



控释型黄腐酸掺混肥对水稻生长及土壤养分的影响

郭保俊^{1,2} 卓文韬^{1,2} 程琳^{1,2} 李雪^{1,2} 陈舟^{1,2} 孙子钦^{1,2} 陈宝成^{1,2*}

1 土肥高效利用国家工程研究中心 泰安 271018

2 山东农业大学资源与环境学院 泰安 271018

摘要: 为了提高肥料利用率和作物产量,在普通掺混肥和控释型掺混肥中添加黄腐酸,并通过盆栽试验,研究了不同施肥处理对土壤养分和水稻生长的影响。结果表明:控释型掺混肥添加黄腐酸钙镁肥可以较好地促进养分吸收,增加了水稻株高;黄腐酸掺混肥全量(CFA1)、控释型黄腐酸掺混肥全量(CRFA1)、控释型黄腐酸掺混肥减氮20%(CRFA2)、控释掺混肥+黄腐酸钙镁肥(CRFCa)处理均可显著增加水稻产量,增产率在10.2%~24.6%;黄腐酸掺混肥减量20%(CFA2)、控释掺混肥减量20%(CRF2)处理则没有达到增产效果;各施氮肥处理间水稻叶片叶绿素差异不显著。各施肥处理与掺混肥全量(CF1)处理相比,氮肥农学利用率提高1.7%~40.2%,氮肥贡献率提高0.6%~14.5%。总体上,CRFA1、CRFA2和CRFCa处理能较好地促进水稻生长、提高水稻产量、提高氮肥农学利用率和氮肥贡献率。

关键词: 黄腐酸;控释肥;水稻;产量;土壤养分

中图分类号: TQ444.6, S511 文章编号: 1671-9212(2024)02-0031-07

文献标识码: A

DOI: 10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2024.04.004

Effects of Controlled-release Fulvic Acid Bulk Blending Fertilizer on Rice Growth and Soil Nutrients

Guo Baojun^{1,2}, Zhuo Wentao^{1,2}, Cheng Lin^{1,2}, Li Xue^{1,2}, Chen Zhou^{1,2}, Sun Ziqin^{1,2}, Chen Baocheng^{1,2*}

1 National Engineering Research Center for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, Tai'an, 271018

2 College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, 271018

Abstract: In order to improve fertilizer efficiency and crop yield, fulvic acid was added to ordinary bulk blended fertilizer and controlled-release bulk blending fertilizer, and the effects of different fertilization treatments on soil nutrients and rice growth were studied through pot experiments. The results showed that the addition of calcium magnesium fulvate fertilizer to controlled-release bulk blending fertilizer could better promote nutrient absorption and increase the plant height of rice. The total amount of fulvic acid bulk blending (CFA1), the total amount of controlled-release fulvic acid bulk blending fertilizer (CRFA1), the nitrogen reduction of 20% of controlled-release fulvic acid bulk blending fertilizer (CRFA2), and the treatment of controlled-release bulk blending fertilizer+calcium magnesium fulvate fertilizer (CRFCa) significantly increased rice yield, and the yield increase rate was 10.2%~24.6%. The 20% reduction in the fulvic acid bulk blending fertilizer (CFA2) and the 20% reduction in the controlled-release bulk blending fertilizer (CRF2) did not increase the yield. There was no significant difference in the chlorophyll content of the rice leaves between the nitrogen fertilization treatments. Compared with the total amount of bulk blending fertilizer (CF1) treatment, the nitrogen fertilizer agronomic use efficiency increased by 1.7%~40.2%, and the

[基金项目] 十四五重点项目(项目编号2022YFD1700605);国家自然科学基金项目(项目编号42277356)。

[收稿日期] 2023-12-21

[作者简介] 郭保俊,男,2000年生,硕士研究生,主要研究方向为土壤学,E-mail: guobaojun4312@163.com。*通讯作者: 陈宝成,男,教授,E-mail: bcch108205@163.com。

nitrogen fertilizer contribution rate increased by 0.6%~14.5%. In general, the combined application of fulvic acid and controlled-release bulk blending fertilizer promoted rice growth, increased rice yield, increased nitrogen fertilizer agronomic use efficiency, and increased nitrogen fertilizer contribution rate.

