

连续 3 年施用生物有机肥对土壤养分、微生物生物量及酶活性的影响^①

田小明^{1,2}, 李俊华¹, 王成^{3*}, 褚贵新¹, 危常州¹, 郑倩¹, 邓世伟¹

(1 石河子大学农学院/新疆兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆石河子 832000; 2 新疆伊犁州草原工作站, 新疆伊宁 835000;

3 新疆农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 乌鲁木齐 830091)

摘要: 通过温室盆栽试验, 研究了连续 3 年在不同土壤中施用不同量的生物有机肥的土壤养分、微生物生物量、酶活性及棉花各器官干物质量的变化。结果表明: 连续 3 年施用生物有机肥, 3 种土壤的养分、酶活性、微生物量和各器官干物质量均有不同程度的提高。随着其用量的增加, 土壤养分、微生物量及脲酶活性也在增加, 土壤 pH 则相反, 土壤蔗糖酶、多酚氧化酶、蛋白酶活性表现先上升后下降的趋势, 且在不同土壤施用生物有机肥 10~30 g/kg 时基本达到最高, 过氧化氢酶活性无显著变化。高、中、低有机质含量的土壤的棉花各器官干物质量分别在施用生物有机肥 10~20、20~30、40 g/kg 时基本达到最高。随着施肥年限的延长, 3 种土壤微生物生物量碳、氮均表现为先降低后升高的趋势, 土壤酶活性则变化差异较大。通过在不同有机质含量土壤中施肥与不施肥比较发现, 本底有机质含量越低的土壤, 施肥较不施肥的土壤养分、脲酶、蔗糖酶、蛋白酶活性及微生物量增加幅度越大。

关键词: 生物有机肥; 微生物生物量; 酶活性; 土壤养分; 棉花干物质量

中图分类号: S153.6; S154.2; S154.3; S144

土壤质量不仅取决于土壤的理化性质, 而且与土壤的生物学性质密切相关。土壤微生物量和酶活性是影响土壤微生态环境的重要因素, 是土壤有机物转化的执行者, 同时还是植物营养元素的活性库^[1-3]。因此探究土壤类型和施肥水平对土壤微生物特性(微生物生物量, 酶活性)的影响、维护和提高土壤质量均具有重要意义。土壤微生物活动和土壤酶促作用是土壤有机质和养分转化的主要驱动力。施肥和其他农艺活动可以显著地造成土壤微生物生物量和酶活性变化, 是土壤质量变化的灵敏指标^[4-5]。相关研究表明, 农业措施会对土壤微生物的数量、组成及活性产生一定的影响, 秸秆还田可以增加土壤微生物生物量碳和一些活跃微生物量^[6], 且添加有机肥料可以显著提高土壤微生物生物量碳、氮的含量以及土壤酶活性, 并且随着有机肥施用量的增大, 效果越加明显^[7]。由于土壤类型以及耕作施肥的复杂多样, 施肥对土壤微生物量和酶活性的影响不尽相同。如在旱作褐土上适量施用氮、磷肥与不施肥相比土壤微生物生物量和相关酶活性均没有显著影响^[8], 而在灌溉褐潮土上, 施

用氮磷钾肥较不施肥土壤显著增加土壤微生物生物量碳、氮和脲酶活性, 但是对过氧化氢酶活性没有影响^[9]。目前关于施肥对土壤微生物生物量和酶活性的影响已经开展了大量的研究, 这些研究多在单一研究地点或较短的试验时间内探讨对土壤微生物的影响, 特别是对生物有机肥的相关研究, 通常忽视了土壤环境和连续施肥等因素对微生物活性的影响。并且在长期施用生物有机肥已造成养分严重富余的情况下, 继续大量施肥对病害土壤微生物生物量和酶活性等影响并不清楚。本研究在新疆石河子地区具有代表性的不同有机质含量的土壤(黄萎病发病严重)上连续 3 年施用不同量的生物有机肥, 利用常规分析方法对土壤微生物量、酶活性及土壤理化性质进行测试分析, 旨在探明在这种特殊的农业生态区连续施肥对不同有机质含量的土壤养分、微生物量及酶活性的变化规律, 揭示不同的生物有机肥用量对 3 种土壤养分及微生物特性(微生物量, 酶活性)的影响, 为改善这种特定农业生态区土壤的生态功能及合理施肥等提供理论参考。

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201103004, 200803031)和石河子大学高层次人才专项(RCZX201132)资助。

* 通讯作者(wangcheng312@sina.com)

作者简介: 田小明(1985—), 男, 新疆昌吉人, 硕士, 研究方向为新型肥料的研制与应用。E-mail: txm7458103@163.com

1 材料与amp;方法

1.1 试验设计

试验于 2009—2011 年在石河子大学试验站温室进行。盆栽试验的 3 个土壤(H, M, L)均来自棉花连作农田,棉花黄萎病发病严重,土壤间有机质含量差异比较大。土壤 H 采自石河子农八师实验场 4 连(86.03°E, 44.19°N), 沼泽潮土, 黏土, 棉花连作 15

年;土壤 M 采自石河子大学农学院试验站(85.59°E, 44.19°N), 灰漠土, 壤土, 棉花连作 13 年;土壤 L 采自石河子农八师 149 团 4 连(85.45°E, 44.46°N), 灰漠土, 砂土, 棉花连作 16 年。土壤采集棉田表层 0~20 cm, 在样田选 10 个样点, 每点取 100 kg 左右土壤混合带回, 剔除杂物, 风干过 5 mm 筛备用, 供试土壤基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤的化学性质
Table 1 Properties of soils in the experiments

