

不同灌水量对 2 个蓝浆果品种幼苗生长和耗水规律的影响及相关性分析

尹 对, 於 虹, 姜燕琴, 曾其龙, 蒋佳峰, 韦继光^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 (*Vaccinium ashei* Reade) 品种 ‘Brightwell’ 和南方高丛蓝浆果 (*V. corymbosum* hybrids) 品种 ‘Misty’ 为研究对象, 研究不同灌水量 [50% WC、75% WC、100% WC (CK) 和 125% WC] (WC 为单株日耗水量) 对幼苗生长、单株耗水量的日变化和月变化、单株净增干质量、总耗水量和水分利用效率的影响, 并采用回归分析法对单株月耗水量与月均温和月均空气相对湿度的相关性进行分析。结果显示: 随灌水量提高, 2 个品种幼苗的地径、单株枝长和单株总叶面积的增量总体上均不断增大, 但单株枝长增量略有波动; 单株根、茎、叶和总干质量总体上均逐渐增大, 根冠比则逐渐减小; 单株净增干质量和总耗水量均随灌水量提高而增大, 而水分利用效率则在 50% WC 条件下最低、在 75% WC 条件下最高。在相同灌水量条件下, 品种 ‘Misty’ 幼苗的地径和单株枝长的增量, 单株茎、叶和总干质量及水分利用效率基本上均高于品种 ‘Brightwell’, 而其单株总叶面积增量、单株根干质量、根冠比和总耗水量却基本上低于后者。在 7 月份至 9 月份, 2 个品种幼苗单株耗水量的日变化基本上呈单峰曲线, 但其单株耗水量峰值出现的时间段则因品种和灌水量不同而异; 在全天不同时间段和不同月份, 2 个品种幼苗的单株耗水量均随灌水量提高而增大; 在相同灌水量条件下, 品种 ‘Misty’ 幼苗的单株耗水量总体上低于品种 ‘Brightwell’。回归分析结果表明: 2 个品种幼苗的单株月耗水量与月均温呈显著或极显著正相关, 与月均空气相对湿度呈显著或极显著负相关。综合分析结果表明: 蓝浆果幼苗的耗水量不但与品种特性有关, 而且还受到土壤水分含量、气温和空气湿度的影响; 在相同灌水量条件下, 品种 ‘Brightwell’ 幼苗的耗水量高于品种 ‘Misty’, 但其水分利用效率却低于后者。在中国南方地区, 品种 ‘Brightwell’ 和 ‘Misty’ 的适宜灌水量分别为 100% WC 和 75% WC。

关键词: 蓝浆果; 灌水量; 生长; 耗水量; 相关性分析

中图分类号: Q945.17; S663.9.07⁺.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2017)01-0030-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2017.01.04

Effects of different irrigation amounts on seedling growth and water consumption pattern of two cultivars of *Vaccinium* spp. and correlation analysis YIN Dui, YU Hong, JIANG Yanqin, ZENG Qilong, JIANG Jiafeng, WEI Jiguang^① (Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2017, 26(1): 30-38

Abstract: Taking cultivar ‘Brightwell’ of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade) and cultivar ‘Misty’ of southern highbush blueberry (*V. corymbosum* hybrids) as research objects, effects of different irrigation amounts of 50% WC, 75% WC, 100% WC (CK) and 125% WC (WC represents daily water consumption per plant) on seedling growth, changes in diurnal and monthly water consumption per plant, net increment of dry weight per plant, total water consumption and water use efficiency were investigated, and correlations of monthly water consumption per plant with monthly mean temperature and monthly mean air relative humidity were analyzed by regression analysis method. The results show that with increasing of irrigation amount, increments of basal diameter, branch length per plant and total leaf area per plant of two cultivar seedlings increase continuously in general, but increment of branch length per

收稿日期: 2016-11-11

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目 (CX(16)1016); 江苏省自然科学基金资助项目 (BK20130733)

作者简介: 尹 对 (1991—), 女, 安徽宿州人, 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: wjg728@126.com

plant has a slightly fluctuation; dry weights of root, stem, leaf and whole seedling per plant increase gradually in general, while root/shoot ratio decreases gradually; net increment of dry weight per plant and total water consumption both elevate with increasing of irrigation amount, while water use efficiency is the lowest under 50% WC condition and the highest under 75% WC condition. Under the same irrigation amount condition, increments of basal diameter and branch length per plant, dry weights of stem, leaf and whole seedling per plant, and water use efficiency of cultivar ‘Misty’ seedling are basically higher than those of cultivar ‘Brightwell’, while increments of total leaf area per plant, dry weight of root per plant, root/shoot ratio and total water consumption are basically lower than those of the latter. Diurnal changes in water consumption per plant of two cultivar seedlings are basically unimodal curves from July to September, but their peak values appear at different time periods according to different cultivars and irrigation amounts. In different time periods of a day or in different months, water consumption per plant of two cultivar seedlings both elevate with increasing of irrigation amount, that of cultivar ‘Misty’ seedling is generally lower than that of cultivar ‘Brightwell’ under the same irrigation amount condition. The regression analysis result shows that monthly water consumption per plant of two cultivar seedlings appear significant or extremely significant positive correlations with monthly mean temperature, but appear significant or extremely significant negative correlations with monthly mean air relative humidity. The comprehensive analysis result shows that water consumption of *Vaccinium* spp. seedling is not only related to cultivar characteristics, but also influenced by soil water content, air temperature and air humidity. Under the same irrigation amount condition, water consumption of cultivar ‘Brightwell’ seedling is relatively higher than that of cultivar ‘Misty’, but its water use efficiency is lower than that of the latter. In southern China, the optimum irrigation amounts of cultivar ‘Brightwell’ and ‘Misty’ are 100% WC and 75% WC, respectively.

