

控释肥施用量对兔眼蓝浆果叶片和栽培基质渗出液中养分含量及植株生长的影响

汪春芬, 韦继光, 於虹, 杨奕如, 姜燕琴, 曾其龙^①

[江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014]

摘要:以兔眼蓝浆果品种‘灿烂’(*Vaccinium ashei* ‘Brightwell’)幼树(株龄 1.5 a)为实验对象,采用蓝浆果专用栽培基质和巴斯克包膜控释肥培养植株,对不施肥以及施用低量、中量和高量(施肥量分别为 0、5、10 和 15 g·kg⁻¹)控释肥后栽培基质渗出液和植株叶片中全氮、全磷和全钾含量的变化趋势以及植株的生长状况进行了比较研究。结果显示:总体上,各施肥组渗出液和叶片中的全氮、全磷和全钾含量均不同程度高于对照组,且随控释肥施用量的提高,渗出液和叶片中的全氮、全磷和全钾含量均逐渐增加。在施肥后 2~21 周,渗出液中全氮和全钾含量均呈先缓慢升高后快速降低的“单峰型”变化趋势,而全磷含量的变化趋势则略有不同,其中,高量和中量施肥组渗出液中全磷含量基本呈“双峰型”变化趋势;控释肥中氮、磷和钾的集中释放期分别为施肥后 2~10、7~10 和 5~10 周,且均在施肥后 10 周达到峰值。在施肥后 2~22 周,叶片中全氮和全钾含量总体呈“双峰型”变化趋势,而叶片中全磷含量总体呈“波动—平稳”的变化趋势;品种‘灿烂’幼树氮、磷和钾积累的活跃期分别集中在施肥后 4~16、2~8 和 6~18 周,且均在施肥后 8 周达到峰值。从生长性状看,各施肥组单株一级至四级枝条数量、株高、基径、最长二级枝条长度以及单株根和地上部的干质量均明显高于对照组,且除单株一级枝条数量外,其他指标均与对照组差异显著($P<0.05$);在各生长指标中,单株四级枝条数量、株高、基径、最长二级枝条长度和单株根干质量均以中量施肥组最高。综合分析结果表明:在无土栽培基质中,控释肥养分的释放规律与品种‘灿烂’幼树生长过程中的需肥特性基本同步,但与植株叶片中养分积累规律略有差异。施用控释肥可促进品种‘灿烂’幼树生长,从兼顾植株生长与施肥效益角度看,中量(10 g·kg⁻¹)施用控释肥对品种‘灿烂’幼树生长较为适宜。

关键词:兔眼蓝浆果;控释肥;渗出液;养分释放;养分积累;生长指标

中图分类号: Q945.12; S606+.2; S663.9 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2019)02-0079-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2019.02.11

Effects of controlled release fertilizer application amount on nutrient contents in leaf and exudate from culture substrate and plant growth of *Vaccinium ashei* WANG Chunfen, WEI Jiguang, YU Hong, YANG Yiru, JIANG Yanqin, ZENG Qilong^① (Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2019, 28(2): 79-87

Abstract: Taking *Vaccinium ashei* ‘Brightwell’ sapling (plant age of 1.5 a) as research object, and using special culture substrate for *V. ashei* and Basacote capsule controlled release fertilizer to cultivate plant, variation tendencies of total nitrogen, total phosphorus and total potassium contents in exudate from culture substrate and plant leaf and plant growth status after no fertilization, and applying low amount, medium amount and high amount (fertilizing amount of 0, 5, 10 and 15 g·kg⁻¹, respectively) of controlled release fertilizer were compared and studied. The results show that in general, total nitrogen, total phosphorus and total potassium contents in exudate and leaf of each fertilization group are higher than those of the control group at different degrees, and all of the above element contents in exudate and leaf all gradually increase with enhancing of application amount of controlled release fertilizer. In 2-21

收稿日期: 2018-11-30

基金项目: 江苏省重点研发计划(现代农业)项目(BE2017373); 江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(16)1016]

作者简介: 汪春芬(1993—),女,安徽安庆人,硕士研究生,主要从事蓝浆果栽培生理研究。

^①通信作者 E-mail: zql522@sina.cn

weeks after fertilization, total nitrogen and total potassium contents in exudate all show a “unimodal” variation tendency of first slowly increase and then quickly decrease, while variation tendency of total phosphorus content is slightly different, in which, total phosphorus content in exudate of high and medium fertilization groups basically shows a “bimodal” variation tendency; concentrated release periods of nitrogen, phosphorus and potassium of controlled release fertilizer are 2–10, 7–10 and 5–10 weeks after fertilization, respectively, and all reach the peak value at 10 weeks after fertilization. In 2–22 weeks after fertilization, total nitrogen and total potassium contents in leaf show a “bimodal” variation tendency in general, while total phosphorus content in leaf show a ‘fluctuation-stable’ variation tendency in general; active accumulation periods of nitrogen, phosphorus and potassium of cultivar ‘Brightwell’ sapling mainly distribute in 4–16, 2–8 and 6–18 weeks after fertilization, respectively, and all reach the peak value at 8 weeks after fertilization. As for the growth traits, numbers of branches from the first grade to the fourth grade per plant, height, basal diameter, length of the longest second grade branch and dry masses of root and above-ground part per plant of each fertilization group are evidently higher than those of the control group, and the indexes are all significantly ($P < 0.05$) different from those of the control group except for number of the first grade branch per plant; among each growth index, number of the fourth grade branch per plant, height, basal diameter, length of the longest second grade branch and dry mass of root per plant are all the highest in medium fertilization group. The comprehensive analysis result shows that in soilless culture substrate, nutrient release law of controlled release fertilizer is basically consistent with the fertilizer demand characteristic of cultivar ‘Brightwell’ sapling during growth progress, but it is slightly different from nutrient accumulation law in plant leaf. Application of controlled release fertilizer can promote growth of cultivar ‘Brightwell’ sapling, from the view of considering plant growth and fertilization benefit, medium application ($10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) of controlled release fertilizer is better for growth of cultivar ‘Brightwell’ sapling.

