

黄腐酸对蒜套棉制度下棉花产量品质及土壤性状的影响

吕冬青¹, 张铭谷¹, 马玉增¹, 郭新送², 李成亮¹

(1. 土壤资源高效利用国家工程实验室, 国家缓控释肥工程技术研究中心, 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018; 2. 山东农大肥业科技有限公司, 山东 肥城 271600)

摘要: 为明确黄腐酸在蒜套棉生产中棉花上的应用效果, 实现棉花高产优质高效施肥, 进行两季大田试验, 试验设不施肥(CK)、常规施肥(BF)、常规施肥配施低、中、高量黄腐酸微生物菌剂(FA20、FA30、FA40)、常规施肥配施黄腐酸叶面肥(BFL50)、常规施肥配施低量黄腐酸微生物菌剂及黄腐酸叶面肥(FA20L50)共7个处理, 研究不同黄腐酸肥料与常规肥料配施对蒜套棉制度下棉花产量、纤维品质及土壤养分的影响。结果表明: (1) 与常规施肥相比, 皮棉产量随着黄腐酸微生物菌剂用量的增加而增大, FA30、FA40皮棉产量较BF显著增产12.07%和22.41%, 在苗期和盛花期显著提高土壤硝态氮、铵态氮和速效钾含量, FA40还提高了土壤有效磷含量。 (2) 常规施肥配施黄腐酸叶面肥处理皮棉产量较常规施肥处理平均增产7.19%, 在盛花期叶片SPAD提高7.78%, 并显著提高了气孔导度和净光合速率, 降低胞间CO₂浓度。 (3) FA20L50较FA20和BFL50皮棉产量提高7.68%~27.51%, 同时提高了纤维长度、整齐度指数和断裂比强度, 并提高了土壤硝态氮、铵态氮、有效磷和速效钾含量, 土壤磷酸酶活性显著高于其他各处理。FA20L50处理的棉花茎和叶中氮、磷和钾总量与FA40差异不显著, 但显著高于其他各处理; 在铃壳中的养分总量较其他各处理提高8.96%~47.35%, 净光合速率显著高于未施用黄腐酸叶面肥的处理。综上所述, 常规肥料配施300 kg/hm²黄腐酸微生物菌剂与750 mL/hm²黄腐酸叶面肥处理田间施用效果最佳, 能够提高棉花各生育期土壤速效养分供应, 有利于养分在生殖器官中的积累, 促进棉花叶片的净光合速率, 提高棉花产量及品质。

关键词: 黄腐酸; 蒜套棉; 棉花; 产量; 品质; 理化性质

中图分类号: S562

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2020)02-0222-09

DOI: 10.13870/j.cnki.stbxb.2020.02.032

Effect of Fulvic Acid on Cotton Growth and Soil Chemical Properties in a Garlic-cotton Intercropping System

LÜ Dongqing¹, ZHANG Minggu¹, MA Yuzeng¹, GUO Xinsong², LI Chengliang¹

(1. National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, National Controlled Release Fertilizer Engineering Technology Research Center, College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018; 2. Shandong Agricultural University Fertilizer Technology Co., Ltd., Feicheng, Shandong 271600)

Abstract: In order to clarify the effect of fulvic acid application on cotton in garlic-cotton intercropping production and realize high-yield, high-quality and high-efficiency fertilization of cotton, a two-season field experiment was conducted. The experiment consisted of no fertilization (CK), conventional fertilization (BF), conventional fertilization combined with low, medium and high rates of fulvic acid microbial agents (FA20, FA30, FA40), conventional fertilization combined with fulvic acid foliar fertilizer (BFL50), conventional fertilization combined with low amount of fulvic acid microbial agent and fulvic acid foliar fertilizer (FA20L50). The effects of different fulvic acid fertilizers combined with conventional fertilizers on yield, fiber quality and soil nutrients of cotton-garlic intercropping were studied. The results showed: (1) Compared with conventional fertilization, the yield of cotton lint increased with the increase of the fulvic acid microbial agents application rates. The average lint yield in FA30 and FA40 treatments increased significantly by 12.07% and 22.41% respectively in comparison with BF treatment. Meanwhile, FA30 and FA40 treatments significantly increased soil nitrate nitrogen, ammonium nitrogen and available potassium contents during seedling and full bloom,

收稿日期: 2019-08-02

资助项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0201901)

第一作者: 吕冬青(1994—), 女, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要从事土壤肥料及环境效应研究。E-mail: lvdongqing7@163.com

通信作者: 李成亮(1976—), 男, 博士, 教授, 主要从事土壤肥料及环境效应研究。E-mail: chengliang_li11@163.com

FA40 also increased soil available phosphorus contents. (2) The cotton lint yield of conventional fertilization combined with fulvic acid foliar fertilizer increased by 7.19% on average compared with conventional fertilization, and the SPAD of leaves increased by 7.78% during flowering stage, which significantly increased stomatal conductance and net photosynthetic rate, and decreased intercellular CO₂ concentration. (3) Compared with FA20 and BFL50, FA20L50 increased lint yield by 7.68%~27.51%, significantly increased fiber length, evenness index and breaking strength. Moreover, FA20L50 increased soil ammonium, nitrate, available phosphorus and available potassium contents. Soil phosphatase activity in FA20L50 was significantly higher than other treatments. The total amounts of nitrogen, phosphorus and potassium in cotton stems and leaves in FA20L50 treatment were significantly higher than other treatments, besides FA40 treatment. FA20L50 increased the total nutrient contents by 8.96%~47.35% in the bell shell in comparison with other treatments, and significantly improved the net photosynthetic rate compared with treatments without fulvic acid foliar fertilizer. In conclusion, conventional fertilizer combined with 300 kg/hm² fulvic acid microbial agent and 750 mL/hm² fulvic acid foliar fertilizer had the best application effect, which could improve the available nutrient supply of soil at all growth stages of cotton and facilitate the accumulation of nutrients in reproductive organs, thus promote the net photosynthetic rate of cotton leaves and improve the yield and quality of cotton.

