

配施有机肥减氮对川中丘区土壤微生物量与酶活性的影响

王兴龙, 朱敏, 杨帆, 豆攀, 张嘉莉, 马晓君, 袁继超, 孔凡磊

(四川农业大学农学院, 农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 成都 611130)

摘要: 通过田间减施氮肥试验, 设置减氮 20% + 不施有机肥 (N_1O_0), 减氮 20% + 普通有机肥 (N_1O_1), 减氮 20% + 生物有机肥 (N_1O_2), 减氮 40% + 不施有机肥 (N_2O_0), 减氮 40% + 普通有机肥 (N_2O_1), 减氮 40% + 生物有机肥 (N_2O_2) 处理, 以不施肥 (CK_0) 和全氮 100% (N_{100}) 为对照, 研究配施有机肥减氮对川中丘区玉米土壤微生物量碳、土壤酶活性及玉米产量的影响, 为玉米生产减氮增效提高玉米氮素利用率提供理论依据。结果表明: 随施氮量减少土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性及微生物量碳含量逐渐降低, 较 N_{100} 相比, N_1O_0 、 N_2O_0 分别吐丝期微生物量碳降低 25.6、35.08 mg/kg; 大喇叭口期脲酶降低 11.1% 和 14.1%; 蔗糖酶降低 30.4%、97.1%; 产量降低 921.98、1719.62 kg/hm²。配施有机肥提高了土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性及微生物量碳含量和玉米产量。与 N_1O_0 相比 N_1O_1 、 N_1O_2 , 土壤微生物量碳增加 38.57% 和 54.45%; 脲酶活性提高 9.73% 和 14.82%; 蔗糖酶提高 42.75% 和 64.26%; 过氧化氢酶提高 11.05% 和 11.93%; 增产 2% 和 6%, 且 N_1O_2 较 N_1O_1 产量提高 4.0%。配施生物有机肥减氮 20% 降低了玉米秃尖长、增加了穗长、穗粒数、百粒重, 玉米产量为 8710.83 kg/hm²。土壤微生物量碳、酶活性与玉米产量呈显著或极显著相关。说明配施生物有机肥减氮 20%, 可以提高玉米生育期土壤微生物量碳、土壤酶活性, 改善植株根系生长环境, 促进玉米产量增加。

关键词: 减氮; 有机肥; 土壤微生物量碳; 土壤酶; 玉米产量

中图分类号: S147.22

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)03-0271-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.03.045

Effects of Reducing Nitrogen and Applying Organic Fertilizers on Soil Microbial Biomass Carbon and Enzyme Activity in the Hilly Area of Central Sichuan Basin

WANG Xinglong¹, ZHU Min¹, YANG Fan¹, DOU Pan¹,

ZHANG Jiali¹, MA Xiaojun¹, YUAN Jichao¹, KONG Fanlei¹

(College agronomy of Sichuan Agricultural University/Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Southwest China, Ministry of Agriculture, Chengdu 611130)

Abstract: Two random block experiments were conducted to study the effects of reducing nitrogen and applying organic fertilizers on soil microbial biomass carbon and enzyme activity in the hilly area of central Sichuan basin. The treatments included different types of organic fertilizers and different application rates of nitrogen fertilizers (reducing 20% of nitrogen + without organic fertilizer N_1O_0 , reducing 20% of nitrogen + ordinary organic fertilizer N_1O_1 , reducing 20% of nitrogen + biological organic fertilizer N_1O_2 , reducing 40% of nitrogen + without organic fertilizer N_2O_0 , reducing 40% of nitrogen + ordinary organic fertilizer N_2O_1 , reducing 40% of nitrogen + biological organic fertilizer N_2O_2). Two control treatments (CK_0 : No fertilizer; N_{100} : Nitrogen 100%) was established in order to study the effects of reducing nitrogen on increasing benefits and raising the utilization efficiency of nitrogen. The results showed that with the decrease of nitrogen fertilizer application rate (N_1O_0 , N_2O_0), the activities of soil urease, invertase and catalase, and the contents of microbial biomass carbon showed decreasing trends. Compared with N_{100} , N_1O_0 and N_2O_0 the content of microbial biomass carbon was decreased by 25.6 mg/kg and 35.08 mg/kg at the silking stage; the urease activity was decreased by 11.1% and 14.1%, and the invertase activity was decreased by 30.4% and 97.1% at the big trumpet

