

扬黄灌区土壤质量早期变化的综合评价与分析

曲文杰, 宋乃平, 杨新国

(宁夏大学西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地, 宁夏 银川 750021)

摘 要: 以 12 个直接变量和 3 个间接变量为土壤质量评价指标体系, 采用土壤质量指数法, 对宁夏红寺堡扬黄灌区绿洲农田土壤质量早期动态变化进行了综合评价与分析。研究表明: 在 0~9 年间, 不同土壤变量的变化趋势不尽相同, 其中土壤总有机碳从 $1.42 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增长到 $4.48 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 活性有机碳从 $0.31 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增长到 $1.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 阳离子交换量从 $4.30 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增长到 $7.65 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 钙磷比从 4.13 增长到 12.46, 粉粒含量从 10.32% 增长到 20.50%, 粘粒含量从 15.09% 增长到 34.73%, 都呈显著的单调线性增长趋势; 而可溶性总盐从 $1.20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降低到 $0.49 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 砂粒从 74.60% 降低到 44.77%, 呈显著的单调下降趋势; 其他变量则表现出波动变化或相对稳定的格局。主成分分析把 12 个土壤变量归为土壤肥力和土壤离子环境两个主成分, 在此基础上构建的土壤质量指数 0~9 年间的变化呈现出典型的 S 型增长曲线格局, 其中钙磷比、CEC、总有机碳的动态与土壤质量指数变化最为相似。

关键词: 土壤质量动态变化; 综合评价; 扬黄灌区; 绿洲农田

中图分类号: S153 文献标志码: A

Assessment and analysis of early dynamic changes of cropland soil quality in Yanghuang irrigated area in Ningxia

QU Wen-jie, SONG Nai-ping, YANG Xin-guo

(State key Laboratory Breeding Base of Land Degradation and Ecological Restoration in North-western China, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: This research was implemented to acknowledge thoroughly the early dynamics, characteristics and driving processes of soil quality in Yanghuang irrigation oasis farmland of northwest China, searching for a proper way in comprehensively assessing the soil quality and providing a theoretical basis for the healthy and sustainable utilization of soil in the irrigated area. The soil quality index method was employed using soil quality evaluation index system including 12 direct variables and three indirect variables. Our research showed that within 0~9 years, the trends of different soil variables varied, including soil organic carbon (from $1.42 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $4.48 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), active organic carbon (from $0.31 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $1.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), cation exchange capacity (from $4.30 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $7.65 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$), calcium and phosphorus ratio (from 4.13 to 12.46), silt (from 10.32% to 20.50%) and clay content (from 15.09% to 34.73%). All these variables displayed an increasing tendency. However, total soluble salt (from $1.20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $0.49 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), sand (from 74.60% to 44.77%) tended to become declined sharply, while other variables were relatively stable or fluctuated. A Principal component analysis had classified 12 variables into two main groups as the soil fertility and the soil ion environment. Based on this, soil quality indexes changes showed a typical S-shaped curve pattern within 0~9 years, among which the dynamics of phosphorus ratio, CEC, total organic carbon and the changes of soil quality were mostly similar.

Keywords: Soil quality change; Comprehensive assessment; Yellow River irrigation area; Oasis farmland

扬黄灌区建设是宁夏中部地区近几十年来较为重大的土地利用变化形式之一。从早先的退化荒漠草原到灌溉农田, 土壤质量所发生的改变, 是影响甚至决定灌区土壤健康与可持续生产的关键因素^[1-2]。在干旱地区, 灌区开发早期土壤主要养分因子往往会出现较为快速而显著的增长或下降趋

收稿日期: 2014-05-27
基金项目: 国家自然科学基金(41101301); 973 前期专项(2012CB723206)
作者简介: 曲文杰(1982—), 女, 山东龙口人, 在读硕士研究生, 研究方向为草地生态与恢复重建。E-mail: wenjiequ2012@163.com。
通信作者: 杨新国(1976—), 男, 山东肥城人, 副研究员, 主要从事农业生态与生态恢复方面的研究。E-mail: xinguoyang1976@163.com。

