

长期施用生物有机肥土壤的氮矿化

胡 诚¹, 曹志平^{2,*}, 胡 菊², 李双来¹

(1. 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 武汉 430064; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘要: 1997 年在中国农业大学曲周试验站设置了施用 EM 堆肥、传统堆肥、化肥和对照处理的田间试验, 在 2004 年和 2005 年取样测定土壤的矿质氮和氮矿化率。结果表明: 在小麦生长的前期矿质氮含量是: 化肥处理 > EM 堆肥处理 > 传统堆肥处理 > 对照; 但是在施用化肥前和小麦生长的后期矿质氮含量是: EM 堆肥处理 > 传统堆肥处理 > 化肥处理 > 对照。土壤的氮矿化率是: EM 堆肥处理 > 传统堆肥处理 > 化肥处理 > 对照。小麦的产量是: EM 堆肥处理显著高于传统堆肥处理, 传统堆肥处理显著高于化肥处理, 化肥处理显著高于对照。与传统堆肥相比, EM 堆肥提高了土壤的矿质氮含量, 提高了土壤的氮矿化率, 增加了小麦产量。

关键词: EM 堆肥; 传统堆肥; 矿质氮; 氮矿化

文章编号: 1000-0933(2009)04-2080-07 中图分类号: S141 文献标识码: A

Soil nitrogen mineralization in long-term application of biological-organic manure

HU Cheng¹, CAO Zhi-Ping^{2,*}, HU Ju², LI Shuang-Lai¹

1 Institute of Plant Protection and Soil Science, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China

2 College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 2080 ~ 2086.

Abstract: A field experiment of long-term application fertilizer treatment (including EM (effective microorganism) compost, traditional compost, chemical fertilizer and control) was carried out in Qu-Zhou experimental station, China Agricultural University. The results showed that soil mineral nitrogen in different treatments had the following trend in wheat growing prophase: chemical fertilizer > EM compost > traditional compost > control. But there had the following trend in wheat growing anaphase: EM compost > traditional compost > chemical fertilizer > control. The soil nitrogen mineralization rate in different treatments had the following trend: EM compost > traditional compost > chemical fertilizer > control. The wheat yield in EM compost treatment was significantly higher than that in traditional compost treatment, and in traditional compost treatment was significantly higher than that in chemical fertilizer treatment, and in chemical fertilizer treatment was significantly higher than that in control. The content of mineral nitrogen, nitrogen mineralization rate and wheat yield in EM compost treatment were increased compared to traditional compost treatments.

Key Words: EM compost; traditional compost; mineral nitrogen; nitrogen mineralization

现代农业生产由于化肥的使用,极大的提高了作物的产量,但同时由于化肥的不合理及过量的使用,也给农业生态环境带来了不利的影响。例如:土壤板结,环境污染,地下水硝酸盐含量超标,农产品污染问题日益严重。为了保护土壤生态环境和维护农业的可持续发展,人们更加关注土壤生态系统的研究。由于微生物广泛的存在于自然界中,在土壤营养元素的转化中作用巨大,与作物的生长关系密切,所以学者将微生物与农业生产联系起来,创建了微生态农业工程^[1]。EM (effective microorganism) 菌剂是微生态制剂中的一种。EM 即

基金项目: 国家“十五”科技攻关资助项目(2004BA508B01);北京市生态学重点学科项目资助(XK10019440)

收稿日期: 2007-11-03; **修订日期:** 2008-04-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huchenghxx@163.com

有效微生物群,是一种新型的复合微生物菌剂,它是 10 个属几十种微生物复合培养而成的新型微生物活菌制剂,其中几个代表性的微生物类群如下:光合微生物、乳酸菌、酵母菌、放线菌、醋酸杆菌等^[2]。EM 生物有机肥有兼顾传统有机肥与添加有机菌剂的优势,可减少化肥、农药的使用,增强作物抗逆性,改善作物品质,使用日益广泛,促进了农业的可持续发展^[3]。

