

不同开垦年限对新疆绿洲农田土壤理化性质的影响

张晓东¹, 刘志刚², 热沙来提·买买提¹

(1. 巴音郭楞职业技术学院 生物工程学院, 新疆 库尔勒 841000; 2. 新疆鄯善县农技推广中心, 新疆 鄯善 838200)

摘要:研究了不同开垦年限对新疆绿洲农田土壤养分的变化规律,利用主成分得分的方法评价了开垦对新疆绿洲农田土壤质量的影响。结果表明:(1)开垦有利于新疆绿洲农田土壤有机碳组分和POC/MOC值,开垦初期(0~3 a)增加迅速,9 a后缓慢下降并趋于一个相对稳定的水平。(2)不同开垦年限土壤含水量、pH、电导率和全盐含量均显著高于未开垦土壤($p<0.05$),土壤含水量和电导率在开垦初期(0~3 a)急剧增加,在开垦6 a前后达到最大值,此后的几年缓慢下降并趋于一个相对稳定的水平,土壤pH和全盐含量随开垦年限的增加而增加,开垦9 a以后缓慢增加。(3)开垦9 a以上土壤养分和有效养分含量均显著高于未开垦土壤($p<0.05$),并且基本呈一致的变化趋势,即随着开垦年限的增加呈先增加后趋于平稳或者降低趋势。(4)相关性分析表明,不同开垦条件下土壤养分与有效养分均呈现出一定的相关性。(5)土壤质量的各项指标主成分分析结果表明,基本确定新疆绿洲农田开垦9 a后土壤质量开始退化。综合上述结果可知:短期的开垦(开垦0~9 a)则有利于提高新疆绿洲农田土壤肥力及土壤养分的有效性,而长期的开垦(开垦年限 >13 a)则造成土壤板结和盐渍化,降低了土壤养分及有效养分含量。

关键词:开垦年限; 土壤养分; 绿洲农田; 新疆

中图分类号:S153.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)03-0013-06

The Variation of Soil Physicochemical Properties in Farmlands with Different Cultivation Years in Oasis of Xinjiang

ZHANG Xiaodong¹, LIU Zhigang², Reshalaiti · Maimaiti¹

(1. Bayingol Vocational and Technology College, Korla, Xinjiang 841000, China;

2. Xinjiang Uygur Autonomous Region Agricultural Technology Promotion Center, Shanshan, Xinjiang 838200, China)

Abstract: The variation of soil nutrients of the farmlands with different cultivation years in Xinjiang oasis farmland was investigated by using the method of principal component score evaluation to evaluate the quality of the reclamation of oasis farmland in Xinjiang. The results showed that: (1) cultivation practices enhanced the accumulation of total organic carbon and POC/MOC in soils, increased rapidly in the initial period (0~3 years), but the increase was diminished after 9 years of cultivation; (2) soil moisture, pH, electrical conductivity, and the salt content of cultivation lands were significant higher than those of virgin lands ($p<0.05$), soil moisture and electrical conductivity increased rapidly in the initial period (0~3 years), but the increase was diminished after 6 years of cultivation, while pH and salt content increased with cultivation years, and the increase was diminished after 6 years of cultivation; (3) the contents of soil nutrients and available nutrients of the land with more than 9 cultivation years were significantly higher than those of the virgin lands ($p<0.05$), which showed first increased and then slowly decreased with cultivation years; (4) correlation analysis showed that total quantity of soil nutrients had a certain correlation with available nutrients; (5) the principal component analysis indicated that the farmland tended to degradation after 9 years of cultivation. Based on the summary of the above results, it can be concluded that short-term cultivation (0~9 years) can improve the effectiveness of soil fertility and nutrients in oasis farmlands of Xinjiang, but long-term cultivation (>13 years) may make soil hard and saline and reduce soil fertility and nutrients.