Key words: *Vaccinium* spp.; irrigation amount; growth; water consumption; correlation analysis

蓝浆果 (*Vaccinium* spp.) 是杜鹃花科 (Ericaceae) 越橘属 (*Vaccinium* Linn.) 植物, 果实具有极高的营养和保健价值, 是最具发展潜力的新兴果树之一^[1-2]。蓝浆果为浅根系植物, 根系主要集中在 0~20 cm 土层, 其根系的水平分布也较狭窄, 怕旱不耐涝。

土壤中水分过多或过少均不利于蓝浆果的生长发育, 进而影响果实的产量和品质, 因此, 科学合理的水分管理是蓝浆果栽培管理过程中最关键的环节。目前, 国内蓝浆果栽培生产的水分管理大多依靠经验, 主要凭借管理者的观察和感觉, 灌水方式也主要是经验型大水灌溉, 果农节水意识淡薄, 绝大多数果农认为水灌得越多越好, 没有将无效蒸腾降到最低, 水分利用效率较低。水分管理不当不仅浪费日益短缺的水资源, 还将导致蓝浆果果实的产量和品质下降, 因此, 亟待明确蓝浆果在不同土壤水分条件下的耗水特性及影响因子, 并据此制定节水栽培灌溉制度, 这不仅是实现蓝浆果提质增效的重要途径, 而且对于发展蓝浆果节水高效栽培技术具有重要意义。

目前, 虽然国外已有较多关于蓝浆果栽培过程中水分管理的研究报道^[3-7], 但由于不同气候和土壤条件下蓝浆果的需水规律不同, 因此, 亟需对国内蓝浆果栽培过程的水分管理进行系统研究。迄今为止, 国

内关于蓝浆果水分生理的研究报道大多集中在不同水分条件对其植株生长和光合特性等方面的影响^[8-11], 而关于其植株的耗水规律和适宜灌溉量尚未可知。

鉴于此, 作者以兔眼蓝浆果 (*V. ashei* Reade) 品种 ‘Brightwell’ 和南方高丛蓝浆果 (*V. corymbosum* hybrids) 品种 ‘Misty’ 为研究对象, 对不同灌水量条件下 2 个蓝浆果品种幼苗的生长特性和耗水规律以及单株月耗水量与月均温和月均空气相对湿度的关系进行分析, 并研究了灌溉量对蓝浆果单株净增干质量、总耗水量和水分利用效率的影响, 以期制定蓝浆果节水灌溉高效栽培管理措施提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

于 2016 年 3 月选取兔眼蓝浆果品种 ‘Brightwell’ 和南方高丛蓝浆果品种 ‘Misty’ 长势一致的 1 年生扦插苗, 对根系和地上部进行适当修剪后栽植于直径 20 cm、高 25 cm 的塑料盆中, 每盆 1 株; 定植后浇透水, 用松树皮覆盖基质表面, 覆盖厚度约 2 cm; 采取正常浇水和管理措施, 确保苗木成活并正常生长。盆

栽基质为 $V(\text{黄棕壤}) : V(\text{泥炭}) : V(\text{醋糟}) : V(\text{珍珠岩}) = 2 : 1 : 1 : 1$ 的混合基质,每盆装混合基质 5 L;混合基质的电导率为 $0.188 \text{ ms} \cdot \text{cm}^{-1}$, pH 4.99, 田间持水量 36.1%, 土壤容重 $0.83 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

1.2 方法

1.2.1 灌水处理方法 于 2016 年 5 月底将盆栽幼苗移至玻璃温室内进行灌水处理。实验设置 4 个灌水量水平,分别为单株日耗水量(WC)的 50%、75%、100%和 125%,其中,灌水量 100%WC 为对照(CK);每处理 8 盆,视为 8 个重复。另外,每个灌水量处理均设置 3 盆不种植幼苗的空白盆,以测定栽培基质的蒸发量。盆底部均放置托盘用于盛接渗水。

采用称重法测定各处理盆及其空白盆的耗水量。在 2016 年 5 月 31 日 18:00 充分灌水,使基质水分达到过饱和状态;12 h 后(2016 年 6 月 1 日 6:00)用精度 1 g 的电子天平(上海花潮电器有限公司)称量花盆和基质的总质量,24 h 后(2016 年 6 月 2 日 6:00)再次称量花盆和基质的总质量;此后,每天 6:00 对各处理盆及其空白盆的花盆和基质的总质量进行称量。前后 2 天花盆和基质总质量的减少量即为前一日各处理盆及空白盆的耗水量,每日各处理盆与其空白盆耗水量的差值即为单株日耗水量(WC);根据每日的 WC 值和设定的灌水量水平计算各处理盆当天的具体灌水量(精确到 1 mL),每日耗水量测定完毕后即可灌水。实验于 2016 年 9 月 30 日结束,历时 4 个月(120 d);在实验期间,若遇阴雨天则根据实际情况确定灌水与否,总体上每隔 1~3 d 灌水 1 次。

1.2.2 生长指标的测定 在实验开始和结束时,每个处理随机选取 3 株幼苗,将根、茎和叶分开,分别测定各项生长指标,各指标均重复测定 3 次。

用精度 0.1 cm 的卷尺逐一测量每一单株所有当年生枝条的长度,其总和即为单株枝长,实验结束时与实验开始时的单株枝长差值即为单株枝长增量。

采用十字交叉方式、用电子游标卡尺直接测量幼苗主干与地面相接处的直径,即地径,实验结束时与实验开始时的地径差值即为地径增量。

参照胡红玲等^[12]的方法测定单株叶面积。将每个单株的所有叶片混匀后随机取鲜叶约 10 g,用惠普 LaserJet M1216nfh MFP 黑白激光多功能一体机[惠普(中国)投资有限公司]扫描并测量每枚叶片的叶面积(S_0);然后,在 105 °C 条件下杀青 30 min,并置于 75 °C 条件下干燥至恒质量,称量叶片的干质量

(W_a);同法干燥并称量剩余叶片的干质量(W_b)。叶面积与质量的比值(k)和单株总叶面积(S)分别根据公式“ $k = S_0 / W_a$ ”和“ $S = k \cdot (W_a + W_b)$ ”计算,并根据实验结束时与实验开始时的单株总叶面积差值计算单株总叶面积增量。