势,这一周期大体在 5~10 年左右,之后通常会转入一个较为平缓的发展阶段^[3-4]。因此,土壤早期变化研究是认识和把握灌区土壤质量演变格局的关键环节。土壤质量评价涉及土壤肥力、土壤环境和土壤健康等方面的诸多指标^[5],指标间关系错综复杂^[6],其定量评价方法至今也没有一个公认的标准^[7-8]。因此,土壤质量评价的方法与指标体系依然需要数据和研究案例的不断积累。宁夏扬黄灌区的以往相关研究在土壤养分^[9-10]、土壤盐渍化^[10-11]、土壤沙化^[12]、土壤沙化和盐渍化的相互关系^[13]等方面开展了一些工作,在土壤养分条件的改善、土壤次生退化方面形成了一些共性认识,但是对灌区早期土壤质量变化的趋势并没有一个量化的综合性评价和统一的认识。土壤生产力和缓冲净化能力是反映土壤质量的两个关键要素,量化的土壤质量评价指标的选取要充分结合上述两个要素,针对研究对象的特殊性和一般性,设计评价指标体系和方法^[14-15]。就本研究所涉及的宁夏中部扬黄灌区而言,开发前普遍处于一种严重退化的荒漠草原植被与土壤状态(以沙化为主要表现形式),结合干旱区灌区开发所面临的一般性问题^[3-4,16]和荒漠草原地带性灰钙土的特殊属性^[17-19],如何维护土壤原始肥力并有效培肥地力,防治大面积次生沙化和盐渍化问题的出现,是灌区土壤健康维护与土壤质量评价的关键目标所在。鉴于研究区以往研究多局限于单个指标或某个方向的土壤变化规律研究,对土壤质量的整体认识不足,本研究从土壤物理、化学与生物学属性角度,选取了 12 个直接变量和 3 个间接变量,作为土壤质量评价指标体系,采用当前应用较多的土壤质量指数法,并加以改进,对宁夏红寺堡扬黄灌区绿洲农田土壤质量早期动态变化进行了综合分析评价。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

宁夏红寺堡扬黄灌区始建于 1998 年,已开发灌溉耕地面积 $2.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中玉米种植 $1.0 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。灌区地处宁夏中部干旱带荒漠草原区,主要区域为罗山、烟筒山和牛首山之间的盆地和苦水河与甜水河所形成的冲积平原,海拔 1 240~1 450 m。土壤类型主要为淡灰钙土和风沙土,土壤基础肥力十分低下。该区多年平均降水量 250 mm,其中 7—9 月降水量占全年降水量的 50%~62%。多年平均水面蒸发量 2 325 mm。

1.2 样地设置与取样方法

取样地位于红寺堡镇光彩新村,主要种植玉米、枸杞等作物。玉米地 1 年灌 4 水,第 1 水(春灌)3 月中旬,第 2 水 4 月中旬,第 3 水 6 月 20 日前后,第 4 水 8 月 15 日左右。玉米一次灌水 $15\ 00 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。1 年施肥 2 次,年用量二胺 $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、尿素 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,无有机粪肥投入。一般情况下,连续种 2~3 年玉米后,倒茬种 1~2 年的糜子、向日葵等。

2012 年 7 月中旬,在农户调查访谈基础上,在光彩新村地势平坦、农田集中连片的地段,随机选择种植年限为 3、6 年和 9 年玉米地,以临近沙荒地(利用年限界定为 0 年)为对照,构成样地体系。对照样地土壤沙化明显,植被盖度较低,以沙蒿、铁杆蒿、芨芨草、苦豆子为主。每个年限样地随机选取三个取样地块作为重复,地块内按“S”形 5 点采样法取 0~40 cm 耕作层混合土壤样品。

