

巢湖藻-草-泥堆制有机肥对土壤性质的影响^①

陈 婷, 韩士群*, 周 庆

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014)

摘 要:通过田间试验, 研究施用由巢湖取出物蓝藻、水草和底泥高温堆肥制作成的有机肥对作物产量、土壤理化性质及微生物学特性的影响。结果表明: 施用藻-草-泥有机肥对大豆、花生有明显增产效应。施肥土壤中总氮、碱解氮、总磷、有效磷、有机质、腐殖酸、阳离子交换量和土壤孔隙度均显著高于未施肥土壤, 而容重显著降低。与未种植未施肥处理(T1)相比, 种植大豆施肥(T4)和种植花生施肥处理(T5)中微生物生物量碳分别增加 116.5%、97.8%, 微生物生物量氮增加 196.7%、170.6%; T4 处理的转化酶、脲酶和过氧化氢酶活性分别提高 183%、392% 和 8.9%, T5 处理中相应酶活性分别提高 116%、268%、1.01%。相关性分析表明, 微生物生物量碳、氮和转化酶、脲酶活性都与多种肥力因子呈显著相关, 且转化酶及脲酶活性间存在显著相关性。T4 处理中过氧化氢酶活性与肥力因子间无显著相关性, 而 T5 处理过氧化氢酶活性与有效磷、有机质、腐殖酸、微生物生物量碳、微生物生物量氮间呈显著相关。巢湖取出物蓝藻、水草和底泥可作为生产有机肥的良好材料以达到资源化利用目的。

关键词:藻-草-泥有机肥; 土壤理化性质; 微生物生物量碳氮; 酶活性; 产量

中图分类号: X705 **文献标识码:** A

巢湖富营养化治理过程中, 蓝藻、水草和疏浚底泥等湖泊取出物含有丰富的氮、磷和有机质, 是一种潜在资源。若不能充分利用, 随意堆放将造成严重的二次污染^[1]。藻、草、泥通过厌氧发酵产沼气, 沼液、沼渣肥料化利用以及高温堆肥生产有机肥料、基质, 是目前无害化处理资源化利用湖泊取出物的主要手段。刘海琴等^[2]利用蓝藻的厌氧发酵生产沼气, 沼渣沼液等产物作为液体肥料还田施用, 发现沼液对土壤的培肥效果显著且对种植蔬菜具有增产效应。朱守诚等^[3]将蓝藻有机肥施用于稻田, 增加了水稻产量, 同时提高了水稻品质。冯瑞兴等^[4]对水葫芦肥料化后的应用效果进行研究, 发现其对小白菜的增产效果明显, 还可缓解土壤酸化等问题。

诸如此类的研究甚多, 但这些研究中很少涉及藻、草、泥有机肥施用对土壤微生物生物量及酶活性产生的影响。但是一些常见有机肥, 如秸秆有机肥等对此类影响的研究较多^[5]。土壤中的微生物对外界环境等其他因素的响应较为敏感, 土壤进行施肥或翻耕等任何管理措施都会对土壤中的微生物生物量产生较为强烈的影响^[6]。评价土壤质量不仅需考虑理化性

质, 其生物学特性变化也是必不可少的关键环节。大量文献资料明确指出施用有机肥可有效促进微生物繁殖, 增加微生物数量, 从而改善土壤质量^[7-8]。土壤微生物量参与了土壤能量和养分转化及循环的各个生化过程中, 不仅对土壤本身肥力有深远影响, 对于种植作物生长过程中的养分供给也起着重要作用^[9-10]。并且土壤酶活性也是反映土壤生物学肥力质量的重要指标之一^[11]。近年来, 土壤酶活性与土壤肥力逐渐成为土壤界的研究热点, 土壤中各种酶的活性, 在土壤系统物质和能量运转过程中起着不可忽视的作用, 可直接反映土壤中生物活性及生化反应的强弱程度^[12-13]。目前常用来评价土壤肥力的主要为蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶等酶活性。

以往的研究多局限于蓝藻、水生植物或底泥单独肥料化, 考虑到原料的特殊性, 三者共同堆肥生产的有机肥施用后可能会对土壤带来的影响亟待研究。本研究采用大田试验, 探讨了施用藻-草-泥有机肥对土壤基本理化性质、微生物生物量及酶活性等的影响, 为湖泊治理过程中取出的蓝藻、水草及淤泥的肥料化和资源化利用提供一定的理论依据。

^①基金项目: 国家水专项巢湖项目(2012ZX07103-005)资助。

* 通讯作者(shqunh@126.com)

