



马星竹,郝小雨,赵月,等.不同耕作方式对东北旱地土壤养分和生物学性质的影响[J].黑龙江农业科学,2024(6):19-24.

# 不同耕作方式对东北旱地土壤养分和生物学性质的影响

马星竹<sup>1,2</sup>,郝小雨<sup>2</sup>,赵月<sup>2</sup>,郑雨<sup>2</sup>,邢占强<sup>1</sup>,于磊<sup>1</sup>,姬景红<sup>2</sup>,刘双全<sup>2</sup>

(1.黑龙江省农业科学院,黑龙江哈尔滨150086;2.黑龙江省黑土保护利用研究院,黑龙江哈尔滨150086)

**摘要:**为提高黑土区土壤质量和作物产量,并促进区域农业可持续发展,进行了4年田间定位试验,设置了深松、免耕以及传统耕作3种耕作方式,研究了不同耕作方式对土壤速效养分、土壤微生物数量以及土壤酶活性的影响。结果表明,与传统耕作相比,深松能够显著提高上层土壤(0~20 cm)碱解氮、有效磷以及速效钾含量(分别提高23.6%、49.6%和63.3%),同时,显著提高了下层土壤(20~40 cm)有效磷含量(86.2%);深松处理上层土壤pH显著提高,下层土壤各处理间pH变化较小;深松和免耕能够显著增加上层土壤细菌和真菌的数量,深松显著增加放线菌数量;下层土壤各处理间微生物数量差别较小,表现为深松>免耕>传统耕作;深松处理上层土壤蔗糖酶和过氧化氢酶活性最高,免耕增加了土壤脲酶和磷酸酶活性;除过氧化氢酶外,其他3种酶活性均为上层土壤高于下层。深松和免耕处理能增加土壤速效养分含量、微生物数量及酶活性,有助于改善土壤化学和生物学性状,进而提高土壤质量,其中,深松方式效果最为显著,对于培肥土壤和维护土壤生物生存环境等方面具有重要作用。

**关键词:**耕作方式;黑土区;土壤养分;微生物数量;酶活性

健康、高质量的农田土壤是农业可持续、高效发展的前提和基础,耕作方式与土壤质量、土壤肥力等关系密切。耕作方式是影响土壤环境和质量的重要因素,通过改变土壤环境因子,进而影响土壤物理、化学性质以及土壤生物学特性<sup>[1-3]</sup>。合理的耕作方式对于改善土壤特性,提高养分利用效率等均具有重要作用,是实现粮食增产和促进农业可持续发展的重要技术支撑<sup>[4-5]</sup>。不同学者开展了免耕、旋耕、深松、深翻以及秸秆还田方式等耕作方式对土壤物理、化学、生物特性以及作物生长等影响的研究<sup>[2-3, 6-7]</sup>,相关研究表明土壤养分是植物生活所必需的营养元素,其含量与作物产量形成和生长发育等密切相关;土壤酶活性通常被作为土壤的生物活性指标和土壤肥力的评价指标<sup>[8-10]</sup>,其与土壤微生物数量以及土壤其他营养元素紧密相关,是土壤健康和质量变化的主要敏感指标<sup>[11]</sup>。

东北黑土以肥沃著称,黑土地是我国重要的商品粮生产基地,在保障国家粮食安全中具有重要作用<sup>[12]</sup>。目前,东北大部分地区农业生产中普

遍应用的耕作方式是传统垄作,长期耕作后出现了土壤犁底层加厚变硬、耕作层变浅以及土壤养分有效性差等问题,限制了作物获得高产。因此,探讨不同耕作方式对东北旱地土壤化学性质和生物学性质的影响,明确耕作方式与土壤肥力质量和生物健康的关系,对保障粮食安全具有重要意义。本研究探索不同耕作方式对土壤养分和生物学性质的影响,以期创制黑土区玉米可持续的耕作方法、提高土壤质量以及增加作物产量,为实现区域农业可持续发展以及保障国家粮食安全提供理论与技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

