

# 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

李亚静, 姜燕琴, 韦继光, 曾其龙, 於虹<sup>①</sup>

[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:** 为确定兔眼蓝浆果 (*Vaccinium ashei* Reade) 不同品种苗期的适宜施氮量, 以兔眼蓝浆果早熟品种‘阿拉帕哈’ (‘Alapha’)、中熟品种‘园蓝’ (‘Gardenblue’) 和晚熟品种‘芭尔德温’ (‘Baldwin’) 的组培苗为实验材料, 采用水培法研究了不同氮浓度 (0、1、2 和 4 mmol · L<sup>-1</sup>) 对幼苗生长、根和叶中全氮含量、叶片光合生理特性的影响。结果表明: 与对照 (0 mmol · L<sup>-1</sup> 氮) 相比, 经 1、2 和 4 mmol · L<sup>-1</sup> 氮处理后 3 个兔眼蓝浆果品种的单株茎叶干质量显著增加, 根冠比显著降低; 但品种‘园蓝’的单株根干质量显著高于对照, 另 2 个品种的单株根干质量与对照无显著差异。随着营养液中氮浓度的提高, 3 个兔眼蓝浆果品种根的全氮含量及品种‘阿拉帕哈’叶的全氮含量均逐渐增加, 且在 4 mmol · L<sup>-1</sup> 氮处理下最高; 品种‘园蓝’和‘芭尔德温’叶的全氮含量呈先升高后降低的趋势, 且均在 2 mmol · L<sup>-1</sup> 氮处理下最高; 各处理组根和叶的全氮含量均显著高于对照。经 1、2 和 4 mmol · L<sup>-1</sup> 氮处理后, 3 个兔眼蓝浆果品种叶片的叶绿素 *a*、叶绿素 *b* 和总叶绿素含量以及 PS II 最大光化学效率 ( $F_v/F_m$ ) 均呈先升高后降低的趋势, 且均显著高于对照。各处理组中, 品种‘园蓝’叶片的净光合速率 (Pn)、气孔导度 (Gs)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 (Ci) 和蒸腾速率 (Tr) 均显著高于对照; 品种‘芭尔德温’叶片的 Pn 值在 4 mmol · L<sup>-1</sup> 氮处理下显著低于对照, Gs 和 Tr 值在 2 mmol · L<sup>-1</sup> 氮处理下显著高于对照, Ci 值与对照无显著差异; 与对照相比, 品种‘阿拉帕哈’叶片的 Pn 值在 1 和 4 mmol · L<sup>-1</sup> 氮处理下显著提高, Gs 值在 1 mmol · L<sup>-1</sup> 氮处理下显著提高, Tr 值在 1 和 2 mmol · L<sup>-1</sup> 氮处理下显著提高, 而 Ci 值则在 4 mmol · L<sup>-1</sup> 氮处理下显著降低。综合分析结果显示: 适度增施氮肥可提高兔眼蓝浆果不同品种幼苗的茎叶生长、改善其光合性能, 但对根系生长无明显的促进作用。在营养生长期兔眼蓝浆果不同品种的需氮量存在差异, 其中品种‘园蓝’更适宜高氮环境, 而施用少量氮肥即可促进品种‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗地上部分生长。

**关键词:** 兔眼蓝浆果; 施氮量; 水培法; 幼苗生长; 光合特性; 气体交换参数

中图分类号: Q945.11; Q945.79; S663.9 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2016)02-0065-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2016.02.08

**Effects of different nitrogen concentrations on growth and photosynthetic physiology of seedlings of different cultivars of *Vaccinium ashei*** LI Yajing, JIANG Yanqin, WEI Jiguang, ZENG Qilong, YU Hong<sup>①</sup> (Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2016, 25(2): 65-71

**Abstract:** In order to confirm suitable nitrogen application amount of different cultivars of *Vaccinium ashei* Reade during seedling period, taking tissue culture seedlings of early-maturing cultivar ‘Alapha’, middle-maturing cultivar ‘Gardenblue’ and late-maturing cultivar ‘Baldwin’ of *V. ashei* as experimental materials, effects of different nitrogen concentrations (0, 1, 2 and 4 mmol · L<sup>-1</sup>) on seedling growth, total nitrogen content in root and leaf and photosynthetic physiological characteristics of leaf were studied by hydroponics. The results show that compared with the control (0 mmol · L<sup>-1</sup> nitrogen), after treated by 1, 2 and 4 mmol · L<sup>-1</sup> nitrogen, shoot dry weight per plant of three cultivars of *V. ashei* increases