Key words: *Vaccinium ashei* Reade; controlled release fertilizer; exudate; nutrient release; nutrient accumulation; growth index

蓝浆果 (*Vaccinium* spp.) 为浆果类果树^[1], 因其果实具有极高的营养保健和经济价值而备受关注^[2]。基质栽培能有效控制生长介质的酸度、孔隙度和养分含量, 为蓝浆果生长提供良好的土壤环境, 从而加快蓝浆果的生长发育; 而且, 适宜的栽培基质可在保证果实产量和品质的前提下促使蓝浆果提早开花和结实^[3–6]。养分管理是基质栽培蓝浆果优质丰产的关键环节, 在基质栽培条件下持续稳定供应养分对于维持蓝浆果生长和结实至关重要。

Voogt 等^[7]根据蓝浆果的养分吸收特性, 对通用营养液配方进行调整, 获得了基质栽培条件下适宜蓝浆果生长的营养液配方, 但采用营养液施肥对设备要求高、技术不易掌握, 限制了其大规模推广应用。控释肥 (CRF) 是通过各种调控机制缓慢释放养分的一类包膜肥料^[8], 其最大特点是可实现养分释放与作物吸收同步, 一次施入即可满足作物在整个生长期的养分需求, 且养分损失少、肥料利用率高、对环境友好^[9], 而且还避免了常规颗粒肥溶解快、易淋溶流失的缺点, 因此, 营养液在花卉和苗木基质栽培中已有大量应用研究^[10–11], 在果树上的应用也有研究报道^[12], 而对蓝浆果基质栽培中控释肥的应用缺乏相

关的研究。

鉴于此, 作者以兔眼蓝浆果品种‘灿烂’ (*Vaccinium ashei* ‘Brightwell’) 为研究对象, 根据其生长周期和特点, 选择市场肥效释放周期长的控释肥, 研究了施用不同量控释肥后兔眼蓝浆果叶片和栽培基质渗出液中养分含量的变化规律, 并对植株生长状况进行了比较, 以期评估控释肥的养分释放规律与兔眼蓝浆果生长周期的一致性, 明确控释肥施用量, 为兔眼蓝浆果基质栽培中控释肥的合理应用提供基础研究数据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试材料为兔眼蓝浆果品种‘灿烂’的 1.5 年生扦插苗。于 2017 年 12 月选择生长基本一致的植株, 对根系和地上部进行适当修剪后栽植于长 35 cm、宽 35 cm、高 50 cm 的塑料方盆中, 每盆 1 株; 每盆装栽培基质 7.3 kg, 盆下置托盘; 定植后浇透水, 之后常规管理。实验于 2018 年 5 月至 10 月在江苏省中国科学院植物研究所两侧通风的玻璃防雨棚中进行, 防雨

棚两侧保持通风。

栽培基质为挪威 Jiffy 公司生产的蓝浆果专用栽培基质,栽培基质组成为 $V(\text{草炭}):V(\text{椰糠}):V(\text{珍珠岩})=1:1:1$;电导率 $1.381 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, pH 4.68, 含水率 70%, 土壤容重 $0.30 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

控释肥为德国 COMPO 巴萨克包膜控释肥 (Basacote Plus T14 6M), 包含质量分数 14% N (由 4.2% $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 9.8% $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 组成)、14% P_2O_5 和 14% K_2O 以及 1.5% MgO、6% S、0.02% B、0.2% Fe、0.06% Mn、0.02% Zn、0.05% Cu 和 0.015% Mo。

1.2 方法

1.2.1 施肥水平设计及施肥过程 以栽培基质干质量为基准,并参照文献[13]的蓝浆果生长需肥推荐量,设置低量、中量和高量 3 组施肥水平,施肥量分别为 5、10 和 $15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 对照 (CK) 组不施肥 (施肥量为 $0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。采用完全随机设计,每个处理 10 盆,共 40 盆。

在 2018 年 5 月初将各处理组的控释肥一次性施入栽培盆中,实验期间各处理组的灌溉量及其他管理措施均一致。采用滴灌系统进行灌溉,每盆由 2 个滴头供水,滴头流速为 $2 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$;根据气候状况设定滴灌间隔时间和持续时间,将栽培基质含水率维持在适宜水平(栽培基质含水率为 30%),使盆底的托盘中有适量渗出液。

1.2.2 栽培基质渗出液收集及养分含量测定 施肥后 2 周,在各处理组中随机选取 5 盆用于收集栽培基质渗出液,此后每周收集 1 次,直至栽培基质渗出液中基本无养分为止,即施肥后 21 周停止栽培基质渗出液收集。

采用碱解扩散法^{[14]42-46}测定渗出液中全氮含量,采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法^{[14]71-76}测定渗出液中全磷含量,采用火焰光度法^{[14]100-101}测定渗出液中全钾含量。各指标均重复测定 5 次。

