the sustainable productivity of these farmlands is low, and much underground water is being consumed; (iv) the farmland (OIF) situated in the oasis interior showed the highest level among all assessments. Our study indicated that farmland in the desert oasis ecotone should be reclaimed prudentially, that a sustainable development insight must be used, and that rational management practices and advanced technologies are needed. These study results could be beneficial for refining agricultural management practices and for improving sustainable land use in the oasis and in the process of oasis growth.

Key Words: soil quality; farmland; utilization intensity; oasis; Cele

土壤作为生物圈重要的组成部分,在提供大量物质生产的同时更对维护区域及全球的生态功能、环境质量起着重要的作用,因此有关土壤质量的研究正得到越来越多的重视^[1]。土壤质量本质是“在系统边界内维持功能的一种能力”^[2-4]。这种功能会因强调重点不同而出现差异:从生产管理者角度,强调土壤的高生产及可持续生产能力;从消费者角度,强调土壤对动植物提供安全健康的生长能力;从环境工作者角度,强调其维持或提高持水能力、生物多样性能力及养分循环能力等^[5]。尽管土壤质量与其物理、化学、生物属性紧密相关,并同时受到气候与生态系统的影响,但最终仍然取决于土地管理者,最优的土壤质量是兼顾到生产能力、环境保护及动植物健康,而不是只强调某一个方面^[6]。然而,由于土壤质量受气候、母质、植被及人为管理等综合因素的影响,将其维持到一个理想的水平相对困难。不同于水与空气等评价有具体的参考标准,迄今为止仍然没有一个有效的土壤质量评价体系,更多的是基于一定的目的导向及区域特点进行评价^[7]。尽管如此,在区域土壤质量研究中,通过相关指数的计算与评价,仍然对揭示人地关系、土地可持续利用及维护当地环境等方面具有重要意义。

土壤质量评价应该置于景观水平而非单独的“点、线”水平^[8]。许多研究已经表明土地利用及土地覆被的变化会对土壤属性产生显著的影响^[9-11],如土地利用及管理会对土壤侵蚀过程及养分的氧化、矿化和流失过程产生影响^[12-13]。同时景观位置(坡向、坡度,海拔等)也会对一些土壤属性产生显著性影响^[14-17]。目前,土壤质量的研究较多是基于不同土地利用类型并集中在热带、温带地区^[18-19],或半干旱地区(如黄土高原)。而在极端干旱区气候背景下,特别是新疆绿洲区域,并基于同一种土地利用类型的研究相对还十分缺乏。

新疆在过去的 50 多年里,由于人口及经济压力的增大,许多土地不加选择的被开垦成农田。一些研究表明新疆的绿洲与荒漠有同时扩大的趋势,而位于其间的交错带则在逐渐减少^[20]。绿洲扩大这一现象也被许多学者定义为“绿洲化”进程^[21]。位于新疆南部的塔里木盆地南缘的策勒绿洲在过去 50 多年中也同样出现绿洲化现象:绿洲面积逐渐增加,绿洲荒漠交错带面积逐渐缩小^[22]。在绿洲发展进程中,首先由于绿洲主要分布于河流冲积平原中上部,地形平坦,同时极端干旱的气候背景共同导致其景观类型没有其它区域丰富;其次在少数的景观类型中,农田由于承载着生产服务功能是绿洲最重要的土地利用类型。但由于水限制因素的存在及管理措施的差异性,在绿洲化进程中始终会存在不同的农田利用强度。了解不同利用强度下农田的土壤属性及土壤质量分异特征,对于揭示干旱区人地关系及绿洲农田的可持续利用具有理论及现实意义。

本文以极端干旱气候背景下的策勒绿洲为研究区域,不同利用强度下的农田为研究对象,研究内容为:(1)理解不同利用强度农田对土壤粒度、养分属性的影响。土壤养分测定包括土壤有机质(SOM),总氮(TN),总磷(TP),总钾(TK),有效氮(AN),有效磷(AP),有效钾(AK)等 7 个指标;(2)从不同角度利用土壤质量指数模型对不同农田进行土壤评价。从环境保护角度利用综合质量指数(SQI)对土壤质量进行评价;从可持续生产角度利用产量可持续性指数(SYI)对不同农田的可持续生产能力进行评价。

1 研究区概况

策勒绿洲(这里指广义上的策勒绿洲,下同)位于塔克拉玛干沙漠南缘中段,昆仑山北麓,地处 80°03'24"—82°10'34"E,35°17'55"—39°30'00"N,年平均降水量仅 35.1mm,平均蒸发量 2595.3mm。海拔为 1280—