氮素是限制作物生长的重要元素之一。氮素矿化是土壤有机氮在微生物作用下分解产生矿质氮的过程,是除了施用氮肥外植物获得生长所必需矿质氮养分的主要途径。土壤的净氮矿化决定了土壤中植物可利用氮素的多少,反映了土壤实际释放氮素的能力^[4]。EM 生物有机肥对提高土壤肥力,增加作物产量方面的研究较多^[3],但是对土壤氮矿化影响的研究报道很少。本文在前人研究的基础上进一步研究 EM 生物有机肥提高土壤肥力的作用机理,为减少农业的内源性污染,充分利用农业废弃物,达到农业生态系统物质的循环利用,生产高产、高效、优质的农产品,以期现代农业及农业的可持续发展提供理论依据。

1 研究方法

1.1 实验地概况

试验在中国农业大学曲周试验站进行,试验站位于河北省邯郸市曲周县北部。地处暖温带半湿润大陆性季风气候区,年平均气温为 13.2℃,无霜期 201 d,年降水量为 542.7 mm。年降水的 60% 以上集中在 6~9 月份,年蒸发量为 1841 mm。试验区光、热、水资源比较丰富,但由于受季风气候强烈影响,冬季寒冷干燥,夏季温暖多雨。试验区为改良后的盐化潮土,肥力均匀。冬小麦-夏玉米一年两熟制是当地典型的种植方式。

1.2 实验设计

试验设 4 个处理,每个处理 3 次重复,完全随机区组排列。试验方案如下:处理 I 施用 EM 堆肥 15 t/hm² (代号 EM),处理 II 施用传统堆肥 15 t/hm² (代号 TC),处理 III 施用化肥(750 kg 碳铵 + 300 kg 尿素 + 750 kg 过磷酸钙)/hm² (代号 CF),处理 IV 为不施肥对照(代号 CK)。每 50 kg EM 堆肥原料为:秸秆 30 kg;畜禽粪 15 kg;棉籽饼 2.5 kg;糠麸 2.5 kg;外加红糖 1 kg,EM 菌剂原液 200 ml。传统堆肥原料:除不加红糖及 EM 菌剂外,其余原料与 EM 堆肥一样。将经过筛选的原料充分混匀后,分别按传统堆肥方法和 EM 微生态工程技术进行堆肥发酵制成堆肥。田间试验开始于 1997 年,小麦与玉米轮作,一年两熟,每年种植冬小麦和夏玉米。种植冬小麦和夏玉米之前进行施肥处理,施肥量如上所述,两作物施肥量相同。2004 年 10 月 22 日种植小麦,2005 年 6 月 10 日收获。

2004 年 10 月在小麦种植前和生长期取样,使用 3 cm × 20 cm 土钻在试验小区随机采集 0~20 cm 耕层土壤 15 钻,迅速装入塑料袋中带回实验室分析,分析之前保存在 4℃ 的冰箱中,尽快测定各项目。2004 年 10 月 14 日、11 月 22 日和 2005 年 3 月 11 日、3 月 28 日、4 月 12 日、4 月 28 日、5 月 10 日、5 月 25 日和 6 月 10 日取样测定土壤的矿质氮。2005 年 3 月 11 日、4 月 12 日、5 月 10 日和 6 月 10 日取样测定土壤的氮矿化率。

1.3 分析方法

有机质分析采用重铬酸钾外加热法;土壤全氮分析采用半微量凯氏定氮法;碱解氮分析采用碱解扩散法;土壤有效 P 分析采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法;土壤有效 K 分析采用 1 mol/L 的 NH₄Ac 浸提-火焰光度法;pH 值测定采用 0.01 mol/L 的 CaCl₂ 溶液浸提 pH 计法(液:土 = 2.5:1);土壤容重采用环刀法。

矿质氮(NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N)的测定采用如下方法。称取鲜土 12 g,加浸提剂 0.01 mol/L CaCl₂ 100 ml,在摇床上振摇(转速 185 r) 1 h,过滤。滤液中的 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 含量用连续流动分析仪测定,滤液分析之前保存在 -20℃ 的冰箱中^[5,6]。

