

李 侠,马晓慧,杜世杰,等. 不同利用方式土地可培养微生物数量及其垂直分布特征[J]. 江苏农业科学,2021,49(24):246-250.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.24.042

# 不同利用方式土地可培养微生物数量及其垂直分布特征

李 侠<sup>1,2</sup>, 马晓慧<sup>1</sup>, 杜世杰<sup>3</sup>, 叶诚诚<sup>2</sup>, 白 静<sup>1</sup>, 王润梅<sup>1</sup>

(1. 山西大同大学生命科学学院, 山西大同 037009; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193;

3. 山西省大同市城区投资促进局, 山西大同 037009)

**摘要:**为探究不同土地利用方式下土壤中各类微生物数量的差异及其垂直分布特征,以山西省大同市云州区林地、作物旱地和菜园 3 种不同土地利用方式的土壤为研究对象,分别对土壤中细菌、真菌和放线菌进行培养,并统计其数量。不同土地利用方式下土壤微生物总数由大到小依次为林地、菜园、作物旱地,其中细菌和真菌数量均表现为林地>菜园>作物旱地;放线菌数量表现为林地>菜园≈作物旱地;不同土地利用方式下各土层均是细菌数量最多,占可培养微生物总数量的 70% 以上;而真菌和放线菌的数量相近,约占可培养微生物总数量的 5%;不同土地利用方式下土壤细菌、真菌和放线菌数量均随着土层深度的增加而减少,具有明显的垂直分布特征,尤其是真菌数量的下降较为明显;林地、菜园和作物旱地土壤细菌和真菌的层化比率在 2~2.5 之间,土壤质量基本良好。

**关键词:**土地利用方式;土层深度;微生物;垂直分布特征

**中图分类号:** S154.3;S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)24-0246-05

微生物是土壤中最活跃的组成部分,土壤微生物的存在使土壤成为一个活的生命体<sup>[1]</sup>。土壤微生物种类繁多,包括原核微生物如细菌、蓝细菌、放线菌,以及真核生物如真菌、藻类、地衣和原生动物等,它们积极参与土壤有机质和养分的转化及循环过程,在土壤形成、肥力演变和土壤结构的改良等方面起着重要作用<sup>[2-3]</sup>。研究土壤中微生物数量并对土壤质量进行评价有助于改善土壤结构、提高土壤肥力。大量研究表明,土地利用方式改变会引起土壤水分、养分及结构等理化特性变化<sup>[4-6]</sup>,进而影响土壤微生物的分布。然而由于选择区域和方法的不同,目前关于土地利用方式对土壤中各类微生物群数量的研究结果存在很大差异。有研究表明,天然草地土壤中细菌和放线菌数量均显著高于农田土壤,但农田土壤中真菌数量显著高于天然草地<sup>[7]</sup>。然而也有研究表明,随着地表植物多样性增加,土壤中真菌数量增加,而细菌和放线菌的数量却降低<sup>[8]</sup>。除土地利用方式外,土层深度也是影响

土壤微生物数量的一个重要因素,研究表明,土层深度是土壤环境和微生物的一个重要生态过滤器,底层土壤一般养分贫瘠、微生物数量较低<sup>[9]</sup>。如李雪梦等对大青山林地不同土层深度土壤的微生物进行培养,发现土壤微生物的总数量随着土层深度的增加呈现下降的趋势<sup>[10]</sup>。大同市位于山西省最北端,地处温带大陆性季风气候区,受季风影响,四季鲜明,干旱少雨,林地、旱作农田及大棚蔬菜地是该地区几种重要的土地利用方式,然而关于该地区不同土地利用方式下土壤微生物种类、数量、所占比例及其在不同土层深度中的分布等方面的研究较少。本研究以山西省大同市云州区东坪村林地、作物耕地和菜园土壤为研究对象,分别对 0~10、10~20、20~30 cm 土层的土壤进行培养,研究土壤中细菌、真菌和放线菌数量在不同土地利用方式和土层深度下的变化规律,旨在优化土地利用方式,为土地资源合理利用提供数据参考和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

山西省大同市云州区瓜园乡东坪村(113°20′~113°55′E,39°43′~40°16′N)属于晋冀蒙交汇之地,属于温带季风型大陆性气候,年平均气温在 6.4℃左右。地形主要呈南北高、中间低走势。北靠火山群国家地质公园,南靠京大高速公路。该地区林地