Key words: fulvic acid; controlled-release fertilizer; rice; yield; soil nutrients

化肥是重要的农业生产资料,对粮食、蔬菜增产的贡献率高达50%^[1]。氮肥为植物生长提供了必要的养分,我国目前施用的氮肥一般为尿素,利用率较低,且长期施用会导致土壤保持和供应水肥的能力降低,增加土壤容重,对农业可持续发展产生不利影响^[2, 3]。新型肥料类型主要有控释肥料、增值肥料、水溶肥料、商品有机肥、微生物肥料等,相比于常规施肥,施用新型肥料普遍能够提高作物产量和养分利用效率,增产率范围为4.6%~17.5%,氮肥利用率提高16.8%~52.3%^[4, 5]。目前,我国控释肥料类型及相应的施肥技术还不能全面适应农业产业结构调整的要求。发展优质农业、节约资源、降低成本、培肥地力的新型控释肥料在不断研发中,控释肥料和腐植酸合理配施就是其中之一。黄腐酸是腐植酸的组成部分,相对分子质量较小、活性官能团多、化学活性和生物活性高、易被植物吸收^[6],可以通过阳离子交换、螯合、络合和吸附等方式固定土壤中的多种元素,提高元素的利用率,促进种子萌发和植株生长,提高抗病防病能力,增强植株的抗旱性等^[7, 8],已广泛应用于小麦、玉米、棉花等作物,并取得了良好的效果^[9]。

目前,关于控释肥料与黄腐酸相结合的功能型黄腐酸控释肥研究较少。本文通过模拟自然环境的盆栽实验,以控释尿素和黄腐酸掺混肥为原料,根据作物需肥要求,制备高效、促生、环保、低成本的控释型黄腐酸掺混肥,并在水稻上进行肥效研究,为该新型肥料工厂化生产及田间科学施用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试肥料:尿素(N 46%),过磷酸钙(P_2O_5 12%),控释尿素(N 43%,金正大生态工程集团

有限公司提供),氯化钾(K_2O 60%),黄腐酸掺混肥(FA-N- P_2O_5 - K_2O =7-16-15-5,由山东泉林嘉有现代农业股份有限公司提供),黄腐酸钙镁肥(黄腐酸 $\geq 20\%$,Ca+Mg $\geq 5\%$)。

栽培盆:陶土盆,高50 cm、上口径46 cm、下口径34 cm,装土30 kg。

供试作物:水稻,品种为“圣稻19”,每盆插秧5墩,插秧时间为2020年6月22日。

供试土壤:土壤质地为中壤质地土壤,土壤类型为棕壤(筒育湿润淋溶土),土壤pH 7.3、有机质8084 g/kg、硝态氮9.4 mg/kg、铵态氮18.4 mg/kg、有效磷84.6 mg/kg、速效钾106.2 mg/kg。

1.2 样品采集与测定

取样及测定时间:在水稻抽穗期采集0~20 cm土层样品,并测定水稻株高和叶片叶绿素含量;收获期测定地上生物鲜重和籽粒产量。

样品测定:土壤电导率采用电导率仪测定。碱解氮采用碱解扩散法,土壤碱解氮包括硝态氮、铵态氮。土壤有效磷采用碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法。土壤速效钾采用 NH_4Ac 浸提火焰光度法。叶绿素由叶绿素仪测定(SPAD)。生物产量及籽粒产量为在水稻成熟期,全部收获地上部,晒干,称重得到生物产量;水稻脱粒,称重得到籽粒产量,测定千粒重及穗粒数,按盆栽面积折算公顷产量。

1.3 试验设计

试验共设10个处理:CK,氮空白处理;CF1,掺混肥全量;CF2,掺混肥减量20%;CFA1,黄腐酸掺混肥全量;CFA2,黄腐酸掺混肥减量20%;CRF1,控释掺混肥全量;CRF2,控释掺混肥减量20%;CRFA1,控释型黄腐酸掺混肥全量;CRFA2,控释型黄腐酸掺混肥减量20%;CRFCa,控释掺混肥+黄腐酸钙镁肥。每处理1盆,重复3次。基肥为土壤表面撒施,表层土15 cm混匀,追肥于水稻拔节期撒施于土壤表面,具体施肥处理列于表1。



