

# 2006—2018 年策勒绿洲农田不同施肥量对土壤养分的影响

范琳杰<sup>1,2,4</sup>, 李向义<sup>1,3</sup>, 林丽莎<sup>1,2,3</sup>, 热甫开提·沙比提<sup>1,2,3</sup>, 薛伟<sup>5</sup>

(1.中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆荒漠植物根系生态与植被修复重点实验室, 乌鲁木齐 830011; 2.中国科学院 新疆生态与地理研究所, 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 乌鲁木齐 830011; 3.新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测试验站, 新疆 策勒 848300; 4.中国科学院大学, 北京 100049; 5.兰州大学, 兰州 730000)

**摘 要:**为研究不同施肥量施入对策勒绿洲农田土壤养分的影响,以极端干旱环境下的塔里木盆地南缘策勒绿洲为研究区域,3 种典型不同肥力投入农田以绿洲边缘 3 种典型不同肥力投入农田:高投入农田,常规投入农田,无施肥新垦农田为研究对象,并另选取一块未开垦样地为对照样地,自 2006—2018 年,采样时间为 2006—2010 年、2017—2018 年,分析了 4 块样地土壤有机质含量等 6 项指标变化。结果表明:2006—2018 年,研究区高投入农田样地的有机质含量、全氮含量、碱解氮含量、有效磷含量显著高于常规投入农田、无施肥新垦农田和未开垦对照样地;未开垦对照样地速效钾含量显著高于其他 3 块样地;对 2006—2018 年土壤养分平均值进行分析,高投入农田土壤养分提高效果更好,有机质含量、全氮含量、碱解氮含量、有效磷含量相比未开垦对照样地分别增加 204.22%, 146.73%, 46.45%, 633.75%;各样地土壤 pH 值与有机质含量有极显著的正相关性( $p < 0.01$ ),与速效钾含量呈显著或极显著的负相关性,有机质含量与全氮和有效磷含量有极显著的正相关性( $p < 0.01$ )。本研究可为绿洲开垦过程农田进行合理肥力投入及可持续性管理提供参考。

**关键词:**土壤养分; 绿洲农田; 施肥管理; 极端干旱区

中图分类号:S157.4<sup>+</sup>1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)05-0041-06

## Effects of Different Fertilization Rates on Soil Nutrients in Cele Oasis from 2006 to 2018

FAN Linjie<sup>1,2,4</sup>, LI Xiangyi<sup>1,3</sup>, LIN Lisha<sup>1,2,3</sup>, SHABITI · Refukaiti<sup>1,2,3</sup>, XUE Wei<sup>5</sup>

(1.Xinjiang Key Laboratory of Desert Plant Roots Ecology and Vegetation Restoration, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2.State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 3.Cele National Field Science Observation and Research Station of Desert Grassland Ecosystem, Cele, Xinjiang 848300, China; 4.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 5.Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** In order to study the effects of different fertilizer application rates on soil nutrients in Cele oasis, this study took Cele oasis in the southern margin of Tarim Basin as the research area under extreme arid environment, and three types of typical different fertility input of farmland at the edge of oasis. Three types of typical different fertility inputs of farmlands at the edge of oasis: high-input farmland, conventionally input farmland, and newly reclaimed farmland without fertilization were taken as the research samples. Another uncultivated sample plot was selected as a pair of conventional plots. From 2006 to 2018, the sampling time was from 2006 to 2010 and from 2017 to 2018, and the changes of 6 indicators such as soil organic matter content in four sample plots were analyzed. The results showed that: from 2006 to 2018, the organic matter content, total nitrogen content, alkalytic nitrogen content and available phosphorus content in the sample plots of high-input farmland in the study area were significantly higher than those of conventional input farm-

收稿日期:2020-08-17

修回日期:2020-10-18

资助项目:国家自然科学基金项目(41877420);中国科学院扶贫项目(KFJ-FP-201903);新疆维吾尔自治区天池百人计划一创新项目(2017-Y842041)

第一作者:范琳杰(1996—),女,河南驻马店人,硕士研究生,主要从事干旱区植物生理方面研究。E-mail:fanlinjie18@mails.ucas.ac.cn