将各单株的根和茎分别置于 105 °C 条件下杀青 30 min,并置于 75 °C 条件下干燥至恒质量,分别称量干质量。根冠比根据公式“根冠比=根干质量/(茎干质量+叶干质量)”计算。式中,根和茎的干质量为实验结束时的干质量;叶干质量为实验结束时上述 W_a 和 W_b 的总和。单株净增干质量为实验结束时与实验开始时单株总干质量的差值;单株总干质量为根、茎和叶的干质量总和。

1.2.3 耗水量及水分利用效率的测定 在每个处理分别选择 3 盆幼苗用于耗水量测定,重复测定 3 次。每天 6:00 按上述方法称量花盆和基质的总质量,并计算各处理幼苗的单株日耗水量。单株月耗水量为当月每日单株耗水量的总和;单株总耗水量为整个实验期间每日单株耗水量的总和。

在蓝浆果生长旺盛的 7 月、8 月和 9 月,每月选取 3 个晴天日,从 7:00 到 17:00 每隔 2 h 称量 1 次花盆和基质的总质量,各处理盆花盆和基质总质量的减少量与相应空白盆花盆和基质总质量的差值即为该时间段内幼苗的单株耗水量。单株水分利用效率(WUE)根据公式“WUE=单株净增干质量/总蒸腾耗水量”^[13-14]计算。

1.2.4 空气温度和空气相对湿度的测定 在蓝浆果幼苗的上方 1 m 处悬挂温湿度测量仪,自动测定空气温度和空气相对湿度,每 30 min 记录 1 次数据。

1.3 数据处理与统计分析

采用 EXCEL 2007 软件进行数据处理;采用 SPSS 18.0 统计分析软件对相关数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),并采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果和分析

2.1 不同灌水量条件下 2 个蓝浆果品种幼苗生长特性的差异分析

2.1.1 地径、单株枝长和单株总叶面积的增量差异分析 不同灌水量对兔眼蓝浆果品种‘Brightwell’和南方高丛蓝浆果品种‘Misty’幼苗地径、单株枝长和

单株总叶面积增量的影响见表 1。

由表 1 可见: 随灌水量提高, 2 个蓝浆果品种幼苗的地径、单株枝长和单株总叶面积的增量总体上均不断增大, 但单株枝长增量有一定波动。就品种 ‘Brightwell’ 而言, 当灌水量为 125% WC 时, 地径、单株枝长和单株总叶面积的增量均与对照 (100% WC) 无显著差异; 当灌水量为 75% WC 和 50% WC 时, 3 个指标的增量均随灌水量减少而下降且大多显著低于对照, 仅 75% WC 处理组的地径增量与对照无显著差异。就品种 ‘Misty’ 而言, 当灌水量为 125% WC 时, 地径增量与对照无显著差异, 但单株枝长和单株总叶面积的增量均显著高于对照; 当灌水量为 75% WC 时, 单株枝长和单株总叶面积的增量均与对照无显著差异, 但地径增量却显著低于对照; 当灌水量为 50% WC 时, 地径和单株总叶面积的增量均显著低于

对照, 但单株枝长增量则与对照无显著差异。

由表 1 还可见: 在相同灌水量条件下, 地径、单株枝长和单株总叶面积的增量在 2 个蓝浆果品种间存在一定差异。品种 ‘Misty’ 的地径和单株枝长增量基本上均高于品种 ‘Brightwell’, 仅灌水量为 100% WC 时其单株枝长增量低于后者; 而品种 ‘Misty’ 的单株总叶面积增量大多低于品种 ‘Brightwell’, 仅灌水量为 75% WC 时其单株总叶面积增量高于后者。

2.1.2 单株干质量差异分析 不同灌水量对兔眼蓝浆果品种 ‘Brightwell’ 和南方高丛蓝浆果品种 ‘Misty’ 幼苗单株干质量的影响见表 2。

由表 2 可见: 随灌水量提高, 2 个蓝浆果品种幼苗单株的根、茎、叶和总干质量总体上均不断增大, 但品种 ‘Misty’ 的单株根干质量有一定波动; 而 2 个蓝浆果品种幼苗的根冠比则随灌水量提高总体上逐渐

表 1 不同灌水量对兔眼蓝浆果品种 ‘Brightwell’ 和南方高丛蓝浆果品种 ‘Misty’ 幼苗地径、单株枝长和单株总叶面积增量的影响 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾
Table 1 Effects of different irrigation amounts on increments of basal diameter, branch length per plant and total leaf area per plant of seedlings of *Vaccinium ashei* ‘Brightwell’ and *V. corymbosum* ‘Misty’ ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

灌水量/mL ²⁾ Irrigation amount ²⁾	各品种的地径增量/mm Increment of basal diameter of every cultivar		各品种的单株枝长增量/cm Increment of branch length per plant of every cultivar		各品种的单株总叶面积增量/cm ² Increment of total leaf area per plant of every cultivar	
	Brightwell	Misty	Brightwell	Misty	Brightwell	Misty
50% WC	6.84±0.09c	9.19±0.20c	390.97±15.02c	673.73±50.87b	1 671.51±202.66c	1 186.39±167.69c
75% WC	9.08±0.41b	11.03±0.37b	720.87±20.29b	798.00±44.98b	3 336.66±157.84b	3 458.41±297.09b
100% WC (CK)	10.26±0.50ab	12.56±0.33a	887.93±49.96a	720.40±71.00b	5 289.25±287.01a	3 673.84±122.95b
125% WC	10.91±0.75a	13.47±0.53a	856.57±34.36a	998.63±11.66a	5 797.90±101.59a	5 001.38±316.50a

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 difference ($P < 0.05$).

²⁾ WC: 单株日耗水量 Daily water consumption per plant.

