

不同缓释肥对樱桃番茄植株生长及基质养分特性的影响

叶挺¹, 沈婷婷¹, 王欣怡¹, 田兴武², 郭永婷², 张雪艳¹

(1. 宁夏大学葡萄酒与园艺学院 银川 750021; 2. 宁夏吴忠国家农业科技园区管理委员会 宁夏吴忠 751100)

摘要:为探究不同缓释肥养分释放规律及对樱桃番茄植株生长、果实品质和基质养分的作用效果,以常规水溶肥为对照(CK),以包膜型缓释肥(H1)、磷酸盐有机缓释肥(H2)及磷酸盐无机缓释肥(H3)为处理,采用土柱淋溶试验,结果表明,3种缓释肥均减缓了速效养分的释放,包膜型缓释肥(H1)15 d前氮素释放率低于其他2种缓释肥,在60 d后与磷酸盐有机缓释肥(H2)效果一致,且在80 d后释放率达到最高,包膜型缓释肥养分释放规律更符合樱桃番茄生长发育需求。针对不同缓释肥对樱桃番茄生长的影响,采用田间盆栽试验,结果表明,与常规水溶肥相比,施用3种缓释肥均可显著提升基质速效养分含量,H1、H2处理速效磷和速效钾含量均高于H3处理,且H2处理的速效养分含量低于H1处理。与CK相比,3种缓释肥显著提高番茄可溶性固形物、维生素C、可溶性糖含量,可溶性糖含量分别提升了21.30%、19.73%、14.27%;3种缓释肥促进番茄植株生长、提高产量,单位面积产量分别提高了31.03%、20.13%、21.69%。通过相关性分析得出,基质速效氮、速效钾含量与番茄植株茎粗、叶面积、可溶性糖含量呈显著正相关,主成分与隶属函数综合分析表明,各缓释肥处理综合得分均高于CK,且包膜型缓释肥综合得分最高。综上,施用缓释肥可有效保障樱桃番茄生长中的养分高效利用,包膜型缓释肥更有利于樱桃番茄植株生长和果实品质形成。

关键词:缓释肥;养分释放规律;基质养分;番茄品质

中图分类号:S641.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2024)11-122-10

Research on the effect of different slow-release fertilizers on the growth of cherry tomato plants and nutrient properties of the substrate

YE Ting¹, SHEN Tingting¹, WANG Xinyi¹, TIAN Xingwu², GUO Yongting², ZHANG Xueyan¹

(1. College of Enology and Horticulture, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China; 2. Ningxia Wuzhong National Agricultural Science and Technology Park Management Committee, Wuzhong 751100, Ningxia, China)

Abstract: To investigate the nutrient release pattern of different slow-release fertilizers and their effects on the growth of cherry tomato plants, fruit quality, and nutrients in the substrate, this experiment was conducted with conventional water-soluble fertilizers as a control, and treated with coated slow-release fertilizer(H1), phosphate organic slow-release fertilizer(H2) and phosphate inorganic slow-release fertilizer(H3). To analyze the nutrient release pattern of different types of slow-release fertilizers, a soil column leaching test was performed. The results showed that three slow-release fertilizers significantly slowed down the release of available nutrients. The nitrogen release rate of coated slow-release fertilizer(H1) was lower than that of other slow-release fertilizers before 15 days, but it was consistent with that of phosphate organic slow-release fertilizer(H2) after 60 days, and the release rate reached the maximum after 80 days. To investigate the impact of different slow-release fertilizers on the growth of cherry tomatoes, a field pot experiment was conducted. The slow-release fertilizer were more suitable for the growth and development of tomato. The results showed that the application of three slow-release fertilizers could significantly increase the content of available nitrogen, available phosphorus and available potassium in the matrix. The content of available nitrogen, available potassium and available phosphorus in H1 and H2 were significantly higher than those in H3 treatment, and the content of available nutrients in H2 treatment was lower than that in H1 treatment. Compared to the control, the three slow-release fertilizers obviously increased the content of vitamin C, soluble sugar, soluble solids, and the sugar-acid ratio of tomato, and the soluble sugar content have been elevated by 21.30%, 19.73%, and 14.27%, respectively. What's more, they promoted tomato plant growth and in-

收稿日期:2024-04-10;修回日期:2024-07-17

基金项目:吴忠市自治区级农业高新技术产业示范区建设专项(2021WZYQ0002)

作者简介:叶挺,男,在读硕士研究生,研究方向为蔬菜生理与生态。E-mail: yeting0522@163.com

通信作者:张雪艳,女,教授,主要从事设施蔬菜栽培与生理研究。E-mail: zhangxueyan123@sina.com

creased yield by 31.03%, 20.13%, and 21.69%, respectively. Correlation analysis showed that the content of available nitrogen and available potassium in the substrate were significantly positively correlated with the stem diameter, leaf area and soluble sugar content of tomato. As indicated by principal component analysis, the composite score of each slow-release fertilizer was higher than that of the control, and the comprehensive performance of coated slow-release fertilizer was better than others. In conclusion, using slow-release fertilizers can effectively guarantee the efficient use of nutrients in the growth of bunch cherry tomatoes, and the film-encapsulated slow-release fertilizers are more suitable for the vegetative growth of bunch string-harvested plants and the formation of fruit quality.

Key words: Slow-release fertilizer; Nutrient release rule; Matrix nutrients; Tomato quality

番茄是我国种植面积最大的蔬菜作物之一,2022 年全国种植面积达 505.20 万 hm^2 ,产量达 1.87 亿 $\text{t}^{[1]}$ 。2023 年,宁夏番茄栽培总面积达 2.53 万 hm^2 ,是宁夏主栽蔬菜作物之一^[2]。樱桃番茄因具有商品性好、品质优等特点深受消费者欢迎。在番茄生产过程中,农户为了获得高产量会进行多次追肥,肥料的过量施入不仅无法使产量持续增加,还会引发边际收益递减^[3],养分不能被作物充分吸收,残留在土壤中造成资源浪费,同时对环境安全也造成威胁^[4]。此外,农户在生产中通常使用速效肥料施肥,该肥料主要特点是养分释放快,无法长期供应作物所需养分,容易淋溶或挥发。因此,降低肥料用量、提高肥料利用率以及提升番茄营养品质对农户收益至关重要。为提高农户收益水平,需要研发更有效的施肥方式或者新型肥料。缓释肥是一种新型肥料,其特点在于能够根据作物的养分需求提供养分,且只需在生长初期一次性施入,不仅有利于简化肥料管理技术,且可以有效降低生产成本。因此,缓释肥有望在提高作物产量的同时减少化肥的使用量,从而促进农业可持续发展^[5]。有研究表明,在番茄和辣椒的种植过程中,施用缓释肥不仅能增加产量,还能改善品质^[6]。此外,缓释肥还能增强根系活力,进一步促进蔬菜的生长和发育^[7]。因此,缓释肥在蔬菜种植中具有重要作用,对提升蔬菜生产效益有明显的促进作用。研究表明,缓释肥对植物生长发育也具有促进作用。程耀华等^[8]研究发现,相比于传统复合肥,施用缓释肥能够显著提高茶苗的苗高、地径、地上和地下部干物质含量,有效促进茶苗生长。郑绍傑等^[9]研究表明,不同用量的缓释肥处理显著提高了白枪杆幼苗根、茎、叶的生物量,同时对苗高和地径也有一定的促进作用。薛娟等^[10]研究表明,随着施肥时间的延长,缓释肥养分释放速率逐渐加快,能够满足茄子生长所需的养分,从而显著改善茄子的根系活力,提高叶绿素含量。

