

郑富海, 涂超峰, 叶少萍, 贺立华, 许昌超, 刘勇, 张俊涛. 控释肥对香石竹出圃苗质量的影响[J]. 广东农业科学, 2019, 46(5): 40–47.

控释肥对香石竹出圃苗质量的影响

郑富海¹, 涂超峰², 叶少萍¹, 贺立华², 许昌超¹, 刘勇², 张俊涛¹

(1. 广州市林业和园林科学研究院, 广东 广州 510405;

2. 常德市园林绿化研究与技术指导中心, 湖南 常德 415000)

摘要:【目的】利用长效控释氮肥(脲甲醛泡沫)、活性磷肥调控香石竹基质配方, 研究不同处理对香石竹出圃质量的影响, 为香石竹施肥技术提供理论依据。【方法】设定不同控释肥处理对香石竹进行盆栽种植, 分别于0、15、30 d对香石竹的株高、冠幅进行测定, 并在30 d对香石竹进行采样分析生物量、地上部氮磷积累量和根系形态指标。【结果】种植30 d后, T4处理(草花基质添加复合肥1.6 kg/m³、缓释肥1.14 kg/m³、活性磷5.71 kg/m³、脲甲醛6.05 kg/m³作为栽培基质)的叶、茎、根的生物量, 总根长, 总根表面积, 地上部氮、磷积累量均为最大值, 分别为3.12 g/株、1.75 g/株、0.82 g/株、5.15 m/株、526 cm²/株、179 mg/株和21.32 mg/株, 与对照处理(草花基质添加复合肥4.8 kg/m³、缓释肥3.6 kg/m³作为栽培基质)相比显著差异。【结论】施加脲甲醛泡沫和活性磷肥对香石竹的生长有显著影响, 从生物量、总根长、总根表面积、地上部氮磷积累量等方面综合考虑, T4处理的石竹生长效果最好, 不仅能获得较好的形态指标, 而且能提高氮磷肥的积累量, 香石竹出圃苗质量较佳。

关键词: 香石竹; 生长指标; 肥料配比; 脲甲醛泡沫; 活性磷

中图分类号: S617

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X(2019)05-0040-08

Effect of Controlled Release Fertilizer on the Quality of *Dianthus caryophyllus* L. Seedlings

ZHENG Fuhai¹, TU Chaofeng², YE Shaoping¹, HE Lihua²,

XU Changchao¹, LIU Yong², ZHANG Juntao¹

(1. Guangzhou Academy of Forestry and Landscape Architecture, Guangzhou 510405, China;

2. Changde Garden-Greening Research and Technology Centre, Changde 415000, China)

Abstract: 【Objective】 In this study, a series of substrate formula modulated with long-acting controlled-release nitrogen fertilizer (urea formaldehyde foam) and active phosphorus fertilizer were used to analyze the effects of different fertilizer ratios on the quality of *Dianthus caryophyllus* seedlings, which provided theoretical basis for fertilization technology of *D. caryophyllus*. 【Methods】 The height and crown diameter of *D. caryophyllus* planted with modulated substrates were measured at 0, 15 and 30 d, respectively, and the whole plants were harvested at the 30th day for the analysis of biomass, the amount of nitrogen and phosphorus accumulation in above-ground part and root morphology indicators. 【Results】 At the 30th day, all the measured indicators (biomass of leave, stem and root, total root length, total root surface area, total N and P of above-ground part) of T4 treatment (annual flower matrix added with compound fertilizer 1.6 kg/m³, slow release fertilizer

收稿日期: 2019-03-23

基金项目: 教育部产学研结合项目(2010B090400159); 广州市科技计划项目(201300000128)

作者简介: 郑富海(1991—), 男, 硕士, 研究方向为植物营养调控, E-mail: fuhai Zheng110@126.com

通信作者: 张俊涛(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为废弃物资源化利用、营养基质研究与生产、土壤改良、古树名木保护研究, E-mail: 350965652@qq.com

1.14 kg/m³, active phosphorus 5.71 kg/m³, urea formaldehyde 6.05 kg/m³ as the cultivation substrate) reached the maximum values, and such indicators had significant difference with those of CK treatment (annual flower matrix added with compound fertilizer 4.8 kg/m³, slow release fertilizer 3.6 kg/m³ as cultivation substrate). All the measured indicators (biomass of leave, stem and root, total root length, total root surface area, total N and P of above-ground part) of T4 treatment were 3.12 g/plant, 1.75 g/plant, 0.82 g/plant, 5.15 m/plant, 526 cm²/plant, 179 mg/plant and 21.32 mg/plant, respectively. 【 Conclusion 】 Substrates modulated with controlled-release nitrogen fertilizer (urea formaldehyde foam) and active phosphorus fertilizer had significant effects on the growth of *D. caryophyllus*. In consideration of biomass, total root length, total root surface area, nitrogen and phosphorus accumulation of the above-ground part, the growth effect of *D. caryophyllus* seedlings under T4 treatment is the best, which not only can obtain better morphological indicators, but also improve the accumulation of nitrogen phosphate fertilizer.