作者简介: 陈婷(1990—), 女, 安徽合肥人, 硕士, 主要从事湖泊废弃物资源化利用及水体修复研究。E-mail: 316640108@qq.com

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验于 2015 年 4—9 月在合肥市青阳山的裸露山体修复试验基地进行。试验土壤来自修建地铁时的未熟化深层土,未曾种植过作物。试验共设处理 5 组,重复 3 次,随机区组排列,小区面积为 880 m²。试验处理分别为:①未种植未施肥(T1);②种植大豆不施肥(T2);③种植花生不施肥(T3);④种植大豆施用藻-草-泥有机肥(12 kg/m²,下同,T4);⑤种植花生施用藻-草-泥有机肥(T5)。所有肥料在播种前一次性施入。藻-草-泥有机肥由巢湖中打捞的蓝藻、水草(主要为水葫芦)和疏浚底泥脱水干化后按照 2:2:1 的比例,再添加适量小麦秸秆、家畜粪便等辅料后经过为期约 3 个月的高温堆肥制备而成。

表 1 藻-草-泥有机肥的基本理化性质

Table 1 Physiochemical properties of algae-grass-mud organic manure

指标	全磷	全氮	有机质	腐殖酸	水分
含量(g/kg)	4.2	18.6	347.2	111.1	527.4

1.2 样品采集和测定

于大豆和花生的花期及果期(6—9 月)期间即施肥后的 100、115、130、145 和 175 d 采用“S”形布点,在各处理 0~15 cm 耕层随机采取 5 点新鲜土样混合均匀后带回实验室。一部分鲜样保存于 4℃ 环境下,用于土壤微生物生物量及酶活性的测定,另一部分风干后用于土壤理化指标的测定。

土壤容重测定采用环刀法;土壤孔隙度测定采用计算法;全氮含量测定采用半微量凯氏法;碱解氮含量测定采用碱解扩散法;全磷含量测定采用高氯酸-硫酸法;有效磷含量测定采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸

提法;有机质含量测定采用重铬酸钾外加热法;腐殖酸含量测定采用焦磷酸钠浸提-重铬酸钾容量法;阳离子交换量(CEC)测定采用氯化铵-乙酸铵法。具体测定方法见参考文献[14]。微生物生物量碳(MBC)和氮(MBN)测定采用氯仿熏蒸浸提法^[15]。土壤酶活性的测定依据关松荫^[16]的方法,其中过氧化氢酶活性测定,采用高锰酸钾滴定法,以每克土消耗 0.1 mol/L 高锰酸钾的体积(ml)表示;转化酶活性测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法,以每克土产生葡萄糖的质量(mg)表示;脲酶活性测定采用苯酚钠比色法,以 NH₄⁺-N 的产生量表示(mg/(g·d))。

试验数据应用 Microsoft Excel 2013 和 SPSS17.0 统计软件进行数据处理及统计分析,不同处理之间采用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果

2.1 藻-草-泥有机肥对土壤理化性质的影响

由表 2 数据分析可得,与 T1 处理相比,T2 和 T3 处理除土壤孔隙度显著增加,其他理化指标并无明显变化。T4、T5 处理各土壤养分含量表现出不同程度的上升,且两处理总体变化趋势基本保持一致,均与未施肥的其他 3 处理间存在显著性差异($P<0.05$)。其中,T4 处理全氮、全磷、有机质和腐殖酸的含量最高,分别较 T1 处理增加了 4.2 倍、0.4 倍、2.0 倍和 2.1 倍;T5 处理相应指标含量也显著提高。T4 处理碱解氮和有效磷含量较 T1 处理分别增加了 9.8 倍、5 倍,T5 处理则分别增加了 8.7 倍、4.3 倍。T4 和 T5 处理 CEC 也与其他 3 组处理间存在显著性差异,二者分别较 T1 处理增加了 55.3% 和 48.2%。T4 和 T5 处理土壤孔隙度皆高于其他 3 处理,土壤容重也显著降低。