用室内培养的方法测定土壤的氮矿化率^[7]。称取鲜土 12 g 两份,一份土样迅速提取 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N,方法同上。另一份土样放在一个密封的瓶子中(可通气),在室温下黑暗培养 28 d,每周调节一次含水量,即调节到最初的含水量,培养之后提取土壤 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N,方法同上。培养前后 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 含量的差再除以培养时间即为氮矿化率^[8]。所有数据采用 SPSS12.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤的基础理化性质

长期施用生物有机肥土壤的肥力明显提高,理化性质得到改善。随着有机肥的施用,土壤的容重和 pH 值下降;土壤的有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量随着增加,作用明显(表 1)。施用化肥也可以提高土壤的有机质、全氮、碱解氮、有效磷,但作用不明显。

表 1 土壤的基础理化性质

Table 1 The physicochemical properties of experiment soils

处理 Treatment	有机质 (g kg ⁻¹)	全氮 (g kg ⁻¹)	碱解氮 (mg kg ⁻¹)	有效磷 (mg kg ⁻¹)	速效钾 (mg kg ⁻¹)	pH 值	容重 (g cm ⁻³)
EM	22.43a	1.46a	129.52a	59.99a	256.02a	7.16b	1.15b
TC	22.35a	1.38a	110.60b	54.92a	278.08a	7.17b	1.24b
CF	13.24b	0.81b	68.87c	20.12b	94.23b	7.44a	1.39a
CK	12.18b	0.78b	63.29c	3.25c	98.91b	7.52a	1.37a

有机质 Organic matter; 全氮 Total N; 碱解氮 Alkali-hydrolysable N; 有效磷 Available P; 速效钾 Available K; pH 值; pH value; 容重 Bulk density; EM 指 EM 堆肥处理, TC 指传统堆肥处理, CF 指化肥处理, CK 指不施肥对照, 下同; LSD 多重比较, 不同的字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)

EM denoted EM compost treatment, TC denoted traditional compost treatment, CF denoted chemical fertilizer treatment, CK denoted control without any amendment; The following was the same; Different letters (a, b, c) indicate significant differences ($P < 0.05$) between treatments according to LSD multiple comparison

2.2 施肥对土壤矿质氮的影响

不同处理土壤的 NH_4^+ -N 含量在取样日期之间有相似的变化规律(图 1)。除了 2004 年 11 月 22 日和 2005 年 5 月 10 日之外, NH_4^+ -N 含量在处理之间没有显著差异。在 EM、TC、CF 处理及对照中 NH_4^+ -N 含量在 2004 年 10 月 14 日达到最大值, 分别为 3.90、3.66、3.71 mg kg^{-1} 及 3.61 mg kg^{-1} 。在 EM 处理中 NH_4^+ -N 含量最小值为 1.33 mg kg^{-1} (2005 年 3 月 28 日); 在 TC 处理中 NH_4^+ -N 含量最小值为 1.00 mg kg^{-1} (2004 年 11 月 22 日); 在 CF 处理中 NH_4^+ -N 含量最小值为 1.12 mg kg^{-1} (2005 年 3 月 11 日); 在 CK 中 NH_4^+ -N 含量最小值为 0.94 mg kg^{-1} (2004 年 11 月 22 日)。在所有处理所有的取样日期中最低值出现在 2004 年 11 月 22 日的 CK 小区中, 最高值出现在 2004 年 10 月 14 日的 EM 处理中。

EM、TC 和 CF 处理的 NO_3^- -N 含量变化规律比较相似(图 2)。在 EM 和 TC 处理中最大值出现在 2005 年 4 月 12 日, 分别为 22.83 mg kg^{-1} 和 20.55 mg kg^{-1} ; 在 CF 处理和 CK 中最大值出现在 2005 年 3 月 28 日, 分别为 39.23 mg kg^{-1} 和 7.56 mg kg^{-1} 。EM、TC 和 CF 处理中在 2005 年 6 月 10 日 NO_3^- -N 含量达到最小值, 分别为 4.87、4.55 mg kg^{-1} 及 3.68 mg kg^{-1} ; 在 2004 年 10 月 14 日, CK 小区中 NO_3^- -N 含量最小值为 1.34 mg kg^{-1} , 为所有处理所有取样日期的最低值。处理之间 NO_3^- -N 含量在 2004 年 10 月 14 日、2005 年 5 月 25 日和 6 月 10 日是如下规律: $\text{EM} > \text{TC} > \text{CF} > \text{CK}$; 在 2004 年 11 月