收稿日期: 2016-12-08

资助项目: 重点研发计划粮食丰产增效科技创新项目(2016YFD0300307); 公益性行业(农业)科研专项(20150312705)

第一作者: 王兴龙(1991—), 男, 硕士研究生, 主要从事作物高产优质高效栽培理论与技术研究。E-mail: 674961345@qq.com

通信作者: 孔凡磊(1985—), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事农作制度与作物生理生态研究。E-mail: kflstar@163.com

stage. The yield was decreased by 921.98 kg/hm² and 1 719.62 kg/hm², respectively. The experiment also showed that using organic fertilizers could increase the activities of soil urease, invertase and catalase, the contents of microbial biomass carbon content and grain yield. Compared with N₁O₀, the contents of microbial biomass carbon was increased by 38.57% and 54.45%, the activity of urease was increased by 9.73% and 14.82%, the activity of invertase was increased by 42.75% and 64.26%, and the activity of catalase was increased by 11.05% and 11.93%, and the yield was increased 2% and 6% by N₁O₁ and N₁O₂, respectively, with N₁O₂ increasing the yield by 4% more than N₁O₁. Reducing 20% of nitrogen and using organic fertilizers reduced bare top length, increased spike length, ear rows, 100 kernel weight and grain yield. The correlation between the content of soil microbial biomass carbon, the activities of soil enzyme and the yield was significant or extremely significant. Reducing 20% of nitrogen fertilizer and applying biological organic fertilizer could not only improve maize yield, biomass carbon, soil enzyme activity significantly, but also improve the condition of plant root growth to promote maize yield in the upper dome area under poor siltstone soil conditions.

Keywords: reducing nitrogen; organic fertilizer; soil microbial biomass carbon; soil enzyme; yield

玉米是我国第一大粮食作物,用途广、需求量大,提高玉米产量对确保我国粮食安全具有重要意义^[1]。21世纪以来我国成为氮肥需求量最大的国家,在占世界9%的耕地上消耗了超过30%的氮肥^[2]。过量施用氮肥,不仅导致作物易倒伏、贪青晚熟、产量品质显著下降,还会降低氮肥利用效率,造成大量的氮肥流失,增加生产成本和造成环境污染^[3-4]。为发展生态农业达到增产增效的目的,提出以有机肥代替化肥的解决措施^[5-6]。有机肥富含大量有益菌和供作物生长所需微量元素,可均衡土壤养分,释放土壤固定态元素,特别是在改善土壤结构和保护农业生态环境方面具有化肥不可替代的作用。有机肥不仅直接增加土壤有效养分和改善土壤理化性质,还对土壤的生物和生物化学特性有明显的影响^[7],施用有机肥料可以显著提高土壤酶活性^[8-10]。Böhme等^[11]研究发现,施用有机肥后,土壤有机碳含量上升,微生物碳量显著增加。

配施有机肥减氮是减少氮肥用量,提高作物氮素利用的有效措施。近年来,单施有机肥^[7,12]或有机肥与化肥配施^[13-14]试验研究报道很多,研究不同种类的有机肥及配施有机肥减氮对川中丘区土壤理化性质的影响鲜见报道,配施有机肥减氮增效的机理不明,缺乏有关土壤生物活性特性的研究。本文通过田间试验,研究配施有机肥减氮对土壤微生物量碳含量、酶活性及玉米产量的影响,以期明确配施有机肥减氮增效的土壤生物学机制,为玉米生产减施氮肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2016年4月1日,在四川省德阳市中江县新建村(104° 63' E, 30° 95' N)进行,平均海拔625.3 m,最高海拔982 m,该地属亚热带季风性气候,年降水量882.5 mm,年均气温16.7℃,无霜期286 d。土壤类

型为紫色黏质土,耕层(0—20 cm)土壤pH 7.55,有机质11.43 g/kg,全N 1.07 g/kg,全P 0.15 g/kg,全K 5.00 g/kg,碱解氮32.89 mg/kg,速效磷3.86 mg/kg,速效钾131.03 mg/kg。