表 2 不同灌水量对兔眼蓝浆果品种 ‘Brightwell’ 和南方高丛蓝浆果品种 ‘Misty’ 幼苗单株干质量和根冠比的影响 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾
Table 2 Effects of different irrigation amounts on dry weight per plant and root/shoot ratio of seedlings of *Vaccinium ashei* ‘Brightwell’ and *V. corymbosum* ‘Misty’ ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

灌水量/mL ²⁾ Irrigation amount ²⁾	DW _R /g	DW _S /g	DW _L /g	DW _T /g	R
兔眼蓝浆果品种 ‘Brightwell’ <i>V. ashei</i> ‘Brightwell’					
50% WC	11.79±0.26c	27.74±1.45c	17.08±0.28d	56.61±1.81c	0.26±0.01a
75% WC	15.84±1.02b	39.27±0.49b	28.71±1.92c	83.82±2.82b	0.23±0.01ab
100% WC (CK)	18.74±0.32b	62.03±5.19a	38.33±0.15b	119.10±5.00a	0.19±0.01c
125% WC	22.57±1.63a	63.85±1.74a	43.29±0.45a	129.71±2.56a	0.21±0.01bc
南方高丛蓝浆果品种 ‘Misty’ <i>V. corymbosum</i> ‘Misty’					
50% WC	10.24±1.98a	31.83±1.47c	16.84±2.31c	58.90±2.27c	0.21±0.04a
75% WC	15.91±0.78a	56.88±1.60b	36.33±2.72b	109.11±2.57b	0.17±0.01a
100% WC (CK)	15.79±1.88a	59.16±2.08b	41.89±1.12ab	116.85±3.55b	0.16±0.02a
125% WC	16.89±2.83a	71.73±3.95a	47.21±1.77a	135.83±5.16a	0.14±0.03a

¹⁾ DW_R: 单株根干质量 Dry weight of root per plant; DW_S: 单株茎干质量 Dry weight of stem per plant; DW_L: 单株叶干质量 Dry weight of leaf per plant; DW_T: 单株总干质量 Total dry weight per plant; R: 根冠比 Root/shoot ratio. 同列中不同的小写字母表示同一指标在同品种的不同处理间有差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant difference of the same index among different treatments of the same cultivar ($P < 0.05$).

²⁾ WC: 单株日耗水量 Daily water consumption per plant.

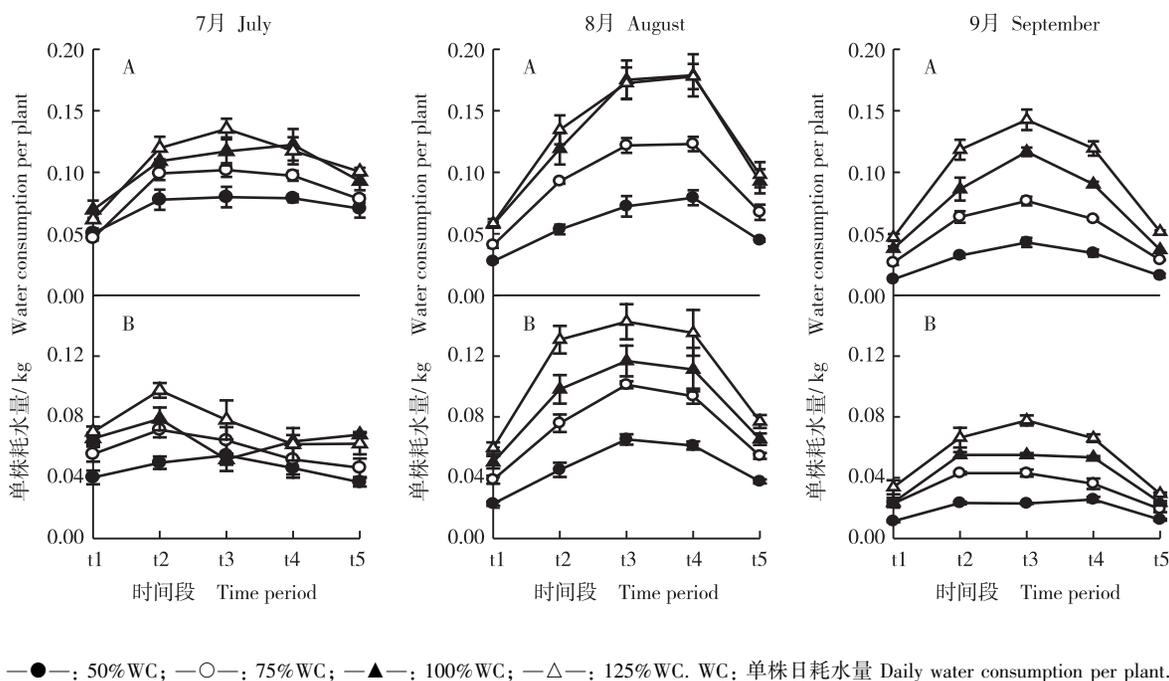
减小,但品种‘Brightwell’的根冠比有一定波动。就品种‘Brightwell’而言,当灌水量为125%WC时,单株的根和叶干质量均显著高于对照,而单株的茎和总干质量及根冠比均与对照无显著差异;当灌水量为75%WC和50%WC时,单株的根、茎、叶和总干质量均随灌水量减少而显著下降且大多显著低于对照,仅75%WC处理组的单株根干质量略低于对照。就品种‘Misty’而言,当灌水量为125%WC时,单株的茎和总干质量均显著高于对照,但单株的根和叶干质量及根冠比均与对照无显著差异;当灌水量为75%WC时,单株的根、茎、叶和总干质量及根冠比均与对照无显著差异;当灌水量为50%WC时,单株的茎、叶和总干质量均显著低于对照,而单株根干质量和根冠比与对照无显著差异。

由表2还可见:在相同灌水量条件下,单株的根、茎、叶和总干质量及根冠比在2个蓝浆果品种间均存在一定差异。品种‘Misty’的单株根干质量和根冠比基本上均低于品种‘Brightwell’,仅灌水量为75%WC时单株的根干质量高于后者;而品种‘Misty’单株的茎、叶和总干质量大多高于品种‘Brightwell’,仅灌水量为100%WC时单株的茎和总干质量以及灌水量为50%WC时其单株叶干质量低于后者。

2.2 不同灌水量条件下2个蓝浆果品种幼苗单株耗水量的变化规律比较

2.2.1 单株耗水量的日变化规律比较

不同灌水量条件下,7月份至9月份兔眼蓝浆果品种‘Brightwell’和南方高丛蓝浆果品种‘Misty’幼苗单株耗水量的日变化见图1。



t1: 7:00—9:00; t2: 9:00—11:00; t3: 11:00—13:00; t4: 13:00—15:00; t5: 15:00—17:00.