目前,国内对不同缓释肥的养分释放规律分析

及以珍珠岩为基质在番茄上采用不同缓释肥的研究较少。因此,笔者通过土柱淋溶试验分析不同缓释肥养分累积释放规律,以樱桃番茄为试验材料,设置不同缓释肥与常规水溶肥的对比试验,旨在探讨不同缓释肥对樱桃番茄植株生长及基质养分的影响,从而为缓释肥在番茄上的生产应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 设计

1.1.1 土柱淋溶试验 试验于 2023 年 9 月 20 日至 12 月 13 日在宁夏大学葡萄酒与园艺学院园艺实验室进行,通过淋溶试验,模拟不同缓释肥在基质中的养分释放在过程。试验以珍珠岩为淋溶基质,试验前需将珍珠岩置于烧杯中,加入蒸馏水浸泡,搅拌去除悬浮杂质,用蒸馏水多次冲洗后置于托盘中,用 110 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱烘干。试验设 3 个处理:包膜型缓释肥(H1,奥朗全控复合肥料,14-14-14)、磷酸盐有机缓释肥(H2,好乐耕有机缓释茄果专用肥,13-4-8)、磷酸盐无机缓释肥(H3,海生万新型环保智能型缓释矿物质复合肥,15-5-17)。土柱淋溶装置直径为 6.5 cm、高 20 cm,柱底部用双层尼龙网(双层网中间夹一张定性滤纸)封底,用绳子固定。土柱的填筑方法如下:首先,将 10 g 烘干的珍珠岩置于底层;其次,将 20 g 烘干的珍珠岩与一定量的肥料充分混合置于中间;最后,在土柱上部添加 10 g 珍珠岩,以防止淋溶过程中对基质的干扰。填好土柱后,每根土柱加入一定量的水,在 1、3、5、7、10、14、21、28、36、45、56、84 d 向每个土壤柱中加入 250 mL 蒸馏水进行淋洗,收集浸出液,测定浸出液中的氮、磷、钾含量。

1.1.2 盆栽试验 试验于 2023 年 3 月 23 日至 8 月 25 日在宁夏吴忠市国家农业科技园区 F 区 11 号温室进行。试验品种为荷兰纽内姆公司提供的 MISTELA 樱桃番茄,生长类型为无限生长型。试验采用东西向盆式栽培,每盆定植 2 株番茄,花盆

规格长 50 cm、宽 20 cm、高 20 cm。试验共设 4 垄,每个处理为 1 垄,每垄双行种植,垄宽为 100 cm,行距为 120 cm,株距 25 cm,定植密度 36 000 株·hm⁻²。基质为颗粒珍珠岩,规格在 3~5 mm,其基本理化性质如表 1 所示。试验以常规水溶肥(CK, 20-20-20+TE)为对照,对照不施用底肥,只进行追肥;以包膜型缓释肥(H1,奥朗全控复合肥料,14-14-14)、磷酸盐有机缓释肥(H2,好乐耕有机缓释茄果专用肥,13-4-8)、磷酸盐无机缓释肥(H3,海生万新型环保智能型缓释矿物质复合肥,15-5-17)为处理,根据每 667 m²目标产量 10 000 kg 计算氮肥投入量,所有处理等氮施入,50%氮肥以缓释肥为底肥施入,50%氮肥水溶肥为追肥施入。所有处理在第一穗果实膨大后进行追肥,每次追 K₂SO₄ 和水溶肥(20-20-20+TE),各处理具体施肥用量见表 2,所有处理统一水管理。试验采用完全随机区组设计,每个处理 3 次重复,每小区面积为 30 m²。

表 1 珍珠岩理化性质					
Table 1 Physicochemical properties of perlite					
指标 Index	pH	EC/ (mS·cm ⁻¹)	w(速效氮) Available nitrogen content/ (mg·kg ⁻¹)	w(速效磷) Available phosphorus content/ (mg·kg ⁻¹)	w(速效钾) Available potassium content/ (mg·kg ⁻¹)
数值 Value	7.68	0.11	2.8	9.77	11.07

1.2 指标测定与方法

1.2.1 生长指标测定 定植缓苗 7 d 后,每个处理选代表性植株 3 株,测量番茄株高、茎粗、叶面积及叶片数,间隔 14 d 测量 1 次,连续测量 4 次。株高使用卷尺测量地面至植株生长点的距离;茎粗用游标卡尺测量基部子叶下端 1 cm 处;叶长使用卷尺测量叶片尖部至叶片底部的距离,叶宽用卷尺测量叶片中间最宽距离,分不同的生育期带入叶面积公式^[11]进行计算,叶片数用观察法计算。分别在定植 30、60、90 d,采用 Li-6800 便携式光合仪测定植株光合指标,每个处理选择 3 株长势均一植株,取自

