

有机无机肥配施对棉花养分吸收及氮素效率的影响

白 玲,李俊华,褚贵新,华 瑞

(新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室/石河子大学农学院,新疆 石河子 832000)

摘 要:新疆棉花连作田间小区试验,研究有机无机肥不同方式配施对棉花干物质积累、养分吸收、产量及氮素利用效率的影响。结果表明,有机无机肥配施在棉花生长中后期可以显著提高干物质累积及养分吸收量,与单施化肥处理相比,不同有机无机肥配施可以保持或提高棉花产量,提高棉花单株铃数和单铃重;有机无机肥配施还可以提高棉花氮素效率,氮素回收率可达到 28.2%~57.7%,偏生产率提高了 17.1%~76.3%。有机无机肥配施不仅可以使棉花稳产、高产,而且提高了氮肥利用效率,该结论可为肥料的科学合理施用提供重要依据。

关键词:棉花;有机肥;化肥;干物质累积;养分吸收量;产量;氮素效率

中图分类号: S147.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)05-0143-06

Effects of organic manure application combined with chemical fertilizers on nutrients absorption and nitrogen efficiency of cotton in Xinjiang, China

BAI Ling, LI Jun-hua, CHU Gui-xin, HUA Rui

(Shihezi University of Agriculture/Xinjiang Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: A field experiment was carried out on the soil of continuous cotton cropping in Xinjiang, and the effects of organic fertilizer and chemic fertilizer combined application on cotton dry matter accumulation, nutrients absorption, cotton yield and nitrogen use efficiency were studied. The results showed that organic and inorganic fertilizers significantly improved dry matter accumulation and nutrient uptake in the middle or later period of cotton. Compared with chemical fertilizer treatment, different ratio of organic and chemical fertilizers combined application maintained or increased cotton production, improved number and weight of cotton boll. This application method improved the efficiency of nitrogen, nitrogen recovery rate up to 28.2%~57.7%, partial productivity from 17.1% to 76.3%. In conclusion, the organic fertilizer and inorganic fertilizers combined application could not only make the cotton production stable, but also improve nitrogen use efficiency.

Keywords: cotton; organic manure; chemical fertilizers; dry matter accumulation; nutrient absorption; cotton yield; nitrogen efficiency

长久以来,中国的传统农业是通过施用有机肥来提高产量和培肥地力,而随着农业集约化程度不断提高,化肥用量也在不断增加,有机肥的施用比重却逐渐减少,从而造成土地退化、环境恶化等一系列环境问题。据报道,目前我国氮肥的施用量占世界第一位,但是作物对氮素利用率却远远落后于发达国家,每年的氮肥损失高达 50%~60%^[1]。有机无机肥配施是培肥土壤,提高地力,提高作物产量及肥料利用率的重要途径之一。大量试验证明,有机无机肥配施可以改善土壤理化性质,增加土壤养分的有效性和有机质含量,从而减少肥料损失,提高土壤肥力与生态系统的生产力^[2]。与单施化肥相比,有机肥能够降低土壤的体积质量,增加孔隙度、团粒结构和耕层结构等^[3],并且施用有机肥更加环保以及能更好的改善土壤质量^[4]提高作物千粒重和结实率^[5],从而提高作物产量^[6-9]。同时有机肥部分替代无机肥料氮素累积吸收量和系统生产力随着有机肥与化肥配合程度增加有提高的趋势^[10],且显著提高土壤矿质态氮含量,改善土壤供氮特性,提高氮肥利用效率^[11]。

棉花是新疆主要的经济作物之一,提高产量也就成为一项重要而艰巨的任务。但自滴灌在新疆普

收稿日期:2014-02-10
基金项目:国家公益性行业(农业)项目(201103004-8);国家科技支撑计划项目(2012BAD42B02)
作者简介:白玲(1987—),女,内蒙古赤峰人,硕士研究生,研究方向为新型肥料与现代肥料技术。E-mail:bailing522@163.com。
通信作者:李俊华(1972—),男,陕西汉中,副教授,研究方向为新型肥料与现代肥料技术。E-mail:ljh630703@163.com。