收稿日期:2019-07-03

基金项目:国家自然科学基金(编号:31400479);山西省应用基础研究计划(编号:201801D121258)。

作者简介:李 侠(1981—),女,山西运城人,硕士,讲师,主要从事环境生态过程与调控研究。E-mail:lixia810504@163.com。

通信作者:王润梅,硕士,教授,主要从事环境化学与生物学研究。E-mail:wangrunmei2004@tom.com。

面积占比最大,其次为耕地和菜园,且耕地为旱地。

## 1.2 土壤样品采集

于 2018 年 5 月 1 日在东坪村分别采取林地、作物旱地和菜园 3 种不同利用方式土地的土壤样品。每种土地利用方式选取 3 个样方,每个样方取 3 个点,去掉上层的杂物然后用土钻分别采集每个样点的 0~10、10~20、20~30 cm 3 个土层的土样,将每个样方每层土壤的 3 个点进行混合,共得到 27 个样品。用冰盒带回实验室进行微生物培养,同时做空白对照。

## 1.3 培养基制备

细菌、真菌及放线菌分别采用牛肉膏蛋白胨固体培养基、改良的马丁氏培养基和高氏一号培养基进行培养,稀释平板法分离计数。

土壤微生物数量 = 菌落平均数 × 稀释倍数 / 土壤干质量, CFU/g。

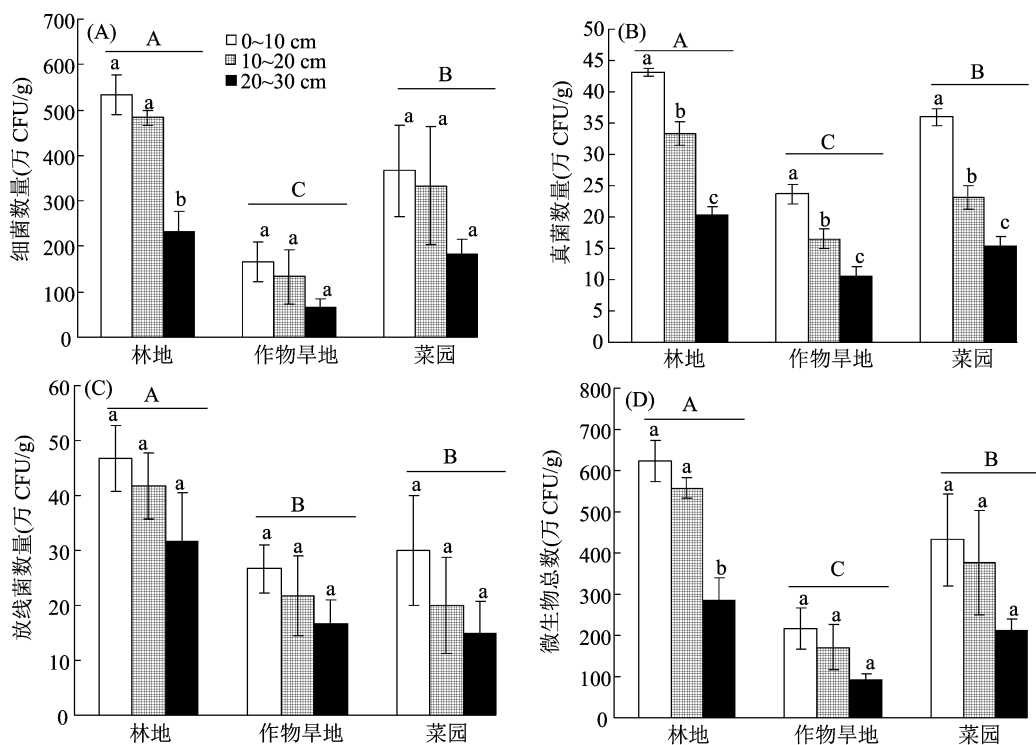
## 1.4 数据分析

本试验所有数据均采用 Excel 2016 进行前期处理和作图,数据通过 Kolmogorov - Smirnov 检测正态性,通过 Levene 检测方差齐次性。使用方差分析比较不同土地利用方式下不同土层深度微生物数量的差异,并用 Duncan's 法检验各处理间差异的显著性 ( $\alpha = 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土地利用方式下土壤细菌、真菌和放线菌数量的垂直分布