1.2.3 叶片采集及养分含量测定 施肥后 2 周,在各处理组中随机选取 5 株单株,分别采集枝条中部无病虫害的成熟叶片 5 枚,此后每 2 周采集 1 次,直至施肥后 22 周停止叶片采集。

叶片用去离子水清洗,于 $75 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘干至恒质量,粉碎后过筛 (0.5 mm),备用。用万分之一电子天平分别称取叶片干粉 0.15 g ,经硫酸-过氧化氢法^{[14]266} 消煮后测定叶片中养分含量。采用奈氏比色法^{[14]265-267} 测定叶片中全氮含量,采用钒钼黄比色法^{[14]268} 测定

叶片中全磷含量,采用火焰光度法^{[14]271} 测定叶片中全钾含量。各指标均重复测定 5 次。

1.2.4 生长指标测定 施肥后 2 周,在各处理组中随机选取 5 株单株,统计每一单株上的各级枝条数量,并测量各单株的株高、基径以及最长二级枝条长度,各指标均重复测定 5 次,结果取平均值;之后每 2 周统计和测量 1 次,直至施肥后 22 周停止统计和测量。用卷尺 (精度 0.1 cm) 测量最长二级枝条长度和株高;采用十字交叉方式,用电子游标卡尺 (精度 0.01 mm) 测量植株主干与地面相接处的直径,即基径。其中,一级枝条为树体主干上生长的枝条;二级枝条为一级枝条上生长的枝条;三级枝条为二级枝条上生长的枝条;四级枝条为三级枝条上生长的枝条。

施肥后 22 周,在各处理组中随机选取 4 株单株,将各单株的根和地上部 (茎和叶) 分开后洗净,先置于 $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 杀青 30 min,然后于 $75 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘干至恒质量;分别称量各单株的根和地上部的干质量,重复测量 4 次,结果取平均值。

1.3 数据处理和分析

采用 EXCEL 2006 和 SPSS 21.0 软件对数据进行处理和分析;采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验。

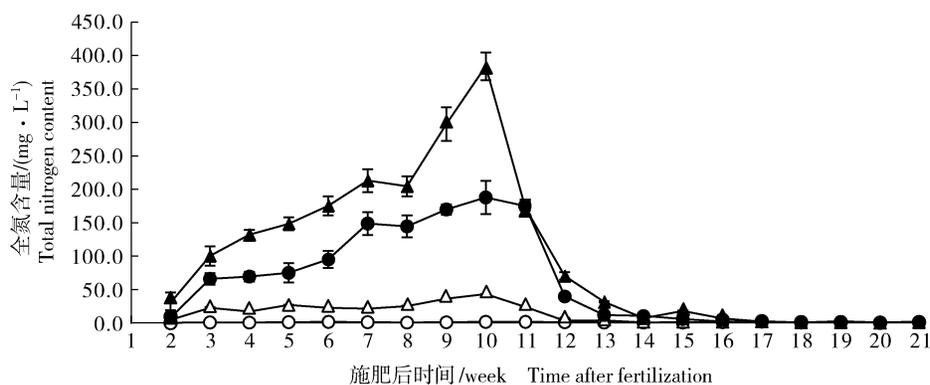
2 结果和分析

2.1 对栽培基质渗出液中养分含量的影响

2.1.1 渗出液中全氮含量的变化 施用不同量控释肥后兔眼蓝浆果品种‘灿烂’栽培基质渗出液中全氮含量的变化见图 1。

由图 1 可知:在施肥后 2~21 周,对照 (不施肥, $0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 组渗出液中全氮含量最低,均未达到检出水平;而施用不同量的控释肥后渗出液中全氮含量在施肥后 2~17 周均不同程度高于对照组,其中,高量 ($15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 施肥组渗出液中全氮含量总体上最高。在施肥后 3~12 周,高量和中量 ($10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 施肥组渗出液中全氮含量显著 ($P < 0.05$) 高于低量 ($5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 施肥组和对照组;而在施肥后 18~21 周,各施肥组渗出液中全氮含量均与对照组无显著差异。总体上看,随控释肥施用量的提高,渗出液中全氮含量逐渐增加。

从变化趋势看,施用不同量的控释肥后渗出液中全氮含量先缓慢升高后快速降低,总体呈“单峰型”变



—○—: 不施肥(CK) No fertilization ($0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); —△—: 低量施肥 Low fertilization ($5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); —●—: 中量施肥 Medium fertilization ($10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); —▲—: 高量施肥 High fertilization ($15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$).

图1 施用不同量控释肥后兔眼蓝浆果品种‘灿烂’栽培基质渗出液中全氮含量的变化
Fig. 1 Variation of total nitrogen content in exudate from culture substrate of *Vaccinium ashei* ‘Brightwell’ after applying controlled release fertilizer with different amounts