表 2 试验设计
Table 2 Experimental design

处理 Treatment	肥料类型 Fertilizer type	肥料属性 Fertilizer properties	每盆肥料用量 Fertilizer amount per pot/g		肥料来源 Fertilizer source
			底肥 Base fertilizer	追肥 Topdressing	
常规水溶肥(CK) Conventional water soluble fertilizer	金土地大量元素 水溶肥料 Gold land large amount of elemental water soluble fertilizer		0	165 g 水溶肥+ 20 g K ₂ SO ₄ 165 g water- soluble fertilizer + 20 g K ₂ SO ₄	潍坊金土地化 工有限公司 Weifang Golden Land Chemical Co., Ltd.
包膜型缓释肥(H1) Coated slow- release fertilizer	奥朗全控复合肥料 Olane fully controlled release fertilizer	以树脂材料为主要包裹材料对复合肥进行包裹,实现对养分的缓慢释放。 The compound fertilizer is wrapped with resin material as the main wrapping material to achieve slow release of nutrients.	118 g	82.5 g 水溶肥+ 20 g K ₂ SO ₄ 82.5 g water- soluble fertilizer +20 g K ₂ SO ₄	青岛弘邦植物 营养有限公司 Qingdao Hongbang Plant Nutrition Co., Ltd.
磷酸盐有机缓释肥(H2) Phosphate organic slow- release fertilizer	好乐耕有机缓释茄果专用肥 Haolegeng organic slow-release special fertilizer for eggplant fruits	对木质素、纤维素、海藻酸、甲壳素等天然高分子有机物进行改性活化。通过吸附、包裹作用缓慢释放养分。 Modify and activate natural polymer organic compounds such as lignin, cellulose, alginic acid, and chitin. Nutrients are slowly released through adsorption and encapsulation.	126 g	82.5 g 水溶肥+ 20 g K ₂ SO ₄ 82.5 g water- soluble fertilizer +20 g K ₂ SO ₄	金华万里神农农业科技有限公司 Jinhua Wanli Shennong Agricultural Technol- ogy Co., Ltd.
磷酸盐无机缓释肥(H3) Phosphate inorganic slow- release fertilizer	海生万新型环保智能型缓释矿物质复合肥 Haishengwan new environmentally friendly intelligent slow-release mineral compound fertilizer	从海水中提取、一次成形的极纯净的矿物质复合肥料。通过土壤的微生物进行氨氧化、硝基化作用,释放肥料的养分,持久供作物吸收。 An extremely pure mineral compound fertilizer extracted from seawater and formed in one time. Ammonia oxidation and nitration are carried out by soil microorganisms to release nutrients from fertilizers for sustainable absorption by crops.	110 g	82.5 g 水溶肥+ 20 g K ₂ SO ₄ 82.5 g water- soluble fertilizer + 20 g K ₂ SO ₄	浙江滨海科技 有限公司 Zhejiang Hao Hai Technology Co., Ltd.

顶叶向下第5片叶片测定植株功能叶片蒸腾速率、气孔导度、净光合速率和胞间CO₂浓度^[12]。

1.2.2 产量、品质及生物量测定 在番茄果实成熟期,每个处理选取成熟度一致的3个果实进行品质、产量指标测定。用电子天平测定果实单果质量,随后根据单穗结果数、结果穗数计算单株产量,按照种植密度折合成单位面积产量。参照高俊凤^[13]的方法,采用水杨酸法测定果实硝酸盐含量,采用蒽酮比色法测定果实可溶性糖含量,采用TD-45数字折光仪测定果实可溶性固形物含量,采用酸碱中和转移法测定果实有机酸含量,采用钼蓝比色法测定维生素C含量。

在拉秧期,从每个处理随机选择3株植株,将植株地上部和地下部用无菌手术刀分开,根系用清水洗净并用纸吸干水分,用电子天平称量地上部和地下部鲜质量,随后将地上部和地下部植株在烘箱75℃下烘干至质量恒定,然后测定地上部和地下部干质量^[14]。

1.2.3 基质养分测定 分别在定植30、60、90 d,每个处理用五点采样法采集0~20 cm的基质样品,混合风干后测定基质pH值和氮、磷、钾含量。采用1:10土壤悬液电位计法测定pH值,采用凯氏定氮法测定速效氮含量,采用钼锑抗比色法测定速效磷含量,采用火焰光度法测定速效钾含量^[15]。

1.2.4 浸出液氮、磷、钾含量测定及养分释放速率测定 利用土柱淋溶法收集不同时期的浸出液,采用碱性过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定浸出液中总氮含量;采用钼酸铵分光光度法测定浸出液中总磷含量;采用火焰光度法测定浸出液中总钾含量^[16]。

初期养分释放率/%=肥料24 h内养分溶出量/肥料总养分量×100;

28 d 累积养分释放率/%=28 d 累积养分溶出量/肥料总养分量×100;

累积养分释放率/%=累积养分溶出量/肥料总养分量×100。

1.3 数据统计分析

采用Excel 2016和SPSS 20.0对试验数据进行统计与分析;采用单因素ANOVA在0.05水平进行差异显著性分析;采用Person相关性进行基质养分和番茄植株生长、果实品质指标间相关性分析,利用主成分及隶属函数进行综合分析;采用Excel 2016与Origin 2022作图。

2 结果与分析

2.1 缓释肥在土柱淋溶试验中的养分释放规律

3种缓释肥在土柱淋溶试验中的氮、磷、钾累积

释放速率如图1所示。在整个缓释肥的释放周期内,随着时间推移,3种缓释肥氮累积释放率逐渐升高,在28 d时,氮累积释放率均未达到60%,且3种缓释肥28 d氮累积养分释放率顺序为H2>H1>H3。在整个释放周期H1处理的氮累积释放率最高,为54.32%;H3处理的氮累积释放率最低,为49.01%。在整个释放周期,缓释肥H1、H2和H3的磷累积释放率均未达到25%,分别为10.06%、24.94%和14.07%。缓释肥H1、H2和H3的钾素初期养分释放率分别为1.91%、34.50%和29.37%,且缓释肥H1、H2和H3的钾累积释放率在28 d均超出了国家标准(缓释肥28 d累积释放率不得超过80%)。

2.2 不同缓释肥对基质养分含量的影响

由图2可知,所有处理基质pH、速效氮、速效磷和速效钾含量均随番茄生育周期延长呈降低趋势,3种缓释肥处理基质养分含量均高于CK。与CK比较,H3处理可显著提高基质pH值,而H1和H2处理可显著降低基质pH值。在整个生育期,H1和H2处理的速效氮和速效磷含量均显著高于H3处理;在30 d和60 d时,H1和H2处理的速效钾含量均显著高于H3处理,90 d时H2和H3处理间速效钾含量差异不显著。H1处理的速效氮含量只有在90 d时显著高于H2处理;在30 d时,H2处理的速效钾含量显著高于H1处理,而60 d和90 d时H1处理显著高于H2处理;速效磷含量始终为H1处理显著高于H2处理。

