

秋施有机肥对土壤生物学、理化性状及玉米产量的影响

梁元振, 赵京考, 吴德亮, 王雪, 张宏媛, 仝利鹏, 杨富娟, 徐凤花

(东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘要:以黑龙江省海林农场白浆土为研究对象,在等氮量条件下(秋季有机肥配施来年春季无机肥),设置100%有机肥(T_1),30%有机肥+70%无机肥(T_2),20%有机肥+80%无机肥(T_3),100%无机肥(T_4)和不施肥(CK)5个处理,研究长期施肥对土壤生物学、理化性状以及玉米产量的影响。结果表明:玉米生育期内,土壤微生物数量呈先升高后降低的变化趋势,且施用高量有机肥有助于细菌和放线菌群落结构的形成,无机肥和不施肥适于真菌生长;有机无机肥配施处理在提高土壤酶活性方面占据绝对优势,脲酶和蔗糖酶活性始终显著高于其他处理,且有机肥较无机肥处理更能提高玉米生育期内土壤微生物生物量;有机无机肥配施可明显提高土壤全量和速效养分,培肥地力,单施效果稍差,且差异不大,而高量有机肥在降低土壤容重、增加总孔隙度百分比方面作用显著;两年玉米累计产量30%有机肥(T_2)最高,分别比100%有机肥(T_1)和100%无机肥(T_4)提高57.34%和4.59%,稳产并高产。总体来讲,30%有机肥+70%无机肥为最佳施肥模式。

关键词:秋施有机肥;生物学特性;菌群结构;土壤肥力

中图分类号:S154.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)03-0113-06

Effects of Application of Organic Fertilizer in Autumn on the Soil Biological, Physical and Chemical Properties and Maize Yield

LIANG Yuanzhen, ZHAO Jingkao, WU Deliang, WANG Xue,
ZHANG Hongyuan, TONG Lipeng, YANG Fujuan, XU Fenghua

(College of Resources and Environmental, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Taking arable albic soil of Hailin Farm, Heilongjiang Province as the research sample, under the condition of the same amount of nitrogen (combined application of organic fertilizer in autumn with chemical fertilizer in spring), we designed 5 treatments: 100% organic fertilizer (T_1), 30% organic fertilizer + 70% inorganic fertilizer (T_2), 20% organic fertilizer + 80% inorganic fertilizer (T_3), 100% inorganic fertilizer (T_4) and no fertilizer (CK) to study the effects of long-term application of fertilizers on soil biological, physical and chemical properties and maize yield. The results showed that during the growth period of maize, the amount of soil microbial went up and then declined, and the application of high amount of organic fertilizer was helpful to the formation of bacteria and actinomycetes community structure, while inorganic fertilizer and no fertilizer were both suitable for the growth of fungal; combined application of organic fertilizer with inorganic fertilizer treatments had absolute advantages in improving soil enzyme activities over other treatments, which embodied concretely that the activities of urease and invertase were significantly higher than other treatments all the time, moreover, the effects of organic treatments on enhancing soil microbial biomass was clearly superior than inorganic fertilizer; combined application of organic fertilizer with inorganic fertilizer could obviously increase the contents of total and available soil nutrients, and enrich the soil fertility, while the effect of single application of fertilizer had poor consequences, and showed little difference, apart from those, the high amount of organic fertilizer could significantly reduce soil bulk density and increase soil total porosity; 2-year accumulative total corn yield of 30% organic manure (T_2) was the highest, and the yield of

收稿日期:2016-07-15

修回日期:2016-09-26

资助项目:科技部循环农业科技工程“三江平原规模化农业循环技术集成与示范”(2012BAD14B06);农业部植物营养与肥料学科群开放基金(APF2015001);寒区畜禽粪便生物处理与有机肥生产技术应用,哈尔滨市科技成果转化项目(2014DB3BN037)

第一作者:梁元振(1989—),男,河南郑州人,在读硕士研究生,主要从事玉米水肥耦合研究。E-mail: zhyualiang@163.com

通信作者:赵京考(1965—),男,河北邢台人,副教授,博士,主要从事玉米水肥耦合研究。E-mail: ennmaqu@163.com

T₂ was 57.34% and 4.59% higher than T₁ and T₄, respectively, which meant that T₂ stabilized and improved maize yield most obviously. Overall, 30% of organic fertilizer + 70% inorganic fertilizer was the best fertilization pattern in this area.