Keywords: cultivation years; soil nutrients; oasis farmland; Xinjiang

土壤是复杂的自然综合体,具有较大的时空尺度变化,由于气候、成土条件、成土母质、开垦和耕作方式等导致土壤肥力差异性较大,进而影响土壤养分形态组分和变迁^[1-2]。不同开垦方式和开垦年限可以通过改变土壤的水热条件等影响土壤养分的流动与转化,合理利用耕地资源可以有效提高土壤质量,增强其对外界环境变化的抵抗力^[1,3-4]。近年来随着精细农业的兴起,亟需了解不同开垦年限土壤养分形态组分和变迁,以便于优化土地可持续利用。新疆是中国干旱区最主要的集中区,占国土总面积 4% 的绿洲却承载了新疆 95% 以上的人口,同时,新疆又是我国重要的耕地资源后备基地,从 20 世纪 50 年代起,屯垦戍边拥有大量未开垦地(没有开垦过的自然土壤),目前新绿洲面积已占新疆耕地总面积的 35% 左右^[5-7]。由于区域内光热水土的特殊组合,新疆绿洲农田形成独具特色的农业,具备了建立优质、高产、高效农业的优越条件^[8-9],但独特的气候资源条件也造就了新疆为土壤盐渍化大区,并且随着垦殖年限的延长,带来的土壤板结、肥力下降、盐渍化等问题^[3-4,10-11]。因此,在干旱绿洲区完全灌溉条件下,从时间演替的角度分析新疆绿洲农田开垦后土壤养分和质量的动态变化研究,可为绿洲农田土壤质量的维护和利用提供数据支撑。本研究以新疆玛河流域绿洲农田为例,研究不同开垦年限对新疆绿洲农田土壤养分的变化规律,利用主成分得分的方法评价垦殖对新疆绿洲农田土壤质量的影响,从而掌握该区域农田土壤退化特征及演变规律,对绿洲农田土壤退化的恢复也有一定的指导意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

玛河流域是准噶尔盆地最大的内陆河,位于新疆天山北坡的中段,准噶尔盆地南缘(84°43′—86°35′E, 43°21′—45°20′N),面积约为 3.1 万 km²,≥10℃有效积温 3 400~3 800℃,无霜期 160~180 d,日照时数丰富,年平均日照 2 600~3 000 h,年蒸发量 1 700~2 200 mm,农田灌溉主要靠天山降雨及融水汇集的河流径流水。玛河流域存在由于水土开发不当造成严重的土地次生盐渍化现象,近 40 a 来,玛河流域已开垦 40 多万公顷耕地变荒漠为绿洲,成为新疆最大绿洲农耕区和全国第四大灌溉农业区,随着水土资源开发利用规模的不断扩展,土壤退化现象尤其严重。自然植被以荒漠和荒漠草原植被为主,主要有芨芨

草、骆驼刺、红柳等,土壤类型为灰漠土,农田开垦前均处于原始状态,为典型盐土,开垦后农田主要种植作物为棉花,膜覆棉花、连作的栽培模式以及秋深翻冬灌、秸秆还田的耕作方式^[6-7]。2014 年 7—8 月,按照离绿洲中心距离从远至近选择从未开垦土地(开垦 0 a)和垦殖 3 a,6 a,9 a,13 a 和 20 a 等农田土壤为采样点,每一农田样地面积 10~15 hm² 左右,在上述不同垦殖年限农田样地取 0—30 cm 混合土样,每个样地重复取样 5 次,采用四分法将土样装入布袋,带回实验室自然风干 20 d,研磨过 0.5 mm 筛保存备用。

1.2 样品指标测定

土壤样品经自然风干后,去除植物根系等杂物过 2 mm 筛。土壤 pH 采用电极电位法(2.5 : 1 水土比浸提液);土壤电导率采样电导法;总有机碳和全氮采用元素分析仪(Element,意大利);全磷采用 NaOH 碱溶—钼锑抗比色法;有效磷采用 NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法;有效氮采用 NaOH-H₃BO₃ 法;有效钾和全钾采用乙酸铵浸提—火焰光度计法;不同粒径土壤颗粒有机碳组分的分离,研磨过 0.25 mm 筛,采用 Anderson 和 Tiessen 的改进法,分离出的组分,60℃水浴锅蒸干,然后 60℃烘干 12 h,冷却,称重^[12]。

1.3 统计分析

利用 Excel 2003 和 SPSS 18.00 软件对数据进行分析,单因素方差进行分析(One-way ANOVA),显著性分析采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 不同开垦年限对土壤颗粒有机碳的影响