3 种土地利用方式下土壤细菌数量均远大于真菌和放线菌。从图 1 - A 可以看出,土地利用方式和土层深度均明显影响土壤细菌数量,不同土地利用方式下土壤细菌数量表现为林地 > 菜园 > 旱地;林地 0~10、10~20 cm 土层土壤细菌数差异不显著,均显著高于 20~30 cm 土层,而作物旱地和菜园 3 个土层间土壤细菌数差异不显著。从图 1 - B 可以看出,土地利用方式和土层深度均显著影响土壤真菌数量,不同土地利用方式下土壤真菌数量表现为林地 > 菜园 > 旱地,且三者间差异显著;不同土层间林地、作物旱地和菜园土壤真菌数量均表现为 0~10 cm 土层 > 10~20 cm 土层 > 20~30 cm 土层,且 3 个土层之间差异显著。从图 1 - C 可以看出,土地利用方式显著影响土壤放线菌数量,林地土壤放线菌数量显著高于菜园和作物旱地,而菜园和作物旱地之间差异不显著;而土层深度对土壤放线菌数没有显著影响,虽然 3 个土层之间放线菌数量表现出随着土层深度增加而减少的趋势,然而差异没有达到显著水平。从图 1 - D 可以看出,3 种土地利



图中不同小写字母表示不同土层深度之间差异显著( $P < 0.05$ ); 不同大写字母表示不同土地利用方式之间差异显著( $P < 0.05$ )

图1 不同土地利用方式下不同土层深度的细菌(A)、真菌(B)、放线菌(C)的数量和微生物总数(D)

用方式下土壤微生物总数显著不同,其中林地土壤微生物总数最高,菜园次之,作物旱地最低,林地土壤微生物总数分别是菜园和作物旱地的 1.43 倍和 3.04 倍;林地 0~10、10~20 cm 土层土壤微生物总数显著高于 20~30 cm 土层,0~10 cm 与 10~20 cm 土层微生物总数差异不显著,而作物旱地和菜园 3 个土层间土壤微生物总数差异均不显著。

2.2 不同土地利用方式下土壤细菌、真菌和放线菌相对比例

由表 1 可知,土地利用方式显著影响土壤细菌、真菌和放线菌的相对比例。林地、作物旱地和菜园细菌数量的相对比例分别为 84.63%、71.92% 和 83.82%,其中林地和菜园细菌数量的相对比例显著

高于作物旱地,林地与菜园细菌数量相对比例差异不显著;真菌数量的相对比例分别为 6.88%、11.74% 和 8.33%,放线菌数量的相对比例分别为 8.48%、16.34% 和 7.85%,其中作物旱地真菌和放线菌数量的相对比例均显著高于林地、菜园,且林地与菜园之间真菌和放线菌数量的相对比例差异不显著。土层深度显著影响林地土壤细菌和放线菌数量的相对比例,林地 0~10 cm 和 10~20 cm 土层细菌的相对比例显著高于 20~30 cm 土层,但土壤放线菌的相对比例却显著低于 20~30 cm 土层;且前 2 个土层之间细菌和放线菌的相对比例差异均不显著;土层深度对作物旱地、菜园的细菌、真菌和放线菌数量的相对比例均无显著影响。

表 1 不同土地利用方式下各土层的微生物相对比例

土地利用方式	土层深度 (cm)	相对比例 (%)		
		细菌	真菌	放线菌
林地	平均	84.63 ± 7.92A	6.88 ± 0.49B	8.48 ± 0.69B
	0~10	85.55 ± 0.21a	7.02 ± 0.61a	7.43 ± 0.40b
	10~20	86.65 ± 0.85a	5.96 ± 0.12a	7.40 ± 0.79b
	20~30	81.71 ± 0.23b	7.67 ± 1.30a	10.62 ± 1.25a
作物旱地	平均	71.92 ± 4.42B	11.74 ± 1.35A	16.34 ± 3.20A
	0~10	75.58 ± 2.69a	11.75 ± 1.84a	12.67 ± 0.85a
	10~20	71.10 ± 12.21a	11.43 ± 3.40a	17.47 ± 8.81a
	20~30	69.08 ± 8.18a	12.03 ± 2.63a	18.89 ± 5.82a
菜园	平均	83.82 ± 3.23A	8.33 ± 1.22B	7.85 ± 2.17B
	0~10	83.73 ± 2.50a	9.39 ± 2.15a	6.88 ± 0.97a
	10~20	82.94 ± 9.83a	8.11 ± 3.23a	8.95 ± 6.63a
	20~30	84.79 ± 4.59a	7.50 ± 1.39a	7.71 ± 3.21a