Keywords: application of organic fertilizer in autumn; soil biological characteristics; flora structure; soil fertility

目前我国农田土壤肥力存在土壤养分转化速度慢、土壤生物学特性不高和土壤环境质量严重下降等问题,而有相关研究表明,土壤生物学特性在培肥地力方面起着不可替代的作用^[1-2]。土壤生物学特性主要包括土壤微生物种群结构、土壤酶活性和土壤微生物生物量等,能够对土壤生产能力产生很大影响,同时在一定程度上反映了土壤生态环境质量的好坏,越来越受到人们的重视^[3-5]。土壤理化性状主要包括土壤有机质、全氮和速效磷等常规指标,在农田作物种植、施肥量的确定、土壤肥力高低的评价等方面起着不可替代的作用,长期以来为众多学者所关注^[6-10],研究施肥对其影响十分重要。尽管已有不少长期有机无机肥配施对土壤微生物、微生物生物量、酶活性和理化性状等影响的研究,可多数集中在春季有机无机肥配施上,而秋季有机肥配施来年春季无机肥的相关研究鲜见报道。秋施有机肥具有许多优点,如秋季雨量充沛,施入有机肥容易腐熟分解,又经过冬春季节的冻融交替,可及早增大土壤孔隙度,使土壤疏松;有利于土壤保墒蓄水,防冬春干旱,同时由于提高了地温,为微生物的活动创造条件^[3,11]。综上所述,秋季有机肥配施来年春季无机肥对土壤生物学特性和理化性状等的影响值得探究。

本试验以黑龙江省海林市海林农场示范区玉米试验田为研究对象,布置不同配比的秋季有机肥配施无机肥试验,连续试验两年后进行土壤微生物、生物量、酶活性和养分分析以及玉米产量的测定,以期为当地培肥地力和增产增收提供有效的理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

2013 年 10 月开始,连续 2 a 定位试验,地点为黑龙江省牡丹江市海林农场。供试土壤为白浆土,质地轻壤,土层深厚,地下水埋深在 10 m 以下。试验开始时耕层土壤(0—20 cm)基本理化性状为:有机质 11.78 g/kg,全氮 0.84 g/kg,全磷 0.79 g/kg,碱解氮 106.4 mg/kg,速效磷 15.32 mg/kg,速效钾 130.2 mg/kg,pH 值为 4.5,土壤容重为 1.28 g/cm³。试验用商品有机肥含 N 量 2.69%,含 P₂O₅ 量 0.96%,含 K₂O 量 0.96%。供试氮肥为尿素,含 N 量 46%;磷

肥为磷酸二胺,含 N 量 18%,含 P₂O₅ 量 46%;钾肥为硫酸钾,K₂O 含量为 50%。

1.2 试验设计

试验为条状设计,共设置 5 个处理(具体见表 1),每个处理的面积为 400 m²,含 10 垄,垄长 60 m,垄宽 0.67 m,随机化排列。

表 1 施肥方案			kg/hm ²	
处理	有机肥氮	无机肥氮	P ₂ O ₅	K ₂ O
100%有机肥(T ₁)	150	0	75	90
30%有机肥+70%无机肥(T ₂)	45	105	75	90
20%有机肥+80%无机肥(T ₃)	30	120	75	90
100%无机肥(T ₄)	0	150	75	90
不施肥(CK)	0	0	0	0

每年秋季施入有机肥,春季无机肥随播种一次性施入。田间管理按大田丰产要求进行。种植制度为一年一季玉米,品种为先锋 38P05,种植密度约 5.6 万株/hm²,行距 60 cm,株距 25~30 cm。

1.3 土样采集及测定项目与方法

土样采集:2015 年分别在玉米拔节期(6 月 15 日)、抽雄期(7 月 19 日)和成熟期(9 月 28 日)三个时期采集施肥处 0—15 cm 层土样。每个处理以垄长每 20 m 为一个单元,按“S”型路线,取 10 个点(每个采样点的取土深度及采样量应均匀一致)混成一个样,共 3 组土样(3 个重复),每组混合样分成两份:一份立即过 2 mm 筛,用于土壤微生物生物量碳、氮,以及土壤细菌、放线菌和真菌的测定;另一份经风干后过 1 mm 筛,供土壤脲酶、蔗糖酶活性以及有机碳、全氮、速效磷和速效钾(后四者仅限于成熟期)含量的测定。