自2016年开始,连续4年在黑龙江省绥化市青冈县柞岗镇(46°41'N,126°6'E)进行了不同耕作措施的田间试验,青冈县隶属于黑龙江省绥化市,位于黑龙江省中南部,松嫩平原腹地,属于中温带大陆性季风气候,全年降水量477 mm,无霜期130 d左右。试验地土壤类型为黑土,试验前

收稿日期:2023-12-13

基金项目:国家重点研发计划(2022YFD1500804-6);黑龙江省农业科学院农业科技创新跨越工程(CX23JC02,CX23YQ22);黑龙江省现代农业产业技术协同创新体系项目。

第一作者:马星竹(1980-),女,博士,研究员,从事作物营养与高效施肥研究。E-mail:maxingzhu@163.com。

土壤速效养分含量分别为:碱解氮 177 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 90 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 201 mg·kg<sup>-1</sup> [13]。

1.2 材料

供试玉米品种为德美亚 2 号(生育日数 108 d 左右,需≥10 ℃活动积温约 2 000 ℃,保苗密度为 6 000~6 700 株·(667 m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>,施用肥料为施可丰增效缓释复合肥料(24-12-12),含 N24%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%、K<sub>2</sub>O 12%。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验采用大区对比的方式,在秸秆还田基础上共设置了 3 个不同的耕作处理,分别为(1)传统耕作:秋季收获后不进行任何土壤耕作处理,第二年春季进行旋耕灭茬起垄,垄上施肥播种镇压;(2)免耕-原垄卡种:秋季收获后不进行任何操作,第二年春季在原茬上进行玉米播种;(3)深松:在当季作物收获后进行深松处理,深度为 35 cm,第二年春季在垄上施肥播种镇压。其中每个处理面积为 650 m<sup>2</sup>(宽 6.5 m×长 100.0 m)。各处理肥料用量为 50 kg·(667 m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>,作为基肥一次性施入;其他田间管理措施均与当地生产方式相同;四年的耕作、施肥以及田间管理等生产方式均保持一致 [13]。

1.3.2 测定项目及方法 取样及样品处理:2019 年秋季玉米收获后进行田间土壤样品的采集工作,小区“S”形 5 点采集 0~20 cm 和 20~40 cm 土层土壤样品同小区同土层样品混合并剔除沙石、根系等杂质后,样品分为两部分,一部分样品直接装入塑料塑封袋用于土壤酶活性和微生物测定,分别置于 4 ℃和-80 ℃冰箱保存,另一部分在实验室进行自然风干,用于土壤化学性质的测定。

土壤养分和生物学性质测定:土壤碱解氮、速效磷、速效钾分别采用碱解扩散法、Olsen 法和醋

酸铵-火焰光度法测定,土壤 pH 采用电位法测定 [14]。细菌、真菌放线菌数量采用平板计数法测定;土壤脲酶、磷酸酶、转化酶以及过氧化氢酶活性分别采用靛酚蓝比色法、磷酸苯二钠比色法、硫代硫酸钠滴定法以及高锰酸钾滴定法测定 [15]。

1.3.3 数据分析 采用 Excel 2019 软件作图,所有数据采用 SPSS 19.0 软件进行分析(One-way ANOVA)。

2 结果与分析

2.1 不同耕作方式对土壤速效养分含量的影响

由表 1 可知,传统耕作、免耕以及深松处理的上层土壤(0~20 cm)碱解氮、有效磷以及速效钾含量高于下层土壤(20~40 cm),其中上层土壤碱解氮含量为 143.3~187.1 mg·kg<sup>-1</sup>,下层为 120.3~151.8 mg·kg<sup>-1</sup>,上层土壤有效磷含量为 74.1~110.8 mg·kg<sup>-1</sup>,下层为 12.2~35.0 mg·kg<sup>-1</sup>,上层土壤速效钾含量为 181.0~295.5 mg·kg<sup>-1</sup>,下层土壤速效钾含量的为 158.5~170.7 mg·kg<sup>-1</sup>,基本处于同一含量水平。