1.2 试验材料

供试品种:正红505(四川农大正红生物技术有限责任公司)。供试肥料:尿素(氮≥46%)、氯化钾(K₂O≥52%)、过磷酸钙(P₂O₅≥12%),生物有机肥、普通有机肥(成都盖尔盖斯生物科技有限公司),普通有机肥养分组成有机质44.98 g/kg,全N 1.09%,全P 1.11%,全K 0.24%,生物有机肥养分组成有机质63.25 g/kg,全N 1.22%,全P 2.24%,全K 1.47%,有效活菌数≥0.2亿/g。

1.3 试验设计

试验采用两因素随机区组试验设计,设减氮20%(N₁)和减氮40%(N₂)2个水平,设不配施有机肥(O₀)、普通有机肥(O₁)、生物有机肥(O₂)3个水平,不施肥(CK₀)、全氮N100%(N₁₀₀)2个对照试验,每个处理重复3次,24个小区,小区面积21 m²(长7 m,宽3 m)。覆膜直播(穴播3粒再定苗),单株栽培,种植密度为49 500株/hm²。肥料全部一次基施;其他栽培措施按当地高产要求进行,小区间保持一致。具体试验处理见表1,施肥处理:全氮100%(N 270 kg/hm²)、减氮20%(N 216 kg/hm²)、减氮40%(N 162 kg/hm²),生物有机肥(1500 kg/hm²)、普通有机肥(1500 kg/hm²),各处理磷(P₂O₅ 75 kg/hm²)、钾(K₂O 90 kg/hm²)用量相同,包括通过有机肥施入的磷、钾。

1.4 样品采集及测定指标

在玉米拔节期(2016年5月10日)、大喇叭口期(2016年6月2日)、吐丝期(2016年6月18日)、成熟期(2016年7月31日)采集0—20 cm土样,取样

时将每个小区平均划分为 3 个区域采集 5 个样点。样品带回实验室后手工拣去植物残体、砾石等, 过 2 mm 筛, 将一部分土样保存在 4 ℃ 冰箱中用于测定土壤微生物量碳, 剩余部分风干过 1 mm 筛测定土壤酶活性。土壤酶活性的测定根据关松荫的方法^[15], 土壤脲酶活性(活性用 24 h 后每克土中铵态氮的毫克数表示)、蔗糖酶活性(活性用 24 h 后每克土中葡萄糖的毫克数表示)、过氧化氢酶活性(活性以每分钟每克土消耗的 0.1 mol/L KMnO₄ 溶液的体积(mL))表示, 分别采用苯酚钠一次氯酸钠比色法、3,5-二硝基水杨酸比色法、高锰酸钾滴定法测定。土壤微生物量碳采用氯仿熏蒸浸提法^[16-17]测定。收获前, 调查小区内收获穗数, 均重法选取 20 个果穗考察穗长, 穗粗, 秃尖长, 穗行数, 行粒数, 百粒重等, 按小区实收计产。

表 1 试验设计 单位: kg/hm²

处理	尿素	有机肥料	过磷酸钙	氯化钾
CK ₀				
N ₁₀₀	586.96		625.07	172.94
N ₁ O ₀	469.76		625.07	172.94
N ₁ O ₁	469.76	1500	591.25	169.61
N ₁ O ₂	469.76	1500	591.25	169.61
N ₂ O ₀	352.08		625.07	172.94
N ₂ O ₁	352.08	1500	591.25	169.61
N ₂ O ₂	352.08	1500	591.25	169.61

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 软件处理数据与作图, DPS v7.05 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对玉米不同生育期土壤微生物量碳的影响

土壤微生物量碳是土壤碳的周转与贮备库, 是土壤有效碳的重要来源, 是评价土壤养分有效性和土壤微生物状况的敏感指标。由表 2 可知, 施氮和施用有机肥均显著提高了土壤微生物量碳含量, 氮肥与有机肥配施对吐丝期土壤微生物量碳的互作效应达显著水平($p<0.01$)。减氮显著降低了土壤微生物量碳含量, 配施有机肥减氮则显著增加了土壤微生物量碳含量。土壤微生物量碳随施氮量的减少而降低, 吐丝期 N₁O₀ 和 N₂O₀ 较 N₁₀₀ 降低了 25.6, 35.08 mg/kg, N₁O₂ 和 N₁O₁ 处理土壤微生物量碳较 N₁O₀ 增加了 54.45%, 38.57%, N₂O₂ 和 N₂O₁ 处理土壤微生物量碳比 N₂O₀ 增加了 45.95%, 33.68%。配施生物有机肥土壤微生物量碳明显高于普通有机肥, 减氮 20% 处理下, N₁O₂ 土壤微生物量碳较 N₁O₁ 平均提高 11.75%; 减氮 40% 处理下, N₂O₂ 土壤微生物量碳较 N₂O₁ 平均提高 11.97%。减氮 20% 配施有机肥能够显著提高土壤微生物量碳, 且配施生物有机肥效果最佳。

