

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

王芳, 张金水*, 高鹏程, 同延安

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 通过田间试验,研究了施用不同有机物料对渭北旱塬耕地土壤微生物学特性及土壤肥力的影响。结果表明,化肥与不同有机物料配合施用,土壤微生物学特性[微生物量碳(MBC)、微生物量氮(MBN)、脲酶、碱性磷酸酶]以及部分土壤养分状况(全氮、速效磷、速效钾、阳离子交换量)比单施化肥处理有进一步改善。化肥配施秸秆堆肥处理效果最明显,其中 MBC 增加了 41.96%, MBN 增加了 54.55%, 脲酶活性增加了 19.71%, 碱性磷酸酶活性增加了 7.35%, 速效磷增加了 63.12%; 而且土壤微生物量碳、氮与速效磷、阳离子交换量呈显著正相关,微生物商(qMB)、脲酶活性、碱性磷酸酶活性与全氮、速效氮、速效钾含量呈显著相关;同时 SMBC、SMBN、qMB 等与作物产量密切相关(相关系数分别为 0.85、0.74、0.82)。因此,化肥配施秸秆堆肥处理在渭北旱地雨热条件下对于全面提升土壤质量具有重要的意义;该区域土壤中微生物量碳、氮与土壤养分状况、作物产量具有很好的一致性,可以表征土壤肥力状况及生产力水平。

关键词: 有机肥; 培肥; 土壤微生物量; 土壤肥力

中图分类号: S154.3; S141

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2011)03-0702-08

Effects of application of different organic materials on soil microbiological properties and soil fertility in Weibei rainfed highland

WANG Fang, ZHANG Jin-shui*, GAO Peng-cheng, TONG Yan-an

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A field experiment was carried out to study the effect of application of different organic materials on soil microbiological properties such as soil microbial biomass and soil fertility in Weibei rainfed highland. The results showed that the organic treatments ($T_2 - T_6$) improved soil microbiological properties [soil microbial biomass C (MBC) & N (MBN), urease activity, alkaline phosphatase activity] and some nutrient situation (soil total nitrogen, available phosphorus, available potassium and CEC) compared with CK, especially in the mineral fertilizers plus straw compost treatment (T_5). As follows, MBC, MBN, urease activity, alkaline phosphatase activity and available phosphorus increased by 41.96%, 54.55%, 19.71%, 7.35%, 63.12% respectively. Both of MBC & MBN had positive significant correlation with available phosphorus, CEC, and qMB, urease activity, alkaline phosphatase activity were with a significant correlation to soil total nitrogen, available nitrogen, available potassium. Meanwhile, there were closely correlation between MBC, MBN, qMB with crop yield (the correlation coefficient were 0.85, 0.74, 0.82 respectively). Consequently, mineral fertilizers plus straw compost treatment have profound significance on enhance soil quality comprehensively in Weibei rainfed highland. Also MBC & MBN could characterize soil fertility and productivity levels for its agreement with soil nutrient condition and crop yield.

Key words: organic materials; building up soil fertility; soil microbial biomass; soil fertility

收稿日期: 2010-09-23

接受日期: 2011-01-19

基金项目: 青年科学基金项目(Z109021009); 农业公益性行业科研专题(200803031); 国家科技支撑计划项目(2006BAD05B07)资助。

作者简介: 王芳(1983—),女,陕西汉中,人,博士研究生,主要从事土壤培肥与植物营养方面研究。

Tel: 029-87080045, E-mail: wangfang200811@yahoo.cn.

* 通讯作者 E-mail: changsui@21cn.com

土壤是人类赖以生存的基础,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紧密相关。土壤微生物生物量、土壤呼吸和酶活性等生物学特性比土壤有机质、养分含量等其他理化性状能更敏感地对土壤质量的变化做出响应^[1]。土壤微生物量是土壤有机质和土壤养分转化、循环的动力,也是土壤养分贮存库和植物生长可利用养分的重要来源,其对土壤环境因子的变化极为敏感。土壤酶是土壤生态系统代谢的又一类重要动力,它是土壤生物学活性的总体现,表征了土壤的综合肥力特征及其变化状况,是评价土壤肥力水平的重要指标。

施肥是影响土壤质量演化及其可持续利用最为普遍的农业措施之一。近 20 年来,研究土壤的生物学特性在土壤肥力与质量中的作用不断加强。许多研究表明,施用有机物料不但可以显著地提高土壤微生物量碳、氮的含量以及土壤酶活性,并且随着有机肥施用量的增大,其效果越明显^[2-4]。这主要是因为有机肥料依靠日变幅较小的土壤水热动态周期性变化,给微生物活动创造一个良好的环境,使它能够通过腐殖化阶段,形成保水保肥力高的腐殖质,从而提高土壤肥力及作物产量和品质^[5]。

然而,前人的研究大多集中在施用化肥或有机肥对一种或两种土壤微生物学指标的影响,而在我国系统的研究施用不同用量的有机物料及采用不同有机物料还田方式等措施对土壤生物量、土壤酶活性等多种土壤微生物学指标的影响较少,特别是以定位试验为平台,研究不同有机培肥模式对旱地土壤微生物学特性的影响更少。因此,本研究以陕西合阳县甘井旱农肥料试验监测基地的定位试验为依托,通过施用不同有机物料培肥土壤,探讨有机物料对旱地土壤微生物学特性及土壤肥力的影响,为寻求合理的培肥措施提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

