

深耕和施用有机肥对麦田土壤微环境的影响

马守臣^{1,2}, 张紧紧¹, 冯荣成³, 邵云¹, 胡永娟¹, 马守田¹, 王文斐¹

(1. 河南师范大学 生命科学学院, 河南 新乡 453007; 2. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000; 3. 获嘉县农业技术推广中心, 河南 获嘉 453800)

摘要:为了探讨深耕和施用有机肥对土壤的培肥效应,在5年田间定位试验基础上,研究了深耕(DCK)、深耕+有机肥(DOF)、浅耕(SCK)、浅耕+有机肥(SOF)4个处理对土壤微生物数量、酶活性、含水量、养分含量的影响。结果表明,在不施有机肥条件下,深耕处理0~40 cm 土层真菌、放线菌数量均显著高于浅耕,但细菌数量仅在20~40 cm 土层显著高于浅耕。增施有机肥能显著增加微生物数量,在0~20 cm 土层,DOF处理细菌、真菌、放线菌数量分别比DCK增加了180.6%、53.6%、19.8%,SOF处理分别比SCK处理增加了8.0%、14.2%、36.9%。与浅耕相比,深耕可显著提高土壤脲酶活性和土壤含水量。在深耕条件下,施用有机肥可显著提高脲酶活性和土壤含水量,在0~20 cm 和20~40 cm 土层,DOF处理脲酶活性分别比DCK处理提高11.9%和54.3%,DOF处理含水量分别比DCK处理提高了4.67%和4.49%。深耕有助于提高20~40 cm 土层土壤全氮、全磷含量,而浅耕有助于提高0~20 cm 土层土壤全氮、全磷含量。施用有机肥可提高表层土壤全氮、全磷含量,在0~20 cm 土层,SOF处理全氮、全磷含量比SCK处理增加了36.24%、5.54%,DOF处理比DCK处理增加了8.98%、37.72%。可见,深耕+有机肥对改善土壤微环境、提高土壤肥力具有显著效果。

关键词:耕作;有机肥;土壤;微生物;酶活;养分

中图分类号:S158 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2014)04-0192-06

Effects of Deep Tillage and Organic Fertilizer Application on Soil Micro-environment of Wheat Field

MA Shou-chen^{1,2}, ZHANG Jin-jin¹, FENG Rong-cheng³, SHAO Yun¹,
HU Yong-juan¹, MA Shou-tian¹, WANG Wen-fei¹

(1. College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China; 2. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 3. Agricultural Technology Extension Station of Huojia, Huojia 453800, China)

Abstract: A field experiment was conducted to determine the effects of different tillage and fertilization measures on the microbial quantity, enzyme activity, moisture and nutrients of soil. Four tillage and fertilization treatments were selected: deep tillage (DCK), deep tillage + organic fertilizer (DOF), shallow tillage (SCK), and shallow tillage + organic fertilizer (SOF). The results of 5-year field experiments showed that, without the application of organic fertilizer, the number of fungi and actinomycetes in 0–40 cm soil layer was significantly higher in DCK than in SCK ($P < 0.05$), while the number of bacteria in DCK was significantly higher only in 20–40 cm soil layer than that of SCK. Organic fertilizer could significantly increase the number of microorganisms ($P < 0.05$). In 0–20 cm soil layer, the numbers of bacteria, fungi and actinomycetes in DOF treatment increased by 180.6%, 53.6% and 19.8%, respectively, compared to DCK, while in SOF treatment increased by 8%, 14.2% and 36.9%, respectively, compared to SCK. Deep tillage could increase the soil urease activity and soil water content compared with shallow tillage ($P < 0.05$). Application of organic fertilizer could significantly increase the urease activity and soil water content under deep tillage condition. In 0–20 cm and 20–40 cm soil layer, the urease activity of DOF treatment in-

收稿日期:2013-11-04

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD16B15;2012BAD14B08);河南师范大学博士科研启动基金项目(11127)