注:不同小写字母代表同一土地利用方式 3 个土层间差异显著;不同大写字母代表 3 种土地利用方式的平均值差异显著。

2.3 不同土地利用方式下土壤细菌/真菌和放线菌/真菌及土壤微生物层化比率

从表 2 可以看出,林地、作物旱地和菜园的细菌/真菌比值分别为 12.73、7.31 和 12.26,放线菌/真菌比值分别为 1.28、1.31 和 0.86,土地利用方式对土壤细菌/真菌和放线菌/真菌无显著影响;土层深度对细菌/真菌、放线菌/真菌比值无显著影响,

但仍可看出,10~20 cm 土层的细菌/真菌比值均为最大;20~30 cm 放线菌/真菌比值均最大。

土壤微生物层化比率可以作为指示动态土壤质量的指标,以此判定土壤的质量状况,层化比率大于 2 或在 2 附近说明土壤状况良好;明显小于 2 或异常高则说明土壤存在退化现象<sup>[11]</sup>。由表 3 可知,林地、菜园和作物旱地土壤细菌、真菌的层化比

表 2 不同土地利用方式下各土层的微生物数量比值

土层深度	细菌/真菌			放线菌/真菌		
	林地	作物旱地	菜园	林地	作物旱地	菜园
0~10 cm	12.36 ± 1.02	6.86 ± 1.37	10.01 ± 2.43	1.08 ± 0.14	1.11 ± 0.11	0.82 ± 0.24
10~20 cm	14.55 ± 0.40	8.13 ± 3.36	14.20 ± 5.02	1.24 ± 0.12	1.31 ± 0.39	0.84 ± 0.37
20~30 cm	11.28 ± 1.89	6.95 ± 2.78	12.56 ± 3.40	1.52 ± 0.40	1.52 ± 0.24	0.92 ± 0.28

表 3 不同土地利用方式下土壤细菌、真菌和放线菌的层化比率

土地利用方式	层化比率		
	细菌	真菌	放线菌
林地	2.28	2.11	1.47
作物旱地	2.50	2.22	1.60
菜园	2.00	2.35	2.00

注:层化比率 = (0 ~ 10 cm 土壤微生物数量) / (20 ~ 30 cm 土壤微生物数量)。

率均在 2 ~ 2.5 之间,林地和作物旱地土壤放线菌的层化比率明显小于 2,说明本试验调查样地的土壤状况基本良好。

### 3 讨论

#### 3.1 土地利用方式对土壤可培养微生物数量的影响

本研究发现,林地的细菌、真菌和放线菌数量均显著高于菜园和作物旱地,且菜园的细菌和真菌数量也均显著高于作物旱地。陈艳等研究发现,玉溪市林地土壤可培养微生物数量显著高于玉米地<sup>[12]</sup>;章家恩等在广州白云区与苏涛等在鲁西南地区的土壤中同样也发现菜地土壤中可培养微生物数量显著高于作物旱地<sup>[13-14]</sup>,可能是由于不同土地利用方式下土壤状况、植被类型和植物凋落物等的不同所造成<sup>[15]</sup>,本研究结果与之一致。也有研究表明,在熟化程度高和肥力较好的土壤中,土壤微生物的数量较多,且细菌所占的比例较高;而在干旱及难分解物质较多的土壤中,土壤微生物总数较少,细菌所占比例相对较低,而真菌和放线菌的比例相对较高<sup>[16-17]</sup>。林地植被覆盖度高,凋落物多,且受人为干扰小,土壤有机质积累多分解少,为微生物提供了丰富的碳源,有利于微生物的生长。铁展畅等研究发现,林地土壤有机质含量较草地等其他利用方式高<sup>[18]</sup>。菜园灌溉次数较多,同时大量施用有机肥和化肥,因而土壤中水分、有机碳源及养分均较高,也为微生物提供了良好的生长环境<sup>[19]</sup>。而作物旱地由于水分、有机碳及养分含量均较低,尤其是水分含量非常低,土壤水分是影响微生物数量和活性重要的外界因素之一,在一定水分范围内微生物数量与土壤含水量呈显著正相关关系<sup>[20]</sup>。真菌在酸性土壤中具有优势<sup>[21]</sup>,而土壤酸化是菜地土壤的重要特征<sup>[22]</sup>,本试验中菜园和林地土壤真菌数量显著高于作物旱地,然而菜园和林地土壤真菌数量的相对比例显著低于作物旱地,因为相比于菜

