

沙漠—绿洲交错带小麦地土壤养分 变化特征对耕种时间的响应

栾福明¹, 熊黑钢², 王芳^{3,4}, 时卉^{3,4}, 王昭国^{3,4}, 张芳⁵, 李东⁶

(1. 丽水学院 商学院, 浙江 丽水 323000; 2. 北京联合大学 应用文理学院, 北京 100191;
3. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 4. 中国科学院大学, 北京 100049;
5. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 6. 新疆财经大学 旅游学院, 乌鲁木齐 830012)

摘 要: 利用相关分析及土壤退化指数, 对比研究了古尔班通古特沙漠与奇台县绿洲交错带荒地、盐碱地、小麦地土壤的养分含量、指数的特征、变化规律和退化程度。结果表明: (1) 土壤有机质与表层全氮呈相关性较高的正相关, 与碱解氮相关性差。 (2) 土壤表层速效养分含量下降快于下层。 (3) 随耕种时间的延长, 小麦地土壤养分的全氮、全磷、全钾含量变化较小, 而速效成分均大幅度的下降。其中, 速效钾下降速度最快, 达 $-38.18 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{a})$, 碱解氮其次, 为 $-14.875 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{a})$; 速效磷仅为 $-4.486 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{a})$ 。 (4) 未耕地的土壤养分退化指数(SNDI)为 -11.30% , 明显低于耕种的小麦地。 (5) 小麦地的年均土壤养分退化指数在最初的 3 年里为 4.317% , 随后的 2 年(5 年)是 6.485% , 而后 5 年(10 年)仅为 0.788% , 即早期退化速度快, 随着耕作年限的增加(>5 年), 土壤退化速度迅速减缓。

关键词: 奇台县; 沙漠—绿洲交错带; 土壤养分; 土壤养分退化指数

中图分类号: S153

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)05-0049-05

Responses of Soil Nutrients Variation Characteristics to the Cultivation Years in Wheatland of Desert-Oasis Ecotone

LUAN Fu-ming¹, XIONG Hei-gang², WANG Fang^{3,4},
SHI Hui^{3,4}, WANG Zhao-guo^{3,4}, ZHANG Fang⁵, LI Dong⁶

(1. College of Business, Lishui University, Lishui, Zhejiang 323000, China; 2. College of Art and Science, Beijing Union University, Beijing 100083, China; 3. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 5. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 6. College of Tourism, Xinjiang University of Finance & Economics, Urumqi 830012, China)

Abstract: In this paper, a comparative study was conducted to investigate soil nutrient content, index characteristics, evolvement rules and degradation degree of wastelands, alkali soils, wheat lands in the Gurbantunggut Desert-Qitai Oasis ecotone by using correlation analysis and soil degradation index(SNDI). The results showed that the positive correlation between soil organic matter of the surface layer and total nitrogen was higher, and soil organic matter of the surface layer had the poor relation to available nitrogen; available nutrients of the surface layer declined faster than those in the deeper layers; with the extension of cultivation years in wheat lands, the total nitrogen, total phosphorus, total potassium content changed little, and the available nutrients presented the great decrease, and available kalium [$-38.18 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{a})$], available nitrogen [$-14.875 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{a})$], available phosphorus [$-4.486 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{a})$] were ranked the first, the second, and the third, respectively; SNDI of the untilled lands was -11.30% , and it was significantly lower than that that in wheat lands; SNDI in untilled lands was 4.317% in the first three years, and it was 6.485% in the following two years(5 a), and it finally was 0.788% in the following five years(10 a), which meant the soil degradation rate was faster in the early years, with the extension of cultivation years, SNDI reduced slowly.