土壤	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	有效氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH
H	38.6	1.26	78.1	37.1	250	8.44
M	23.4	0.93	116.5	66.9	233	8.32
L	10.1	0.75	39.9	9.4	302	8.75

试验设 5 个处理,分别为:不施肥(CK),生物有机肥用量 10 g/kg(T1)、20 g/kg(T2)、30 g/kg(T3)、40g/kg(T4)。每个处理 5 次重复。

生物有机肥为南京农业大学植物营养与肥料系研制,江苏新天地氨基酸肥料有限公司生产的“BIO”抗棉花黄萎病生物有机肥。其中有机质含量 300 g/kg,枯草芽孢杆菌 10^8 cfu/g,氮磷钾 80 g/kg,其中氨基酸态氮占总氮的 60% 以上。每次称取 40 kg 土壤,并加入相对应量的生物有机肥,然后分为 5 份,每份留 1 kg 用于播种(10 粒)后覆土,其余分别倒入相应的盆中,在棉花苗期时定植 1 棵。次年再把相应 5 个重复花盆中的土壤倒在一起,碾碎,混匀,称重后不够 40 kg 应补加土壤。种植作物为棉花,供试棉花品种为“新陆早 8 号”。棉花生长期间各处理不追加施肥。在每年棉花收获后采集土样,每次用自制土钻取土面至盆底土壤并保存于 4℃ 冰箱中,用于土壤微生物生物量和酶活性的测定;在连续施肥 3 年后的棉花吐絮期进行取土,并自然风干过 1 mm 和 0.25 mm 筛,用于测定土壤养分。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 土壤养分含量测定 土壤有机质采用重铬酸钾容量法,全氮采用半微量开氏法,全磷采用钼锑抗比色法,碱解氮采用碱解扩散法,速效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,速效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度计法^[10], pH 采用 1:2.5 水浸提液测定。

1.2.2 土壤酶活性的测定 脲酶采用靛酚比色法测定,结果以 24 h 后 1 g 土壤中氨基氮(NH₂-N)的毫克数表示;蔗糖酶采用硫代硫酸钠滴定法测定,其活性以 24 h 后每克土消耗 0.1 mol/L 硫代硫酸钠毫升数表示;过氧化氢酶用高锰酸钾滴定法测定,其活性以

每克土所消耗的 0.1 mol/L KMnO₄ 的毫升数表示;多酚氧化酶活性采用邻苯三酚比色法测定;蛋白酶采用茚三酮比色法测定,土壤蛋白酶活性以 24 h 后 1 g 土壤中酶促反应后生成的甘氨酸毫克数表示^[11]。

1.2.3 土壤微生物生物量的测定 采用氯仿熏蒸浸提法测定^[12]。称取两份新鲜土样(相当于烘干土 25.0 g)于平面皿中,放入真空干燥器内,再放入一只盛有无水乙醇氯仿的小烧杯,真空抽气,氯仿沸腾约 5 min 后,黑暗处熏蒸 24 h,然后反复抽真空以排除氯仿,并用 0.5 mol/L K₂SO₄ 溶液浸提,振荡 30 min,过滤。对照土样不进行熏蒸处理,直接用 0.5 mol/L K₂SO₄ 浸提、振荡和过滤。滤液中的微生物生物量碳、氮含量分别用 C/N 分析仪(TOC Analyzer, Multi C/N 2100, analytikjena, Germany)进行测定。

土壤微生物生物量碳(SMBC) = $2.64 \times EC$; 土壤微生物生物量氮(SMBN) = $EN/0.45$ 。式中,EC 为熏蒸土样用 0.5 mol/L K₂SO₄ 提取的总碳减去不熏蒸土样用 0.5 mol/L K₂SO₄ 提取的总碳。EN 为熏蒸土样用 0.5 mol/L K₂SO₄ 提取的全氮减去不熏蒸土样用 0.5 mol/L K₂SO₄ 提取的全氮。

1.3 数据处理

数据通过 EXCEL 整理后在 SPSS17.0 统计软件中进行单因素方差分析,多重比较通过新复极差法(Duncan 法)和最小显著差异法(LSD 法)两种方法进行分析。

2 结果与分析

2.1 对土壤理化性状的影响

连续 3 年施用生物有机肥显著地改变了土壤理化性质,3 个土壤的 pH 最多分别降低了 0.51、0.58 和 0.39 个单位(表 2)。与之不同,有机质等其余指

标均随生物有机肥施用量提高而显著增加，有机质含量低的土壤，增加的幅度更大。H、M 和 L 3 个土壤有机质含量最多分别增加了 46%、62% 和 73%，全氮分别增加 89%、79% 和 222%，全磷为 34%、55% 和 165%。速效养分增加的幅度更大，碱解氮分解增加了 103%、112% 和 190%，速效磷为 288%、129% 和 969%，速效钾为 106%、208% 和 263%。