作者简介:马守臣(1972-),男,河南辉县人,副教授,博士,主要从事小麦栽培生理研究。

通讯作者:邵云(1973-),女,山东单县人,教授,博士,主要从事小麦生理生态研究。

creased by 11.9% and 54.3%, respectively, and the soil water content of DOF increased by 4.67% and 4.49%, respectively, compared with DCK. Deep tillage helped to increase the content of total nitrogen and total phosphorus in 20–40 cm soil layer, while shallow tillage helped to increase the content of total nitrogen and total phosphorus in 0–20 cm soil layer. Application of organic fertilizer could increase the contents of total nitrogen and total phosphorus in 0–20 cm soil layer. The contents of total nitrogen and total phosphorus in SOF treatment increased by 36.24% and 5.54%, respectively, and the content of total nitrogen and total phosphorus in DOF treatment increased by 8.98% and 37.72%, respectively, compared to DCK. It was clear that deep tillage + organic fertilizer could significantly improve the soil micro-environment and soil fertility.

Key words: Tillage; Organic fertilizer; Soil; Microbes; Enzyme activity; Nutrient

在我国,长期的单一种植和连年旋耕导致耕层土壤紧实、耕层变浅、犁底层变硬、土壤保水及保肥能力下降,养分失衡等,严重影响了农田可持续利用和经济效益的提高^[1-3]。与此同时,农民为了片面追求高产,过量使用化肥的现象也较为普遍,不但造成化肥的浪费和环境污染^[4-6],也导致耕地土壤质量退化、养分失衡、保水保肥和可持续生产能力降低。土壤是作物生长的载体,土壤为植株提供生长所必需的养分、水分等营养物质。土壤环境遭到破坏无疑会影响到土壤的生态功能,影响到农田水分、养分循环过程,最终造成作物减产。深耕处理可打破农田土壤犁底层,加深耕层,改善耕层结构,增强土壤入渗速度,从而提高土壤蓄水、保墒、抗旱能力^[7-10]。近年来,随着我国养殖业迅猛发展,产生了大量粪便,这些粪便的不合理处置不仅造成资源浪费,而且对生态环境造成了不利影响。如将这些养殖业粪便作为有机肥不但能明显增加土壤中的有机质、全氮、全磷含量和土壤微生物数量^[11-12],而且可改良土壤结构,使土壤疏松,协调土壤水、肥、气、热,增强土壤蓄水保肥能力^[13-14]。另外,有机肥还含有一些生物活性物质,施用有机肥可提高多种土壤酶活性,同时也可改善土壤的环境条件^[15-19]。可见,深耕、施用有机肥对土壤特性有重要影响。虽然前人针对深耕、施用有机肥对土壤特性的影响进行了大量研究^[20-24],但是关于深耕和施用有机肥相结合对土壤微环境影响的研究较少。为此,本研究探讨了深耕和施用有机肥相结合对农田微环境的影响,以期为农业生产实践提供可靠的理论依据和技术支持。

1 材料和方法

1.1 材料

供试小麦品种为半冬性中筋小麦百农矮抗 58。

1.2 试验地概况及试验设计

本研究是在 5 年不同耕作和培肥定位试验基础

上于 2012–2013 年进行的。试验地点为河南省获嘉县照镜镇前李村高产田,前茬作物为玉米,小麦播种密度为 225 万株/hm²。试验地土壤为黏壤土,肥力水平较高。麦播前不同处理耕层土壤养分情况如表 1 所示。

表 1 不同处理麦田基础土样养分含量

Tab. 1 The basic nutrient content of soil from different treatments

处理 Treatments	有机质 /(g/kg) Organic matter	全氮 /(g/kg) Total N	全磷 /(g/kg) Total P	速效钾 /(mg/kg) Available K
DCK	18.50	1.10	0.80	323.05
DOF	17.74	1.10	0.61	365.84
SCK	19.76	1.34	0.67	305.78
SOF	21.30	1.49	0.71	303.08