表 1 可知,不同粒径土壤颗粒有机碳在土壤总有机碳中的分配存在较大差异,均显著高于未开垦土壤($p<0.05$)。不同开垦年限砂粒有机碳含量在各粒径土壤颗粒有机碳含量中含量最小,为 0.46~1.35 g/kg,开垦初期(0~3 a),砂粒有机碳含量增加迅速,9 a 前后砂粒有机碳含量达到峰值,此后的几年缓慢下降并趋于一个相对稳定的水平,但仍高于未开垦地砂粒有机碳含量。由此可知,垦殖初期对土壤砂粒有机碳的影响较为明显,9 a 左右达到最大值后稍有减少并保持相对稳定水平;粉砂粒有机碳含量最大,为 1.62~3.96 g/kg,较砂粒有机碳高出 2~3 倍,成为土壤固持有机碳的最主要有机碳库,垦初期(0~3 a),砂粒有机碳含量增加迅速,9 a 前后砂粒有机碳含量达到峰值,此后的几年缓慢下降并趋于一个相对稳定的水平,但仍高于未开垦地砂粒有机碳含量;黏粒有机

碳含量为 1.54~2.97 g/kg,随着开垦年限的增加呈先增加后降低趋势,在 9 a 左右达到最大值后稍有减少并保持相对稳定水平;总有机碳、POC/MOC 与不同粒径土壤颗粒有机碳变化趋势相一致。与未开垦土壤相比,不同开垦年限砂粒有机碳含量分别高出

1.30,1.46,1.93,1.33,1.24 倍,粉砂粒分别高出 0.87,0.94,1.28,0.88,0.81 倍,黏粒分别高出 0.38,0.66,0.93,0.82,0.65 倍,POC/MOC 分别高出 0.48,0.62,0.76,0.36,0.28 倍,总有机碳分别高出 0.49,0.96,1.00,0.90,0.83 倍。

表 1 土壤中不同粒径土壤颗粒结合有机碳含量

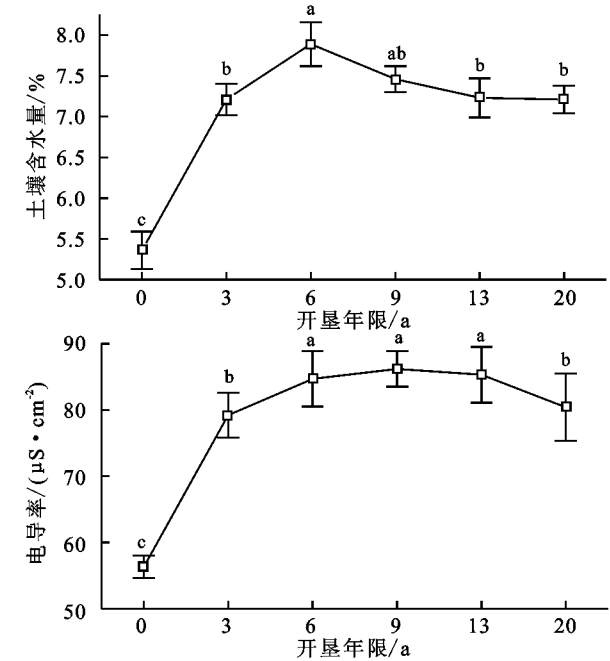
开垦 年限/a	总有机碳/ (g·kg ⁻¹)	有机碳含量/(g·kg ⁻¹)			POC/MOC
		砂粒(>53 μm)	粉砂粒(2~53 μm)	黏粒(<2 μm)	
0	3.56±0.32c	0.46±0.11d	1.62±0.35d	1.54±0.34e	13.41±2.56d
3	5.32±0.21b	1.06±0.23bc	3.03±0.44bc	2.13±0.49d	19.85±3.79b
6	6.98±0.38a	1.13±0.18b	3.14±0.52ab	2.56±0.38c	21.74±1.87ab
9	7.12±0.45a	1.35±0.24a	3.69±0.39a	2.97±0.52a	23.56±2.23a
13	6.77±0.12a	1.07±0.26bc	3.05±0.48b	2.81±0.49b	18.20±3.45bc
20	6.53±0.27a	1.03±0.17c	2.94±0.37c	2.54±0.27c	17.13±4.12c