土壤生物学特性的测定:土壤微生物生物量碳、氮采用氯仿熏蒸法^[12];土壤细菌、放线菌和真菌均采用混合稀释平板计数法,其培养基分别为牛肉膏蛋白胨培养基、马丁氏琼脂培养基和高氏 I 号培养基^[13];土壤脲酶活性采用苯酚钠一次氯酸钠比色法测定,土壤蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[14]。

土壤基本理化指标采用常规分析法测定^[15]:全氮含量采用全自动凯氏定氮仪测定,有机碳含量用重铬酸钾容量法测定;速效磷含量采用碳酸氢钠浸提+钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用原子吸收分光光度计法测定;采用环刀法测定土壤容重,土壤总孔隙度=(1-土壤容重/土壤比重)×100%。

玉米产量的测定:单元内样方估产。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件对试验数据进行处理和分析;多重比较采用 Duncan 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对土壤微生物的影响

由表 2 可知,在玉米生育期内,各个处理的土壤细菌数量均呈先升高后降低的变化趋势,均在抽雄期达到最大值,成熟期回落。拔节期时,处理 T₁、T₂ 和 T₃ 的土壤细菌数量明显高于 T₄ 和 CK,说明秋施有机肥已发挥了为土壤细菌供应营养的作用。抽雄期时,各处理的土壤细菌数量由大到小排列为 T₃>T₂>T₁>T₄>CK,处理之间差异显著,其中 T₃ 分别比 T₂、T₁、T₄ 和 CK 高出 12.13%、14.78%、37.26%和 101.50%。成熟期时,细菌数量大幅度降低,处理 T₂ 和 T₃ 数量较高,其次是 T₁、T₄ 和 CK 数量相对较少,处理相互之间差异显著。

整个生育期内,除对照无明显变化,施肥处理的土壤放线菌数量均从拔节期逐渐升高,到抽雄期达到最大,成熟期迅速回落。秋施有机肥处理 T₁、T₂ 和 T₃ 在拔节期的土壤放线菌数量显著高于 T₄ 和 CK,且用量越大,数量越高。抽雄期时,各个处理的土壤放线菌数量由大到小排列为 T₁>T₃>T₂>T₄>CK,且处理之间差异显著,表明有机肥显著促进了放线菌的生长,而无机肥在一定程度上限制了放线菌增殖。成熟期时,土壤放线菌数量有所下降,处理 T₁ 最高,其次为 T₃、T₂、T₄ 和 CK 较低。

由表 2 可知,玉米生育期内,各个处理的土壤真菌变化规律略有不同。处理 T₂、T₃ 和 T₄ 的土壤真菌数量从拔节期不断升高,到抽雄期出现峰值,成熟期降低;整个生育期内,处理 T₁ 的土壤真菌数量不断增加,到成熟期达到最大,而 CK 的土壤真菌规律性不明显。从拔节期到抽雄期,处理 T₄、T₃、T₂ 和 T₁ 的土壤真菌数量分别增加了 2.71、1.31、1.29、0.89 倍,说明施用无机肥能显著促进土壤真菌群落结构的形成,而有机无机肥配施能控制其生长,有机肥比例越大,效果越明显^[16]。成熟期,与处理 T₁、T₄ 和 CK 相比,T₃ 和 T₂ 降低了土壤真菌数量,有效改善了土壤菌群结构。

2.2 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

由表 3 可见,玉米拔节期时,处理 T₂ 和 T₃ 的脲酶活性较高,T₁ 和 T₄ 活性次之,均显著高于对照 CK,处理之间差异显著,此时 T₃、T₂、T₁ 和 T₄ 分别比 CK 提高 162.38%、155.45%、110.89%和 109.91%,表明施肥可明显提高脲酶活性^[3];抽雄期时,施肥处理脲酶活性均达到峰值,有机无机肥配施处理 T₂ (30%:70%)最高,