Key words: Qitai county; desert-oasis ecotone; soil nutrients; soil nutrient degradation index

收稿日期: 2013-11-01

修回日期: 2013-12-17

资助项目: 国家自然科学基金(41171165, 41261049); 北京市属高等学校高层次人才引进与培养计划项目(IDHT20130322); 北京联合大学人才强校计划人才资助项目(BPHR2012E01)

作者简介: 栾福明(1984—), 男, 山东胶南人, 博士, 主要从事旅游地理与区域发展研究。E-mail: luanfuming999@163.com

通信作者: 熊黑钢(1956—), 男, 湖南湘乡人, 教授, 博士生导师, 主要从事干旱区及人地关系研究。E-mail: xhg1956@sohu.com

土地养分变化关系到地区农业的发展和经济的稳定。土地利用方式以及耕作年限发生变化时,土壤养分含量必将随之改变。国内外众多学者对土地利用类型及其变化与土壤肥力的关系进行了相关的研究,多集中在土壤肥力评价^[1-2]、养分与生产力之间关系^[3]、土壤理化性状的变化与土地利用的方式^[4-9]等方面。并指出土壤容重、有机质、全氮、全钾和速效钾等元素的大部分变异都是由土地利用方式变化引起的^[10-16]。目前我国东部地区适宜耕作的土地已基本已全部得到利用。新疆地域辽阔,耕地后备资源丰富(盐碱地、荒地等),集中成片宜耕土地将达 32 万 hm^2 , 占全国宜耕土地总量的 35.5%。但对后备耕地被开发后,土壤养分状况随时间的变化研究较少。准确反映土壤养分对不同耕种时间响应的真实情况,可为研究土壤质量的恢复奠定基础,对科学合理利用土地资源有十分重要的意义。

奇台县是全国粮食生产百强县,小麦是其最主要的粮食作物,产量占全部粮食总产量的 60% 左右。本文选取具有典型性和代表性的古尔班通古特沙漠南缘的绿洲交错带为研究区,重点探讨盐碱地、荒地开垦为小麦地后的土壤养分特征、变化趋势及对不同开垦时间的响应程度,旨在为科学合理地利用后备耕地,为其施肥、改良提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于新疆奇台县一中林场,北距古尔班通古特沙漠南缘不足 1 km,是典型的荒漠—绿洲交错带。其为开垦河、碧流河、吉布库河、水磨河等河流下游的奇台绿洲平原最南端。地理坐标 $89^{\circ}13' - 91^{\circ}22'E, 43^{\circ}25' - 49^{\circ}29'N$ 。早期地下水位较高,为 0.5~1.0 m,盐渍化非常严重,近些年由于发展农业,大量抽取地下水灌溉,水位已降至 3~5 m。在此过程中一些盐碱地(主要植物为盐节木、猪毛菜)逐渐转化为荒地(主要植物是芦苇、芨芨草、大叶补血草、花花柴、骆驼蓬)。农田则由开发荒地而来。本区属中温带大陆性干旱半干旱气候区,冬季长而严寒,夏季短而炎热,气候干燥。年平均气温 5.5°C 。7 月平均气温 22.6°C ,1 月平均气温 -18.9°C ,极端最低气温 -37.3°C ,年平均相对湿度 60%,年平均无霜期 153 d,年平均降水量为 176 mm,蒸发潜力 2 141 mm。

2 材料与方法

2.1 样品采集与实验处理

2010 年 9 月,在研究区分别选择盐碱地、荒地、和小麦地(3 年耕种地、5 年耕种地、10 年耕种地),采

用 S 形采样法对各地类土壤进行采样。从每种样地的不同位置挖取土壤剖面 5 个,采集深度为 0—20 cm,20—40 cm 的土壤样品。每样重复 3 次,再对 3 个土壤样本进行混合,共取得 90 个样本(其中盐碱地只采集了 5 个样品)。

各小麦地均为机井灌溉的水浇地,耕种方式相同。一般肥料使用量为有机肥 $300 \text{ kg}/\text{hm}^2$,尿素 $600 \text{ kg}/\text{hm}^2$,过磷酸钙 $375 \text{ kg}/\text{hm}^2$,硫酸钾 $375 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。由于农田管理者一直没有变化,其耕种管理方式、方法(小麦地施肥量、有机肥与无机肥的比例、农药使用量、灌溉量、灌溉次数、除草等)各年基本相同。小麦年产量基本在 300 kg 左右。样品在实验室经自然风干,去除较大的沙砾等杂质,并过 1 mm 筛进行混合均匀。所有土壤有机质及各养分含量等理化性质的测定均由中国科学院新疆生态与地理研究所土壤理化分析实验室完成。重铬酸钾—硫酸溶液氧化法测有机质;碱解—扩散法测碱解氮;电位法测 pH;而全氮、全磷、全钾分别用半微量开氏法、硫酸—高氯酸消煮—钼锑抗比色法、NaOH 熔融—火焰光度法测定;速效磷、速效钾的测定则分别用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法,乙酸铵浸提—原子吸收法。