收稿日期: 2015-12-07

基金项目: 国家农业部公益性行业(农业)科研专项(201103037)

作者简介: 李亚静(1990—), 女, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要从事蓝浆果氮素营养方面的研究。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: njyuhong@vip.sina.com

significantly, root/shoot ratio decreases significantly, but root dry weight per plant of cultivar 'Gardenblue' is significantly higher than that of the control, that of other two cultivars has no significant difference with that of the control. With enhancing of nitrogen concentrations in nutrient solution, total nitrogen content in root of three cultivars of *V. ashei* and that in leaf of cultivar 'Alapha' increase gradually, with the highest in 4 mmol · L<sup>-1</sup> nitrogen treatment; total nitrogen content in leaf of cultivar 'Gardenblue' and 'Baldwin' appears the trend of firstly increasing and then decreasing, with the highest in 2 mmol · L<sup>-1</sup> nitrogen treatment; and total nitrogen content in root and leaf in all treatment groups is significantly higher than that of the control. After treated by 1, 2 and 4 mmol · L<sup>-1</sup> nitrogen, contents of chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and total chlorophyll and the maximal photochemical efficiency of PS II ( $F_v/F_m$ ) of leaf of three cultivars of *V. ashei* all appear the trend of firstly increasing and then decreasing, and are significantly higher than those of the control. Net photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (Gs), intercellular CO<sub>2</sub> concentration (Ci) and transpiration rate (Tr) of leaf of cultivar 'Gardenblue' in all treatment groups are significantly higher than those of the control. Pn value of leaf of cultivar 'Baldwin' in 4 mmol · L<sup>-1</sup> nitrogen treatment is significantly lower than that of the control, its Gs and Tr values in 2 mmol · L<sup>-1</sup> nitrogen treatment are significantly higher than those of the control, and its Ci value has no significant difference with that of the control. Compared with the control, Pn value of leaf of cultivar 'Alapha' in 1 and 4 mmol · L<sup>-1</sup> nitrogen treatments increases significantly, its Gs value increases significantly in 1 mmol · L<sup>-1</sup> nitrogen treatment, and its Tr value does in 1 and 2 mmol · L<sup>-1</sup> nitrogen treatments, while its Ci value decreases significantly in 4 mmol · L<sup>-1</sup> nitrogen treatment. The comprehensive analysis result shows that properly increasing nitrogen application can enhance stem growth and improve photosynthetic performance of seedling of different cultivars of *V. ashei*, but don't have obvious promotion of root growth. There is difference in nitrogen requirement among different cultivars of *V. ashei* at vegetative growth stage, in which, cultivar 'Gardenblue' is suitable for high nitrogen environment, while applying a few amount of nitrogen fertilizer can promote growth of above-ground part of seedling of cultivar 'Baldwin' and 'Alapha'.

**Key words:** *Vaccinium ashei* Reade; nitrogen application amount; hydroponics; seedling growth; photosynthetic characteristics; gas exchange parameter

蓝浆果 (*Vaccinium* spp.) 又名越橘、蓝莓, 是杜鹃花科 (Ericaceae) 越橘属 (*Vaccinium* Linn.) 植物, 为多年生灌木, 因其果实具有较强的保健功效而风靡世界各地<sup>[1-2]</sup>。国内蓝浆果的引种栽培始于 20 世纪 80 年代, 在蓝浆果的种植管理特别是施肥管理上通常仅凭经验, 缺乏对蓝浆果合理施肥措施的系统性研究<sup>[3]</sup>。氮素是蓝浆果生长过程中最重要的营养元素之一<sup>[4]</sup>, 缺失氮素会导致蓝浆果长势减弱且生长速率减缓, 并造成其果实品质受到影响<sup>[5]</sup>。Bailey 等<sup>[6]</sup>的研究结果也显示, 氮素不足可引起蓝浆果植株矮小、叶片黄化及果实产量降低。与大多数果树相比, 蓝浆果为寡营养植物, 施氮量过多会导致其生长不良、产量下降和冻害严重<sup>[7]</sup>, 且过量使用氮肥不仅污染环境还会造成能源浪费<sup>[8]</sup>。庞薇等<sup>[9]</sup>研究了不同施氮量对北方高丛蓝浆果 (*Vaccinium corymbosum* Linn.) 植株生长及果实品质的影响, 认为适度施用氮肥可显著提高其果实品质。