2.2 不同施肥处理对玉米不同生育期土壤脲酶的影响

脲酶的酶促反应产物氨是植物氮源之一, 其活性可以表示土壤氮素状况。由图 1 可知, 不同施肥处理土壤脲酶活性在各生育期呈先升高后降低的动态变化, 大喇叭口期达到相对峰值。不同施肥处理显著提高土壤脲酶活性, 各生育期脲酶活性均表现为 N₁O₂ 处理最高, 不施肥处理 CK₀ 最低。大喇叭口期 N₁₀₀, N₁O₀, N₁O₂, N₁O₁, N₂O₀, N₂O₁, N₂O₂ 脲酶活性与 CK₀ 相比, 增幅为 11.48%~31.37%。大喇叭口期随施氮量的减少, 土壤脲酶活性降低, N₁O₀ 和 N₂O₀ 处理较 N₁₀₀ 降低了 11.1% 和 14.1%。大喇叭口期 N₁O₂ 和 N₁O₁ 处理脲酶活性较 N₁O₀ 提高了 14.82% 和 9.73%; 且 N₁O₂ 较 N₁O₁ 提高了 4.63%。大喇叭口期 N₂O₁ 和 N₂O₂ 脲酶活性较 N₂O₀ 增加了 6.03% 和 2.07%; 且 N₂O₂ 较 N₂O₁ 增加了 3.48%。配施有机肥减氮 20% 能够显著提高土壤脲酶活性, 且配施生物有机肥效果最佳。

表 2 不同施肥处理土壤微生物量碳的影响

单位: mg/kg				
处理	拔节期	吐丝期	成熟期	
CK ₀	49.73d	79.27d	70.70c	
N ₁₀₀	85.72ab	120.13bc	95.93b	
N ₁ O ₀	62.57d	94.53bcd	82.61c	
N ₂ O ₀	54.57d	85.05cd	74.15c	
N ₁ O ₁	83.27bc	142.21a	109.24a	
N ₁ O ₂	104.30a	148.71a	115.13a	
N ₂ O ₁	64.83cd	108.91b	104.41ab	
N ₂ O ₂	83.36bc	113.48b	107.32ab	
N	6.62*	19.65**	4.69	
F 值	O 11.06**	23.18**	40.26**	
N×O	0.42	8.29*	0.12	

注: 不小写字母分别表示同类处理间差异达到显著水平($p<0.05$); * 表示显著相关($p<0.05$); ** 表示极显著相关($p<0.01$)。下同。