表1 试验处理
Tab.1 Test treatments

处理	代号	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O-FA (kg/667 m ²)	肥料施用量 (g/盆)
氮空白	CK	0-15-10-0	过磷酸钙 19.0, 氯化钾 2.5 (基肥)
掺混肥全量	CF1	16-15-10-0	尿素 5.2 (基肥 2.6, 苗期 1.3, 分蘖 1.3), 过磷酸钙 19.0, 氯化钾 2.5
掺混肥减量 20%	CF2	12.8-12-8-0	尿素 4.2 (基肥 2.1, 苗期 1.05, 分蘖 1.05), 过磷酸钙 15.0, 氯化钾 2.0
黄腐酸掺混肥全量	CFA1	16-15-10-15	黄腐酸掺混肥 15.0 (基肥)
黄腐酸掺混肥减量 20%	CFA2	12.8-12-8-12	黄腐酸掺混肥 12.0 (基肥)
控释掺混肥全量	CRF1	16-15-5-0	控释尿素 3.6, 尿素 1.8, 过磷酸钙 19.0, 氯化钾 2.5 (基肥)
控释掺混肥减量 20%	CRF2	12.8-12-8-0	控释尿素 2.9, 尿素 1.5, 过磷酸钙 15.0, 氯化钾 2.0 (基肥)
控释型黄腐酸掺混肥全量	CRFA1	16-15-10-15	控释尿素 5.8, 过磷酸钙 19.0, 氯化钾 2.5, 黄腐酸掺混肥 6.0 (基肥)
控释型黄腐酸掺混肥减氮 20%	CRFA2	12.8-12-8-12	控释尿素 4.5, 过磷酸钙 15.0, 氯化钾 2.0, 黄腐酸掺混肥 5.0 (基肥)
控释掺混肥 + 黄腐酸钙镁肥	CRFCa	16-15-10-40	控释尿素 3.6, 尿素 1.8, 过磷酸钙 19.0, 氯化钾 2.5, 黄腐酸钙镁肥 16.0 (基肥)

1.4 计算公式

氮肥农学利用率 (%) = (施氮区作物籽粒产量 - 不施氮区作物籽粒产量) / 施氮量 × 100%

氮肥贡献率 (%) = [施肥处理籽粒产量 (t/hm²) - 不施肥处理籽粒产量] / 施肥处理籽粒产量 × 100%

1.5 统计方法

采用 SPSS 27.0 软件对数据进行方差分析, 采用 Excel 进行数据统计处理。

2 结果分析

2.1 不同施肥处理对水稻产量的影响

对水稻收获期的穗粒数、千粒重、籽粒产量及生物产量进行测定分析, 结果显示 (表 2), 不同处理水稻穗粒数表现不同, 其中 CFA1 处理穗粒数最多, 为 123.6 粒, 高于 CF1 处理的 123.5 粒; 全量施肥处理多于减量施肥处理, 其他各处理穗粒数均低于 CF1 处理。千粒重结果显示, CRF1 处理千

粒重最高, 为 25.9, 但各施肥处理间差异不显著。从不同处理对水稻产量影响分析可知, CRFA1 处理籽粒产量最高, 与 CF1 处理相比, 增产 24.6%, 差异显著。CFA1 处理、CFA2 处理、CRFA1 处理、CRFA2 处理、CRFCa 处理均提高水稻籽粒产量, 与 CF1 相比, 增产 0.76% ~ 24.6%, 其中 CRF1 处理、CRFA1 处理、CRFA2 处理、CRFCa 处理增产达显著水平。肥料减量 CF2 处理、CRF2 处理与 CF1 处理比较, 籽粒产量有不同程度降低。CFA1 处理生物产量最高, 增产 19.7%, CFA1 处理、CFA2 处理、CRF1 处理、CRFCa 处理增产 2.0% ~ 15.8%。

2.2 不同施肥处理氮肥贡献率和农学利用率

由表 3 可看出, 各施肥处理间氮肥贡献率和氮肥农学利用率均存在显著差异。与 CF1 处理相比, CF2 处理和 CRF2 处理的氮肥贡献率均降低; CRFA2 处理氮肥贡献率达 60.9%, 较 CF1 处理增加 11.7%; 全量施肥处理氮肥贡献率达 58.1% ~ 62.9%, 较 CF1 处理增加 7.4% ~ 14.5%, 减量施肥处理 CRFA2 氮肥贡献率较 CF1