2.2 对土壤微生物生物量碳、氮的影响

2.2.1 微生物生物量碳 由表 3 可知，不同有机质含量土壤各施肥处理微生物生物量碳含量均高于对

照处理(CK)，随着施肥量的递增均有不同程度的增加，且土壤 H、M、L 均在 T4 处理最大，分别平均为 899.90、742.96、383.30 mg/kg。土壤 H 中各施肥处理随着用量的递增较对照处理(CK)平均分别增加了 33.01%、52.67%、79.42%、92.90%；土壤 M 为 28.63%、68.34%、89.32%、127.95%；土壤 L 为 39.23%、103.57%、104.54%、146.29%。说明土壤本底有机质含量越低，施肥对土壤微生物生物量碳平均增加率越大。而随着施肥年限的延长不同有机质含量的土壤微生物生物量碳呈现先下降后上升趋势，并且在土壤 M 中施肥年限间表现较为显著。

表 2 连续施肥 3 年后土壤化学性质的变化
Table 2 Changes of soil chemical characteristics after three-year consecutive fertilization

土壤	处理	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH
H	CK	25.79 c	1.95 d	1.00 b	99.75 e	55.10 d	301.80 d	8.36 c
	T1	26.66 c	2.28 c	1.19 ab	123.38 d	89.00 d	346.17 d	8.11 c
	T2	30.75 b	2.78 b	1.42 a	157.75 c	130.72 c	438.97 c	7.92 c
	T3	35.54 a	3.71 a	1.22 ab	171.88 b	175.88 b	544.63 b	7.85 b
	T4	37.59 a	3.69 a	1.33 a	202.63 a	213.69 a	622.49 a	7.85 a
M	CK	14.07 d	1.39 d	0.81 c	70.13 e	83.60 c	104.23 d	8.42 e
	T1	15.44 cd	1.48 d	1.14 b	91.75 d	106.47 bc	158.11 cd	8.29 d
	T2	16.70 bc	1.71 c	1.25 a	107.50 c	145.43 ab	237.09 bc	8.07 c
	T3	18.45 b	1.93 b	1.34 a	126.38 b	162.41 a	394.49 ab	7.96 b
	T4	22.74 a	2.49 a	1.25 a	148.75 a	191.85 a	321.23 a	7.84 a
L	CK	7.18 c	0.47 d	0.61 d	47.75 e	11.40 c	118.46 e	8.32 e
	T1	8.94 b	0.85 c	1.22 c	81.63 d	41.27 bc	187.70 d	8.17 d
	T2	10.08 b	1.20 b	1.31 bc	100.50 c	64.48 b	258.74 c	8.09 c
	T3	11.64 a	1.27 b	1.70 a	143.88 b	109.41 a	390.30 b	7.99 b
	T4	12.44 a	1.52 a	1.62 ab	138.38 a	121.82 a	430.25 a	7.94 a

注：表中同列不同小写字母表示同一土壤不同处理间差异在 P<0.05 水平显著。

表 3 连续 3 年施肥对土壤微生物生物量碳变化的影响(mg/kg)
Table 3 Changes of soil microbial biomass carbon after three-year consecutive fertilization

土壤	施肥年限	CK	T1	T2	T3	T4
H	2009	473.07 ± 30.93 c	633.70 ± 61.29 bc	633.39 ± 152.20 ab	888.47 ± 96.61 a	906.97 ± 95.65 a
	2010	446.56 ± 42.71 c	597.23 ± 83.30 bc	734.99 ± 164.11 ab	727.92 ± 62.26 ab	846.37 ± 89.10 a
	2011	479.89 ± 17.06 c	630.56 ± 87.18 bc	768.32 ± 152.21 ab	894.58 ± 117.80 a	946.37 ± 33.95 a
	平均	466.50 d	620.50 c	712.23 b	836.99 ab	899.90 a
M	2009	324.13 ± 95.70 c	412.70 ± 54.69 c	556.64 ± 55.66 b	615.27 ± 28.81 a	774.70 ± 63.27 a
	2010	310.17 ± 29.24 d	405.84 ± 41.58 cd	528.04 ± 107.49 bc	601.31 ± 81.37 ab	693.75 ± 76.51 a
	2011	343.50 ± 34.47 d	439.18 ± 41.58 c	561.37 ± 69.92 b	634.64 ± 42.63 b	760.42 ± 39.19 a
	平均	325.94 e	419.24 d	548.68 c	617.07 b	742.96 a
L	2009	152.13 ± 16.02 c	225.77 ± 23.34 bc	348.33 ± 20.00 ab	307.10 ± 11.17 ab	378.37 ± 198.20 a
	2010	140.71 ± 26.59 d	195.47 ± 60.02 cd	251.06 ± 72.49 bc	310.40 ± 47.98 ab	370.77 ± 32.65 a
	2011	174.04 ± 48.72 c	228.80 ± 23.34 bc	351.06 ± 80.55 ab	337.07 ± 66.60 a	400.77 ± 82.26 a
	平均	155.63 b	216.68 b	316.82 a	318.19 a	383.30 a

注：表中同行不同小写字母表示同一土壤同一年份不同处理间差异在 P<0.05 水平显著，下同。

2.2.2 微生物生物量氮 随着施肥量的增加,不同类型土壤微生物生物量氮含量的变化略有不同(表 4),在土壤 H 中呈现先上升后下降的趋势,虽然在 T3 处理最大(平均为 53.88 mg/kg),但是在各处理之间的变化并不显著;在土壤 M 和土壤 L 中则表现为逐步递增的趋势,且在 T4 处理最高(分别平均为 43.87 mg/kg、29.61 mg/kg),各处理之间有较为显著的变化。分析