田间试验在西北农林科技大学甘井旱农试验基地进行。该基地位于陕西省合阳县甘井村(N 35° 19'87'', E 110°05'22''),海拔高度约 880 m,年均降水量 572 mm,年蒸发量 1833 mm,年均温度 9 °C ~ 10 °C,全年无霜期 160 ~ 200 d, ≥10 °C 积温 2800 °C ~ 4000 °C,冬春干旱,四季多风。田间试验于 2007 年 9 月开始。供试土壤(0—20 cm)基本性状为有机质含量 12.5 g/kg、全氮 0.81 g/kg、速效磷 10.7 mg/kg、速效钾 108 mg/kg、pH 8.24。

试验共设 7 个处理:1) 不施肥(CK); 2) 施用化肥(T₁); 3) 化肥 + 低量秸秆(玉米茎叶 3750 kg/hm²,干质量,下同,T₂); 4) 化肥 + 中量秸秆(玉米茎叶 7500 kg/hm²,T₃); 5) 化肥 + 高量秸秆(玉米茎叶 15000 kg/hm²,T₄); 6) 化肥 + 秸秆堆肥(7500 kg/hm²,T₅); 7) 化肥 + 厩肥(15000 kg/hm²,T₆),重复 3 次,随机区组设计,小区面积为 27 m²(4.5 m × 6 m)。除 CK 外,各处理化肥施用量均为 N 150 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 60 kg/hm²,化肥品种为尿素、磷酸二铵和硫酸钾。秸秆堆肥(干物料含有有机碳 30%、全氮 0.91%、全磷 0.36%、全钾 0.65%)为粉碎的玉米秸秆(干物料含有有机碳 45%、全氮 0.92%、全磷 0.15%、全钾 1.18%)加入少量鸡粪及 EM 菌剂堆制而成。厩肥为农户垫土牛圈粪(干物料含有有机碳 15%、全氮 0.95%、全磷 0.35%、全钾 1.23%)。有机物料施用量的确定主要依据有机碳的含量,并考虑了当地实际情况和经济因素。秸秆堆肥与厩肥的有机碳用量基本相当。粉碎的玉米秸秆、秸秆堆肥、厩肥及化肥均于冬小麦播种前作为基肥一次性施入。供试作物为冬小麦,品种为晋麦 47 号。基本苗密度约 270 × 10⁴ 株/hm²。

1.2 采样及测定项目与方法

2009 年小麦收获后采集 0—20 cm 耕层土壤样品,各小区按照 S 形 5 点采样。剔除杂物后混合制样,过 2 mm 筛后,于 4 °C 冰箱内保存,进行土壤微生物量碳、氮含量的测定;部分样品风干后分别过 1 mm 和 0.15 mm 筛,进行土壤酶活性的测定。

土壤微生物量碳、氮用氯仿熏蒸法测定^[6-7]。称取过 2 mm 筛的新鲜土样每份 12.5 g 置于胶卷盒中,将其置于底部盛有少量 NaOH 和去乙醇氯仿(约 2/3 烧杯)的真空干燥器中,抽真空后保持氯仿沸腾 3 ~ 5 min,然后将干燥器移置在黑暗条件下,熏蒸土壤 24 h,再次抽真空完全去除土壤中的氯仿,将熏蒸好的土壤全部转移到 150 mL 的三角瓶中,加入 50 mL 0.5 mol/L K₂SO₄ 提取液(土水比为 1:4),振荡 30 min(200 r/min)后过滤。同时设未熏蒸空白和试剂空白,每份土壤重复 3 次。

土壤微生物量碳(MBC)用 TOC 分析仪测定。按下式计算:

$$\text{MBC}(\text{mg}/\text{kg}) = E_c/K_c$$

式中: E_c 表示未熏蒸与熏蒸对照土壤的浸取有机碳的差值; K_c 为转换系数,取值 0.45。

土壤微生物量氮(MBN)用紫外分光光度计测定。计算式为:

$$\text{MBN}(\text{mg/kg}) = E_N / K_N$$

式中: E_N 为熏蒸与未熏蒸对照土壤矿质态氮的差值; K_N 为转换系数, 取值 0.45。

土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶分别采用靛酚比色法、硫代硫酸钠滴定法、磷酸苯二钠比色法测定^[8]; 土壤有机质采用重铬酸钾稀释热法, 全氮采用凯氏定氮法, 全磷、全钾采用 NaOH 熔融—钼锑抗比色法、火焰光度计法测定; 土壤速效氮采用 1 mol/L KCl 浸提—流动分析仪法, 速效磷采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法, 速效钾采用 1 mol/L NH₄OAc 浸提—火焰光度计法测定^[9]; pH 采用水土比为 2.5:1 的电位法测定。

试验数据采用 Excel 2003、DPS (Data Processing System) 7.05 统计软件进行方差分析和多重比较 (LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 不同有机培肥措施对土壤化学性质的影响