通信作者:李向义(1969—),男,河南清丰人,理学博士,研究员,主要从事荒漠植物生态适应与植被恢复等研究工作。E-mail:lixxy@ms.xjb.ac.cn

land, new reclaimed farmland without fertilization and unreclaimed pair farmland. The content of available potassium in uncultivated land was significantly higher than that in other three plots. By analyzing the average values of soil nutrients from 2006 to 2018, it was found that the soil nutrients in high-input farmland had a better improvement effect. The organic matter content, total nitrogen content, alkali-hydrolyzed nitrogen content and available phosphorus content increased by 204.22%, 146.73%, 46.45% and 633.75%, respectively, compared with those of uncultivated farmland. There were significant positive correlation between pH value and organic matter content ( $p < 0.01$ ), a significant or significant negative correlation between pH value and available potassium content, and a significant positive correlation between organic matter content and total nitrogen and available phosphorus content ( $p < 0.01$ ). This study can provide reference for rational fertilizer input and sustainable management of farmland during oasis reclamation.

**Keywords:** soil nutrient; oasis fields; fertilization management; extremely arid region

土壤是人类赖以生存的基本生产资料,是植物生长发育的基础。土壤养分是土壤生态系统的重要组成部分,是衡量土壤肥力大小的重要指标,土壤肥力的高低直接影响着作物生长<sup>[1-3]</sup>。新疆是我国陆地面积最大的省份,随着人口的增长和农业的发展,新疆绿洲扩张明显,其中农田是绿洲扩张进程中的主要土地利用类型。沙漠绿洲是干旱地区的主要粮食产区之一,新疆的绿洲面积占总面积的 8%,却集中了新疆 90% 的耕地和 90% 以上的人口<sup>[4-5]</sup>。因此研究绿洲农田土壤养分变化,有助于了解人为干扰及肥力投入对绿洲土壤的影响,进而有利于进行绿洲土壤养分的维护。

化肥被认为是提高作物产量和农业利润的主要投入之一,但平衡施肥是高效使用化肥实现可持续高产的关键<sup>[6]</sup>。在绿洲化开垦种植过程中,肥料的投入和使用,是除水环境因子外,影响绿洲农田土壤肥力最重要的因素<sup>[7-9]</sup>。不同肥力投入使土壤养分朝不同方向发展,长期施肥和连续耕作使土壤质量发生变化<sup>[10-13]</sup>。策勒地区土壤含钾丰富<sup>[14]</sup>,当地农民习惯施用大量有机肥,同时施加氮、磷肥。本文以策勒绿洲为研究区域,结合当地农民习惯,自 2006—2018 年,分析近 13 a 策勒绿洲农田在开垦过程中施入不同量农家肥和氮、磷肥处理对土壤养分的影响,旨在为干旱区绿洲农田农业生产及环境保护提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验在策勒国家站荒漠草地生态系统观测站进行。研究区位于塔克拉玛干沙漠南缘绿洲—荒漠过渡带,地理坐标为 35°17′55″—39°30′00″ N, 80°03′24″—82°10′34″ E。该地区属于典型的大陆性干旱气候,年平均气温 11.9℃,极端最高气温 41.9℃,极端最低气温 -23.9℃,0℃ 以上积温达到 4 340℃,无霜期长,为农作物提供了有利的光热资源<sup>[15]</sup>。年平均降水量 35.1 mm,年潜在蒸发量 2 595.3 mm,水资源短

缺,水资源补给以昆仑山区融雪河流为主。常年多风并以西北风为主风向,土壤以风沙土为主<sup>[16]</sup>。

### 1.2 试验设计和处理

根据研究区水源补给状况及当地农民的耕作习惯,选取 3 块试验样地:首先选取策勒国家站荒漠与绿洲交错带两块已开垦农田样地,其中一块自开始开垦长期进行高施肥量投入,定义为高投入农田(farmland with higher manure input, HMF),代表农田开垦后经济条件较好的农户对其进行较大的施肥量投入;另一块自开始开垦长期进行正常肥量投入,定义为常规农田(farmland with nommal manure input, NMF),代表了大多数当地居民开垦农田后选择的施肥强度;根据试验需要在两块样地旁边选择一块新垦农田,该样地于 2004 年开始开垦,定义为新垦农田(new farmland, NEF),该样地除灌溉外不进行额外的肥料投入,代表了一种临时的开垦模式,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。3 块农田均位于绿洲荒漠交错带,可以代表绿洲开垦过程中的农田利用模式,且灌溉水源以地下水为主。