Key words: *Dianthus caryophyllus*; growth index; fertilizer ratio; urea formaldehyde foam; active phosphorus

【研究意义】香石竹 (*Dianthus caryophyllus*)，为石竹科石竹属多年生草本植物，目前多作为观赏植物在世界范围内进行人工引种广泛栽培。施肥是调节草花生长的的重要手段之一。常规肥料因养分流失和挥发等原因使得养分利用率不高，过多肥料的施用导致土壤酸化、盐渍化和水体富营养化等诸多问题，为应对常规肥料在实际生产中的弊端，科研工作者积极研发各种控释肥料。控释肥作为一次性施肥的最佳选择，在轻简化栽培的同时更能达到高效的要求^[1]。控释肥料一方面可以有效供给作物养分、提高养分利用率，另一方面可以减少生产过程中追肥次数达到出圃效果和减轻对环境的污染^[2]。近年来，控释肥已被广泛运用于园艺生产中，而我国的草花还主要使用复合肥等见效快但后期供肥能力不足的肥料，导致草花品质不高^[3]。本研究分析不同肥料对比对香石竹株高、冠幅、生物量、地上部氮磷积累量和根系形态指标的影响，以期对香石竹生产肥料的施用提供技术支持。【前人研究进展】控释肥是近年来肥料研究的热点方向，具有养分有效期长、利用率高、节肥省工、环境友好等突出优势^[4-5]。目前，我国所采用的控释肥料主要有包膜型、化学抑制型和化学合成型^[6]，其中脲甲醛缓释肥具有无残留、组分可调等优点，是一种清洁高效的控释肥料^[7]。研究表明，脲甲醛是不同链长的甲基脲聚合物，具有不同的水溶性氮含量，可满足草花不同时期的生长需求^[8]。ALEXANDER 等^[9]认为脲甲醛氮素释放速率速率与其分子链的溶解性有关。黄丽娜等^[10]在小白菜上研究了脲甲醛肥料的增产效应和氮肥利用率，表明 AI 值为 53.41% 的脲甲醛与尿素 1 : 1 配施后能够明显提高小白菜产量和氮肥利用率，

较纯尿素处理增产 12%。刘兵^[11]在水稻、小麦、棉花、牧草和苗木等多种作物上研究表明，脲甲醛控释肥能够显著提高大田作物产量及肥料利用率，同时较常规施肥能够显著提高作物品质。脲甲醛泡沫是由尿素和甲醛经浓缩聚合加成反应生成脲甲醛树脂，相对于脲甲醛肥具有更适合植物生长的多种特性，如硬度、保水率、渗透率、通气孔隙率、pH 值等^[12-13]。磷素在植物生长发育和品质等发面发挥着十分重要的作用，增施活性磷肥能显著提高植物的品质。有研究表明，磷肥浓度与植株的形态和生理特征有显著相关性，不同磷水平会改变植株株高等形态^[14]。贺根和等^[15]研究表明，施加磷肥能增强油茶幼苗的抗性 & 提高土壤酶活性的作用。郭荣发等^[16]研究表明，施加活性磷肥可以提高甘蔗、花生、小白菜等的产量。【本研究切入点】通过在香石竹基质中添加脲甲醛泡沫和活性磷肥，明确施加不同控释肥对香石竹出圃苗的影响，为香石竹的生产提供技术支持。【拟解决的关键问题】本研究设 5 个处理，每个处理施加不同的脲甲醛泡沫和活性磷肥，通过对香石竹的株高、冠幅、生物量、地上部氮磷积累量和根系形态指标进行分析，从而得出不同肥料对比对香石竹出圃苗的效果评价。

1 材料与方法

1.1 试验材料

香石竹栽培基质为本课题组自行研发配方，以园林废弃物堆肥产品〔全氮 (N) 含量 49.79 g/kg、全磷 (P₂O₅) 1.93 g/kg、全钾 (K₂O) 6.43 g/kg〕、泥炭和椰糠为原料的混合基质 (园林废弃物堆肥产品 : 泥炭 : 椰糠按体积比 4 : 3 : 3)。所用复合肥养分含量为 N-P₂O₅-K₂O=15-15-15、控

释肥养分含量为 $N-P_2O_5-KO_2=14-14-14$ ，均购自佛山市顺德区翠筠园艺有限公司；活性磷肥总 $P_2O_5 \geq 140$ g/kg，水溶性磷 ≥ 300 g/kg，购自高要市启富肥料制造厂；脲甲醛泡沫由华南农业大学资源环境学院新肥料资源研究中心提供，全 N 约 132.3 g/kg，全 P_2O_5 约 7.9 g/kg，容重 40 kg/m³。

栽培所用香石竹苗为株高约 4 cm、冠幅约 5 cm 整体长势基本一致的苗；花盆规格为口径 11.0 cm、底径 8.0 cm、高度 14.0 cm，每盆装入 500 g 基质，盆底放有双层滤纸，用以防止基质流失，每个处理 50 盆，每盆种植香石竹 1 株。