表 2 不同处理对土壤理化性质的影响

Table 2 Effects of different treatments on soil physicochemical properties

指标	T1	T2	T3	T4	T5
全氮(g/kg)	0.246 ± 0.001 c	0.248 ± 0.001 c	0.247 ± 0.001 c	1.279 ± 0.003 a	1.109 ± 0.002 b
碱解氮(mg/kg)	15.73 ± 0.18 c	15.77 ± 0.32 c	15.81 ± 0.02 c	170.35 ± 0.08 a	152.33 ± 0.89 b
全磷(g/kg)	0.80 ± 0.01 c	0.81 ± 0.01 c	0.81 ± 0.01 c	1.12 ± 0.01 a	1.06 ± 0.01 b
有效磷(mg/kg)	41.68 ± 0.11 c	41.64 ± 0.31 c	41.63 ± 0.25 c	252.2 ± 0.52 a	219.05 ± 0.78 b
有机质(g/kg)	5.73 ± 0.02 c	5.72 ± 0.03 c	5.72 ± 0.01 c	17.17 ± 0.01 a	12.13 ± 0.02 b
腐殖酸(g/kg)	2.11 ± 0.01 c	2.31 ± 0.02 c	2.22 ± 0.01 c	6.64 ± 0.01 a	4.53 ± 0.01 b
孔隙度(%)	32.37 ± 0.02 e	35.06 ± 0.05 d	35.38 ± 0.04 c	41.64 ± 0.06 a	43.14 ± 0.03 b
容重(g/cm ³)	1.54 ± 0.05 a	1.51 ± 0.02 a	1.51 ± 0.01 a	1.27 ± 0.02 b	1.29 ± 0.02 b
CEC(cmol/kg)	7.82 ± 0.07 c	7.87 ± 0.03 c	7.89 ± 0.03 c	12.14 ± 0.02 a	11.59 ± 0.02 b

注:表中同行不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$);下同。

此外, T4 处理各相应养分含量与 T5 处理间差异均达到显著水平($P<0.05$)。T4 处理较 T5 处理而言, 全氮、碱解氮、全磷、有效磷、有机质和 CEC 含量分别高出 0.17 g/kg、18.02 mg/kg、0.06 g/kg、33.15 mg/kg、5.04 g/kg 和 0.55 cmol/kg。在物理性状方面, T5 处理的土壤孔隙度较 T4 处理增加 1.5%, 但二者的土壤容重值仅相差 0.02 g/cm³, 差异未达到显著水平($P>0.05$)。

2.2 藻-草-泥有机肥对土壤生物学性质的影响

2.2.1 对土壤微生物生物量碳氮的影响

整个试验期间 T1 处理的 MBC、MBN 含量基本保持不变, 其余 4 个处理的 MBC 和 MBN 含量在试验结束时均不同程度高于 T1 处理(表 3)。与 T1 处理相比, T2 与 T3 处理的 MBC 和 MBN 含量虽涨幅较小, 但差异已达显著水平($P<0.05$), 但 T2 与 T3 处理间并未呈现出显著差异。

T4、T5 处理的 MBC 及 MBN 含量随着施肥天数的不断增加, 变化趋势大体一致, 总体表现为先增加后减少。二者变化幅度较大, T4 处理的 MBC 变化幅度为 427.19 ~ 668.41 mg/kg, MBN 变幅为 88.58 ~ 143.86 mg/kg。施肥后 175 d, T4 处理的 MBC 较 T1 处理增加了 116.5%, T4 处理的 MBN 较 T1 处理增加了 2 倍; T5 处理的 MBC 含量较 T1 处理增加 97.8%, MBN 含量较 T1 处理增加 171%。同时, T4、T5 处理的 MBC 和 MBN 含量在试验不同阶段均与 T2 和 T3 处理表现出显著性差异。

此外, T4 和 T5 处理间各指标间差异达显著水平($P<0.05$)。由 5 次取样所得数据分析可知, T4 处理土壤 MBC 和 MBN 含量均显著高于 T5 处理。施肥后 175 d, T4 处理土壤的 MBC、MBN 含量较 T5 处理分别增加 39.51、8.58 mg/kg。

表 3 不同处理对土壤微生物生物量碳、氮的影响
Table 3 Effects of different treatments on soil MBC and MBN

指标	施肥后天数(d)	T1	T2	T3	T4	T5
MBC (mg/kg)	100	210.61 ± 0.25 d	214.94 ± 0.25 c	215.41 ± 0.28 c	427.19 ± 3.54 a	363.62 ± 0.59 b
	115	210.12 ± 0.09 d	215.3 ± 0.36 c	215.47 ± 0.35 c	634.53 ± 1.12 a	534.91 ± 1.45 b
	130	210.77 ± 0.21 d	214.71 ± 0.16 c	215.49 ± 0.37 c	668.41 ± 0.70 a	578.54 ± 1.38 b
	145	210.46 ± 0.38 d	215.55 ± 0.38 c	215.38 ± 0.37 c	502.07 ± 0.22 a	492.87 ± 0.38 b
	175	210.88 ± 0.14 d	215.83 ± 0.26 c	215.89 ± 0.07 c	456.63 ± 1.03 a	417.12 ± 1.36 b
MBN (mg/kg)	100	32.42 ± 0.27 d	33.59 ± 0.93 cd	34.10 ± 0.81 c	88.58 ± 0.89 a	75.87 ± 1.05 b
	115	32.80 ± 0.38 d	34.11 ± 0.84 c	34.37 ± 0.77 c	135.89 ± 0.3 a	114.34 ± 0.14 b
	130	33.13 ± 0.18 c	33.9 ± 0.92 c	33.53 ± 0.86 c	143.86 ± 0.38 a	125.45 ± 0.50 b
	145	32.78 ± 0.15 d	34.32 ± 1.19 c	34.34 ± 0.20 c	104.81 ± 0.57 a	103.32 ± 0.48 b
	175	32.85 ± 0.18 d	34.62 ± 1.31 c	34.38 ± 0.74 c	97.48 ± 0.60 a	88.90 ± 0.44 b