每块样地面积为 100 m×100 m,各样地主要作物为棉花。所有样地均种植同一品种棉花,施肥、灌溉和管理与当地农民一致。施肥种类为农家肥(牛羊粪)和无机肥(磷酸二铵和尿素)。在 2006—2018 年研究期间, HMF 与 NMF 样地的施肥量不变,而 NEF 样地则不进行任何肥料施入,3 块样地都保证灌溉用水。由于绿洲荒漠交错带开垦前为荒漠草甸区,植被主要是骆驼刺(*Alhagi sparsifolia* Schap.), 因此为综合对比农田不同肥力投入下土壤养分的差异性,在新垦农田(NEF)附近建立一骆驼刺对照样地(CTP)。各地具体情况详见表 1。

### 1.3 土壤取样与分析

取各样地表层土壤(0—20 cm)样品进行分析。分别于 2006—2010 年、2017—2018 年进行采样,在

每年10月份棉花采摘完后,用不锈钢土钻(直径2 cm)采集0—20 cm耕层土壤,每个样地随机选取6处进行取样。样品置于塑料封口袋中带回实验室风

干,并进行去根处理。对土壤化学性质进行测定,具体包括土壤有机质(SOM),pH值,全氮(TN),碱解氮(AN),有效磷(AP),速效钾(AK)6项指标。

表1 试验样地概况

试验样地	年肥料施入量/(kg·hm <sup>-2</sup> )				开垦年限 (至2018年)	主要 灌溉水源
	农家肥	无机肥中总氮含量	无机肥中总磷含量	无机肥中总钾含量		
对照样地 CTP	0	0	0	0	—	—
新垦农田 NEF	0	0	0	0	15	地下水
常规投入农田 NMF	21500	208	57	0	24	地下水
高投入农田 HMF	30000	362	126	0	24	地下水

土壤有机质测定采用重铬酸钾氧化外加加热法测定;土壤pH值采用酸度计法(水土比2.5:1)测定;土壤全氮测定采用半微量凯氏定氮法测定;碱解氮采用碱解扩散法测定;有效磷采用0.5 mol/L碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定;速效钾采用1 mol/L醋酸铵浸提—火焰光度计测定<sup>[17]</sup>。