试验采用二因素试验设计。耕作方式采用深耕(先犁再旋,深度 25~30 cm, D)和传统浅耕(直接旋耕, 12~15 cm, S); 培肥方式采用在底施化肥基础上增施有机肥(猪粪, 2 293.05 kg/hm², OF)和单施化肥(CK)。共 4 个处理, 即: 深耕(DCK)、深耕+有机肥(DOF)、浅耕(SCK)、浅耕+有机肥(SOF)。各处理化肥用量一致, 每公顷底施纯 N 135 kg、P₂O₅ 120 kg、K₂O 180 kg、ZnSO₄ 22.5 kg、硫酸肥 60 kg。试验小区面积 35 m² (5 m × 7 m), 3 次重复。

1.3 土样采集及处理

于小麦越冬期(2012 年 12 月 12 日)采集土样。每小区随机取 3 个点, 用土钻分别取 0~20, 20~40 cm 土层的土壤, 并分为 3 组。其中一组土样用于土壤含水量的测定; 一组土样过 2 mm 筛, 4℃ 保存, 用于土壤微生物数量的测定; 另一组土样自然风干之后过 1 mm 筛, 4℃ 保存, 用于土壤酶活性及全氮、全磷含量的测定。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 土壤含水量及养分含量 土壤水分含量采用烘干法测定, 土壤全氮含量采用半微量凯氏定氮法测定, 全磷含量采用钒钼黄比色法测定。

1.4.2 土壤微生物数量 土壤微生物数量采用稀释平板法测定。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基培养,真菌采用孟加拉红培养基培养,放线菌采用高氏1号培养基培养。每种菌的总菌数计算方法为:总菌数 = 同一稀释度几个重复的菌落平均数 × 稀释倍数^[25]。

1.4.3 土壤酶活性 过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定,其活性以1g土壤消耗0.02 mol/L KMnO₄的体积(mL)表示;脲酶活性用苯酚-次氯酸钠比色法测定,其活性以反应24 h后1g土壤中释放NH₃-N的质量(mg)表示。

1.5 数据处理

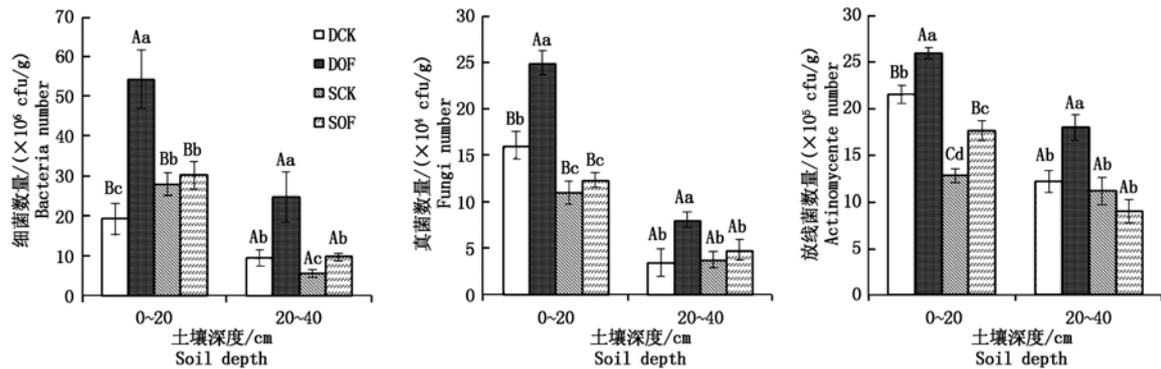
使用Excel 2003和SPSS 13.0软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理土壤微生物数量比较