6780m,研究区海拔为 1340—1380m。该地区为典型的大陆性干旱气候,年平均温度 11.9℃。常年多风并以西北风为主导风向,土壤以风沙土为主。发源于昆仑山的策勒河作为当地最重要的河流与绿洲的发展息息相关,多年平均径流量为 1.27×10^8 。绿洲的东西两个方向被自然植被所包围,南部与流动沙丘和戈壁相连,属于独特的荒漠——绿洲型生态系统。试验区域主要处于绿洲边缘的策勒沙漠生态观测站附近,坐标 80°43′45.9″E, 37°01′20.7″N。

2 试验设计与处理

农田利用强度取决于许多因素,首先是水限制因素,水量多少直接影响着农田利用的深度与广度;其次是位置,如绿洲内部、绿洲荒漠交错带等不同位置农田会对风力侵蚀有不同的响应;此外利用年限及管理措施也会对利用强度产生影响等等。依托中科院策勒生态研究站,于 2004 年开始试验处理:首先选取两块生态站的农田样地,开垦年限均为 14a,其中一块长期进行高施肥量投入,定义为高投入农田(HMF);另一块则长期进行正常肥量投入,定义为常规农田(NMF);同年,根据试验需要在两块样地旁边新开垦一块农田,定义为新垦农田(NEF)。3 块农田均位于绿洲荒漠交错带,可以代表绿洲增长过程中的农田开发利用模式。在后续管理中,HMF 与 NMF 的施肥量不变,而 NEF 则不进行任何肥料施入。同时位于绿洲内部一块农户农田(OIF)也被选取作为试验样地,耕作年限超过 100a,农户肥料施入量与 NMF 无显著差异(表 1),每块样地面积约为 0.15hm²。棉花为各样地主要作物,每年作物收成后对各样地产量进行详细记录。

建立的四块试验农田,分别对应当地农民的主要耕作习惯并代表了当地 4 种典型的不同农田利用强度:(1)绿洲内部农户农田(OIF),灌溉水源以河流为主,代表了长期传统的利用强度;绿洲荒漠交错带的 3 块农田分别代表了绿洲增长过程中不同的利用强度,且灌溉水源以地下水为主,这 3 块农田中,(2)高投入农田(HMF)代表了农田开垦后对其进行较大量的物质能量输入利用强度,主要是由经济条件较好的农场业主耕作管理;(3)常规投入农田(NMF)代表了农田开垦后一般的物质能量投入强度,也是大多数当地居民开垦农田后选择的模式;4. 新垦的短期农田(NEF)代表了一种临时的利用模式,该类型农田可能在开垦后由于灌溉水源不能及时得到保障而随时进行撂荒,因此农民除灌溉外不会进行额外的投入。在本试验中,除不对 NEF 样地进行肥料等施入外,均保证灌溉用水。由于绿洲荒漠交错带开垦前植被以骆驼刺(*Alhagi sparsifolia SHAP*)为主,盖度约为 38.9%,因此为能综合对比农田不同利用梯度下土壤质量的差异性,在新垦农田(NEF)附近建立一骆驼刺对照样地(CTP)。各样地具体情况详见表 1。

表 1 试验样地概况

Table 1 Introduction of every experimental plot

试验样地 Experimental plot	年肥料施入量/(kg/hm ²) Annual fertilizer amount			利用年限/a Utilization years	位置 Position	主要灌溉水源 Mainly source of irrigation water	代表水平 Level
	农家肥 Farmyard manure	有机肥中 总氮含量 Inorganic fertilizer TN	有机肥中 总磷含量 Inorganic fertilizer TP				
对照样地 CTP	—	—	—	—	绿洲-荒漠交错带 Oasis-desert ecotone	—	自然状态 Natural background
新垦农田 NEF	—	—	—	5	绿洲-荒漠交错带 Oasis-desert ecotone	地下水 Groundwater	绿洲增长 Oasis growth
常规投入农田 NMF	21500	208	57	14	绿洲-荒漠交错带 Oasis-desert ecotone	地下水 Groundwater	绿洲增长 Oasis growth
高投入农田 HMF	30000	362	126	14	绿洲-荒漠交错带 Oasis-desert ecotone	地下水 Groundwater	绿洲增长 Oasis growth
绿洲内部农田 OIF	12776	171	120	> 100	绿洲内部 Oasis interior	策勒河水 Cele River	长期稳定 Relatively stable

CTP, control plot; NEF, new farmland; NMF, farmland with normal manure input; HMF, farmland with high manure input; OIF, oasis' interior farmland; TN, Total Nitrogen; TP, Total Phosphorus