及以后,化肥的施用量也在不断的增加,有机肥的使用就逐渐被化肥所替代。在长期连作条件下,棉田病虫害发生严重甚至导致减产,品质下降,同时地力也在不断的下降,如此下去将会影响农业的持续发展,因此提升地力,改善品质是农业发展的重要任务之一,而有机肥与无机肥配合施用也是提升地力,提高肥料利用率的一种方法,因此通过本试验,研究有机无机肥配施条件下作物养分吸收、产量及肥料氮素效率变化,对于指导新疆合理施肥和减少肥料损失等有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地点及土壤基本性状

试验于 2011—2012 年在新疆石河子农试场二连石河子大学节水灌溉试验站内进行。该地区平均海拔为 450 m,属典型的温带大陆性气候,冬季长而严寒,夏季短而炎热,年平均气温 $7.5^{\circ}\text{C} \sim 8.2^{\circ}\text{C}$,年日照 2 318 ~ 2 732 h,无霜期 147 ~ 191 d,年降雨量 180 ~ 270 mm,年蒸发量 1 000 ~ 1 500 mm。试验田为长期连作棉田,土壤为灌耕灰漠土,土壤有机质含量 $13.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 8.11 (2.5:1 水土比),全氮 $1.43 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷 $0.45 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮 $166.92 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $67.81 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $456.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

供试棉花品种为当地主要种植的新陆早 48 号,播种方式为每膜 4 行,行距为 30 cm + 50 cm + 30 cm,株距 10 cm,膜间行距 50 cm,滴灌毛管铺在窄行中间。施用的肥料为:尿素 (N46%),磷酸钾铵 (N18%, P_2O_5 24%, K_2O 18%),磷酸二氢铵 (N13%, P_2O_5 44%),有机肥为牛粪 (OF: N 0.89%, P_2O_5 1.6%, K_2O 0.54%,有机质 32.32%) 和江苏新天地生物肥料工程中心有限公司生产的生物有机肥 (BIO: N 4.4%, P_2O_5 2.3%, K_2O 0.7%,有机质 44.2%)。试验设 8 个处理:① 对照 (CK);② 单施 NPK 化肥 (CF);③ 80% 的 NPK 化肥 + 有机肥 3 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (80% CF + OF1);④ 60% 的 NPK 化肥 + 有机肥 6 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (60% CF + OF2);⑤ 80% 的 NPK 化肥 + BIO 3 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (80% CF + BIOF1);⑥ 60% 的 NPK 化肥 + BIO 6 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (60% CF + BIOF2);⑦ 80% 的 NPK 化肥 + 有机肥 2 250 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + BIO 750 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (80% CF + OF3 + BIOF4);⑧ 60% 的 NPK 化肥 + 有机肥 4 500 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + BIO 1500 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (60% CF + OF5 + BIOF6)。小区面积 20 m × 4.5 m = 90 m²,重复 3 次,随机区组设计。化肥施肥量为每季施用纯氮 300 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, P_2O_5 80 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, K_2O

60 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,有机肥料作基肥一次撒施,化肥分 8 次随水追施,各处理其它田间管理措施均相同。

1.3 测定项目及方法

在棉花各生育期每个小区选取有代表性的棉株 5 株,按不同器官进行分样,在 105°C 烘 30 min 杀青, 75°C 烘至恒重,测定干物质,粉碎后测定全氮、全磷、全钾含量。植株养分分析方法: $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 消煮,全氮用凯氏定氮法,全磷用钒钼黄比色法,全钾用火焰光度计法,产量为实际收获的籽棉产量。

1.4 相关数据计算方法及分析

氮效率计算方法^[12]如下:

氮素累积吸收量 (Total nitrogen accumulation, 简称 TNA, $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) = 植株地上部的全氮含量 × 单位面积植株地上部干重;

氮素回收率 (Nitrogen recover efficiency, 简称 NRE, %) = (施氮区地上部吸氮量 - 无氮空白区地上部吸氮量) / 施氮量 × 100;

氮肥生理利用率 (Physiological nitrogen use efficiency, 简称 PNUE, $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$) = (施氮区产量 - 无氮空白区产量) / (施氮区地上部吸氮量 - 无氮空白区地上部吸氮量);

偏生产率 (Partial productivity efficiency, 简称 PPE, $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$) = 施氮区籽棉产量 / 施氮量。

数据处理使用 Excel 2003 程序和 SPSS 17.0 统计分析软件。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理棉花地上部分植株干物质累积特征