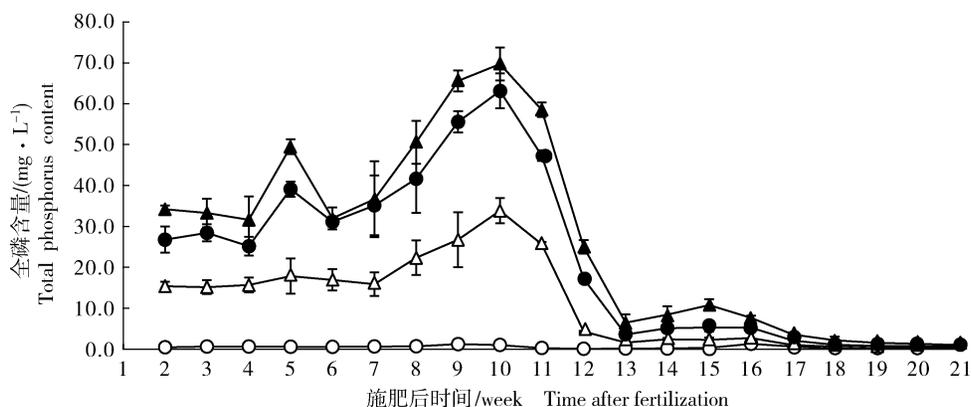
化趋势。其中,各施肥组渗出液中全氮含量在施肥后的前8周缓慢增加,之后快速增加,在施肥后10周达到峰值,然后快速降低并逐渐趋于稳定,在施肥后18周与对照组趋同。从渗出液中全氮含量的变化趋势看,施肥后2~10周是控释肥中氮的集中释放期。

2.1.2 渗出液中全磷含量的变化 施用不同量控释肥后兔眼蓝浆果品种‘灿烂’栽培基质渗出液中全磷含量的变化见图2。

由图2可知:在施肥后2~21周,对照组渗出液中全磷含量最低,且多数时间未达到检出水平;而施用不同量的控释肥后渗出液中全磷含量均不同程度

高于对照组。其中,高量施肥组渗出液中全磷含量总体上最高。在施肥后2~15周,各施肥组渗出液中全磷含量均显著高于对照组;而在施肥后17~21周,各施肥组渗出液中全磷含量与对照组均无显著差异。总体上看,随控释肥施用量的提高,渗出液中全磷含量逐渐增加。

从变化趋势看,施用不同量的控释肥后各施肥组渗出液中全磷含量呈现不同的变化趋势,其中,高量和中量施肥组总体呈“升高—降低—升高—降低—平稳”的“双峰型”变化趋势;而低量施肥组总体呈“平稳—升高—降低—平稳”的“类单峰型”变化趋势,



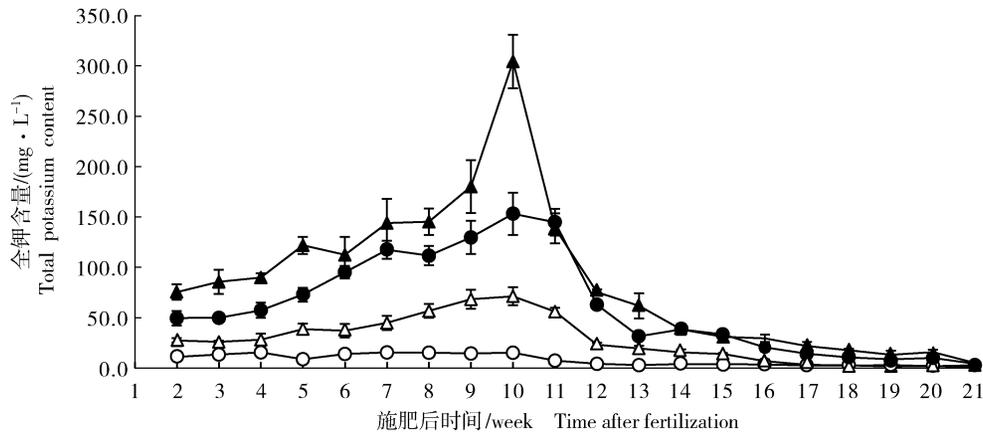
—○—: 不施肥(CK) No fertilization ($0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); —△—: 低量施肥 Low fertilization ($5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); —●—: 中量施肥 Medium fertilization ($10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); —▲—: 高量施肥 High fertilization ($15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$).

图2 施用不同量控释肥后兔眼蓝浆果品种‘灿烂’栽培基质渗出液中全磷含量的变化
Fig. 2 Variation of total phosphorus content in exudate from culture substrate of *Vaccinium ashei* ‘Brightwell’ after applying controlled release fertilizer with different amounts

与全氮含量的变化趋势相近。其中,在施肥后5周,高量和中量施肥组渗出液中全磷含量达到第1个峰值;从施肥后7周开始渗出液中全磷含量快速增加,在施肥后10周,渗出液中全磷含量达到第2个峰值,之后快速降低,在施肥后13周逐渐趋于稳定。从渗

出液中全磷含量的变化趋势看,施肥后7~10周是控释肥中磷的集中释放期。

2.1.3 渗出液中全钾含量的变化 施用不同量控释肥后兔眼蓝浆果品种‘灿烂’栽培基质渗出液中全钾含量的变化见图3。



—○—: 不施肥(CK) No fertilization ($0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); —△—: 低量施肥 Low fertilization ($5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); —●—: 中量施肥 Medium fertilization ($10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); —▲—: 高量施肥 High fertilization ($15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$).