经过 2 年土壤有机培肥后, 土壤化学性质发生

了变化。表 1 看出, 与不施肥 (CK) 相比, 施肥处理可以提高土壤有机质、全氮、阳离子交换量、速效氮、速效钾含量; 与 NPK 处理 (T₁) 相比, 各有机培肥处理有机质含量、全量养分 (全氮、全磷、全钾) 大体均呈现出增加的趋势, 但差异并不显著; 而速效养分及阳离子交换量则呈明显的增加趋势。其中 NPK 配施秸秆堆肥处理 (T₅) 培肥效果最明显, CEC 增加了 11.82%, 速效氮、速效磷、速效钾含量均表现出增加趋势, 其中速效磷增加幅度达 63.12%; NPK 配施低、中、高量玉米秸秆处理 (T₂、T₃、T₄) 的有机质、全氮、CEC、速效氮均有所增加, 以 T₄ 处理下土壤全氮、CEC 增加幅度最大, 分别为 3.65% 和 10.71%。NPK 配施厩肥处理 (T₆) 土壤中 CEC 含量也明显高于 NPK 处理, 而有机质、全氮、速效磷、速效钾增加不明显。所有有机培肥处理的有机质、全氮、CEC、速效氮、速效钾含量都明显高于 CK 处理。施用有机物料处理 C/N 与 CK 相比有所降低, 其中 T₄、T₅、T₆ 处理的 C/N 又低于 NPK 处理, 但差异不显著。

表 1 不同有机培肥措施对土壤化学性质的影响

Table 1 Effects of different organic materials application on soil physico-chemical properties

处理 Treatment	有机质 OM (g/kg)	全氮 Tot. N (g/kg)	全磷 Tot. P (g/kg)	全钾 Tot. K (g/kg)	C/N
CK	12.40 ± 1.36 b	0.79 ± 0.03 b	0.41 ± 0.05 a	12.79 ± 0.29 a	9.05 ± 0.77 a
T ₁	12.81 ± 0.89 ab	0.85 ± 0.02 ab	0.44 ± 0.01 a	13.21 ± 0.25 a	8.77 ± 0.40 a
T ₂	13.05 ± 0.51 ab	0.86 ± 0.01 a	0.41 ± 0.06 a	13.23 ± 0.57 a	8.82 ± 0.23 a
T ₃	13.58 ± 1.18 ab	0.87 ± 0.05 a	0.42 ± 0.05 a	13.27 ± 0.40 a	9.07 ± 0.26 a
T ₄	12.91 ± 1.91 ab	0.88 ± 0.05 a	0.43 ± 0.01 a	13.38 ± 0.12 a	8.49 ± 0.83 a
T ₅	12.68 ± 0.97 ab	0.88 ± 0.04 a	0.45 ± 0.00 a	13.25 ± 0.06 a	8.38 ± 0.54 a
T ₆	12.96 ± 1.07 a	0.87 ± 0.06 a	0.43 ± 0.01 a	13.23 ± 0.81 a	8.69 ± 0.44 a
处理 Treatment	CEC (mg/kg)	速效氮 Avail. N (mg/kg)	速效磷 Avail. P (mg/kg)	速效钾 Avail. K (mg/kg)	pH
CK	16.78 ± 0.68 e	20.61 ± 8.33 b	6.41 ± 0.12 b	117.16 ± 2.64 c	8.33 ± 0.06 a
T ₁	18.06 ± 0.24 d	28.51 ± 7.45 ab	8.97 ± 2.90 b	148.10 ± 10.39 ab	8.33 ± 0.01 a
T ₂	18.54 ± 0.40 cd	31.78 ± 2.28 a	8.29 ± 1.62 b	139.50 ± 12.45 b	8.32 ± 0.03 a
T ₃	20.20 ± 1.02 ab	32.27 ± 5.35 a	10.39 ± 1.75 b	143.28 ± 15.81 ab	8.33 ± 0.06 a
T ₄	20.22 ± 0.33 ab	33.38 ± 11.30 a	8.74 ± 3.69 b	152.50 ± 15.06 ab	8.21 ± 0.01 b
T ₅	20.48 ± 0.35 a	35.92 ± 14.07 a	24.32 ± 6.14 a	158.96 ± 6.91 a	8.32 ± 0.02 a
T ₆	19.25 ± 1.26 bc	33.84 ± 3.5 a	11.76 ± 1.97 b	152.00 ± 8.10 ab	8.33 ± 0.01 a

注 (Note): 不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Different letters mean significant at 5% level among treatments. C/N 为有机碳/全氮 Organic C/total N.