显著增加 11.7%。CRFA2 处理氮肥农学利用率最高，达 30.9%，较 CF1 处理增加 40.2%，与 CRF1 处理

和 CRFA1 处理差异不显著，各施肥处理较 CF1 处理增加 1.7% ~ 40.2%。

表 2 各处理水稻产量指标
Tab.2 Yield indexes of rice in different treatments

处理	穗粒数 (粒)	千粒重 (g)	籽粒产量		生物产量	
			kg/hm ²	较 CF1 增产 (%)	kg/hm ²	较 CF1 增产 (%)
CK	84.2d	24.2a	3804.9d	—	10021.7d	—
CF1	123.5a	24.4a	8239.1b	—	21761.0b	—
CF2	103.0c	24.8a	7413.5c	-10.0	21494.1b	-1.2
CFA1	123.6a	23.2a	9079.5b	10.2	26046.3a	19.7
CFA2	118.5b	24.8a	8301.5b	0.8	22194.5b	2.0
CRF1	111.5b	25.9a	9719.6a	18.0	23578.5a	8.4
CRF2	109.3b	24.4a	7497.3c	-9.0	17241.9c	-20.8
CRFA1	111.2b	24.2a	10264.4a	24.6	20293.5b	-6.7
CRFA2	102.5c	24.2a	9740.1a	18.2	21677.6b	-0.4
CRFCa	103.4c	25.3a	10140.6a	23.1	25196.0a	15.8

注：同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)，下同。

表 3 各处理氮肥贡献率和氮肥农学利用率
Tab.3 Nitrogen fertilizer contribution rate and nitrogen fertilizer agronomic use efficiency in different treatments

处理	氮肥贡献率		氮肥农学利用率	
	%	较 CF1 增加 (%)	%	较 CF1 增加 (%)
CK	—	—	—	—
CF1	53.8b	—	18.5b	—
CF2	48.7c	-10.6	18.8c	1.7
CFA1	58.1b	7.4	22.0b	15.9
CFA2	54.2b	0.6	23.4b	21.1
CRF1	60.9a	11.6	24.6a	25.0
CRF2	49.2c	-9.3	19.2c	3.9
CRFA1	62.9a	14.5	26.9a	31.4
CRFA2	60.9a	11.7	30.9a	40.2
CRFCa	62.5a	13.9	26.4a	30.0

2.3 不同施肥处理对土壤碱解氮的影响

水稻土壤各处理碱解氮的含量见图 1。可以看出，各处理碱解氮含量有所差异，其中 CRFCa 处理碱解氮含量显著高于其他处理，CRFCa 处理相比 CF1 处理碱解氮含量增加 17%。其他各施肥处理与 CF1 处理差异不显著。

2.4 不同施肥处理对土壤有效磷含量的影响

由图 2 可以看出，各处理土壤有效磷含量有所不同，各施肥处理都高于 CF1 处理，其中 CFA1 处理含量最高，有效磷含量增加 30%；其他处理与 CF1 处理相比增加 14% ~ 27%，CFA1 处理与 CK 处理差异显著。

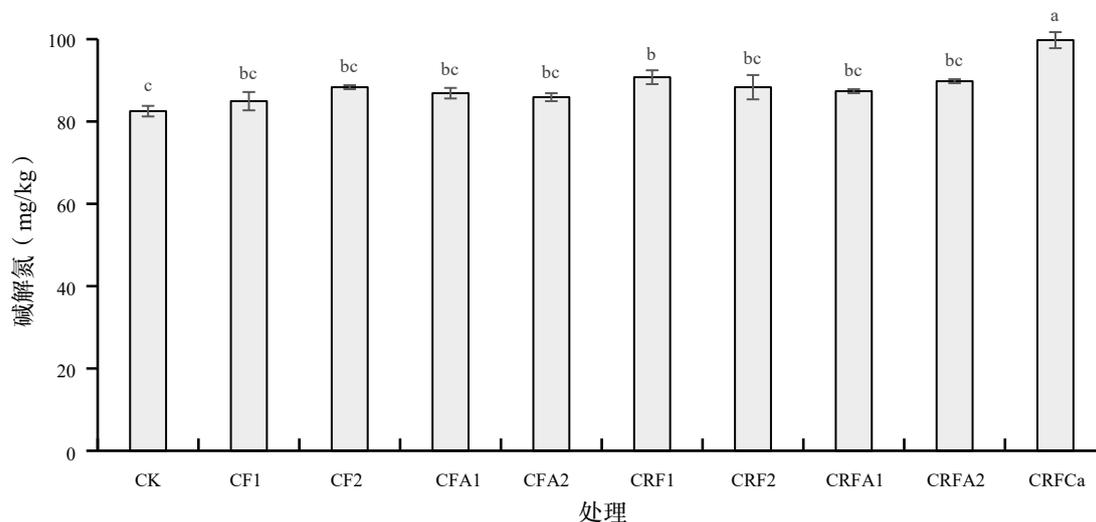


图1 各处理对水稻土壤碱解氮的影响

Fig.1 Effects of different treatments on alkali-hydrolyzed nitrogen of soil growing rice