2.3 不同缓释肥对樱桃番茄植株长势和光合特性的影响

由图3可知,在番茄定植30~60 d,与CK相比,施用缓释肥均能显著提高樱桃番茄植株株高、叶面积和叶片数。定植15 d时,与CK相比,H1、H2和H3处理均可显著促进樱桃番茄叶面积的增长,提升效果分别为35.25%、46.65%和44.76%。定植30 d时,H2处理叶面积和叶片数均显著高于H1和H3。在定植45 d时,H1处理的株高、茎粗、叶面积均高于H2和H3,而3种缓释肥处理间叶片数无显著差异。在定植60 d时,H1处理的茎粗、叶面积和叶片数均显著高于H2和H3,对樱桃番茄的促生效最好,H2和H3处理间无显著差异。

由图4可知,与CK相比,施用缓释肥有利于樱桃番茄植株进行光合作用,提高了植株的蒸腾速率,显著提高了净光合速率和气孔导度。除胞间CO₂浓度外,蒸腾速率、净光合速率和气孔导度随着

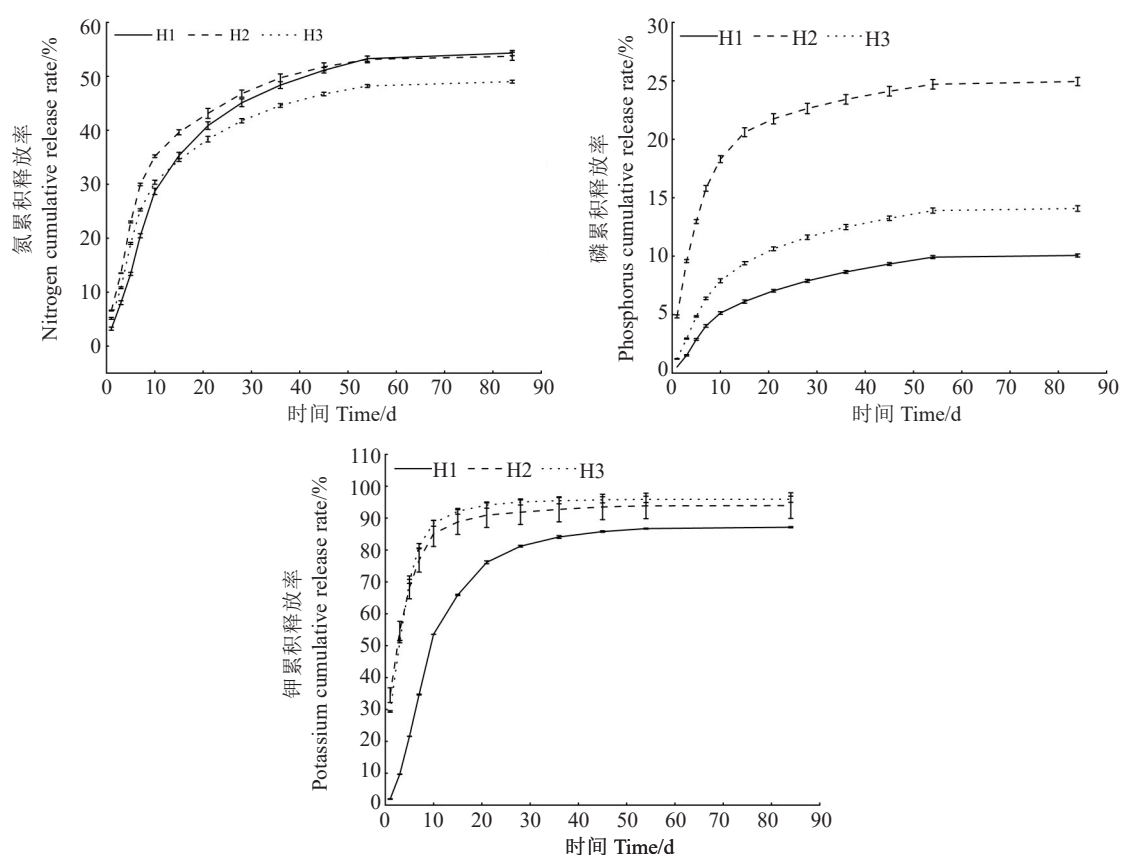
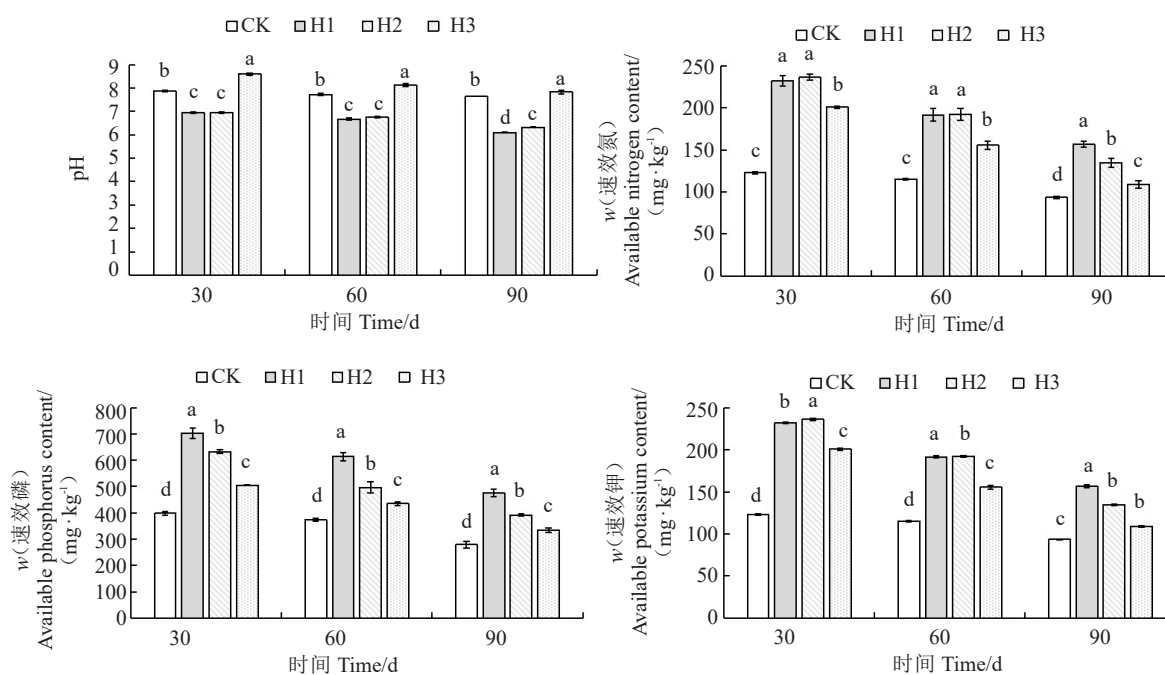


图1 缓释肥在土柱淋溶试验中氮、磷、钾累积释放速率

Fig. 1 Cumulative release rate of nitrogen, phosphorus and potassium from slow-release fertilizers in soil column leaching test



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters represent significant difference at 0.05 level. The same below.