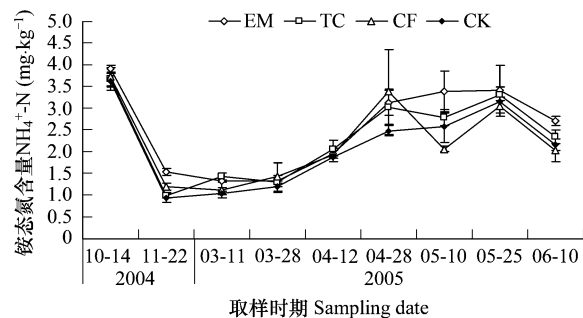


图 1 不同施肥处理的土壤铵态氮含量

Fig. 1 The contents of NH_4^+ -N in soils of different treatments

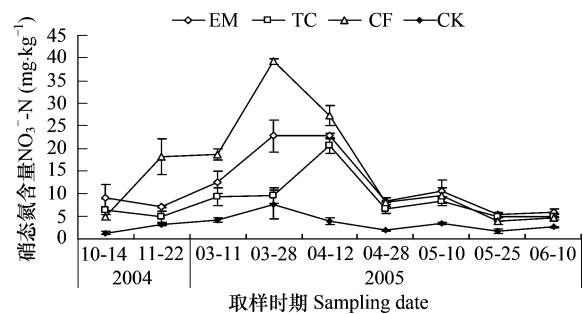


图 2 不同施肥处理的土壤硝态氮含量

Fig. 2 The contents of NO_3^- -N in soils of different treatments

22 日、2005 年 3 月 11 日、3 月 28 日和 2005 年 4 月 12 日是如下规律: $CF > EM > TC > CK$ 。在 CF 处理中 NO_3^- -N 含量在 2004 年 11 月 22 日、2005 年 3 月 11 日和 3 月 28 日显著的高于 EM、TC 处理和 CK 小区 ($P < 0.05$)。EM 和 TC 处理中 NO_3^- -N 含量在 2005 年 4 月 12 日、4 月 28 日、5 月 25 日和 6 月 10 日显著的高于 CK 小区 ($P < 0.05$)。EM 处理中 NO_3^- -N 含量在所有的取样日期高于 TC 处理,在 2005 年 3 月 28 日差异达到显著 ($P < 0.05$)。在 EM、TC 和 CF 处理中的 NO_3^- -N 含量在取样日期之间比在 CK 小区中变化大一些,CK 小区中 NO_3^- -N 含量波动平缓。

由于本实验中, NO_3^- -N 是矿质氮的主体,因此总的矿质氮 (NH_4^+ -N + NO_3^- -N) 具有与 NO_3^- -N 相似的变化规律。在 2004 年 10 月 14 日、2005 年 5 月 25 日和 6 月 10 日总的矿质 N 含量是如下规律: $EM > TC > CF > CK$; 在 2004 年 11 月 22 日、2005 年 3 月 11 日、3 月 28 日、4 月 12 日和 4 月 28 日是如下规律: $CF > EM > TC > CK$ 。