2.2.2 对土壤酶活性的影响

由图 1A 可知, 至试验结束, 5 个处理转化酶活性的大小顺序为: T4 > T5 > T2 > T3 > T1。其中 T1 处理土壤转化酶活性基本无变化, T2 和 T3 处理转化酶活性略有升高; 而 T4 和 T5 处理转化酶活性最初显著提升, 于施肥后 130 d 左右达到峰值, 此时 T4、T5 处理分别为 32.45、20.65 mg/(g·d), 之后活性开始减弱, 但在各阶段均与其余 3 个处理表现出显著差异。至试验结束, T4 和 T5 处理转化酶活性分别比 T1 处理高出 180% 和 120%。此外, T4 和 T5 处理间也存在显著性差异, T4 处理转化酶活性及提升速度均显著高于 T5 处理, 如施肥后 175 d, T4 处理转化酶活性比 T5 处理高 30.7%。

5 个处理各阶段土壤脲酶活性的变化情况如图 1B 所示, 脲酶活性的变化趋势基本与转化酶活性的变化一致, T4 和 T5 处理脲酶活性均显著高于其他 3 个处理。施肥后 175 d, 土壤脲酶活性大小排序为 T4 > T5 > T2 ≈ T3 > T1, 其中, T4 和 T5 处理脲酶活性比 T1 处理分别提高了 3.9 倍和 2.7 倍, T4 处理脲酶活性比 T5 处理高出 33.4%。而整个试验过程中, T2 和 T3 处理间无显著性差异。

相比转化酶和脲酶对施肥处理的强烈响应, 过氧化氢酶活性变化较小。T4 和 T5 处理土壤过氧化氢酶活性表现为先增后减, 在施肥 175d 后, 二者与 T1 处理相比分别增加 8.9% 和 10.1%, 但二者间未表现出显著性差异。