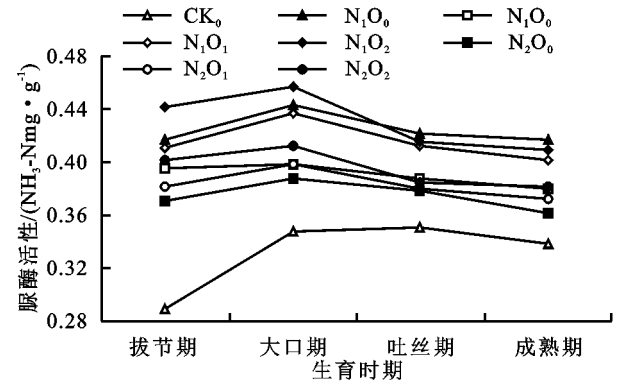


图 1 不同施肥处理对土壤脲酶活性的影响

2.3 不同施肥处理对玉米不同生育时期土壤蔗糖酶的影响

蔗糖酶又名转化酶, 参与土壤中碳水化合物的转

化,对增加土壤中易溶性营养物质起着重要的作用。由图 2 可知,土壤蔗糖酶变化与土壤脲酶相同。不同施肥处理均提高了土壤蔗糖酶活性,其表现为 $N_1O_2 > N_1O_1 > N_{100} > N_1O_0 > N_2O_2 > N_2O_1 > N_2O_0 > CK_0$ 。大喇叭口期 N_{100} , N_1O_0 , N_1O_2 , N_1O_1 , N_2O_0 , N_2O_1 , N_2O_2 蔗糖酶活性与 CK_0 相比,增幅为 3.6%~157.54%。大喇叭口期 N_1O_2 和 N_1O_1 较 N_1O_0 提高了 64.26%和 42.75%; N_1O_2 处理较 N_1O_1 处理提高了 15.06%。大喇叭口期 N_2O_2 和 N_2O_1 蔗糖酶活性较 N_2O_0 增加了 26.88%和 21.05%;且 N_2O_2 处理较 N_2O_1 处理增加了 4.81%。施肥可以提高土壤蔗糖酶活性,减施氮肥与有机肥配施对蔗糖酶活性促进效果最明显,配施生物有机肥减氮 20%对蔗糖酶活性的促进效果最优。

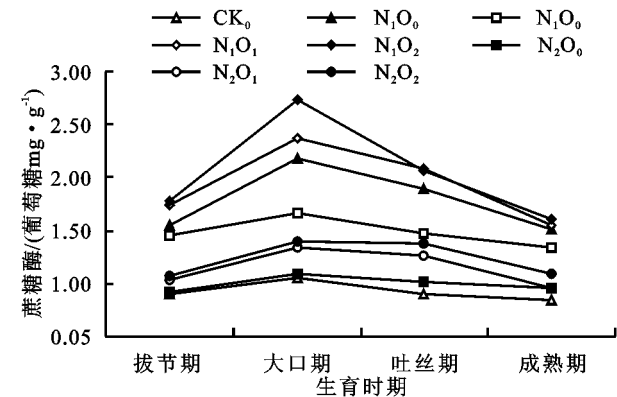


图 2 不同施肥处理对土壤蔗糖酶活性的影响

2.4 不同施肥处理对玉米不同生育期土壤过氧化氢酶的影响

过氧化氢酶是表征土壤生物氧化过程强弱的氧化还原酶。由图 3 可知,不同施肥处理土壤过氧化氢酶活性在各生育期呈先升高后降低的动态变化趋势,吐丝期达到相对峰值。各生育时期 N_1O_2 、 N_1O_1 处理土壤过氧化氢酶都处于最高值,说明化肥适当减量并辅以有机肥仍可以使土壤过氧化氢酶活性维持在较高的水平,减少过氧化氢对植株毒害作用。吐丝期 N_1O_1 和 N_1O_2 较 N_{100} 提高了 6.05%和 6.89%,较 N_1O_0 提高了 11.05%和 11.93%;成熟期 N_1O_1 和 N_1O_2 较 N_{100} 提高 6.6%和 8.7%,较 N_1O_0 提高了 9.81%和 12.09%。其他处理各生育期土壤过氧化氢酶活性变化差异不明显。配施生物有机肥土壤过氧化氢酶明显高于普通有机肥,减氮 20%处理下, N_1O_2 土壤过氧化氢酶较 N_1O_1 平均提高了 0.87%;减氮 40%处理下, N_2O_2 土壤过氧化氢酶较 N_2O_1 平均提高了 0.29%。适当氮肥减施配合有机肥可提高土壤过氧化氢酶活性,配施生物有机肥减氮 20%处理,土壤过氧化氢酶活性最强。