1.2 试验设计

于 2017 年 11 月在广州市林业和园林科学研究院内开展试验，本研究设计原则为按照各处理氮、磷、钾补充量相同，对草花基质添加复合肥、缓释肥、脲甲醛泡沫和活性磷肥不同供应水平进行补充养分，确定控释肥对香石竹出圃苗（种植周期一般为 30 d，株高、冠幅分别为 11、12 cm）质量的影响。试验各处理基本情况见表 1。测定每个处理基质的 pH、容重、总孔隙度、通气孔隙度、基质持水孔隙度（表 2），将香石竹幼苗用去离子水冲洗干净后移栽至花盆内。香石竹每个

表 1 各处理基本情况
Table 1 Basic information of different treatments

处理 Treatment	复合肥 Compound fertilizer (kg/m ³)	缓释肥 Controlled release fertilizer (kg/m ³)	活性磷 Active phosphorus (kg/m ³)	脲甲醛泡沫 Urea-formaldehyde foam (kg/m ³)	pH
CK	4.8	3.43	0	0	5.17
T1	4.0	2.86	1.43	1.51	5.30
T2	3.2	2.29	2.86	3.02	5.39
T3	2.4	1.71	4.29	4.54	5.18
T4	1.6	1.14	5.71	6.05	5.44

表 2 各处理基质容重与孔隙度
Table 2 Matrix bulk density and porosity of different treatments

处理 Treatment	容重 Bulk weight (g/m ³)	总孔隙度 Total porosity (%)	通气孔隙度 Aeration porosity (%)	基质持水孔隙度 Matrix water retention porosity (%)
CK	0.235	20.13	8.46	11.67
T1	0.226	19.90	6.90	13.00
T2	0.240	21.54	7.82	13.71
T3	0.232	24.13	11.60	16.39
T4	0.232	27.89	13.90	13.99

处理 50 盆，保持一致的水分管理。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 株高、冠幅、生物量测定 分别于种植 0、15、30 d 后使用直尺测量全部香石竹的株高、冠幅，并计算在 0~15 d 和 15~30 d 的增长量；于种植 30 d 后对所有香石竹进行采样，每个处理随机选择 10 盆采集叶、茎、根、花样品，用去离子水冲洗干净，置于烘箱中 105 ℃ 杀青 30 min，65 ℃ 烘干至恒重，称其干重。

1.3.2 植物养分含量测定 将完成测定生物量的样品置于烘箱中 65 ℃ 烘干后，粉碎过筛（0.147 mm），置于样品袋中留待测定。先将样品以浓硫

酸-过氧化氢消煮法消解，全氮含量采用凯氏定氮蒸馏法测定，全磷含量采用钼锑抗吸光光度法测定，计算公式如下：

地上部氮积累量 (mg/株) = 地上部干生物量 × 地上部干物质含氮量

地上部磷积累量 (mg/株) = 地上部干生物量 × 地上部干物质含磷量

1.3.3 根系形态测定 种植 30 d 后，对采集的香石竹根系鲜样用扫描仪（型号为 MRS-9600TFU2L、MICROTEK）将完整的根系图像扫描存入计算机。用 WinRHIZO 根系分析系统对总根长、根直径和总根表面积进行测定。

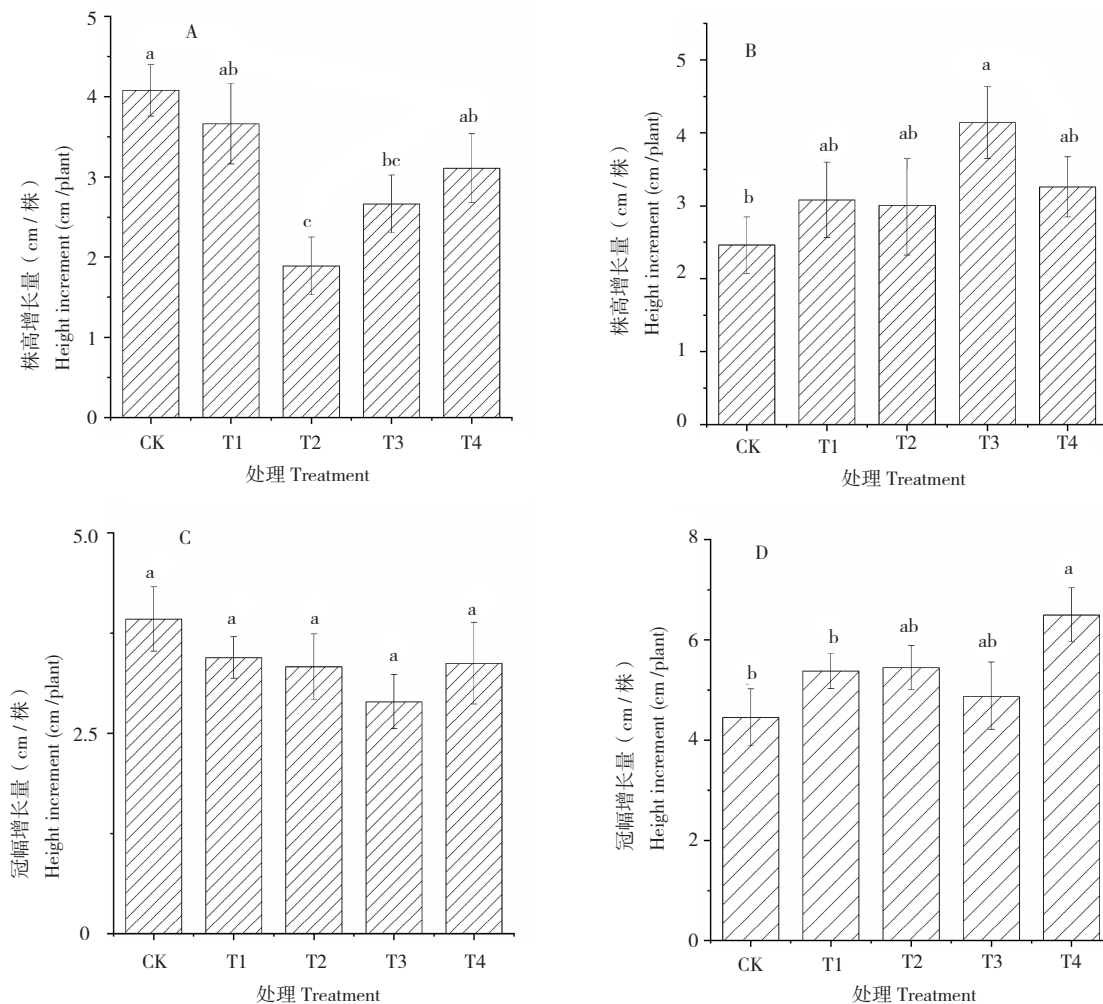
采用 Excel 2016、SPSS 21 和 Origin Pro 2018 软件进行相关的数据统计分析并作图。