生物量累积是以养分吸收为基础的,它反映作物对养分的有效吸收状况^[13]。从棉花生育期内干物质积累变化可以看出,在各生育阶段干物质积累苗期缓慢,蕾期逐渐加快,开花到结铃盛期是干物质积累的高峰期,此后又渐平稳。不同施肥处理在各生育期的干物质累积都高于对照 (CK),且在出苗后约 50 d 干物质累积量较少,苗期地上部干物质总吸收量占整个生育时期总量的 1.30% ~ 1.46%,不同施肥处理间无显著差异,主要是由于棉株较小,个体之间竞争较小。蕾期和花期分别占整个生育期的 3.85% ~ 5.56%、10.96% ~ 12.10%,且各施肥处理显著高于对照 (CK),而各施肥处理间差异不显著。在花铃期前期,各有机无机肥配施处理与单施化肥处理的干物质累积并无显著差异,而到花铃期,各有机无机肥配施与单施化肥处理开始表现明显的差异,即各有机无机肥配施处理显著高于单施化肥处

理,且随着生育期的延长这种差异越明显,而不同有机无机肥配施之间无显著差异,但各有机无机肥配施处理间差异不显著,说明不同量有机肥均可以保持养分的持续性释放^[14]。

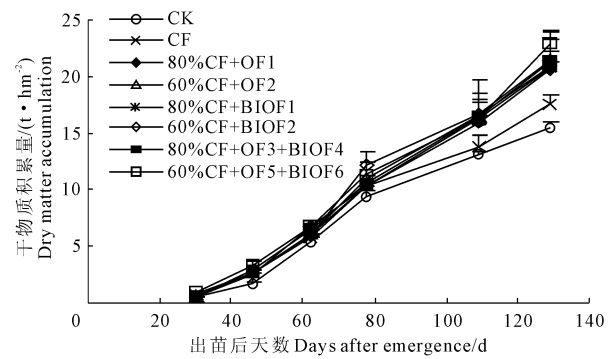


图 1 不同施肥处理下棉花干物质累积变化

Fig.1 Cotton dry matter accumulation under different treatments

2.2 不同施肥处理棉花植株氮、磷、钾养分吸收特征

由图 2 ~ 图 4 可知,各施肥处理棉花体内氮、磷、钾养分含量在各生育期均显著高于对照(CK),且棉花对氮、磷、钾养分的吸收主要集中在生育期的中后期,花铃期到吐絮期养分吸收量占总量的 60% 以上。在前期各有机无机肥配施处理与单施化肥处理养分吸收并无显著性差异,到棉花生长后期,单施化肥处理的养分吸收量要低于各有机无机配施处理,但差异不显著,这主要是由于前期不断施用化肥可以持续补充植物生长所需的养分,到后期,各有机无机配合施用一方面有机肥可及时补充田间系统中土壤养分,同时又通过调节土壤与化肥养分的释放强度和速率,使各生育期阶段得到更均衡的矿质营养^[15],从而保证作物的正常生长。

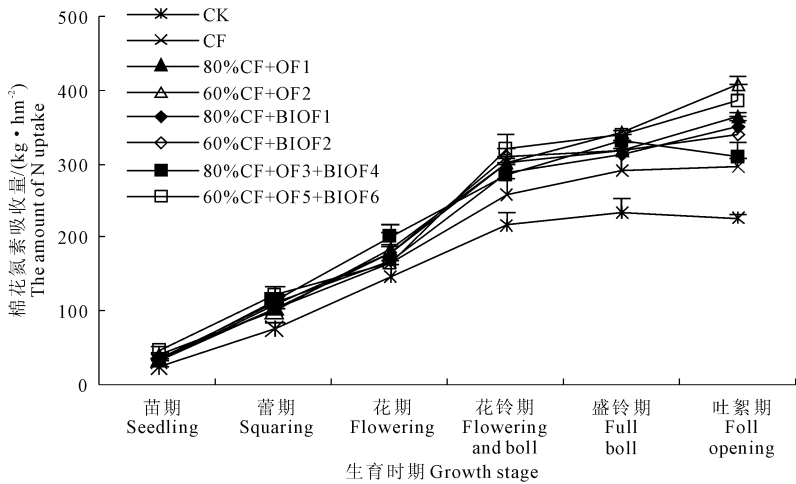


图 2 不同施肥处理下棉花氮素累积吸收量

Fig.2 Accumulation of nitrogen by cotton under different fertilization treatments