T₁ 和 T₄ 差异不显著,且 T₂ 和 T₃ 分别比 T₁、T₄ 提高 27.55%、25.41%和 10.88%、9.03%,说明有机无机肥配施比单施有机肥和无机肥更有利于在土壤中释放大量速效氮,产物的积累十分有利于脲酶酶促反应的进行^[4,17];成熟期时,脲酶活性有所下降,处理 T₃ 和 T₂ 较高,差异不显著,T₁ 高于 T₄,差异显著。综上,整个玉米生育期,有机无机肥配施对脲酶活性影响最大。

表 2 不同施肥处理对土壤微生物的影响

微生物	处理	拔节期	抽雄期	成熟期
细菌/ (10 ⁷ CFU·g ⁻¹)	T ₁	7.23±0.18a	9.34±0.11b	4.19±0.06c
	T ₂	6.31±0.09b	9.56±0.08b	5.01±0.06a
	T ₃	6.19±0.15b	10.72±0.16a	4.83±0.12b
	T ₄	6.07±0.09b	7.81±0.12c	3.94±0.07d
	CK	3.78±0.16c	5.32±0.08d	2.15±0.12e
放线菌/ (10 ⁵ CFU·g ⁻¹)	T ₁	4.18±0.17a	9.32±0.19a	4.81±0.18a
	T ₂	3.72±0.06b	7.62±0.09c	2.75±0.07c
	T ₃	4.04±0.07a	7.89±0.15b	3.16±0.07b
	T ₄	2.15±0.21c	4.13±0.13d	1.99±0.21d
	CK	1.02±0.11d	1.11±0.09e	1.08±0.11e
真菌/ (10 ⁴ CFU·g ⁻¹)	T ₁	2.45±0.12b	2.97±0.13b	3.01±0.13a
	T ₂	2.69±0.15ab	3.07±0.16b	1.81±0.10c
	T ₃	2.73±0.17a	3.15±0.21b	1.68±0.25c
	T ₄	2.58±0.08ab	4.15±0.17a	2.04±0.31c
	CK	1.34±0.09c	1.25±0.13c	2.42±0.05b

注:同列后不同小写字母表示处理之间在 5%水平差异显著,下同。

表 3 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

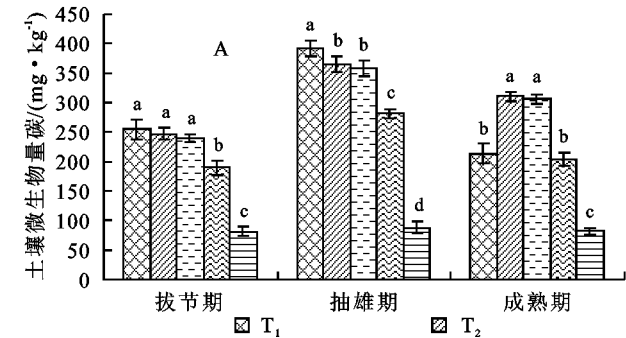
土壤酶	处理	拔节期	抽雄期	成熟期
脲酶/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	T ₁	2.13±0.09b	2.94±0.25c	1.81±0.15b
	T ₂	2.58±0.14a	3.75±0.14a	1.97±0.11ab
	T ₃	2.65±0.10a	3.26±0.09b	2.13±0.11a
	T ₄	2.12±0.04b	2.99±0.15bc	1.62±0.09c
	CK	1.01±0.04c	0.97±0.08d	0.94±0.08d
蔗糖酶/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	T ₁	34.56±1.85c	40.39±3.04b	28.62±3.10d
	T ₂	38.03±2.09ab	49.53±2.99a	38.01±2.06b
	T ₃	40.39±1.61a	47.95±1.47a	47.33±3.20a
	T ₄	35.13±1.64bc	39.94±2.24b	30.48±1.23c
	CK	14.27±1.47d	18.34±1.89c	15.23±2.41e

从表 3 还可看出,整个生育期各处理土壤蔗糖酶活性变化趋势与脲酶相似,拔节期最低,抽雄期最高,且施肥处理蔗糖酶活性明显高于不施肥处理,说明施肥明显提高了蔗糖酶活性,而有机无机肥配施(处理 T₂ 和 T₃)效果始终优于单施有机肥(T₁)和无机肥(T₄),差异显著。在拔节和抽雄期,处理 T₁ 和 T₄ 差异不显著,但成熟期 T₄ 比 T₁ 提高 7.86%,达到显著差异,说明生育前期单施有机肥和无机肥对土壤蔗糖酶活性影响差异不大,后期以无机肥效果明显。拔节期,处