1.4 数据分析

采用Microsoft Excel进行数据整理,运用Oringn 2018作图,并运用SPSS 21.0软件进行统计分析。

2 结果与分析

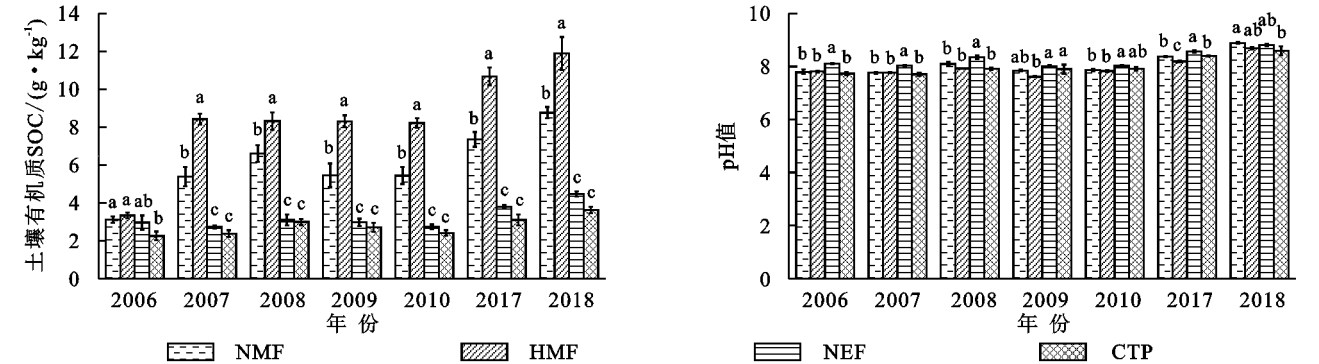
2.1 不同施肥量对土壤pH值和有机质含量影响

随着处理年限的增加,施肥样地土壤有机质含量出现不同程度的增加趋势(图1)。在绿洲农田不同施肥处理下,研究区HMF样地土壤有机质含量显著高于

NMF,NEF和CTP样地土壤有机质含量( $p<0.05$ )。pH值变化范围为:7.6~8.9,在不同处理下,NEF样地土壤pH值最高,两块施肥(HMF,NMF)处理样地和未开垦(CTP)样地土壤pH值无明显差异,与开垦未施肥(NEF)样地相比,施肥处理促进了土壤酸化。

2.2 土壤氮含量变化特征

在2006—2018年,研究区HMF样地土壤全氮含量基本处于最高水平(图2)。自2007年起,研究区HMF样地土壤全氮含量显著高于其他两块样地土壤全氮含量( $p<0.05$ ),研究区NEF和CTP样地土壤全氮含量无显著性差异( $p>0.05$ )。在2006—2018年,研究区HMF样地土壤碱解氮含量都处于最高水平,相同年份土壤碱解氮含量的顺序为HMF>HMF>NEF。在绿洲农田不同施肥处理下,研究区HMF样地碱解氮含量显著高于其他3块样地碱解氮含量( $p<0.05$ )。



注:相同小写字母表示相同年份差异不显著( $p>0.05$ ),不同小写字母表示相同年份间差异显著( $p<0.05$ ),下同。

图1 研究区不同施肥处理下土壤有机质含量和pH值特征

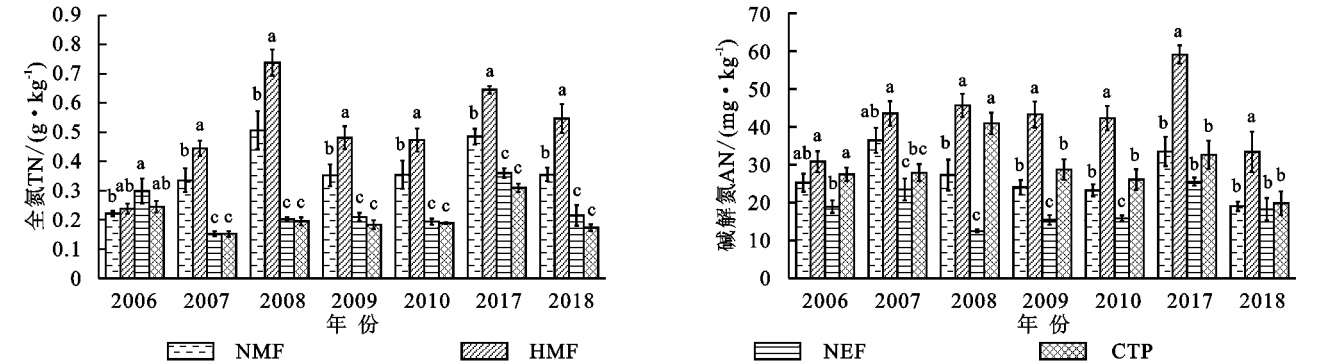


图2 研究区不同施肥处理下土壤全氮和碱解氮含量的变化

### 2.3 不同施肥量对土壤有效磷和速效钾含量影响

在 2006—2018 年,研究区 HMF 样地土壤有效磷含量都处于最高水平(图 3)。2006—2018 年,研究区 HMF 样地土壤有效磷含量显著高于其他 3 块样地( $p<0.05$ ),NEF 和 NEF 样地土壤有效磷含量无