施肥量与土壤微生物生物量氮的相关关系表明,低有机质含量的土壤(L)相关关系最好($R^2 = 0.7321^{**}, n = 5$),其次是中有机质含量的土壤(M)($R^2 = 0.4119^{**}, n = 5$),最后则是高有机质含量的土壤(H)($R^2 = 0.0752, n = 5$)。不同类型土壤的施肥处理其土壤微生物生物量氮含量均高于不施肥处理(CK)。不同有机质含量的土壤微生物生物量氮含量在连续施肥 3 年间均无显著变化。

表 4 连续 3 年施肥对土壤微生物生物量氮变化的影响(mg/kg)
Table 4 Changes of soil microbial biomass nitrogen after three-year consecutive fertilization

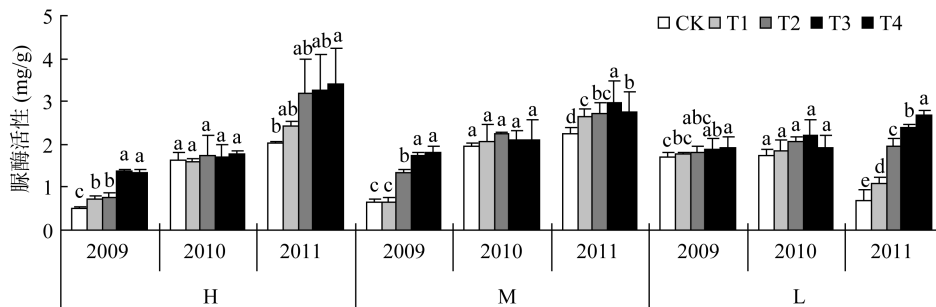
土壤类型	施肥年限	CK	T1	T2	T3	T4
H	2009	47.37 ± 8.87 a	50.19 ± 5.64 a	52.31 ± 11.08 a	54.77 ± 6.69 a	52.93 ± 3.58 a
	2010	45.03 ± 5.38 a	48.86 ± 4.89 a	50.31 ± 13.16 a	52.77 ± 11.20 a	50.26 ± 4.30 a
	2011	48.37 ± 1.99 a	52.19 ± 2.34 a	53.64 ± 12.75 a	54.10 ± 13.49 a	53.59 ± 4.25 a
	平均	46.92 a	50.42 a	52.08 a	53.88 a	52.26 a
M	2009	30.71 ± 7.74 a	34.77 ± 9.89 a	34.09 ± 10.31 a	42.76 ± 5.85 a	45.42 ± 10.67 a
	2010	29.04 ± 2.26 b	33.10 ± 2.77 b	32.75 ± 5.96 ab	40.43 ± 6.65 a	42.09 ± 7.99 a
	2011	31.04 ± 5.32 b	34.10 ± 3.94 b	35.09 ± 6.04 ab	41.43 ± 5.99 a	44.09 ± 4.86 a
	平均	30.26 b	33.99 b	33.98 b	41.54 a	43.87 a
L	2009	12.24 ± 2.31 b	15.35 ± 3.21 b	18.83 ± 3.91 b	27.22 ± 6.81 a	26.83 ± 5.04 a
	2010	12.24 ± 2.31 c	15.68 ± 2.92 bc	18.49 ± 3.40 bc	25.55 ± 9.69 ab	31.83 ± 8.07 a
	2011	11.24 ± 1.24 b	13.68 ± 0.59 b	17.16 ± 4.12 b	27.85 ± 5.73 a	30.17 ± 6.06 a
	平均	11.90 d	14.90 cd	18.16 c	26.87 b	29.61 a

2.3 对土壤酶活性的影响

2.3.1 脲酶活性 不同有机质含量的土壤脲酶活性在连续施用生物有机肥 3 年间均有所提高(图 1),且随着施肥量和施肥年限的增加其活性也在增加,特别是在较高施肥处理,这种增幅较为显著。其中土壤 H 中各施肥处理的脲酶活性与对照处理(CK)相比最多分别增加了 43%、58%、173% 和 165%,土壤 M 为 18%、104%、163% 和 171%,土壤 L 为 60%、186%、247% 和 292%,表明脲酶活性的高低与施肥水平有一定相关性,即施肥水平的提高一定程度上可增加土壤脲酶的活性。而在 3 种(H, M, L)土壤中,施肥第 3 年(2011)比第 1 年(2009)最大分别增加了 309%、297% 和 41%,说明土壤本底有机质含量越高,土壤

脲酶活性增幅就越大。

2.3.2 蔗糖酶活性 由图 2 可知,生物有机肥的施用显著提高了土壤蔗糖酶活性,随着施肥量的增加其酶活性基本表现为先增加后降低的趋势。其中土壤 H 中各施肥处理的蔗糖酶活性与对照处理(CK)相比平均分别增加了 27%、28%、29% 和 21%,土壤 M 分别为 23%、32%、26% 和 20%,土壤 L 为 25%、67%、58% 和 55%。3 种土壤基本在 T2、T3 处理时土壤蔗糖酶活性平均增加量最大,由于蔗糖酶活性能够反映土壤的熟化程度和肥力水平,说明适量的施肥使土壤的肥力水平和熟化程度更好。3 种土壤蔗糖酶活性在施肥 3 年间的变化有所差异,但施肥第 3 年(2011)比第 1 年(2009)均有所降低,平均分别降低了 4%、52% 和 6%。