图3 施用不同量控释肥后兔眼蓝浆果品种‘灿烂’栽培基质渗出液中全钾含量的变化

Fig. 3 Variation of total potassium content in exudate from culture substrate of *Vaccinium ashei* ‘Brightwell’ after applying controlled release fertilizer with different amounts

由图3可见:在施肥后2~21周,对照组渗出液中全钾含量均最低;而施用不同量的控释肥后渗出液中全钾含量均不同程度高于对照组。其中,高量施肥组渗出液中全钾含量总体上最高。在施肥后2~10周,各施肥组渗出液中全钾含量均显著高于对照组,且在各施肥组间也存在显著差异;在施肥后14~21周,各施肥组渗出液中全钾含量与对照组的差异幅度减小;在施肥后21周,各施肥组渗出液中全钾含量与对照组均无显著差异。总体上看,随控释肥施用量的提高,渗出液中全钾含量逐渐增加。

从变化趋势看,施用不同量的控释肥后渗出液中全钾含量先缓慢升高后快速降低,总体呈“单峰型”变化趋势,与其全氮含量的变化趋势相似,但不同施肥组间略有差异。其中,在施肥后2~8周,高量和中量施肥组渗出液中全钾含量均缓慢增加,在施肥后8周快速增加,在施肥后10周达到峰值;而低量施肥组渗出液中全钾含量在施肥后2~10周均缓慢增加,在施肥后10周达到最高;之后,各施肥组渗出液中全钾含量快速降低,在施肥后12周逐渐趋于稳定。从渗出液中全钾含量的变化趋势看,施肥后5~10周是

控释肥中钾的集中释放期。

2.2 对叶片中养分含量的影响

2.2.1 叶片中全氮含量的变化 施用不同量控释肥后兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼树叶片中全氮含量的变化见图4。

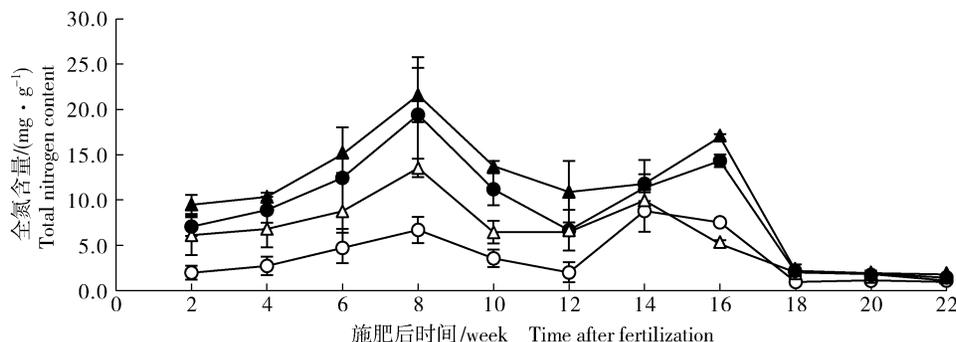
由图4可见:在施肥后2~16周,各施肥组叶片中全氮含量总体显著($P < 0.05$)高于对照(不施肥, $0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)组;但在施肥后18~22周,各施肥组叶片中全氮含量与对照组无显著差异。随控释肥施用量的提高,叶片中全氮含量逐渐增加。

从变化趋势看,在施肥后2~22周,各施肥组和对照组叶片中全氮含量总体呈“升高—降低—升高—降低”的“双峰型”变化趋势。其中,在施肥后2周,施肥组和对照组叶片中全氮含量逐渐增加,在施肥后8周达到第1个峰值,之后逐渐降低;从施肥后12周开始又逐渐升高,其中,对照组和低量($5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)施肥组叶片中全氮含量在施肥后14周达到第2个峰值,而中量($10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)和高量($15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)施肥组叶片中全氮含量在施肥后16周达到第2个峰值;之后快速降低,并在施肥后18周趋于稳

定。总体上看,品种‘灿烂’幼树对氮吸收和积累的活跃期集中在施肥后4~16周。

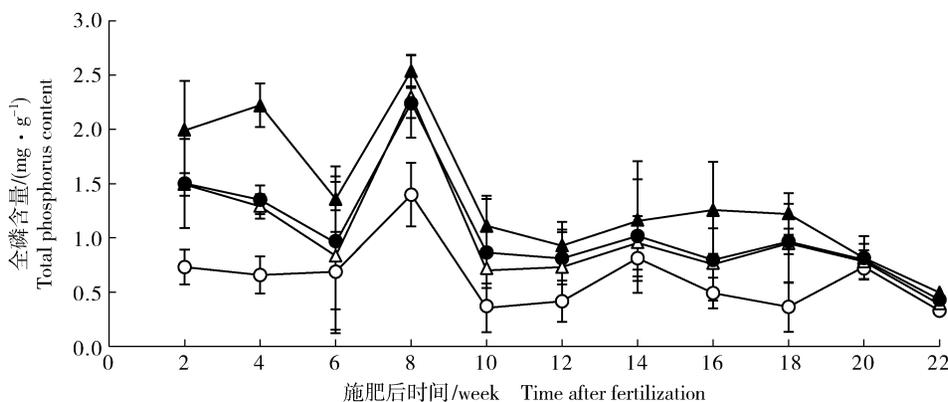
2.2.2 叶片中全磷含量的动态变化 施用不同量控释肥后兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼树叶片中全磷含量的变化见图5。

由图5可见:在施肥后2~18周,各施肥组叶片中全磷含量均显著高于对照组;而在施肥后20~22周,各施肥组叶片中全磷含量与对照组无显著差异。总体上看,随控释肥施用量的提高,叶片中全磷含量逐渐增加。



—○—: 不施肥(CK) No fertilization ($0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); —△—: 低量施肥 Low fertilization ($5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); —●—: 中量施肥 Medium fertilization ($10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); —▲—: 高量施肥 High fertilization ($15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$).