2.3 施肥对土壤氮矿化的影响

净 NH_4^+ -N 含量在处理和培养日期之间没有有显著的差异,但是净 NO_3^- -N 含量和总的净矿化 N (NH_4^+ -N + NO_3^- -N) 含量处理和培养日期之间都有显著的差异 ($P < 0.05$)。在 EM 处理中净 NO_3^- -N 含量最大值为 67.85 mg kg^{-1} ,最小值为 7.52 mg kg^{-1} ;在 TC 处理中净 NO_3^- -N 含量最大值 29.93 mg kg^{-1} ,最小值为 6.19 mg kg^{-1} ;在 CF 处理中净 NO_3^- -N 含量最大值 20.88 mg kg^{-1} ,最小值为 5.68 mg kg^{-1} ;在 CK 中净 NO_3^- -N 含量最大值 15.24 mg kg^{-1} ,最小值为 2.21 mg kg^{-1} 。在 EM 处理中总的净矿质氮含量最大值为 68.14 mg kg^{-1} ,最小值为 8.63 mg kg^{-1} ;在 TC 处理中总的净矿质氮含量最大值为 30.86 mg kg^{-1} ,最小值为 7.40 mg kg^{-1} ;在 CF 处理中总的净矿质氮含量最大值为 21.40 mg kg^{-1} ,最小值为 6.68 mg kg^{-1} ;在 CK 中总的净矿质氮含量最大值为 15.49 mg kg^{-1} ,最小值为 3.26 mg kg^{-1} 。最大值都出现在 2005 年 6 月,最小值都出现在 2005 年 3 月。在 3 月、5 月和 6 月份不同的处理之间净 NO_3^- -N 含量和净矿质 N 含量呈现如下规律: $EM > TC > CF > CK$;而在 4 月不同的处理之间净 NO_3^- -N 含量和净矿质 N 含量呈现如下规律: $TC > EM > CF > CK$ 。EM 处理和 CK 的净 NO_3^- -N 含量和总的净矿化 N 含量在培养时间之间呈现如下规律: 6 月 > 5 月 > 4 月 > 3 月份;TC 和 CF 处理的净 NO_3^- -N 含量和总的净矿化 N 含量在培养时间之间呈现如下规律: 6 月 > 4 月 > 5 月 > 3 月份。而且,在 3 月、5 月和 6 月份在 EM 处理中净 NO_3^- -N 含量和总的净矿质 N 含量显著的比在 CF 处理和 CK 中高 ($P < 0.05$);在 3 月和 6 月份 TC 处理中净 NO_3^- -N 含量和净矿质 N 含量显著的比 CK 中高。在 5 月和 6 月份 EM 处理中净 NO_3^- -N 含量和总的净矿质 N 含量显著的比 TC 处理中高(图 3、图 4)。

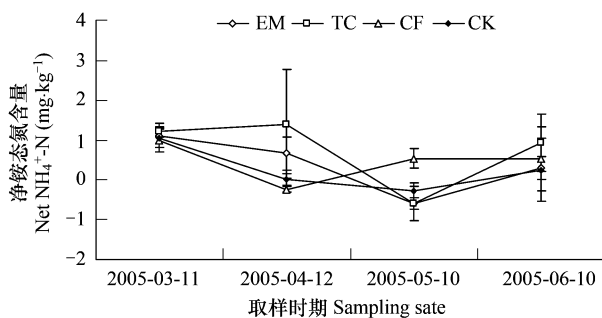


图 3 不同施肥处理土壤培养后的土壤净铵态氮含量

Fig.3 The contents of net NH_4^+ -N in soils of different treatments after soil incubation

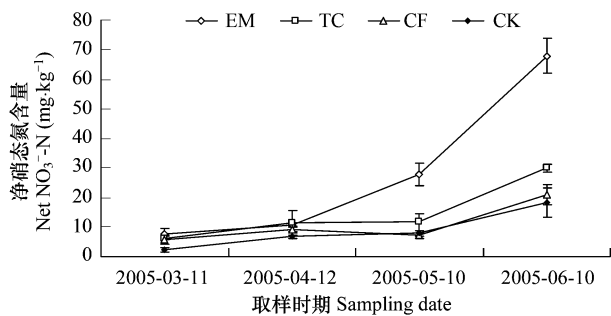


图 4 不同施肥处理土壤培养后的土壤净硝态氮含量

Fig.4 The contents of net NO_3^- -N in soils of different treatments after soil incubation

2.4 施肥对小麦生物量和产量的影响

不同的施肥措施对小麦生物量和产量的影响是显著的(图 5)。小麦的根、茎叶和穗干重在 EM 堆肥和传统堆肥处理与化肥和对照之间差异显著 ($P < 0.05$),EM 堆肥处理都高于传统堆肥处理,但是差异不显著。

小麦的茎叶、穗干重及根 + 茎叶 + 穗干重化肥处理和对照之间差异显著 ($P < 0.05$)。不同处理之间小麦的产量差异显著, 表现为 $EM > TC > CF > CK$ ($P < 0.05$)。