1.3 土壤质量评价指标体系与分析计算方法

根据土壤质量评价所涉及的土壤物理、化学与生物等方面的内容,选取了 12 个直接指标和 3 个间接指标,构成评价指标体系。文中所涉及土壤质量指标的英文缩写、计量单位如下:活性有机碳(LOC, $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、总有机碳(SOC, $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、有效磷(AP, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、阳离子交换量(CEC, $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)、碳酸钙(CaCO_3 , $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、pH 值(pH)、全盐(TS, $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、总碱度(TB, $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、钠吸附比(SAR)、砂粒(Sand, %)、粉粒(Silt, %)、粘粒(Clay, %);土壤物理稳定性指数(St),土壤有机碳稳定性指数(Sc),钙磷比(Ca/P , 10^3)。

采集的土样室内自然风干,磨碎,过 1 mm 筛,按水土比 5:1 配制土壤浸提液,测定各种盐离子浓度^[20],其中碳酸根离子和重碳酸根离子采用双指示剂—中和滴定法;钙和镁用 EDTA 滴定法;钠离子用火焰光度计法测定。另外,土壤机械组成采用吸管法测定;土壤有机碳含量采用重铬酸钾氧化—外加热法测定;易氧化有机碳(LOC)含量采用 $333 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 高锰酸钾氧化法测定;CEC 采用乙酸钠—火焰光度法;pH 值采用电位法;有效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法。全盐采用电导法。

总碱度、钠吸附比、土壤物理稳定性指数、土壤有机碳稳定性指数、钙磷比的计算公式分别如下:

$$\text{总碱度}(\text{TB}, \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}) = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$$

$$\text{钠吸附比}(\text{SAR}) = [\text{Na}^+] / [(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2]^{1/2}$$

$$\text{土壤物理稳定性指数}^{[21]}(\text{St}) = \text{SOC} \times 1.724 \times 100 / (\text{Silt} + \text{Clay})$$

土壤有机碳稳定性指数(Sc) = SOC/LOC

钙磷比(Ca/P) = $CaCO_3/AP$

1.4 数据统计与分析

采用 SPSS17.0 软件进行数据统计分析和作图,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小差异显著法(LSD)分析各变量在年限间的差异显著性($P=0.05$)。采用 person 两两相关分析(two-tailed)分析不同指标间的相关性($P=0.05$; $p=0.01$);采用主成分分析对土壤变量进行降维简化处理,并为土壤质量变化的典型变量评价和每个土壤变量的指标权重提供赋值依据。

在相对土壤质量指数法^[22]基础上,加以改进,进行土壤质量动态的综合评价。首先对每个土壤指标进行最大值极化处理,全部转换为 0~1 之间的数值,按二进制将其划分为 5 个等级,指标值(I_i)分别赋予 5,4,3,2,1;其次基于主成分分析,用每个指标所属主成分的载荷系数与主成分方差贡献率的乘积之和作为指标权重(W_i)。土壤质量指数的计算公

式如下:

$$SQI = \sum (W_i \times I_i)$$

2 结果与分析

2.1 0~9 年间不同土壤指标的动态变化格局

灌区开发早期,伴随种植年限的延长,不同土壤指标动态变化格局不尽相同(表 1 和表 2)。其中活性有机碳、总有机碳、阳离子交换量、钙磷比、碳酸钙、粉粒和粘粒含量表现出持续增长的格局。可溶性总盐、砂粒含量则呈现出持续的下降格局。有效磷、土壤有机碳稳定性指数、钠吸附比、总碱度的波动变化格局显著。pH 值在 0~9 年间保持稳定,土壤物理稳定性指数在 0~6 年间保持稳定,但在 6~9 年突然显著升高。可以看出,灌区早期土壤质量的变化是以土壤肥力质量的持续改善和土壤盐碱离子环境质量的波动为主要特征,但不同指标在土壤质量变化中的贡献不尽相同,相互关系也较为复杂。

表 1 土壤有机碳、有效磷与综合性指标的动态变化
Table 1 Dynamics of soil organic carbon, phosphorus and comprehensive indexes