2.1 土壤采样及分析

每年的9—10月份作物收割期间,对各样地的表层土壤(0—20cm)取样并进行土壤养分属性测定。于2005年开始取样,一共4a数据。每个样地至少随机选取6处进行取样,分析结果的平均值作为该样地的平均值。4年各土壤属性构成4个重复用来进行单因素方差分析(ANOVA),然后将4a的各土壤属性值再取平均值进行土壤质量指数计算。土壤养分指标包括土壤有机质(SOM),总氮(TN),总磷(TP),总钾(TK),有效氮(AN),有效磷(AP),有效钾(AK)。土壤属性测定见参考文献^[23]。2008年的各土壤样品同时进行土壤粒度测定,通过土壤粒径分布分维特征分析粒度变化状况。土壤粒度测定由马尔文激光粒度仪(MALVERN2000)实现。

2.2 土壤粒径分布分形维数

土壤粒径分布(particle size distribution,简称PSD)因为影响土壤的水力特性、肥力状况及土壤侵蚀等,是重要土壤物理特性之一,分形理论的运用是表征PSD的主要进展之一^[24]。土壤粒径分布遵循自相似原理,其分形维数可用如下公式表述^[25]:

$$\frac{V(r < R_i)}{V_T} = \left(\frac{R_i}{R_{\max}} \right)^{3-D} \quad (1)$$

式中, r 是粒径, R_i 表征粒径划分中第*i*级粒径, $V(r < R_i)$ 为粒径小于 R_i 的土壤颗粒体积, V_T 是土壤所有颗粒体积, $R_{\max}$ 是土壤颗粒中最大粒径, D 为分形维数。根据上式,两边取对数,通过对数曲线的拟合斜率可求得 D 值。

2.3 土壤质量指数(SQI)

共7个土壤属性,为了消除数据冗余,需要选取有代表性的指标进行土壤质量评价。本文选取常用的主成分分析(PCA)方法进行筛选^[26-27]。具体计算中,首先利用主成分分析,选取特征值变量大于1的主成分^[28-29];其次每个主成分中因子载荷值最大的变量被选取,同时其它变量如果其因子载荷值接近最高值(变化不超过10%)也被选取^[19];最后对被选取的变量进行Pearson相关分析,并计算相关系数和。相关系数和最大的被选取,因为能更好的代表其它指标;相关系数和最小的也被选取,因为其具有较强的独立性。如果两个都被选取的变量具有较强的相关性,因子载荷值低的变量被剔除^[30]。

选取的变量通过如下公式进行土壤质量综合指数计算:

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

式中, SQI 为土壤质量综合指数, W_i 为因子的权重系数, S_i 为各因子线性转换后重新被赋予的值。权重计算是根据主成分分析结果,首先利用因子载荷值除以该主成分特征根的平方根得到该变量对应的系数,然后利用该系数乘以该主成分的方差贡献率得到该变量在该主成分下的贡献率,最后将所有主成分中该指标的贡献率相加求和后除以累积方差贡献率得到该变量在所有主成分中的总权重; S_i 根据土壤属性因子值为“越多越好”或“越少越好”的原则进行排序,如果该属性因子值为“越多越好”,则用该属性各值分别除以最大值,以确定最大因子值被赋予“1”;相反则用该属性最小值除以各因子值,以确定最小因子值被赋予“1”。在本试验中,土壤属性均属于“越多越好”,采用其相应的方式进行因子赋值^[19]。

2.4 产量可持续指数(SYI)

产量可持续性指数(SYI)是从生产者这一角度测定系统是否能持续生产的一个可靠参数,SYI越大则系统的可持续性越好^[19]:

$$SYI = (\bar{Y} - \sigma) / Y_{\max} \quad (3)$$

式中, $\bar{Y}$ 为平均产量, σ 为标准差, $Y_{\max}$ 为最高产量。

2.5 统计分析

单因素方差分析(ANOVA)用来分析不同样地对土壤粒度、养分的影响,如果在 $P < 0.05$ 水平出现显著性差异,则利用最小显著性差异LSD(least significant difference)进行多重比较;其与主成分(PCA)及Pearson相