Keywords: fulvic acid; garlic-cotton intercropping system; cotton; yield; quality; physical and chemical properties

棉花是锦葵科(*Malvaceae*)棉属(*Gossypium*)植物的种籽纤维,原产于亚热带,是我国重要的经济作物之一,在国民经济和社会生产中占据重要地位。近年来,随着粮食安全问题和棉花与粮食、蔬菜作物争地矛盾的日益加剧,棉花产量和种植面积均存在较大幅度减少^[1]。黄淮海平原是我国重要的棉花和大蒜生产基地,在全国棉花生产布局中占有重要的战略地位^[2],该地区大蒜(洋葱、小麦)一棉花套种已经成为华北平原重要的种植模式之一^[3]。

腐殖酸(Humic acid,简称 HA)是一类成分复杂的天然有机物质,在农业上应用广泛^[4]。黄腐酸(Fulvic acid,简称 FA)是腐殖酸中一个分子量较低的水溶性有机物,一种天然的高分子有机酸,是有机肥中的活性成分^[5],主要为芳香族羟基羧酸类物质^[6],含有羧基、酚羟基和醌基等多种活性基团,具有较强的络合、螯合和表面吸附能力^[7]。随着我国经济的发展,肥料施用从单纯的提高产量到产量与环境并重,而且进入绿色可持续发展时代,农业生产迫切需要养分效率高、环境友好型的肥料^[8]。黄腐酸肥料能够改良土壤,提高叶片光合作用,刺激作物生长发育^[9-10],也可以通过调控逆境胁迫下植物的新陈代谢,增强作物抗逆性能和改善作物品质^[11-12],在农业生产中表现出高效率、实用性强的特点,还可以清除或降低环境中多种有害物质的胁迫,有利于保护环境,是一种具有可持续性发展特点的新型生物技术。

目前黄腐酸在粮食、蔬菜中的应用效果已经得到了广泛研究,但黄腐酸产品对蒜套棉种植体系下棉花生长的影响尚未明确。因此,本试验研究不同黄腐酸

肥料及用量对蒜套棉种制度下棉花生长及土壤理化性质的影响,以期黄腐酸类肥料在蒜套棉种制度下棉花生产上的推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地位于山东省济宁市金乡县鸡黍镇(34.96°N, 116.20°E),是典型的鲁西南大蒜种植地区,属暖温带季风大陆性气候,年平均气温为 13.8℃,年平均降水量为 694.5 mm。供试土壤类型为潮土,在中国土壤系统分类中为普通淡色潮湿雏形土(Calcaricochri-aquiccam-bosols)。土壤有机质含量为 9.72 g/kg,有效磷和速效钾含量分别为 9.62,95.90 mg/kg,硝态氮含量 16.54 mg/kg,铵态氮含量 10.50 mg/kg,pH(土水质量比为 1:2.5)为 8.47,电导率为 316.61 μS/cm。

棉花品种为“银兴棉 14”。供试肥料采用来自山东泉林嘉有肥料有限责任公司的黄腐酸微生物菌剂(N 1.10%,P₂O₅ 1.08%,K₂O 0.63%)和黄腐酸叶面肥(N 8.93%,P₂O₅ 0.44%,K₂O 0.18%)。供试传统肥料为尿素(N 46%)、重过磷酸钙(P₂O₅ 46%)和硫酸钾(K₂O 50%)。黄腐酸微生物菌剂有效含量是黄腐酸≥20%,有机质≥25%,Ca+Mg≥4%,枯草芽孢杆菌+地衣芽孢杆菌≥1 亿/g。

1.2 试验设计

本试验共设 7 个处理,分别为:(1)不施肥(CK);(2)常规施肥(BF);(3)常规施肥+300 kg/hm²黄腐酸微生物菌剂(FA20);(4)常规施肥+450 kg/hm²黄腐酸微生物菌剂(FA30);(5)常规施肥+600 kg/hm²黄腐酸微生物菌剂(FA40);(6)常规施肥+750

mL/hm²黄腐酸叶面肥(BFL50);(7)常规施肥+600 kg/hm²黄腐酸微生物菌剂+750 mL/hm²黄腐酸叶面肥(FA20L50)。常规无机肥的施用量为当地推荐用量 90—90—90(N—P₂O₅—K₂O)kg/hm²。

试验每个处理重复 3 次,共 21 个小区,各小区随机区组排列,小区长 6 m,宽 5 m,面积为 30 m²。小区与小区之间有 30 cm 的土埂相隔,灌溉时各小区用小型喷灌带单独进行,并保证浇水量一致,以减少因灌、排水造成养分移动所引起的差异。每列小区之间均建有 1 m 宽的水沟用于降雨过多时排水。

试验采用大蒜—棉花套种模式,于 2016 年 10 月 3 日大蒜种植开始,至 2018 年 9 月 27 日棉花收获结束,共 2 年 4 季。2016 年、2017 年 10 月初将大蒜季常规肥料和黄腐酸微生物菌剂肥料以基肥形式深翻施入土壤中,播种大蒜并覆膜;6 月下旬将棉花季常规肥料和黄腐酸微生物菌剂肥料施入距棉花根系 5~15 cm 的施肥沟中,施肥深度为 10~15 cm;黄腐酸棉花专用叶面肥在花铃期分 3 次施用,每次施用量为 750 mL/hm²。在棉花生育期内,按常规高产栽培技术进行田间管理。

1.3 样品采集

每年 9 月下旬棉花收获,每个小区选取中间 2 行统计棉花成铃数,同时每小区采集 100 朵棉絮,风干称重后计算单铃重,用皮辊机轧花后测定纤维质量,计算棉花衣分。根据小区株数、单株成铃数和单铃重和衣分含量,计算各个处理的籽棉和皮棉产量。

2018 年棉花土壤取样时间分别为苗期(2018 年 5 月 14 日)、蕾期(2018 年 6 月 29 日)、初花期(2018 年 7 月 6 日)、盛花期(2018 年 8 月 15 日)、始絮期(2018 年 9 月 4 日)和收获期(2018 年 9 月 27 日)。在棉花株间采用 5 点采样法,采样深度 20 cm,将土壤混合均匀后用四分法保留约 500 g,带回实验室。部分鲜土立即测定土壤硝态氮、铵态氮含量,剩余土壤自然风干后磨细,分别过 2, 0.25 mm 筛后保存待测。