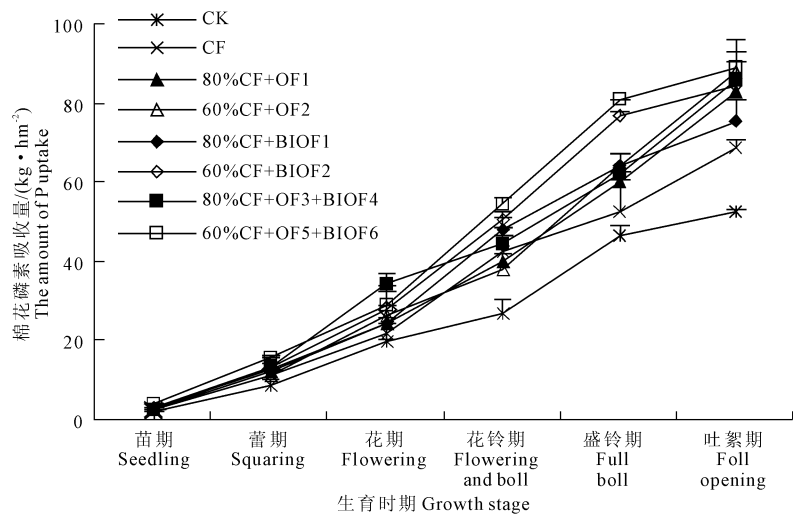


图 3 不同施肥处理下棉花磷素累积吸收量

Fig.3 Accumulation of phosphorus by cotton under different fertilization treatments

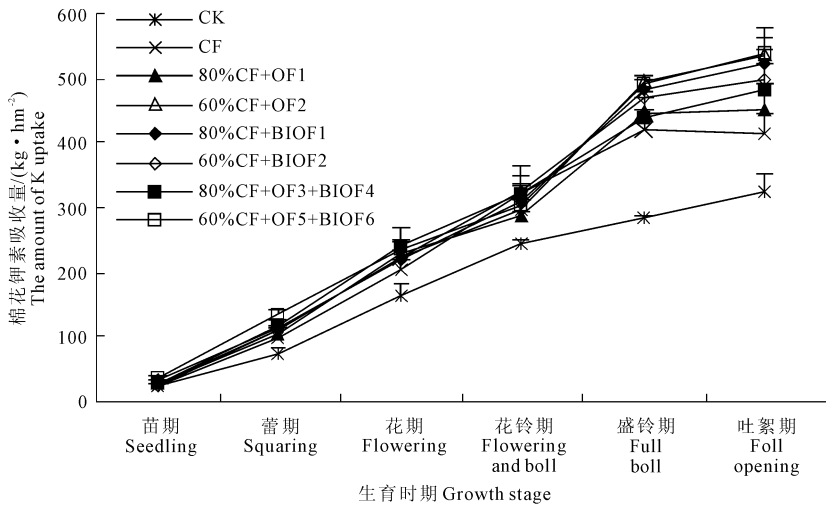


图 4 不同施肥处理下棉花钾素累积吸收量

Fig.4 Accumulation of potassium by cotton under different fertilization treatments

对于不同有机无机肥配施处理,一种有机肥与化肥配施,吸收氮量差异不显著,而两种有机肥与化肥配施到生育后期差异显著,且 60% CF + OF5 + BIOF6 吸收量要略高于 80% CF + OF5 + BIOF6 处理。对磷素的吸收在生育中后期 60% CF + OF5 + BIOF6 处理始终略高于其他各处理,而钾素吸收量 60% CF + OF5 + BIOF6 处理与 60% CF + OF2 处理表现趋于一致,说明 OF5 + BIOF6 与 OF2 对钾素吸收的促进作用相似,单施化肥处理到吐絮期有略微下降的趋势,可能是由于化肥到后期不能供应足够的钾素,而有机肥可以通过矿化等作用提供较多钾素营养^[16],使对钾素的供应持续而稳定。