(柱图上方不同小写字母表示同一土壤同一年份不同处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著不同)

图 1 连续 3 年施肥对土壤脲酶活性变化的影响

Fig. 1 Changes of soil urease activity after three-year consecutive fertilization

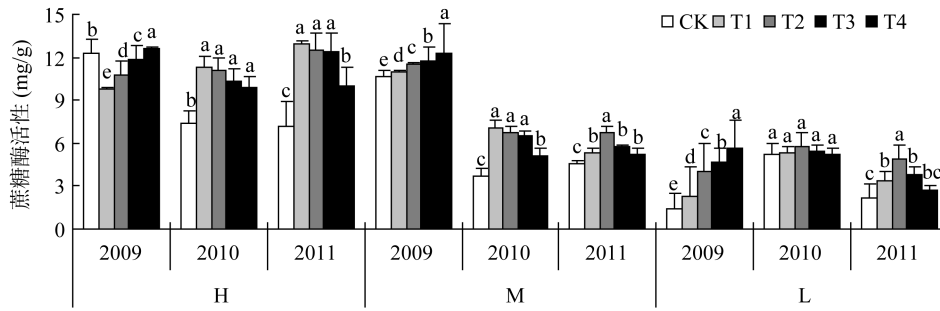


图 2 连续 3 年施肥对土壤蔗糖酶活性变化的影响
Fig. 2 Changes of soil invertase activity after three-year consecutive fertilization

2.3.3 多酚氧化酶活性 随着施肥量的增加,3 种土壤多酚氧化酶活性在 3 年间基本呈现先增加后降低的趋势(图 3), 其中土壤 H 中各施肥处理的多酚氧化酶活性与对照处理(CK)相比平均分别增加了 28%、22%、20% 和 10%, 土壤 M 为 21%、33%、33% 和 28%, 土壤 L 为 26%、19%、16% 和 16%。3 种土壤基本在 T1、T2 处理时土壤多酚氧化酶活性平均增加量最大,说明适量增施生物有机肥有利于土壤多酚氧化酶活性的提高。不同土壤中各个处理在施肥 3 年间的变化有所差异。土壤 H 和土壤 L 中多酚氧化酶活性在施肥第 3 年(2011)较第 1 年(2009)均有所增加,平均分别增加了 13% 和 14%, 土壤 M 则变化不大。

2.3.4 蛋白酶活性 由图 4 可以看出,随着施肥年限的延长各处理的土壤蛋白酶活性均有不同程度的

增加,有机质含量低的土壤,增加的幅度更大。施肥第 3 年(2011)较第 1 年(2009)均有所增加,平均分别增加了 33%、77% 和 106%。随着施肥量的增加各处理基本表现为先增加后降低趋势。其中土壤 H 中各施肥处理的蛋白酶活性与对照处理(CK)相比平均分别增加了 11%、9%、3% 和 2%, 土壤 M 为 9%、16%、7% 和 7%, 土壤 L 为 6%、21%、20% 和 18%。3 种土壤基本在 T1、T2 处理时土壤蛋白酶活性平均增加量最大,说明在此施肥量时土壤氮素水平也相应的最高。

2.3.5 过氧化氢酶活性 由图 5 可知,3 种土壤中施用生物有机肥均可以增加土壤过氧化氢酶活性,随着施肥量的增加各处理的过氧化氢酶活性虽然表现为先上升后下降的趋势,但各处理的酶活性均无显著变化。随着连续施肥年限的增加其活性均在显著地

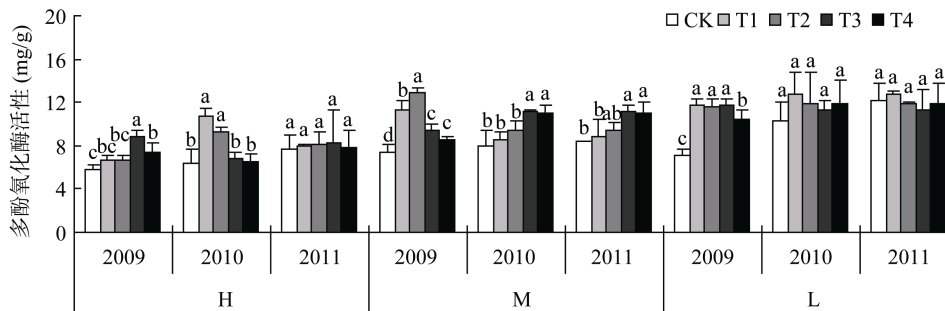


图 3 连续 3 年施肥对土壤多酚氧化酶活性变化的影响
Fig. 3 Changes of soil polyphenol oxidase activity after three-year consecutive fertilization

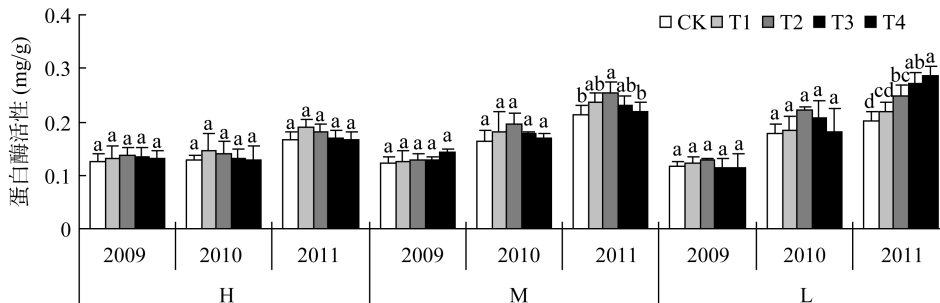


图 4 连续 3 年施肥对土壤蛋白酶活性变化的影响
Fig. 4 Changes of soil protease activity after three-year consecutive fertilization