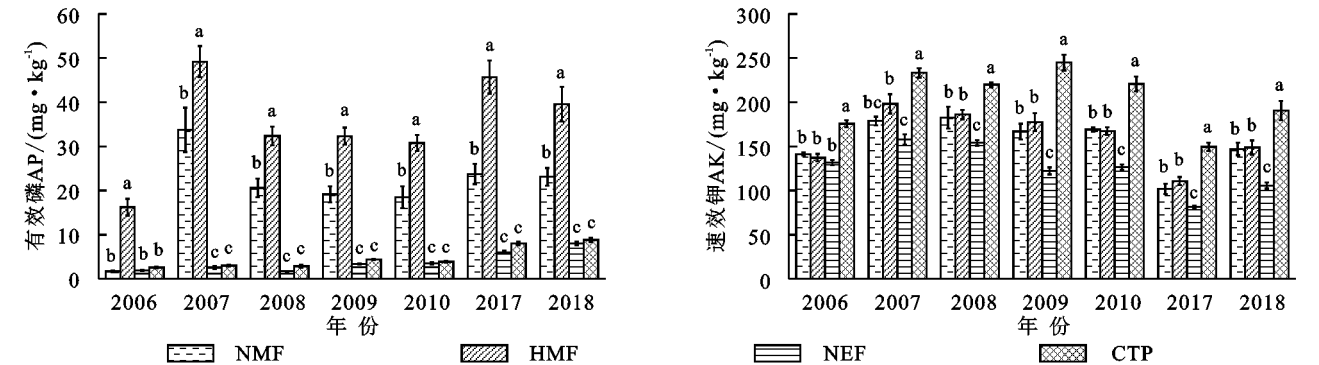


图 3 研究区不同施肥处理下土壤有效磷和速效钾含量的变化

### 2.4 2006—2018 年不同施肥下土壤养分平均值

从 2006—2018 年平均含量来看,与 CTP 和 NEF 样地相比,施肥均能提高土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷含量(表 2)。HMF 样地养分增加量较多,土壤有

机质、全氮、碱解氮、有效磷含量较 CTP 样地分别增加 204.22%,146.73%,46.45%,633.75%,较 NEF 样地增加 160.21%,118.71%,129.53%,801.96%。由于施肥主要是农家肥和氮、磷肥,土壤氮、磷含量增加量较多。

表 2 2006—2018 年不同施肥处理土壤养分平均含量

试验样地	有机质(SOM)/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全氮(TN)/ (g · kg <sup>-1</sup> )	碱解氮(AN)/ (g · kg <sup>-1</sup> )	有效磷(AP)/ (g · kg <sup>-1</sup> )	速效钾(AK)/ (g · kg <sup>-1</sup> )
对照样地 CTP	2.78±0.19c	0.21±0.02c	29.07±2.44b	4.79±0.96c	204.91±12.92a
新垦农田 NEF	3.25±0.24c	0.23±0.03c	18.55±1.74c	3.90±0.87c	125.63±10.07c
常规投入农田 NMF	6.02±0.68b	0.37±0.04b	26.96±2.30b	20.08±3.62b	155.40±10.64bc
高投入农田 HMF	8.46±1.01a	0.51±0.06a	42.57±3.47a	35.17±4.14a	160.87±11.51b

### 2.5 土壤 pH 值和养分含量的相关性分析

对绿洲农田不同施肥处理下 3 块样地土壤 pH 值和养分含量进行 Pearson 相关性分析,各指标的相关性关系见表 3。从表 3 可以看出,无论在哪种施肥处理下,土壤 pH 值与有机质含量有极显著的正相关性( $p<0.01$ ),与速效钾含量呈显著或极显著的负相关性;有机质含量与有效磷含量有极显著的正相关性( $p<0.001$ )。

## 3 讨论

研究不同施肥对土壤养分的影响,有利于土壤养分的可持续利用管理<sup>[18]</sup>。在 2006—2018 年,通过对研究区 4 块不同施肥处理样地土壤表层养分进行数据分析,结果表明 HMF 样地各养分指标值显著高于其他 3 块样地( $p<0.05$ ),NMF 样地各养分指标值显著高于 NEF 样地和 CTP 样地( $p<0.05$ ),NEF 样和 CTP 样地各养分指标值处于最低水平,但 CTP 样地土壤速效钾含量显著高于其他 3 块样地( $p<0.05$ )。不同施肥处理对干旱区绿洲农田土壤养分指标产生

