

不同耕作方式下玉米农田土壤养分及土壤微生物活性变化

贾凤梅, 张淑花, 魏雅冬

(绥化学院 农业与水利工程学院, 黑龙江 绥化 152061)

摘要:通过连续 3 年的野外调查与室内分析试验,研究了不同耕作方式(翻耕、旋耕、免耕)对玉米农田土壤养分及土壤微生物活性的影响。结果表明,不同耕作方式下土壤 pH 值略显酸性,土壤容重与土壤总孔隙度变化趋势相反;土壤容重基本表现为:免耕>翻耕>旋耕;土壤总孔隙度 TSP 基本表现为:翻耕>旋耕>免耕,不同耕作方式差异均显著($p<0.05$)。不同耕作方式下土壤养分(有机碳、全氮含量)和有效养分(有效磷、铵态氮和硝态氮)均呈现出一致性规律,大致表现为翻耕>旋耕>免耕,不同耕作方式下土壤全磷含量差异均不显著($p>0.05$);与免耕相比,土壤微生物量碳和氮、土壤微生物数量(细菌、真菌、放线菌、固氮菌和纤维素菌)均有明显的增加,大致表现为:翻耕>旋耕>免耕。土壤微生物活度的变化范围为 0.38~0.69,依次表现为翻耕>旋耕>免耕,不同耕作方式下土壤微生物活度差异均显著($p<0.05$)。不同耕作方式下土壤微生物量碳周转率高于氮周转率,说明微生物量碳更新比微生物量氮快,其中翻耕处理下土壤微生物量碳和氮更新较旋耕和免耕快。通径分析发现,不同土壤环境因子对土壤微生物活度产生直接和间接负作用,其中有机碳、全氮、硝态氮、铵态氮、细菌数量对土壤微生物活度产生直接效应;土壤微生物量碳、微生物量氮、真菌数量和固氮菌数量对土壤微生物活度产生间接效应。

关键词:耕作方式;玉米农田;土壤养分;土壤微生物活性

中图分类号:S174.5

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)05-0112-06

Variation of Soil Nutrients and Soil Microbial Activities of Different Tillage Systems in Farmland

JIA Fenmei, ZHANG Shuhua, WEI Yadong

(College of Agriculture and Water Conservancy Engineering, Suihua University, Suihua, Heilongjiang 152061, China)

Abstract: Soil nutrients and soil microbial biomass play an important role in material cycling and energy transformation in farmland ecosystem. We present a comprehensive analysis of soil nutrients and soil microbial activities of different tillage systems in farmland through three successive years' field investigation and indoor analysis. The results showed that the soils of different tillage systems were slightly acidic, pH decreased in the order: no tillage>ploughed tillage>rotary tillage, and soil bulk density had the opposite trend compared with total soil porosity; soil organic matter and total nitrogen and available nutrients (available phosphorus, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen) of different tillage systems had the same change trend, which decreased in the sequence: rotary tillage>ploughed tillage>no tillage, while contents of soil total phosphorus were no significantly different among different tillage systems ($p>0.05$); compared with no tillage, there were the significantly increases in soil microbial biomass (carbon and nitrogen), soil microbial quantities (bacteria, fungi, actinomycetes, nitrogen-fixing bacteria and cellulose bacteria), decreased in the order: rotary tillage>ploughed tillage>no tillage; soil microbial activities ranged from 0.41 to 0.69, which decreased in order: rotary tillage>ploughed tillage>no tillage with the difference significant ($p<0.05$). Overall, the soil microbial biomass carbon turnover rate was higher than the soil microbial biomass nitrogen turnover which indicated that the microbial biomass carbon updates faster than microbial biomass nitrogen. Path analysis showed that soil organic carbon, total nitrogen, nitrate, ammonium nitrogen and bacteria had the direct effect on soil microbial activity, and soil microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen,

fungus quantity and nitrogen fixation bacteria had the indirect effect on soil microbial activity.