3 讨论

施用堆肥提高了土壤的有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量, 降低了土壤的容重和 pH 值, EM 堆肥比传统堆肥作用更加明显, 以前也报道了相似的结果^[1]。主要是 EM 堆肥中有更多的微生物, 加快了有机物质的降解, 提高了土壤的肥力, 释放出更多的营养元素^[9-11]。

在本实验中, 与土壤的 NO_3^- -N 相比, 土壤的 NH_4^+ -N 含量在处理和取样日期之间波动较小。 NH_4^+ -N 含量在总的矿质氮中占的比例较小, NO_3^- -N 含量经常比 NH_4^+ -N 含量高, 主要是因为硝化细菌的硝化作用使 NH_4^+ -N 转化成了 NO_3^- -N^[12,13]。在施了化肥之后, 化肥处理的 NO_3^- -N 及总的矿质氮含量就比有机肥处理的高一些, 直到作物生长的后期 (2005 年 5 月 25 日后), 有机肥处理的 NO_3^- -N 含量及总的矿质氮含量比化肥处理的高一些。与有机肥处理相比, NO_3^- -N 含量在化肥处理中波动较大, 这说明了化肥的速效性质, 而有机肥是缓效缓释的特性^[14]。对照中矿质氮含量一直很低, 波动平缓, 反映了长期不施肥的土壤供氮能力很低, 影响作物的生长。无论是有机肥、化肥还是不施肥处理, 矿质氮含量在 3 月和 4 月达到了高峰, 这是小麦的旺盛生长期, 小麦根系分泌物增多, 酶活性增强, 促进了矿质氮的释放, 促进了小麦的生长。有机肥处理的 NO_3^- -N 含量与总的矿质氮在所有的取样日期中都比对照要高一些, 到了作物生长的中后期提供的矿质氮与化肥相当, 从小麦的生物量来看, 施用有机肥能够提供足够的矿质氮供小麦生长的需要, 其它的研究也报道了类似的结果^[13,15]。EM 堆肥处理与传统堆肥处理相比, NO_3^- -N 及总的矿质氮含量一直高一些, 反映了 EM 堆肥处理的土壤比传统堆肥处理的土壤供氮能力强一些^[16]。因此, 生物有机肥在局部范围内可以替代化肥^[1]。

净的 NH_4^+ -N 含量有时出现了负值, 主要是因为硝化细菌的硝化作用下部分 NH_4^+ -N 转变成了 NO_3^- -N, Forge 和 Simard^[8] 也观察到了相似的现象, 高含量的 NO_3^- -N 说明土壤中的硝化细菌是非常活跃的^[12]。土壤培养实验在室温下进行的, 从 3 月到 6 月份气温是逐渐升高的, 而观察到所有处理的土壤氮矿化率也是从 3 月到 6 月份逐渐增大的。因此, 氮矿化率与温度有密切的正相关关系^[17]。在 4 个培养时间中堆肥和化肥处理土壤的氮矿化率高于对照, 主要的原因是氮矿化是一个生物转化的过程^[18], 氮矿化率大小的变化反映了土壤生物区系的活性、大小和组成^[19-21]。化肥处理的氮矿化率比对照要高一些, 与对照相比施用化肥也可以提高土壤微生物的数量, 主要原因是施用化肥增加了根茬残留^[22]。EM 堆肥处理的土壤氮矿化率在 4 月、5 月和 6 月份比传统堆肥处理高一些, 而且在 5 月和 6 月份差异达到了显著水平, 可能是 EM 堆肥中含有较多的微生物所致, 促进了矿质氮的释放, 从微生物生物量碳的测定可以证实这一结果^[23]。从田间测定的矿质氮含量也发现 EM 堆肥处理一直高于传统堆肥处理, 也证明 EM 堆肥促进了氮的矿化。

田间测得土壤的矿质氮含量高峰出现在 3 月和 4 月份, 而室内实验 6 月份土壤的氮矿化率最高, 反映了田间和室内的差异。虽然施用化肥可以提供较高的矿质氮, 但是化肥处理的土壤氮矿化率是低的, 反映了土壤的生物活性低^[24]。