图4 施用不同量控释肥后兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼树叶片中全氮含量的变化
Fig. 4 Variation of total nitrogen content in leaf of *Vaccinium ashei* 'Brightwell' sapling after applying controlled release fertilizer with different amounts



—○—: 不施肥(CK) No fertilization ($0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); —△—: 低量施肥 Low fertilization ($5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); —●—: 中量施肥 Medium fertilization ($10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); —▲—: 高量施肥 High fertilization ($15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$).

图5 施用不同量控释肥后兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼树叶片中全磷含量的变化
Fig. 5 Variation of total phosphorus content in leaf of *Vaccinium ashei* 'Brightwell' sapling after applying controlled release fertilizer with different amounts

从变化趋势看,各施肥组和对照组叶片中全磷含量总体呈“波动—平稳”的变化趋势。其中,各施肥组和对照组叶片中全磷含量在施肥后的前6周波动变化,之后快速增加,在施肥后8周达到峰值;之后快速降低,在施肥后10周趋于稳定,变幅较小。总体上看,品种‘灿烂’幼树对磷吸收和积累的活跃期集中在施肥后2~8周。

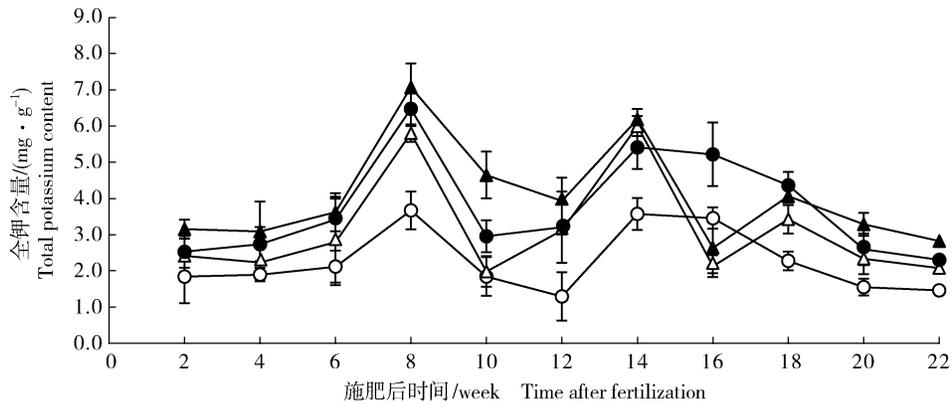
2.2.3 叶片中全钾含量的动态变化 施用不同量控释肥后兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼树叶片中全钾含量的变化见图6。

由图6可见:在施肥后2~22周,高量施肥组叶片中全钾含量显著高于对照组。各施肥组叶片中全钾含量总体高于对照组,仅在施肥后16周低量和高量施肥组叶片中全钾含量低于对照组,其中,中量施

肥组叶片中全钾含量与对照组差异显著;而在施肥后 20~22 周,各施肥组叶片中全钾含量与对照组均无显著差异。除少数时间中量施肥组叶片中全钾含量达到最高外,多数时间高量施肥组叶片中全钾含量最高。总体上看,随控释肥施用量的提高,叶片中全钾含量逐渐增加。

从变化趋势看,各施肥组和对照组叶片中全钾含量总体呈“升高—降低—升高—降低”的“双峰型”变

化趋势,仅在施肥后 16~22 周各施肥组和对照组叶片中全钾含量变化趋势略有差异。其中,中量施肥组和对照组叶片中全钾含量在施肥后 8 周达到第 1 个峰值,在施肥后 14 周达到第 2 个峰值,然后持续降低;而低量和高量施肥组也同样在达到前述的 2 个峰值后降低,但在施肥后 16~18 周又有所增加并在施肥后 18~22 周持续降低。总体上看,品种‘灿烂’幼树对钾吸收和积累的活跃期集中在施肥后 6~18 周。



—○—: 不施肥 (CK) No fertilization (0 g · kg⁻¹); —△—: 低量施肥 Low fertilization (5 g · kg⁻¹); —●—: 中量施肥 Medium fertilization (10 g · kg⁻¹); —▲—: 高量施肥 High fertilization (15 g · kg⁻¹).

图 6 施用不同量控释肥后兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼树叶片中全钾含量的变化
Fig. 6 Variation of total potassium content in leaf of *Vaccinium ashei* 'Brightwell' sapling after applying controlled release fertilizer with different amounts

2.3 对幼树生长状况的影响

施用不同量控释肥后兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼树生长指标的差异见表 1。

由表 1 可见:各施肥组单株一级至四级枝条数量、株高、基径、最长二级枝条长度以及单株根和地上

部的干质量均明显高于对照(不施肥,0 g · kg⁻¹)组,其中除单株一级枝条数量外,其他指标均与对照组差异显著(P<0.05)。而各施肥组间单株一级至三级枝条数量、基径和最长二级枝条长度均无显著差异,仅部分施肥组间在单株四级枝条数量、株高以及单株根

表 1 施用不同量控释肥后兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼树生长指标的差异($\bar{X} \pm SD$)¹⁾
Table 1 Variance of growth indexes of *Vaccinium ashei* 'Brightwell' sapling after applying controlled release fertilizer with different amounts ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