注:同列不同小写字母表示差异显著($p<0.05$),下同。

2.2 不同开垦年限对土壤理化性质的影响

由图 1 可知,不同开垦年限土壤含水量、pH、电导率和全盐含量均显著高于未开垦土壤($p<0.05$)。土壤含水量变化范围为 5.36%~7.89%,开垦初期(0~3 a),土壤含水量急剧增加,在开垦 6 a 前后达到最大值,此后的几年缓慢下降并趋于一个相对稳定的水平;土壤 pH 变化范围为 7.56~8.38,随开垦年限的增加而增加,开垦初期(0~6 a),土壤 pH 缓慢增加,开垦 9 a 以后急剧增加,此后的几年则缓慢增加;土壤电导率与土壤含水量变化趋势相一致,其

变化范围为 56.3~86.2 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$;全盐含量随开垦年限的增加而增加,其变化范围为 35.2%~52.7%,在开垦 3 a 以后显著增加,而后出现一个平稳增加的趋势,在 13 a 以后则急剧增加。与未开垦土壤相比,不同开垦年限土壤含水量分别高出 34.51%,47.20%,39.18%,34.89%和 34.51%,pH 分别高出 0.93%,1.19%,13.23%,16.14%和 16.80%,电导率分别高出 40.67%,50.44%,53.11%,51.51%和 42.81%,全盐分别高出 23.58%,33.24%,37.22%,40.06%和 52.56%。



注:不同小写字母表示差异显著($p<0.05$),下同。

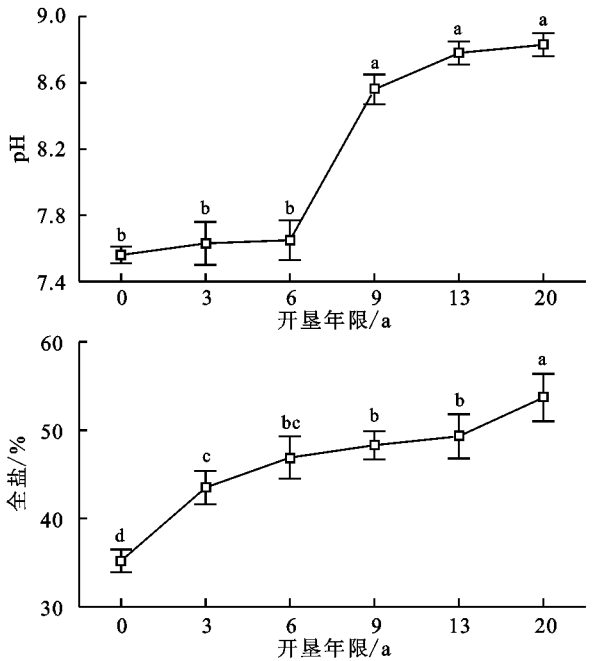


图 1 不同开垦年限对土壤理化性质的影响

2.3 不同开垦年限对土壤养分的影响

由图 2 可知,不同开垦年限土壤养分含量均显著高于未开垦土壤($p<0.05$),并且基本呈一致的变化

趋势,即随着开垦年限的增加呈先增加后趋于平稳或者降低趋势。土壤全氮含量变化范围为 0.87~1.98 g/kg,开垦初期(0~6 a),土壤全氮缓慢增加,在开垦

9 a 达到最大值,此后有所降低并趋于平稳;土壤全磷变化范围为 0.82~0.92 g/kg,随开垦年限的增加而增加,局部有所波动;土壤全钾含量变化范围为 21.35~32.14 g/kg,在开垦 3 a 以后显著增加,而后出现一个平稳增加的趋势,在开垦 9 a 达到最大,此后的几年缓慢下降并趋于一个相对稳定的水平;土壤有效氮含量变化范围为 32.59~49.53 mg/kg,在开垦 3 a 以后显著增加,而后出现一个平稳增加的趋势,其最大值在开垦 13 a 达到最大,此后的几年则急剧下降;土壤有效磷和有效钾变化范围分别为 1.6~3.1 g/kg,42.6~81.3 mg/kg,二者均随开垦年限的增加呈先增