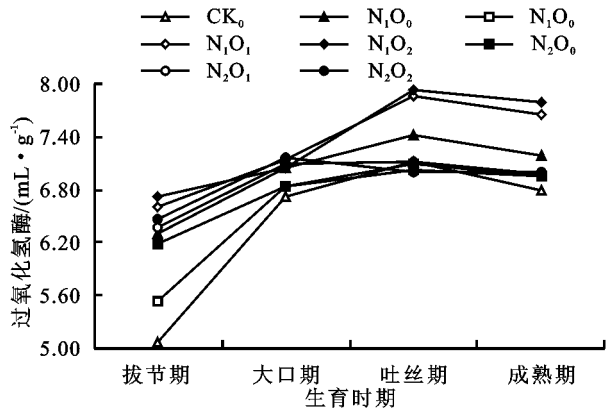


图 3 不同施肥处理对土壤过氧化氢酶活性的影响

2.5 不同施肥处理对玉米产量及产量构成的影响

由表 3 可知,肥料组合对玉米产量及产量构成存在显著影响。有机肥对玉米穗长、秃尖长、百粒重、产量的影响均达极显著水平;施氮对玉米穗长,百粒重,产量,秃尖长,穗粒数的影响均数达到显著或极显著水平。玉米产量整体变化趋势 $N_1O_2 > N_1O_1 > N_{100} > N_1O_0 > N_2O_2 > N_2O_1 > N_2O_0 > CK_0$ 。 N_1O_2 、 N_1O_1 处理降低了玉米秃尖长,提高了穗长,穗粒数,百粒重和产量,分别较 CK_0 秃尖长降低了 50.7%,52.9%;穗长提高了 46.8%,44.8%;穗粒数提高了 123.1%,119.8%;百粒重提高了 15.8%,13.1%;产量增加了 294.7%,279.7%。 N_1O_2 、 N_1O_1 处理与 N_{100} 相比产量增加了 6.0%,2.0%。 N_1O_2 、 N_1O_1 分别较 N_1O_0 玉米产量提高了 19.4%,14.8%; N_2O_2 、 N_2O_1 分别较 N_2O_0 提高了 7.9%,7.0%。减氮 20%、40%处理下,生物有机肥玉米穗部性状和产量都高于普通有机肥处理。氮肥适当减施并配施有机肥有助于降低玉米秃尖长、提高玉米的穗长、穗粒数、百粒重,从而提高了产量,其配施生物有机肥增产效果优于普通有机肥。

表 3 不同施肥处理对玉米产量及产量构成的影响

处理	穗长/cm	秃尖/cm	穗粒数/粒	百粒重/g	产量/ (kg·hm ⁻²)
CK ₀	12.61d	1.34a	329.97d	20.82e	2206.83e
N ₁₀₀	18.17a	0.69bc	731.49ab	23.31ab	8215.04b
N ₁ O ₀	17.65ab	0.97abc	676.73abc	22.87abc	7293.06c
N ₂ O ₀	16.43c	1.00ab	627.57bc	21.18de	6495.42d
N ₁ O ₁	18.26a	0.63bc	725.43a	23.55ab	8699.20ab
N ₁ O ₂	18.52a	0.66c	736.28a	24.13a	8710.83a
N ₂ O ₁	16.70bc	0.82abc	645.17c	21.30cde	7345.92c
N ₂ O ₂	17.78ab	0.75abc	694.07abc	22.47bcd	8006.90bc
N	45.39**	6.34*	7.48*	85.48**	41.37**
F 值	O 13.75**	19.05**	2.75	13.93**	33.02**
N×O	1.9	0.95	0.70	0.88	1.08

2.6 土壤微生物量碳、酶活性与产量的相关性

由表 4 可知,玉米产量与土壤微生物量碳、土壤酶之间呈显著线性相关。各生育期土壤脲酶与产量均呈极显著正相关,土壤微生物量碳与玉米产量呈显著正相关;拔节期与吐丝期土壤蔗糖酶与玉米产量呈

显著正相关;拔节期与大口期过氧化氢酶与玉米产量呈极显著正相关或显著正相关。拔节期土壤微生物量碳、土壤酶与产量均呈极显著相关,且相关系数相对较高。可以看出不同施肥处理在拔节期对玉米产量的影响较大,说明通过不同施肥措施改善玉米种植土壤质量,提高土壤肥力,对玉米产量的提高具有重要作用。

表 4 土壤微生物量碳、酶活性与产量之间的相关系数

土壤指标	相关系数		
	拔节期	大口期	吐丝期
土壤微生物量碳	0.73 [*]	0.68 [*]	0.69 [*]
土壤脲酶	0.97 ^{**}	0.87 ^{**}	0.83 ^{**}
土壤蔗糖酶	0.68 [*]	0.66	0.73 [*]
土壤过氧化氢酶	0.81 ^{**}	0.75 [*]	0.44