2.2 不同有机培肥措施对土壤微生物学特性的影响

2.2.1 土壤微生物量碳氮(MBC、MBN)、微生物商(qMB)及土壤微生物群落结构 土壤微生物生物量对土壤环境因子的变化极为敏感,土壤的微小变动均会引起其活性变化^[10]。表2显示,在各施肥处理中,MBC、MBN含量趋势大体一致,均以CK处理最低,NPK配施秸秆堆肥(T₅)处理最高,表现出明显的培肥效果。其顺序为NPK配施秸秆堆肥处理(T₅)>NPK配施厩肥处理(T₆)>NPK配施低、中、高量秸秆处理(T₂、T₃、T₄)>NPK处理>CK。其中,NPK配施秸秆堆肥(T₅)处理的MBC、MBN含量明显高于低、中、高量秸秆处理(T₂、T₃、T₄);而NPK配施作物秸秆的3个处理的MBC含量差异并不明显。不同有机培肥措施下微生物量碳为156.48~452.95 mg/kg,微生物量氮为16.57~47.68 mg/kg。NPK与作物秸秆配施和NPK与厩肥配施均有利于提高MBC、MBN,这与前人研究结果相符^[11-12]。

微生物商(qMB)是指土壤微生物量碳占土壤有机碳含量的百分比(MBC/SOC)^[13-14],可以指示土壤进化和土壤健康的变化,一般土壤中的微生物商值为1%~4%^[15]。表2表明,不同培肥处理下土壤qMB范围介于2.20%~6.18%之间,各施肥处理qMB显著高于CK,这是因为施肥能够增加生物产量,改善土壤环境,有利于土壤有机质的降解和微生物量碳的增加。其中NPK配施秸秆堆肥处理(T₅)的qMB最大,其次是T₆、T₄,而NPK配施不同量玉米秸秆3个处理的qMB差异并不明显。

土壤微生物量碳与氮的比值(MBC/MBN)能够反映微生物群落结构信息,一般情况下细菌碳氮比在5:1左右,放线菌在6:1左右,而真菌在10:1左右^[16]。CK处理的MBC/MBN最低,这是因为其土壤中微生物量较低的原因。除了NPK处理与NPK配施高量秸秆处理下MBC/MBN较高外,其余处理均无明显差异,且在10:1左右(表2)。说明这些处理的土壤微生物群落中可能以真菌为主。

表2 不同有机培肥措施对土壤微生物量碳、氮的影响(0—20 cm)

Table 2 Effects of different organic materials application on SMBC and SMBN in the 0—20 cm soil layer

处理 Treatments	微生物量碳 MBC (mg/kg)	微生物量氮 MBN (mg/kg)	微生物商 qMB (MBC/SOC) (%)	MBC/MBN
CK	156.84 ± 5.17 e	16.57 ± 1.25 f	2.20 ± 0.22 d	9.49 ± 0.44 b
T ₁	262.90 ± 11.96 d	21.17 ± 2.68 e	3.55 ± 0.24 c	12.51 ± 1.13 a
T ₂	279.33 ± 8.99 cd	27.49 ± 1.83 d	3.69 ± 0.05 c	10.19 ± 0.64 b
T ₃	299.00 ± 31.63 c	31.12 ± 3.14 c	3.84 ± 0.71 c	9.73 ± 1.87 b
T ₄	301.10 ± 16.92 c	25.20 ± 0.85 d	4.06 ± 0.38 c	11.95 ± 0.47 a
T ₅	452.95 ± 9.32 a	47.68 ± 0.86 a	6.18 ± 0.56 a	9.50 ± 0.03 b
T ₆	379.88 ± 3.41 b	39.48 ± 0.80 b	5.08 ± 0.43 b	9.62 ± 0.25 b

注(Note):数值后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters mean significant at 5% level among treatments. SOC—土壤有机碳 Soil organic carbon.

2.2.2 土壤酶活性 脲酶与土壤供氮能力密切相关,能够表征土壤氮素的供应程度^[17]。从土壤脲酶活性对施肥处理的响应(图1A)可以看出,单施化肥处理比CK处理脲酶活性提高了21.07%,各有机培肥处理脲酶活性均大于单施化肥处理;其中,秸秆堆肥处理增加最明显,达到19.71%,且随施用的有机物料用量的增加,脲酶活性呈增大趋势。

土壤磷酸酶活性是指示土壤磷素状况的灵敏指标。图1B看出,磷酸酶活性总体呈现出增加趋势。与单施化肥处理相比,NPK配施有机肥处理能明显提高磷酸酶活性,特别是施用秸秆堆肥(T₅),提高

幅度为7.93%;添加有机物料显著提高了土壤磷酸酶活性,增加了土壤供磷能力。

蔗糖酶活性的大小反映了土壤有机碳积累与分解转化的规律。图1C显示,除厩肥处理外,施肥各处理均不同程度地高于CK处理;但除高量秸秆处理下蔗糖酶活性显著地高于其它处理外,低量秸秆、中量秸秆以及秸秆堆肥等处理间的蔗糖酶活性差异不明显。

2.3 土壤微生物学特性与土壤化学性质的相关性

6个施肥处理下土壤养分含量比CK都有所增加,土壤微生物学特性有所提高。相关性分析(表3)