2.2 研究方法

土壤养分退化指数(SNDI, Soil Nutrient Degradation Index)的计算首先是以某种土地利用类型作为基准,假设其他的土地都是由其转变而来;然后,计算土壤各个养分属性在其他土地与基准土地利用类型之间的差异;最后,将各个属性的差异求和平均,从而得到各土地利用类型的土壤养分退化指数^[17-18]。公式如下:

$$\text{SNDI} = \frac{(p_1 - p_1')/p_1' + (p_2 - p_2')/p_2' + \dots + (p_n - p_n')/p_n'}{n} \times 100\%$$

式中: SNDI——土壤养分退化指数; p_1, p_2, \dots, p_n ——某种土地的土壤养分属性值(包括土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷和速效钾); p_1', p_2', \dots, p_n' ——基准土地利用类型下土壤属性 1, 2, \dots, n 的值; n ——选择的土壤属性数。

土壤退化指数可为正数或负数,正数表示土壤养分含量增加,土壤质量有所提高;负数则表明土壤发生退化。本文选取盐碱地作为土壤养分退化指数计算的基准地。

3 结果与分析

3.1 土壤养分特征

3.1.1 有机质与氮 耕地土壤中的氮素主要来源于施肥和动植物残体。通过对各土壤的全氮和有机质

含量进行相关性分析,发现不论是在表层还是在下层,二者均呈极显著的正相关(图 1a,c)。氮素的垂直分布主要受制于土壤有机质的分布。表层土壤有机质含量丰富,氮素含量也最高,两者的相关性好($R^2=0.9382$)。下层土壤有机质含量较低,所以氮素含量也较少,相关性较差($R^2=0.7475$)。土壤全

氮素含量与有机质变化趋势一致。

碱解氮包括无机态氮和结构简单能为作物直接吸收利用的有机态氮,可供作物近期吸收利用。碱解氮含量的高低,取决于有机质含量的高低和质量的好坏以及施用氮素化肥数量的多少。无论是在表层,还是在下层,碱解氮与有机质的相关性均较差(图 1b,d)。

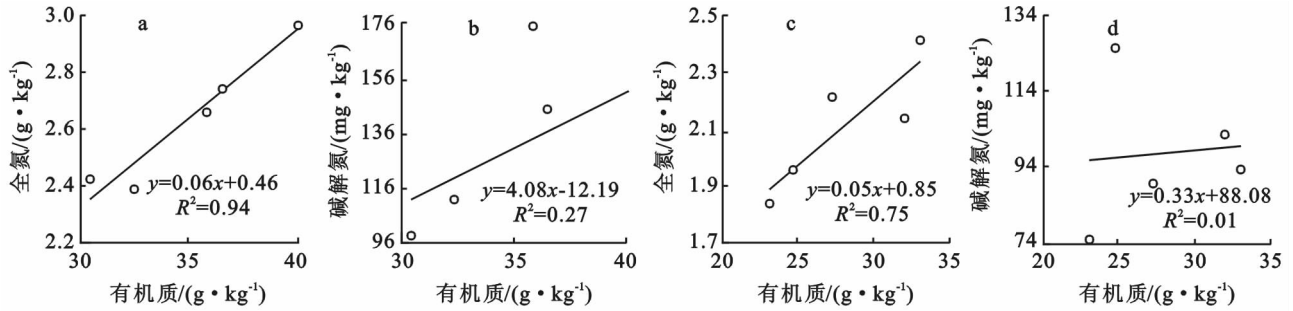


图 1 不同深度有机质与全氮、碱解氮相关性

3.1.2 全磷钾与速效磷钾 土壤中可被植物吸收的磷组分,包括全部水溶性磷、部分吸附态磷及有机态磷,有的土壤中还包括某些沉淀态磷。土壤表层中的全磷是影响速效磷含量的主要因素,两者呈显著性正相关。而下层两者的相关性不大(图 2a,b)。