2 结果与分析

2.1 控释肥对香石竹出圃苗株高和冠幅的影响

由图 1 可知, 0~15 d 各处理香石竹出圃苗株高增长量范围在 1.89~4.08 cm/株, 其中对照植株株高增长量最高、T2 处理株高增长量最低, 株

高增长量表现为 CK > T1 > T4 > T3 > T2; 香石竹出圃苗种植 15 d 后, 冠幅增长量主要集中在 2.9~3.93 cm/株, 其中对照冠幅增长量最高、T3 处理冠幅增长量最小; 种植 15~30 d 时, 各处理香石竹株高增长量分布在 2.46~4.14 cm/株之间, 其中 T3 处理株高增长量最高、对照株高增长量最低; 冠幅增长量分布在 4.46~6.5 cm/株之间, 其中 T4 处理冠幅增长量最高、对照冠幅增长量最低。



A、C: 0~15 d 增长量, B、D: 15~30 d 增长量; 小写英文字母不同者表示差异显著

A, C: the increment of 0~15 d; B, D: the increment of 15~30 d. Different lowercase letters in the chart represent significant difference

图 1 控释肥对香石竹出圃苗株高和冠幅的影响

Fig. 1 Effect of controlled release fertilizer on plant height and crown width of *Dianthus caryophyllus* seedlings

2.2 控释肥对香石竹出圃苗生物量的影响

香石竹出圃苗生长至第 30 天时, 各处理不同部位的生物量如图 2 所示, 叶干重主要分布在 1.46~3.12 g/株之间, 表现为 T4 > T3 > T1 > T2 > CK; 茎干重主要分布在 1.06~1.75 g/株之间, 表现为 T4 > T1 > T3=T2 > CK; 根干重主要分布在

0.33~0.82 g/株之间, 表现为 T4 > T3 > T2 > T1 > CK; 花干重主要分布在 0.76~1.53 g/株之间, 表现为 T4 > T3 > T1 > CK > T2。T4 处理的各部分生物量均为最大, 叶、茎、根与对照相比均具有显著差异, T4 处理香石竹花干重与对照相比差异不显著。