显著影响,这和桂东伟<sup>[19]</sup>和周晓兵<sup>[20]</sup>等的研究结果一致。

土壤有机质是土壤肥力的重要方面,其质量和数量直接或间接影响土壤潜在的生产力,是土壤养分的重要来源<sup>[21]</sup>。土壤有机质的稳定水平取决于农田有机碳投入和输出间的平衡,不同肥力投入导致耕地土壤变化的差异,影响土壤理化性质,改变土壤肥力,并且直接影响土壤有机质的分解及转化<sup>[22-23]</sup>。本研究中,在绿洲不同施肥处理下,土壤有机质的含量有明显的差异( $p<0.05$ ),且在 2006—2018 年,都表现为土壤表层有机质含量:HMF>NMF>NEF>CTP,高肥力投入显著增加了土壤有机质含量,这与陈文婷<sup>[24]</sup>和徐华清<sup>[25]</sup>的研究结果一致。新垦农田没有养分投入,但有种植农作物,可能是农作物的枯枝落叶增加了土壤有机质含量,所以新垦农田有机质较未开垦对照样地含量高。

土壤氮素是植物吸收的大量元素之一,是衡量土壤养分最重要的指标<sup>[26]</sup>。磷是土壤中植物生长和发育所必需的营养元素,构成植物体内的许多重要化合

物<sup>[27]</sup>。本研究中,在绿洲农田不同施肥处理下,土壤全氮、碱解氮、有效磷的含量有明显的差异,高投入农田的年肥料总氮、总磷含量施入量最高,土壤全氮、碱解氮、有效磷的含量显著高于其他 3 块样地( $p<0.05$ ),常规投入农田全氮含量显著高于无施肥样地和未开

垦对照样地( $p<0.05$ )。土壤中的氮素主要是受人类的生产活动,如耕作、施肥与灌溉等措施影响到氮素的循环与积累<sup>[28]</sup>,本研究中,在绿洲不同施肥处理下,肥料的投入增加了土壤全氮、碱解氮含量,说明新疆绿洲农田在种植过程中要重视氮肥的施入<sup>[29]</sup>。

表 3 土壤 pH 值与养分含量的相关性分析

不同施肥样地	指标	pH	有机质	全氮	碱解氮	有效磷
NMF	有机质	0.675 **				
	全氮	0.152	0.669 **			
	碱解氮	−0.300	−0.032	0.293		
	有效磷	0.131	0.411 **	0.248	0.313 *	
	速效钾	−0.390 *	−0.159	−0.039	−0.017	0.234
HMF	有机质	0.577 **				
	全氮	0.248	0.704 **			
	碱解氮	−0.102	0.428 **	0.551 **		
	有效磷	0.246	0.711 **	0.479 **	0.436 **	
	速效钾	−0.417 **	0.007	0.118	−0.032	0.195
NEF	有机质	0.730 **				
	全氮	0.265	0.421 **			
	碱解氮	0.132	0.049	0.203		
	有效磷	0.737 **	0.670 **	0.162	0.291	
	速效钾	−0.539 **	−0.502 **	−0.516 **	−0.271	−0.746 **
CTP	有机质	0.557 **				
	全氮	0.137	0.190			
	碱解氮	−0.266	−0.011	0.171		
	有效磷	0.793 **	0.620 **	0.244	−0.259	
	速效钾	−0.368 *	−0.168	−0.667 **	0.076	−0.436 **