2.3 有机无机肥配施对棉花产量及产量构成的影响

由表 1 可以看出,不同施肥处理的棉花产量均显著高于对照(CK),且与对照相比,棉花产量增产范围 78.5% ~ 101.6%,其中 60% CF + OF5 + BIOF6 产量最高,为 7 137.3 kg·hm⁻²,但各施肥处理间差异不显著。而在施用相同量的无机肥料情况下,尤其是在两种有机肥混合施用化肥减少 40%,棉花产量要高于单施化肥的棉花产量,增加了 390.9 kg。单施一种有机肥与化肥配施时,产量与单施化肥无显著性差异,说明有机肥替代部分化肥可以达到与单施化肥相同的效果。

表 1 不同施肥处理的棉花产量及产量构成

Table 1 Cotton yield and yield compositions under different fertilization treatments

处理 Treatment	产量 Yield (kg·hm ⁻²)	产量构成 Yield composition		
		衣分/% Lint	单株铃数/(个·株 ⁻¹) Boll number per plant	单铃重/g Single boll weight
CK	3540.4c	40.01 ± 1.39a	5.40 ± 0.12e	5.25 ± 0.22a
CF	6746.4ab	39.45 ± 2.27a	6.30 ± 0.04d	5.78 ± 0.41a
80% CF + OF1	6525.0ab	39.62 ± 0.51a	6.99 ± 0.14b	5.35 ± 0.35a
60% CF + OF2	6408.9b	39.52 ± 0.84a	6.97 ± 0.06b	5.91 ± 0.89a
80% CF + BIOF1	6320.4b	39.51 ± 0.48a	6.54 ± 0.03c	5.88 ± 0.26a
60% CF + BIOF2	6551.7ab	39.28 ± 1.65a	6.97 ± 0.03b	5.82 ± 0.54a
80% CF + OF3 + BIOF4	6702.0ab	38.88 ± 1.98a	7.04 ± 0.01b	5.95 ± 0.18a
60% CF + OF5 + BIOF6	7137.3a	40.33 ± 1.19a	7.78 ± 0.04a	5.61 ± 0.14a

注:同一列不同英文字母表示显著差异 ($P < 0.05$)。±后数字为标准差。
Note: Values with the different letter in the same column were significantly different ($P < 0.05$). Values after “±” are standard error.

棉株的衣分、单株铃数及单铃重是构成棉花产量的重要指标之一。不同施肥处理表现出一定的差异,施肥处理与不施肥衣分并没有显著差异,这主要

是由于施肥对衣分的影响不大,而施肥可以显著增加棉花单株铃数,且有机无机肥配施处理要显著高于单施化肥,说明施用有机肥有利于促进棉花棉铃

的形成。不同施肥处理的棉花单铃重无显著差异,但各施肥处理均高于对照。

2.4 不同施肥对化肥氮利用率的影响

养分效率通常被用来表示作物对养分吸收利用的相对大小^[17]。氮素累积吸收总量是指吸收养分的绝对量;氮肥回收率是评价作物对氮素肥料吸收的重要指标,反映作物对土壤中肥料氮的回收利用效果;氮肥生理利用效率反映了作物体内对所吸收的肥料氮素的利用率^[18];肥料偏生产率是指投入单位肥料所获得的作物产量,这些指标从不同的侧面描述了作物对氮素的利用效率。由表 2 可以看出氮素吸收量顺序为有机无机肥配施 > 单施化肥 > 对照。有机无机肥配施处理氮素的回收率均高于单施

化肥处理,且 60% CF + BIOF2 回收率最高为57.8%。在相同无机肥施用量,60% CF 配施有机肥料处理较 80% CF 配施有机肥略高。而有机无机肥配施各处理的氮肥生理利用率都低于化肥处理,且处理间差异不显著,可能是由于这 6 种配施方式单位面积籽棉产量与化肥处理差异不显著而单位面积棉花地上部氮素累积总量略高于化肥处理。不同施肥处理偏生产率要显著高于对照(CK),其中 60% CF + OF5 + BIOF6 偏生产率略高,为 39.65 kg·kg⁻¹,而配施各处理均高出单施化肥处理 17.1% ~ 76.3%,说明有机无机肥配施在生产上能够最大程度调节养分供应状况,使化肥的养分得到充分利用,从而提高化肥的利用率。

表 2 不同施肥处理对氮素利用效率的影响
Table 2 Effects of different fertilization treatments on nitrogen use efficiency