加后趋于平稳或者降低趋势,在开垦 9 a 达到最大值,此后的几年则缓慢下降并趋于一个相对稳定的水平。与未开垦土壤相比,不同开垦年限土壤全氮含量分别高出 41.38%,44.83%,127.59%,88.51%和 93.10%,全磷含量分别高出 3.66%,10.98%,12.20%,8.54%和 10.98%,全钾含量分别高出 34.61%,47.82%,50.4%,44.17%和 39.16%,有效氮含量分别高出 26.97%,39.67%,45.01%,51.89%和 26.67%,有效磷含量分别高出 50.00%,81.25%,93.75%,75.00%和 81.25%,有效钾含量分别高出 72.54%,76.76%,90.85%,88.73%和 85.92%。

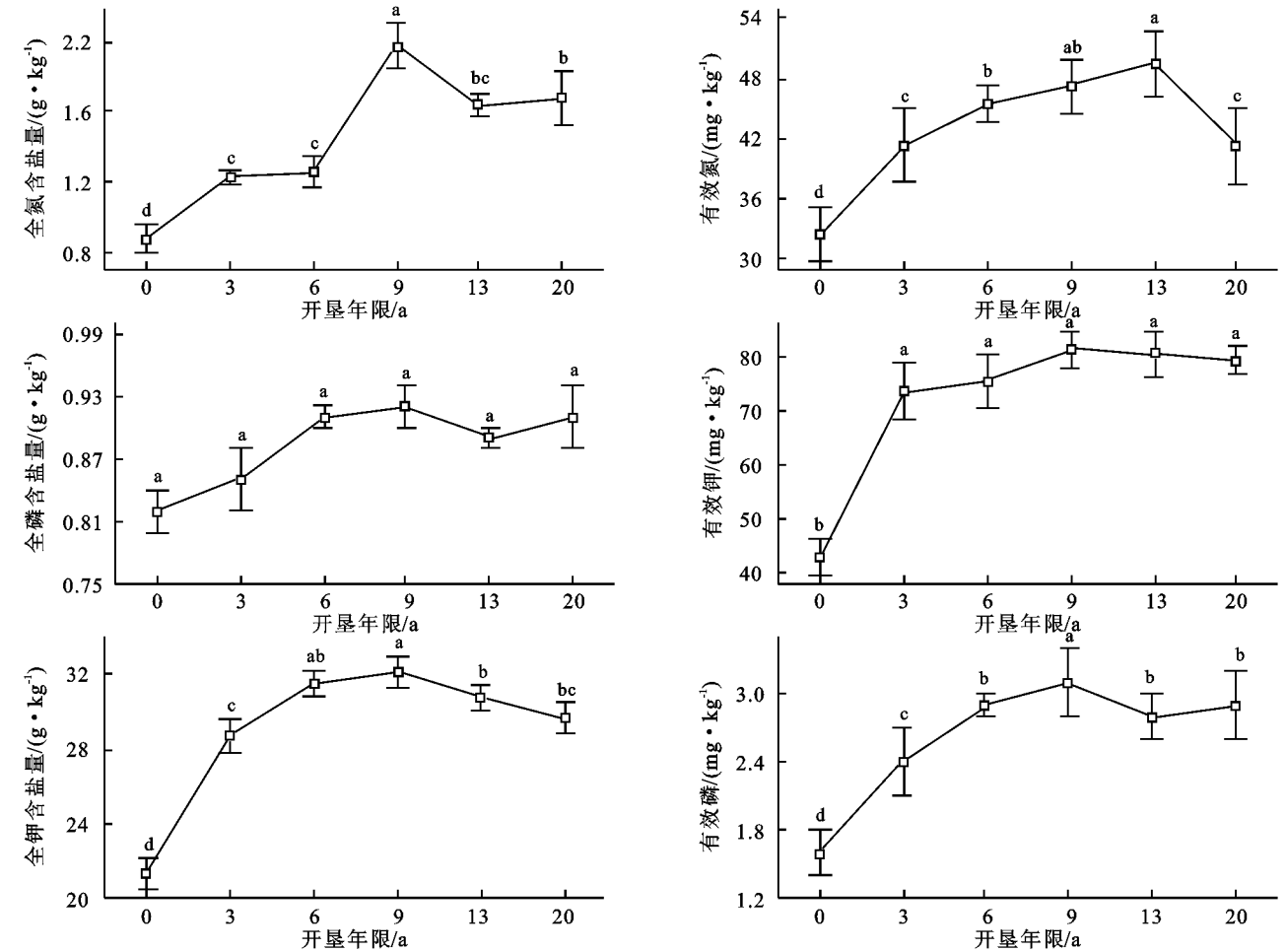


图 2 不同开垦年限对土壤养分的影响

2.4 不同开垦年限土壤养分之间相关性

不同开垦年限土壤养分数据之间进行线性拟合,经统计学检验得到拟合度 R^2 , Adjust R^2 , 显著值 (p 值) 和 F 值,并在 $p<0.05$ 和 $p<0.01$ 水平检验显著性 (* 和 **). 分析结果表明,线性回归均达到极显著水平 ($p<0.01$),各线性回归关系成立,由表 2 可知,不同开垦年限土壤有机碳、全氮、全磷和全钾之间均存在极显著的正线性相关关系 ($p<0.01$),由此表明,不同开垦年限土壤全量养分之间均具有良好的线性正相关性 ($p<0.01$) (表 2)。

表 2 不同开垦年限土壤养分线性相关性

<i>x</i>	<i>y</i>	<i>R</i> ²	Adjust <i>R</i> ²	<i>F</i>	<i>P</i>
有机碳	全氮	0.9685	0.9256	95.37	0.000**
有机碳	全磷	0.9184	0.8635	92.14	0.000**
有机碳	全钾	0.8589	0.8123	83.45	0.002**
全氮	全磷	0.8921	0.7852	86.74	0.000**