与上层土壤相比,下层土壤速效养分含量减少,传统耕作、免耕以及深松处理的下层土壤碱解氮含量分别较上层土壤下降 31.1、15.3 和 35.3 mg·kg<sup>-1</sup>,土壤有效磷含量分别较上层土壤下降 55.3、70.6 和 75.8 mg·kg<sup>-1</sup>,土壤速效钾含量分别较上层土壤下降 20.3、90.6 和 137.0 mg·kg<sup>-1</sup>;养分含量下降幅度大小为土壤速效钾>土壤有效磷>土壤碱解氮。上层土壤与传统耕作相比,深松处理碱解氮、有效磷以及速效钾含量显著增加,免耕土壤速效钾含量显著增加;下层土壤各处理间碱解氮和速效钾含量差异不显著,与传统耕作相比,深松土壤有效磷含量显著增加,高低顺序依次为深松>传统耕作>免耕。

表 1 不同耕作措施对不同土层土壤速效养分含量的影响

土层深度/cm	处理	碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	有效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )	pH
0~20	传统耕作	151.4±11.3 Ab	74.1±13.4 Ab	181.0±13.9 Ab	5.63±0.14 Bc
	免耕	143.3±18.7 Ab	82.8±3.1 Ab	261.3±26.1 Aa	6.08±0.27 Ab
	深松	187.1±18.4 Aa	110.8±5.9 Aa	295.5±14.5 Aa	6.55±0.09 Aa
20~40	传统耕作	120.3±17.9 Ba	18.8±2.8 Bb	160.7±4.0 Aa	6.78±0.08 Aa
	免耕	128.0±8.3 Aa	12.2±2.8 Bc	170.7±9.9 Ba	6.51±0.63 Aa
	深松	151.8±12.7 Ba	35.0±1.8 Ba	158.5±7.5 Ba	6.78±0.05 Aa

注:同列数据后不同大写字母表示同一处理不同土层间差异显著(P<0.05);不同小写字母表示同一土层不同处理间差异显著(P<0.05)。下同。

同时,由表1可知,上层土壤pH均低于下层土壤,下层土壤pH较上层增加幅度分别是1.15、0.43和0.23;深松处理上层土壤pH显著高于免耕和传统耕作;下层土壤中,各处理间差异不显著。

各处理对不同土层土壤化学性质影响不同,其中,与下层土壤相比,深松能够显著增加上层土壤的碱解氮、有效磷以及速效钾含量,免耕能够显著增加上层土壤有效磷和速效钾含量,传统耕作能够显著增加上层土壤的碱解氮和有效磷含量,同时显著降低上层土壤pH。

## 2.2 不同耕作方式对土壤微生物数量的影响

由图1可知,不同耕作方式下不同土层土壤细菌、真菌以及放线菌的数量不同,其变化趋势基本一致,微生物种群中的细菌、放线菌和真菌三大类中,细菌数量处于绝对优势地位,细菌数量>放线菌数量>真菌数量。0~20 cm土层中,土壤细菌数量为 $4.24 \times 10^6 \sim 1.418 \times 10^7$  CFU·g<sup>-1</sup>,平均值为 $8.41 \times 10^6$  CFU·g<sup>-1</sup>,土壤真菌数量变化范围为 $6.4 \times 10^4 \sim 1.08 \times 10^5$  CFU·g<sup>-1</sup>,平均值为 $9.0 \times 10^4$  CFU·g<sup>-1</sup>,土壤放线菌数量变化范围为 $2.02 \times 10^6 \sim 3.70 \times 10^6$  CFU·g<sup>-1</sup>,平均值为 $2.62 \times 10^6$  CFU·g<sup>-1</sup>;与传统耕作相比,深松和免耕能够显著增加土壤细菌和真菌数量,深松能够显著增加放线菌的数量,总体趋势为深松>免耕>传统耕作;20~40 cm土层中,土壤细菌、真菌以及放线菌的数量变化较小,其中深松处理土壤细菌、真菌以及放线菌的数量最高,免耕次之,土壤微生物数量差异没有达到显著水平。下层土壤除常规耕作处理细菌数量高于上层土壤外,其他各处理的微生物数量均小于上层土壤。深松处理能够显著增加上层土壤的细菌、真菌以及放线菌数量;传统耕作和免耕处理能够显著增加上层土壤的真菌数量,对于细菌和放线菌数量作用不显著。