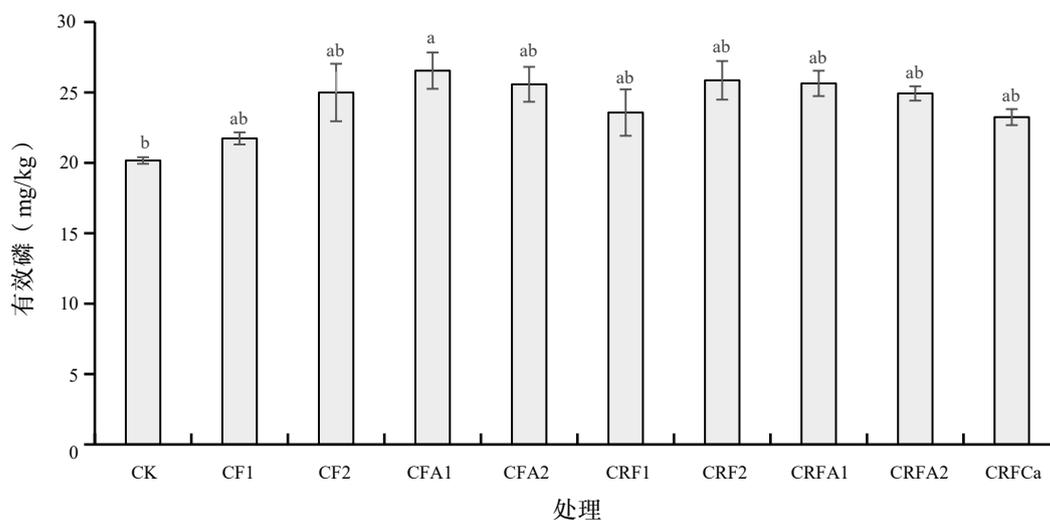


图2 各处理对水稻土壤有效磷的影响

Fig.2 Effects of different treatments on available phosphorus of soil growing rice

2.5 不同施肥处理对土壤速效钾含量的影响

由图3可以看出,水稻土壤速效钾含量CF2处理最高,达94.8 mg/kg,略高于CFA1处理,差异不显著。与CK处理相比CRF1处理、CRF2处理、CRFA1处理、CRFCa处理土壤速效钾含量低于CK处理,各处理间差异不显著。

2.6 不同施肥处理对水稻SPAD值和株高的影响

叶绿素是绿色植物进行光合作用的基础物质,是植物叶片的主要光合色素,水稻SPAD值能反映水稻叶片相对叶绿素含量。由图4可以看出,

各施肥处理与CK相比均显著提高水稻SPAD值;CRF2处理SPAD值最高,与CRF1处理、CFA2处理、CRFA2处理差异性显著,CF1处理与各施肥处理间差异不显著。

水稻植株的高度是反应水稻的生长状况的重要因素之一。由图5可以看出,与CK处理相比各施肥处理均显著增加了水稻株高;CRF1处理株高最高,与CRF2处理和CRFCa处理差异不显著,与其他施肥处理差异显著;各施肥处理与CF1处理相比,株高差异显著。