年限/a Year	LOC /(g·kg ⁻¹)	SOC /(g·kg ⁻¹)	Sc	AP /(mg·kg ⁻¹)	CEC /(cmol·kg ⁻¹)	Ca/P	St
0	0.31a	1.42a	4.67a	8.02a	4.30a	4.13 × 10 ³ a	96.39a
3	0.54b	1.48a	2.78b	5.21b	5.79b	7.08 × 10 ³ b	85.04a
6	0.52b	2.51b	4.82a	10.78c	7.09c	7.93 × 10 ³ b	82.55a
9	1.00c	4.48c	4.50a	7.87a	7.65c	12.46 × 10 ³ c	140.35b

注:不同小写字母代表同一指标不同年限间差异显著($P<0.05$)。下同。
Note: Different lowercase letters represent that the same index was significantly different between different years ($P<0.05$). The same below.

表 2 土壤物理与化学指标的动态变化
Table 2 Dynamics of soil physical and chemical indexes

年限/a Year	CaCO ₃ /(g·kg ⁻¹)	pH	TS /(g·kg ⁻¹)	TB /(g·kg ⁻¹)	SAR	Sand /%	Silt /%	Clay /%
0	32.20a	9.06a	1.20a	0.18a	0.60a	74.60a	15.09a	10.32a
3	36.82a	9.10a	1.07ab	0.36b	1.57b	69.76b	16.96a	13.28a
6	85.21b	8.98a	0.70ab	0.26c	0.64a	47.39c	32.03b	20.57b
9	97.98c	8.93a	0.49b	0.32d	0.34a	44.77c	34.73b	20.50b

从单一指标的信息涵盖能力角度,从 15 个指标中提取土壤物理稳定性、阳离子交换量、钙磷比、可溶性总盐、总碱度作为典型变量,综合分析其变化规律与相互关系。

首先,上述 5 个指标间的 person 两两相关分析结果表明,钙磷比与其他 4 个指标呈显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)相关,CEC 与总盐呈显著负相关($r=-0.615$, $P<0.05$),其余指标间的相关性并不显著($P>0.05$)。钙磷比在灌区早期土壤质

量变化中可能具有较强的概括指示作用。
其次,就各典型变量的变化趋势而言(表 1),首先,钙磷比 0~9 年间由 4.13 上升到 12.46,增幅达 201.7%,但是在 3~6 年间碳酸钙和有效磷出现阶段性的同步变化,钙磷比维持在 7.08~7.93 之间,保持相对稳定($P>0.05$);0~3 年间钙磷比的显著增长由有效磷的下降(降幅 35.0%, $P<0.05$)所主导,而 6~9 年间钙磷比的显著增长则由有效磷的降低(降幅 27%, $P<0.05$)和碳酸钙的上升(增幅

15.0%, $P < 0.05$)共同推动。CEC 所表现的增长趋势与钙磷比有所不同,在 0~6 年间维持线性增长趋势,累积增幅 64.9% ($P < 0.05$),但 6~9 年间增幅只有 7.9%,且不显著($P > 0.05$)。全盐平均含量 0~9 年间表现出全局性下降趋势(累积降幅 59.2%, $P < 0.05$),但 0~6 年间耕作层土壤中可溶性全盐的变异程度较大(含量均值 $1.2 \sim 0.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,标准差 $0.32 \sim 0.41 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),尽管平均降幅达 41.7%,变化并不显著($P > 0.05$)。

与上述三个变量相对单一的变化趋势不同,总碱度和土壤物理稳定性指数的变化较为复杂。首先总碱度表现出典型的波动变化格局,就平均含量大小而言,3 年($0.36 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)>9 年($0.32 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)>6 年($0.26 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)>0 年($0.18 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),且相邻年限间差异都达显著水平($P < 0.05$)。土壤物理稳定性指数则表现出先下降(0~6 年间,降幅 14.4%, $P > 0.05$)后上升(6~9 年间,增幅 70.0%, $P < 0.05$)的变化格局。