理 T_3 最高,比 T_1 和 T_4 提高 16.87%和 14.97%;抽雄期,处理 T_2 最高,比 T_1 和 T_4 提高 22.63%和 24.01%;成熟期时,蔗糖酶活性明显降低,但处理 T_3 高居不下,其原因有待进一步探究。

2.3 不同施肥处理对土壤微生物生物量的影响

不同施肥处理对土壤微生物生物量碳(SMBC)的影响见图 1A。与不施肥相比,各个施肥处理的 SMBC 均明显提高,在玉米生育期内的变化情况基本一致,从拔节期开始逐渐升高,到抽雄期达到最大,成熟期回落。抽雄期时,处理 T_1 最高,与其他处理差异显著, T_2 和 T_3 差异不显著,明显高于 T_4 和 CK, T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 分别是 CK 的 4.43、4.13、4.05、3.19 倍,之后呈下降趋势。整个玉米生育期中,有机肥处理始终高于无机肥处理,其中拔节期到抽雄期,有机肥用量越大,SMBC



注:图中不同小写字母表示同一时期处理之间在 5%水平差异显著。

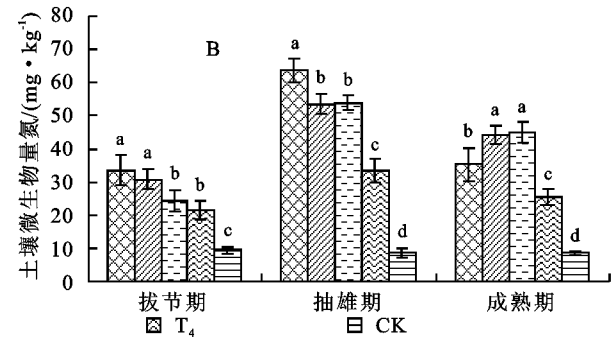
图 1 不同施肥处理对土壤微生物生物量的影响

2.4 不同施肥处理对土壤理化性状的影响

由表 4 可知,不同施肥处理对土壤理化指标有不同影响。从对照 CK 数据来看,作物种植带走了土壤大量的养分,已造成土壤养分的亏空,而长期施肥均能够显著提高土壤有机碳、全氮、速效磷和速效钾含量。处理 T_1 和 T_4 的有机碳和全氮含量差异不显著,速效磷和速效钾含量差异显著;处理 T_2 和 T_3 对土壤理化指标影响最为明显,各项均显著高于 T_1 和 T_4 ,表明长期有机无机肥配施比单施无机肥和有机肥更能够补充土壤养分容量库,培肥地力的作用更加突出。从土壤养分长期的收支平衡方面来看,有机无机肥配施是提高土壤肥力的较好施肥模式。

越高,而后期有机无机肥配施占优势。

玉米生育期内,不同施肥处理的土壤微生物生物量氮(SMBN)与 SMBC 变化情况基本一致(图 1B),且施肥处理均显著高于对照,变化趋势为:拔节期较低,随生育期推进,逐渐升高,抽雄期达到巅峰,之后回落。抽雄期时,处理 T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 分别是 CK 的 7.42、6.25、6.29、3.91 倍,随后均有不同程度回落。与 SMBC 相似,前期高量有机肥能明显提高 SMBN,后期配施肥效果较明显。以上结果说明秋施有机肥可明显补充土壤有机碳源和氮源,为微生物生长繁殖提供了良好的环境条件和能源,增强其活性^[5,18]。另外,微生物为了维护自身活动需要稳定且均衡的碳氮比,这可能是玉米生育期中 SMBC 和 SMBN 变化一致的原因之一^[1,3]。