在棉花蕾期、初花期、盛花期和始絮期,每小区随机选 10 株棉花,通过叶绿素仪(SPAD-502, Minolta, 日本)测定棉花功能叶片(主茎倒 4 叶)SPAD 值,测定时避开叶脉和有损的叶片。在棉花盛花期(2018 年 8 月 15 日),晴天 9:00—11:00 采用 Li-6400XT 便携式光合速率仪测定棉花主茎倒 4 叶光合指标,包括净光合速率(P_n)、气孔导度(C_s)、胞间二氧化碳浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r)。

棉花收获后,植株按茎、叶、铃分类,置于烘箱中 105 ℃杀青 30 min,然后转至 85 ℃烘箱烘干至恒重,其后称重磨细待测。

1.4 样品测定方法

土壤 NH₄⁺—N 和 NO₃⁻—N 含量(土壤鲜样)用 0.01 mol/L 的 CaCl₂溶液浸提,采用连续流动注射分析仪(AA3)测定;土壤有效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO₃(pH 8.5)浸提,钼锑抗比色法测定;土壤速效钾含量采用 1.0 mol/L NH₄OAc (pH 7.0)浸提,火焰光度法测定;土壤脲酶活性采用靛酚蓝比色法测定,以 24 h 后 1 g 土壤中 NH₃—N 的质量(mg)表示脲酶活性;土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定,以 20 min 后 1 g 土壤的 0.1 N 高锰酸钾的毫升数表示过氧化氢酶活性;土壤碱性磷酸酶活性的测定采用磷酸苯二钠比色法,以 24 h 后 1 g 土壤的酚毫克数表示磷酸酶活性。植株各器官样品采用 H₂SO₄—H₂O₂联合消煮,氮采用凯氏定氮法、磷采用钒钼黄比色法、钾采用火焰光度计法测定。将纤维样品送到农业部农产品质量监督检验测试中心(河南,安阳)进行棉花品质分析,测定棉花纤维长度、整齐度、比强度、伸长率和马克隆值 5 项品质指标。

1.5 数据统计与分析

试验数据采用 Excel 2016 和 SAS 8.2 软件进行处理和统计分析,采用 ANOVA 法进行方差分析,不同处理间采用 Dunnett's Multiple Range Test 法检验各处理平均数在 $P < 0.05$ 水平的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 黄腐酸肥料对棉花产量的影响

2017 年和 2018 年度不同处理棉花产量及产量构成因素见表 1。FA20L25 处理单株成铃数显著高于其他处理,其次为 FA30 和 BFL50 处理的成铃数较高,FA20 与 BF 差异不显著。与 BF 处理相比,2017 年、2018 年其他各施肥处理单铃重分别增加 0.04~0.40, 0.12~0.60 g,但 2017 年 BFL50 处理、2018 年 FA20 处理与 BF 处理差异不显著。2017 年 FA20、FA30 处理籽棉产量较 BFL50 处理差异不显著,2018 年 BFL50 处理显著高于 FA20 处理;2017 年和 2018 年籽棉产量以 FA20L50 处理最高,较 BF 处理显著提高 33.63%~28.90%。2017 年各施肥处理间衣分差异不显著;2018 年 FA20、FA30、FA40、FA20L50 处理衣分显著高于 BF 处理,其中 FA20L50 处理最高。皮棉产量随籽棉产量的变化而变化,增产效应与籽棉一致,FA20L50 处理皮棉产量显著高于其他处理,分别较 FA20 和 BFL50 处理增产 26.14%~31.31%和 23.77%~29.19%。

2.2 黄腐酸肥料对棉花纤维品质的影响

纤维品质是评价棉花商品性能最重要的指标。FA20L50 处理 2 年棉花纤维上半部平均长度较 FA20 处理分别增加 2.80%和 4.16%,比 BFL50 处理

分别增加 4.57%和 5.77%,且 FA20 与 BFL50 处理差异不显著(表 2)。FA40 和 FA20L50 处理棉花纤维整齐度指数和断裂比强度高于其他处理,且二者差异不显著。2017 年 FA20L50 处理棉花纤维马克隆值最大,显著高于其他处理;2018 年度各处理间棉花纤维马克隆值无差异。各处理间伸长率无显著差异。

表 1 不同处理棉花产量及产量构成因素

年份	处理	单株 成铃数/个	单铃重/ g	籽棉产量/ (kg·hm ⁻²)	衣分/%	皮棉产量/ (kg·hm ⁻²)
2017	CK	20.25d	5.76d	3446.89f	40.23b	1386.51f
	BF	21.30cd	6.07c	3861.83e	40.64ab	1569.49e
	FA20	22.23bc	6.28b	4090.04d	41.10a	1680.93d
	FA30	22.90b	6.26b	4378.15c	40.45ab	1770.83c
	FA40	24.40a	6.34b	4792.64b	41.14a	1971.77b
	BFL50	22.75b	6.11c	4226.56cd	40.53ab	1713.01cd
	FA20L50	25.45a	6.47a	5160.80a	41.08a	2120.27a
2018	CK	18.81e	5.67e	3409.84e	39.33d	1340.81f
	BF	21.29d	6.05d	4121.75d	39.61cd	1632.69e
	FA20	21.11d	6.17cd	4166.76cd	40.57b	1690.32de
	FA30	22.26c	6.30bc	4486.76bc	40.50b	1817.43c
	FA40	23.15b	6.45b	4778.39b	40.72b	1945.89b
	BFL50	20.74d	6.40b	4248.10b	40.45bc	1718.04d
	FA20L50	24.61a	6.75a	5313.08a	41.77a	2219.60a