图2 不同缓释肥对基质养分含量的影响

Fig. 2 Effects of different slow-release fertilizers on matrix nutrients content

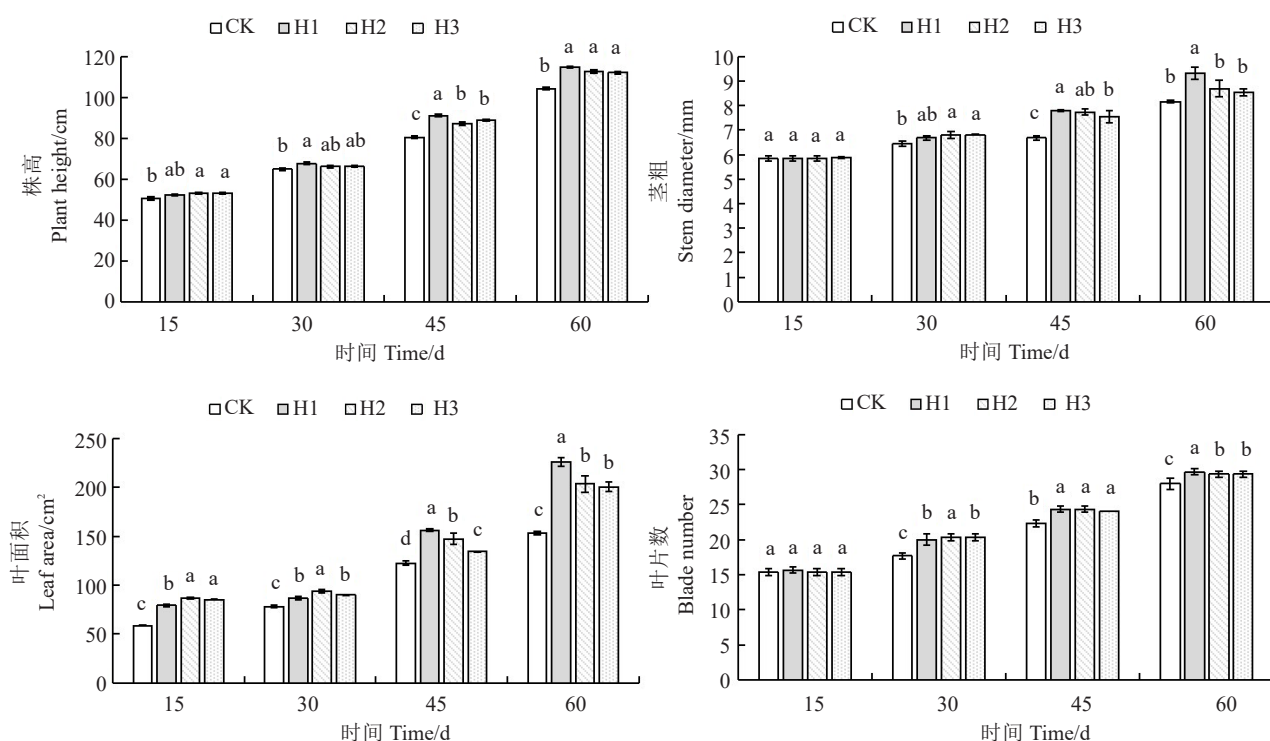


图 3 不同缓释肥对樱桃番茄长势的影响

Fig. 3 Effects of different slow-release fertilizers on the growth of cherry tomato

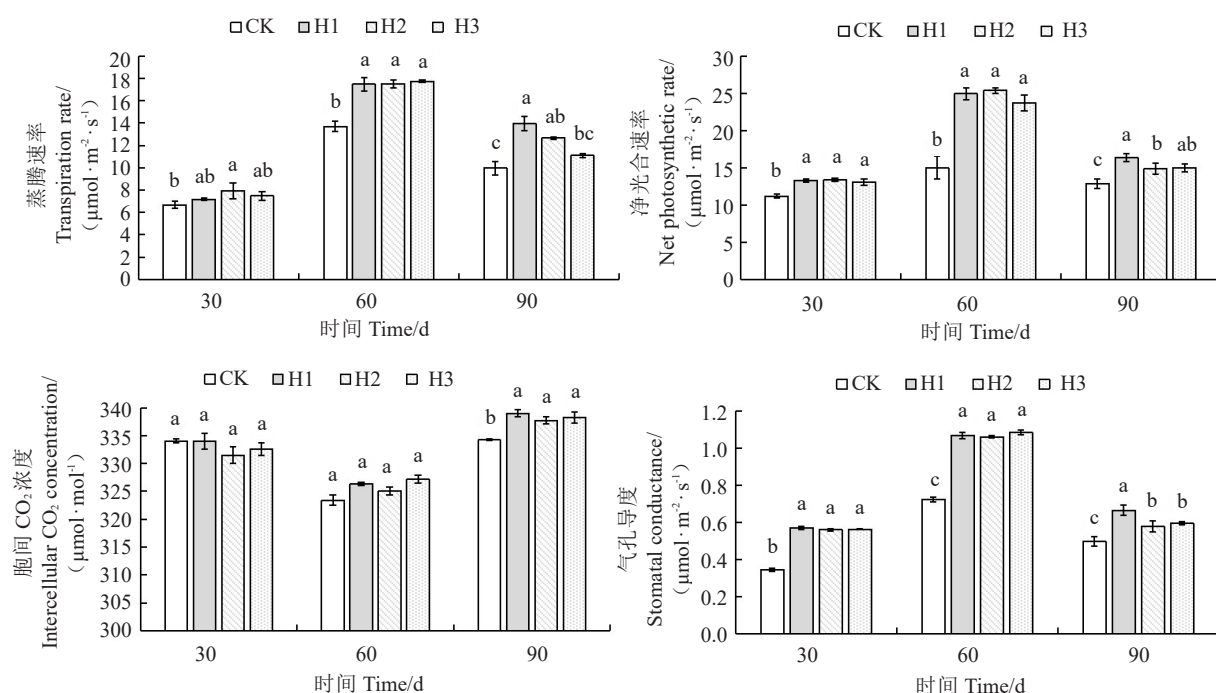


图 4 不同缓释肥对樱桃番茄光合特性的影响

Fig. 4 Effects of different slow-release fertilizers on photosynthetic characteristics of cherry tomato