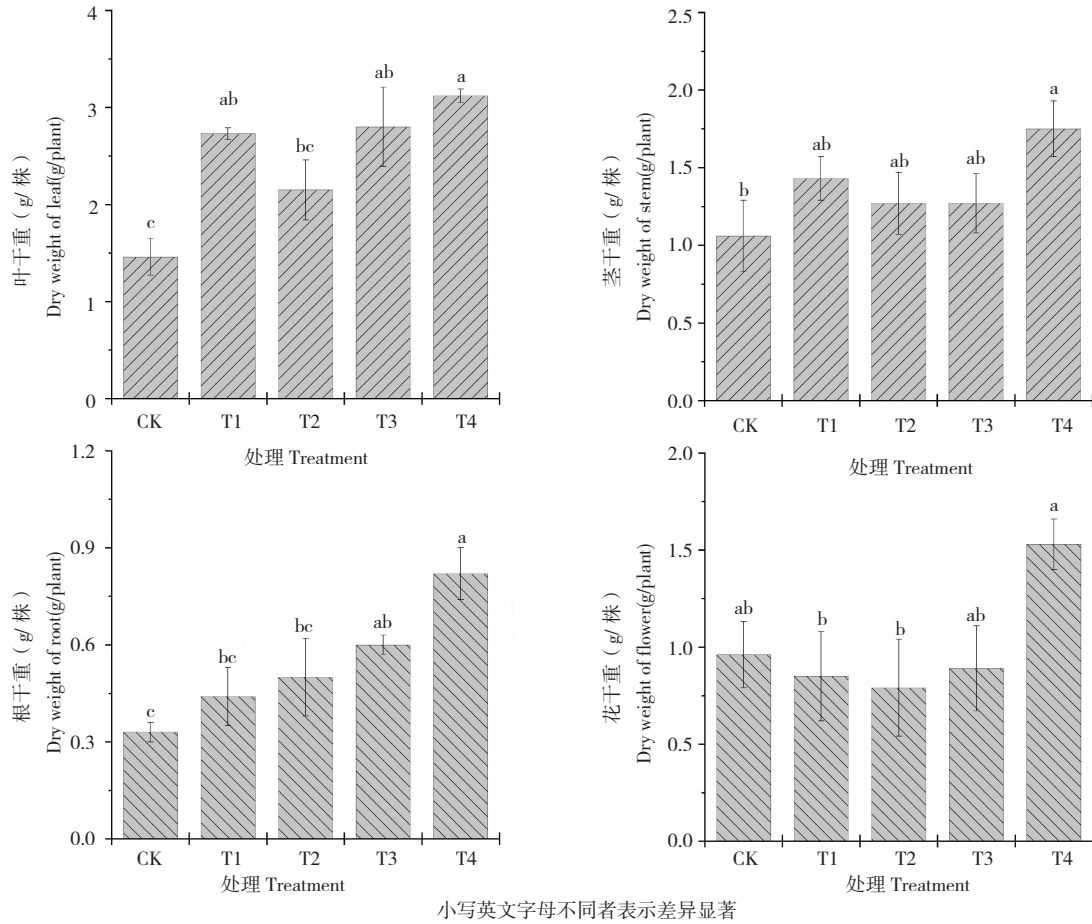


图 2 控释肥对香石竹出圃苗生物量的影响

Fig. 2 Effect of controlled release fertilizer on biomass of *Dianthus caryophyllus* seedlings

2.3 控释肥对香石竹出圃苗地上部养分积累量的影响

种植第 30 天时，香石竹出圃苗地上部氮积累量主要分布在 112~179 mg/株之间，表现为 T4 >

T1 > T3 > T2 > CK；地上部磷积累量主要分布在 9.67~21.32 mg/株之间，从大到小依次为 T4 > T1 > T3 > T2 > CK；其中 T4 处理的地上部氮、磷积累量最大，与对照相比差异显著（图 3）。