关分析一起均在 SPSS 软件中实现。

3 结果与讨论

3.1 结果

3.1.1 不同利用强度下农田土壤粒径分布分形维数、土壤养分变化

激光粒度仪器可对 0.2—2000 μm 的土壤粒度范围进行测试分析,但在本研究中发现土壤的粒度分布范围主要在 0.35—1000 μm 之间,因此对该范围内进行 64 级粒径划分并计算分维值。通过公式(1)可间接求出各样地土壤样品分维值(图 1)。NEF, CTP, NMF, HMF, OIF 样地的分维值 D 均值分别为 2.0351, 2.0986, 2.1662, 2.1744, 2.2299, D 值越高表明土壤粘粒、粉粒等细粒成分越多。各样地中, NEF 与 OIF 土壤粒径分布的分维值分别处于最低、最高水平。利用方差分析,结果表明除 HMF 与 NMF 之间 D 值无显著性差异外,各样地 D 值存在显著性差异($P < 0.01$)(图 1)。

土壤养分指标方面,通过 4a 试验数据分析显示不同农田对 SOM(sig = 0.01), 及 TN、TP、AP(sig = 0.05) 等属性具有显著性影响,而对 TK、AK 及 AN 没有出现显著性影响(表 2)。

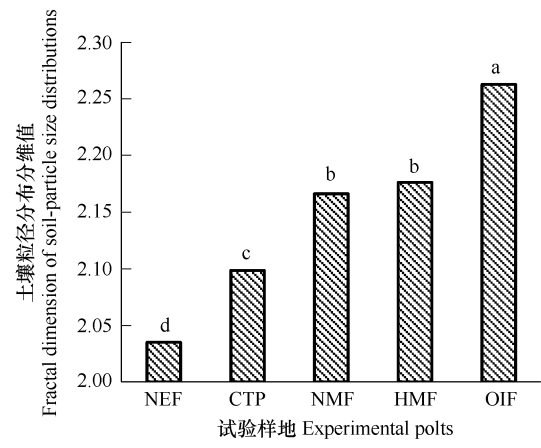


图 1 不样地土壤粒径分布分形维数

Fig. 1 The farctal dimensions of soil-particle distributions of experimental plots

不同小写字母表示在 0.01 水平存在显著差异

表 2 各样地土壤有机质、养分均值及方差分析

Table 2 Mean and ANOVA results of SOM and soil nutrients measured in different farmland uses

项目 Item	土壤有机质 SOM /(g/kg)	总氮 T N /(g/kg)	总磷 T P /(g/kg)	总钾 TK /(g/kg)	有效氮 A N /(mg/kg)	有效磷 A P /(mg/kg)	有效钾 A K /(mg/kg)
对照样地 CTP	2.22d	0.17c	0.54b	14.81a	25.94ab	2.75c	190.80a
新垦农田 NEF	2.53cd	0.18bc	0.51b	14.16a	16.34b	2.25c	121.04b
常规投入农田 NMF	4.32bc	0.31ab	0.63a	17.38a	26.81ab	12.51b	137.48b
高投入农田 HMF	5.98ab	0.33a	0.64a	17.02a	34.31a	28.73a	142.81b
绿洲内部农田 OIF	6.75a	0.41a	0.62a	17.54a	29.05ab	13.3b	133.37b
F	10.67**	5.74**	5.82*	1.41 ^{ns}	2.56 ^{ns}	9.86**	2.96 ^{ns}

每列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平存在显著差异; * 在 0.05 水平差异显著; ** 在 0.01 水平差异显著; ns 在 0.05 水平无显著差异; SOM, Soil Organic Matter; TN, Total Nitrogen; TP, Total Phosphorus; TK, Total Potassium; AN, Available Nitrogen; AP, Available Phosphorus; AK, Available Potassium

不同样地 SOM 含量排序为: OIF > HMF > NMF > NEF > CTP。多重比较结果显示绿洲内部农田(OIF)样地 SOM 明显高于其它样地,但同高投入农田(HMF)无显著性差异;同时新垦农田(NEF)与对照样地(CTP)也无显著性差异(表 2)。各样地 TN 排序与 SOM 相同,这可能是由于 SOM 对 TN 影响较大所致^[31],多重分析比较显示, OIF 与 HMF 显著高于 NEF 及 CTP,但常规投入农田(NMF)则与各样地无显著差异。TP 分析值显示 OIF、HMF 及 NMF 显著高于 NEF 及 CTP; AP 分析结果类似与 TP,不同的是其最高值出现在 HMF 样地,并与其它样地有显著差异(表 2)。

不同于 SOM, TN, TP, AP 指标, TK, AK 及 AN 指标在各样地分析中没有出现显著差异性。尽管如此, TK, AK 及 AN 的较高值仍然多出现于 OIF 或 HMF 样地中,而在 NEF 样地中则多为较低水平。同时,对照样地(CTP)并没有显示出处于最低值,其 AK 指标甚至是所有样地中显著高于其它样地。