生长期呈先增后减的趋势。在定植 60 d 时, H1、H2、H3 处理间蒸腾速率、净光合速率、胞间 CO₂ 浓度和气孔导度均无显著差异。在定植 90 d 时, H1 处理的蒸腾速率、净光合速率和气孔导度均明显高

于 H2、H3 处理。在定植 90 d 时, 与 CK 相比, 3 种缓释肥处理的净光合速率分别显著提升了 27.23%、15.79%、16.50%, 气孔导度分别显著提升了 34.10%、16.56%、19.97%。

2.4 不同缓释肥对樱桃番茄品质、产量和生物量的影响

由表 3 可知,与 CK 相比,施用缓释肥能显著提高樱桃番茄维生素 C、可溶性糖、可溶性固形物含量和糖酸比,降低有机酸和硝酸盐含量。与 CK 相比,H1、H2、H3 处理维生素 C 含量分别显著提高了

20.14%、13.67%、16.30%;可溶性糖含量分别显著提高了 21.30%、19.73%、14.27%;可溶性固形物含量分别显著提高了 27.41%、21.53%、23.53%;有机酸含量分别显著降低了 28.57%、26.19%、26.19%。3 种缓释肥处理间可溶性固形物、有机酸、硝酸盐含量和糖酸比无显著差异,H1 处理的维生素 C 和可

表 3 不同缓释肥对樱桃番茄品质的影响
Table 3 Effects of different slow-release fertilizers on the quality of cherry tomato

处理 Treatment	w(维生素 C) Vitamin C content/ (mg·100 g ⁻¹)	w(可溶性糖) Soluble sugar content/%	w(可溶性固形物) Soluble solid content/%	w(有机酸) Organic acid content/%	糖酸比 Sugar-acid ratio	w(硝酸盐) Nitrate content/ (mg·kg ⁻¹)
CK	14.05±0.13 c	9.53±0.16 c	8.50±0.41 b	0.42±0.01 a	22.57±0.37 b	20.69±0.37 a
H1	16.88±0.45 a	11.56±0.38 a	10.83±0.24 a	0.30±0.02 b	38.49±2.81 a	18.89±0.56 b
H2	15.97±0.19 b	11.41±0.43 ab	10.33±0.47 a	0.31±0.01 b	37.31±2.01 a	19.06±0.14 b
H3	16.34±0.40 ab	10.89±0.08 b	10.50±0.41 a	0.31±0.02 b	35.35±1.73 a	19.47±0.87 ab

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。
Note: Different lowercase letters represent significant difference at 0.05 level. The same below.

溶性糖含量最高。

由表 4 可知,3 种缓释肥处理单果质量、结果穗数、单株产量、单位面积产量均高于 CK,其中 H1 处

理各项指标最优。3 种缓释肥处理相比,每穗结果数、结果穗数和单位面积产量无显著差异,而 H1 处理的单果质量和单株产量均高于 H2、H3,H2 与 H3

表 4 不同缓释肥对樱桃番茄产量的影响
Table 4 Effects of different slow-release fertilizers on the yield of cherry tomato

处理 Treatment	单果质量 Single fruit mass/g	每穗结果数 Fruits number of per spike	结果穗数 Fruiting spike number	单株产量 Single plant yield/g	单位面积产量 Yield of per unit area/ (kg·m ⁻²)
CK	13.53±0.26 b	10.67±0.47 a	17.33±0.47 b	2 506.33±200.53 c	8.99±0.71 b
H1	15.93±0.12 a	10.67±0.47 a	19.33±0.47 a	3 281.77±44.50 a	11.78±0.15 a
H2	14.63±0.74 ab	10.67±0.47 a	19.33±0.47 a	3 010.43±52.03 b	10.80±0.18 a
H3	14.53±0.12 ab	11.33±0.47 a	19.67±0.47 a	3 047.43±127.77 b	10.94±0.45 a

间无显著差异。

由图 5 可知,缓释肥处理显著增加了番茄植株地上部和地下部干鲜质量,且 3 种缓释肥处理间地上部和地下部鲜质量间无显著差异。H1 处理对番茄地上部和地下部植株干质量增加效果最优,H2 和 H3 次之,且两者之间无显著差异。

2.5 相关性分析与主成分分析

由表 5 可知,速效氮含量与茎粗、叶面积、可溶性糖含量、糖酸比及植株地上部干质量呈显著正相关;速效磷含量与植株地上、地下部干质量呈显著正相关;速效钾含量与茎粗、维生素 C 含量、可溶性糖含量、地下部鲜质量及单位面积产量呈显著正相关,与株高、叶面积、叶片数、可溶性固形物含量、糖酸比及植株地上部鲜质量呈极显著正相关,与有机酸含量呈极显著负相关。

由于单一指标不能科学、有效地反映不同处理对樱桃番茄植株生长、品质及产量的影响,因此采用主成分分析法,对不同缓释肥处理的长势、光合作用、品质、产量等 23 个指标进行综合评价。由表 6 可知,以特征值大于 1 为标准,共提取了 3 个有效主成分,累积贡献率为 100.00%。其中,PC1 的解释方差为 85.52%;PC2 的解释方差为 8.17%;PC3 的解释方差为 6.31%。根据表 7 不同缓释肥处理综合评得分及排序可知,H1 处理为促进樱桃番茄植株生长、提高品质及基质养分含量的最佳处理。

3 讨论与结论

在土壤淋溶试验中,3 种缓释肥氮素初期养分释放率均未超过 10%,且三者 28 d 的累积养分释放率分别为 45.09%、46.78%和 41.76%,均满足国家标