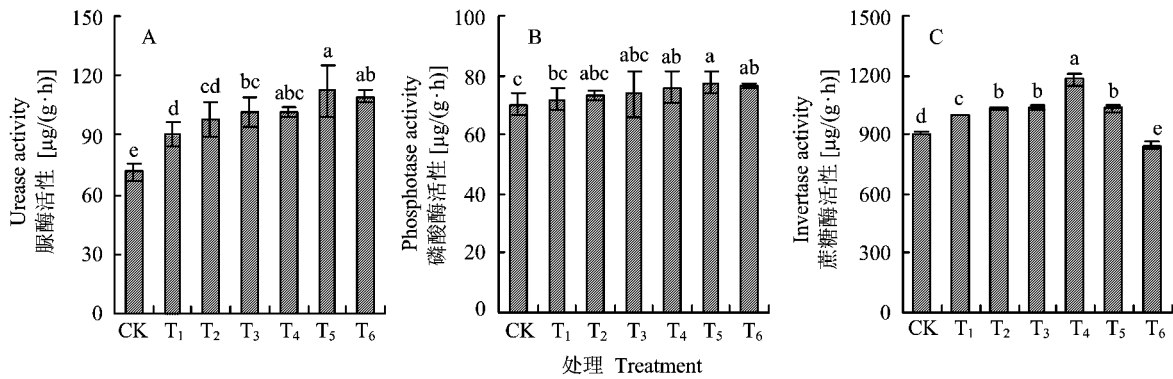


图1 不同有机培肥措施对土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性的影响

Fig. 1 Effects of different organic materials application on urease, alkaline phosphatase and invertase activities in the 0–20 cm soil layer

[注(Notes): 柱上不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant at 5% level among treatments]

表3 不同有机培肥措施下土壤微生物学特性与土壤基本化学性质的相关系数

Table 3 Correlative coefficients between soil microbial properties and soil chemical properties in different organic materials application treatments

相关系数 Correlation	有机质 OM	全氮 Tot. N	全磷 Tot. P	全钾 Tot. K	CEC	速效氮 Avail. N	速效磷 Avail. P	速效钾 Avail. K	pH
微生物量碳 MBC	0.21	0.82*	0.72*	0.65	0.80*	0.90**	0.86**	0.88**	-0.08
微生物量氮 MBN	0.20	0.68	0.6	0.47	0.72*	0.81*	0.88**	0.72*	0.01
微生物商 qMB	0.14	0.79*	0.76*	0.61	0.77*	0.87**	0.88**	0.87**	-0.08
MBC/MBN	-0.02	0.17	0.21	0.4	-0.03	0.01	-0.33	0.27	-0.09
脲酶 Urease	0.47	0.94**	0.55	0.83*	0.89**	0.99**	0.67	0.91**	-0.23
蔗糖酶 Invertase	0.26	0.51	0.1	0.6	0.53	0.37	0.05	0.36	-0.64
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.21	0.86**	0.67	0.71*	0.87**	0.91**	0.73*	0.87**	-0.41

注(Notes): * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

表明,微生物量碳与速效磷的含量呈极显著正相关,与全磷、速效氮、速效钾呈显著正相关;微生物量碳、微生物量氮又均与 CEC 呈显著正相关,这与前人研究结论一致^[18-19],进一步证实土壤微生物量碳、氮可以作为表征土壤肥力的敏感因子。微生物商与速效氮、速效磷、速效钾含量呈极显著正相关,与全氮、全磷、CEC 含量呈显著正相关;脲酶、碱性磷酸酶活性均与全氮、CEC、速效氮、速效钾含量呈极显著正相关;蔗糖酶活性与土壤养分含量之间不存在相关性,土壤生物学特性因子与土壤有机质也不存在相关性,这可能由培肥时间较短,土壤中有机碳变化缓慢所致。

2.4 土壤微生物学特性与作物产量的相关性

图2显示,各施肥处理间小麦产量无明显差异,但与对照差异达显著水平。相关分析表明,除蔗糖酶活性、MBC/MBN 与小麦产量之间无相关性外,其

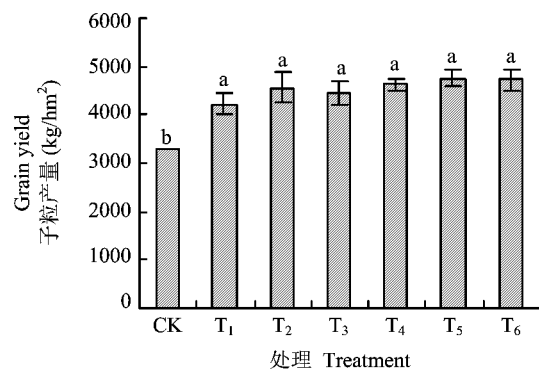


图2 不同有机培肥措施对冬小麦产量的影响

Fig. 2 Effect of different organic materials application on yield of winter wheat

[注(Notes): 柱上不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant at 5% level among treatments.]

余指标与产量之间均存在极显著或者显著相关关系,其中,微生物量碳、脲酶活性、碱性磷酸酶活性与小麦产量之间呈极显著正相关(r 分别为0.85**、0.97**、0.86**);微生物商、微生物量氮与小麦产量之间呈显著正相关(r 分别为0.82*、0.74*)。

3 讨论

3.1 不同有机培肥措施对土壤化学性质的影响

本研究中 NPK 与秸秆堆肥配施处理明显改善了土壤养分状况,土壤阳离子交换量、速效磷、速效钾含量最高,这与 Goyal 等的研究相一致^[20]。施用有机肥可以显著提高原土壤的 C/N 值。在一定范围内,C/N 越高,表明土壤中有机物质的活性越大,可供微生物的能量越多,从而可增强土壤活性^[21]。本研究的低秸、中秸处理与单施化肥相比,C/N 有所增加,但差异不显著;而其它有机肥处理则有所下降,除中秸处理外,无肥处理的土壤 C/N 均高于其它施肥处理,王树起等^[22]也有类似的研究结果。这是由于培肥时间较短,施用有机肥处理的土壤中可能与有机物分解不完全,未及时转化为活性有机物质有关。