长期施肥后,各个处理土壤容重不同,且处理之间有一定差异性。土壤容重由大到小排列为处理 $T_4 > CK > T_2 \approx T_3 > T_1$, T_4 比 CK 高出了 3.11%,而 T_1 、 T_2 和 T_3 分别比 CK 降低了 4.88%、3.21%和 3.22%,表明长期施用无机肥耕层土壤有硬化趋向,这和李强等^[19]研究结论一致,而有机肥可明显降低土壤容重,量越高,效果越明显。另外,从土壤总孔隙度数据来看,单施无机肥处理降低了该指标,而有机肥处理均可不同程度地提高该指标,以 T_1 最突出,分别比 T_4 和 CK 提高 7.56%和 6.36%;处理 CK 略高于 T_4 ,但二者差异不显著,这与张辉等^[20]研究结果相同。总体来看,施用有机肥对土壤总孔隙度的影响程度强于土壤容重。

表 4 不同施肥处理对土壤理化性状的影响

处理	有机碳/ (g · kg ⁻¹)	全氮/ (g · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)	有机碳/ 全氮	土壤容重/ (g · cm ⁻³)	土壤总 孔隙度/%
T_1	8.47c	1.02c	19.37d	165.47c	8.31a	1.23d	52.51a
T_2	12.18a	1.49a	41.56a	263.75a	8.19a	1.25c	51.91a
T_3	11.36b	1.41b	37.84b	246.79b	8.07a	1.25c	50.59ab
T_4	8.45c	1.01c	26.32c	194.56c	8.37a	1.33a	48.82b
CK	6.32d	0.79d	12.14e	119.47d	8.04a	1.29b	49.37b
试验前	6.83	0.84	15.32	130.2	8.13	1.28	50.12

2.5 不同施肥处理对玉米产量的影响

从 2014—2015 年的玉米产量(表 5)来看,同对照相比,施肥均可明显提高玉米产量,但不同年限有一定的差异。2 年的玉米平均产量结果表明,处理 T₂ 和 T₃ 产量分别比 T₁,T₄ 和 CK 增加 3 686. 37 kg/hm²,444. 09 kg/hm²,5 905. 41 kg/hm²,3 491. 21 kg/hm²,248. 93 kg/hm²,5 710. 24 kg/hm²;各处理两年产量结果表明,施肥均显著高于不施肥(CK),并且通过计算可知,两年中不同施肥处理相对 CK 的增产率均以 T₂ 或 T₃ 最高,T₄ 次之,T₁ 较低;2015 年相比 2014 年,包括 CK 在内,各处理均有不同程度的增产,但有机肥处理比无机肥增产效果明显,表明长期秋施有机肥增产性较强。处理 T₄ 两年产量均高于 T₁,这可能跟无机肥在玉米关键生育期时能够提供充足的速效养分和有机肥试验时间短有关,充分说明了短期内有机肥不可完全替代无机肥。总体来看,有机无机肥配施是玉米增产的良好施肥方案,其比例以 30% : 70%最佳。

表 5 不同施肥处理对不同年限玉米产量的影响

年份	处理				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	CK
2014	4108. 62c	8415. 12a	7677. 37b	8272. 84a	3324. 25d
2015	8747. 08d	11813. 32ab	12160. 76a	11067. 41bc	5093. 38e
总和	12855. 70	20228. 44	19838. 13	19340. 25	8417. 63
平均	6427. 85	10114. 22	9919. 06	9670. 13	4208. 82

3 讨论

本研究结果表明,不同施肥处理三类微生物数量随玉米生育期变化不同,玉米抽雄期是微生物数量变化的转折点,原因可能是此期气温较高、降雨量充沛,加上玉米生长最旺盛,根际活性最强,对土壤微生物产生强烈影响^[2,16]。长期秋季有机无机肥配施(处理 T₂ 和 T₃)土壤的细菌和放线菌所占比例较大,真菌处于绝对劣势,土壤微生物群落以细菌和放线菌为主,为细菌型土壤,这和一些春季有机无机肥配施研究结果一致^[2,4],但也有其他研究^[3,21]认为,春季有机无机肥配施对细菌和放线菌影响不大,而有利于真菌群落结构的形成,其原因可能是:有机无机肥配施比例不同,造成 C/N 营养差异,有益于真菌繁殖;长期施用无机肥造成土壤偏酸,为真菌生长创造条件。从对照(CK)微生物数量可知,在贫瘠的土壤中,真菌较细菌和放线菌有更强的适应能力,这和其他有机无机肥配施研究结果相符^[4]。本试验表明,不同施肥处理和玉米不同生育期以及二者交互显著影响了土壤酶活性。其中土壤脲酶受有机无机肥配施的影响较大,