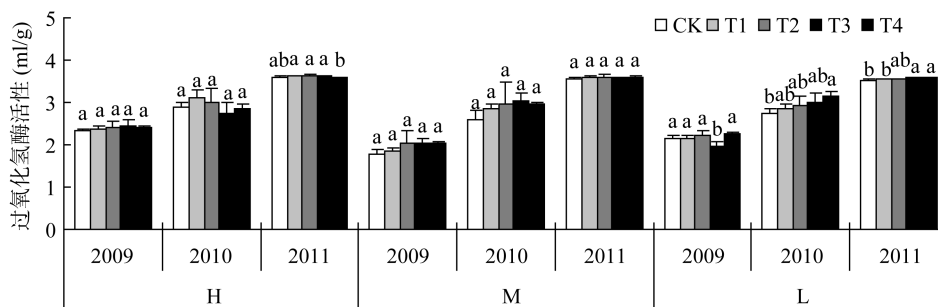


图 5 连续 3 年施肥对土壤过氧化氢酶活性变化的影响

Fig. 5 Changes of soil catalase activity after three-year consecutive fertilization

增加。且施肥第 3 年(2011)比第 1 年(2009)平均分别增加了 51%、83% 和 65%。说明连续施用生物有机肥使得过氧化氢对棉株的毒害作用明显地减弱。

2.4 对棉花各器官生物量的影响

连续施肥 3 年后,棉花植株各器官干物质积累量大小顺序为:叶>棉籽>茎>纤维>铃壳>根(图 6)。在不同类型的土壤中各器官干物质积累量的变化趋势有所差异,其中土壤 H 各器官干物质随着施肥量的增加呈现先上升后下降,且在 T1、T2 处理基本达到最高,且根为 2.816 g/株,茎 7.558 g/株,叶 7.444 g/株,铃壳 5.852 g/株,棉籽 5.520 g/株,纤维 6.612 g/株;土壤 M 的变化趋势类似于土壤 H,在 T2、T3 处理达到最大,且根为 2.280 g/株,茎 8.628 g/株,叶 10.222 g/株,铃壳 4.432 g/株,棉籽 8.902 g/株,纤维 5.520 g/株,继续增加施肥并不增加干物质积累量,反而变小;土壤 L 则呈现上升的趋势,并在 T4 处理达到最高,且根为 2.466 g/株,茎 8.372 g/株,叶 11.654 g/株,铃壳 5.01 g/株,棉籽 11.016 g/株,纤维 7.412 g/株。

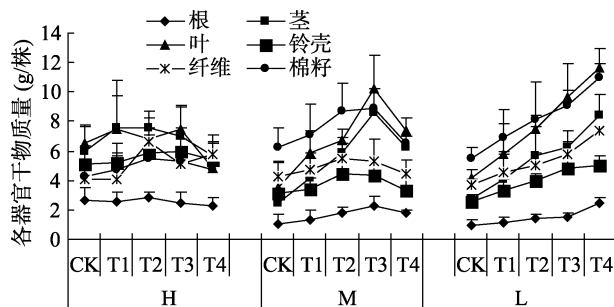


图 6 连续施肥 3 年后棉花各器官干物质积累量的变化

Fig. 6 Changes in dry matter accumulation of cotton organs after three-year consecutive fertilization

3 讨论与结论

相关研究表明,长期施用有机肥在提高土壤养分和产量等方面有良好的作用^[13]。蒋仁成等^[14]的研究表明,施用有机肥能显著提高土壤全效养分的含量。张鹏等^[15]通过连续 4 年试验表明,随施肥量的增加,

各施肥处理全氮、全钾和全磷含量分别较对照处理有显著提高,土壤速效养分也表现出相同的趋势。与之结果类似,本试验在研究 3 种不同有机质含量的土壤上连续施用生物有机肥 3 年后效果非常明显,各施肥处理的土壤全量和速效养分含量分别较不施肥处理均有显著提高。随着施肥量的增加,土壤有机质、全氮、全磷均有不同程度的增加,速效养分(碱解氮、速效磷、速效钾)增加幅度更大。通过 3 种土壤对比发现,低有机质含量的土壤全量和速效养分的增加幅度最大,且施肥较不施肥处理最大分别增加了有机质 73%,全氮 222%,全磷 165%,碱解氮 190%,速效磷 969%,速效钾 263%。说明生物有机肥不仅本身对土壤养分有添加作用,而且其所含有大量微生物进入土壤后,有助于分解和释放速效养分,供作物吸收利用^[16],并且本底有机质含量越低,肥料施入土壤后,其微生物的生命活动就越强,同时还加速促进施入土壤的有机质的矿化^[17],使有机养分能够迅速地转化成植株能吸收利用的营养元素。本研究显示,在高、中、低 3 种有机质含量土壤上,棉花各器官干物质质量分别在施用生物有机肥 10~20、20~30、40 g/kg 时基本达到最高。当作物产量提高到一定水平后,继续增施生物有机肥无助于作物的生长和产量的提高,说明当土壤肥力水平相对较高的情况下,经过一段时间的施肥和培肥过程,土壤肥力和供肥性能已经达到相对稳定和充足阶段,此时土壤肥力已不是影响作物生长的限制因素。