注:同列数据后不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

表 2 不同处理棉花纤维品质

年份	处理	上半部 平均长度/mm	整齐度 指数/%	断裂比强度/ (cN·tex ⁻¹)	马克隆值	伸长率/%
2017	CK	28.75d	82.75c	29.33e	5.43b	6.77a
	BF	29.55bc	83.50bc	29.87de	5.73ab	6.73a
	FA20	29.60bc	83.53bc	30.47cd	5.80ab	6.77a
	FA30	30.25a	83.70bc	31.47ab	5.63ab	6.77a
	FA40	30.07ab	84.75a	32.17a	5.73ab	6.80a
	BFL50	29.10cd	84.37ab	31.13bc	5.57ab	6.80a
	FA20L50	30.43a	84.70a	32.13a	5.90a	6.77a
2018	CK	28.30d	83.33c	28.60d	5.80a	6.77a
	BF	28.53d	85.13b	29.00d	5.67a	6.77a
	FA20	28.87cd	85.40b	29.90bc	5.70a	6.77a
	FA30	29.30bc	85.97ab	30.40b	5.70a	6.77a
	FA40	29.75ab	86.33ab	31.23a	5.73a	6.80a
	BFL50	28.43d	85.80ab	29.45cd	5.73a	6.73a
	FA20L50	30.07a	86.85a	31.90a	5.73a	6.73a

2.3 黄腐酸肥料对棉花功能叶片叶绿素和光合特性的影响

棉花整个生育期内各处理叶片 SPAD 值呈现先升高后降低的趋势(表 3)。棉花蕾期各处理棉花叶片 SPAD 值差异不显著;初花期 FA20L50 处理叶片 SPAD 值最高,但较 BF 处理差异不显著。随着生育期的进行,施肥对棉花叶绿素的影响在盛花期显现出来,FA30、FA40 处理棉花叶片 SPAD 值较 BF 处理显著提高;黄腐酸叶面肥处理较黄腐酸微生物菌剂处理棉花叶片 SPAD 值增高,但差异不显著;常规肥料配施黄腐酸微生物菌剂与黄腐酸叶面肥能够更大幅度地提高叶片叶绿素含量,较 BF 增加 12.16%。到

棉花始絮期,FA20L50 处理棉花叶片 SPAD 值略高于 BF 处理,其他施肥处理较 BF 处理差异不显著。

表 3 不同处理 2018 年棉花叶片 SPAD 值

处理	蕾期	初花期	盛花期	始絮期
CK	42.77a	52.31b	47.26c	39.45d
BF	43.88a	52.40ab	47.53c	43.22bc
FA20	44.43a	52.75ab	48.93bc	42.54c
FA30	45.33a	52.33b	50.46b	44.70ab
FA40	44.32a	52.61ab	51.14ab	43.09c
BFL50	43.41a	52.78ab	51.23ab	43.19bc
FA20L50	43.83a	53.61a	53.31a	44.89a

施用黄腐酸微生物菌剂和黄腐酸叶面肥可以显著影响棉花盛花期叶片光合各项指标,包括净光合速

率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间二氧化碳浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r)(表 4)。BFL50 和 FA20L50 处理显著提高棉花叶片 P_n 值,黄腐酸微生物菌剂处理(FA20、FA30、FA40)较常规施肥处理(BF)差异不显著。FA30、FA40、BFL50 处理较 BF 处理显著提高了 G_s 值,但 FA20 较 BF 处理差异不显著;FA20L50 处理 G_s 和 T_r 值最大,较 FA20、BFL50 处理差异显著。FA30、FA40、BFL50 处理较 BF 处理显著降低了 C_i 值,FA20L50 处理 C_i 值最小,较 FA20、BFL50 处理差异显著。

2.4 黄腐酸肥料对棉花土壤养分状况和土壤酶活性的影响

充足的土壤氮素供应是保证棉花生长的关键,从

土壤硝态氮含量(表 5)来看,受前期大蒜施肥的影响,在苗期和蕾期 FA30 和 FA40 处理较常规施肥处理(BF)显著提高。

蕾期施用微生物菌剂后,从初花期到收获期 FA40 处理均显著高于其他处理。在棉花初花期,施用高量黄腐酸微生物菌剂处理(FA40)、常规肥料配施黄腐酸微生物菌剂与黄腐酸叶面肥处理(FA20L50)较常规施肥处理(BF)的土壤硝态氮含量显著提高了 35.61%和 34.43%。在棉花盛花期施用黄腐酸叶面肥处理(BFL50 和 FA20L50)土壤硝态氮含量较 BF 处理分别降低了 24.51%和 37.73%。棉花始絮期和收获期,FA40 处理土壤硝态氮含量最高,较其他处理差异显著。

表 4 不同处理棉花盛花期叶片的光合特性

处理	净光合速率/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度/ ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	蒸腾速率/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
CK	29.20d	0.52f	289.53a	8.78c
BF	30.91c	0.55e	270.94b	9.83b
FA20	31.28c	0.55e	259.05bc	9.97b
FA30	31.80c	0.56d	257.33cd	10.03b
FA40	32.36bc	0.58c	247.96cd	10.01b
BFL50	33.45ab	0.61b	243.92d	10.82ab
FA20L50	34.97a	0.62a	229.76e	11.10a

表 5 2018 年不同处理不同棉花生育期土壤硝态氮含量

单位:mg/kg

处理	苗期	蕾期	初花期	盛花期	始絮期	收获期
CK	19.54e	16.23d	19.60c	14.54e	16.52e	11.52d
BF	21.93de	18.87c	42.35b	34.40c	21.43d	18.54b
FA20	23.24cd	19.85c	44.12b	36.39bc	27.93c	15.40c
FA30	25.99b	22.56b	44.50b	39.31b	31.50b	15.29c
FA40	28.46a	26.82a	57.43a	44.96a	35.95a	24.08a
BFL50	22.32d	18.61c	44.28b	25.97d	27.43c	15.59c
FA20L50	25.44bc	19.52c	56.93a	21.42d	33.08b	15.98c

不同黄腐酸处理对土壤中铵态氮含量的影响十分显著,增施黄腐酸微生物菌剂明显提高土壤铵态氮含量(表 6)。各施肥处理从棉花苗期至收获期可以看出,铵态氮含量呈先降低后升高再降低的趋势。在棉花初花期,添加黄腐酸微生物菌剂处理土壤铵态氮含量均高于常规施肥处理,且 FA30、FA40 处理较 BF 处理显著提高 24.08%和 40.53%;BFL50 处理较