Keywords: tillage system, farmland, soil nutrients, soil microbial activities

土壤营养成分的高低反映了土壤健康状况,对整个生态系统中的物流及能量的循环产生影响,主导了有机物质的分解转化^[1-2];土壤微生物量为植物的生长提供养分,与此同时对于土壤中能量和养分的循环以及有机物质的转化也能参与调控,因此在土壤质量、土地利用、环境保护与检测中被当做重要参考因素^[1-2];在农业生态系统中,农作物的稳产高产靠的就是土壤中的养分和微生物量,因为其对农作物的生长过程有着直接影响,从而控制着农作物的发育甚至决定最后的产量^[3]。但是土壤养分和微生物量是极其容易受到外界环境的影响,比如气候、土壤形成的母质以及形成条件、包括地区以及植物的生长历史均可影响土壤肥力,进而对于土壤养分以及微生物量产生影响^[4]。

农民在耕作过程中包括耕种、施肥、耕地,甚至是对病虫害进行农药治理这些操作都会直接或间接地对土壤的物质结构和营养成分产生一定影响,耕作过程除此之外,还对土壤的活性产生影响,适宜的耕作方式能够提高土壤的活性。但是不同的耕作方式下土壤结构也是不同的,因为在不同耕种方式下土壤中微生物的含量、分布及其活性都会受到不同程度的影响^[5]。由于耕作方式直接影响了土壤结构以及土壤养分,但是在不同区域,由于其对于土壤养分含量以及土壤活性的影响不尽相同,因此区域差异性较大^[6]。在作物生长过程中,土壤为其提供了必备的养分以及生长条件,因此土壤是必备条件,土壤的变化直接对农作物的生长产生影响^[7]。在外界环境中水、空气等因素的影响下,土壤作为核心的传递区域与植物一起对环境产生多样化作用,这些变化过程就是生态环境的组成要素。

农田生态系统由于在自然基础上又受到人为的控制,因此被称为亚生态系统,农田生态系统是地球生态系统中最重要的一个,为全世界提供了 66% 的粮食需求;受人为因素的影响,其具有高效性、依赖性、目的性等多重特征,在提供、调节、支持等多方面产生重要影响。作为我国重要的农业生产基地,东北丰富的水资源为农作物的生长提供重要的环境,但是近几年的土壤质量急剧下滑,使得东北地区的农业产值也受到极大影响。但对于该地区土壤养分以及微生物量的研究相对较少,也没有引起足够的重视^[9]。因此,为了能够对农业生产提供可持续的影响,本课题组对农业生态系统的土壤营养成分、土壤中微生物的活性展开研究,进而能够对该地区农业土壤的合理有效利用提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验依托中国科学院东北地理与农业生态研究所试验基地。试验采用随机区组,设置 3 种耕作方式处理,分别为旋耕、翻耕、免耕。每个处理 3 次重复,共 9 个小区,采用随机分布的原理,每个小区面积为 3 m(宽)×5 m(长)=15 m²,各小区之间的间隔均为 0.65 m。氮(纯 N)、磷(P₂O₅)、钾肥(K₂O)施用量分别为 240,120,90 kg/hm²,所用肥料分别为尿素(N 46%)、磷酸二铵(P₂O₅ 46%;N 18%)和硫酸钾(K₂O 50%),其中 70% 氮肥和全部磷、钾肥作为基肥随播种一次性施入,剩余 30% 氮肥于拔节期行间侧施追肥。2015 年 5 月 10 日播种,种植密度 7.5 万株/hm²,其他田间管理措施均同大田常规栽培。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集 取样时间均为 2015 年、2016 年、2017 年的 9 月中旬,在每个采样区内设置 3 个重复样地,在每个样地用小钢铲采集 5 点法取 0—20 cm 土样,混合均匀后,四分法取适量土样,采样时除去土壤表面动植物残体,所采土壤样品充分混匀后用聚乙烯无菌塑料袋密封包好,并迅速带回实验室内分析测定,所取土样分为 2 份,一份装自封袋中,一份新鲜土样过 2 mm 筛后测定土壤微生物量和微生物活性,一份自然风干(20 d)去除碎片和部分根后过 0.5 mm 筛测定土壤养分。