土壤微生物量作为土壤养分转化的活性库或源,其含量高低可部分反映土壤微生物活动的强弱和养分转化速率的快慢,是土壤生物质量变化的灵敏指标^[18]。连续 3 年施肥期间,施用生物有机肥使不同有机质含量的土壤微生物生物量碳、氮量均明显高于不施肥处理,这是由于施用生物有机肥促进了微生物的繁殖,同时也增加了土壤养分和微生物量,为微生物提供了充足的碳源、氮源、无机盐等营养物质^[19]。本研究供试的 3 种农田土壤虽不能完全代

表整个石河子地区土壤带上所有土壤,但是尽可能选取土壤条带分布上典型的土壤。在3种土壤中,土壤微生物生物量碳、氮含量的大小顺序为:高>中>低有机质含量的土壤,原因可能是土壤有机质不仅控制着土壤中能量和营养物的循环,是微生物群落稳定的能量和营养物的来源^[20],而且有机质含量越高的土壤,土壤对微生物的缓冲能力就越强,土壤微生物量含量越高^[21]。研究显示,连续3年随着生物有机肥用量的增加,不同土壤均有不同程度的增加。高、中、低3种有机质含量土壤微生物生物量碳较不施肥最大分别增加了92.90%、127.95%、146.29%,土壤本底有机质含量越低,施肥对土壤微生物生物量碳平均增加率越大。通过施肥量与微生物生物量氮之间相关分析表明,在低有机质含量的土壤中,两者之间的关系最为密切,其次是中有机质含量的土壤,最后则是高有机质含量的土壤。说明当土壤具有较高的养分含量水平时,如果继续添加特别是高量施用生物有机肥,使土壤中保持较高的速效养分浓度,并不利于微生物的生长活动。

土壤酶是土壤中活跃的有机成分之一,在土壤养分循环以及植物生长所需养分的供给过程中起着重要作用。大量研究发现,肥料通过改善土壤性质、微生物活性等来影响土壤酶活性^[22-23]。李东坡等^[24]对吉林省黑土表层土壤脲酶和磷酸酶活性动态进行研究表明,施入高量有机肥的土壤脲酶和磷酸酶活性大于不施肥处理。本研究显示,不同有机质含量的土壤在连续3年施肥期间,施用生物有机肥均能不同程度地提高土壤酶活性。这可能是生物有机肥含有大量的酶对土壤酶有增加的作用,而且能够为产酶微生物提供丰富的营养源,有利于产酶微生物的繁殖^[25]。有研究认为长期施用有机肥对过氧化氢酶活性的提高较小^[26]。本研究随着施肥年限的增加,土壤脲酶、蛋白酶和过氧化氢酶活性显著提高,这说明长期施用生物有机肥可改善根际土壤微生态环境,减轻作物的自毒作用,从而增强对逆境胁迫的抵抗能力。而土壤多酚氧化酶和蔗糖酶活性变化不大,这可能由于所研究的土壤类型和施肥方式等不同的缘故。郭天财等^[27]研究发现,随着施氮水平的提高,潮土蛋白酶、过氧化氢酶及脱氢酶活性均呈现先增加后降低的趋势。连续施肥3年期间,随着其用量的增加,土壤蔗糖酶、多酚氧化酶、蛋白酶活性表现先上升后下降的趋势,且在施用生物有机肥10~30 g/kg时基本达到最高。这表明,在某些情况下适量施用生物有机肥对酶活性的提高最为有利,而过量施用并不一定能取得较为理想的效果。土壤脲酶呈现持续增加的趋势,土壤过氧

化氢酶活性则无显著变化,可能受到土壤类型和肥料等综合因素的影响,施肥对不同土壤酶活性的变化可能存在差异。并且在低有机质含量的土壤中,施肥土壤的脲酶、蔗糖酶、蛋白酶活性较不施肥的增加率均最大。这说明在本底有机质含量较低的土壤中,生物有机肥的施用不仅更为显著地延长土壤中氮素的释放、加快氮素的转化,而且还能更深地提高土壤熟化程度。

土壤生态系统健康是农业生态系统健康可持续发展的基础,而良好的生态环境要求建立有效的农业管理措施和手段保护土壤和环境资源^[28]。生物有机肥虽然对调控土壤微生物群落结构,提高土壤更新或恢复能力,防止土传病害等具有重要意义,但过多的施用又带来资源利用效率低下和面源污染的风险。特别是对于常年发病的土壤,这种脆弱的土壤生态系统极易遭受破坏,需注意生物有机肥科学合理地施用。

参考文献:

- [1] Klemmedtsson L, Berg P, Clarholm M. Microbial nitrogen transformation in the root environment of barley[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19: 551-558
- [2] Singh JS, Raghubanshi AS, Srivastava SC. Microbial biomass act as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna[J]. *Nature*, 1989, 338: 499-500
- [3] Srivastava SC, Singh JS. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: Effects of alternate land-uses and nutrient flux[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1991, 23(2): 117-124
- [4] Yu ZY, Chen FS, Zeng DH, Zhao QC, Guang S. Soil inorganic nitrogen and microbial biomass carbon and nitrogen under pine plantations in Zhanggutai sandy soil[J]. *Pedosphere*, 2008, 18(6): 775-784
- [5] 关松萌. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 61-141
- [6] 王芸, 韩宾, 史忠强, 江晓东, 宁堂原, 焦念元, 李增嘉. 保护性耕作对土壤微生物特性及酶活性的影响[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(4): 120-142
- [7] Timo K, Stephan W, Frank E. Microbial activity in a sandy arable soil is governed by the fertilization regime[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2004, 40(2): 87-94
- [8] 贾伟, 周怀平, 解文艳, 关春林, 郜春花, 石彦琴. 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
- [9] 李娟, 赵秉强, 李秀英. 长期有机无机肥配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(1): 144-152
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007
- [11] 许光辉, 郑洪云. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 23-25

- [12] 吴金水, 林启美, 黄巧云. 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] 林葆, 林继雄, 李家康. 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化[J]. 植物营养与肥料学报, 1994, 1(1): 17
- [14] 蒋仁成, 厉志华, 李德民. 有机肥和无机肥在提高黄潮土肥力中的作用研究[J]. 土壤学报, 1990, 27(2): 179–185
- [15] 张鹏, 贾志宽, 路文涛, 张晓芳, 孙红霞, 杨保平. 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): 112–113
- [16] 李俊华, 沈其荣, 褚贵新, 危常州, 乔旭, 杨兴明. 氨基酸有机肥对棉花根际和非根际土壤酶活性和养分有效性的影响[J]. 土壤, 2011, 43(2): 277–284
- [17] 焦晓光, 高崇升, 隋跃宇, 张兴义, 丁光伟. 不同有机质含量农田土壤微生物生态特征[J]. 中国农业科学, 2011, 44(18): 3759–3767
- [18] Ekenler M, Tabatabai MA. Effects of liming and tillage systems on microbial biomass and glycosidase in soils[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2003, 39: 51–61
- [19] 张奇春, 王雪芹, 时亚南, 王光火. 不同施肥处理对长期不施肥区稻田土壤微生物生态特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 118–123
- [20] 王国栋, 褚贵新, 刘瑜, 张旺锋. 干旱绿洲长期微咸地下水灌溉对棉田土壤微生物量影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 44–48
- [21] Marschner P, Kandeler E, Marschner B. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35: 453–461
- [22] 郭永盛, 李鲁华, 危常州, 褚贵新, 董鹏, 李俊华. 施氮肥对新疆荒漠草原生物量和土壤酶活性的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊): 249–256
- [23] Vepsilinen M, Kukkonen S, Vestberg M. Application of soil enzyme activity test kit in a field experiment[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33: 1665–1672
- [24] 李东坡, 武志杰, 陈利军, 朱平, 任军, 梁成华. 长期不同培肥黑土磷酸酶活性动态变化及其影响因素[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 550–553
- [25] 沈宏, 曹志洪, 徐本生. 玉米生长期土壤微生物量与土壤酶变化及其相关性研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(4): 471–474
- [26] 袁玲, 杨邦俊, 郑兰君, 刘学成. 长期施肥对土壤酶活性和氮磷养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(4): 300–306
- [27] 郭天财, 宋晓, 马冬云, 王永华, 谢迎新, 岳艳军. 施氮量对冬小麦根际土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 110–114
- [28] Kennedy AC, Smith KL. Microbial diversity and sustainability of agricultural soils[J]. *Plant and Soil*, 1995, 23(2): 69–79

Effects of Continuous Application of Bio-organic Fertilizer for Three Years on Soil Nutrients, Microbial Biomass and Enzyme Activity

TIAN Xiao-ming^{1,2}, LI Jun-hua¹, WANG Cheng^{3*}, CHU Gui-xin¹,
WEI Chang-zhou¹, ZHENG Qian¹, DENG Shi-wei¹

(1 Agricultural College of Shihezi University / Xinjiang Key Laboratory of Oasis Ecological Agriculture, Shihezi, 832000, China; 2 Grassland Management Central Station of Yili State, Yining, 835000, China; 3 Institute of Quality Standards & Testing Technology for Agro-Products, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, 830091, China)

Abstract: Pot experiment in greenhouse with different application rates of bio-organic fertilizer on three kind soils were carried out for three years. Effects of fertilization on soil microbial biomass, enzyme activities and nutrients were studied. The results showed that, soil nutrients, microbial biomass and enzyme activity of treatments applied bio-organic fertilizer during three years increased compared with the no fertilization treatment in different contents of organic matter soils. The amounts of soil nutrients, microbial biomass and urease activity increased with the increase of application rate of bio-organic fertilizer, while pH value on the contrary. The soil invertase, polyphenol oxidase, protease activity increased first and then decreased, reached the highest when bio-organic fertilizer 10–30 g/kg applied in three kinds of soils, there was no significant change in catalase activity. Cotton dry matter accumulation reached the highest with application 10–20, 20–30 and 40 g/kg of bio-organic fertilizer, respectively in soils with higher, middle, and low contents of organic matter. Soil microbial biomass carbon and nitrogen decreased first and then increased and soil enzyme activity changed quite differently with the extension of fertilizer years in three kinds of soils. Soil nutrient, urease, invertase, protease activity and microbial biomass increased higher with bio-organic fertilizer applied in soil with the lower background organic matter.

Key words: Continuous fertilization, Bio-organic fertilizer, Microbial biomass, Enzyme activity, Soil nutrients, Cotton dry biomass