土壤中全钾对速效钾的含量有显著的影响,表层及下层相关系数分别为 0.89,0.92, ($P<0.001$),且均为负相关,即全钾含量越高,速效钾越少(图 2c,d)。这与在半干旱区在一定条件下,土壤全钾和速效钾含量的变化呈负相关关系的研究结果相一致^[19]。

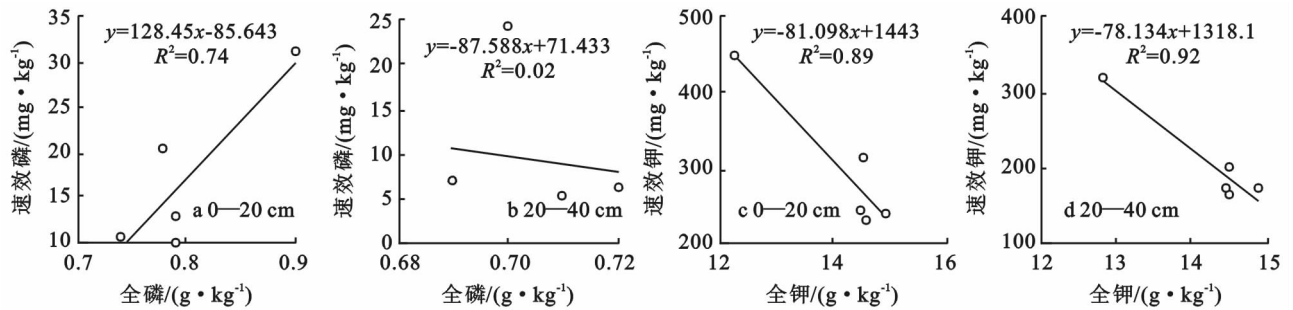


图 2 不同深度全磷与速效磷、全钾与速效钾相关性

3.2 土壤速效养分含量变化

3.2.1 不同时间土壤速效养分平均变化 小麦地各土壤速效养分均随着耕种时间的延长,含量下降(图 3),反映出尽管每年都有植物残体(包括各种秸秆的焚烧)和各种肥料的施用,但其仍然低于农作物从土壤中吸收的养分。

钾(-38.18 mg/kg),碱解氮为-14.88 mg/kg,速效磷(-4.49 mg/kg)。前者是后者的 8.5 倍,是中者的 2.6 倍。土壤碱解氮是作物氮素营养的主要来源,是全氮当中能被作物直接吸收的部分,其数量对作物生长至关重要^[20]。虽然碱解氮能反映近期土壤的氮素供应能力,但其在土壤中的含量不够稳定,易受土壤水热条件和生物活动的影响而发生变化。

土壤速效成分下降速度由大到小的顺序是,速效

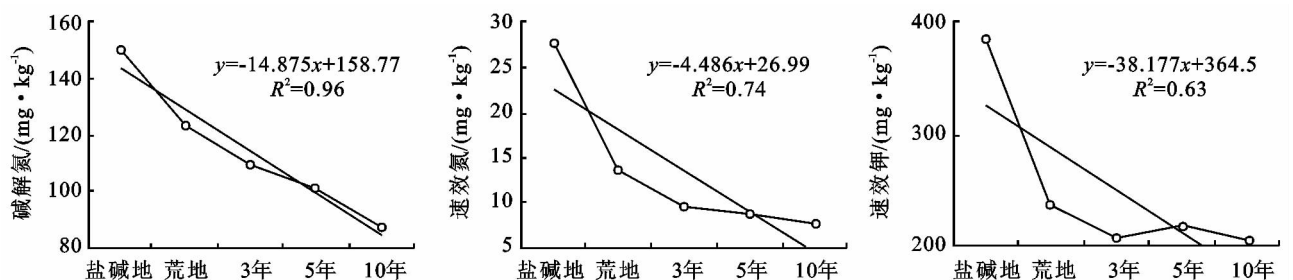


图 3 不同耕作年限土壤速效养分的动态变化

3.2.2 不同深度土壤速效养分变化 各土壤速效养分(速效磷、速效钾、碱解氮)与耕种年限的相关性表现出 3 个特点(图 4)。(1) 随着耕种时间的延长,不论在表层还是在下层土壤速效氮磷钾均呈现不断下降的趋势。(2) 各速效成分与时间的相关性以及变化速率均为表层大于下层。(3) 不论是表层还是下层,各土壤速效养分与耕种年限的相关性由大到小的顺序均为,碱解氮(表层 0.97,下层 0.94)、速效磷(表