1.2.2 样品测定 利用重铬酸钾氧化外的加热法对土壤的有机碳含量进行检测,而 NaOH 熔融—钼锑抗比色法、全自动凯氏定氮法、火焰分光光度法分别用于检测土壤 TP, TN, TK;将水土比 2.5:1 的浸提液用电极电位法测量 pH,电导法用于测量电导率;采用 NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法检测土壤中的有效 P 含量;利用靛酚蓝比色法检测土壤中铵态氮和硝态氮^[10]。

一部分土样于 4℃ 冰箱保存,7 d 内完成微生物生物量碳、氮和微生物活度的分析,每次鲜样测定前均于 25℃ 条件下预培养 24 h,以恢复微生物活性。土壤中微生物的 C, N 含量通过氯仿熏蒸—K₂SO₄ 浸提法进行测量。土壤中微生物的数量在 3 种不同培养基中通过平板梯度稀释法进行测定。土壤微生物的周转按照高云超等^[11]的方法进行估算:

$$\beta = \sum A/N$$

式中:A, N 分别意为总和(mg/kg)和采样次数,而 β

即为微生物量的库容值(mg/kg)。

$$T=1/r_b=\beta/\Sigma B$$

式中: T 为微生物量周转周期(a); r_b 表示微生物量的周转率(a⁻¹); B 则为微生物量的转移量(mg/kg)。

$$F=\beta\times\rho\times h/T$$

该计算式中 F 为微生物量流量量[kg/(hm²·a)]。

土壤微生物活性采用改进的 FDA 法^[12]。在无磷磷酸缓冲液(pH 值 7.6)中加 FDA(荧光素二乙酸酯)储液至终浓度 10 μg/ml,加入土壤,24℃振荡培养 90 min,加等体积丙酮终止反应,6 000 rpm 离心 5 min,然后滤纸过滤,490 nm 波长进行比色测定,并以隔日 2 次高压湿热灭菌土壤为对照。

1.3 数据分析

利用 Excel 2003 和 SPSS 21 软件对数据进行分析,采用 Origin 8.5 作图,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 不同耕作方式下土壤物理性质

分析和对比不同耕作方式下土壤物理性质(表 1)。由表 1 可知,土壤总孔隙度 TSP 变化范围为 42.07%~46.23%,平均值为 44.14%,基本表现为:翻耕>旋耕>免耕,其中不同耕作方式差异均显著($p<0.05$);土壤容重变化范围 0.78~1.01 g/cm³,平均值为 0.88 g/cm³,基本表现为:免耕>翻耕>旋耕,免耕显著高于翻耕和旋耕($p<0.05$);不同耕作方式土壤 pH 值略显酸性,其变化范围为 6.85~6.97,平均值为 6.90,依次表现为免耕>翻耕>旋耕,不同耕作方式差异均不显著($p>0.05$);土壤电导率 EC 变化范围为 64.78~82.35 μS/cm,依次表现为翻耕>免耕>旋耕,其中不同耕作方式差异均显著($p<0.05$)。

表 1 不同耕作方式对土壤物理性质的影响

耕作方式	总孔隙度/%	容重/(g·cm ⁻³)	pH 值	电导率/(μS·cm ⁻¹)
耕	46.23±3.02a	0.86±0.06b	6.89±0.12a	82.35±3.02a
旋耕	44.12±2.15b	0.78±0.05b	6.85±0.16a	64.78±2.58c
免耕	42.07±2.58c	1.01±0.08a	6.97±0.08a	71.02±3.47b
平均值	44.14±2.96	0.88±0.06	6.90±0.13	72.72±3.35
自由度	45	45	45	45
p	0.026	0.014	0.055	0.026
F	203.56	215.58	142.03	217.16