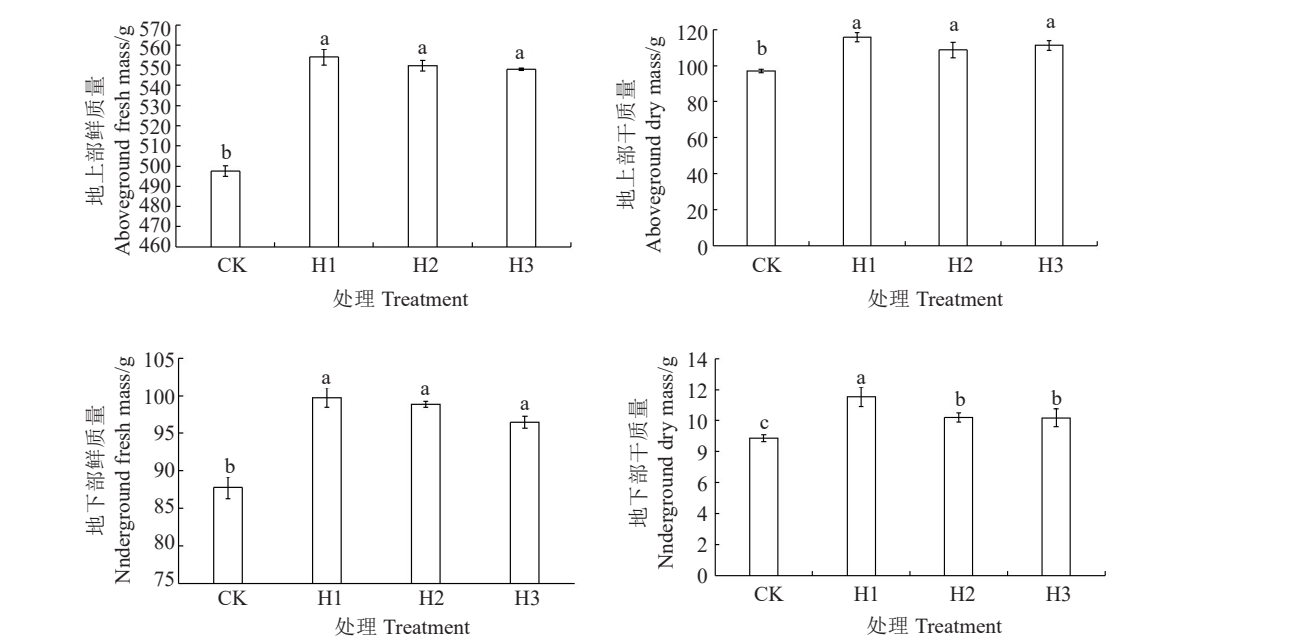


图 5 不同缓释肥对樱桃番茄生物量的影响

Fig. 5 Effects of different slow-release fertilizers on biomass of cherry tomato

表 5 基质养分与樱桃番茄植株生长、果实品质、产量及生物量间的相关性

Table 5 Correlation between matrix nutrients and plant growth, fruit quality, yield and biomass of cherry tomato				
指标 Index	速效氮含量 Available nitrogen content	速效磷含量 Available phosphorus content	速效钾含量 Available potassium content	
株高 Plant height	0.917	0.857	0.991**	
茎粗 Stem thick	0.963*	0.945	0.974*	
叶面积 Leaf area	0.969*	0.88	0.997**	
叶片数 Number field of leaves	0.939	0.833	0.999**	
硝酸盐含量 Nitrate content	0.357	0.03	0.365	
维生素 C 含量 Vitamin C content	0.886	0.837	0.979*	
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.989*	0.907	0.983*	
可溶性固形物含量 Soluble solid content	0.905	0.822	0.993**	
有机酸含量 Organic acid content	-0.915	-0.795	-0.994**	
糖酸比 Sugar acid ratio	0.958*	0.853	0.998**	
地上部鲜质量 Aboveground fresh mass	0.914	0.808	0.996**	
地下部鲜质量 Underground fresh mass	0.947	0.909	0.988*	
地上部干质量 Aboveground dry mass	0.958*	0.987*	0.922	
地下部干质量 Underground dry mass	0.888	0.950*	0.899	
单位面积产量 Yield of per unit area	0.917	0.895	0.976*	

注: *表示显著相关($p < 0.05$), **表示极显著相关($p < 0.01$), $n=20$ 。
Note : * indicates significant correlation($p < 0.05$), ** indicates extremely significant correlation($p < 0.01$), $n=20$.

表 6 主成分的特征值与方差贡献率

Table 6 Eigenvalues and variance contribution rates of principal components

参数 Parameter	主成分 Principal component		
	PC1	PC2	PC3
特征值 Eigenvalue	19.67	1.88	1.45
方差 Variance/%	85.52	8.17	6.31
累积贡献率 Accumulate contribution rate/%	85.52	93.69	100.00

表 7 综合评价及排序

Table 7 Comprehensive evaluation values and ranking

处理 Treatment	Y1	Y2	Y3	Y	排序 Rank
CK	-1.39	-0.36	-0.43	-1.24	4
H1	0.98	-0.47	-1.03	0.71	1
H2	0.31	-0.66	1.31	0.30	2
H3	0.11	1.49	0.15	0.22	3

注: Y 值为综合主成分值, Y1、Y2、Y3 为主成分值。
Note: Y value is the comprehensive principal component value, and Y1, Y2, Y3 are the main component value.

准《缓释肥》(GB/T 23348—2009)的要求^[17]。通过土柱淋溶试验发现,在 15 d 前,包膜型缓释肥氮累积释放率低于其他 2 种缓释肥;15 d 后,包膜型缓释肥氮累积释放率逐渐升高,60 d 时在 3 种缓释肥氮累积释放率最高,并持续到试验结束,这一趋势与 3 种缓释肥基质中速效氮含量的变化趋势一致。

在本研究中,3 种缓释肥处理基质的速效氮、速

效磷和速效钾含量在番茄生长 30~90 d 均显著高于 CK,说明 3 种缓释肥显著增加基质养分含量,在生育期前 90 d 能为番茄提供丰富的氮、磷、钾养分。包膜型缓释肥前期(60 d 前)基质速效氮含量低于磷酸盐有机缓释肥,但在后期显著高于磷酸盐有机缓释肥和磷酸盐无机缓释肥,且包膜型缓释肥速效氮含量最高,主要是 3 种缓释肥不同的缓释材料和缓释原理造成的^[18]。本试验的盆栽试验,在番茄生长初期,植株浇水量较少,包膜型缓释肥的养分释放量相对其他 2 种缓释肥较低;在生长中后期,番茄植株所需水分增加,且环境温度逐渐回升,包膜型缓释肥养分释放量逐渐增加,可供植株吸收。所以,与磷酸盐有机缓释肥和磷酸盐无机缓释肥相比较,包膜型缓释肥更适合生育周期长的作物。