3 讨论

施肥能提高土壤微生物量碳含量,且化肥配施有机肥效果更明显,其原因是改善了土壤理化环境,有利于土壤有机质的降解和微生物量碳的增加^[18]。本试验中,各生育期施肥处理土壤微生物量碳呈先升高后降低的变化趋势,主要原因是玉米前期生长旺盛,根系分泌物数量多,导致进入土壤的新鲜有机物质显著增加,刺激土壤微生物的生长和繁殖,致使土壤微生物量碳增加,进而满足植物生长的需要;后期根系吸收速率下降,活化能力下降,土壤微生物活性下降,导致土壤微生物量碳含量下降,这与姜佰文等^[19]、门倩等^[20]研究结果一致。配施有机肥减氮 20%和减氮 40%显著提高了土壤微生物量碳含量且明显高于化肥处理,其变异范围与 Mandal 等^[21]研究结果相近,这可能是施肥直接增加根系分泌物和生物量,加快了土壤微生物生长,配施有机肥不仅增加了土壤养分,而且也为微生物提供了充足的碳源,使土壤微生物碳量明显高于单施氮肥处理。配施生物有机肥减氮 20%土壤微生物量碳达到最高值,主要是生物有机肥中有机质养分高改善了土壤性质、有效活菌数多增加了微生物的数量,刺激土壤微生物的生长和繁殖从而提高了土壤微生物的生物量。

土壤酶活性是表征土壤生物活性和土壤肥力的重要指标。不同施肥处理影响土壤微生物区系构成、生物量和代谢过程,改变土壤酶活性。酶活性会随着施肥种类、管理与耕作方式、作物种类、土壤水分和环境条件的变化而受到影响,施有机肥可增加土壤酶活性^[22-23]。本研究表明,土壤酶随着玉米生长发育其活性自拔节期开始逐渐升高,脲酶、蔗糖酶在大喇叭口期达到活性高峰,而过氧化氢在吐丝期达到活性高峰。施肥处理均提高了土壤酶活性,配施有机肥,土

壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性均显著提高这与门倩等^[20]、夏雪等^[8]、孙甜田等^[24]研究结果一致;配施有机肥虽提高了过氧化氢酶活性但提高幅度较小,与张鹏等^[7]研究结果一致,主要因为过氧化氢酶活性会随着施肥种类、管理与耕作方式、作物种类、土壤水分和环境条件的变化而受到影响。本研究表明,配施有机肥减氮 20%和减氮 40%土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性明显高于不配施有机肥处理,主要是因为有机肥的施入提高了土壤有机质含量,增加了土壤微生物的碳源,促进微生物繁殖,从而增加了土壤酶的保护性位点,刺激了酶活性的提高^[25],有机肥施入改善了土壤物理和化学性质,为微生物提供了良好的环境,加速有机质分解,为土壤酶提供了足够的底物。配施生物有机肥减氮 20%土壤酶活性效果最佳,主要是因为生物有机肥有机质丰富为土壤酶提供更多的底物,其次生物有机肥中有效活菌较多增加了土壤微生物量,提高了微生物活性,参与土壤中物质转化,增加土壤中易溶性营养物质,从而促进土壤酶活性。

产量的提高在一定程度上与施肥种类、数量和配施方式等密切相关^[26]。无机肥料肥效较快,易被作物吸收利用,有机肥分解缓慢,具有长效性,一定比例有机无机肥料配施,可满足作物生长并获得较高产量^[27]。本研究表明,玉米产量随施氮量减少而降低,N₁O₂、N₁O₁处理较 N₁O₀玉米增产 19.4%,14.8%,配施有机肥减氮 20%降低了玉米秃尖长,提高了果穗长度、穗粒数及产量,N₁O₂、N₁O₁处理较 N₁₀₀相比分别增产 6.0%,2.0%,其配施生物有机肥增产较高。相关分析可知,产量与土壤微生物量碳以及土壤酶活性具有相关性,不同施肥处理在拔节期对玉米产量的影响较大,表明土壤微生物量和酶活性与玉米产量提高密切相关,有待进一步研究。

4 结论

(1)玉米生育期间不同施肥模式土壤微生物量碳含量、土壤酶活性总体上均呈先增后降的趋势,且均在玉米长势旺盛时(土壤微生物量碳、土壤过氧化氢酶在吐丝期期,土壤脲酶、土壤蔗糖酶在大喇叭口期)相对较高。减氮 20%与生物有机肥配施,土壤微生物量碳及酶活性达到最高。

(2)玉米产量随施氮量的减少而降低;其中配施有机肥减氮 20%降低了玉米秃尖长,提高了果穗长度、穗粒数及产量,配施有机肥减氮 20%较正常施氮相比分别增产 6.0%,2.0%,其配施生物有机肥增产较高达到 8 710.83 kg/hm²。拔节期不同施肥处理土壤微生物量碳、土壤酶活性对玉米产量的影响较