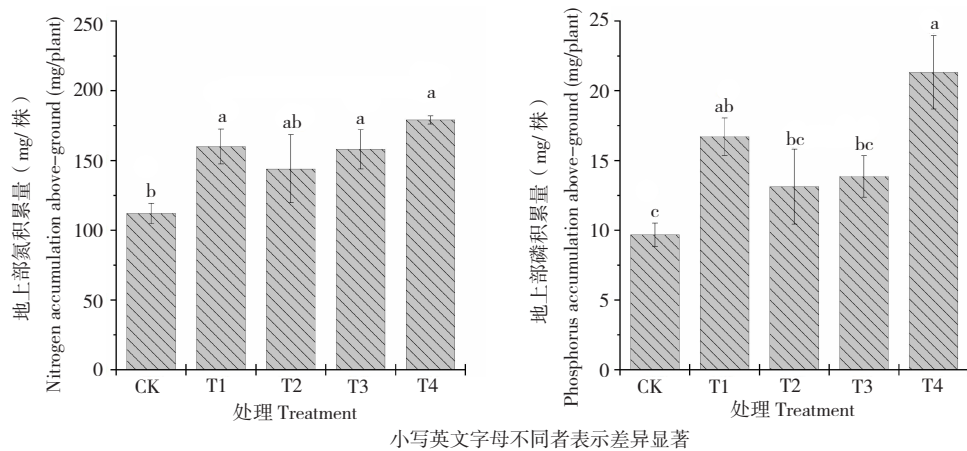


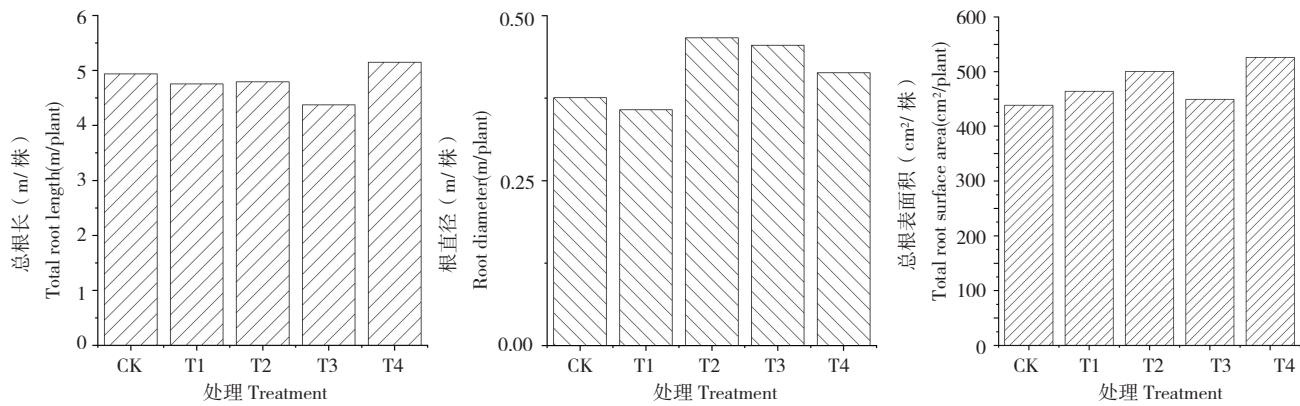
图 3 控释肥对香石竹出圃苗地上部养分积累量的影响

Fig. 3 Effect of controlled release fertilizer on total nutrient of above-ground part of *Dianthus caryophyllus* seedlings

2.4 控释肥对香石竹出圃苗根系形态的影响

对香石竹出圃苗植株根系的扫描结果(图4)表明,T4处理植株总根长最长、为5.15 m,比对照增长4.2%;T2、T3处理的根直径比对照增

长24.1%和21.1%,T4处理的根直径比对照增长10.1%;T4处理的总根表面积最大、为526 cm²,比对照增长19.9%。



小写英文字母不同者表示差异显著

Different lowercase letters in the chart represent significant difference

图4 控释肥对香石竹出圃苗根系形态的影响

Fig. 4 Effect of controlled release fertilizer on root morphology of *Dianthus caryophyllu* seedlings

3 讨论

复合肥和控释肥因肥效释放更快,植物吸收效率高,在种植15 d后,香石竹出圃苗对照植株的株高和冠幅增长量优于施加活性磷和脲甲醛泡沫的处理T1~T4,经过30 d的生长,T1~T4处理的株高和冠幅增长量明显高于对照,株高增长最高的为T3处理,说明虽然在前期复合肥的肥效会释放较快,但是活性磷肥和脲甲醛泡沫在后期释放肥力的能力更强,与TLUSTOS等[17]、HUSBY等[18]研究结果相似;种植30 d后,T1~T4处理的叶、茎等地上干物质量要高于对照,其中T4处理与对照相比有显著差异,表明施加脲甲醛泡沫和活性磷肥后能提高香石竹的干物质量,同时T4处理的地上部氮、磷积累量也高于其他处理,表明施加脲甲醛和活性磷肥后有助于提高香石竹的品质,这也与马琳娜等[19]、ZHENG等[20]研究结果相似;根系是植物的地下营养器官,具有吸收、同化物质以及响应、传递环境信号等功能,是植物吸收矿质养分和水分、合成某些有机物质的重要场所[21-22],添加脲甲醛泡沫和活性磷肥后,植物的根长、根直径、根表面积有较好增长,从而提高对养分的吸收能力。脲甲醛缓释肥肥效受肥料组分、土壤肥力、供试作物品种、自然环境

等因素影响,故不同学者的研究成果有一定差异,此外,土壤微生物、水分等自然因素也会影响脲甲醛缓释肥肥效[23-24]。磷是作物生长发育的三大肥料要素之一,因其在土壤中有效性低和植物体内移动性强等特点而成为科研热点。T4处理植株的叶、茎、根、花生物量均显著高于对照,这与薛亮等[25]的研究结果一致;T4处理的根系生物量高于其他处理,这与吕阳[26]研究结果一致,根系发达对磷的吸收更强,能调控根系分泌物的释放,增加对磷的活化和吸收。史桂清等[27]作物在生长后期吸收和积累氮、磷元素,可以提高作物品质,本研究中T4处理的地上部磷积累量优于其他处理,说明施加脲甲醛泡沫和活性磷肥能改善植物养分利用效率。

4 结论

在本研究中,不同脲甲醛泡沫和活性磷肥供应水平对香石竹的生长及养分积累均有影响,随着供应水平的增加,香石竹生长前期株高和冠幅的增长量虽然低于对照,但在生长后期生物量、地上部氮磷积累量增加明显,同时在添加脲甲醛泡沫和活性磷肥后,香石竹的总根长、根直径和总根表面积也有较大幅度的增长。从香石竹的株高、冠幅、生物量、地上部氮磷积累量等方面综

合考虑,草花基质添加活性磷 5.71 kg/m^3 、脲甲醛 6.05 kg/m^3 作为栽培基质,香石竹出圃苗效果最优,表明在香石竹基质中添加脲甲醛泡沫和活性磷肥能够满足后期生长所需的养分并优化施肥技术、提高香石竹品质。