BF 降低 7.96%。在棉花养分最大效率期(盛花期),添加黄腐酸微生物菌剂处理较常规施肥处理土壤铵态氮含量显著提高,及时满足了棉花对氮素的需求。在棉花始絮期和收获期,各处理铵态氮含量较前期有所降低,始絮期 FA40 处理显著高于其他处理;收获期 BFL50 处理较 BF 处理降低,但与其他施肥处理间差异不显著。

表 6 2018 年不同处理不同棉花生育期土壤铵态氮含量

单位:mg/kg

处理	苗期	蕾期	初花期	盛花期	始絮期	收获期
CK	18.80e	17.40d	16.15e	14.61f	13.12f	11.14c
BF	25.55d	19.22cd	50.78c	26.12e	18.32e	16.90a
FA20	29.53c	20.90abc	52.79c	45.96c	26.71b	17.20a
FA30	32.80b	21.23abc	63.01b	51.44b	25.58bc	16.78a
FA40	34.67a	23.25a	71.36a	56.09a	35.22a	15.75a
BFL50	24.15d	20.26bc	46.74d	27.33e	21.69d	13.52b
FA20L50	31.57b	22.22ab	51.20c	35.33d	24.44c	16.96a

棉花生育期内,未施肥的处理(CK)土壤有效磷含量呈下降的趋势,然而其余处理土壤有效磷含量呈现先降低后增加最后降低的趋势。

从表 7 可以看出,棉花初花期和盛花期,施用高量黄腐酸微生物菌剂处理较常规施肥处理(BF)的土

壤有效磷含量分别显著提高 23.34%和 40.38%,其余黄腐酸施肥处理的土壤均较常规施肥处理有所提高,但差异未达显著水平;棉花盛花期,高量黄腐酸微生物菌剂处理(FA40)的土壤有效磷含量与其他各处理差异显著。

表 7 2018 年不同处理不同棉花生育期土壤有效磷含量 单位:mg/kg

处理	苗期	蕾期	初花期	盛花期	始絮期	收获期
CK	24.97c	22.11c	21.84c	21.59c	18.74d	15.90d
BF	30.62b	23.02bc	29.74b	34.45b	28.10c	18.10c
FA20	30.27b	24.90b	31.73b	34.39b	30.22bc	19.26c
FA30	33.57ab	27.98a	33.31ab	34.69b	30.63bc	19.44c
FA40	36.95a	25.16b	36.68a	48.36a	38.20a	28.2a
BFL50	31.34b	27.71a	30.29b	38.04b	31.76b	21.78b
FA20L50	30.82b	23.27bc	34.29ab	38.59b	31.16b	22.16b

在 2018 年棉花蕾期(施肥前),各处理土壤中速效钾含量均低于棉花苗期(大蒜收获期)(表 8)。在大蒜—棉花套种模式下,棉花生长前期(大蒜收获期)浇水较多,加剧了钾素的淋溶损失,而在棉花蕾期后施肥,各施肥处理到棉花初花期时土壤速效钾含量显

著提高,随后呈下降的趋势。在棉花初花期和养分最大效率期(盛花期),单独添加黄腐酸微生物菌剂处理较常规施肥处理土壤速效钾含量显著提高 15.80%~31.40%和 12.64%~21.79%;BFL50 处理土壤速效钾略高于常规施肥处理,但差异未达显著水平。

表 8 2018 年不同处理不同棉花生育期土壤速效钾含量 单位:mg/kg

处理	苗期	蕾期	初花期	盛花期	始絮期	收获期
CK	123.53e	117.697c	110.24d	106.95d	98.29d	90.98d
BF	127.98de	128.95bc	243.53c	230.24c	160.71b	143.10c
FA20	156.53c	144.94ab	282.00b	259.34b	171.15b	155.67b
FA30	165.21b	153.04a	289.80b	262.66b	191.24a	164.55a
FA40	176.77a	161.92a	320.48a	280.40a	196.75a	167.20a
BFL50	134.19d	144.21ab	255.34c	237.72c	144.21c	146.60c
FA20L50	169.02ab	151.83a	285.73b	254.61b	159.04b	147.89c

棉花收获期,FA40 处理土壤脲酶活性最低,较 BF 处理降低 7.69%(表 9)。随着常规肥料配施黄腐酸微生物菌剂量的增加土壤碱性磷酸酶活性逐渐升高,其中 FA40 处理较 BF 处理差异达显著水平。BFL25 处理碱性磷酸酶活性显著高于 BF 处理,FA40L25 处理土壤碱性磷酸酶活性最高,较 BF 处理提高 16.27%,差异达显著水平。各处理间土壤过氧化氢酶活性差异不显著。

况来看,FA30 和 FA40 处理分别较 BF 处理茎氮含量显著提高 14.17%和 22.01%,BFL50 及 FA20L50 处理对棉花茎氮素积累无显著影响,与 FA20 差异不显著(图 1)。FA40 处理较常规施肥处理叶片氮含量显著提高 13.05%,FA30 和 FA20 处理与常规施肥处理差异不显著,常规施肥配施黄腐酸营养液对叶片氮积累无显著影响,常规施肥配施黄腐酸营养液和黄腐酸微生物菌剂与 FA40 差异不显著,但显著高于其他处理。FA20 处理与常规施肥处理铃壳氮含量差异不显著,FA30 和 FA40 处理较常规施肥处理分别显著提高 23.45%和 24.73%,2 个处理间差异不显著,常规肥料配施黄腐酸营养液对铃壳氮素积累无显著影响,常规肥料配施黄腐酸营养液与微生物菌剂的处理铃壳氮含量最高达 1.64%,显著高于其他各处理,说明常规肥料同时配施这 2 种黄腐酸肥料有利于氮素向铃壳运移,提高棉铃产量。

棉花收获期,植株的地上部各器官中磷含量相对较低,以茎、叶的磷含量最高,为 0.10%~0.11%,各处理间差异不显著。铃壳的磷含量相对较低,其中 FA30、FA40、BFL50 处理较 BF 处理差异不显著;