3.2 不同有机培肥措施对土壤微生物量碳、氮的影响

土壤微生物量是土壤活性养分的储存库,是植物生长可利用养分的重要来源,它的大小反映了参与调控土壤中能量和养分循环以及有机物质转化的微生物数量^[23]。研究表明,农田(主要是旱地)土壤表层微生物量碳含量一般为100~500 mg/kg,占土壤有机碳总量的0.5%~4%;土壤微生物量氮占土壤全氮的2%~6%^[24-25]。本研究中,微生物量碳介于156.48~452.95 mg/kg 之间,微生物量氮介于16.57~47.68 mg/kg 之间,均属于正常范围。有研究表明,合理的施肥措施有利于改善土壤理化性质和微生物区系,使土壤微生物量碳、氮含量有所增加,土壤肥力有所提高^[26]。本研究表明,NPK 与秸秆堆肥、厩肥配合施用能明显提高土壤微生物量碳,且施秸秆堆肥处理提高幅度大于施厩肥处理,这与王岩等^[27]对黄棕壤和倪进治等^[28]对潮土的研究结果一致。据报道,化肥与有机肥配合施用,土壤微生物量明显增加,主要是有机物料输入为微生物的生长繁殖提供了足量的碳源,刺激了土壤微生物的活性,使得土壤微生物量呈现较高值^[29]。所以本研究中有机培肥处理土壤微生物碳含量均明显高于单施化肥处理。同时化肥与有机肥

配合施用,土壤微生物量氮也明显高于单施化肥处理,说明配合施用下有较多的氮素通过同化作用转入到微生物体内被暂时固定,相应地减少了通过NH₃挥发和NO₃淋失以及反硝化脱氮等途径造成的氮素损失。这对调节土壤氮素供应,提高土壤氮素利用率,保护大气环境,防止水资源污染,保证农业可持续发展都具有积极意义^[30]。

作为土壤微生物量碳与有机碳的比值,微生物商在对不同有机质含量的土壤进行比较时与总量有机碳或微生物量碳相比,均具有一定的优势^[31];它更能反映出土壤碳库的容量和活性特征,体现土壤质量的高低。土地利用和施肥对土壤微生物商的影响可能来源于其改变了土壤有机物的投入量和其它土壤环境条件,从而使微生物量碳迅速发生变化。徐阳春等^[41]认为,施肥尤其是有机肥的施用,更有利于土壤微生物商的提高;国外很多长期定位试验结果也均认为有机物的投入能够显著提高土壤微生物商^[24]。本研究中施用有机物料的处理均显著高于单施化肥处理,其中 NPK 与秸秆堆肥配施处理的微生物商最高,其次是厩肥处理,之后是低、中、高量秸秆处理。由于秸秆堆肥是玉米秸秆中添加了少量鸡粪和 EM 菌剂堆腐而成,与厩肥和秸秆相比,腐熟过程中有较多的秸秆碳被微生物分解转化为有机质,有机质为土壤微生物生长提供了丰富的碳源和氮源,使其吸收合成其机体的一部分。这样不仅提高了土壤有机碳的积累,而且更大的提高了土壤的微生物生物量,从而使微生物商大大提高。

3.3 不同有机培肥措施对土壤酶活性的影响

土壤酶活性的高低能够反映土壤生物活性和土壤生化反应强度。本试验中脲酶活性与磷酸酶活性在有机培肥处理下均明显提高,特别是秸秆堆肥处理下呈现出明显的培肥效果,且与土壤全氮、CEC、速效钾的含量呈极显著正相关。充分说明增施外源的有机物质(厩肥、秸秆)有利于提高脲酶和磷酸酶活性,这与孙瑞莲等^[32]研究结果一致。蔗糖酶除了厩肥处理外,其他施肥处理均高于不施肥处理,且在大量秸秆处理下活性最高。有资料说明,长期施用有机肥为蔗糖酶提供了更多的酶促基质,最大程度提高了土壤蔗糖酶的活性,加速了土壤有机碳的周转速率^[26]。可见,当秸秆施入土壤后,能够促进蔗糖酶活性的增加,同时蔗糖酶又作用于秸秆腐解,形成良好的协同关系。因此,只要合理调整秸秆施用量和施用方式,不但能够提高土壤质量,也不会影响作物出苗或其他耕作。