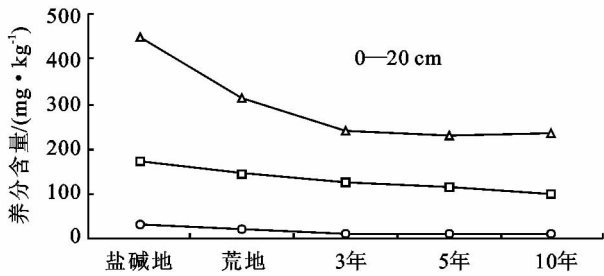


图 4 不同深度土壤速效养分变化

3.3 不同耕种时间的土壤养分退化指数 (SNDI) 差异

3.3.1 不同土地土壤养分退化指数的变化 荒地多源自于盐碱地,虽然干旱、少雨,生物生长缓慢,但其土壤养分分解流失很少,在土壤中减少速度慢。因此,土壤养分退化指数明显低于小麦地(3 年,5 年,10 年耕种地),仅为 -11.30% (图 5)。小麦地土壤养分的退化程度显著(通过 $P=0.05$ 水平下显著性检验),而且随着耕作时间的延长,呈现出逐渐降低的趋势。耕种 3 年小麦地的退化指数,为 -12.95%,表明其受人类活动的干扰性相对较弱。到 5 年,土壤养分退化指数的增加至 -20.025%。而 10 年耕地,则是一 -23.96%,说明小麦地的土壤养分退化程度在最初的几年里(≤ 5 年),退化速度比较快,随着耕作年限的增加(>5 年),土壤养分退化速度减缓(图 5)。

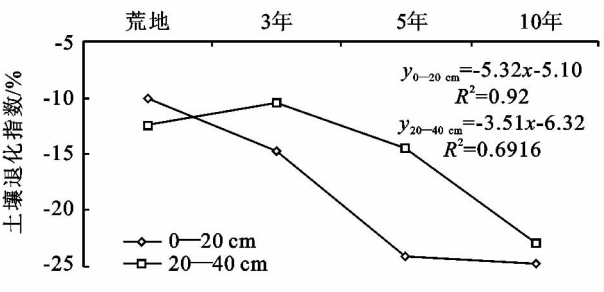
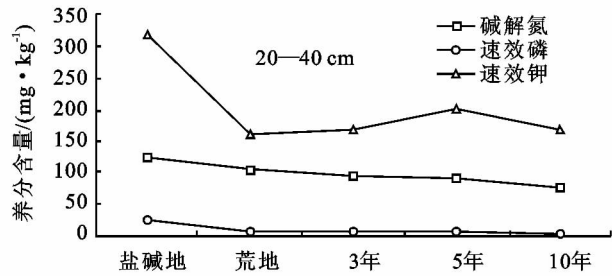


图 5 不同耕种时间的土壤养分退化指数

3.3.2 不同深度的土壤养分退化 除荒地外,土壤养分退化指数在小麦地的表层(0—20 cm)均大于下层(20—40 cm) (图 6)。前者土壤退化速率是一 -5.32,后者为一 -3.51,反映出虽然各小麦地均施用化肥,但土壤养分含量仍然在减少,并且表层养分含量降低速度高于下层。表层土壤养分 ≤ 5 年的退化

层 0.85,下层 0.56)、速效钾(表层 0.75,下层 0.39),并且速效钾变化速率最快(表层 -50.71 mg/(kg · a),下层 -25.65 mg/(kg · a),其次是碱解氮(表层 -18.42mg/(kg · a),下层 -11.33 mg/(kg · a)),而速效磷变化最慢[(表层 -5.19 mg/(kg · a),下层 -3.78 mg/(kg · a)]。总体上,养分含量均呈现不同程度的下降,但碱解氮、速效磷及速效钾含量下降较大,而全氮、全磷、全钾含量变化较小。