处理 ²⁾ Treatment ²⁾	单株各级枝条数量 Number of each grade branch per plant				株高/cm Height	基径/mm Basal diameter	L _{Max} /cm ³⁾	单株各部位的干质量/g Dry mass of each part per plant	
	一级 The first grade	二级 The second grade	三级 The third grade	四级 The fourth grade				根 Root	地上部 Above-ground part
	CK	15.2±2.4a	5.8±2.5b	0.0±0.0b				0.0±0.0b	42.16±2.71c
CRF1	15.6±1.8a	38.6±6.9a	36.2±7.0a	2.2±1.0b	60.52±3.31b	19.85±1.95a	45.88±4.19a	112.67±3.88ab	272.53±10.85b
CRF2	14.2±1.5a	40.2±5.6a	39.0±2.1a	8.8±1.7a	76.90±5.20a	20.66±0.80a	56.58±6.58a	126.66±7.70a	322.45±24.89ab
CRF3	16.8±2.7a	49.0±6.5a	49.4±4.8a	7.4±1.4a	67.48±1.76ab	18.61±0.19a	55.38±7.82a	101.71±2.58b	367.47±18.37a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著(P<0.05) Different lowercases in the same column indicate the significant (P<0.05) difference.

²⁾ CK: 不施肥 No fertilization (0 g · kg⁻¹); CRF1: 低量施肥 Low fertilization (5 g · kg⁻¹); CRF2: 中量施肥 Medium fertilization (10 g · kg⁻¹); CRF3: 高量施肥 High fertilization (15 g · kg⁻¹).

³⁾ L_{Max}: 最长二级枝条长度 Length of the longest second grade branch.

和地上部干质量这4个指标存在显著差异;其中,中量($10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和高量($15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)施肥组的单株四级枝条数量显著高于低量($5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)施肥组,中量施肥组的株高显著高于低量施肥组,而其单株根干质量则显著高于高量施肥组;高量施肥组的单株地上部干质量显著高于低量施肥组。

从各指标的均值看,单株一级至三级枝条数量以及单株地上部干质量均以高量施肥组为最高,且总体随控释肥施用量的提高而增加;而单株四级枝条数量、株高、基径、最长二级枝条长度和单株根干质量均以中量施肥组最高,较低量施肥组分别提高了300.00%、27.07%、4.08%、23.32%和12.42%,较高量施肥组分别提高了18.91%、13.96%、11.02%、2.17%和24.53%。

3 讨论和结论

施入控释肥后栽培基质渗出液中养分含量的变化在一定程度上反映了控释肥养分的释放状况。Shaviv等^[15]将控释肥释放过程分为迟滞期、线性释放期和滞后期。本研究中,各施肥组的栽培基质渗出液中全氮、全磷和全钾的含量总体均呈先缓慢(波动)升高后快速降低的变化趋势,在施肥后10周达到峰值,之后快速降低并趋于稳定,由此可见,在兔眼蓝浆果栽培基质中供试控释肥的释放过程大致可分为3个阶段,即缓速释放阶段、快速释放阶段和释放后阶段。将控释肥的养分释放过程与实验期间兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼树的生长过程进行对比,4月份至5月份是品种‘灿烂’幼树春梢快速生长期(一级和二级枝条生长期),养分需求逐渐增大,而这一阶段控释肥的养分释放速度也逐渐增大;6月份是枝和叶的旺盛生长期(三级枝条生长期),此时正值控释肥养分释放的高峰期,能持续稳定地释放大量养分以满足植株生长所需;至8月初(也即施肥后12周),此时品种‘灿烂’幼树逐步进入营养生长后期(四级枝条生长期),控释肥的养分也恰好基本释放完全,栽培基质中的养分含量处于平稳变化期,可见控释肥的养分释放规律与品种‘灿烂’幼树生长过程中的需肥特性基本同步。

大量研究结果^[16-19]表明:控释肥能有效促进植物对氮、磷和钾的吸收,显著提高植物叶片中矿质养分含量,从而促进植物的生长发育。本研究中,与对

照相比,施用不同量控释肥均可明显提高兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼树叶片中全氮、全磷和全钾的含量。在栽培基质渗出液中,全氮、全磷和全钾含量总体均呈先缓慢(波动)升高后快速降低的变化趋势,并均在施肥后10周达到峰值;而在品种‘灿烂’幼树叶片中,全氮含量的大幅波动期集中在施肥后4~16周,全磷含量的大幅波动期集中在施肥后2~8周,全钾含量的大幅波动期集中在施肥后6~18周,且均在施肥后8周达到第1个峰值,可见栽培基质渗出液中养分含量的峰值期与品种‘灿烂’幼树叶片中养分含量的峰值期并不同步。施肥后2~8周控释肥中养分含量持续释放,加之这一时期植株生长代谢旺盛,导致这一时期植株对养分的吸收和积累能力提高,因而出现叶片中养分含量峰值早于栽培基质渗出液中养分含量峰值的现象。此外,品种‘灿烂’幼树叶片中全氮和全钾含量均呈‘双峰型’变化趋势,在叶片中全氮和全钾含量出现第2个峰值时,控释肥的养分已完全释放,该峰值的出现可能与植株体内养分转移至新梢叶片有关。而在叶片中全氮和全钾含量出现第2个峰值的这一时期,若栽培基质中能持续充足供应养分,品种‘灿烂’幼树可能会萌生更多的四级枝条,因而,需对补充养分条件下该时期植株的生长状况进行进一步的观察和研究。