园和林地,作物旱地土壤细菌数量大幅下降(分别比菜园和林地下降了 58.49% 和 70.67%),下降幅度远超过真菌的下降幅度(分别比菜园和林地下降了 31.78% 和 47.60%)。本研究中作物旱地放线菌数量的相对比例显著高于林地和菜园,可能与放线菌喜好水分含量低的环境有关。

本研究发现,林地、菜园和作物旱地土壤可培养微生物数量均是细菌远大于真菌、放线菌,这与大多数的研究结果<sup>[10-13,23]</sup>一致。土壤细菌具有个体小、比表面积大、代谢强和繁殖快的特点,因此具有很强的竞争力,本研究中细菌约占土壤微生物总量的 71.92% ~ 84.63%,以往研究发现,土壤细菌占土壤微生物总量的 70% ~ 90%<sup>[21]</sup>,本研究结果与之一致。本研究中林地和菜园的土壤细菌/真菌分别为 12.26 和 12.73,而作物旱地土壤细菌/真菌为 7.31;林地、菜园和作物旱地的放线菌/真菌分别为 1.28、1.31 和 0.86。李玖燃等对全国 17 个省(市)林地、旱作耕地和菜地的土壤进行调查,得出林地和菜地土壤细菌/真菌均能达到 15 以上,旱作耕地土壤细菌/真菌约为 8 左右;林地、旱作耕地和菜地土壤放线菌/真菌的比值均为 1 左右<sup>[24]</sup>,本研究结果与之基本一致。

#### 3.2 土层深度对土壤可培养微生物数量的影响

土层深度是环境和微生物的生态过滤器,本研究中 0 ~ 10 cm 土层中土壤细菌、真菌和放线菌数量均最高,随着土层深度的增加,各类群微生物数量均呈现下降趋势,这与李涛等在北方农牧交错带研究的耕地和草地土壤细菌、真菌和放线菌数量的垂直分布趋势<sup>[11]</sup>一致。相比于 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 的土层,林地 20 ~ 30 cm 土层土壤细菌数量急剧下降,可能由于表层土壤受植被根系、凋落物及人为活动的影响,其土壤有机质含量、养分含量均显著高于下层土壤,而植被与人为影响的土层范围为 0 ~ 20 cm<sup>[25]</sup>。王少昆等对科尔沁沙质草甸土壤微生物数量的研究也得出 20 cm 土层以下细菌数量急剧减少<sup>[26]</sup>。土层深度对林地、作物旱地和菜园土壤细菌/真菌和放线菌/真菌的比值无显著影响,说明各土层可培养微生物数量的相对含量较为稳定。

李涛等提出土壤微生物层化比率的概念来判断土壤的质量状况,层化比率大于 2 或在 2 附近说明土壤状况良好,明显小于 2 或异常高则说明土壤存在退化现象<sup>[11]</sup>。本试验调查样地中 3 种土地利

用方式下的土壤微生物层化比率基本在 2~2.5 之间,仅林地和作物旱地放线菌的层化比率低于 2,分别为 1.47 和 1.60,说明本试验调查区土壤的质量基本良好。但土壤质量不仅包含土壤微生物数量,还须要进一步考虑土壤结构等物理指标和土壤养分等化学指标。因此,将来须要进一步对云州区东坪村土壤基本的理化性质进行测定,从而更好地对该地区土壤质量进行评价并为提高土壤健康、增加土地生产力提供实际指导。