贯穿整个玉米生育期,有机无机肥配施与单施有机肥和无机肥脲酶活性差异显著,主要原因是配施后更加促进底物快速诱导提高了土壤脲酶活性;其次与微生物活动加剧有关。有机无机肥配施处理下,玉米根部吸收氮素转化为蛋白质的过程中需要消耗大量的糖类,糖代谢和微生物合成作用旺盛,从而刺激了蔗糖酶活性增强,这与陈宵宇等^[22]的研究结果一致。

本试验中,相比对照(CK),长期施肥均能够明显增加土壤微生物生物量,这和其他研究结果相符^[8,23]。前期高量有机肥有助于土壤微生物生物量的提高,而后期有机无机肥配施则体现出巨大优越性,这与有些春施有机肥研究^[3,24]结果不同,可能与土壤质地、降雨量、施肥量以及施肥年限不同等因素有关。总体来讲,秋施有机肥提高土壤微生物生物量效果较明显,其原因可能在于:长期施入有机肥,带入大量微生物和多种微量元素,有效降低了土壤容重,减缓土壤板结,促进土壤酸碱平衡,加速土壤团聚体的形成,改善土壤理化性质,使微生物活性大大提高;有机无机肥配施发挥了有机肥的缓效持久和无机肥的速效等优势,玉米粗壮,根系分泌物大增,显著促进微生物生长,而单施有机肥和无机肥各有缺点,相对来讲,微生物活性受限。

从表 3 可知,单施有机肥和无机肥对土壤有机碳和全氮等养分的影响无显著差异,而有机无机肥配施在提高土壤全量和速效养分方面占据明显优势,且配施比例以 30% : 70%最好,其原因在于:秋施有机肥在经过秋、冬、春三季的冻融循环过程后,经微生物活动促进了部分土壤水稳性团粒结构的形成,土壤容重降低,通气性提高,土壤蓄水保肥能力增强,后配施无机肥,又经过夏季的高温多雨,微生物活动加剧和玉米根系逐渐粗壮,进一步加强了有机物质的分解和矿物质养分的转化,使土壤中的氮、磷、钾等元素增加,土壤养分的有效性也有所提高,从而保证了土壤中水、肥、气、热的协调能力,提高土壤保水、保肥、供肥的能力,改善土壤理化性状,而单施有机肥和无机肥各有缺点,优越性不完整,充分表明秋季有机肥和无机肥配施才可大幅度提高土壤肥力,而单施效果不明显,这与侯红乾等^[25]春施有机肥的研究结果相似,但秋施增加的幅度大于春施,这可能是研究区域的不同气候和土壤类型、施肥种类等因素综合作用的结果;有其他研究^[26]指出,土壤容重的降低和总孔隙度的增大标志着土壤全量养分的提高,这与本试验研究结果有出入,仍需进一步加强秋施有机肥对土壤物理性状影响的研究。

为了更深入地了解秋施有机肥对土壤生物学特性以及土壤理化性状等指标的影响,还需进行大范围的

长期定位试验,以排除如试验时间短、自然灾害、土壤类型不同、人为破坏等外部因素对试验结果的影响。

4 结论

(1) 玉米生育期内,长期施肥均可显著提高土壤微生物数量,其中有机无机肥配施和单施有机肥对细菌与放线菌数量提高较明显,而单施无机肥和不施肥在一定程度上有利于真菌生长。

(2) 受土壤微生物、降雨量、气温、施肥等综合作用,土壤微生物生物量和酶活性在玉米生育期内变化趋势不尽相同,但大致上在玉米生长较旺盛期(如抽雄期)相对较高;其中脲酶和蔗糖酶受有机无机肥配施影响较大,单施有机肥和无机肥差异不明显,而生育前期单施有机肥更有助于土壤微生物生物量的提高,后期以配施效果突出。

(3) 长期秋施有机肥降低了土壤容重,提高了总孔隙度百分比,量越大,效果越明显;有机无机肥配施显著提高了土壤全量和速效养分含量,培肥地力明显;两年产量数据表明,秋施有机肥稳产性较好,有机无机肥配施增产效果显著,以 30% : 70% 最佳。