由图1可以看出,0~40 cm土层各种微生物数量均以DOF处理最多。在施用有机肥条件下,深耕

处理0~40 cm土层微生物数量均显著高于浅耕处理($P < 0.05$)。在不施有机肥条件下,深耕处理0~40 cm土层真菌、放线菌数量均显著高于浅耕处理($P < 0.05$);深耕处理细菌数量在0~20 cm土层显著低于浅耕,而在20~40 cm显著高于浅耕($P < 0.05$)。在同一耕作措施下,施用有机肥处理微生物数量高于不施用有机肥处理。在0~20 cm土层,DOF处理细菌、真菌、放线菌数量分别比DCK处理增加了180.6%,53.6%,19.8%,差异均达到了极显著水平($P < 0.01$);SOF处理细菌、真菌、放线菌数量分别比SCK处理增加了8.0%,14.2%,36.9%,其中,SOF处理放线菌数量极显著大于SCK处理($P < 0.01$)。在20~40 cm土层,DOF处理细菌、真菌、放线菌数量比DCK处理分别增加了161.4%,141.4%,48.6%,差异均达到显著水平;SOF处理的细菌、真菌数量分别比SCK处理增加了82.5%,22.2%。可见,在深耕条件下,增施有机肥能显著增加微生物的数量。



同一土层不同的大、小写字母分别表示在 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 水平上差异显著,图2~4同。

Different uppercase and lowercase letters in the same soil layer imply that there is a significant difference at $P < 0.01$ and $P < 0.05$. The same as Fig.2-4.

图1 不同处理土壤微生物数量

Fig.1 Soil microbial quantity of different treatments

2.2 不同处理土壤过氧化氢酶和脲酶活性比较

由图2可知,0~40 cm土层中DOF处理下过氧化氢酶活性和脲酶活性最高。0~40 cm土层中过氧化氢酶活性在各处理之间没有显著差异。0~20

cm和20~40 cm土层深耕处理土壤脲酶活性分别极显著、显著大于浅耕处理($P < 0.01$, $P < 0.05$)。在深耕条件下,施用有机肥可显著提高脲酶活性,在0~20 cm和20~40 cm土层,施用有机肥处理脲酶

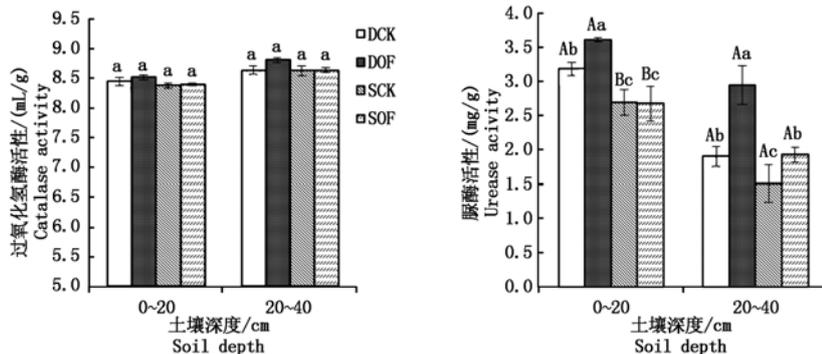


图2 不同处理土壤酶活性

Fig.2 Soil enzyme activity of different treatments

活性分别比不施用有机肥处理提高 11.9% 和 54.3%。在浅耕条件下,施用有机肥处理对 0~20 cm 土层脲酶活性没有显著影响,但提高了 20~40 cm 土层的脲酶活性,提高幅度为 24.3%。

2.3 不同处理土壤含水量比较

由图 3 可知,在两土层中均为 DOF 处理下的土壤含水量最高。深耕处理土壤含水量显著高于浅耕处理,在 0~20 cm 和 20~40 cm 土层,DCK 处理含水量分别比 SCK 处理提高了 13.37% 和 5.07%,DOF 处理含水量分别比 SOF 处理提高了 13.57% 和 8.83%。在同一耕作条件下,施用有机肥提高了土壤的含水量,在 0~20 cm 和 20~40 cm 土层,DOF 处理含水量分别比 DCK 处理提高了 4.67% 和 4.49%,SOF 处理含水量分别比 SCK 提高了 4.49% 和 0.88%。可见,与浅耕相比深耕显著提高了土壤的含水量,DOF 处理下土壤的蓄水、保墒效果最为明显。