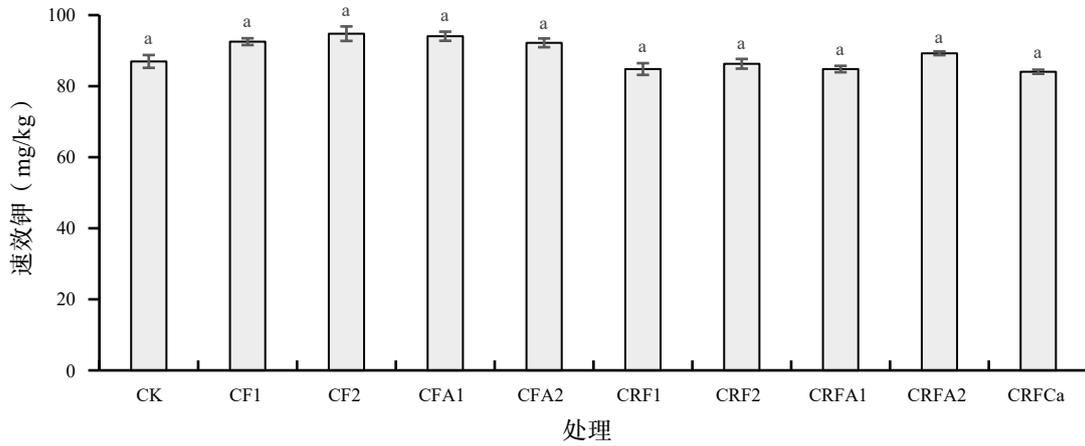


图3 各处理对水稻土壤速效钾的影响

Fig.3 Effects of different treatments on rapidly available potassium of soil growing rice