处理 Treatment	氮素吸收总量 TNA/(kg·hm ⁻²)	氮素利用率 NUE/%	氮肥生理利用率 PNUE/(kg·kg ⁻¹)	偏生产率 PEP/(kg·kg ⁻¹)
CK	215.8 ± 19.5c	—	—	—
CF	259.8 ± 19.9b	14.6 ± 4.3bc	53.4 ± 0.15a	22.48 ± 0.34ab
80% CF + OF1	291.6 ± 7.1a	31.5 ± 8.8ab	18.88 ± 7.03bc	21.75 ± 1.18ab
60% CF + OF2	297.0 ± 4.0a	45.1 ± 9.8a	16.47 ± 1.72c	21.36 ± 1.48b
80% CF + BIOF1	285.8 ± 12.7a	38.3 ± 16.2ab	20.89 ± 3.77bc	21.06 ± 1.83b
60% CF + BIOF2	319.9 ± 12.7a	57.8 ± 21.6a	26.14 ± 10.47b	21.83 ± 0.48ab
80% CF + OF3 + BIOF4	283.6 ± 13.7ab	28.2 ± 10.2ab	31.09 ± 12.01bc	22.34 ± 0.70ab
60% CF + OF5 + BIOF6	303.6 ± 21.1a	48.7 ± 21.4a	21.51 ± 3.54bc	23.79 ± 0.88a

3 结论与讨论

3.1 有机无机肥配施对棉花产量的影响

大量的试验表明有机无机肥配施可以不同程度提高作物产量^[19-21],而无机肥 + 有机肥 + 微生物肥料(生物复混肥)的施用效果要略好于化肥与一种有机肥配合施用^[22]。本试验结果也证明了有机无机肥配施可以增加棉花的产量,且两种有机肥与化肥配合施用处理增产效果较好,主要是由于有机无机肥配合施用,增加了土壤中有益微生物数量,改善了土壤的供氮特性,使土壤养分平稳释放^[23-24],促进棉花对养分的吸收,从而提高了棉花产量。

本试验研究结果表明,与单施化肥相比,有机无机肥配施对棉花长势、单株铃数等都有一定的促进作用,尤其是 60% CF + OF5 + BIOF6 处理最为显著,这可能是由于生物有机肥的加入,带来大量的有益微生物^[25],在 60% 化肥施用量条件下维持土壤中的速效养分在较高的水平,以为作物生长持续供应养分。而 80% 化肥施用量条件下,可能是微生物的生长环境有一定的影响,单施一种有机肥处理的或是

因为能源物质不够充足,或是因为微生物数量少的缘故,影响作物对养分吸收利用。

3.2 有机无机肥配施对棉花氮素利用效率的影响

有机无机肥配施不仅提高作物产量,而且还能促进作物干物质的累积,从而增加养分的吸收量,提高肥料利用效率^[26]。本试验证明有机无机肥配施能在棉花生长中后期显著增加养分的吸收量,这主要是因为是在生长前期有机无机肥配施提供的养分一部分供作物生长,另一部分被微生物固定,到生长后期,当作物需肥量增加时,土壤中的养分逐渐减少导致没有更多的能源物质来维持微生物的生命活动,大量微生物相继死亡,被固持在这部分微生物体中养分便被释放释放出来以供作物吸收利用,从而可以持续稳定的供应养分,保证作物正常生长;而单施化肥处理,在前期,除了部分养分供应作物需求外,大部分养分遭受损失,从而导致环境污染,肥料利用率下降等一系列问题。况且有很多试验研究表明单施化肥土壤中矿质态氮释放快,到后期含量迅速下降,使氮素供应不足,导致在棉花生长后期,氮素累积量低于各配施处理,因而氮素的利用率较低,而

60%化肥施用量条件下施用有机肥的量较多,有充足的能源物质,更利于微生物的生长,使土壤中的氮素缓慢而平稳释放,减少氮素的损失,促进棉花对氮素的吸收利用,到收获时氮素的累积吸收量要高于单施化肥处理,从而提高氮素利用效率。

参 考 文 献:

[1] 高月亮,华 璐,蔡典雄,等.氮肥利用及其提高利用率的途径与方法[J].首都师范大学学报,2006,27(4):57-62.

[2] Conacher J, Conacher A. Organic farming and the environment, with particular reference to Australia: A review[J]. Biological Agriculture and Horticulture, 1998, 16: 145-171.