## 2.3 不同耕作方式对土壤酶活性的影响

由表2可知,除过氧化氢酶和深松处理土壤脲酶外,土壤蔗糖酶、脲酶以及磷酸酶活性随着土层的加深呈现下降趋势,分别平均下降20.45 mg·g<sup>-1</sup>、0.57 mg·g<sup>-1</sup>以及2.24 mg·(g·d)<sup>-1</sup>,其中,深松处理土壤蔗糖酶活性下降幅度最大(40.85 mg·g<sup>-1</sup>),深松处理上层土壤蔗糖酶和磷酸酶活性显著高于下层,免耕处理上层土壤脲酶和磷酸酶活性显著

高于下层。然而,随着土层的加深,土壤过氧化氢酶活性增加,平均增加了0.51 mg·g<sup>-1</sup>,免耕处理下层土壤过氧化氢酶活性显著高于上层。上层土壤蔗糖酶活性大小依次为深松>免耕>传统耕作,下层蔗糖酶活性变化趋势为免耕>深松>传统耕作;免耕处理土壤脲酶活性,变化在上下层土壤中均高于另两个耕作处理;上层土壤各耕作处理磷酸酶活性差异不显著,活性大小依次为免耕>传统耕作>深松;下层土壤中免耕处理土壤磷酸酶活性最低,传统耕作处理最高。上层土壤过氧化氢酶活性大小为深松>免耕>传统耕作,深松能够显著增加土壤过氧化氢酶活性,下层土壤各耕作处理过氧化氢酶活性差异不显著。不同土层中,深松处理能够显著增加上层土壤的蔗糖酶,免耕处理能够显著增加上层土壤脲酶和磷酸酶活性,同时显著降低土壤过氧化氢酶活性。

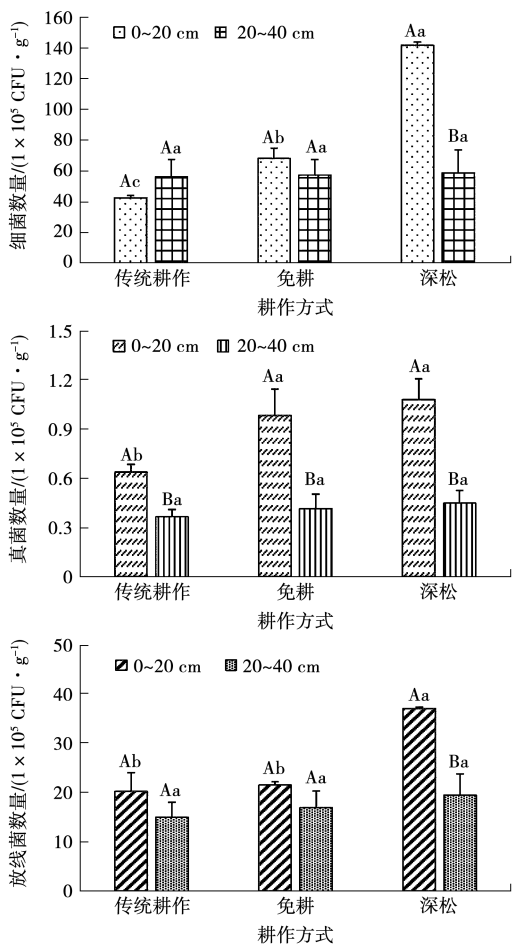


图1 不同耕作方式对不同土层土壤微生物数量的影响

注:不同大写字母表示同一处理不同土层间差异显著( $P < 0.05$ );不同小写字母表示同一土层不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