注:不同小写字母表示差异显著($p<0.05$),下同。

2.2 不同耕作方式下土壤养分含量

由表 2 可知,在不同耕作方式下,土壤养分和有效养分均呈现出一致性规律,大致表现为翻耕和旋耕高于免耕。土壤有机碳变化范围 10.03~13.02 g/kg,平均值为 11.40 g/kg,基本表现为:翻耕>旋耕>免耕,其中翻耕显著高于旋耕和免耕($p<0.05$);土壤全氮变化范围 1.13~1.59 g/kg,平均值为 1.41 g/kg,基本表现为:翻耕>旋耕>免耕,其中翻耕和旋耕差异不显著($p>0.05$),二者显著高于免耕($p<0.05$);土壤全磷变化范围 0.92~0.96 g/kg,平均值为 0.94 g/kg,基本表现为:旋耕>免耕>翻耕,其中不同耕作方式差异均不显著($p>0.05$);土壤有效磷含量变化范围为 10.14~16.24 mg/kg,平均值为 13.14 mg/kg,依次表现为翻耕>旋耕>免耕,不同耕作方式差异均显著($p<0.05$);土壤硝态氮含量变化范围为 5.01~9.15 mg/kg,平均值为 6.88 mg/kg,依次表现为翻耕>旋耕>免耕,免耕和旋耕差异不显著($p>0.05$),二者显著低于深耕($p<0.05$);土壤铵态氮含量变化范围为 1.19~0.87 mg/kg,平均值为 2.40 mg/kg,依次表现为翻耕>旋耕>免耕,不同耕作方式差异均显著($p<0.05$)。

表 2 不同耕作方式对土壤养分含量的影响

耕作方式	有机碳/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	硝态氮/(mg·kg ⁻¹)	铵态氮/(mg·kg ⁻¹)
翻耕	13.02±2.03a	1.59±0.21a	0.92±0.06a	16.24±1.26a	9.15±1.02a	3.87±0.56a
旋耕	11.15±1.59b	1.52±0.19a	0.96±0.05a	13.05±0.98b	6.47±1.58b	2.14±0.42b
免耕	10.03±1.25b	1.13±0.23b	0.95±0.07a	10.14±1.58c	5.01±1.14b	1.19±0.52c
平均值	11.40±1.67	1.41±0.22	0.94±0.06	13.14±1.34	6.88±1.32	2.40±0.53
自由度	45	45	45	45	45	45
p	0.009	0.013	0.075	0.024	0.017	0.035
F	235.69	241.78	123.56	205.78	236.45	198.87

注:相同小写字母表示在 0.05 水平上差异不显著,下同。

2.3 不同耕作方式下土壤微生物量

从表 3 可以看出,不同耕作方式土壤微生物量碳(MBC)和微生物量氮(MBN)均呈现出一致性规律,大致表现为翻耕>旋耕>免耕;土壤微生物量碳含量变化范

围为 231.48~598.43 mg/kg,平均值为 405.19 mg/kg,其中不同耕作方式差异均显著($p<0.05$);土壤微生物量氮含量变化范围为 43.12~52.69 mg/kg,平均值为 48.96 mg/kg,翻耕和旋耕差异不显著($p>0.05$),二者显

著高于免耕($p < 0.05$);土壤微生物量碳/微生物量氮呈现出相同的变化趋势(翻耕>旋耕>免耕),变化范围为5.37~11.36,平均值为8.09,旋耕和免耕差异不显著($p > 0.05$),二者显著低于翻耕($p < 0.05$)。

表3 不同耕作方式对土壤微生物量的影响

耕作方式	土壤微生物量碳/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	土壤微生物量氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	SMBC/ SMBN
翻耕	598.43±23.9a	52.69±5.26a	11.36±2.13a
旋耕	385.67±32.15b	51.07±4.16a	7.55±1.06b
免耕	231.48±26.78c	43.12±3.58b	5.37±1.14b
平均值	405.19±27.98	48.96±4.62	8.09±1.26
自由度	45	45	45
p	0.023	0.015	0.018
F	249.56	237.89	235.83

2.4 不同耕作方式下土壤微生物数量

土壤微生物的数量分布,不仅可以敏感地反映土壤质量的变化,而且是土壤中生物活性的具体体现。根据采样点数据,得到不同耕作方式下土壤微生物数量的变化(表4)。由表4可知,不同耕作方式下土壤