相关研究结果表明:合理的施肥能够促进植株的生长,提高果实产量和品质^[20-23];而高量施肥则可能抑制蓝浆果生长并降低其果实品质^[24]。本研究结果表明:在无土基质栽培条件下,兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼树单株的二级枝条数量、三级枝条数量、地上部干质量随控释肥施用量的提高而增加,但中量($10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和高量($15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)施肥组间单株各级枝条数量、株高、基径、最长二级枝条长度和单株地上部干质量均无显著差异,且中量施肥组单株四级枝条数量、株高、基径、最长二级枝条长度均高于高量施肥组,前者的单株根干质量显著高于后者,说明高量施用控释肥对品种‘灿烂’幼树生长的促进作用并不显著。

前述研究结果显示:在无土栽培基质中施用控释肥,其氮、磷、钾养分的释放规律与兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼树的生长过程基本一致,可明显提高植株叶片中全氮、全磷和全钾含量,并促进植株生长。以中量施肥对植株的单株四级枝条数量、株高、基径、最长二级枝条长度和单株根干质量的促进效果最为明

显。综上所述,从兼顾植株生长与施肥效益角度看,中量($10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)施肥对兔眼蓝浆果品种‘灿烂’幼树生长较为适宜。

参考文献:

- [1] 顾 娟,贺善安. 蓝浆果与蔓越桔[M]. 北京:中国农业出版社,2001:1-6.
- [2] 於 虹,贺善安. 世界的蓝莓产业及研究现状[J]. 落叶果树,2013,45(3):19-22.
- [3] BLACK B L, ZIMMERMAN R H. Industrial and municipal by-products as substrates for highbush blueberry production[J]. Acta Horticulturae, 2002, 574: 267-272.
- [4] OCHMIAN I, GRAJKOWSKI J, MIKICIUK G, et al. Mineral composition of high blueberry leaves and fruits depending on substrate type used for cultivation[J]. Journal of Elementology, 2009, 14(3): 509-516.
- [5] ANCU I, IANCU M, MLADIN P, et al. The planting substrate effects on some growth characteristics of seven blueberry cultivars[J]. Bulletin UASVM Horticulture, 2010, 67(1): 91-95.
- [6] ANCU I, MLADIN P, CHIȚU V, et al. Study on chlorophyll fluorescence at some Romanian blueberry cultivars growing on three planting substrates[J]. Acta Horticulturae, 2013, 981: 565-572.
- [7] VOOGT W, DIJK P V, DOUVEN F, et al. Development of a soilless growing system for blueberries (*Vaccinium corymbosum*): nutrient demand and nutrient solution[J]. Acta Horticulturae, 2014, 1017: 215-221.
- [8] 樊小林,刘 芳,廖照源,等. 我国控释肥料研究的现状和展望[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(2):463-473.
- [9] 粟晓万,杜建军,贾振宇,等. 缓/控释肥的研究应用现状[J]. 中国农学通报,2007,23(12):234-238.
- [10] 朱海军,生静雅,刘广勤,等. 控释肥对薄壳山核桃容器苗营养生长的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2015,35(1):37-41.
- [11] 孙娅婷,张 民,徐 振. 包膜控释肥在波斯菊穴盘育苗上的应用及效应研究[J]. 北方园艺,2006(1):32-34.
- [12] 张守仕. 袋控缓释肥养分释放特性及其在桃树上的应用效果[D]. 泰安:山东农业大学园艺科学与工程学院,2007:51-53.
- [13] KREWER G, RUTER J, NESMITH S, et al. Performance of low cost organic materials as blueberry substrates and soil amendments[J]. Acta Horticulturae, 2002, 574: 273-279.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [15] SHAVIV A, RABAN S, ZAIDEL E. Modeling controlled nutrient release from a population of polymer coated fertilizers: statistically based model for diffusion release[J]. Environmental Science and Technology, 2003, 37(10): 2257-2261.
- [16] 李雪飞. 控释肥对紫叶稠李叶片营养、色素及光谱反射的影响[D]. 泰安:山东农业大学园艺科学与工程学院,2010:50.
- [17] 李谦盛,邓 敏,谭海博,等. 基质配比和控释肥施用量对曼青冈容器苗生长的影响[J]. 江西农业大学学报,2013,35(3):480-485.
- [18] 朱翠英,时连辉,刘登民,等. 控释肥对土壤养分和杏树生长及产量品质的影响[J]. 西北农业学报,2010,19(5):117-121.
- [19] 火顺利. 施用控释肥对辣椒生长生理、养分吸收及利用的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学园艺学院,2015:38-39.
- [20] 田志刚,王鹏飞. 供磷水平对核桃苗木根系发育、幼苗生长及光合性能的影响[J]. 北方园艺,2019(4):52-58.
- [21] 庞 薇,侯智霞,李国雷,等. 氮肥对蓝莓树体生长及果实品质的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(13):225-229.
- [22] 周 琳,张会慧,魏殿文,等. 施肥对蓝莓植株生长、叶片叶绿素荧光特性和果实品质的影响[J]. 植物研究,2015,35(6):854-859.
- [23] 李亚静,姜燕琴,韦继光,等. 不同氮浓度对兔眼蓝浆果不同品种幼苗生长和光合生理的影响[J]. 植物资源与环境学报,2016,25(2):65-71.
- [24] 李双双,王德炉,赵 迪. 水肥耦合对蓝莓树体生长及果实品质的影响[J]. 经济林研究,2017,35(3):234-238.

(责任编辑:郭严冬)