3.1.2 土壤质量指数(SQI)

为选取具有代表性变量进行土壤质量指数计算,首先利用主成分分析方法(PCA)对 7 个土壤养分属性进

行筛选。通过分析,共有两个主成分特征值大于 1 且累积方差贡献率达到 92%(表 3)。在第一个主成分 PC1 中,TP 具有最高的因子载荷量,因此首先被选取。同时 SOM,TN,TK 也被选取,因为这几个因子载荷值与 TP 相差不超过 10%,因此首先选取该 4 个变量。

Pearson 相关分析及相关系数之和用来进一步对该四个变量进行筛选(表 3,表 4)。TP 具有最高因子载荷值,因此首先确定下来;TK 尽管具有最高的相关系数和(表 4),但与 TP 存在显著的相关性($r=0.97$),因此剔除;SOM 具有最低的相关系数之和因此也被确定下来,TN 由于同 SOM 具有显著的相关性($r=0.97$)因此也被剔除。第二主成分由于只有 AK 一个变量满足条件,直接选取。这样一共有 SOM,TP,AK 3 个指标用来进行土壤质量计算。3 个指标权重根据主成分结果(表 3)得到,分别为 0.308,0.357 及 0.07。

最终利用公式(1)得到各样地 *SQI* 值及排序如下:OIF(0.70) > HMF(0.68) > NMF(0.60) > CTP(0.47) > NEF(0.45)。图 1 反映了各样地 *SQI* 值及每个指标对 *SQI* 的贡献率。

3.1.3 产量可持续性指数(SYI)

SYI 反映了不同农田生产的可持续能力,根据 4a 各样地棉花产量数据利用公式(3)进行计算。结果值及其排序为:OIF(0.97) > NMF(0.47) > HMF(0.40) > NEF(0.18)。

表 3 针对土壤属性的主成分分析结果

Table 3 Results of the principal component analysis of the statistically significant soil quality indicators

项目 Item	第一主成分 Principal Component 1	第二主成分 Principal Component 2
特征值 Eigen value	5.198	1.248
方差贡献率/% variance contribution/%	74.252	17.830
累积方差贡献率/% Cumulative variance/%	74.252	92.082
土壤有机质 SOM	0.951 *	-0.172
总氮 TN	0.940 *	-0.202
总磷 TP	0.970 *	0.095
总钾 TK	0.954 *	-0.018
有效氮 AN	0.851	0.512
有效磷 AP	0.873	0.112
有效钾 AK	-0.270	0.945

* 权重较高、同对应主成份最高因子值相差小于 10% 的因子

表 4 基于高因子载荷值变量的 Person 相关分析

Table 4 Pearson's correlation coefficient and correlation sums for highly weighted variables with high factor loading under PC1

项目 Item	土壤有机质 SOM	总氮 TN	总磷 TP	总钾 TK
土壤有机质 SOM	1.000	0.974 **	0.851	0.880 *
总氮 TN	0.974 **	1.000	0.873	0.938 **
总磷 TP	0.851	0.873	1.000	0.971 **
总钾 TK	0.880 *	0.938 **	0.971 **	1.000
有效钾 AK	-0.394	-0.395	-0.179	-0.243
相关系数之和 Correlation sum	3.310	3.389	3.516	3.545

* 在 0.05 水平差异显著 $P<0.05$, ** 在 0.01 水平差异显著 $P<0.01$

3.2 讨论

3.2.1 不同利用强度农田对土壤粒径分维、养分影响

胡云峰对内蒙古不同土地利用类型土壤进行分维研究,指出土壤粒径分维值与植被覆盖度成正比,与风蚀强度成反比^[32]。本研究中也体现出相似规律,绿洲内部农田植被盖度高于绿洲边缘农田,因此对风蚀影响具有一定抵御性,其分维值也最高且与绿洲边缘各样地土壤粒径分维值存在显著差异。绿洲边缘 HMF 同 NMF 分维值虽无显著性差异,但 HMF 分维值高于 NMF 且二者均同 CTP 及 NEF 样地有显著性差别,而 NEF 农田则显著处于最低水平,这表明积极的管理利用方式会对土壤粒径分布产生积极的影响。

在土壤养分属性分析中,SOM、TN、TP、AP 在各样地中具有显著性差异,AN、TK、AK 则在各样地中没有体现出显著差异。数据显示 OIF 与 HMF 各指标均处于较高水平,而 NEF 则处于较低水平,且与 CTP 各指标均无显著性差别(表 2)。同样位于绿洲荒漠交错带的 NMF 及 HMF,虽然没有明显的统计意义上显著性差别,HMF 各土壤属性值要明显高于 NMF。这些结果表明肥料施入量会对土壤养分属性产生积极的作用。但位于