参考文献

- [1] 石志斯,马全姿,陈辉云,范大泳,雷建军.缓控释肥用量与种植密度对稻田免耕玉米农艺性状及产量的影响[J].广东农业科学,2016,43(2):67-70. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2016.02.013.
- SHI Z S, MA Q Z, CHEN H Y, FAN D Y, LEI J J. Effects of fertilizer and planting density on yield and agronomic traits of non-tilling maize planted on rice field [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2016, 43 (2) : 67-70. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2016.02.013.
- [2] 郭延乐,张民,曲晓飞,刘之广,程冬冬,孙玲丽.脲甲醛合成模型的建立及优化产品对油菜生长的影响[J].水土保持学报,2018,35(2):349-356. doi:10.13870/j.cnki.stbxb.2018.02.05.
- GUO Y, ZHANG M, TIAN X, LIU Z, CHENG D, SUN L. Establishment of urea-formaldehyde synthesis model and the effects of optimized products on rape growth [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 35(2):349-356. doi:10.13870/j.cnki.stbxb.2018.02.05.
- [3] 刘媛媛.新型包膜缓释肥的研制及其性能研究[D].南京:南京理工大学,2012.
- LIU Y Y. The preparation of new coated slow-release fertilizer and properties study [D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2012.
- [4] 黄巧义,张木,黄旭,唐拴虎,张发宝,逢玉万,易琼,李苹,付弘婷.聚脲甲醛缓释氮肥一次性基施在双季稻上的应用效果[J].中国农业科学,2018,51(20):3996-4006. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2018.20.017.
- HUANG Q Y, ZHANG M, HUANG X, TANG S H, ZHANG F B, PANG Y W, YI Q, LI P, FU H Y. Effect of one-off application of poly urea-formaldehyde fertilizer under reduced N rate on double cropping rice [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51 (20) : 3996-4006. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2018.20.017.
- [5] 郑国栋,黄金堂,龚灿.不同缓控释肥对花生农艺性状、产量及品质的影响[J].安徽农业科学,2019,47(6):163-165,177. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.06.049.
- ZHENG G D, HUANG J T, GONG C. Effects of slow/controlled-release fertilizer on agronomic traits, yield and quality of peanut [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019,47(6):163-165,177. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.06.049.
- [6] 赵世民,唐辉,王亚明,周立宏.包膜型缓释/控释肥料的研究现状和发展前景[J].化工科技,2003,11(5):50-54. doi:10.16664/j.cnki.issn1008-0511.2003.05.014.
- ZHAO S M, TIAN H, WANG Y M, ZHOU L H. Study situation and developing prospect of coated slow/controlled release fertilizers [J]. *Science & Technology in Chemical Industry*, 2003, 11(5):50-54. doi:10.16664/j.cnki.issn1008-0511.2003.05.014.
- [7] 吕云峰.脲甲醛缓释肥料[J].磷肥与复肥,2009,24(6):8-10.
- LU Y. Urea-formaldehyde slow release fertilizers [J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2009, 24(6):8-10.
- [8] 谷佳林,曹兵,李亚星,衣文平,杨宜斌,徐秋明.缓控释氮素肥料的研究现状与展望[J].土壤通报,2008,39(2):431-434. doi:10.19336/j.cnki.trtb.2008.02.045.
- GU J L, CAO B, LI Y X, YI W P, YANG Y B, XU Q M. Research status and expectation of slow/controlled release nitrogen fertilizers [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(2):431-434. doi:10.19336/j.cnki.trtb.2008.02.045.
- [9] ALEXANDER A, HELM H U. Ureaform as a slow release fertilizer: A review [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 1990, 153(4):249-255.
- [10] 黄丽娜,樊小林.脲甲醛肥料对小白菜产量和氮肥利用率的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(11):42-46. doi:10.13207/j.cnki.jnwafu.2012.11.025.
- HUANG L N, FAN X L. Effects of urea-formaldehydes fertilizer on yield of Chinese cabbage and its nitrogen use efficiency [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2012, 40(11):42-43. doi:10.13207/j.cnki.jnwafu.2012.11.025.
- [11] 刘兵.脲甲醛缓控释肥料在大田作物上应用效应及产业化发展途径研究[D].扬州:扬州大学,2006.
- LIU B. Effect of the slow-control-released fertilizer urea-formaldehyde on the field crops and further industrial approach [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2006.
- [12] 谷佳林,李琳,左强,王甲辰,刘宝存,邹国元.脲醛泡沫基质在番茄种植中的应用研究[J].北方园艺,2015(18):172-174. doi:10.11937/bfy.201518046.
- GU J L, LI L, ZUO Q, WANG J C, LIU B C, ZOU G Y. Research of urea formaldehyde foam as substrate in tomato [J]. *Northern Horticulture*, 2015 (18) : 172-174. doi:10.11937/bfy.201518046.
- [13] NEKTARIOS P A, TSOGGARAKIS G, NIKOLOPOULOU A E, GOURLIAS D. Fertilization program and resin foam soil amendment effects on sod establishment [J]. *Horticultural Science*, 2005, 40(2):475-479.
- [14] 王自布,罗会兰,曹剑锋.不同磷肥施用量对菊花生理及活性成分的影响[J].农业科学研究,2018,39(2):74-77. doi: 10.13907/j.cnki.nykxyj.2018.02.014.
- WANG Z B, LUO H L, CAO J F. Effects of different phosphorus fertilizer application on physiological and active components of *Chrysanthemum* [J]. *Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 39 (2) : 74-77. doi: 10.13907/j.cnki.nykxyj.2018.02.014.
- [15] 贺根和,王小东,刘强.石灰和磷肥对酸性土壤中野生油茶幼苗生长及土壤酶活性的影响[J].湖北农业科学,2015,54(21):5258-5261. doi:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2015.21.014.
- HE G H, WANG X D, LIU Q. Effects of lime and phosphorus fertilizer on wild seedling growth of *Camellia oleifera* Abel. and enzyme activity of soil enzyme [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2015, 54(21):5258-