2.4 不同处理土壤全氮和全磷含量比较

由图 4 可知,对于土壤全氮含量来说,在 0~20 cm 土层,浅耕处理有助于提高土壤全氮含量,SCK 处理全氮含量比 DCK 处理增加了 8.98%,SOF 处理全氮含量比 DOF 处理增加了 31.69%;在 20~40 cm 土层,深耕处理有助于提高土壤全氮含量,DCK

处理全氮含量比 SCK 处理增加了 76.96%,DOF 处理全氮含量比 SOF 处理增加了 23.62%。在同一耕作措施下,在 0~20 cm 土层,施用有机肥处理全氮含量高于不施用有机肥处理,以 SOF 处理最高,比 SCK 处理增加了 36.24%,DOF 处理全氮含量比 DCK 处理增加了 8.98%;在 20~40 cm 土层,DOF 处理全氮含量比 DCK 处理降低了 27.19%,但 SOF 处理全氮含量比 SCK 处理高,但没有显著差异。可见,浅耕和深耕分别增加了 0~20 cm 和 20~40 cm 土层的全氮含量;有机肥显著增加了 0~20 cm 土层的全氮含量。

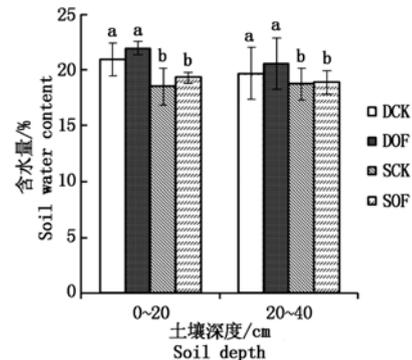


图 3 不同处理土壤含水量

Fig. 3 Soil moisture content of different treatments

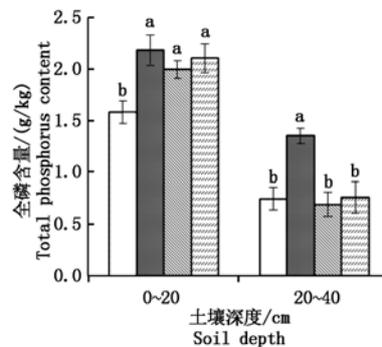
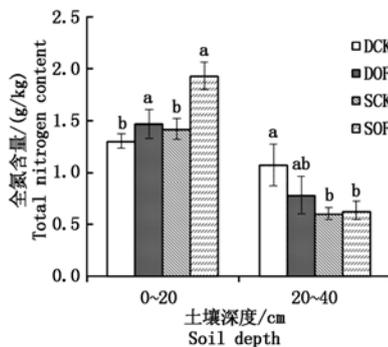


图 4 不同处理的土壤养分含量

Fig. 4 Soil nutrient content of different treatments

对土壤全磷含量来说,在施用有机肥条件下,深耕处理全磷含量高于浅耕处理,在 0~20,20~40 cm 土层,DOF 处理全磷含量较 SOF 处理提高了 3.57% 和 78.63%。在不施用有机肥条件下,在 0~20 cm 土层,SCK 处理全磷含量分别较 DCK 处理提高了 25.99%,在 20~40 cm 土层,SCK 处理全氮含量与 DCK 相比,没有显著差异。在深耕条件下,施用有机肥能显著提高土壤全磷含量,在 0~20,20~40 cm 土层 DOF 处理的全磷含量较 DCK 分别提高了 37.72%,80.81%;在浅耕条件下施用有机肥也能提高全磷含量,增幅较小,且没有达到显著水平,0~20,20~40 cm 土层 SOF 处理全磷含量较 SCK 处理分别提高了 5.54%,9.38%。可见,施用有机肥能提高 0~