速度快, >5 年后则迅速减缓。下层土壤养分 ≤ 3 年时,略有增加,但 ≥ 3 年后迅速下降,其中 3~5 年下降速率为 -4.04;5~10 年为 -8.38。

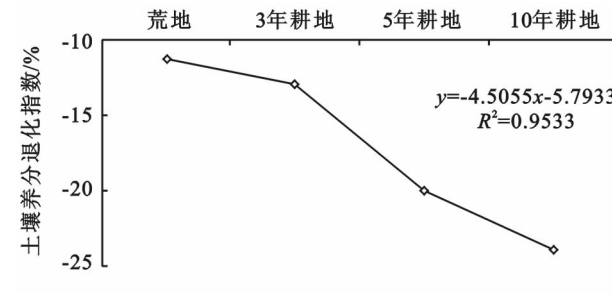


图 6 不同深度的土壤养分退化指数

3.3.3 不同养分的土壤退化指数 为了深入探讨速效氮磷钾与全氮磷钾在不同耕种时间小麦地土壤中的差异,分别计算两者的土壤养分退化指数(图 7)。表层(0—20 cm),土壤养分速效氮磷钾不仅含量低,而且退化指数均远远大于全氮磷钾。但在下层(20—40 cm)则相反,土壤全氮磷钾退化速度大于速效氮磷钾;20—40 cm 的土壤全氮磷钾退化指数在各种地中均为正值,仅在 0—20 cm 土层中 >5 年的耕种地才显示出轻度亏损。退化最快的是 0—20 cm 速效氮磷钾,其次为 20—40 cm 的全氮磷钾,再次是 0—20 cm 的全氮磷钾。有意思的是 20—40 cm 的速效氮磷钾下降速度最慢,比表层的速效氮磷钾慢近 4 倍,反映出其整体变化相对较小。

4 结论与讨论

(1) 有机质与全氮含量呈正比,在表层其决定系数可达 0.94,但与碱解氮含量的相关性差,反映出干旱环境下有机质分解缓慢。

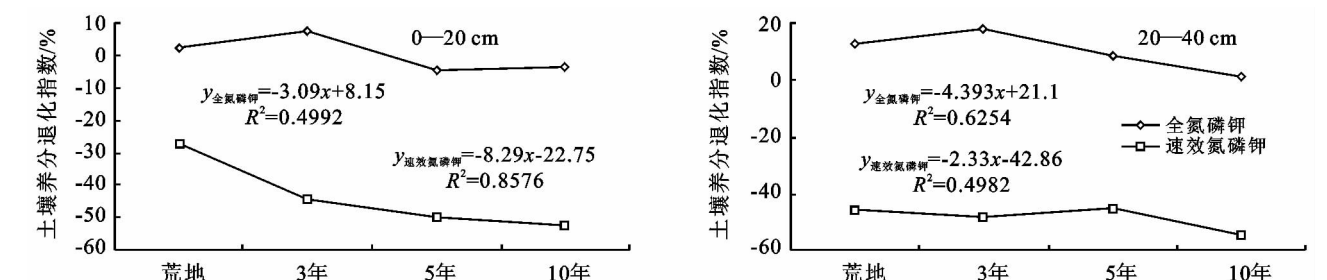


图7 不同深度全氮、磷、钾及速效氮、磷、钾的土壤退化指数

(2) 随着小麦地耕种时间加长,土壤速效氮磷钾均出现下降趋势,而且表层土壤养分的速效氮磷钾下降速度大于下层。其中,下降最快的为速效钾,其次是碱解氮。

(3) 全钾与速效钾呈显著的负相关,即全钾越高,速效钾越低,因此,如何解决全钾与速效钾的矛盾,是今后需要重点研究的。

(4) 土壤的速效氮磷钾退化指数远大于全氮磷钾退化指数。同时,耕种3年,5年的小麦地土壤退化指数分别为-12.95%, -20.01%,而10年的仅为-23.96%。后5年退化指数仅增加了一3.95%,表明小麦地前期土壤退化速度远远大于后期。这可能预示着,耕地属于人类活动干扰性较强的土地利用类型,在新的养分循环系统尚不完善、功能较低(≤5年)时^[10]。耕作时限越长,对背景值养分的消耗量越大。因此,土壤养分退化速度快。但随着耕种时间的延长(>5年),新的土壤养分循环系统得到加强和完善,土壤养分退化速度减缓。