3.4 不同有机培肥措施对作物产量的影响

有机肥与化肥配合施用,不但补充了有机碳源,改善了土壤物理性状,而且大大刺激了土壤微生物的活性,并且明显增加了作物产量^[33]。产量是土壤肥力的综合反映,不同施肥处理对土壤肥力特性的影响必然要反映到作物产量的变化上^[34]。Insam等^[35]的田间试验表明,作物产量与土壤微生物量碳呈显著相关关系;张电学等^[36]进行了不同促腐条件下秸秆还田对土壤微生物量碳、氮、磷动态变化影响的研究,结果表明小麦、玉米产量与土壤微生物量碳、氮、磷及土壤酶活性之间均呈极显著的正相关关系。姚槐应等^[37]研究得出黑麦草的干物质产量与土壤微生物量碳、氮之间显著相关,且与其相关性优于与有机碳、全氮之间的相关性,说明土壤微生物量作为土壤肥力指标,可能比土壤有机质或全氮更优越,更可靠。本试验中小麦产量与微生物量碳呈极显著正相关,与微生物量氮呈显著正相关,进一步验证了土壤微生物量可以作为不同培肥处理下土壤总体状况的指示剂。

参 考 文 献:

- [1] Doran J W, Sarrantonio M, Liebig M A. Soil health and sustainability[J]. *Adv. Agron.*, 1996, 56: 1-54.
- [2] Plaza C, Hernández D, Garca-Gil J C, Polo A. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 2004, 36(10): 1577-1585.
- [3] Kautz T, Wirth S, Ellmer F. Microbial activity in a sandy arable soil is governed by the fertilization regime[J]. *Eur. J. Soil Biol.*, 2004, 40: 87-94.
- [4] 徐阳春,沈其荣,冉伟. 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. Xu Y C, Shen Q R, Ran W. Effects of zero-tillage and application of manure on soil microbial biomass C, N and P after sixteen years of cropping[J]. *Acta Pedol. Sin.*, 2002, 39(1): 89-96.
- [5] 侯光炯,张旭林. 论覆盖和等高垄作相结合收到水土保持和免灌高产效益[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1990. 404-409. Hou G J, Zhang X L. On achieving good results of soil and water conservation and high-yield without irrigation by integrating mulch with condouridge culture[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1990. 404-409.
- [6] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial C[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1987, 19(6): 703-707.
- [7] Jenkinson D S, Brookes P C, Powlson D S. Measuring soil microbial biomass[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 2004, 36(1): 5-7.
- [8] 关松荫. 土壤酶研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986. Guan S Y. Soil enzyme research methods[M]. Beijing: Agricultural Press, 1986.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002. Bao S D. Soil agrochemistry analysis[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2002.
- [10] 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. Liu E K, Zhao B Q, Li X Y *et al.* Biological properties and enzymatic activity of arable soils affected by long-term different fertilization systems[J]. *J. Plant Ecol.*, 2008, 32(1): 176-182.
- [11] Dick R P. A review: Long-term effect of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters[J]. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 1992, 40(1-4): 25-36.
- [12] 俞慎,李勇,王俊华,等. 土壤微生物生物量作为红壤质量生物指标的探讨[J]. *土壤学报*, 1999, 36(3): 413-421. Yu S, Li Y, Wang J H *et al.* Study on the soil microbial biomass as a bioindicator of soil quality in the red earth ecosystem[J]. *Acta Pedol. Sin.*, 1999, 36(3): 413-421.
- [13] 刘满强,胡锋,何圆球,李辉信. 退化红壤不同植被恢复下土壤微生物量季节动态及其指示意义[J]. *土壤学报*, 2003, 40(6): 937-944. Liu M Q, Hu F, He Y Q, Li H X. Seasonal dynamics of soil microbial biomass and its significance to indicate soil quality under different vegetations restored on degraded red soils[J]. *Acta Pedol. Sin.*, 2003, 40(6): 937-944.
- [14] 王效举,龚子同. 红壤丘陵小流域不同利用方式下土壤的变化和预测[J]. *土壤学报*, 1998, 35(1): 135-139. Wang X J, Gong Z T. Assessment and prediction of soil changes under different land use patterns at a small area level in red soil hilly region[J]. *Acta Pedol. Sin.*, 1998, 35(1): 135-139.
- [15] Anderson T H, Domsch K H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1989, 21(4): 471-479.
- [16] 李娟,赵秉强,李秀英, Hwat B S. 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. Li J, Zhao B Q, Li X Y, Hwat B S. Effects of long-term combined application of organic and mineral fertilizers on soil microbiological properties and soil fertility[J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2008, 41(1): 144-152.
- [17] 唐玉妹,慈恩,颜廷梅,等. 太湖地区长期定位试验稻麦两季土壤酶活性与土壤肥力关系[J]. *土壤学报*, 2008, 45(5): 1000-1006. Tang Y S, Ci E, Yan T M *et al.* Relationship between soil fertility of paddy fields under wheat-rice cropping system in a long-term experiment in Taihu lake region[J]. *Acta Pedol. Sin.*, 2008, 45(5): 1000-1006.
- [18] 刘文娜,吴文良,王秀斌,等. 不同土壤类型和土地利用方式对土壤微生物量碳的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(3): 406-411. Liu W N, Wu W L, Wang X B *et al.* Effects of soil type and land use pattern on microbial biomass carbon[J]. *Plant Nutr.*