4 结论

(1) 长期不同的施肥处理土壤的矿质氮含量在小麦生长的前期是: 化肥处理 > EM 堆肥处理 > 传统堆

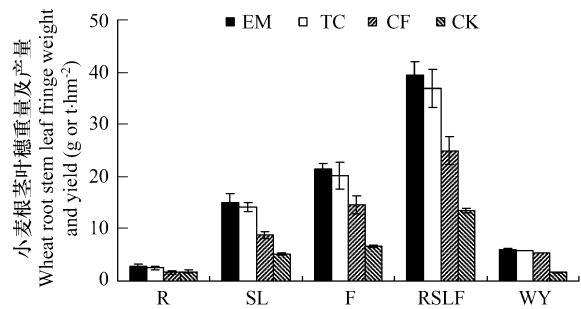


图5 不同施肥处理小麦根茎叶穗重量及小麦产量

Fig. 5 Wheat root stem leaf fringe weight (g) and wheat yield ($t\ hm^{-2}$) in different treatments

R 代表 10 株小麦根干重, SL 代表 10 株小麦茎叶干重, F 代表 10 株小麦穗干重, RSLF 代表 10 株小麦根茎叶穗总重量 (g); WY 代表每公顷小麦产量 ($t\ hm^{-2}$) R, SL, F, RSLF was dry root, stem and leaf, fringe and total weight of ten wheat plants; WY was wheat yields per hectare

肥处理 > 对照;但是在施用化肥前和小麦生长的后期是:EM 堆肥处理 > 传统堆肥处理 > 化肥处理 > 对照。EM 堆肥和传统堆肥处理在小麦的生长期间能够提供小麦生长所需要的氮素。

(2)土壤的氮矿化率是:EM 堆肥处理 > 传统堆肥处理 > 化肥处理 > 对照。

(3)小麦的产量是:EM 堆肥处理显著高于传统堆肥处理,传统堆肥处理显著高于化肥处理,化肥处理显著高于对照($P < 0.05$)。与传统堆肥相比,EM 堆肥提高了土壤的矿质氮含量,提高了土壤的氮矿化率,增加了作物产量。

References:

- [1] Zhou L H, Ni Y Z, Li W J. Effects of long-term application of EM biological-organic fertilizer on winter wheat production. Transactions of the CSAE, 2005, 21 (supp): 221—224.
- [2] Ni Y Z, Li W J. Study of EM technology application. Beijing: China Agricultural University Press, 1998. 15—32.
- [3] Wang L G, Li W J, Qiu J J, *et al.* Effects of biological organic fertilizer on crops growth, soil fertility and yield. Soil and Fertilizers, 2004, (5): 12—16.
- [4] Yang X H, Dong Y S, Qi Y C, *et al.* Net nitrogen mineralization of different types of temperate grassland soils in the xilin river basin. Transactions of the CSAE, 2005, 21(12): 179—182.
- [5] Schlöter M, Bach H J, Metz S, *et al.* Influence of precision farming on the microbial community structure and functions in nitrogen turnover. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2003, 98: 295—304.
- [6] Joergensen R G, Potthoff M. Microbial reaction in activity, biomass, and community structure after long-term continuous mixing of a grassland soil. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37, 1249—1258.
- [7] Tu C, Koenning S R, Hu S. Root-parasitic nematodes enhance soil microbial activities and nitrogen mineralization. Microbial Ecology, 2003, 46: 134—144.
- [8] Forge T A, Simard S W. Short-term effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on nitrogen mineralization and trophic structure of the soil ecosystem in clearcuts in the southern interior of British Columbia. Canadian Journal of Soil Science, 2001, 81: 11—20.
- [9] Tong X J, Li W J, Ni Y Z. Effects of effective microorganisms (EM) compost on summer maize growth and development. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2003, 11(4): 18—20.
- [10] Tong X J, Li W J, Li Jun, *et al.* Effects of effective microorganisms compost on winter wheat growth. Research of Agricultural Modernization, 2003, 24(6): 456—463.
- [11] Böhme L, Langer U, Böhme F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, 109: 141—152.
- [12] Aarnio T, Martikainen P J. Mineralization of carbon and nitrogen, and nitrification in Scots pine forest soil treated with fast- and slow-release nitrogen fertilizers. Biology and Fertility of Soils, 1996, 22: 214—220.
- [13] Smolander A, Priha O, Paavolainen L, *et al.* Nitrogen and carbon transformations before and after clear-cutting in repeatedly N-fertilized and limed forest soil. Soil Biology and Biochemistry, 1998, 30: 477—490.
- [14] Ghoshal N, Singh K P. Effects of farmyard manure and inorganic fertilizer on the dynamics of soil microbial biomass in a tropical dryland agroecosystem. Biology and Fertility of Soils, 1995, 19: 231—238.
- [15] Forge T A, Simard S W. Structure of nematode communities in forest soils of southern British Columbia: relationships to nitrogen mineralization and effects of clearcut harvesting and fertilization. Biology and Fertility of Soils, 2001, 34: 170—178.
- [16] Zheng S L, Chen Q X, Mei F X, Ma L, Tan Z Q. Effect of bio-organic fertilizer on Brassica alboglabra growth and N, P, K content. Journal of South China Agricultural University, 2007, 28(3): 15—19.
- [17] Li H L, Han Y, Cai Z C. Nitrogen mineralization in paddy soils of the Taihu region of China under anaerobic conditions: dynamics and model fitting. Geoderma, 2003, 115: 161—175.
- [18] Laakso J, Setälä H, Palojarvi A. Influence of decomposer food web structure and nitrogen availability on plant growth. Plant and Soil, 2000, 225, 153—165.
- [19] Hatch D J, Lovell R D, Antil R S, *et al.* Nitrogen mineralization and microbial activity in permanent pastures amended with nitrogen fertilizer or dung. Biology and Fertility of Soils, 2000, 30: 288—293.
- [20] Kanchikerimath M, Singh D. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2001, 86: 155—162.