2.2 12 个土壤指标的主成分分析

不包括钙磷比、土壤有机碳稳定性指数和土壤物理稳定性指数 3 个综合性指标,主成分分析把其他 12 个土壤指标归纳为 2 个主成分,其中第一主成分的方差贡献率 62.5%,前两个主成分累积贡献率 80.8%。如表 3 所示,第一主成分主要由碳酸钙(0.987)、粉粒(0.978)、砂粒(-0.974)、阳离子交换量(0.923)、总有机碳(0.905)、粘粒(0.891)、活性有机碳(0.815)、总盐(-0.801)构成,综合反映了土壤

的保肥、供肥和缓冲能力等肥力质量特征。第二主成分主要由总碱度(0.895)、有效磷(-0.758)、钠吸附比(0.641)构成,综合反映了以可溶性盐碱离子为主要内涵的土壤环境质量特征。

表 3 主成分分析系数矩阵			
Table 3 Coefficient matrix on principal components			
指标 Index	主成分 Component		
	1	2	
LOC	0.815	0.412	
SOC	0.905	0.107	
AP	0.487	-0.758	
CEC	0.923	0.296	
CaCO ₃	0.987	-0.035	
pH	-0.508	0.329	
TS	-0.801	0.110	
TB	0.294	0.895	
SAR	-0.523	0.641	
Sand	-0.974	0.004	
Silt	0.978	-0.062	
Clay	0.891	0.102	

2.3 土壤质量变化的综合评价

表 4 是根据主成分分析,对 12 个直接变量的权重赋值结果。按权重大小排序,CEC>CaCO₃>Silt>SOC≈LOC>Clay>0.5>TB>AP>0>SAR>pH> -0.4 >TS>Sand;这种赋值结果基本符合各自变量在土壤质量变化中所起到的作用大小与方向。

表 4 各指标权重的综合赋值												
Table 4 Comprehensive weights of each index												
指标 Index	LOC	SOC	AP	CEC	CaCO ₃	pH	TS	TB	SAR	Sand	Silt	Clay
权重 Weight	0.585	0.585	0.166	0.631	0.611	-0.257	-0.481	0.347	-0.21	-0.608	0.6	0.576

基于 12 个变量的等级化赋值与权重大小,对 0~9 年间土壤质量指数动态加以分析。结果表明(表 5),0~9 年间土壤质量指数大小由 3.12 增加到 15.56,累计增幅达 398.7%,但各阶段的增幅并不同,

表 5 土壤质量指数的动态变化				
Table 5 Dynamic changes of soil quality index				
年限/a Year	均值 Mean	标准差 Std. deviation	最小值 Minimum	最大值 Maximum
0	3.12a	0.39	2.77	3.53
3	5.14b	1.19	3.89	6.24
6	11.55c	1.23	10.59	12.94
9	15.56d	0.47	15.14	16.06

其中 0~3 年增幅为 67.4%,3~6 年增幅 163.6%,6~9 年增幅 34.7%。土壤质量指数呈现一种典型的 S 型增长曲线格局($y = 0.4968x^2 + 1.889x + 0.392$, $R^2 = 0.9768$)。

3 讨论与结论

适宜土壤质量指标的选取是土壤质量评价的关键^[7-8,14-15],针对研究对象的特殊性和一般性,本研究分土壤肥力指标(总有机碳、活性有机碳、有效磷、颗粒组成、阳离子交换量)、土壤盐碱离子环境指标(含盐量、总碱度、钠吸附比、pH 值)和综合性指标(土壤物理稳定性、钙磷比、有机碳化学稳定性)三个层面,构建了一个初步的土壤质量评价指标体系。