图1 不同灌水量条件下7月、8月和9月兔眼蓝浆果品种‘Brightwell’(A)和南方高丛蓝浆果品种‘Misty’(B)幼苗单株耗水量的日变化
Fig. 1 Diurnal changes in water consumption per plant of seedlings of *Vaccinium ashei* ‘Brightwell’ (A) and *V. corymbosum* ‘Misty’ (B) in July, August and September under different irrigation amount conditions

由图1可见:7月份至9月份,品种‘Brightwell’各处理组的单株耗水量日变化均呈单峰曲线。其中,7月份50%WC、75%WC和125%WC处理组的单株耗水量峰值均出现在11:00至13:00时间段,而100%WC处理组的单株耗水量峰值则出现在13:00至15:00时间段;8月份各处理组的单株耗水量峰值

均出现在13:00至15:00时间段;9月份各处理组的单株耗水量峰值均出现在11:00至13:00时间段。总体上看,7月份、8月份和9月份品种‘Brightwell’各时间段的单株耗水量均随灌水量提高而增大。

由图1还可见:7月份至9月份,品种‘Misty’大多数处理组的单株耗水量日变化均呈单峰曲线,仅

7月份100%WC处理组的单株耗水量日变化呈“升高—降低—升高”趋势。其中,7月份75%WC、100%WC和125%WC处理组的单株耗水量峰值出现在9:00至11:00时间段,而50%WC处理组的单株耗水量峰值出现在11:00至13:00时间段;8月份各处理组的单株耗水量峰值均出现在11:00至13:00时间段,较7月份推迟2~3h;9月份50%WC处理组的单株耗水量峰值出现在13:00至15:00时间段,75%WC处理组的单株耗水量在9:00至13:00时间段均较高且变幅不大,100%WC处理组的单株耗水量在9:00至15:00时间段均较高且变幅不大,125%WC处理组的单株耗水量峰值出现在11:00至13:00时间段。总体上,7月份、8月份和9月份品种‘Misty’各时间段的单株耗水量均随灌水量提高而增大。

比较而言,相同灌水量条件下,全天各时间段品

种‘Misty’的单株耗水量总体低于品种‘Brightwell’。

2.2.2 单株耗水量的月变化规律比较 不同灌水量条件下,6月份至9月份兔眼蓝浆果品种‘Brightwell’和南方高丛蓝浆果品种‘Misty’幼苗单株月耗水量的变化见图2。

由图2可见:在6月份至9月份,2个蓝浆果品种各处理组的单株月耗水量峰值均出现在8月份。总体来看,不同月份品种‘Brightwell’的单株月耗水量从高到低依次为8月份、9月份、7月份、6月份,而不同月份品种‘Misty’的单株月耗水量从高到低依次为8月份、7月份、9月份、6月份。在6月份至9月份,同一月份2个蓝浆果品种的单株月耗水量均随灌水量提高而增大。

比较而言,在相同灌水量条件下,不同月份品种‘Misty’的单株耗水量总体低于品种‘Brightwell’。

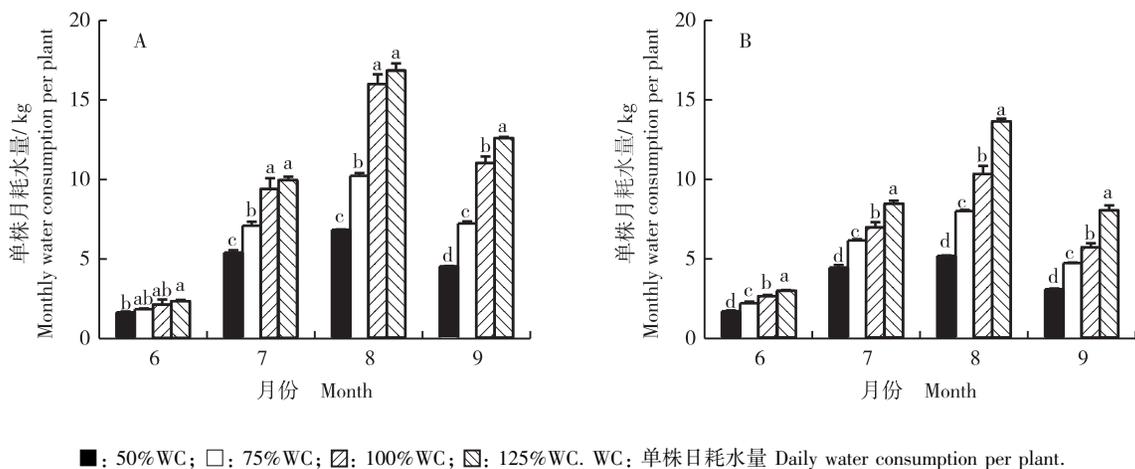


图2 不同灌水量条件下兔眼蓝浆果品种‘Brightwell’ (A)和南方高丛蓝浆果品种‘Misty’ (B)幼苗的单株月耗水量变化
Fig. 2 Changes in monthly water consumption per plant of seedlings of *Vaccinium ashei* ‘Brightwell’ (A) and *V. corymbosum* ‘Misty’ (B) under different irrigation amount conditions

2.3 2个蓝浆果品种幼苗单株月耗水量与月均温和月均空气相对湿度的回归分析

2.3.1 单株月耗水量与月均温的回归分析 以不同灌水量条件下兔眼蓝浆果品种‘Brightwell’和南方高丛蓝浆果品种‘Misty’幼苗的单株月耗水量为因变量(y)、月均温为自变量(x)进行回归分析,结果见表3。