- [21] Roy A, Singh K P. Dynamics of microbial biomass and nitrogen supply during primary succession on blastfurnace slag dumps in dry tropics. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35: 365–372.
- [22] Hu C, Cao Z P, Ye Z N, *et al.* Impact of soil fertility maintaining practice on soil microbial biomass carbon in low production agro-ecosystem in northern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 808–814.
- [23] Hu C, Cao Z P. Size and activity of the soil microbial biomass and soil enzyme activity in long-term field experiments. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 3(1): 63–70.
- [24] Hu C, Cao, Z P, Hu C J, *et al.* Effects of different manure management practices on soil carbon and basal respiration. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(5): 63–66.

参考文献:

- [1] 周莉华, 倪永珍, 李维炯. 长期施用 EM 生物有机肥对冬小麦生产的影响. *农业工程学报*, 2005, 21(supp): 221–224.
- [2] 倪永珍, 李维炯. EM 技术应用研究. 北京: 中国农业大学出版社, 1998. 15–32.
- [3] 王立刚, 李维炯, 邱建军, 等. 生物有机肥对作物生长、土壤肥力及产量的效应研究. *土壤肥料*, 2004, (5): 12–16.
- [4] 杨小红, 董云社, 齐玉春, 等. 锡林河流域温带草原土壤的净氮矿化研究. *农业工程学报*, 2005, 21(12): 179–182.
- [9] 同小娟, 李维炯, 倪永珍. EM 堆肥对夏玉米生长发育的影响研究. *中国生态农业学报*, 2003, 11(4): 18–20.
- [10] 同小娟, 李维炯, 李俊, 等. 有效微生物堆肥对冬小麦生长发育的影响. *农业现代化研究*, 2003, 24(6): 456–463.
- [16] 郑少玲, 陈琼贤, 梅凤娟, 等. 生物有机肥对芥蓝生长及土壤中氮、磷、钾含量的影响. *华南农业大学学报*, 2007, 28(3): 15–19.
- [22] 胡诚, 曹志平, 叶钟年, 等. 不同的土壤培肥措施对低肥力农田土壤微生物生物量碳的影响. *生态学报*, 2006, 26(3): 808–814.
- [24] 胡诚, 曹志平, 胡婵娟, 王金凯. 不同施肥管理措施对土壤碳含量及基础呼吸的影响. *中国生态农业学报*, 2007, 15(5): 63–66.