表4 不同耕作方式对土壤微生物数量的影响

耕作方式	细菌数量 ($\times 10^5 \text{ cfu/g}$)	放线菌数量 ($\times 10^5 \text{ cfu/g}$)	真菌数量 ($\times 10^3 \text{ cfu/g}$)	固氮菌数量 ($\times 10^3 \text{ cfu/g}$)	纤维素菌数量 ($\times 10^3 \text{ cfu/g}$)
翻耕	1.69±0.39a	1.26±0.23a	0.85±0.13a	9.15±1.16a	3.15±0.23a
旋耕	1.52±0.25b	1.15±0.15b	0.64±0.09b	7.23±0.85b	1.54±0.16b
免耕	1.04±0.24c	0.89±0.19c	0.35±0.05c	5.47±1.14c	1.52±0.17b
平均值	1.42±0.28	1.10±0.18	0.61±0.09	7.28±1.02	2.07±0.17
自由度	45	45	45	45	45
p	0.035	0.014	0.009	0.025	0.017
F	198.63	236.58	204.77	215.79	204.78

2.4 不同耕作方式下土壤微生物周转

土壤微生物周转对土壤有机质和养分循环起着决定作用,对了解土壤养分供应潜力和植物养分的有效性有非常重要的意义。由表5可知,免耕土壤微生物周转率最低,微生物量碳周转率为 0.98 a^{-1} ,周转周期为1.58 a,说明免耕土壤微生物量碳在0.98 a更新1次;微生物量氮周转率为 0.87 a^{-1} ,周转周期为1.69 a,免耕土壤微生物量氮在1.69 a更新1次;不同耕作方式下土壤微生物量碳周转率高于氮周转率,说明微生物量碳更新比微生物量氮快。

不同耕作方式土壤微生物量碳和氮周转基本呈现出一致性规律,其中,土壤微生物量碳转移量依次表现为翻耕>旋耕>免耕;土壤微生物量碳周转率依次表现为翻耕>旋耕>免耕;土壤微生物量碳周转期依次表现为翻耕<旋耕<免耕;土壤微生物量碳流通量依次表现为翻耕>旋耕>免耕,不同耕作方式差异均显著($p < 0.05$)。土壤微生物量氮转移量、周转率

各类群微生物数量与总微生物数量均存在较大差异,细菌、真菌和放线菌与微生物总数的变化趋势相一致,在组成微生物种群的细菌、放线菌和真菌三大类中,细菌数量处于绝对优势地位。土壤细菌数量变化范围为1.04~1.69 cfu/g,平均值为1.42 cfu/g,基本表现为翻耕>旋耕>免耕,其中不同耕作方式差异均显著($p < 0.05$);土壤放线菌数量变化范围为0.89~1.26 cfu/g,平均值为1.10 cfu/g,基本表现为翻耕>旋耕>免耕,其中不同耕作方式差异均显著($p < 0.05$);土壤真菌数量变化范围为0.35~0.85 cfu/g,平均值为0.61 cfu/g,基本表现为翻耕>旋耕>免耕,其中不同耕作方式差异均显著($p < 0.05$);土壤固氮菌数量变化范围为5.47~9.15 cfu/g,平均值为7.28 cfu/g,基本表现为翻耕>旋耕>免耕,其中不同耕作方式差异均显著($p < 0.05$);土壤纤维素菌数量变化范围为1.52~3.15 cfu/g,平均值为2.07 cfu/g,基本表现为翻耕>旋耕>免耕,旋耕和免耕差异不显著($p > 0.05$),二者显著低于翻耕($p < 0.05$)。

和流通量均表现翻耕>旋耕>免耕,土壤微生物量氮周转期呈现出相反的变化趋势。

2.5 不同耕作方式下土壤微生物活度

不同耕作方式下土壤微生物活度见图1。单因素方差分析结果表明,不同耕作方式下土壤微生物活度的变化范围为0.38~0.69,依次表现为翻耕>旋耕>免耕,不同耕作方式下土壤微生物活度差异均显著($p < 0.05$)。主要是由于免耕导致土壤肥力较低,造成活动区土壤微生物数量和酶活性的降低,从而导致土壤微生物活度较低。

2.6 土壤微生物活度与土壤环境因子的通径分析

表6反映了土壤环境因子对土壤微生物活度影响的通径系数。不同土壤环境因子对土壤微生物活度产生直接和间接负作用,其中有机碳、全氮、硝态氮、铵态氮、细菌数量对土壤微生物活度产生直接效应;土壤微生物量碳、微生物量氮、真菌数量和固氮菌数量对土壤微生物活度产生间接效应。