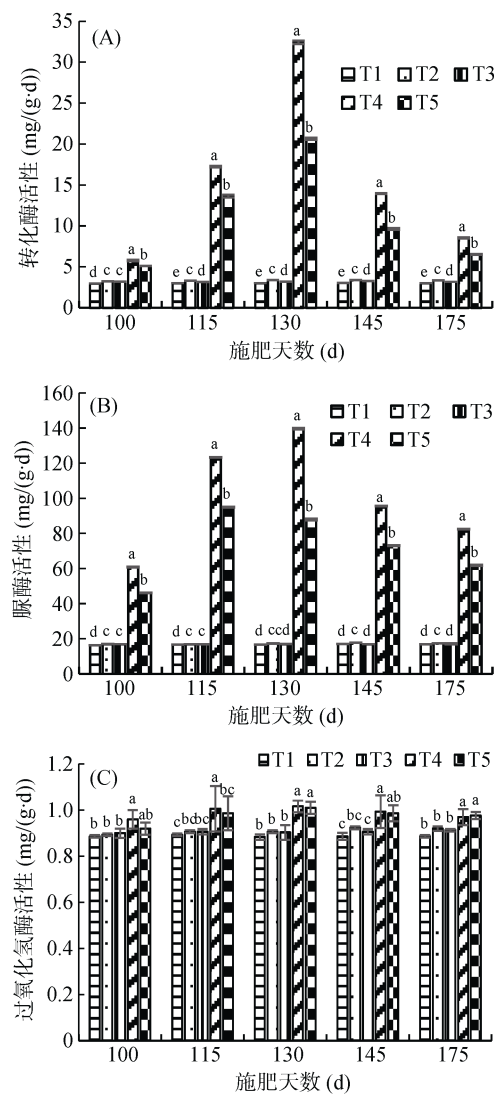


图 1 不同处理对酶活性影响
Fig. 1 Effects of different treatments on soil enzyme activities

2.3 土壤性质间的相关性

对施用藻-草-泥有机肥的 T4、T5 处理土壤微生物学特性指标与理化因子进行相关性分析(表 4)，由表 4 数据可知，T4 处理中 MBC 含量和 MBN 含量呈极显著正相关，二者与各理化因子间的相关性较为一致，均与全氮、全磷、有机质和腐殖酸含量存在显著或极显著相关性，与孔隙度、容重及 CEC 无显著相关性。说明相比于土壤的物理性质，化学因子对于提升土壤 MBC、MBN 氮效果更加明显。此外，MBC 和 MBN 含量与转化酶活性均存在显著相关性，与脲酶活性表现出极显著相关。除容重和孔隙度外，转化酶活性与其他指标皆呈现显著相关。脲酶活性与全氮、全磷、有机质和腐殖酸含量之间均为极显著相关，且相关系数较高。过氧化氢酶活性与孔隙度和容重表现为极显著相关，与其他指标间不存在显著相关性。同时转化酶活性与脲酶活性间表现出显著正相关性。

T5 处理中，各理化指标与 MBC 含量、MBN 含量、脲酶和转化酶活性间所呈现的相关性基本与 T4 处理中相同。差别在于 T5 处理的过氧化氢酶活性与有效磷、有机质、腐殖酸、MBC 及 MBN 含量之间存在显著相关性，而 T4 处理中未出现此现象。

2.4 藻-草-泥有机肥对作物产量的影响

由图 2 可知，施用了藻-草-泥有机肥的花生和大豆产量较未施肥处理大幅提升，分别增加了 21.1%、19.5%，差异达到显著水平($P<0.05$)。

3 讨论

本试验使用的土壤来自附近修建地铁时采挖的

表 4 土壤性质间的相关性
Table 4 Correlation coefficients among soil properties

处理		总氮	碱解氮	总磷	有效磷	有机质	腐殖酸	孔隙度	容重	CEC	MBC	MBN	转化酶	脲酶
T4	MBC	0.98**	0.77	0.961**	0.88*	0.96**	0.95*	-0.167	-0.040	0.787				
	MBN	0.98**	0.77	0.951**	0.87	0.97**	0.96**	-0.14	-0.063	0.776	0.99**			
	转化酶	0.91*	0.96**	0.889*	0.94*	0.97**	0.98**	0.009	-0.161	0.91*	0.90*	0.905*		
	脲酶	0.98**	0.79	0.967**	0.84	0.96**	0.96**	0.018	-0.223	0.852	0.98**	0.983**	0.928*	
	过氧化氢酶	-0.04	0.08	0.003	-0.21	-0.01	0.008	0.988**	-0.97**	0.277	-0.091	-0.072	0.103	0.099
T5	MBC	0.922*	0.830	0.958*	0.905*	0.940*	0.982*	0.158	-0.297	0.88*				
	MBN	0.936*	0.841	0.955*	0.895*	0.955*	0.991**	0.165	-0.302	0.876	0.99**			
	转化酶	0.909*	0.946*	0.940*	0.796	0.920*	0.957*	0.014	-0.132	0.826	0.938*	0.950*		
	脲酶	0.948*	0.631	0.818	0.781	0.868	0.924*	0.103	-0.249	0.719	0.948*	0.946*	0.833	
	过氧化氢酶	0.814	0.709	0.870	0.932*	0.960**	0.925*	0.565	-0.675	0.850	0.901*	0.906*	0.794	0.846

注：*、**分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平显著相关。

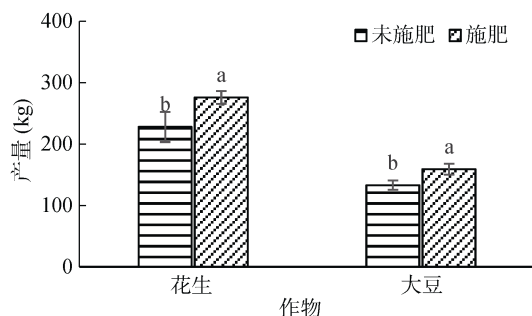


图 2 不同处理对作物产量的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on yields of peanut and soybean