[3] 聂胜委,黄绍敏,张水清,等.长期定位施肥对土壤效应的研究进展[J].土壤,2012,44(2):188-196.

[4] 孟 琳,王 强,黄启为,等.猪粪堆肥与化肥配施对水稻产量和氮效率的影响[J].生态与农村环境学报,2008,24(1):68-71, 76.

[5] 郁 洁,蒋 益,徐春森,等.不同有机肥及其堆肥与化肥配施对小麦生长剂氮素吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,16(6):1293-1302.

[6] 张发明,毛昆明,刘宏斌,等.不同量有机肥与化肥配施对水稻氮素吸收利用的影响[J].云南农业大学学报,2011,26(5):694-699.

[7] 侯红乾,刘秀梅,刘光荣,等.有机无机肥配比对红壤稻田水稻产量和土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2011,44(3):516-523.

[8] Ndukwe O O, Muoneke C O, Baiyeri K P, et al. Effect of organic and inorganic fertilizers on nutrient concentrations in plantain (*Musa* spp.) fruit pulp[J]. African Journal of Biotechnology, 2012. 11(7): 1651-1658.

[9] Funda Yoldasl, Safak Ceylan, Nilgum Mordogan, et al. Effect of organic and inorganic fertilizers on yield and mineral content of onion (*Allium cepa* L.) [J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 55(10):11488-11492.

[10] 欧杨虹,徐阳春,沈其荣.有机氮部分替代无机氮对水稻产量和氮素利用率的影响[J].江苏农业学报.2009,25(1):106-111.

[11] 张小莉,孟 琳,王秋君,等.不同有机无机复混肥对水稻产量和氮素利用率的影响[J].应用生态学报.2009,20(3):624-630.

[12] 王月福,于振文,李尚霞,等.土壤肥力和施氮量对小麦氮素吸收运转及籽粒产量和蛋白质含量的影响[J].应用生态学报,2003,14(11):1868-1872.

[13] 戴婷婷,盛建东,陈波浪.磷肥不同用量对棉花干物质及氮磷钾吸收分配的影响[J].棉花学报,2010,22(5):466-470.

[14] 陈振德,何金明,李祥云,等.施用腐殖酸对提高玉米氮肥利用率的研究[J].中国生态农业学报,2007,15(1):52-54.

[15] 周卫军,王凯荣,张光远,等.有机与无机肥配合对红壤稻田系统生产力及其土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2002,35(9):1109-1113.

[16] 徐明岗,李冬初,李菊梅,等.化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响[J].中国农业科学,2008,41(10):3133-3139.

[17] 严小龙,张福锁.植物营养遗传学[M].北京:中国农业出版社,1997.

[18] 王秋君,张小莉,罗 佳,等.不同有机无机复混肥对小麦产量、氮效率和土壤微生物多样性的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1003-1009.

[19] 李继明,黄庆海,袁天佑,等.长期施用绿肥对红壤稻田水稻产量和土壤养分的影响[J].植物营养与肥料学报.2011,17(3):563-570.

[20] 姜灿烂,何园球,李辉信,等.长期施用无机肥对红壤旱地养分和结构及花生产量的影响[J].土壤学报,2009,46(6):1102-1109.

[21] 马俊永,李科江,曹彩云,等.有机-无机肥长期配施对潮土土壤肥力和作物产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(2):236-241.

[22] 赵凤兰,李华兴,张丽娟,等.生物复混肥施用量对土壤养分及作物生长的影响[J].土壤,2009,41(2):248-252.

[23] 张 娟,沈其荣,冉 炜,等.施用预处理秸秆对土壤供氮特征及菠菜产量和品质的影响[J].土壤,2004,36(1):37-42.

[24] 王艳博,黄启为,孟 琳,等.有机无机肥料配施对菠菜生长和土壤供氮特性的影响[J].南京农业大学学报,2006,29(3):44-48.

[25] 王艳霞,冯 宏,李华兴,等.生物复混肥对土壤微生物的影响研究[J].植物营养与肥料学报,2008,14(6):1206-1211.

[26] Adeniyani O N, Ojo A O, Akinbode O A, et al. Comparative study of different organic manures and NPK fertilizer for improvement of soil chemical properties and dry matter yield of maize in two different soils [J]. Journal of Soil Science and Environmental Management, 2011,2(1):9-13.