并结合沙化灰钙土开发利用方式,在常规指标基础上,加入了一个碳酸钙指标,并衍生出钙磷比指标。初步分析结果表明,这种评价指标体系的选择抓住了宁夏扬黄灌区土壤质量早期变化的一些关键要素,土壤质量变化趋势与相关研究也基本符合^[1,3-4,9,23]。同时,本研究中土壤质量指数表现出的S型增长曲线格局,在乌兰布和沙区人工绿洲土壤全磷、速效钾动态的长期定位研究上也有所体现^[24];灌区开发早期一些内外因素对农田土壤质量的交叉驱动与土壤因子间的相互作用,可能是上述变化格局形成的推动因素。这种S型增长曲线与生态学上种群增长和环境容量间动态关系格局相类似,其是否也具有相类似的生态学机理,或者说土壤质量变化是否也存在一种环境容量的约束,值得深入研究。

土壤中的碳酸钙对土壤的结构稳定性、导水性、土壤腐殖质的稳定性、土壤的缓冲性能、土壤化学反应等起着关键性的作用^[17],土壤碳酸钙与有机质含量也存在一定的正相关关系^[25],因此以碳酸钙含量大小为标志的土壤类型的转变,应该是灌区土壤肥力质量得以快速改善的一个重要的直接驱动因素;而扬黄灌溉水源的粘粒输入^[1]、一定的秸秆和化学肥料投入^[9,26-27]等则是一些重要的外部性驱动因素。土壤物理稳定性指数在0~9年间发生的突变以及土壤有机碳化学稳定性指数的相对稳定,表明土壤有机碳的来源^[27]相对单一而稳定,同时伴随利用垦殖年限的延长,有机碳的保存方式^[28]可能发生了改变,这也可能是土壤有机碳含量得以持续提高、农田土壤质量不断改善的一个内在机制。相对而言,耕作和灌溉可能引起的土壤沙化和盐渍化等次生退化问题^[11-13,16,29],当前尚未对土壤质量的改善构成明显的阻力。鉴于本研究中土壤有机碳和土壤全盐含量所表现出的截然相反的变化趋势,除灌溉的直接脱盐效应外,可以认为土壤有机碳在土壤盐渍化的逆向演替中^[30]也可能发挥了一定的作用。

碳酸钙含量的增加,往往会导致土壤中有效磷含量的降低,从而影响一些磷贫瘠土壤的养分供给能力^[17,31-32];土壤中有有机质的积累过程也是影响有效磷含量的一个重要因素^[33-34]。本研究中,荒漠草原绿洲农田土壤有效磷的早期变化相对荒漠绿洲系统^[24]要更为复杂,其所呈现出的波动变化格局,可能受到了有机碳的正向作用和碳酸钙的负向作用的共同驱动,以及有效磷的自然流失与人为补充等过程的影响;另外,有效磷的这种变化周期与当地较为普遍存在的倒茬养地行为基本吻合,说明在当地

集约种植玉米导致的地力阶段性衰退与土壤有效磷含量的下降存在一定的关系,同时在玉米种植持续利用方式下,负向驱动因子的作用更为突出。结合相关因子的变化格局,可以初步推断,0~3年间有效磷的下降可能主要与作物吸收流失过程有关,3~6年间有机碳的正向作用开始显现,6~9年间碳酸钙的负面效应更加显现。

土壤碳酸钙的变化一般是一个长期的过程,本研究中其表现的相对快速的变化与特殊的沙化灰钙土背景和农田土壤管理实践有关,包括开发初期的推沙整地、早期的表层土壤沙化和后期持续的土壤耕翻作业等,因此碳酸钙的变化主要是人为驱动的结果,这与有效磷的驱动因素有所区别。Ca/P相对简单的变化趋势正是上述决定有效磷动态的内在因子(生态学过程)和碳酸钙动态的外部因子(人为干扰过程)相叠加的结果,只是碳酸钙的相对变化幅度要更大一些,掩盖了有效磷的波动变化。在本研究中,钙磷比作为指示土壤类型转换与关键限制性养分因子活性的综合指标,与土壤物理稳定性、阳离子交换量、总碱度和全盐表现出显著的正或负相关性,鉴于上述指标对土壤质量的综合概括能力较强,钙磷比在研究区早期土壤质量演变中可能具有枢纽性的指示作用,但是其机理有待进一步的研究。