注: \*\* 表示  $p<0.01$  水平上显著相关, \* 表示  $p<0.05$  水平上显著相关。

土壤速效钾含量对作物的生长具有重要作用,本研究中,在绿洲农田不同施肥处理下,土壤速效钾含量有明显的差异( $p<0.05$ ),在 2006—2018 年,总体上土壤速效钾含量:CTP(204.91 mg/kg)>HMF(160.87 mg/kg)>NMF(155.40 mg/kg)>NEF(125.63 mg/kg)。根据土壤养分等级评定分析速效钾含量对应的水平等级(<100 mg/kg 为严重缺钾;100~125 mg/kg 为缺钾;125~155 mg/kg 为适量;>155 mg/kg 为富钾)来分析判断<sup>[30]</sup>,本区域的不同施肥处理下,CTP,HMF 样地、NMF 样地速效钾为钾富集,NEF 样地速效钾为钾适量。风沙土的钾元素比较充足,长期施肥提高了土壤速效钾含量,但长期不施肥土壤速效钾含量并没有显著降低,表明土壤中速效钾含量与土壤本身的钾含量有关<sup>[31-32]</sup>。

从长期不同量施肥下 4 块样地土壤养分的平均值来看,长期定位施肥对策勒绿洲农田土壤养分有积极影响,高投入农田土壤养分含量平均值最高,常规投入农田次之,开垦未投入农田和未开垦对照农田养分含量指标基本处于最低水平。张晓东等<sup>[33]</sup>对新疆

玛河流域绿洲农田不同开垦年限下土壤养分的含量进行分析,发现长期的开垦(开垦年限>13 a)会使绿洲农田土壤退化,降低了土壤养分及有效养分含量。苏永中等<sup>[34]</sup>对临泽边缘绿洲沙地农田进行长期施肥定位试验,表明农田开垦和合理化施肥对绿洲土壤养分有积极影响。本研究中,肥料的投入对绿洲农田土壤养分产生积极影响,高肥料施入量的土壤养分指标含量也相对较高。土壤 pH 值是土壤重要的理化性质之一,它直接或间接影响土壤养分的存在状态和转化<sup>[35-36]</sup>。本研究中,随着处理年限的增加,土壤 pH 值有增加趋势,但相同年份,未开垦农田和两块施肥农田土壤 pH 值较低。可能是氮肥的施入降低了土壤 pH 值<sup>[37]</sup>。对 4 块样地土壤 pH 值和养分含量进行相关性分析,土壤 pH 值与速效钾含量呈显著或极显著的负相关性。研究过程中,施肥主要是有机肥和氮、磷肥,但施肥样地速效钾含量显著高于开垦未施肥样地。研究表明策勒绿洲开垦过程中施肥可以改善土壤盐碱化,降低土壤 pH 值从而促进土壤养分活化,增加土壤有效养分的吸收<sup>[38]</sup>。

## 4 结论

通过 2006—2018 年对策勒长期不同施肥量对土壤养分的影响进行分析,结果表明长期高施肥量投入显著增加了土壤养分,肥料施入对绿洲农田土壤养分产生积极的影响。新开垦农田样地由于开垦过程中未进行肥力投入土壤养分含量在 4 块样地中基本处于最低水平,说明绿洲农田在短期开垦及开垦过程进行肥料投入的重要性,在绿洲化过程中,需要进行物质能量投入及进行合理的农田管理。对于风沙土来说,土壤钾元素含量较高,制约土壤肥力的因素在于氮元素和磷元素,策勒绿洲农田在开垦及开垦过程中应该合理进行氮肥和磷肥的投入。