表 5 不同耕作方式对土壤微生物数量的影响

耕作方式	SMBC 周转				SMBN 周转			
	SMBC 转移量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	SMBC 周转率/ (a^{-1})	SMBC 周转期/a	SMBC 流通量/ ($\text{mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	SMBC 转移量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	SMBC 周转率/ (a^{-1})	SMBC 周转期/a	SMBC 流通量/ ($\text{mg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)
翻耕	652.3±26.3a	1.23±0.21a	1.21±0.13c	852.3±26.1a	68.95±6.23a	1.16±0.09a	1.23±0.09c	165.3±21.5a
旋耕	512.4±29.8b	1.15±0.16ab	1.42±0.16b	741.2±38.4b	51.23±5.14b	1.02±0.13ab	1.42±0.06b	154.2±19.5b
免耕	358.7±34.7c	0.98±0.19b	1.58±0.14a	589.4±21.4c	42.06±4.23c	0.87±0.14b	1.69±0.07a	132.7±17.3c
平均值	507.8±28.7	1.12±0.18	1.40±0.14	727.6±32.7	54.08±5.02	1.02±0.12	1.45±0.07	150.7±19.4
自由度	45	45	45	45	45	45	45	45
<i>p</i>	0.016	0.023	0.018	0.009	0.012	0.024	0.018	0.023
<i>F</i>	203.63	258.94	214.79	198.46	192.58	234.15	259.78	223.54

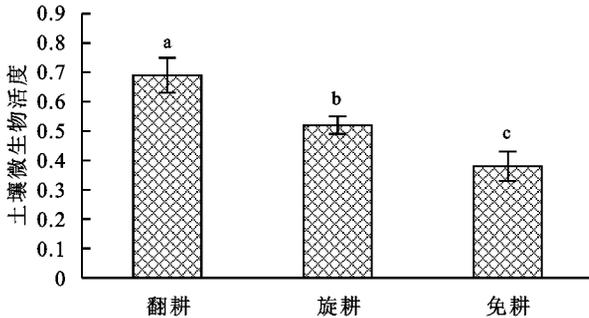


图 1 不同耕作方式下土壤微生物活性

表 6 土壤微生物活性与土壤养分的通径分析

项目	直接效应	间接效应	总效应
总孔隙度	0.026	0.302	0.328
容重	0.152	0.153	0.305
pH 值	0.302	0.185	0.487
电导率	0.087	0.207	0.294
有机碳	0.519	0.204	0.723
全氮	0.502	0.187	0.689
全磷	0.068	0.058	0.126
有效磷	0.302	0.174	0.476
硝态氮	0.389	0.163	0.552
铵态氮	0.428	0.102	0.53
土壤微生物量碳	0.206	0.536	0.742
土壤微生物量氮	0.314	0.428	0.742
细菌数量	0.425	0.204	0.629
放线菌数量	0.108	0.301	0.409
真菌数量	0.163	0.457	0.620
固氮菌数量	0.258	0.539	0.797

3 讨论与结论

通过研究发现,耕作方式的不同会给土壤带来明显的影响,主要体现在土壤结构、微生物活性及养分方面;不同是施肥方式及合理性不可避免地对土壤质量产生影响,合理的施肥能够利于土壤养分的恢复,提高作物的肥料及养分吸收,从而通过保持肥力来增强作物产量,从而合理开发农田资源,促进农业健康发展^[13]。通过本研究发现,不同耕作方式造成了不同的土壤结构、土壤养分,其中土壤容重越高,则土壤养分含量越低,二者之间呈现明显的相反变化趋势;其中翻耕方式下土壤养分含量均达到最高水平,其次是旋耕条件,而免耕条件下土壤相关含量最低,不难