表 9 2018 年不同处理不同棉花生育期土壤酶活性

处理	H ₂ O ₂ 酶活性/ (mL·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	脲酶活性/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	碱性磷酸酶活性/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)
CK	2.01a	1.38a	3.34d
BF	2.02a	1.30ab	3.38d
FA20	2.01a	1.23b	3.42d
FA30	2.01a	1.30ab	3.48cd
FA40	2.03a	1.20b	3.61bc
BFL50	1.97a	1.25b	3.64b
FA20L50	1.98a	1.21b	3.93a

2.5 黄腐酸肥料对棉花各器官养分的影响

作物稳定协同的养分吸收和代谢是其生长发育和高产优质的前提,从收获期各器官对氮素的吸收情

FA20L50 处理最高达 0.095%，较 BFL50 差异达显著水平。

棉花收获期的不同器官中,叶的钾含量最高,为 2.04%~2.40%。茎中 FA20、FA30、FA40 处理和 BFL50 处理较 BF 均有提高,但处理间差异不显著;茎中 FA20L50 处理的钾含量最高达 1.97%,显著高于其他各处理。叶中 BF、FA40、FA20L50 处理间的钾含量差异不显著。铃壳中 FA20L50 处理最高,较 FA20 处理分别高出 0.05 个百分点,二者差异不显著;较 BFL50 处理显著提高 17.78%。

从植株各器官对大量元素的吸收总量来看,施用高量黄腐酸微生物菌剂有利于大量元素的积累,在棉

花的茎、叶、铃壳中,FA40 处理较 BF 分别显著提高 13.50%,16.39%和 19.19%,中量黄腐酸微生物菌剂的处理对养分在茎和铃壳中的积累有一定的促进作用。单独施用黄腐酸叶面肥提高铃壳中的大量元素总量,较 BF 显著提高 10.08%,且显著低于施用黄腐酸微生物菌剂的处理。FA20L50 处理在茎、叶和铃壳中的养分总量均显著高于 FA20 和 BFL50,与 FA40 处理在茎和叶中的差异不显著,但在铃壳中较 FA40 显著提高 11.95%,说明常规肥料同时配施黄腐酸微生物菌剂和黄腐酸叶面肥较单独配施更加有利于植株对大量元素的吸收,同时较施用高量黄腐酸微生物菌剂有利于养分向生殖器官的积累。

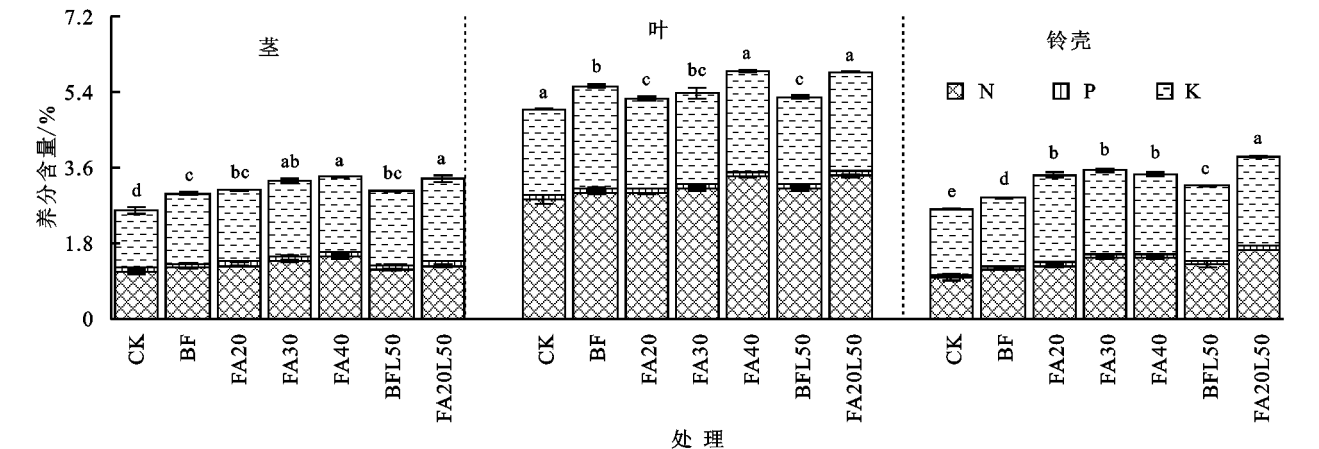


图 1 2018 年各处理棉花不同器官养分含量

3 讨论

3.1 黄腐酸微生物菌剂可提高土壤有效养分含量

各时期养分充足供应是棉花优质高产的关键因素。在大蒜—棉花套种模式下,棉花苗期仅依靠土壤的基础肥力生长,因此,提高大蒜收获期土壤速效养分含量有利于满足棉花苗期对养分的需求。黄腐酸微生物菌剂是一种由黄腐酸和有益菌组成的土壤调理剂,黄腐酸含有核苷酸、氨基酸和多种微量元素,能够提高植物的光合作用,促进作物生长^[10],黄腐酸含有的活性基团一般都是电子给予体,可以很容易与许多电子接受体构成配位化合物,通过与尿素结合所形成的具有较高稳定性的化学键,从而提高氮素有效性^[13];也可以通过阳离子交换、络合、吸附等方式固定土壤养分,黄腐酸经氧化降解能抑制土壤脲酶活性,减缓尿素水解速度,减少氮素损失,从而提高肥料利用率^[14],而菌剂中有益菌能够改善土壤质量,增强土壤生态系统的稳定性^[15]。本研究表明,施用黄腐酸微生物菌剂能够显著提高棉花苗期土壤铵态氮和速效钾含量,较常规施肥处理分别提高 15.58%~35.69%和 22.31%~38.12%,随着黄腐酸微生物菌剂用量增加,FA40 处理土壤硝态氮和有效磷含量均显著高于常规施肥处理,说明施用微生物菌剂提高棉花季施

肥前的土壤速效养分含量,有利于满足该阶段棉花生长对养分的需求。棉花在初花期和盛花期对养分的需求量较大^[16],通过施用黄腐酸微生物菌剂,显著提升了该时期土壤速效钾含量,较常规施肥处理分别显著提高 15.80%~31.60%和 12.64%~21.79%,随着微生物菌剂用量增加,FA40 处理土壤硝铵态氮和有效磷含量均最大,分别较常规施肥处理平均显著提高 33.15%,77.63%和 31.86%,且在棉花收获期土壤硝态氮、有效磷和速效钾含量仍显著高于常规施肥处理,并显著提高土壤磷酸酶活性,这说明该用量黄腐酸微生物菌剂能够持续提高土壤的速效养分含量,满足棉花中后期的养分需求。