表 2 不同耕作方式对不同土层土壤酶活性的影响

土层深度/cm	处理	蔗糖酶/(mg·g <sup>-1</sup> )	脲酶/(mg·g <sup>-1</sup> )	磷酸酶/[mg·(g·d) <sup>-1</sup> ]	过氧化氢酶/(mg·g <sup>-1</sup> )
0~20	传统耕作	62.03±10.02 Ab	1.74±0.93 Aa	6.81±1.05 Aa	1.92±0.23 Ab
	免耕	62.21±0.22 Ab	2.36±0.07 Aa	7.44±0.45 Aa	2.07±0.07 Bb
	深松	90.85±3.11 Aa	1.06±0.11 Aa	5.81±0.14 Aa	2.65±0.04 Aa
20~40	传统耕作	49.28±12.89 Aa	0.94±0.08 Ab	4.98±1.62 Ba	2.62±0.47 Aa
	免耕	54.47±5.39 Aa	1.53±0.25 Ba	3.88±0.49 Ba	2.90±0.13 Aa
	深松	50.00±1.36 Ba	1.36±0.15 Aa	4.47±0.53 Aa	2.65±0.13 Aa

3 讨论

不同耕作措施会影响土壤物理性质,如容重、孔隙度、三相比以及含水量等<sup>[13,16]</sup>,一些不适合的耕作措施会破坏土壤结构,使得土壤团聚体减少,导致水分和养分有效性降低,保水保肥能力下降,造成土壤养分严重流失,进而影响土壤化学性质<sup>[17-18]</sup>;土壤有效态氮是作物可以直接利用的氮素,例如碱解氮、硝态氮和铵态氮等,本研究中深松处理下耕层土壤碱解氮含量显著高于传统耕作,与深松措施能够促进有效态氮素的形成和利用有关,例如张文菊等<sup>[19]</sup>研究发现,与免耕相比,翻耕处理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,可见,深松处理有助于增加土壤有效态氮素的含量。耕层土壤有效磷、速效钾受不同耕作方式影响较大,本研究中,与传统耕作相比,深松处理土壤有效磷和速效钾含量显著增加,不同的耕作方式通过改变土壤物理结构及氧化还原电位,从而影响磷在土壤中的含量及转移变化<sup>[20]</sup>,另外,免耕中上层土壤磷素的增加可以解释为免耕土壤中颗粒态磷的极限向下移动和养分通过根系吸收从深层向上移动<sup>[21]</sup>;本研究中,与免耕处理相比深松能够提供更多的土壤养分含量,这与深松、深耕等对土壤性质的直接和间接影响有关,深松处理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,在综合作用使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<sup>[22-23]</sup>。不同耕作处理对上层土壤 pH 存在显著影响,证明了耕作对土壤养分的影响。然而,下层土壤不同耕作处理下 pH 差异不显著,且仅有传统耕作处理 pH 表现为下层显著高于上层,其他处理差异不显著,尤其是深松措施下上下层土壤 pH 差异最小,与已有研究结果一致<sup>[24]</sup>,表明耕作使土壤翻动、重新分配使得不同土层土壤 pH 差异较小。

细菌、真菌、放线菌是构成土壤微生物的主要

组成部分,它们的类群组成和数量变化通常能反映出土壤生物活性水平,显示土壤中生命物质的旺盛程度。本研究发现,虽然不同耕作处理对下层土壤微生物数量的影响没有达到显著水平,但是深松处理下层土壤微生物数量高于免耕和传统耕作处理,深松处理下土壤微生物数量较高的原因主要是由于深松能够疏松土质,降低土壤容重,增加土壤孔隙度,使得土壤通透性好,保温性强,水、热、气均衡,有利于土壤微生物的繁育,提高细菌、真菌放线菌和微生物总体数量,改善深层土壤的微生态环境,使其活性得到提高<sup>[25]</sup>,与他人研究结果一致<sup>[26-27]</sup>。土壤微生物数量,除传统耕作下的土壤细菌外,整体呈现上层土壤高于下层土壤的趋势;与传统耕作方式相比,免耕和深松能够提升土壤微生物数量,土壤微生物数量随着土壤深度的增加而下降,下降幅度因不同耕作方式而有所差异,但总体表现为下降趋势。上层土壤微生物数量较高的原因可能是因为土壤中的微生物大多数属于好氧性微生物,上层土壤孔隙度大,利于进行气体交换,能够为微生物的活动提供充足的氧气,进而促进其繁殖和对矿物质的分解,增加了土壤微生物总体含量。由此可见,耕作方式对土壤微生物数量的影响较大,与其他学者研究结果一致<sup>[28]</sup>。此外,与常规处理相比,免耕能够影响微生物生物量,主要是由于免耕处理的微生物生长条件较稳定,季节性不明显,各种微生物之间能够相互促进,而且有研究表明免耕与秸秆覆盖措施相结合,可以更好地改变土壤微生物组成,增加微生物数量<sup>[29]</sup>。