看出,土壤的利用方式对其理化结构产生了重大影响,进而影响土壤肥力。

土壤 pH 值与土壤养分之间具有明显的相反变化趋势,土壤 pH 值不仅对土壤全量养分产生直接影响,同时更深入影响有效养分,根系通过有机酸的分泌来增强其对土壤养分的吸收,有机酸具有一定的溶解性,pH 值降低的情况下能够加速其溶解,从而为土壤养分增加创造条件^[14-15]。耕作方式的不同会对土壤水溶性养分产生直接作用,翻耕和深耕能够增加土壤孔隙度,直接进行土质疏松,从而利于微生物富集,在综合作用下带来较高的水溶性养分不断增加,这种情况下,微生物作用能够促进养分快速矿化而被作物高效吸收,因此与免耕相比,这两种耕作方式下具有更高的养分含量^[16-17]。但是,土壤全磷受耕作方式的影响并不明显,这主要是磷具有很强的沉积性,其分解速度相对较慢,因此差异并不明显;翻耕和旋耕作用下硝态氮含量显著增加,铵态氮亦是如此,主要是这两种耕作方式能够促进铵态氮的分解,并加速硝态氮的淋溶,在作物生长和微生物活动的共同作用下硝态氮和铵态氮能够被有效吸收利用^[18]。

土壤这个大营养库的营养储存水平即是通过土壤养分来反映的,与此同时其有效养分的含量以及供应能力也受到不同程度的影响^[19-20]。本研究中,土壤系统内部因子处于不断变化中,但又属于动态平衡系统,并且其中微生物量与一般土壤成分相比变异程度较高,由此我们可以推断出土壤微生物量是可以用来表征土壤肥力的重要因素;土壤微生物量对养分的循环和有效性影响相当显著,所以结构较为良好,有机碳和水的含量比较高的土壤对微生物的生长比较有利。由于人为的施肥与灌溉增加了农田生态系统中水溶性养分的含量,这就导致了土壤微生物量存在较大的变异性,再加上农作物的根系多为浅层根系,有利于富集土壤微生物量^[21]。许多研究均指出土壤中的有机质是 C 和其他营养成分的主要来源,并且能够提高微生物及酶的活性。土壤微生物和土壤养分是相互作用进而相互影响的有机整体,微生物的活动影响了养分含量,养分含量又决定了微生物的活性,

这也表明这个有机整体是一个相互影响的动态平衡体,也进一步证明了微生物量可以用作表征土壤肥力,与前人的研究结论不谋而合^[21]。

土壤微生物活性代表着土壤微生物的新陈代谢能力,同时代表着碳素循环效率,是土壤质量的重要指标之一^[22];不同的土壤耕作利用途径能够带来显著差异的土壤结构,同时对微生物活动及其分布产生不容忽视的影响。在李杨等^[23]看来,免耕方式下的真菌数量低于翻耕处理条件下,但细菌等分解菌数量却是明显较高。张丹等^[24]认为翻耕与免耕条件下土壤微生物在不同的季节具有不同的数量,但免耕方式下的数量相对来说更为稳定。通过本研究发现,与免耕相比,翻耕和旋耕条件下土壤微生物数量更高,主要是这两种耕作方式能够疏松土质使得土壤微生物活性得到提高。另外,翻耕和旋耕能够促进腐殖质分解,很大程度上增加土壤肥力,主要是翻耕能够疏松下层土壤,在氧气和秸秆作用下微生物分泌参与氮循环相关的土壤酶效果增强^[25-26]。与免耕相比,不同的耕作条件能够促进氮、微生物量碳的增加。进一步的分析表明,土壤有机碳能够促进微生物活性;土壤微生物量碳能够促进土壤有效养分的积累,其中土壤pH值较高不利于土壤微生物活性的提升。综合来看,翻耕和旋耕能够显著提升玉米农田土壤有机碳、氮含量,对于微生物活性的增强起着不可忽视的影响。经过通径分析发现,不同土壤环境因子对土壤微生物活度产生直接和间接负作用,其中有机碳、全氮、硝态氮、铵态氮、细菌数量对土壤微生物活度产生直接效应;土壤微生物量碳、微生物量氮、真菌数量和固氮菌数量对土壤微生物活度产生间接效应。

参考文献:

[1] 王绍强,朱松丽. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J]. 地理学报,2000,55(5):533-544.

[2] 吴建国,张小全,徐德应. 土地利用变化对土壤有机碳贮量的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(4):593-599.