本研究结果表明,缓释肥对植株生长各项指标的促进作用优于常规水溶肥,在生长期前 60 d,添加缓释肥处理的株高、茎粗、叶面积和叶片数均高于 CK。缓释肥可促进植株根系发育,增加植株生物量,缓释肥处理的地上部干、鲜质量和地下部干、鲜质量均显著高于 CK。这可能是因为 3 种缓释肥的释放速率和时间与作物的养分吸收规律相似,确保了植物在各个生长阶段持续得到养分供应,从而促进了植物的生长。张小兰等^[19]的研究表明,施用控释肥处理的番茄株高和茎粗均高于对照组,且在定植后 45、60、75 d,施用控释肥处理的番茄株高显著高于常规施肥处理。孙哲等^[20]研究表明,控释肥能稳定持续地为植株供应养分,有利于番茄植株根系生长,促进其地上部生长,从而促进植株生物量增加。番茄生长对养分的需求较大,而产量的提高与肥料养分的供应密切相关^[21]。本试验结果显示,缓释肥处理的平均单果质量和结果穗数均高于 CK,单位面积产量较 CK 提高了 20.13%~31.03%。有研究表明,施用控释肥会影响番茄单株坐果数和平均单果质量,从而影响总产量^[22]。通过相关性分析得出,基质的养分含量与番茄植株生长、果实品质和产量之间存在显著相关性,缓释肥利用特定调控机制使养分缓慢释放,基质养分始终能满足番茄生长需要,这也促使缓释肥处理樱桃番茄产量高于 CK。

施用缓释肥对番茄果实品质也会产生影响,可溶性糖、维生素 C 含量和糖酸比等是评价番茄

果实品质的重要指标^[23]。本试验结果表明,合理施用缓释肥可以提高樱桃番茄可溶性糖、可溶性固形物和维生素 C 含量。这与李通等^[24]的研究结果一致,施用缓释肥可促进作物的生长发育并提高品质,这或许是因为缓释肥中富含有机质,有效改善了樱桃番茄的品质。还有研究表明,施用氮肥是导致蔬菜体内硝酸盐积累的主要原因^[25]。本试验结果表明,缓释肥处理的番茄果实硝酸盐含量低于 CK,可能是由于缓释肥内含有相关抑制剂,养分释放速率较慢且周期更长,提高了番茄对硝酸盐的转化能力,促进了氮素养分的充分吸收和转化^[26]。

综上所述,缓释肥对樱桃番茄植株生长、光合作用、产量和品质等具有一定影响,与常规水溶肥相比,施用包膜型缓释肥的效果最优,能显著提高基质速效氮、速效磷及速效钾含量,促进番茄植株长势和光合作用,提高果实维生素 C、可溶性固形物含量及糖酸比,显著增加作物产量。

参考文献

- [1] 陈琪,董静,杨加仪,等.培养液供钾浓度对番茄生长、产量和品质的影响[J].江苏农业科学,2023,51(23):165-170.
- [2] 张宁.昌黎县设施蔬菜产业发展现状与对策[D].河北秦皇岛:河北科技师范学院,2016.
- [3] 梁靖越,张敬昇,王昌全,等.控释尿素对小麦籽粒产量和氮素利用率的影响[J].核农学报,2018,32(1):157-164.
- [4] 张贵芹,王洪章,郭新送,等.有机物料投入对滨海盐碱地土壤理化性状和夏玉米产量形成的影响[J].作物学报,2024,50(9):2323-2334.
- [5] 张德奇,季书勤,王汉芳,等.缓/控释肥的研究应用现状及展望[J].耕作与栽培,2010(3):46-48.
- [6] JI P T, LI X L, PENG Y J, et al. Effect of polyaspartic acid and different dosages of controlled-release fertilizers on nitrogen uptake, utilization, and yield of maize cultivars[J]. Bioengineered, 2021, 12(1):527-539.
- [7] 唐拴虎,张发宝,黄旭,等.缓/控释肥料对辣椒生长及养分利用率的影响[J].应用生态学报,2008,19(5):986-991.
- [8] 程耀华,张思琪,李春玉,等.不同施肥处理对茶树容器大苗生长的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2024,52(8):91-100.
- [9] 郑绍傑,段华超,董琼.4 种缓释肥用量对白杆秧幼苗生物量分配与异速生长的影响[J].四川农业大学学报,2023,41(4):673-682.
- [10] 薛娟,顾建明,肖雪梅,等.不同缓释肥对茄子生长、产量及品质的影响[J].浙江农业学报,2015,27(4):579-584.
- [11] 吴远藩.量叶片的长和宽计算番茄叶面积[J].农业科技通讯,1980(12):20-21.
- [12] 赵世杰,刘华山,董新纯.植物生理学实验指导[M].北京:中国

- 农业科技出版社,1998.
- [13] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [14] 陈建勋,王晓峰.植物生理学实验指导[M].北京:农业出版社,2006.
- [15] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2008.
- [16] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [17] 尹静,李栋,李杨文正,等.改性木质素缓释肥的养分释放特征评价方法比较[J].农业资源与环境学报,2022,39(6):1155-1163.
- [18] WANG C, SONG S H, YANG Z M, et al. Hydrophobic modification of castor oil-based polyurethane coated fertilizer to improve the controlled release of nutrient with polysiloxane and halloysite[J]. Progress in Organic Coatings, 2022, 165: 106756.
- [19] 张小兰,徐阳,张金伟,等.不同配比的控释肥对日光温室袋培番茄基质养分及其生长、产量和品质的影响[J].水土保持学报,2018,32(3):309-314.
- [20] 孙哲,郑建利,朱国梁,等.不同控释肥养分释放特征及对番茄根系生长、产量与品质的影响[J].中国农学通报,2015,31(28):65-70.
- [21] 刘文希,雷忻,王秀康,等.施肥方式与施肥量对番茄生长及养分吸收利用的影响[J].延安大学学报(自然科学版),2022,41(1):39-47.
- [22] 王鑫,刘建新,徐秋明,等.包膜控释尿素对大棚番茄的增产与品质提高效应[J].干旱地区农业研究,2005,23(6):141-144.
- [23] LI D, WAN S Q, LIN X B, et al. Effect of water-salt regulation drip irrigation with saline water on tomato quality in an arid region[J]. Agricultural Water Management, 2022, 261: 107347.
- [24] 李通,佟静,王丽萍,等.不同缓释肥对莲藕光合特性、产量及品质的影响[J].中国瓜菜,2021,34(5):76-81.
- [25] BAI N L, ZHANG H L, HE Y, et al. Effects of *Bacillus subtilis* A-5 and its fermented γ -polyglutamic acid on the rhizosphere bacterial community of Chinese cabbage[J]. Frontiers in Microbiology, 2022, 13: 954489.
- [26] 张明中,韩桂琪,徐卫红,等.专用缓释肥氮挥发特性及对茄子产量、品质的影响[J].中国蔬菜,2013(24):37-45.