土壤酶活性反映了土壤中各种生物化学过程的强度和方向,土壤酶的影响因素很多,耕作方式为其中一种重要因素,有助于从土壤生物化学过程中来探讨能量代谢和养分循环等,对于土壤肥力和环境变化等方面的研究具有的重要意义。已有研究表明,以免耕为核心的保护性耕作能提高土壤脲酶和磷酸酶等土壤酶活性<sup>[30]</sup>,与本研究结果一致,主要原因是少免耕条件下较少扰动土壤,

使得不同土层的水热条件等更加适宜动植物及微生物的生存,同时耕层作物根系密集且根系分泌物和残留物均较多,以上条件均有利于提高各类土壤酶活性<sup>[31]</sup>。土壤酶活性与秸秆还田关系也较密切,因为秸秆还田可以促进土壤微生物数量的增加,进而提高了包括土壤酶在内的内分泌物数量,增强了土壤酶活性<sup>[32]</sup>。多名学者研究表明,深翻耕作可通过增加土壤微生物的数量,进而使土壤脲酶、磷酸酶和蔗糖酶活性提高<sup>[33-34]</sup>。本研究中与常规和免耕处理相比,深松处理下耕层土壤(0~40 cm)的土壤蔗糖酶、过氧化氢酶活性处于较高水平,其中0~20 cm土层蔗糖酶和过氧化氢酶活性显著高于其他两个处理,下层土壤变化较小,原因可能是由于深松土壤,孔隙度和保水保墒能力得到改善和增强,这些变化改善了微生物的生存环境,同时为其提供了可利用的营养物质,使其数量增加、活动增强,从而增加了土壤酶活性<sup>[5]</sup>。本研究0~40 cm土层中过氧化酶活性的变化趋势与土壤蔗糖酶、脲酶和磷酸酶活性不同,随着土层加深土壤过氧化氢酶活性增强,深松处理的上下层土壤过氧化氢酶活性没有变化,其他两个处理均为下层土壤过氧化氢酶活性高于上层土壤,这一结果与其他已有研究结果不一致,原因可能与过氧化氢酶种类有关系,其属于氧化还原酶类,参与过氧化氢的分解,广泛存在于土壤中和生物体内,过氧化氢酶的活性受到许多因素的影响,例如温度、pH、微生物群落等,其中pH过高或过低,都会抑制土壤过氧化氢酶的活性,本研究结果中上层土壤pH偏酸性且低于下层土壤,对土壤过氧化氢酶的活性可能起到了一定的抑制作用。

## 4 结论

研究表明,深松和免耕处理相对于传统耕作显著提高了上层土壤速效养分含量、土壤微生物数量以及参与主要养分循环过程的土壤酶活性,在改善土壤化学和生物学性状等方面起到重要作用。其中深松处理效果最显著,与传统耕作相比,深松处理上层土壤碱解氮、有效磷以及速效钾含量分别增加23.6%、49.6%和63.3%,微生物数量平均增加幅度超过一倍,土壤蔗糖酶活性增加46.5%。对于培肥土壤和维护土壤生物的生存环境等具有重要作用。然而,通过本研究也发现长期实施单一的耕作措施会对土壤物理、化学等性质产生一定程度的影响,不利于作物生长发育,进而影响粮食安全。因此,建立合理的土壤