[3] 杨宁,邹冬生,杨满元,等. 衡阳紫色土丘陵坡地恢复过程中土壤微生物量与土壤养分演变[J]. 林业科学,2014,50(12):144-150.

[4] 吴林坤,林向民,林文雄. 根系分泌物介导下植物—土壤—微生物互作关系研究进展与展望[J]. 植物生态学报,2014,38(3):298-310.

[5] 赵亚丽,郭海斌,薛志伟,等. 耕作方式与秸秆还田对土壤微生物数量、酶活性及作物产量的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(6):1785-1792.

[6] 宋明伟,李爱宗,蔡立群,等. 耕作方式对土壤有机碳库的影响[J]. 农业环境科学学报,2008,27(2):622-626.

[7] 李升东,王法宏,司纪升,等. 耕作方式对土壤微生物和土壤肥力的影响[J]. 生态环境学报,2009,18(5):1961-1964.

[8] 肖新,朱伟,肖靛,等. 适宜的水氮处理提高稻基农田土壤酶活性和土壤微生物量碳氮[J]. 农业工程学报,2013,29(21):91-98.

[9] 魏巍,许艳丽,朱琳,等. 长期施肥对黑土农田土壤微生物群落的影响[J]. 土壤学报,2013,50(2):372-380.

[10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.

[11] 高云超,朱文珊,陈文新. 土壤微生物生物量周转的估算[J]. 生态学杂志,1993(6):6-10.

[12] Schnürer J, Rosswall T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter[J]. Appl. Environ. Microbiol,1982,43(6):1256-1261.

[13] 胡诚,曹志平,叶钟年,等. 不同的土壤培肥措施对低肥力农田土壤微生物生物量碳的影响[J]. 生态学报,2006,26(3):808-814.

[14] 李忠佩,张桃林,陈碧云. 可溶性有机碳的含量动态及其与土壤有机碳矿化的关系[J]. 土壤学报,2004,41(4):544-552.

[15] 周莉,李保国,周广胜. 土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展[J]. 地球科学进展,2005,20(1):99-105.

[16] 郭建红,潘剑君,葛序娟,等. 不同土地利用方式下土壤有机碳矿化及其温度敏感性[J]. 水土保持学报,2015,29(3):130-135.

[17] 陈涛,郝晓晖,杜丽君,等. 长期施肥对水稻土土壤有机碳矿化的影响[J]. 应用生态学报,2008,19(7):1494-1500.

[18] 张文菊,童成立,杨钙仁,等. 水分对湿地沉积物有机碳矿化的影响[J]. 生态学报,2005,25(2):249-253.

[19] 张国平,郭澎涛,王正银,等. 紫色土丘陵地区农田土壤养分空间分布预测[J]. 农业工程学报,2013,29(6):113-120.

[20] 张丹,刘宏斌,马忠明,等. 残膜对农田土壤养分含量及微生物特征的影响[J]. 中国农业科学,2017,50(2):310-319.

[21] 杨敏芳,朱利群,韩新忠,等. 耕作措施与秸秆还田对稻麦两熟制农田土壤养分、微生物生物量及酶活性的影响[J]. 水土保持学报,2013,27(2):272-275.

[22] 肖新,朱伟,肖靛,等. 适宜的水氮处理提高稻基农田土壤酶活性和土壤微生物量碳氮[J]. 农业工程学报,2013,29(21):91-98.

[23] 李杨,黄国宏,史奕. 大气CO₂浓度升高对农田土壤微生物及其相关因素的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(12):2321-2325.

[24] 张丹,刘宏斌,马忠明,等. 残膜对农田土壤养分含量及微生物特征的影响[J]. 中国农业科学,2017,50(2):310-319.

[25] 王俊华,尹睿,张华勇,等. 长期定位施肥对农田土壤酶活性及其相关因素的影响[J]. 生态环境学报,2007,16(1):191-196.

[26] 徐蒋来,尹思慧,胡乃娟,等. 周年秸秆还田对稻麦轮作农田土壤养分、微生物活性及产量的影响[J]. 应用与环境生物学报,2015,21(6):1100-1105.