参考文献:

- [1] 王芳,张金水,高鹏程,等.不同有机物料培肥对渭北旱塬土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(3):702-709.
- [2] 祝英,王治业,彭铁楠,等.有机肥替代部分化肥对土壤肥力和微生物特征的影响[J].土壤通报,2015,46(5):1161-1167.
- [3] 贾伟,周怀平,解文艳,等.长期有机无机肥配施对褐土微生物生物量碳、氮及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(4):700-705.
- [4] 陆海飞,郑金伟,余喜初,等.长期无机有机肥配施对红壤性水稻土微生物群落多样性及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(3):632-643.
- [5] 姬景红,李杰,李玉影,等.优化施肥对设施土壤微生物生物量碳氮的影响[J].黑龙江农业科学,2013,12(9):31-35.
- [6] 陈琳,赵陟峰,赵廷宁,等.基于因子与聚类分析的不同林分土壤理化性质评价[J].水土保持研究,2011,18(5):191-196.
- [7] 张喜,王莉莉,刘延惠,等.喀斯特天然林植物多样性指数和土壤理化指标的相关性[J].生态学报,2016,36(12):1-12.
- [8] 崔嵘,邹莉,于洋,等.小兴安岭红松林土壤酶活性与土壤理化性质的时空变化[J].东北林业大学学报,2016,44(8):49-54.

- [9] 彭东海,侯晓龙,何宗明,等.金尾矿废弃地不同植被恢复模式对土壤理化性质的影响[J].水土保持学报,2015,29(6):137-142.
- [10] 荆瑞勇,曹焜,刘俊杰,等.东北农田黑土土壤酶活性与理化性质的关系研究[J].水土保持研究,2015,22(4):132-137.
- [11] 秀艳,李文,赵培军.秋施不同种类有机肥及用量对树莓产量的影响[J].园艺与种苗,2011(6):74-75.
- [12] 吴金水,林启美,黄巧云,肖和艾.土壤微生物生物量测定方法及其应用[M].北京:气象出版社,2006.
- [13] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Methods for Studying Soil Microbial[M]. Beijing: Science Press, 1985:12-36.
- [14] Guan S Y. Soil Enzymes and the Research Methods [M]. Beijing: Agriculture Press, 1983:23-47.
- [15] 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.
- [16] 胡可,王琳,秦俊梅.菌肥与有机无机肥配施对石灰性土壤生化作用强度和微生物数量的影响[J].河南农业科学,2015,44(10):76-80.
- [17] 李娟,赵秉强,李秀英,等.长期不同施肥条件下土壤微生物量及土壤酶活性的季节变化特征[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1093-1099.
- [18] 臧逸飞,郝明德,张丽琼,等.26年长期施肥对土壤微生物量碳、氮及土壤呼吸的影响[J].生态学报,2015,35(5):1445-1451.
- [19] 李强,许明祥,齐治军.长期施用化肥对黄土丘陵区坡地土壤物理性质的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(1):103-109.
- [20] 张辉,李维炯,倪永珍.生物有机无机复合肥对土壤性质的影响[J].土壤通报,2006,37(2):273-277.
- [21] 丁伟,叶江平,蒋卫,等.长期施肥对植烟土壤微生物的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(5):1168-1176.
- [22] 陈宵宇,周连仁,刘妍.有机无机肥配施对黑土酶活性及作物产量的影响[J].东北农业大学学报,2012,43(2):88-91.
- [23] 何瑞清,王百群,张燕.耕作与施肥对甘蔗地土壤微生物量碳、氮的影响[J].水土保持研究,2015,22(5):118-121.
- [24] Powers J S. Changes in soil carbon and nitrogen after contrasting land-use transitions in northeastern Costa Rica[J]. Ecosystems, 2004,7(2):134-146.
- [25] 侯红乾,刘秀梅,刘光荣,等.有机无机肥配施比例对红壤稻田水稻产量和土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2011,44(3):516-523.
- [26] 梁利宝,许剑敏,张小红.菌肥与有机无机肥配施对北方石灰性土壤物理性质的影响[J].灌溉排水学报,2014,33(6):105-108.