轮耕制度,例如隔年深松或者深松与深翻结合等,根据不同区域土壤类型和农业生产特点等因素,采用适宜的耕作方法和技术,是符合实际生产且应大力推广的技术体系。

## 参考文献:

- [1] BARDGETT R D, LOVELL R D, HOBBS P J, et al. Seasonal changes in soil microbial communities along a fertility gradient of temperate grasslands[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31(7): 1021-1030.
- [2] 徐莹莹,孙士明,靳晓燕,等.不同耕作措施对土壤质构和玉米产量的影响[J]. *玉米科学*, 2022, 30(4): 97-106.
- [3] 王玉凤,陈天宇,付健,等.不同耕作方式对松嫩平原旱地玉米土壤生物特性影响[J]. *玉米科学*, 2023, 31(3): 95-103.
- [4] 李玉洁,王慧,赵建宁,等.耕作方式对农田土壤理化因子和生物学特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(3): 939-948.
- [5] 曹雪枫,王丽群,王鸿斌.不同耕作方式对黑土化学性质及酶活性的影响[J/OL]. *吉林农业大学学报*, 2022: 1-12. (2022-11-15) [2023-11-10]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1100.s.20221114.0953.002.html>.
- [6] 陈昭旭,高聚林,于晓芳.不同耕作及秸秆还田方式对土壤物理性质及作物产量的影响[J]. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2022, 43(6): 21-27.
- [7] 安思危,付健,杨克军,等.不同耕作和秸秆还田方式对根际土壤养分及玉米产量的影响[J]. *黑龙江农业科学*, 2021(8): 1-7.
- [8] WAHSHA M, NADIMI-GOKI M, FORNASIER F, et al. Microbial enzymes as an early warning management tool for monitoring mining site soils[J]. *CATENA*, 2017, 148: 40-45.
- [9] NADIMI-GOKI M, BINI C, WAHSHA M, et al. Enzyme dynamics in contaminated paddy soils under different cropping patterns (NE Italy)[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2018, 18(6): 2157-2171.
- [10] 陈婉华,袁伟,王子阳,等.不同耕作方式与秸秆还田对土壤酶活性及水稻产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2022(7): 162-169.
- [11] 张咏梅,周国逸,吴宁.土壤酶学的研究进展[J]. *热带亚热带植物学报*, 2004, 12(1): 83-90.
- [12] 邹文秀,韩晓增,陆欣春,等.肥沃耕层构建对东北黑土区旱地土壤肥力和玉米产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2020, 31(12): 4134-4146.
- [13] 马星竹,边道林,郝小雨,等.不同耕作措施对东北玉米农田土壤物理性质的影响[J]. *土壤与作物*, 2022, 11(1): 54-61.
- [14] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [15] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [16] 张佳倩,李福,孙峰成,等.秸秆还田条件下不同耕作方式对玉米田土壤物理性状的影响[J]. *江西农业大学学报*, 2022, 44(3): 759-772.
- [17] 秦红灵,高旺盛,马月存,等.免耕对农牧交错带农田休闲期土壤风蚀及其相关土壤理化性状的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(9): 3778-3784.