5261. doi:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2015.21.014.
- [16] 郭荣发, 廖宗文, 陈爱珠. 活化磷矿粉在砖红壤上的施用效果[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2004, 30(3): 233-235. doi: 10.13331/j.cnki.jhau.2004.03.011.
- GUO R F, LIAO Z W, CHEN A Z. Effect of application of active ground phosphate rock to latosol [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2004, 30(3): 233-235. doi: 10.13331/j.cnki.jhau.2004.03.011.
- [17] TLUSTOS P, BLACKMER A M. Release of nitrogen from urea form fractions as influenced by soil pH [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56(6):1807-1810.
- [18] HUSBY C E, NIEMIERA A X, HARRIS J R, WRIGHT R D. Influence of diurnal temperature on nutrient release patterns of three polymer-coated fertilizers [J]. *Hortscience A Publication of the American Society for Horticultural Science*, 2003, 35(3):387-389.
- [19] 马琳娜, 向阳, 赵贵哲, 刘亚青. 生物降解高分子缓控释肥在番茄上的应用研究[J]. 广东农业科学, 2016, 43(4): 84-88. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2016.04.017.
- MA L N, XIANG Y, ZHAO G Z, LIU Y Q. Application of biodegradable slow and controlled-release polymeric fertilizer in tomato [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2016, 43(4): 84-88. doi:10.16768/j.issn.1004-874X.2016.04.017.
- [20] ZHENG W, LIU Z, ZHANG M, SHI Y F, ZHU Q, SUN Y B, ZHOU H Y, LI C L, YANG Y C, GENG J B. Improving crop yields, nitrogen use efficiencies, and profits by using mixtures of coated controlled-released and uncoated urea in a wheat-maize system [J]. *Field Crops Research*, 2017, 205:106-115. doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.009.
- [21] 刘昌敏, 王雨, 王炎, 李振宙, 周良, 陈庆富, 黄小燕, 黄凯丰. 硼肥调控对甜芥根形态及产量的影响[J]. 广东农业科学, 2018, 45(5): 42-46. doi:10.16768/j.issn.1004-874X.2018.05.008.
- LIU C M, WANG Y, WANG Y, LI Z Z, ZHOU L, CHEN Q F, HUANG X Y, HUANG K F. Effect of boron regulation on root morphology and yield of common buckwheat [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2018, 45(5): 42-46. doi:10.16768/j.issn.1004-874X.2018.05.008.
- [22] 董肖昌, 姜存仓, 刘桂东, 刘磊超, 吴礼树, 彭抒昂. 低硼胁迫对根系调控及生理代谢的影响研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2014, 33(3):133-137. doi:10.3969/j.issn.1000-2421.2014.03.023.
- DONG X C, JIANG C C, LIU G D, LIU L C, WU L S, PENG S A. Advances on regulation and physiological metabolism of roots under the boron deficiency [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2014, 33(3):133-137. doi: 10.3969/j.issn.1000-2421.2014.03.023.
- [23] EWEN H, JAHNS T. Bacterial degradation of methyleneureas used as slow-release fertilizer [J]. *Recent Research Developments in Microbiology*, 2000, 4(2): 537-546.
- [24] OERTLI J J, LUNT O R. Controlled release of fertilizer minerals by encapsulating membranes: I. Factors influencing the rate of release [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1962(26):579-583.
- [25] 薛亮, 马忠明, 杜少平. 沙漠绿洲灌区不同水氮水平对甜瓜产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(3):132-134. doi:10.13522/j.cnki.gggs.2012.03.033.
- XUE L, MA Z M, DU S P. Effects of different irrigation and nitrogen rates on yield and quality of melon in Desert Oasis Area [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2012, 31(3):132-134. doi:10.13522/j.cnki.gggs.2012.03.033.
- [26] 吕阳. 水旱轮作体系的磷平衡与土壤有效化过程研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.
- LU Y. Phosphorus balance in paddy-upland rotation system and processes of increasing soil phosphorus availability [D]. Beijing: China Agricultural University, 2016.
- [27] 史桂清, 石书亚, 赵颖佳, 肖凯. 氮磷钾施用方式对夏玉米植株、产量和土壤养分的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(13):23-30.
- SHI G Q, SHI S Y, ZHAO Y J, XIAO K. NPK application modes affect plants and yield of summer maize and soil nutrients [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(13):23-30.

(责任编辑 张辉玲)