由表3可以看出:不同灌水量条件下,品种‘Brightwell’和‘Misty’幼苗的单株月耗水量与月均温均呈显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)的正相关关系。总体来看,2个蓝浆果品种幼苗的单株月耗水量

与月均温的回归方程的斜率均随灌水量提高而增大,而相关系数(R^2)则随灌水量提高而减小,说明随土壤水分含量的提高,2个蓝浆果品种幼苗的单株月耗水量与月均温的相关程度下降。

根据上述回归方程的斜率绝对值和 R^2 值可见:在相同灌水量条件下,品种‘Misty’幼苗的单株月耗水量与月均温的相关性强于品种‘Brightwell’,前者对月均温变化的敏感性也强于后者。

2.3.2 单株月耗水量与月均空气相对湿度的回归分析 以不同灌水量条件下兔眼蓝浆果品种‘Brightwell’

表 3 不同灌水量条件下兔眼蓝浆果品种‘Brightwell’和南方高丛蓝浆果品种‘Misty’幼苗的单株月耗水量(y)与月均温(x)的回归分析¹⁾

Table 3 Regression analysis on monthly water consumption per plant (y) of seedlings of *Vaccinium ashei* ‘Brightwell’ and *V. corymbosum* ‘Misty’ with monthly mean temperature (x) under different irrigation amount conditions¹⁾

灌水量/mL ²⁾ Irrigation amount ²⁾	回归方程 Regression equation	R^2
兔眼蓝浆果品种‘Brightwell’ <i>V. ashei</i> ‘Brightwell’		
50%WC	$y=0.610x-12.610$	0.676**
75%WC	$y=0.855x-17.555$	0.523**
100%WC(CK)	$y=1.312x-27.409$	0.446*
125%WC	$y=1.280x-25.742$	0.384*
南方高丛蓝浆果品种‘Misty’ <i>V. corymbosum</i> ‘Misty’		
50%WC	$y=0.480x-9.944$	0.846**
75%WC	$y=0.732x-15.396$	0.782**
100%WC(CK)	$y=0.932x-19.909$	0.731**
125%WC	$y=1.170x-24.766$	0.632**

¹⁾ **: $P<0.01$; *: $P<0.05$.

²⁾ WC: 单株日耗水量 Daily water consumption per plant.

和南方高丛蓝浆果品种‘Misty’幼苗的单株月耗水量为因变量(y)、月均空气相对湿度为自变量(x)进行回归分析,结果见表 4。

由表 4 可见:不同灌水量条件下,品种‘Brightwell’和‘Misty’幼苗的单株月耗水量与月均空气相对湿度均呈显著或极显著负相关关系。2 个蓝浆果品种幼苗的单株月耗水量与月均空气相对湿度的回归方程的斜率绝对值和 R^2 值均随灌水量提高而增大,说明随土壤水分含量的提高,2 个蓝浆果品种幼苗的单株月耗水量与月均空气相对湿度的相关性增大。

根据上述回归方程的斜率绝对值和 R^2 值可见:在相同灌水量条件下,品种‘Misty’幼苗的单株月耗水量与月均空气相对湿度的相关性弱于品种‘Brightwell’,前者对月均空气相对湿度变化的敏感性

表 4 不同灌水量条件下兔眼蓝浆果品种‘Brightwell’和南方高丛蓝浆果品种‘Misty’幼苗的单株月耗水量(y)与月均空气相对湿度(x)的回归分析¹⁾

Table 4 Regression analysis on monthly water consumption per plant (y) of seedlings of *Vaccinium ashei* ‘Brightwell’ and *V. corymbosum* ‘Misty’ with monthly mean air relative humidity (x) under different irrigation amount conditions¹⁾

灌水量/mL ²⁾ Irrigation amount ²⁾	回归方程 Regression equation	R^2
兔眼蓝浆果品种‘Brightwell’ <i>V. ashei</i> ‘Brightwell’		
50%WC	$y=-0.311x+27.427$	0.559**
75%WC	$y=-0.556x+47.377$	0.702**
100%WC(CK)	$y=-0.981x+81.570$	0.793**
125%WC	$y=-1.049x+87.377$	0.818**
南方高丛蓝浆果品种‘Misty’ <i>V. corymbosum</i> ‘Misty’		
50%WC	$y=-0.185x+17.170$	0.398*
75%WC	$y=-0.341x+30.289$	0.539**
100%WC(CK)	$y=-0.481x+41.673$	0.619**
125%WC	$y=-0.711x+60.439$	0.742**

¹⁾ **: $P<0.01$; *: $P<0.05$.

²⁾ WC: 单株日耗水量 Daily water consumption per plant.

也弱于后者。

2.4 不同灌水量对蓝浆果幼苗单株净增干质量、总耗水量和水分利用效率的影响

不同灌水量对兔眼蓝浆果品种‘Brightwell’和南方高丛蓝浆果品种‘Misty’幼苗的单株净增干质量、总耗水量和水分利用效率的影响见表 5。

由表 5 可见:随灌水量提高,2 个蓝浆果品种幼苗的单株净增干质量和总耗水量均不断增大,且在多数处理组间有显著差异;品种‘Brightwell’幼苗的水分利用效率随灌水量提高略有波动,而品种‘Misty’幼苗的水分利用效率则随灌水量提高呈“升高—降低”趋势,并在 75%WC 条件下达到峰值。对品种‘Brightwell’而言,当灌水量为 125%WC 时,总耗水量和水分利用效率略高于对照(100%WC),单株净增干质量则显著高于对照;当灌水量为 75%WC 和 50%WC

表 5 不同灌水量对兔眼蓝浆果品种‘Brightwell’和南方高丛蓝浆果品种‘Misty’幼苗的单株净增干质量(NIDW)、总耗水量(TWC)和水分利用效率(WUE)的影响($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 5 Effects of different irrigation amounts on net increment of dry weight per plant (NIDW), total water consumption (TWC) and water use efficiency (WUE) of seedlings of *Vaccinium ashei* ‘Brightwell’ and *V. corymbosum* ‘Misty’ ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