- [18] 张洋,王鸿斌.不同耕作模式对黑土区土壤理化性质及玉米生长发育的影响[J].江苏农业科学,2018,46(18):58-64.
- [19] 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.
- [20] 贾梦圆,黄兰媚,李琦聪,等.耕作方式对农田土壤理化性质、微生物学特性及小麦营养品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2022,28(11):1964-1976.
- [21] URIOSTE A M, HEVIA G G, HEPPEL E N, et al. Cultivation effects on the distribution of organic carbon, total nitrogen and phosphorus in soils of the semiarid region of Argentinian Pampas[J]. Geoderma, 2006, 136(3/4): 621-630.
- [22] 陈涛,郝晓晖,杜丽君,等.长期施肥对水稻土壤有机碳矿化的影响[J].应用生态学报,2008,19(7):1494-1500.
- [23] 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.
- [24] 黄尚书,钟义军,黄欠如,等.耕作深度及培肥方式对红壤坡耕地土壤理化性质及作物产量的影响[J].中国土壤与肥料,2020(4):72-83.
- [25] 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.
- [26] 黄召存,陈娇,熊瑛,等.保护性耕作对蚕豆根际土壤微生物数量和酶活性的影响[J].干旱地区农业研究,2018,36(3):79-85.
- [27] 贾凤梅,张淑花,魏雅冬.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[J].水土保持研究,2018,25(5):112-117.
- [28] 李桂喜,董存元,陈希元,等.不同耕作方式对土壤微生物数量的影响[J].湖北农业科学,2012,51(17):3713-3715.
- [29] 陈蓓,张仁陟.免耕与覆盖对土壤微生物数量及组成的影响[J].甘肃农业大学学报,2004,39(6):634-638.
- [30] 高明,周保同,魏朝富,等.不同耕作方式对稻田土壤动物、微生物及酶活性的影响研究[J].应用生态学报,2004,15(7):1177-1181.
- [31] 张英英.不同耕作措施下旱作农田土壤活性有机碳组分与酶活性关系研究[D].兰州:甘肃农业大学,2016.
- [32] 路怡青,朱安宇,张佳宝,等.免耕和秸秆还田对土壤酶活性和微生物群落的影响[J].土壤通报,2014,45(1):85-90.
- [33] 高旭梅,刘娟,张前兵,等.耕作措施对新疆绿洲长期连作棉田土壤微生物、酶活性的影响[J].石河子大学学报(自然科学版),2011,29(2):145-152.
- [34] 刘红杰,习向银,刘朝科,等.深翻耕和连作对植烟土壤养分及其生物活性的影响[J].福建农业学报,2011,26(2):298-303.

## Effects of Different Tillage Methods on Soil Nutrients and Biological Properties of Dry Land in Northeast China

MA Xingzhu<sup>1,2</sup>, HAO Xiaoyu<sup>2</sup>, ZHAO Yue<sup>2</sup>, ZHENG Yu<sup>2</sup>, XING Zhanqiang<sup>1</sup>, YU Lei<sup>1</sup>, JI Jinghong<sup>2</sup>, LIU Shuangquan<sup>2</sup>

(1. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 2. Heilongjiang Academy of Black Soil Conservation and Utilization, Harbin 150086, China)

**Abstract:** In order to improve soil quality and crop yield in the black soil region and promote the sustainable development of regional agriculture. A field experiment for four consecutive years under three tillage treatments, including subsoiling tillage (ST), no tillage (NT) and conventional tillage (CT) were set up to investigate the effects of tillage methods on soil available nutrients, soil microbial quantity and enzyme activities. Results showed that, compared with CT, ST could significantly increase the contents of alkaline nitrogen, available phosphorus and available potassium in the upper soil layer (0—20 cm) (by 23.6%, 49.6%, and 63.3%, respectively), also for content of available phosphorus in the lower soil layer (20—40 cm) (86.2%). The pH of ST in the upper soil layer significantly increased, while the pH changed less among different treatments of in the lower soil layer; ST and NT treatments could significantly increase the number of bacteria and fungi in the upper soil layer, while ST significantly increased the number of actinomycetes; the differences of microbial quantities among in the lower soil layer were relatively small, decreased in the order: ST>NT>CT. There were highest activities of sucrase and catalase in the upper soil layer under ST, while NT increased soil urease and phosphatase activities. Except for catalase, the activities of other enzymes were higher in the upper soil than in the lower soil. ST and NT could increase the content of soil available nutrients, the number of microorganisms and enzyme activities, which helps to improve soil chemical and biological properties, thereby improving soil quality. Among them, subsoiling tillage played an important role in fertilizing soil and maintaining the living environment of soil organisms.

**Keywords:** tillage methods; black soil region; soil nutrient; microbial quantity; enzyme activity