地下深层土壤, 未曾经历过种植和施肥, 土壤各类指标的本底值较低。试验结果表明施用藻-草-泥有机肥可显著改善土壤理化性质。施肥后土壤中氮、磷和有机质等含量大幅增加, 土壤孔隙度提高, 容重降低, 这可能是因为有机肥本身孔隙度较高且容重低, 同时有机肥的施用促进了土壤中微生物的活性, 使得土壤物理结构得以优化, 养分含量获得提升。孙建等^[17]研究结果显示, 施用有机肥可调节土壤容重与孔隙度, 土壤各养分不同程度提高, 而单施化肥的优势并不明显。这是因为有机肥料依靠土壤本身的周期性水热循环活动, 为微生物繁殖和活动提供了良好的环境, 使的有机肥通过腐殖化阶段后形成保水保肥力高的腐殖质, 从而提高土壤肥力^[18]。而有机肥对 CEC 的影响主要是通过调控土壤中有机质的含量来间接实现, 二者之间存在一定的正相关性, 有机质含量越高, CEC 越大^[19]。相对于全量养分的变化, 有效磷和碱解氮的增加速度和增加量更加显著, 皆成倍增加。土壤的有效磷含量可以反映土壤本身的供磷水平, 在短期施肥的情况下, 有机肥本身含有的部分较易分解的有机磷被释放入土壤中, 直接进入土壤的速效养分库, 使得土壤中的有效磷大幅度增加。施用有机肥可短时间内快速提升土壤中有效磷的含量^[20-21]。邱现奎等^[22]通过田间试验发现, 在花生的整个生育期间施用有机肥处理的土壤中各养分含量都高于化肥处理。此外大量资料^[23-24]都指出施用有机肥在改善土壤理化性质方面较化肥具有明显优势。本研究未施肥的 3 个处理可能因为无外源营养物质输入, 只能依靠土壤中原有微生物及较为微弱的作物根系作用来维持各项养分的稳定, 所以其养分含量基本不变。而在施肥条件一致的情况下, 种植作物的种类对土壤中氮磷等元素转化的效果也不同。如施肥 175 d 后, 大豆土壤中主要的养分含量都显著高于花生土壤, 其中全氮含量高 0.17 g/kg, 有机质高 5.04 g/kg, CEC 高 0.55 cmol/kg。可见, 大豆的培肥效果要优于花生,

这可能是由于大豆根部的固氮微生物作用的效果。

关于施用有机肥对土壤中 MBC、MBN 含量的影响较为一致, 普遍认同施用有机物料可以显著地提高土壤二者的含量^[25-27]。T4 和 T5 处理中 MBC、MBN 含量与其他 3 个处理差异达显著水平, 是因为有机肥料本身携带了较多数量的微生物, 故随着有机肥的施入, 土壤中微生物数量和种类增加。此外, 施用有机物料可培肥土壤且改善土壤结构, 加速有机碳分解, 增强土壤同化作用^[28], 为土壤中微生物的生存提供了充足的营养及适宜的生存环境, 更有益于微生物的繁殖。陈桂芬等^[29]研究了不同施肥处理对土壤微生物生物量的影响, 其结果表明 MBC、MBN 的增加量都是有机肥处理高于化肥处理, 另外, 张奇春等^[30]研究认为, 适量化肥的施用有助土壤中微生物生物量的提高, 但应严格控制化肥用量, 否则将会对其产生有害影响。本次试验中土壤 MBC 和 MBN 含量与有机质及全氮含量表现出极显著性正相关性, 可知 MBC 和 MBN 含量的变化趋势与有机质及全氮含量变化趋势较为一致, 此结论也与李娟等^[31]相同。T1 处理中 MBC 和 MBN 含量基本不变, T2 与 T3 处理中含量增加, 可能是由于根系分泌物及植物根部微生物作用产生的影响。由此可推断, 种植作物对于改善土壤中微生物生物量具有一定的促进作用。

本试验中脲酶和转化酶活性在施肥处理后均显著提升, 与王灿等^[32]大部分人的研究基本一致。且二者与全氮、全磷、有机质及腐殖酸含量呈显著相关, 可充分反映出脲酶和转化酶活性对有机肥培肥的积极响应。武晓森等^[33]的研究结果显示, 脲酶活性对于有机肥的响应程度要大于化肥。本研究中过氧化氢酶的活性变化与任祖淦等^[34]报道的长期施肥可以提高土壤过氧化氢酶活性的结论相同。但也有一些研究^[35]认为过氧化氢酶活性在施肥处理间差异较小。过氧化氢酶活性与土壤有机质及阳离子交换量之间存在一定相关性^[36]。但此结论在 T4 处理中并未体现, 可能是由于所研究的土壤类型、施肥方式及肥料用量不同, 及施肥时间较短土壤中有机质及阳离子交换量的转化行为还不明显导致。而陈欢等^[37]指出, 单独施用化肥处理的土壤中脲酶、转化酶及过氧化氢酶活性因为受到抑制导致活性降低, 而施用有机肥可显著提高此 3 种酶的活性。从相关性分析结果来看, 一种酶活性与多个肥力因子间呈现出显著或极显著的相关性, 而各类酶之间也存在着互相促进或互相制约的密切联系。