- Fert. Sci., 2006, 12(3): 406-411.
- [19] 俞慎,何振立,张荣光,等. 红壤茶树根层土壤基础呼吸作用和酶活性[J]. 应用生态学报,2003,14(2): 179-183.
Yu S, He Z L, Zhang R G *et al.* Soil basal respiration and enzyme activities in the root-layer soil of tea bushes in a red soil [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(2): 179-183.
- [20] Goyal S, Chander K, Mundra M C, Kapoor K K. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions [J]. Biol. Fert. Soils, 1999, 29(2): 196-200.
- [21] 化党领,介晓磊,张一平,刘世亮. 有机肥对石灰性土壤肥力属性的长期影响[J]. 生态学杂志,2005,24(9): 1053-1057.
Hua D L, Jie X L, Zhang Y P, Liu S L. Long-term effects of organic manure on the fertility properties of calcareous soil [J]. Chin. J. Ecol., 2005, 24(9): 1053-1057.
- [22] 王树起,韩晓增,乔云发,等. 不同土地利用和施肥方式对土壤酶活性和相关肥力因子的影响[J]. 植物营养与肥科学报,2009,15(6): 1311-1316.
Wang S Q, Han X Z, Qiao Y F *et al.* Effects of land uses and fertilization systems on soil enzyme activities and nutrients [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(6): 1311-1316.
- [23] Taylor T P, Wilson B, Mills M S, Burns R G. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and sub-soils using various techniques [J]. Soil Biol. Biochem., 2002, 34(3): 387-401.
- [24] Anderson T H, Domsch K H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils [J]. Soil Biol. Biochem., 1989, 21(1): 471-479.
- [25] Jenkinson D S. The turnover of organic carbon and nitrogen in soil [J]. Philosoph. Trans.: Biol. Sci., 1990, 329(1255): 361-367.
- [26] Albiach R, Canet R, Pomanes F, Ingelmo F. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil [J]. Bioresour. Technol., 2000, 75(1): 43-48.
- [27] 王岩,沈其荣,史瑞和. 有机、无机肥料施用后土壤生物量 C、N、P 的变化及 N 素转化 [J]. 土壤学报,1998,35(2): 227-234.
Wang Y, Shen Q R, Shi R H. Changes of soil microbial biomass C, N and P and the N transformation after application of organic and inorganic fertilizers [J]. Acta Pedol. Sin., 1998, 35(2): 227-234.
- [28] 倪进治,徐建民,谢正苗. 有机肥料施用后潮土中活性有机质组分的动态变化 [J]. 农业环境科学学报,2003,22(4): 416-419.
Ni J Z, Xu J M, Xie Z M. Dynamic of active organic matter fractions in Fluvio-aquic soil after application of organic fertilizers [J]. J. Agro-Environ. Sci., 2003, 22(4): 416-419.
- [29] 邱莉萍,刘军,王益权,等. 土壤酶活性和土壤肥力的关系研究 [J]. 植物营养与肥科学报,2004,10(3): 277-280.
Qiu L P, Liu J, Wang Y Q *et al.* Research on relationship between soil enzyme activities and soil fertility [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(3): 277-280.
- [30] 周卫军,曾希柏,张杨珠,等. 施肥措施对不同母质发育的稻田生态系统土壤微生物量碳、氮的影响 [J]. 应用生态学报,2007,18(5): 1043-1048.
Zhou W J, Zeng X B, Zhang Y Z *et al.* Effects of fertilization on microbial biomass C and N in paddy soils derived from different parent materials [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2007, 18(5): 1043-1048.
- [31] 任天志, Grego S. 持续农业中的土壤生物指标研究 [J]. 中国农业科学,2000,33(1): 68-75.
Ren T Z, Grego S. Soil bioindicators in sustainable agriculture [J]. Sci. Agric. Sin., 2000, 33(1): 68-75.
- [32] 孙瑞莲,赵秉强,朱鲁生,等. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用 [J]. 植物营养与肥科学报,2003,9(4): 406-410.
Sun R L, Zhao B Q, Zhu L S *et al.* Effects of long-term fertilization on soil enzyme activities and its role in adjusting-controlling soil fertility [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2003, 9(4): 406-410.
- [33] Debosz G P, Rasmussen P H, Pedersen A R. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils; effect of organic matter input [J]. Appl. Soil Ecol., 1999, 13(3): 209-218.
- [34] 陈辉林,田霄鸿,王晓峰,等. 不同栽培模式对渭北旱塬区冬小麦生长期土壤水分、温度及产量的影响 [J]. 生态学报,2010,30(9): 2424-2433.
Chen H L, Tian X H, Wang X F *et al.* Effects of different cultivation models on soil water, soil temperature and yield during the winter wheat growth in the Weibei Dry Highland [J]. Acta Ecol. Sin., 2010, 30(9): 2424-2433.
- [35] Insam H, Mitchell C C, Dormaar J F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three ultisols [J]. Soil Biol. Biochem., 1991, 23(5): 459-464.
- [36] 张电学,韩志卿,刘微,等. 不同促腐条件下玉米秸秆直接还田的生物学效应研究 [J]. 植物营养与肥科学报,2005,11(6): 742-749.
Zhang D X, Han Z Q, Liu W *et al.* Biological effect of maize stalk return to field directly under different accretion decay conditions [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(6): 742-749.
- [37] 姚槐应,黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术 [M]. 北京: 科学出版社,2006.
Yao H Y, Huang C Y. Soil microbial ecology and experimental technique [M]. Beijing: Science Press, 2006.