## 4 结论

(1)土壤可培养微生物总数量由大到小依次为林地、菜园、作物旱地;其中细菌和真菌数量表现为林地>菜园>作物旱地;但放线菌数量表现为林地>菜园≈作物旱地。

(2)3 种土地利用方式下各土层土壤均是细菌数量最多,相对比例均能达到 70% 以上;而真菌和放线菌的相对比例相近,均能达到 5% 以上。

(3)3 种土地利用方式土壤细菌、真菌和放线菌数量均随着土层深度的增加而减少,具有明显的垂直分布特征。尤其是真菌随着土层深度的增加,数量下降较为明显。

(4)林地、菜园和作物旱地土壤细菌和真菌的层化比率在 2~2.5 之间,因此本试验调查样地土壤质量良好。

## 参考文献:

- [1] 宋长青,吴金水,陆雅海,等. 中国土壤微生物学研究 10 年回顾[J]. 地球科学进展,2013,28(10):1087-1105.
- [2] 王 果. 土壤学[M]. 北京:高等教育出版社,2009:150-153.
- [3] 俞大绂,李季伦. 微生物学[M]. 北京:北京科学出版社,1985:477-483.
- [4] 李 志,刘文兆,王秋贤. 黄土塬区不同地形部位和土地利用方式对土壤物理性质的影响[J]. 应用生态学报,2008,19(6):1303-1308.
- [5] 李 娟,廖洪凯,龙 健,等. 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响[J]. 生态学报,2013,33(7):2147-2156.
- [6] Kong X B,Zhang F R,Wei Q,et al. Influence of land use change on soil nutrients in an intensive agricultural region of North China[J]. Soil and Tillage Research,2006,88:85-94.
- [7] 铁展畅,阿不都克尤木,巴依木热杜夫,等. 塔吉克斯坦不同土地利用方式对土壤微生物区系及活性的影响[J]. 西北农业学报,2014,23(5):177-184.
- [8] Zak D R,Holmes W E,White D C,et al. Plant diversity, soil microbial communities,and ecosystem function:are there any Links?[J] Ecology,2003,84(8):2042-2050.
- [9] Whitman W B,Coleman D C,Wiebe W J. Prokaryotes:The unseen majority[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,1998,95(12):6578-6583.
- [10] 李雪梦,宋伟艳,张 星,等. 土地利用方式对土壤可培养微生物数量的影响[J]. 北方农业学报,2017,45(5):49-54.
- [11] 李 涛,潘志华,安萍莉,等. 北方农牧交错带(武川县)土壤微生物数量分布及层化比率研究[J]. 水土保持学报,2006,20(1):99-102.
- [12] 陈 艳,何倩倩. 玉溪市红塔区不同土地利用方式对土壤微生物数量及活性的影响[J]. 安徽农业科学,2016,44(23):109-110,113.
- [13] 章家恩,刘文高,胡 刚. 不同土地利用方式下土壤微生物数量与土壤肥力的关系[J]. 土壤与环境,2002,11(2):140-143.
- [14] 苏 涛,司美茹,马宗琪. 不同土地利用方式对根际土壤微生物数量的影响[J]. 农业环境科学学报,2006,25(增刊1):136-139.
- [15] 贾倩民,陈彦云,刘秉儒,等. 干旱区盐碱地不同栽培草地土壤理化性质及微生物数量[J]. 草业科学,2014,31(7):1218-1225.
- [16] Albiach R,Canet R,Pomanes F,et al. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil[J]. Bioresource Technology,2000,75,43-48.
- [17] 高志远,袁 鸣,姚槐应,等. 极端干旱对土壤微生物群落和功能的影响研究进展[J]. 江苏农业科学,2021,49(13):35-45.
- [18] 铁展畅,罗 明,阿不都克尤木,等. 塔吉克斯坦不同土地利用方式对土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 干旱区地理,2014(5):1019-1028.
- [19] 张平究,李恋卿,潘根兴,等. 长期不同施肥下太湖地区黄泥土表土微生物量碳、氮量及基因多样性变化[J]. 生态学报,2004,24(12):2818-2824.
- [20] 翟瑞常,张之一. 耕作对土壤生物碳动态变化的影响[J]. 土壤学报,1996,33(2):201-210.
- [21] 吕贻忠,李保国. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2006:139-141.
- [22] 李粉茹,于群英,邹长明. 设施菜地土壤 pH 值、酶活性和氮磷养分含量的变化[J]. 农业工程学报,2009,25(1):217-222.
- [23] 甄莉娜,王 康,杨俊霞,等. 农牧交错带不同利用方式下土壤菌群数量及剖面分布特征[J]. 2012 中国草地学报,2012,34(2):87-92.
- [24] 李玖燃,丁红利,任豫霜,等. 不同用地土壤有机质和微生物对添加秸秆的响应[J]. 草业科学,2017,34(5):958-965.
- [25] 邵玉琴,赵 吉,杨 劼. 恢复草地和退化草地土壤微生物类群数量的分布特征[J]. 中国沙漠,2004,24(2):223-226.
- [26] 王少昆,赵学勇,左小安,等. 科尔沁沙质草甸土壤微生物数量的垂直分布及季节动态[J]. 干旱区地理,2009,32(4):610-614.