CEC是衡量土壤肥力的主要指标,能直接反映土壤保肥、供肥性能和缓冲能力,是土壤改良和合理施肥的重要依据^[35-36]。CEC对土壤环境和肥力状况的综合指示能力,与土壤自身的一些属性范围有关,其有效性可能因为土壤质地构成和酸碱环境发生较大的变化^[37]。相对盐离子的来源供给,土壤质地以及土壤有机质是影响CEC的更为重要的因子^[38],本研究中总盐含量的变化趋势及其与CEC的负相关关系,说明总盐含量可能更多受管理因素,如灌溉脱盐的影响,同时影响可溶性盐离子与可交换阳离子迁移的过程也不尽一致,粘粒含量和有机碳的增加对可交换阳离子的影响可能更为突出。总之,CEC与土壤有机碳、粘粒和粉粒含量较好的关联变化格局,说明其对土壤肥力质量变化具有较好的指示性,也是驱动研究区土壤质量早期变化的一个重要内在因素。

宁夏扬黄灌区农田土壤质量早期变化的基本脉络表现为,首先以土壤中碳酸钙含量的显著提高为标志,土壤类型由覆沙灰钙土向典型灰钙土转变;其次,以土壤有机碳、粘粒和粉粒含量、CEC含量显著改善为标志,土壤肥力质量在短期内得以快速提升;但是,以土壤总碱度以及钠吸附比等为标志,土壤盐

碱环境质量出现明显的波动变化趋势。土壤肥力质量指标依然是指示早期土壤质量变化的关键因子,钙磷比则在研究区早期土壤质量演变中可能具有枢纽性的指示作用。

参 考 文 献:

- [1] 虞江萍,文云朝,汪一鸣,等.宁夏扬黄灌溉对土壤环境的影响[J].地理科学进展,2000,19(3):279-284.
- [2] 姜 勇,庄秋丽,梁文举.农田生态系统土壤有机碳库及其影响因子[J].生态学杂志,2007,26(2):278-285.
- [3] 雷春英,田长彦.干旱区荒漠新垦土地土壤有机碳含量特征[J].干旱区资源与环境,2008,22(6):105-110.
- [4] 徐万里,唐光木,盛建东,等.垦殖对新疆绿洲农田土壤有机碳组分及团聚体稳定性的影响[J].生态学报,2010,30(7):1773-1779.
- [5] Doran J W, Parkin T B. Defining and assessing soil quality. In : Doran J W, Coleman D C, Bezdicek D F, et al. eds. Defining soil quality for a sustainable environment[M]. Madison: Soil Society of America Special Publication, 1994:3-21.
- [6] 刘占锋,傅伯杰,刘国华,等.土壤质量与土壤质量指标及其评价[J].生态学报,2006,26(3):901-913.
- [7] Douglas L K, Craig A D, Susan S A. Soil quality: why and how? [J] Geoderma, 2003,114:145-156.
- [8] Karlen D L, Tomer M D, Neppel J. A preliminary watershed scale soil quality assessment in north central Iowa, USA[J]. Soil & Tillage Research, 2008,99:291-299.
- [9] 陈留美.新垦淡灰钙土土壤肥力质量演变及磷素形态转化的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2006.
- [10] 马玉兰,金国柱,赵 春.宁夏中低产田改造区土壤动态变化规律的研究[J].宁夏农林科技,2000,5:1-3.
- [11] 桂林国,孙丽萍.宁夏红寺堡灌区土壤盐渍化现状及防治对策[J].宁夏农林科技,2005,1:42.
- [12] 靳敏生.宁夏红寺堡灌区土壤沙化治理的措施与实践[J].农业科学研究,2005,26(2):51-52.
- [13] 杨新国,宋乃平.宁夏红寺堡灌黄灌区土壤沙化和盐渍化及其相互关系[J].应用生态学报,2011,22(9):2265-2271.
- [14] Masto R E, Chhonkar P K, Singh D. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilisation and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2008,136(2):419-435.
- [15] 张汪寿,李晓秀,黄文江,等.不同土地利用条件下土壤质量综合评价方法[J].农业工程学报,2010,26(12):311-318.
- [16] Li X G, Li Y K, Li F M. Changes in soil organic carbon, nutrients and aggregation after conversion of native desert soil into irrigated arable land[J]. Soil & Tillage Research, 2009,104:263-269.
- [17] 段建南,李保国,石元春,等.干旱地区土壤碳酸钙淀积过程模拟[J].土壤学报,1999,36(3):318-326.
- [18] 何三强,常海波.关于盐池扬黄灌区开发利用的调研报告[J].宁夏科技,2002,(5):20-23.
- [19] 金国柱,马玉兰.宁夏淡灰钙土的开发和利用[J].干旱区研究,2000,17(3):59-63.
- [20] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [21] Pieri C J M J. Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1992.
- [22] 赵其国,孙 波,张桃林.土壤质量与持续环境,土壤质量的定义及评价方法[J].土壤,1997,29(3):113-120.
- [23] 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[J].生态学报,2011,31(14):4136-4143.
- [24] 郝玉光,刘 芳,张伟华,等.乌兰布和沙区人工绿洲土壤养分动态研究[J].干旱区资源与环境,2009,23(7):176-181.
- [25] Zhang N, He X D, Gao Y B, et al. Pedogenic carbonate and soil dehydrogenase activity in response to soil organic matter in Artemisia ordosica community[J]. Pedosph, 2010,20:229-235.
- [26] 刘 华,王 峰,郭永忠,等.宁夏盐池县扬黄灌区玉米氮磷钾肥施用量探讨[J].西北农业学报,2006,15(4):133-135,140.
- [27] Gentile R, Vanlauwe B, Chivenge P, et al. Trade-offs between the short-and long-term effects of residue quality on soil C and N dynamics[J]. Plant Soil, 2011,338:159-169.
- [28] 唐光木,徐万里,盛建东,等.新疆绿洲农田不同开垦年限土壤有机碳及不同粒径土壤颗粒有机碳变化[J].土壤学报,2010,47(2):279-285.
- [29] 杨新国,宋乃平,刘秉儒,等.荒漠草原绿洲化过程中灌溉玉米地土壤夏季盐渍化特征[J].水土保持学报,2011,25(4):94-99.
- [30] 李宝富,熊黑钢,张建兵.不同耕种时间下土壤剖面盐分动态变化规律及其影响因素研究[J].土壤学报,2010,47(3):429-438.
- [31] 赵雪莱,何兴东,薛苹苹.土壤碳酸钙/有效磷化学计量特征对油蒿群落植物密度的影响[J].科学通报,2012,57(1):80-87.
- [32] Duniway M C, Herrick J E, Monger H C. Spatial and temporal variability of plant-available water in calcium carbonate-cemented soils and consequences for arid ecosystem resilience[J]. Oecologia, 2010,163:215-226.
- [33] Von Wandruszka R. Phosphorus retention in calcareous soils and the effect of organic matter on its mobility[J]. Geochemical Transactions, 2006,7:6.
- [34] Braschi I, Ciavatta C, Giovannini C, et al. Combined effects of water and organic matter on phosphorus availability in calcareous soils[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2003,67:67-74.
- [35] 林大仪.土壤科学[M].北京:中国林业出版社,2002.
- [36] Ludwig B, Kolbl A. Modelling cation exchange in columns of disturbed and undisturbed subsoil[J]. European Journal of Soil Science, 2002,53(12):645-653.
- [37] 徐建明,张甘霖,谢正苗,等.土壤质量指标与评价[M].北京:科学出版社,2010.
- [38] 徐明岗,张建新,张 航,等.黑垆土、黄褐土等土壤阳离子交换量影响因素的研究[J].土壤通报,1991,22(3):108-110.