全氮	全钾	0.8763	0.8354	81.73	0.005**
全磷	全钾	0.6725	0.6325	78.11	0.006**

注:*,**分别表示在 0.05,0.01 水平上差异显著,下同。

不同开垦年限土壤养分与有效养分间存在不同的相关关系,Pearson 相关性分析结果显示:土壤有

机碳与有效氮和有效钾呈极显著正相关($p<0.01$),与有效磷呈显著正相关($p<0.05$);全氮与有效氮和有效磷呈极显著正相关($p<0.01$);全磷与有效磷呈极显著正相关($p<0.01$);全钾与有效钾呈极显著正相关($p<0.01$),与有效氮呈显著正相关($p<0.05$),详见表 3。

表 3 不同开垦年限土壤养分因子相关性

指标	有机碳	全氮	全磷	全钾
有效氮	0.854**	0.925**	0.369	0.542*
有效磷	0.556*	0.714**	0.763**	0.341
有效钾	0.913**	0.432	0.274	0.863**

2.5 不同开垦年限土壤退化的预警限度

以不同开垦年限的耕地为例,土壤养分及理化性质各项指标作为变量,对不同开垦年限土壤质量状况进行主成分分析(表 4)。本文提取的 3 个主成分的累积贡献率达 89.784%(≥85%)。第一主成分中有机碳(0.865)、全氮(0.913)及全钾(0.848)所占的比重远大于其他指标的系数,它们都是土壤养分及肥力指标,因此该主成分可看做是土壤供给作物养分能力大小的量度,可称为肥力因子。第二主成分以土壤含水量(0.876)、有效氮(0.893)和有效钾(0.876)所占的比重较大,它反映的是土壤熟化程度、保水保肥能力,是评价土壤有效肥力和保肥能力的指标。第三主成分中以土壤 pH(−0.778)、电导率(−0.814)和全盐(−0.898)所占的比重较大,其中全盐的系数最大,它反映的是土壤理化性质演变能力,这对主成分 3 起明显的减值作用。此外,全磷所占比重很大,磷是活性较差的元素,其含量很大程度上取决于水分和盐离子浓度,它代表着土壤水分状况的主成分。