绿洲内部的 OIF 农田,其肥料施入量少于 HMF,但各养分指标值却又高于 HMF,表明各样地的肥料施入量与土壤养分水平并非一个简单线性关系,位置因素同样对土壤养分属性产生影响。位于绿洲内部或接近内部的农田,一方面其周围有着较高的植被覆盖率可以减轻风蚀因素的影响;另一方面,其灌溉水源主要来自于发源于昆仑山的策勒河流,每年洪水季节可以带来大量的黄土及养分,这些都对内部农田土壤属性起到积极作用。而绿洲边缘 NEF 代表的短期利用模式,尽管有一定灌溉管理,但对土壤粒径分布属性及养分属性方面,均不会产生积极的影响。

尽管绿洲内部农田相对有较高的土壤养分,但同中国其它地区相比^[33]仍然较低,尤其是 SOM 含量,这与严重的土壤侵蚀及很少的 C 输入有关。根据调查,农作物的残留物(如棉秆等)多数被当地农民用来饲养牲畜或作为燃料处理,很少有直接用来还田使用。因此增加肥料等外界物质投入量的同时,增加作物残留物还田将会对农田土壤属性起到积极改善作用。

3.2.2 不同利用强度利用下农田的土壤质量指数评价

基于土壤养分计算的土壤质量指数 *SQI*,其变化状况与土壤粒径分维值的变化相同,即 $OIF > HMF > NMF > CTP > NEF$ 。新垦农田(NEF)的土壤质量最低,说明该农田利用强度不利于土壤质量的维持及改善。从环境保护角度出发,应保持自然植被覆盖的初始状态。

然而,具有一定外界物质能量投入的 HMF 及 NMF 的 *SQI* 值却显示高于自然状态下的(CTP)土壤质量,说明这两种利用强度对荒漠土壤质量起到明显改善作用。这一结果不同于其它区域的研究结果,如在热带、温带及半干旱地区的研究表明:自然状态下的林地、灌木及草地利用类型在向农田利用类型的转换过程中,土壤养分及土壤质量会出现明显退化现象^[34-35,12],即农田利用类型的土壤质量水平在所有土地利用类型中处于最低水平。这可能是在这些地区,自然状态下土壤属性具有较高的本底值,而农田作为新的土地利用类型起到负面的干扰作用。相比之下在极端干旱气候背景下的荒漠土壤,作为脆弱的自然资源土壤本身就具有粗质地、低肥力、低 SOM 含量、低持水能力及易于受侵蚀的特点^[19],在大量的外界物质能量输入下将会对土壤属性及土壤质量产生积极影响。

但需要注意的是,针对土壤某一功能会产生正面作用,并不意味着对其它功能也会产生积极的影响^[36]。尽管 HMF 会明显的提高土壤养分含量,但其可持续生产能力却很低,其 *SYI*(0.40)甚至低于 NMF(0.47),表明其作物年产量变化较大,强力的风蚀作用可能是导致产量不稳定的一个重要原因;NMF 作物年产量差异性相对较小,可持续指数也高于 HMF,但其产量却始终处于一种低水平,因此也不是理想的可持续耕作模式;OIF 作物年产量变异不大且始终维持在高位水平,产量可持续性指数也处于最高位(0.97),表明具有最好的可持续生产能力;而相比之下,新垦农田(NEF)的可持续生产能力依然处于最低水平,其产量可持续性指数仅为 0.18。因此从土壤的可持续生产功能出发,在绿洲化进程中应该谨慎的在绿洲荒漠交错带开垦农田,而短期开发利用的方式必须减少甚至禁止。这也将有利于绿洲荒漠交错带地下水资源的保护,进而有利于该区域骆驼刺等当地植被的保护。

4 小结

在绿洲及绿洲化进程中,土地可持续利用及管理是一个必须面对的艰巨挑战。农田作为重要的土地利用类型,了解不同农田利用强度下对土壤各属性及土壤质量的影响不但有利于农田可持续管理及利用,同时有利于维护当地的生态环境。