40 cm 土层的全磷含量,配合深耕效果更为显著。

2.5 不同处理对土壤微环境影响的方差分析

由表 2 可以看出,在 0~20 cm 土层,培肥方式、耕作与培肥交互对细菌数量影响均达极显著水平;耕作方式和培肥方式对放线菌数量影响均达到极显著水平;对于真菌数量来说,耕作方式和培肥方式对其影响均达到极显著水平,两者交互对其影响达显著水平;耕作方式对脲酶活性影响达极显著水平,即深耕条件下土壤脲酶活性极显著高于浅耕,同时培肥方式对其影响也达到显著水平,即施用有机肥处理土壤脲酶活性显著高于不施用有机肥处理;耕作方式和培肥方式对全氮含量影响均达到显著水平,二者交互对其影响不显著;对于全磷含量来说,培肥

方式、耕作方式与培肥方式交互对其影响均达到显著水平。在 20 ~ 40 cm 土层,耕作方式和培肥方式对细菌数量的影响均达到显著水平;培肥方式对真菌数量的影响也达到显著水平;耕作方式与培肥方式交互对放线菌数量的影响分别达到极显著和显著

水平;培肥方式、耕作方式与培肥方式交互对脲酶活性的影响达到显著水平;耕作方式对全氮含量的影响达到显著水平;耕作方式、培肥方式及二者交互对全磷含量均产生显著影响;耕作方式、培肥方式及二者交互对过氧化氢酶活性均未产生显著影响。

表 2 耕作和培肥对土壤微环境影响的方差分析

Tab. 2 ANOVA of effect of tillage and fertilizer on soil micro-environment

土层深度/cm Soil depth	指标 Index	F 值 F value		
		耕作 Tillage	培肥 Fertilizer	耕作 × 培肥 Tillage × Fertilizer
0 ~ 20	细菌数量	5.41	30.95 **	23.89 **
	真菌数量	103.03 **	34.38 **	18.69 *
	放线菌数量	190.59 **	57.65 **	0.11
	过氧化氢酶活性	7.574	1.77	0.55
	脲酶活性	67.41 **	14.98 *	0.35
	全氮含量	12.95 *	17.76 *	4.50
	全磷含量	3.79	16.78 *	7.93 *
20 ~ 40	细菌数量	16.01 *	17.24 *	5.54
	真菌数量	3.41	12.97 *	5.25
	放线菌数量	28.11 **	3.97	18.20 *
	过氧化氢酶活性	4.23	4.04	3.18
	脲酶活性	7.21	8.0 *	15.47 *
	全氮含量	8.51 *	1.67	2.34
	全磷含量	15.39 *	16.79 *	10.53 *

注: * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。

Note: * and ** in the table mean significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ level, respectively.

3 讨论与结论

3.1 深耕对土壤微环境的作用及其机制

不同的耕作方式对土壤容重、孔隙度、团聚体组成、有机碳含量等理化性状有不同程度的影响,从而形成不同的土壤环境。不同的耕作方式会造成土壤微生物数量和土壤酶活性的差异^[26]。土壤经深耕后,土壤含水量有了一定程度的增加,土壤水分利用效率显著高于常规浅耕处理^[27]。本试验结果表明,深耕能显著提高 0 ~ 40 cm 的土层的真菌、放线菌数量、含水量和施用有机肥条件下的细菌数量;深耕提高了脲酶的活性,但对过氧化氢酶活性影响不显著;深耕还提高了 20 ~ 40 cm 土层的全氮含量,在施用有机肥的条件下提高了 0 ~ 40 cm 土层的全磷含量。方差分析结果表明,在 0 ~ 20 cm 土层,耕作对微生物数量、脲酶活性及全氮含量有显著或极显著影响,在 20 ~ 40 cm 土层,耕作对放线菌数量有极显著影响,对脲酶活性和全氮含量的影响达到显著水平。深耕能厚熟土层,降低容重,增加孔隙度,从而增加土壤通透性;同时可将表土层的养分翻埋到下层,为微生物的生存、繁殖和活动创造有利条件,加速土壤熟化进程,通过土壤微生物的分解、转化,使土壤中不可吸收的矿物质养分及有机养分较快地转化为可