本试验中, 施用藻-草-泥有机肥后大豆、花生增

产幅度较高,超出了常规增产效应,这是因为试验土壤未曾耕作过,其氮、磷、有机质等含量均较低,土壤理化性状也不适合大豆、花生的生长,施肥后大幅度增加了土壤的营养成分,显著改善了土壤的理化性状和微生物活性。但在常规土壤上施用藻-草-泥有机肥的增产效应有待进一步研究。

然而,由于藻-草-泥有机肥原料的特殊性,一些有害元素诸如重金属等可能引起的安全隐患也值得关注。经过安全性评价,本试验藻-草-泥有机肥中5种重金属(Pb、As、Cr、Cd、Hg)含量符合有机肥料的重金属安全标准,其综合污染指数远低于标准值。另外,从材料的来源上分析,韩小勇^[38]的研究结果表明,巢湖水体以富营养化污染为主,主要表现为氮磷等营养元素的高度超标,重金属等其他污染并不十分显著。刘伟等^[39]对巢湖清淤合肥项目区域污染底泥调查结果显示,底泥中Pb、Cr、Cd、As的含量对巢湖尚不构成潜在生态危害。童华军等^[40]对巢湖水体及沉积物中的Cu、Pb、Cd、Cr等元素进行检测表明,巢湖水体中重金属含量偏低。基于此类研究可间接证明巢湖中蓝藻、水草和底泥中富集的重金属含量较低。至于其他湖泊或河道的藻、草、泥是否可作为肥料利用,需要对其进行安全性评价。

4 结论

施用藻-草-泥有机肥可显著改善土壤性质,提高土壤中氮、磷、有机质及速效养分等的含量,微生物生物量碳、氮等含量的提升较为显著,土壤中脲酶和转化酶的活性也随着藻-草-泥有机肥的施用明显增强,并且对作物产量具有显著增产效应。

参考文献:

- [1] 韩士群,李辉东,严少华,等.太湖蓝藻藻蛋白的提取及纯化[J].江苏农业学报,2012,28(4):777-782
- [2] 刘海琴,韩士群,严少华,等.太湖蓝藻厌氧发酵后沼液的肥效[J].江苏农业学报,2011,27(4):770-774
- [3] 朱守诚,苗春光,武艳,等.蓝藻有机肥的制备及其对水稻生长的影响[J].安徽农业科学,2013,41(4):1513-1514,1582
- [4] 冯瑞兴,施洁君,何青,等.水葫芦有机肥对小白菜产量品质及土壤肥力的影响[J].浙江农业科学,2017,58(6):932-936
- [5] 王芳,张金水,高鹏程,等.不同有机物料培肥对渭北旱源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
- [6] Yan D Z, Wang D J, Yang L Z. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on labile organic matter fractions in a paddy soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2007, 44: 93-101
- [7] 祝英,王治业,彭轶楠,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
- [8] 柳玲玲,苟久兰,何佳芳,等.生物有机肥对连作马铃薯及土壤生化性状的影响[J].土壤,2017,49(4):706-711
- [9] 康亚龙,景峰,孙文庆,等.加工番茄连作对土壤理化性状及微生物量的影响[J].土壤学报,2016,53(2):533-542
- [10] 徐阳春,沈其荣,冉炜.长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J].土壤学报,2002,39(1):89-96
- [11] 张静,杨江舟,李华兴,等.生物有机肥对大豆红冠腐病及土壤酶活性的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(3):548-554
- [12] 马宁宁,李天来,武春成,等.长期施肥对设施菜田土壤酶活性及土壤理化性状的影响[J].应用生态学报,2010,21(7):1766-1771
- [13] 孙薇,钱勋,高华,等.生物有机肥对秦巴山区核桃园土壤微生物群落和酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(5):1224-1233
- [14] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2002
- [15] Jenkinson D S, Brookes P C, Powlson D S. Measuring soil microbial biomass[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004,36(1):5-7
- [16] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986
- [17] 孙建,刘苗,李立军,等.不同施肥处理对土壤理化性质的影响[J].华北农学报,2010,25(4):221-225
- [18] 王芳,张金水,高鹏程,等.不同有机物料培肥对渭北旱源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
- [19] 范庆,虞娜,张玉玲.设施蔬菜栽培对土壤阳离子交换性能的影响[J].土壤学报,2014,51(5):1133-1137
- [20] 刘馨,祁娟霞,张雪艳,等.有机营养肥料对设施连作番茄生长及土壤肥力的影响[J].中国蔬菜,2017(7):49-53
- [21] 赵沛义,段玉,王妥德,等.施肥对甜菜产量物质积累和养分吸收规律的影响[J].华北农学报,2008,23(6):199-202
- [22] 邱现奎,董元杰,万勇善,等.不同施肥处理对土壤养分含量及土壤酶活性的影响[J].土壤,2010,42(2):249-255
- [23] 贺维,张炜,胡庭兴,等.施肥对1年生桉楠幼苗生长及主要土壤肥力指标的影响[J].应用与环境生物学报,2015,21(1):129-138
- [24] 隋宗明,殷洁,袁玲,等.紫茎泽兰堆肥的质量及对土壤有机质、养分和微生物的影响[J].土壤,2017,49(3):527-533
- [25] Bohme L, Langer U, Bohme F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2005, 109(1/2):141-152
- [26] Peacock A D, Mullen M D, Ringelberg D B, et al. Soil microbial community responses to dairy manure or