灌水量/mL ²⁾ Irrigation amount ²⁾	各品种的 NIDW/g NIDW of every cultivar		各品种的 TWC/kg TWC of every cultivar		各品种的 WUE/g·kg ⁻¹ WUE of every cultivar	
	Brightwell	Misty	Brightwell	Misty	Brightwell	Misty
50%WC	53.78±1.81c	51.60±2.27c	19.68±0.07d	16.35±0.43d	2.73±0.08a	3.16±0.18c
75%WC	80.99±2.82b	101.80±2.57b	28.02±0.19c	22.85±0.20c	2.89±0.08a	4.46±0.13a
100%WC(CK)	116.27±5.00a	109.54±3.55b	41.01±1.58b	27.50±1.23b	2.85±0.26a	3.99±0.09b
125%WC	126.87±2.56a	128.52±5.16a	44.12±0.57a	35.16±0.74a	2.88±0.04a	3.65±0.08b

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 difference ($P<0.05$).

²⁾ WC: 单株日耗水量 Daily water consumption per plant.

时,单株净增干质量和总耗水量均随灌水量减少而显著下降且显著低于对照,仅水分利用效率与对照无显著差异。对品种‘Misty’而言,当灌水量为125%WC时,单株净增干质量和总耗水量均显著高于对照,仅水分利用效率与对照无显著差异;当灌水量为75%WC时,单株净增干质量略低于对照,总耗水量显著低于对照,而水分利用效率则显著高于对照;当灌水量为50%WC时,单株净增干质量、总耗水量和水分利用效率均显著低于对照。

比较而言,在相同灌水量条件下,当灌水量为50%WC和100%WC时品种‘Misty’的单株净增干质量低于品种‘Brightwell’,当灌水量为75%WC和125%WC时品种‘Misty’的单株净增干质量高于品种‘Brightwell’;但其总耗水量则低于后者,而水分利用效率却高于后者。

3 讨论和结论

3.1 不同灌水量对蓝浆果生长的影响

本研究结果表明:兔眼蓝浆果品种‘Brightwell’和南方高丛蓝浆果品种‘Misty’幼苗的地径和单株总叶面积增量均随灌水量提高而不断升高,这与肖春旺等^[15]和孙龙等^[16]的研究结果相似,说明在实验灌水量范围内,灌水量越高越利于2个蓝浆果品种幼苗地径和叶片的生长。品种‘Brightwell’幼苗的单株枝长增量在对照(100%WC)条件下最高,在125%WC条件下略低于对照,在75%WC和50%WC条件下显著低于对照,说明灌水量在100%WC以上适宜品种‘Brightwell’幼苗枝条的生长,而灌水量低于100%WC则明显抑制其枝条的生长。品种‘Misty’幼苗的单株枝长增量在125%WC条件下最高,显著高于对照及其他灌水量条件,在75%WC和50%WC条件下略高于或略低于对照,但均与对照差异不显著,说明充足灌水有助于品种‘Misty’幼苗枝条的生长,并且,适度降低灌水量对其枝长生长并无显著影响。

相关研究结果表明:土壤水分含量过高或过低均不利于植物的生长及生物量积累,在一定范围内,植株生物量随着土壤水分含量提高而增大^[17-18]。本研究中,2个蓝浆果品种单株根、茎、叶和总干质量均随灌水量提高而增大。对于品种‘Brightwell’而言,在125%WC条件下其单株总干质量略高于对照,说明当灌水量高于100%WC时,品种‘Brightwell’植株生

长不明显;在75%WC和50%WC条件下其单株总干质量显著低于对照,说明较低灌水量不利于品种‘Brightwell’植株的生长。对于品种‘Misty’而言,在125%WC条件下其单株总干质量显著高于对照,而在75%WC条件下其单株总干质量略低于对照,说明适当提高灌水量能够促进品种‘Misty’植株的干物质积累,并且,适当减少灌水量对品种‘Misty’植株的干物质积累无显著影响。与前人的相关研究结果相似^[19-20],品种‘Brightwell’和‘Misty’的根冠比总体上均随灌水量提高而下降,说明当灌水量较低时,2个蓝浆果品种植株将体内合成的光合产物更多地分配给根系,以促进根系生长,从而增强根系对水分的吸收,以确保植株体内的水分平衡。

3.2 不同灌水量条件下蓝浆果的耗水量规律

相关研究结果表明:在正常供水条件下,植物的耗水量和耗水速率均呈“单峰型”变化趋势,但峰值出现的时间段相同^[21-22]。本研究中,7月份至9月份品种‘Brightwell’和‘Misty’幼苗的单株耗水量日变化基本上呈单峰曲线,但不同灌水量条件下的单株耗水量峰值出现时间段及峰形却存在一定差异,说明蓝浆果的耗水量日变化不但受土壤水分状况、光照、气温和空气相对湿度等环境因子的影响,而且也受到植株体内水分生理特征的影响。邱权等^[23]研究认为,不同土壤水分条件下植物的耗水特性受环境温度和空气相对湿度的影响程度不一致,并在不同物种间存在差异。各月份不同时间段2个蓝浆果品种幼苗的单株耗水量大体随灌水量减少而降低,说明这2个蓝浆果品种植株均能通过调节自身的耗水量来减少对有限水源的过度消耗,以维持体内的水分平衡。在供试灌水量条件下,2个蓝浆果品种幼苗的单株月耗水量均表现为在8月份最高、7月份次之、9月份偏低、6月份最低,与当月植株生长情况、月均温和月均空气相对湿度吻合,具有较好的生态学同步性。6月份,蓝浆果植株生长相对缓慢,气温和光照相对较低,因此其耗水量相对较低;之后,气温逐渐升高,植株进入旺盛生长期,耗水量迅速升高,在8月份达到峰值;9月份,光照强度和温度明显下降,植株生长趋缓,耗水量较8月份大幅下降。值得注意的是,由于中国南方地区在7月份处于梅雨季节,光照不足,空气相对湿度大,因此,植株的耗水量与9月份无较大差异。