表 4 主成分因子载荷、特征值、贡献率及累计贡献率

指标	主成分 1	主成分 2	主成分 3
含水量	0.532	0.876	0.732
pH	−0.156	0.135	−0.778
电导率	−0.237	−0.108	−0.814
全 盐	−0.489	−0.364	−0.898
有机碳	0.865	0.369	0.621
全 氮	0.913	0.547	0.417
全 磷	0.217	0.687	0.732
全 钾	0.848	0.521	0.398
有效氮	0.721	0.893	0.104
有效磷	0.613	0.713	0.623
有效钾	0.557	0.876	0.443
特征值	5.387	3.347	1.058
贡献率	49.385	31.747	8.652
累积贡献率	49.385	81.132	89.784

由表 5 可知,不同开垦年限的绿洲农田土壤质量综合评价值呈单峰曲线,呈先增加后降低趋势,达到

最优化值后开始下降(开垦年限为 9 a 时,土壤质量综合评价值达到最大)。开垦初期(3 a),从近乎原始的、盐碱严重的土地开荒,投入的养分、肥力不足,三个主成分得分都很低,土壤质量情况很差,综合评价值为负。随着农田开垦年限的增加,杂草残体的分解促进了土壤有机质的肥效发挥,加上人为化肥、有机肥投入,土壤质量不断优化。6~9 a 的肥力、保肥能力及水分状况 3 个主因子得分均较高,综合值达到优化状况。而后由于常年大水漫灌,造成了地下水位不断升高,土壤次生盐渍化伴随发生。同时人们对农田的重用轻养,造成土壤有机质大量消耗,各种综合因素导致土壤质量开始退化。即在开垦 13 a 以后,土壤质量明显退化,综合评价值已经为负,可将此阶段作为反映土壤质量总体退化的预警期,即将 9~13 a 作为反映土壤肥力总体开始退化的预警值,在开垦 13 a,综合评价值负值较大,土壤质量已经达到严重退化阶段。在农业生产中需要及时给予农田合理投入,以便充分利用土壤环境的最优状态或推迟警戒年限的到来,持续发挥农业生产的后劲,避免绿洲农田质量过早退化,造成减产甚至导致弃耕。

表 5 主成分得分及综合评价值

开垦 年限/a	主成分得分			综合 评价值
	y_1	y_2	y_3	
0	−3.124	−2.014	−0.652	−1.930
3	−1.569	2.785	0.937	0.718
6	2.365	3.147	2.587	2.700
9	5.389	0.958	4.135	3.494
13	1.122	−1.583	−1.746	−0.736
20	−2.365	−2.497	−3.697	−2.853

3 讨论与结论

新疆作为我国重要的耕地资源后备基地,随着节水滴灌措施的大面积推广和水资源合理开发利用,大量自然土壤被开垦是必然的发展趋势^[6-7]。本研究结果显示新疆绿洲农田开垦会增加土壤养分含量,但是随着开垦年限的延长,增加趋势减缓,有机碳中不同组分有机碳垦殖 9 a 开始下降,从而使土壤自身生产力存在下降趋势,土壤质量有下降或退化的趋势。不同开垦年限对土壤养分及理化性质具有较大影响,土壤全量养分和有效养分呈现出一致性的变化规律,随着开垦年限的增加呈先增加后平缓降低或趋势稳定的趋势。已有研究表明,开垦将导致土壤养分不同程度的降低^[6,13];本研究表明,新疆绿洲农田开垦后土壤有机碳及养分呈现增加趋势,这与 Li 等^[14]和唐光木等^[6]研究结果一致。这主要是因为:新疆绿洲处于干旱荒漠区,生物积累少,有机碳初始值低,开垦改变了土壤的