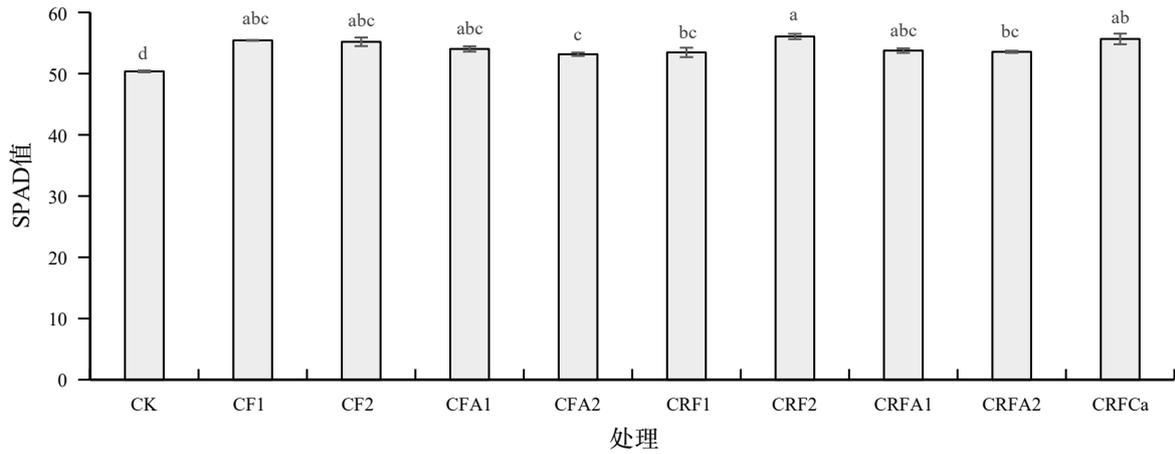


图4 各处理对水稻 SPAD 值的影响

Fig.4 Effects of different treatments on SPAD values of rice

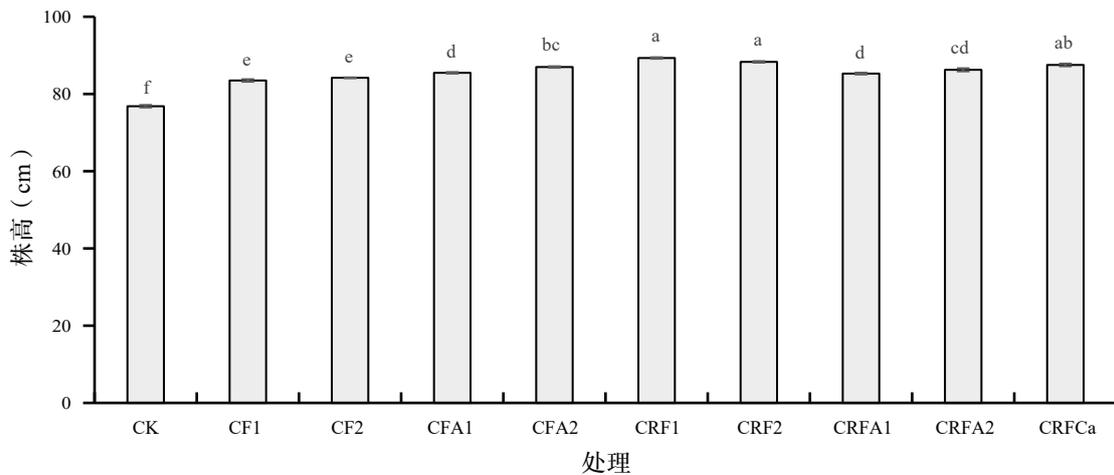


图5 各处理对水稻株高的影响

Fig.5 Effects of different treatments on plant height of rice



3 讨论

本试验结果显示,与CK处理相比,施氮肥处理可显著增加水稻产量,效果最好的是CRFA1处理,其次是CRFCa处理。与CF1处理相比,CRFA2处理水稻籽粒产量显著增加,穗粒数和生物产量有所降低;CF2、CRF2处理造成减产。说明CRFA1处理对作物增产效果更显著,同时能够提高氮肥农学利用率和氮肥贡献率。李泽丽等^[10]研究发现,控释尿素配施黄腐酸可协同增效,显著提高了小麦产量;朱会调等^[11]研究结果显示,施用黄腐酸肥能明显提高土壤养分,提高葡萄品质,增加葡萄产量;孙希武等^[12]研究表明,硅钙钾镁肥配施黄腐酸钾显著提高土壤中碱解氮、有效磷、速效钾等含量,且配施黄腐酸钾后作用更明显。本试验结果显示,CRFCa处理土壤中各养分含量都有不同程度地增加,与前人研究一致。

4 结论

黄腐酸掺混肥全量(CFA1)、控释掺混肥全量(CRF1)、控释型黄腐酸掺混肥全量(CRFA1)、控释型黄腐酸掺混肥减氮20%(CRFA2)、控释掺混肥+黄腐酸钙镁肥(CRFCa)处理显著增加水稻产量,增产率10.2%~24.58%;黄腐酸掺混肥减量20%(CFA2)处理增产效果不显著,控释掺混肥减量20%(CRF2)处理降低产量;黄腐酸及控释肥全量处理不同程度提高土壤养分含量。与掺混肥全量(CF1)处理相比,控释型黄腐酸掺混肥全量、控释型黄腐酸掺混肥减氮20%、控释掺混肥+黄腐酸钙镁肥处理较CF1处理显著增加了水稻株高,但各处理水稻叶绿素含量没有显著差异。各施肥处理氮肥贡献率达48.7%~62.9%,控释型黄腐酸掺混肥全量处理氮肥贡献率最高,达62.9%,较CF1处理显著提高氮肥贡献率。各处理氮肥农学利用率达18.5%~30.9%,控释型黄腐酸掺混肥减氮20%处理氮肥农学利用率最高,达30.9%,较CF1处理,显著提高氮肥农学利用率。综上,各施氮处理能显著提高水稻籽粒

产量、生物量和穗粒数,控释掺混肥配施黄腐酸钙镁肥处理施用效果最好。

参考文献

- [1] 自由路. 粮食安全与环境安全的肥料发展双目标[J]. 中国农业信息, 2017(4): 32~35.
- [2] 芦大伟, 李青军, 陈署晃, 等. 黄腐酸与氮肥配施对滴灌玉米产量及氮肥利用率的影响[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(10): 1888~1894.
- [3] Liu M, Hu F, Chen X, et al. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: the influence of quantity, type and application time of organic amendments[J]. Applied Soil Ecology, 2009, 42(2): 166~175.
- [4] 丁文成, 何萍, 周卫. 我国新型肥料产业发展战略研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(2): 201~221.
- [5] 蒋海英. 新型缓释肥料在玉米和花生上的肥效研究[D]. 沈阳农业大学硕士学位论文, 2016.
- [6] 韩文革, 于晓春. 叶面肥对芸豆的增产效应分析[J]. 北方园艺, 2002(3): 46~47.
- [7] 郭建卉, 闫天聪, 刘寒双, 等. 黄腐酸对淹水平邑甜茶根生长与氮代谢的影响[J]. 西北农业学报, 2024, 33(6): 1093~1101.
- [8] 张玲. 黄腐酸和甜菜碱对苹果抗旱生理及果实产量品质的影响[D]. 西北农林科技大学硕士学位论文, 2016.
- [9] 刘佳欢, 王倩, 罗人杰, 等. 黄腐酸肥料对小麦根际土壤微生物多样性和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(10): 1808~1816.
- [10] 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): 959~968.
- [11] 朱会调, 高登涛, 白茹, 等. 黄腐酸对土壤养分、葡萄品质和产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(4): 672~681.
- [12] 孙希武, 彭福田, 肖元松, 等. 硅钙钾镁肥配施黄腐酸钾对土壤酶活性及桃幼树生长的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(4): 870~877.