3.2 黄腐酸微生物菌剂和叶面肥提高棉花叶片光合速率

充足的养分供应能够改善棉花的光合作用,为棉花增产和品质提高提供充足的物质基础^[17]。本研究表明,施用黄腐酸微生物菌剂后,各处理在棉花初花期叶片 SPAD 未表现出显著差异,在盛花期 FA30 和 FA40 处理均显著高于常规施肥处理,同时施用黄腐酸叶面肥的处理同样显著高于常规施肥处理。一般情况下,提高叶片蒸腾速率和气孔导度有利于叶片气体交换,改善叶肉细胞的光合能力,并提高叶片的光

合速率^[18],单独施用中高用量黄腐酸微生物菌剂虽然能提高叶片气孔导度,但是叶片净光合速率与常规施肥处理的无显著差异,而施用黄腐酸叶面肥处理的净光合速率显著提高。这可能是由于黄腐酸叶面肥中含有的铁、锌、硼等元素对叶绿素的形成和稳定性具有良好的促进作用^[19],而叶绿素含量增加有利于提高作物的光合作用。类似研究还表明,施用腐殖酸类叶面肥能够提高叶片抗氧化酶活性^[20],减轻逆境条件下氧化自由基引发的膜脂过氧化伤害^[21],提高植株的抗逆性,有利于作物的光合作用^[22]。

3.3 黄腐酸微生物菌剂和叶面肥提高棉花产量,改善其品质

合理的养分供给能够有利于棉花各器官的养分积累以及在生殖器官中的分配^[23]。陈竹君等^[24]研究表明,养分供给不足时,地上部对光合产物的竞争力小,而适宜的养分条件有利于养分吸收和运输,促进植株的协调生长。沈其荣等^[25]研究证明了小麦和玉米种植下,叶面施肥的施用可以促进养分吸收,提高N、P转运到籽粒中的比例。本研究中,同时配施黄腐酸微生物菌剂和黄腐酸叶面肥处理与施用600 kg/hm²黄腐酸微生物菌剂处理茎和叶片中的大量元素总量显著高于其他各处理,说明常规肥料配施高量黄腐酸微生物菌剂或同时配施黄腐酸微生物菌剂和黄腐酸叶面肥能够促进棉花对大量元素的吸收,有利于养分在植株体内的运输及光合作用,但两者同时配施较其他处理显著提高了铃壳中的大量元素含量。因此,常规肥料配施黄腐酸微生物菌剂与黄腐酸叶面肥不仅能够促进植株养分吸收,而且有利于养分向生殖器官运移。通过连续2年的棉花产量也可以看出,皮棉和籽棉产量随着黄腐酸微生物菌剂施用量的增加呈上升趋势,其中施用600 kg/hm²的黄腐酸微生物菌剂产量显著高于黄腐酸叶面肥的处理,常规肥料配施黄腐酸微生物菌剂与黄腐酸叶面肥处理皮棉和籽棉产量较黄腐酸微生物菌剂和黄腐酸叶面肥的处理分别显著提高7.68%~27.51%和7.53%~31.31%。施用450,600 kg/hm²用量黄腐酸微生物菌剂的处理有利于提高棉花断裂比强度和纤维长度,其中施用450 kg/hm²的处理较常规施肥处理差异达显著水平,常规肥料配施黄腐酸微生物菌剂与黄腐酸叶面肥处理则对纤维长度、整齐度指数和断裂比强度均有显著提高,这一方面是由于施用黄腐酸微生物菌剂提高了土壤速效钾含量,有利于满足棉花对钾素的需求;另一方面,施用黄腐酸叶面肥提高了棉花叶片的光合速率,促进了棉花各器官的生长和分化^[26]。因此,300 kg/hm²黄腐酸微生物菌剂搭配黄腐酸叶面肥能够提高蒜一套棉体系下的棉花产量并显著改善棉花品质。

4 结论

施用黄腐酸微生物菌剂能够满足中后期棉花对养分供应的需求,其中施用600 kg/hm²黄腐酸微生物菌剂的处理对土壤养分含量的提升效果最明显。棉花产量随着施用黄腐酸微生物菌剂量的增加而增加,在单独施用450,600 kg/hm²黄腐酸微生物菌剂条件下,皮棉产量分别较常规施肥处理平均增产12.07%和22.41%,常规肥料配施黄腐酸微生物菌剂与黄腐酸叶面肥提高了叶片叶绿素含量,加快了光合速率,提高了植株对养分吸收量,促进了养分向生殖器官中积累,较配施其中一种黄腐酸肥料皮棉增产7.68%~27.51%,同时提高了纤维长度、整齐度指数和断裂比强度。总之,常规肥料配施300 kg/hm²黄腐酸微生物菌剂与750 mL/hm²黄腐酸叶面肥处理田间施用效果最佳,既提高了土壤速效养分供应强度,又增加了棉花产量、改善棉花品质,为黄腐酸类肥料在蒜套棉种植制度下棉花生产上的推广应用提供理论依据。

参考文献:

- [1] 秦都林,王双磊,刘艳慧,等.滨海盐碱地棉花秸秆还田对土壤理化性质及棉花产量的影响[J].作物学报,2017,43(7):1030-1042.
- [2] 禾军.黄淮海棉区的战略地位难以替代[J].中国棉花,1997(11):6-8.
- [3] 田晓飞,李成亮,张民,等.控释氮肥对洋葱—棉花套作体系产量及土壤氮含量的影响[J].农业环境科学学报,2015,34(4):745-752.
- [4] 刘晶晶,刘晓霞,彭玲,等.黄腐酸对肥料磷有效性及苹果砧木幼苗磷吸收利用的影响[J].安徽农业科学,2018,46(25):122-124.
- [5] Iimura Y, Fujimoto M, Tamura K, et al. Black humic acid dynamics during natural reforestation of Japanese pampas grass (*Miscanthussinensis*) [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2013, 57: 60-67.
- [6] Belay A, Claassens A, Wehner F. Effect of direct nitrogen and potassium and residual phosphorus fertilizers on soil chemical properties, microbial components and maize yield under long-term crop rotation [J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35(6): 420-427.
- [7] 何流,刘晓霞,于天武,等.果实膨大期施用黄腐酸水溶肥对苹果叶片生长、果实品质及产量的影响[J].山东农业科学,2018,50(4):79-83.
- [8] 自由路.我国肥料产业面临的挑战与发展机遇[J].植物营养与肥料学报,2017,23(1):1-8.
- [9] Canellas L P, Olivares F L, Aguiar N O, et al. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture [J]. Scientia Horticulturae, 2015a, 196: 15-27.
- [10] 王玫,尹承苗,孙萌萌,等.黄腐酸微生物菌剂对连作平邑甜茶光合特性的影响[J].植物生理学报,2019,55

- (1):99-106.
- [11] Canellas L P, Silva S F, Olk D, et al. Foliar application of herbaspirillumseropedicae and humic acid increase maize yields[J].Journal of Food Agriculture and Environment,2015b,13(1):146-153.
- [12] 彭玲,刘晓霞,何流,等.不同黄腐酸用量对‘红将军’苹果产量、品质和¹⁵N—尿素去向的影响[J].应用生态学报,2018,29(5):1412-1420.
- [13] 刘增兵,赵秉强,林治安.熔融造粒腐植酸尿素的缓释性能研究[J].植物营养与肥料学报,2009,15(6):1444-1449.
- [14] 李泽丽,刘之广,张民,等.控释尿素配施黄腐酸对小麦产量及土壤养分供应的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(4):115-124.
- [15] 于占东,宋述尧.稻草配施生物菌剂对大棚连作土壤的改良作用[J].农业工程学报,2003,19(1):177-179.
- [16] 杨修一,耿计彪,张务帅,等.控释氮、钾肥不同用量对盆栽棉花产量及生理特性的影响[J].水土保持学报,2015,29(6):80-84.
- [17] Kuang W, Gao X, Tenuta M, et al. Soil property and cotton productivity changes with nutrient input intensity in the Taklimakan desert of China[J].Arid Land Research and Management,2018,32(4):421-437.
- [18] 李伶俐,马宗斌,张东林,等.盛铃期补施钾肥对不同群体棉花光合特性和产量品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(5):662-666.
- [19] 马强,张民,李子双,等.铜基营养叶面肥提高棉花光合特性、产量及其防病效果[J].植物营养与肥料学报,2018,24(4):125-136.
- [20] 何孝英,朱春华,李进学,等.腐植酸叶面肥对柠檬叶挥发油的含量、化学成分组成及抗氧化活性的影响[J].腐植酸,2018(6):59.
- [21] 刘小金,徐大平,杨曾奖,等.脱落酸对檀香幼苗生长、光合及叶片抗氧化酶活性的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2016,40(3):57-62.
- [22] 郭文琦,陈兵林,刘瑞显,等.施氮量对花铃期短期渍水棉花叶片抗氧化酶活性和内源激素含量的影响[J].应用生态学报,2010,21(1):53-60.
- [23] 哈丽哈什·依巴提,张炎,李青军,等.施肥对棉花养分吸收、分配、利用和产量的影响[J].中国土壤与肥料,2018(2):61-66.
- [24] 陈竹君,刘春光,周建斌,等.不同水肥条件对小麦生长及养分吸收的影响[J].干旱地区农业研究,2001,19(3):30-35.
- [25] 沈其荣,徐国华.小麦和玉米叶面标记尿素态¹⁵N的吸收和运输[J].土壤学报,2001,38(1):67-74.
- [26] 杨兴洪,邹琦,赵世杰.遮荫和全光下生长的棉花光合作作用和叶绿素荧光特征[J].植物生态学报,2005,29(1):8-15.
- (上接第 107 页)
- [19] 王帅兵,宋娅丽,王克勤,等.不同雨型下反坡台阶减少红壤坡耕地氮磷流失的效果[J].农业工程学报,2018,34(13):160-169.
- [20] 周怡雯,戴翠婷,刘窑军,等.耕作措施及雨强对南方红壤坡耕地侵蚀的影响[J].水土保持学报,2019,33(2):49-54.
- [21] Li C J, Pan C Z. The relative importance of different grass components in controlling runoff and erosion on a hillslope under simulated rainfall[J].Journal of Hydrology,2018,558:90-103.
- [22] 彭浩,李忠武,刘春,等.湘中低山丘陵区坡面产流输沙对降雨、土壤类型及水土保持措施的综合响应特征[J].水土保持学报,2019,33(2):60-67.
- [23] 张锐波,张丽萍,钱婧,等.雨强和植被覆盖度对坡地侵蚀产沙影响强度研究[J].自然灾害学报,2017,26(5):206-212.
- [24] 苏伟强,王小媚,任惠,等.广西杧果产业发展现状及对策探讨[J].热带农业工程,2018,42(5):38-40.
- [25] 王玉梅,刘子凡,黄洁,等.株行距配置对木薯生物量和产量性状的影响[J].南方农业学报,2014,45(8):1369-1374.
- [26] Rodrigo-Comino J, Taguas E, Seeger M, et al. Quantification of soil and water losses in an extensive olive orchard catchment in Southern Spain[J].Journal of Hydrology,2018,556:749-758.
- [27] Pan D L, Song Y Q, Dyck M, et al. Effect of plant cover type on soil water budget and tree photosynthesis in jujube orchards[J].Agricultural Water Management,2017,184:135-144.
- [28] 王栋栋,王占礼,张庆玮,等.草地植被覆盖度坡度及雨强对坡面径流含沙量影响试验研究[J].农业工程学报,2017,33(15):119-125.
- [29] Wang Y F, You W, Fan J, et al. Effects of subsequent rainfall events with different intensities on runoff and erosion in a coarse soil[J].Catena,2018,170:100-107.
- [30] 秦伟,曹文洪,郭乾坤,等.植被格局对侵蚀产沙影响的研究评述[J].生态学报,2017,37(14):4905-4912.