被作物吸收利用的养分从而提高土壤养分。

3.2 施用有机肥对土壤微环境的作用及其机制

有机肥含有多种营养元素和活性物质,可改善作物根系微生态环境中的理化性状及微生物活性^[28-31]。有机肥施入土壤后,为土壤增加了养分和能源,因此可显著提高土壤中与碳、氮、磷等营养元素循环有关的各种酶的活性^[32]。另外,有机肥具有保水能力,施入土壤中能够提高保墒、蓄水能力,可以提高土壤的持水能力^[13]。土壤施入有机肥并结合深翻后,蓄水能力得到了进一步增强,能够持续稳定地提供作物生长期中所需水分^[33]。本试验的结果表明,施用有机肥后提高了土壤微生物数量、脲酶活性、含水量全氮和全磷含量,在施用有机肥条件下,深耕对土壤微生物数量、脲酶活性、含水量和全磷含量的影响显著大于浅耕;施用有机肥对过氧化氢酶活性的影响则不显著。

总之,与浅耕相比,深耕处理有助于提高微生物数量、脲酶活性和含水量。深耕有助于提高 20 ~ 40 cm 土层土壤全氮、全磷含量,而浅耕有助于提高 0 ~ 20 cm 土层土壤全氮、全磷含量。增施有机肥能可显著增加微生物的数量、提高土壤脲酶活性、土壤含水量和土壤表层全氮、全磷含量。综合比较各处理对土壤微生物数量、酶活性、含水量、全氮和全磷

含量的影响,可知,深耕+有机肥施对改善土壤微环境、提高土壤肥力具有显著效果。

参考文献:

- [1] 黄智鸿,王思远,包岩,等. 超高产玉米品种干物质积累与分配特点的研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(3): 95-98.
- [2] 姚晓旭,于海秋,曹敏建. 氮、钾肥运筹对超高产玉米干物质积累和产量的影响[J]. 华北农学报, 2009, 24(S1): 176-178.
- [3] 高玉山,窦金刚,刘慧涛,等. 吉林省半干旱区玉米超高产品种、密度与产量关系研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(1): 120-122.
- [4] Luan H, Qiu H G. Fertilizer overuse in China: empirical evidence from farmers in four provinces[J]. Agricultural Science and Technology, 2013, 14(1): 193-196.
- [5] 黄国勤,王兴祥,钱海燕,等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J]. 生态环境, 2004, 13(4): 656-660.
- [6] 卫婷,韩丽娜,韩清芳,等. 有机培肥对旱地土壤养分有效性和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 611-620.
- [7] 刘淑梅,曲晓燕,张洪生,等. 小麦、玉米轮作制度下耕作方式对夏玉米农田土壤物理性状的影响[J]. 华北农学报, 2013, 28(6): 226-232.
- [8] 宫亮,孙文涛,包红静,等. 不同耕作方式对土壤水分及玉米生长发育的影响[J]. 玉米科学, 2011, 19(3): 118-120, 125.
- [9] 茹淑华,张国印,李虎群,等. 禽粪有机肥对土壤主要养分和微量元素锌累积的影响[J]. 华北农学报, 2011, 26(Z1): 157-162.
- [10] 苏帆,尹梅,付利波,等. 禽畜粪肥和化肥对结球西生菜生产的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(4): 630-636.
- [11] 王晓娟,贾志宽,梁连友,等. 旱地施有机肥对土壤水分和玉米经济效益影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 144-149.
- [12] Zhao Y C, Wang P, Li J L, et al. The effects of two organic manures on soil properties and crop yields on a temperate calcareous soil under a wheat-maize cropping system[J]. European Journal of Agronomy, 2009, 31(1): 36-42.
- [13] 唐小明. 有机肥的保水培肥效果及对冬小麦产量的影响[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 130-132.
- [14] 曹丹,汪张懿,李文红,等. 不同生物肥处理土壤微生物量对温度、水分条件的响应[J]. 河南农业科学, 2013, 42(8): 63-65, 75.
- [15] 刘杏兰,高宗,刘存寿,等. 有机-无机肥配施的增产效应及对土壤肥力影响的定位研究[J]. 土壤学报, 1996, 33(2): 138-142, 144-147.
- [16] 吕家珑,张一平,王旭东,等. 长期单施化肥对土壤性状及作物产量的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 569-572.
- [17] 周斌,王周琼. 长期定位施肥对灰漠土养分的影响及评价[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 35-39.
- [18] Bandick A K, Dick R P. Field management effects on soil enzyme activities[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31(11): 1471-1479.
- [19] Caesar T T, Lessen A W, Caesar A J, et al. Effects of tillage on microbial population on associated to soil aggregation in dry land spring wheat system[J]. European Journal of Soil Biology, 2010, 46: 119-127.
- [20] Celik I, Ortas I, Kilic S. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil[J]. Soil and Tillage Research, 2004, 78(1): 59-67.
- [21] 邱莉萍,张兴昌,张晋爱. 黄土高原长期培肥土壤团聚体中养分和酶的分布[J]. 生态学报, 2006, 26(2): 364-372.
- [22] 王宏武,冯柱安,胡钟胜,等. 长期施用有机堆肥对土壤性状与烟叶质量的影响[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(2): 6-11, 16.
- [23] 党廷辉,彭林,戴铭钧,等. 旱塬长期施肥的产量效应与土壤肥力演变[J]. 水土保持学报, 1995, 9(1): 55-63.
- [24] 刘春增,李本银,吕玉虎,等. 紫云英还田对土壤肥力、水稻产量及其经济效益的影响[J]. 河南农业科学, 2011, 40(5): 96-99.
- [25] 杨文平,王春虎,茹振钢. 秸秆还田对冬小麦品种百农矮抗 58 根际土壤微生物及土壤酶活性的影响[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(7): 20-24.
- [26] Nyamadzawo G, Nyamangara J, Nyamugafata P, et al. Soil microbial biomass and mineralization of aggregate protected carbon in fallow-maize systems under conventional and no-tillage in Central Zimbabwe[J]. Soil and Tillage Research, 2009, 102(1): 151-157.
- [27] 祝宗美. 不同耕作深度对小麦生长发育、产量及水分生产效率的影响[J]. 山东农业科学, 2012, 44(7): 48-49.
- [28] Zhao Q Y, Dong C X, Yang X M, et al. Biocontrol of *Fusarium* wilt disease for *Cucumis melo* melon using bioorganic fertilizer[J]. Applied Soil Ecology, 2011, 47(1): 67-75.
- [29] Lang J J, Hu J, Ran W, et al. Control of cotton *Verticillium* wilt and fungal diversity of rhizosphere soils by bioorganic fertilizer[J]. Biology and Fertility of Soils, 2012, 48(2): 191-203.
- [30] Zhao Q Y, Shen Q R, Ran W, et al. Inoculation of soil by *Bacillus subtilis* Y-IVI improves plant growth and colonization of the rhizosphere and interior tissues of muskmelon (*Cucumis melo* L.) [J]. Biology and Fertility of Soils, 2011, 47(5): 507-514.
- [31] Zhang N, Wu K, He X, et al. A new bioorganic fertilizer can effectively control banana wilt by strong colonization with *Bacillus subtilis* NI [J]. Plant Soil, 2011, 11(1): 87-97.
- [32] 王珂,杨玉爱,袁可能. 有机肥对小麦根际土壤酶活性的影响(英文)[J]. 浙江农业大学学报, 1995, 21(2): 111-115.
- [33] 马俊艳,左强,王世梅,等. 深耕及增施有机肥对设施菜地土壤肥力的影响[J]. 北方园艺, 2011(24): 186-190.