(5) 研究区主要受自然环境变化影响的未耕地(荒地)土壤养分退化指数明显低于不同耕种年限(3年,5年,10年小麦地)的以人类耕种活动为主的耕地。这表明干旱区交错带小麦地土壤养分退化程度更多地受控于人类活动干扰强度。

参考文献:

[1] Hussain I, Olson K R, Wander M M, et al. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois[J]. Soil & Tillage Research, 1999,50(3):237-249.

[2] Wang X J, Gong Z T. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in sun tropical China[J]. Geoderma,1998,81(3):339-355.

[3] 李林,王振宇,徐维新,等.青藏高原典型高寒草甸植被生长发育对气候和冻土环境变化的响应[J]. 冰川冻土, 2011,33(5):1006-1013.

[4] 刘占仁,王立志.不同土地利用方式对土壤养分及肥力的影响[J]. 水土保持研究,2012,19(6):72-76.

[5] 刘敏,甘枝茂.黑河流域水资源开发对额济纳绿洲的影

响及对策[J]. 中国沙漠,2004,24(2):162-166.

[6] 蒋勇军,袁道先,章程,等.典型岩溶农业区土地利用变化对土壤性质的影响:以云南小江流域为例[J]. 地理学报,2005,60(5):751-760.

[7] 栾福明,张小雷,熊黑钢,等.基于不同模型的土壤有机质含量高光谱反演比较分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2013,33(1):196-204.

[8] 张晓明,曹文洪,余新晓,等.黄土丘陵沟壑区典型流域径流输沙对土地利用/覆被变化的响应[J]. 应用生态学报,2009,20(1):121-127.

[9] 王丽,张懿铨,王兆锋,等.放牧及水文扰动对拉萨地区湿草甸湿地土壤特征的影响[J]. 水土保持研究,2013, 20(1):66-69.

[10] 王忠臣,钱亦兵,张海燕,等.东天山喀尔里克山北坡—淖毛湖盆地土壤理化性状的空间分布特征[J]. 干旱区地理,2011,34(1):107-114.

[11] 杨恒山,张玉芹,杨升辉,等.苜蓿轮作玉米后土壤养分时空变化特征分析[J]. 水土保持学报,2012,26(6): 127-130.

[12] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,等.低山丘陵区土地利用方式对土壤质量的影响:以河北省遵化市为例[J]. 地理学报,2001,56(4):447-455.

[13] 孙波,赵其国,闫国年.低丘红壤肥力的时空变异[J]. 土壤学报,2002,39(2):190-198.

[14] 庞学勇,刘庆,刘世全,等.川西亚高山云杉人工林土壤质量性状演变[J]. 生态学报,2004,24(2):261-267.

[15] 王勇辉,陈升,焦黎.艾比湖主要补给河流下游河岸带土壤养分特征[J]. 水土保持研究,2013,(2):43-47.

[16] 周涛,戴全厚,吴秀芹,等.喀斯特山区退耕还林地土壤养分效应及评价[J]. 水土保持研究,2011,18(6):71-74.

[17] 罗格平,许文强,陈曦.天山北坡绿洲不同土地利用对土壤特性的影响[J]. 地理学报,2005,60(5):779-790.

[18] 李宝富,熊黑钢,张建兵,等.古尔班通古特沙漠与绿洲交错带土地利用变化对土壤特性的影响[J]. 冰川冻土,2012,34(3):573-582.

[19] 郑昭佩,宋德香,刘作新.长期灌溉施肥对半干旱区褐土氮、磷和钾库的影响[J]. 生态学杂志,2004,23(5): 19-23.

[20] 刘芬,同延安,王小英,等.陕西关中灌区冬小麦施肥指标研究[J]. 土壤学报,2013,50(3):556-563.