理化性质及有机碳组分和性质,特别是水分条件的改善,垦殖初期地上和地下生物量以及输入土壤的有机物数量大幅度增加,表现出土壤养分含量迅速增加,加上化肥和动物粪肥等有机肥的施入,归还土壤的动植物残体和腐殖化物质增加,不同组分有机碳增加迅速,POC/MOC 值增大^[6-7,13];开垦 3~9 a 后土壤水分等条件得到改善,进而改变土壤理化性状和有机碳组分,随着垦殖年限的延长,土壤有机碳和养分含量仍是一个增加的过程;开垦后期(9 a 以后),采用统一农业管理措施,土壤生物、化学、物理特性相对稳定,有机物的输入和输出之间达到相对均衡,土壤养分趋于一个相对稳定水平,这与 Hass 等^[15]和唐光木等^[6]研究的结果相似;而随着开垦年限的增加,土壤盐渍程度不断增加(主要表现为土壤全盐和电导率随开垦年限的增加而增加),短期的开垦(开垦 0~13 a)则有利于提高土壤肥力及土壤养分的有效性,而长期的开垦(开垦年限>13 a)则造成农田绿洲土壤板结和盐渍化,降低了土壤养分及有效养分含量。因此,要提高绿洲农田土壤肥力,则应该从提高土壤有机质含量、合理控制开垦年限与周期开始。此外,针对不同开垦年限土壤养分表现的规律和特征,我们可以从中借鉴经验促进土地资源的管理及合理有效利用,在今后的土地开垦中,可以大力推进秸秆还田、作物留茬保证土壤养分的有效积累,促进耕地土壤养分的恢复和利用。

针对新疆盐碱较为严重的玛河流域冲积扇缘区进行实地研究,在开垦条件下土壤有机碳与全氮呈极显著线性正相关性($p<0.01$),土壤全量养分之间、土壤全量养分与有效养分均呈现出一定的相关性,这与前人的研究结果一致^[6-7,13]。通过主层次法分析了农田开垦后土壤特性的变化过程和作用,而文中主层次分析法最主要贡献在于确定了土壤综合质量趋于退化的预警年限,通过对反映土壤质量的各项指标进行主成分分析,基本确定绿洲农田开垦 9 a 土壤整体质量状况趋向最大,9 a 后土壤质量开始退化,由此提供一个反映冲积扇地带绿洲农田土壤综合性能的预警值,以便及时采取措施保持农田地力,避免农田土壤过早退化,造成减产甚至导致弃耕,而相对于其它绿洲而言,土壤开垦后开始趋于退化的年限阈值是今后需要继续研究的内容。

参考文献:

[1] Guretzky J A, Biermacher J T, Cook B J, et al. Switchgrass

for forage and bioenergy: harvest and nitrogen rate effects on biomass yields and nutrient composition[J]. *Plant and Soil*, 2011,339(1/2):69-81.

- [2] Quilliam R S, Marsden K A, Gertler C, et al. Nutrient dynamics, microbial growth and weed emergence in biochar amended soil are influenced by time since application and reapplication rate[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012,158:192-199.
- [3] Tang G M, Xu W L, Zhou B, et al. Effects of cultivation years on particulate organic carbon and mineral-associated organic carbon in cotton soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013,27(3):237-241.
- [4] Kalbitz K, Kaiser K, Fiedler S, et al. The carbon count of 2000 years of rice cultivation[J]. *Global Change Biology*, 2013,19(4):1107-1113.
- [5] Gong L, Ran Q, He G, et al. A soil quality assessment under different land use types in Keriya river basin, Southern Xinjiang, China[J]. *Soil and Tillage Research*, 2015,146:223-229.
- [6] 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(2):279-285.
- [7] 张凤华,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[J]. *中国农业科学*, 2006,39(2):331-336.
- [8] 顾美英,徐万里,茆军,等. 新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性[J]. *生态学报*, 2012,32(10):3031-3040.
- [9] 周丽,王玉刚,李彦. 盐碱荒地开垦年限对表层土壤盐分的影响[J]. *干旱区地理*, 2013,36(2):285-291.
- [10] 顾美英,徐万里,茆军,等. 新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性[J]. *生态学报*, 2012,32(10):3031-3040.
- [11] 周丽,王玉刚,李彦. 盐碱荒地开垦年限对表层土壤盐分的影响[J]. *干旱区地理*, 2013,36(2):285-291.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [13] 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.
- [14] Li X G, Wang Z F, Ma Q F, et al. Crop cultivation and intensive grazing affect organic C pools and aggregate stability in arid grassland soil[J]. *Soil and Tillage Research*, 2007,95(1):172-181.
- [15] Haas H J, Evans C E, Miles E F. Nitrogen and carbon changes in Great Plains soils as influenced by cropping and soil treatments[R]. United States Department of Agriculture, Economic Research Service, 1957.