- ammonium nitrate application[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33(7/8): 1011–1019
- [27] 高嵩涓, 曹卫东, 白金顺, 等. 长期冬种绿肥改变红壤稻田土壤微生物生物量特性[J]. *土壤学报*, 2015, 52(4): 902–910
- [28] 王利利, 杜相革, 董民, 等. 不同碳氮比有机肥对有机农业土壤微生物生物量的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(9): 1073–1077
- [29] 陈桂芬, 刘忠, 黄雁飞, 等. 不同施肥处理对连作蔗田土壤微生物量、土壤酶活性及相关养分的影响[J]. *南方农业学报*, 2015, 46(12): 2123–2128
- [30] 张奇春, 王雪芹, 时亚南, 等. 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
- [31] 李娟, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期有机无机肥料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
- [32] 王灿, 王德建, 孙瑞娟, 等. 长期不同施肥方式下土壤酶活性与肥力因素的相关性[J]. *生态环境*, 2008, 17(2): 688–692
- [33] 武晓森, 周晓琳, 曹凤明, 等. 不同施肥处理对玉米产量及土壤酶活性的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2015(1): 44–49
- [34] 任祖淦, 陈玉水, 张逸清, 等. 有机无机肥料配施对土壤微生物和酶活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 1996, 2(3): 279–283
- [35] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 等. 长期定位施肥田土壤酶活性的动态变化特征[J]. *生态环境*, 2008, 17(5): 2059–2063
- [36] 盘莫谊, 谭周进, 李倩, 等. 早稻秸秆还田对次年早稻土微生物及酶的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(2): 380–386
- [37] 陈欢, 李玮, 张存岭, 等. 淮北砂姜黑土酶活性对长期不同施肥模式的响应[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(3): 495–502
- [38] 韩小勇. 巢湖水质调查与研究[J]. *水资源保护*, 1998(3): 24–28
- [39] 刘伟, 陈振楼, 许世远, 等. 上海市小城镇河流沉积物重金属污染特征研究[J]. *环境科学*, 2006, 27(3): 24–28
- [40] 童华军, 黄祥明, 陈勇. 巢湖水体重金属污染评价[J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(17): 4373–4374

Effects of Organic Fertilizer Made from Algae-Grass-Mud in Chaohu Lake on Soil Properties

CHEN Ting, HAN Shiqun*, ZHOU Qing

(*Institute of Agricultural Resource and Environmental Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China*)

Abstract: Organic fertilizer was made from cyanobacteria, macrophytes and sediment salvaged from Chaohu Lake by the high temperature composting and its effects on crop yield, soil physiochemical properties and microbial characteristics were studied through a field experiment. The results showed that this algae-grass-mud organic fertilizer could significantly increased soybean and peanut yields, the values of total nitrogen (TN), alkali solution nitrogen, total phosphorus (TP), Olsen phosphorus, organic matter, humic acid, soil porosity and CEC, significantly reduced soil bulk density. Compared with the treatment of non plant and non fertilization (T1), soil MBC and MBN of fertilization-planting soybean (T4) and fertilization-planting peanut (T5) increased by 116.5%, 97.8%, and 196.7%, 170.6%, respectively; the activities of invertase, urease and catalase in T4 and T5 treatments increased by 183%, 392%, 8.9% and 116%, 268%, 1.01%, respectively. In addition, significant correlation was found among soil MBC, MBN and soil TN, TP, organic matter, humic acid, invertase and urease activities. No significant correlation existed between catalase activity and soil fertility factors in T4 treatment, However, significant correlation was found among urease activity, Olsen phosphorus, organic matter, humic acid, soil MBC and MBN in T5 treatment. It is feasible to recycling use cyanobacteria, macrophytes and sediment salvaged in Chaohu Lake in producing organic fertilizer.

Key words: Algae-grass-mud organic fertilizer; Soil physiochemical properties; Microbial biomass carbon and nitrogen; Enzyme activity; Yield