通过 4a 对抽象出的典型不同利用强度下农田土壤属性及质量研究,那种短期的开垦方式必须有效控制,

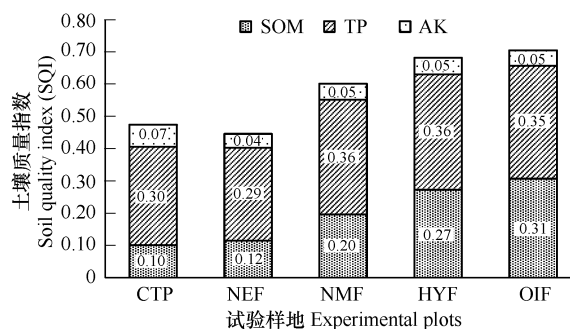


图2 不同样地土壤质量指数及各关键因子贡献值
Fig. 2 Soil quality indexes of experimental plots and the individual contribution of each of the key indicators

因为研究表明这种模式对荒漠土壤改良不仅没有积极的作用,甚至使原本脆弱的土壤资源出现退化,生产力也处于最低水平;而绿洲化进程中,对进行物质能量投入的农田管理模式也需要科学的认识,HMF 及 NMF 农田一方面有利于改善土壤质量,但另一方面其可持续生产能力较差,尽管对土壤有一定改良作用,代价是过量的地下水资源被消耗。在策勒绿洲荒漠交错带,地下水位平均在 15m 左右,部分地区已低于 30m,而骆驼刺的根系最深达到 30m,当地下水过多的消耗超过骆驼刺生长水位时,会对其生长产生毁灭性的影响^[37]。因此,在绿洲化进程中开垦农田应采取科学谨慎的态度,在充分考虑水资源可持续利用基础上,采用合理的农田管理方式,如增加周围植被覆盖率、进行合理肥料投入等等。在所有的评价中,绿洲内部农田(OIF)几乎都处于最高水平,这部分农田是绿洲最重要的部分,因此必须加强保护并合理利用,同时应在长期使用中增强 C 施入水平防止出现土壤退化。

References:

- [1] Glanz J T. Saving Our Soil: Solutions for Sustaining Earth's Vital Resource. JohnsonBooks, Boulder, CO, 1995.
- [2] Larson W E, Pierce F J. Conservation and enhancement of soil quality, in evaluation for sustainable land management in the developing world. Bangkok, Thailand. International Board for Soil Research and Management. IBSRAM Proceedings, 1991.
- [3] Doran J W, Parkin T B. Defining and assessing soil quality//Doran J W eds. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Spec. Publ. 35. ASA, Madison, WI, 1994, 3-21.
- [4] Karlen D L, Mausbach M J, Doran, J W, Cline R G, Harris R F, Schuman G E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997 (61): 4-10.
- [5] Mausbach M J, Seybold C A. Assessment of soil quality//Lal, R. ed. Soil Quality and Sustainability. Ann Harbor Press, Chelsea, 1998, 33-43.
- [6] Doran J W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002 (88): 119-127.
- [7] Doran J W, Coleman D C, Bezdicek D F, Stewart B A. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc, Madison, WI, USA, Special publication 35, 1994: 53-72.
- [8] Jeffrey E H. Soil quality: an indicator of sustainable land management?. Applied Soil Ecology, 2000 (15): 75-83.
- [9] Tuner M G. The effect of pattern on process. Annual revue of ecology and systematics. Landscape Ecology, 1989 (20): 171-197.
- [10] Fu B J, Chen L D, Ma K M, Zhou H F, Wang J. the relationships between land use and soil conditions in the northern Shanxi, China. Catena, 2000 (39): 69-78.
- [11] Priess J A, Koning D, Veldkamp A. Assessment of interactions between land use change and carbon and nutrient fluxes in Ecuador. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2001 (85): 269-279.
- [12] Lepsch I F, Menk J R F, Oliveira J B. Carbon storage and other properties of soils under agriculture and natural vegetation in Sao Paulo State, Brazil. Soil Use Management, 1994 (10): 34-42.
- [13] Hontoria C, Rodrm H, Murillo J C, Saa A. Relationships between soil organic carbon site charactresistics in Peninsular Spain. Soil Science Society of America Journal, 1999 (63): 614-621.
- [14] Ovalles F A, Collins M E. Soil-landscape relationships and soil variability in north central Florida. Soil Science Society of America Journal, 1986 (50): 401-408.
- [15] Miller P M, Singer M J, Nielsen, D R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. Soil Science Society of America Journal, 1988 (52): 1133-1141.
- [16] Bhatti A U, Mulla D J, Frasier B E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. Remote Sensing of Environment, 1991 (37): 181-191.
- [17] Liu S L, Guo X D, Fu B J, Liang G, Wang J. The effect of environmental variables on soil characteristics at different scales in the transition zone of the Loess Plateau in China. Soil Use and Management, 2007 (23): 92-99.
- [18] Kosmas C, Gerontidis S, Marathanou M. The effect of land use change on soils and vegetation over various lithological formations on Lesvos (Greece). Catena, 2000 (40): 51-68.
- [19] Sharma K L, Mandal U K. Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. Soil & Tillage Research, 2005 (83): 246-259.
- [20] Hu R J, Fan Z L. Assessment about the Impact of Climate Change on Enviroment in Xinjiang Since Recent 50 Years. Arid Land Geography. 2001, 24 (2): 97-103.
- [21] Wang J W. Oasis, oasis making and oasis construction. Journal of Arid Land Resources and Environment, 1995, 9 (3): 1-12.