3.3 不同灌水量条件下蓝浆果的水分利用效率

研究结果显示:品种‘Brightwell’和‘Misty’的水

分利用效率均在 75% WC 条件下最高,与徐炳成等^[24]的研究结果相似,说明虽然充足灌水利于蓝浆果生长,但适当的水分胁迫却可以提高其水分利用效率,灌水量高于 75% WC 将造成水资源浪费,致使植株的水分利用效率降低。并且,2 个蓝浆果品种幼苗的水分利用效率均在 50% WC 条件下最低,这可能是由于 50% WC 严重影响了 2 个蓝浆果品种植株对光合产物的合成和积累,导致植株生长受到严重抑制,体内的干物质积累量显著下降,虽然植株的耗水量也明显降低,但其单株水分利用效率仍较低。

综上所述,蓝浆果的耗水特性不但与品种有关,而且还受到土壤水分状况、气温、空气相对湿度的影响。比较而言,在相同灌水量条件下,品种‘Brightwell’的耗水量高于品种‘Misty’,而水分利用效率却低于后者。总体来看,100% WC 利于品种‘Brightwell’生长,且植株的水分利用效率较高,而 75% WC 对品种‘Misty’生长无不良影响并可显著提高植株的水分利用效率。据此认为,在中国南方地区,品种‘Brightwell’和‘Misty’的适宜灌水量分别为 100% WC 和 75% WC。

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.
- [2] 於 虹,贺善安,顾 娟. 我国和世界蓝浆果的发展前景[J]. 植物资源与环境学报,2001,10(2): 52-55.
- [3] HAMAN D Z, SMAJSTRLA A G, PRITCHARD R T, et al. Response of young blueberry plants to irrigation in Florida [J]. HortScience, 1997, 32: 1194-1196.
- [4] HUNT J F, HONEYCUTT C W, STARR G, et al. Evapotranspiration rates and crop coefficients for lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium*) [J]. International Journal of Fruit Science, 2008, 8: 282-298.
- [5] BRYLA D R. Crop evapotranspiration and irrigation scheduling in blueberry [M] // GEROSA G. Evapotranspiration: From Measurements to Agricultural and Environmental Applications. Rijeka: InTech, 2011: 167-186.
- [6] KEEN B, SLAVICH P. Comparison of irrigation scheduling strategies for achieving water use efficiency in highbush blueberry [J]. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 2012, 40: 3-20.
- [7] LOBOS T E, RETAMALES J B, ORTEGA-FARÍAS S, et al. Pre-harvest regulated deficit irrigation management effects on post-harvest quality and condition of *V. corymbosum* fruits cv. Brigitta [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 207: 152-159.
- [8] 刘兆玲. 三个蓝莓品种的生理生态特性研究[D]. 临安:浙江农林大学林业与生物技术学院,2012.
- [9] 韦继光,曾其龙,姜燕琴,等. 干旱和淹水处理对蓝浆果生长和光合特性的影响[J]. 植物资源与环境学报,2015,24(1): 54-60.
- [10] 韦继光,曾其龙,姜燕琴,等. 水分胁迫及恢复正常水分供应后兔眼蓝浆果生长及光合特性的变化[J]. 植物资源与环境学报,2015,24(3): 77-84.
- [11] 张 悦,张会慧,周 琳,等. 控水灌溉对蓝莓园土壤养分和植株生长与叶绿素荧光及果实品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2015,41(5): 503-507.
- [12] 胡红玲,张 健,万雪琴,等. 巨桉与 5 种木本植物幼树的耗水特性及水分利用效率的比较[J]. 生态学报,2012,32(12): 3873-3882.
- [13] 李荣生,许煌灿,尹光天,等. 植物水分利用效率的研究进展[J]. 林业科学研究,2003,16(3): 366-371.
- [14] 罗亚勇,赵学勇,黄迎新,等. 植物水分利用效率及其测定方法研究进展[J]. 中国沙漠,2009,29(4): 648-655.
- [15] 肖春旺,周广胜,马风云. 施水量变化对毛乌素沙地优势植物形态与生长的影响[J]. 植物生态学报,2002,26(1): 69-76.
- [16] 孙 龙,彭祚登,王佳茜,等. 不同土壤水分对 4 个灌木能源树种生长和蒸腾耗水的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2015,35(10): 54-61.
- [17] 焦娟玉,陈 珂,尹春英. 土壤含水量对麻疯树幼苗生长及其生理生化特征的影响[J]. 生态学报,2010,30(16): 4460-4466.
- [18] 罗永忠,李 广. 土壤水分胁迫对新疆大叶苜蓿的生长及生物量的影响[J]. 草业学报,2014,23(4): 213-219.
- [19] 孙鹏飞. 准噶尔盆地南缘主要自然植物的耗水规律及适宜需水量试验研究[D]. 石河子:石河子大学水利建筑工程学院,2010.
- [20] 张 璐. 不同灌溉量对臭柏等树种生长及耗水特性的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学生态环境学院,2012.
- [21] 李丽霞,梁宗锁,韩蕊莲. 土壤干旱对沙棘苗木生长及水分利用的影响[J]. 西北植物学报,2002,22(2): 296-302.
- [22] 哈申格日乐,李吉跃,周泽福. 干旱胁迫对 3 个树种苗木蒸腾耗水日变化的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(9): 157-162.
- [23] 邱 权,潘 昕,李吉跃,等. 速生树种尾巨桉和竹柳幼苗耗水特性和水分利用效率[J]. 生态学报,2014,34(6): 1401-1410.
- [24] 徐炳成,山 仑,李凤民. 3 种禾草苗期生长和水分利用对土壤水分变化的反应[J]. 西北植物学报,2007,27(2): 297-302.

(责任编辑:佟金凤)