### 参考文献:

- [1] 刘艳,宋同清,蔡德所,等.喀斯特峰丛洼地不同土地利用方式土壤肥力特征[J].应用生态学报,2014,25(6):1561-1568.
- [2] 张晗,赵小敏,朱美青,等.近 30 年南方丘陵山区耕地土壤养分时空演变特征:以江西省为例[J].水土保持研究,2018,25(2):58-65,71.
- [3] 王燕,赵哈林,董治宝,等.荒漠绿洲农田盐渍化过程中土壤环境的演变过程[J].生态环境学报,2014,23(11):24-31.
- [4] 桂东伟,雷加强,曾凡江.绿洲农田不同深度土壤粒径分布特性及其影响因素:以策勒绿洲为例[J].干旱区研究,2011,28(4):622-629.
- [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] Chakrabarty Y, Akter S, Saifullah A S M, et al. Use of fertilizer and pesticide for crop production in agrarian area of tangail district, Bangladesh[J]. Environment and Ecology Research, 2014,2(6):253-261.
- [7] 桂东伟,穆桂金,雷加强,等.干旱区农田不同利用强度下土壤质量评价[J].应用生态学报,2009,20(4):894-900.
- [8] 康日峰,任意,吴会军,等.26 年来东北黑土区土壤养分演变特征[J].中国农业科学,2016,49(11):2113-2125.
- [9] 张淑香,张文菊,沈仁芳,等.我国典型农田长期施肥土壤肥力变化与研究展望[J].植物营养与肥料学报,2015,21(6):1389-1393.
- [10] 鲁艳红,廖育林,聂军,等.连续施肥对不同肥力稻田土壤基础地力和土壤养分变化的影响[J].中国农业科学,2016,49(21):4169-4178.
- [11] 苏永中,杨荣,刘婷娜.施肥对新垦绿洲风沙土肥力及碳积累的影响[J].中国沙漠,2019,39(3):1-6.
- [12] 杨振兴,周怀平,解文艳,等.长期施肥对褐土有机质、氮动态变化的影响[J].山西农业科学,2019,47(12):2131-2134.
- [13] Lin Z, Chang X, Wang D, et al. Long-term fertilization effects on processing quality of wheat grain in the North China Plain[J]. Field Crops Research, 2015,174:55-60.
- [14] 段婧婧,耿庆龙,摆玮.和田地区耕层土壤养分含量分析[J].农村科技,2019,7(5):18-20.
- [15] 邹陈,徐立帅,曾凡江,等.一次风沙过程对策勒绿洲棉花光合特性的影响[J].中国农学通报,2017,33(3):120-125.
- [16] 桂东伟,雷加强,曾凡江,等.绿洲化过程中农田土壤粒径分布性质变化[J].中国沙漠,2010,30(6):1354-1361.
- [17] 刘光崧.土壤理化分析与剖面描述[M].北京:中国标准出版社,1996.
- [18] 宇万太,张璐,殷秀岩,等.下辽河平原农业生态系统不同施肥制度的土壤养分收支[J].应用生态学报,2002,13(12):1571-1574.
- [19] 桂东伟,雷加强,曾凡江,等.绿洲边缘不同土地利用方式下的土壤质量变化及分析[J].环境科学,2010,31(9):265-270.
- [20] 周晓兵,陶冶,吴林,等.塔克拉玛干沙漠南缘荒漠绿洲过渡带不同土地利用影响下土壤化学计量特征[J].生态学报,2019,39(3):216-227.
- [21] 王海明,陈治廖,廖晓勇,等.三峡库区坡耕地植物篱对土壤特性的影响研究[J].中国水土保持,2010(10):21-23.
- [22] 李东,王子芳,郑杰炳,等.紫色丘陵区不同土地利用方式下土壤有机质和全量氮磷钾含量状况[J].土壤通报,2009,40(2):310-314.
- [23] 路鹏,苏以荣,牛铮,等.红壤丘陵区村级农田土壤养分的空间变异与制图[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2007,33(1):89-95.
- [24] 陈文婷,付岩梅,隋跃宇,等.长期施肥对不同有机质含量农田黑土土壤酶活性及土壤肥力的影响[J].中国农业通报,2013,29(15):78-83.
- [25] 徐华清,黄锦楼,王永荣,等.鄂尔多斯矿区不同土地利用方式土壤理化性质研究[J].林业调查规划,2014,39(2):106-111.
- [26] 杜鹏飞,海春兴,赵明,等.阴山北麓春季土壤风蚀对不同土地利用表土有机质的影响[J].干旱区资源与环境,2007,21(12):89-92.
- [27] 李建军,辛景树,张会民,等.长江中下游粮食主产区 25 年来稻田土壤养分演变特征[J].植物营养与肥料学报,2015,21(1):92-103.
- [28] 秦川,何丙辉,蒋先军.三峡库区不同土地利用方式下土壤养分含量特征研究[J].草业学报,2016,25(9):10-19.
- [29] 刘燕,唐立松,李彦.绿洲农田不同施肥处理对土壤养分和作物产量的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(3):151-156.