- [22] Wang X Z, Ge J P. Dynamic Changes of the Qira oasis over a 40 year period. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28 (3): 369-375.
- [23] Liu G S. Soil Physical and Chemical Analysis Description of Soil profile. Beijing: Standard Press of China, 1996: 50-112.
- [24] Wang D, Fu B J, Chen L D, Zhao W W, Wang Y F. Fractal analysis on soil particle size distributions under different land-use types: a case study in the loess hilly areas of the Loess Plateau, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (7): 3081-3089.
- [25] Tyler S W, Wheatcraft S W. Fractal scaling of soil particle size distributions: analysis and Limitations. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56: 362-369.
- [26] Andrews S S, Mitchell J P, Mancinelli R, Karlen D L, Hartz T K. On farm assessment of soil quality in California's Central Valley. *Agronomy Journal*, 2002, 94: 12-23.
- [27] Shukla M K, Lal R, Ebinger M. Soil quality indicators for reclaimed mine soils in southeastern Ohio. *Soil Science*, 2004, 169 (2): 133-141.
- [28] Brejda J J, Moorman T B, Karlen D L, Dao T H. Identification of regional soil quality factors and indicators. I. Central and Southern High Plains. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64: 2115-2124.
- [29] Wander M M, Bollero G A. Soil quality assessment of tillage impacts on Illinois. *Soil Science Society of America Journal*, 1999 (63): 961-971.
- [30] Andrews S S, Carroll C R. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Journal of Applied Ecology*, 2001 (11): 1573-1585.
- [31] Brubaker S C, Jones A J, Lewis D T, Frang K. Soil properties associated with landscape positions. *Soil Science Society of America Journal*, 1993 (57): 235-239.
- [32] Hu Y F, Liu J Y, Zhuang D F, Cao H X, Yang H M. Fractal dimension of soil particle size distribution under different land use/land coverage. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42 (2): 36-339.
- [33] Zheng J Y, Wu R J, Zhai L N. Distribution of soil fertility in Zhifang gully watershed of the loess hilly region. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1996, 16 (4): 26-30.
- [34] Davidson E A, Ackerman I L. Changes of soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry*, 1993, 20: 161-193.
- [35] Wang J, Fu B J, Qiu Y, Cheng L D. Analysis on soil nutrient characteristics for sustainable land use in Danangou catchment of the Loess Plateau, China. *Catena*, 2003, 54: 17-29.
- [36] Nortcliff S. Standardization of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2002, 88: 161-168.
- [37] Zeng F J, Zhang X M, Li X M. Study on the characteristics of alhagi and its impact on resource protection and development. *Arid Land Geography*, 2002, 25 (3): 286-288.

参考文献:

- [20] 胡汝骥, 樊自立. 近 50 年新疆气候变化对环境影响的评估. *干旱区地理*, 2001, 24(2): 97-103.
- [21] 汪久文. 论绿洲、绿洲化过程与绿洲建设. *干旱区资源与环境*, 1995, 9 (3): 1-12.
- [22] 王兮之, 葛建平. 40 多年来塔南策勒绿洲动态变化研究. *植物生态学报*, 2004, 28(3): 369-375.
- [23] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996: 50-112.
- [24] 王德, 傅伯杰, 陈力顶, 赵文武, 汪亚峰. 不同土地利用类型下土壤粒径分形分析——以黄土丘陵沟壑区为例. *生态学报*, 2007, 27 (7): 3081-3089.
- [32] 胡云锋, 刘纪远, 庄大方, 曹红霞, 闫慧敏. 不同土地利用/土地覆盖下土壤粒径分布的分维特征. *土壤学报*, 2005, 42 (2): 36-339.
- [33] 郑剑英, 吴瑞俊, 翟连宁. 黄土丘陵沟壑区小流域土壤养分的分布特征. *水土保持通报*, 1996, 16 (4): 26-30.
- [37] 曾凡江, 张希明, 李小明. 骆驼刺植被及其资源保护与开发的意义. *干旱区地理*, 2002, 25 (3): 286-288.