大,不同施肥措施改善玉米种植土壤质量,提高土壤肥力,对玉米产量的提高具有重要作用。

(3)商品有机肥作为一种新型的肥料和土壤调理剂,有着非常重要的开发和推广利用潜力。不同有机肥在不同地区、不同作物和不同的栽培技术要求环境下作用及施用技术还有待于进行广泛的试验研究。

参考文献:

- [1] 翁凌云.我国玉米生产现状及发展对策分析[J].中国食物与营养,2010(01):22-25.
- [2] 栗丽,洪坚平,王宏庭,等.施氮与灌水对夏玉米土壤硝态氮积累、氮素平衡及其利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(6):1358-1365.
- [3] Ciampitti I A, Vyn T J. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review[J]. Field Crops Research, 2012, 133(4): 48-67.
- [4] Abdelghani A H, Kumar B, Reyesmatamoros J, et al. Genotypic variation and relationships between seedling and adult plant traits in maize (*Zea mays* L.) inbred lines grown under contrasting nitrogen levels[J]. Euphytica, 2013, 189(1): 123-133.
- [5] 刘睿,王正银,朱洪霞.中国有机肥料研究进展[J].中国农学通报,2007,23(1):310-313.
- [6] 杨帆,李荣,崔勇,等.我国有机肥料资源利用现状与发展建议[J].中国土壤与肥料,2010(4):77-82.
- [7] 张鹏,贾志宽,路文涛,等.不同有机肥施用量对宁南旱区土壤养分、酶活性及作物生产力的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(5):1122-1130.
- [8] 宋震震,李絮花,李娟,等.有机肥和化肥长期施用对土壤活性有机氮组分及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(3):525-533.
- [9] Nayak D R, Babu Y J, Adhya T K. Long-term application of compost influences microbial biomass and enzyme activities in a tropical Aerobic Endoaquept planted to rice under flooded condition[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2007, 39(8): 1897-1906.
- [10] Liu Y R, Xiang L I, Shen Q R, et al. Enzyme activity in water-stable soil aggregates as affected by long-term application of organic manure and chemical fertiliser[J]. Pedosphere, 2013, 23(1): 111-119.
- [11] Böhme L, Böhme F. Soil microbiological and biochemical properties affected by plant growth and different long-term fertilisation[J]. European Journal of Soil Biology, 2006, 42(1): 1-12.
- [12] 周桦,马强,姜子绍,等.有机肥用量对玉米体内养分浓度及分配的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(4):647-650.
- [13] 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.
- [14] 张靖,王平,刘淑英,等.有机无机肥配施对甘肃省秦王川灌区蚕豆产量、养分吸收量及肥料利用率的影响[J].干旱地区农业研究,2017,31(1):154-159.
- [15] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [16] 林先贵.土壤微生物研究原理与方法[M].北京:高等教育出版社,2010.
- [17] 吴金水.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.
- [18] 刘恩科,赵秉强,李秀英,等.长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响[J].植物生态学报,2008,32(1):176-182.
- [19] 姜佰文,马晓东,周宝库,等.有机无机肥料配施对土壤酶活性、微生物量及玉米产量影响[J].东北农业大学学报,2016,47(5):23-28.
- [20] 门倩,海江波,岳忠娜,等.化肥减量对玉米田土壤酶活性及微生物量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(6):133-139.
- [21] Mandal A, Patra A K, Singh D, et al. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(18): 3585-3592.
- [22] 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,2007,16(1):191-196.
- [23] 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.
- [24] 孙甜田,范作伟,彭畅,等.长期定位施肥对玉米生育期内土壤酶活性的影响[J].玉米科学,2015,23(3):112-118.
- [25] Gianfreda L, Ruggiero P. Enzyme activities in soil[M]. Berlin: Springer, 2006.
- [26] 王曙光,许珂,戴其根,等.氮肥运筹对太湖麦区弱筋小麦宁麦9号产量与品质的影响[J].麦类作物学报,2005,25(5):65-68.
- [27] 郝小雨,高伟,王玉军,等.有机无机肥料配合施用对设施番茄产量、品质及土壤硝态氮淋失的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(3):538-547.