作者以适宜于中国南方地区种植的兔眼蓝浆果 (*Vaccinium ashei* Reade) 早熟品种 '阿拉帕哈'

('Alapha')、中熟品种 '园蓝' ('Gardenblue') 和晚熟品种 '芭尔德温' ('Baldwin')<sup>[10]</sup> 为研究材料, 采用水培法, 初步研究了不同氮浓度对幼苗生长、根和叶中全氮含量和叶片光合生理的影响, 以期为兔眼蓝浆果栽培过程中氮肥的高效利用提供基础实验数据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试材料为生长 6 个月的兔眼蓝浆果品种 '园蓝'、'芭尔德温' 和 '阿拉帕哈' 的生根组培苗。于 2014 年 4 月 18 日至 7 月 9 日选取生长一致的兔眼蓝浆果组培苗, 用蒸馏水洗净根系, 栽植于孔径 2.5 cm 的泡沫板中, 用海绵固定后置于长 28 cm、宽 19 cm、高 10 cm 的周转箱内, 在江苏省中国科学院植物研究所温室中用 1 mmol · L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 营养液预培养 2 周, 然后用于施氮处理。

### 1.2 方法

1.2.1 实验设计及处理 以 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 作为氮源, 设

置4个处理,各处理的氮浓度分别设置为0(对照)、1、2和4 mmol·L<sup>-1</sup>,每处理4.5 L营养液(pH 5.0)。参照文献[11-14]配制营养液,除氮源外营养液的组成为:0.5 mmol·L<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O、1.0 mmol·L<sup>-1</sup> KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、0.1 mmol·L<sup>-1</sup> Fe-EDTA、1.0 mmol·L<sup>-1</sup> MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O、0.5 mmol·L<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、46.3 μmol·L<sup>-1</sup> H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>、9.1 μmol·L<sup>-1</sup> MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O、0.76 μmol·L<sup>-1</sup> ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O、0.31 μmol·L<sup>-1</sup> CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O、0.1 μmol·L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O。各处理均设3次重复,每重复12株幼苗;每周更换1次营养液,24 h 供氧,共处理10周。

1.2.2 指标测定 于处理第10周上午的8:30至11:00(晴天),每处理随机选取3株植株,选择幼苗枝条中部第4至第10片成熟叶片,采用LI-6400XT便携式光合仪(美国LI-COR公司)测定叶片的净光合速率(P<sub>n</sub>)、气孔导度(G<sub>s</sub>)、胞间CO<sub>2</sub>浓度(C<sub>i</sub>)和蒸腾速率(Tr)等气体交换参数;用OS1p便携式调制荧光仪(美国OPTI-SCIENCES公司)测定叶片叶绿素荧光参数PS II最大光化学效率(F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>)<sup>[15]</sup>;参照文献[16]中的丙酮浸提法测定叶绿素含量,各指标均重复测定3次。

每个处理随机取3株,将根系、茎、叶分开后分别用蒸馏水洗净,于105℃杀青30 min,然后于75℃烘干至恒质量,用百分之一电子天平分别称量干质量,并计算单株根系和茎叶的干质量及根冠比;采用自动凯氏定氮法<sup>[17]</sup>测定根和全株叶片的全氮含量。各指标均重复测定3次。

### 1.3 数据处理分析

使用EXCEL 2003软件对上述实验数据进行分析 and 整理,并采用SPSS 16.0统计分析软件在P=0.05水平上对实验数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA)。

## 2 结果和分析

### 2.1 不同氮浓度对3个兔眼蓝浆果品种幼苗生长的影响

经氮浓度不同的营养液处理10周后兔眼蓝浆果品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗的单株根系干质量、单株茎叶干质量及根冠比见表1。

2.1.1 对单株根系干质量的影响 由表1可以看出:随营养液中氮浓度的提高,品种‘园蓝’幼苗的单

株根系干质量增加,且均显著(P<0.05)高于对照(0 mmol·L<sup>-1</sup>氮),但1、2和4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理间无显著差异(P>0.05)。经1、2和4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理后,品种‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗的单株根系干质量均与对照无显著差异,且不同氮浓度处理间也无显著差异。在营养液中氮浓度相同的条件下,品种‘阿拉帕哈’幼苗的单株根系干质量均高于品种‘园蓝’和‘芭尔德温’。

2.1.2 对单株茎叶干质量的影响 由表1还可以看出:随营养液中氮浓度的提高,品种‘园蓝’幼苗的单株茎叶干质量持续提高,在4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理条件下达到最高,显著高于0、1和2 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理组;在1、2和4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理条件下,其单株茎叶干质量分别较对照提高2.46、2.39和3.63倍。在1、2和4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理条件下,品种‘芭尔德温’和‘阿

表1 不同氮浓度对兔眼蓝浆果品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗干质量及根冠比的影响( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 1 Effect of different nitrogen concentrations on dry weight and root/shoot ratio of seedlings of cultivar ‘Gardenblue’, ‘Baldwin’ and ‘Alpha’ of *Vaccinium ashei* Reade ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

氮浓度/ mmol·L <sup>-1</sup> Conc. of nitrogen	不同品种的单株根系干质量/g Root dry weight per plant of different cultivars		
	园蓝 Gardenblue	芭尔德温 Baldwin	阿拉帕哈 Alpha
0(CK)	0.25±0.01bAB	0.21±0.02aB	0.30±0.04aA
1	0.29±0.01aB	0.19±0.01aC	0.36±0.03aA
2	0.29±0.02aB	0.26±0.02aB	0.34±0.02aA
4	0.29±0.01aA	0.22±0.06aA	0.47±0.24aA
氮浓度/ mmol·L <sup>-1</sup> Conc. of nitrogen	不同品种的单株茎叶干质量/g Shoot dry weight per plant of different cultivars		
	园蓝 Gardenblue	芭尔德温 Baldwin	阿拉帕哈 Alpha
0(CK)	0.41±0.03cB	0.46±0.04bB	0.65±0.05bA
1	1.42±0.13bB	1.78±0.27aB	1.82±0.13aA
2	1.39±0.11bB	1.30±0.14aB	2.06±0.29aA
4	1.90±0.08aAB	1.62±0.53aB	2.06±0.34aA
氮浓度/ mmol·L <sup>-1</sup> Conc. of nitrogen	不同品种的根冠比 Root/shoot ratio of different cultivars		
	园蓝 Gardenblue	芭尔德温 Baldwin	阿拉帕哈 Alpha
0(CK)	0.63±0.06aA	0.46±0.02aB	0.46±0.03aB
1	0.21±0.02bA	0.11±0.01cB	0.20±0.01bAB
2	0.16±0.02bB	0.20±0.02bA	0.17±0.02bB
4	0.15±0.00bA	0.14±0.01cA	0.25±0.17bA

1) 同列中不同的小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05) Different small letters in the same column indicate the significant difference among different treatments (P<0.05); 同行中不同的大写字母表示不同品种间差异显著(P<0.05) Different capitals in the same row indicate the significant difference among different cultivars (P<0.05).

拉帕哈’幼苗的单株茎叶干质量均显著高于对照,分别较对照提高2.87、1.83和2.52倍及1.80、2.17和2.17倍;但1、2和4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理间无显著差异。在营养液中氮浓度相同的条件下,品种‘阿拉帕哈’幼苗的单株茎叶干质量均高于品种‘园蓝’和‘芭尔德温’。

2.1.3 对根冠比的影响 由表1还可以看出,随营养液中氮浓度的提高,品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗的根冠比均显著低于对照,经1、2和4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理后幼苗根冠比分别较对照降低66.67%、74.60%和76.19%,76.09%、56.52%和69.57%,56.52%、63.04%和45.65%。在营养液中氮浓度相同的条件下,品种‘园蓝’和‘阿拉帕哈’幼苗的根冠比无显著差异。

## 2.2 不同氮浓度对3个兔眼蓝浆果品种幼苗根和叶中全氮含量的影响

经氮浓度不同的营养液处理10周后兔眼蓝浆果品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗根和叶的全氮含量见表2。结果显示:不同氮浓度对品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗根和叶的全氮含量有显著影响。

2.2.1 对根中全氮含量的影响 由表2可以看出:随营养液中氮浓度的提高,品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗根的全氮含量呈逐渐增加的趋势,在4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理条件下达到最高。经1、2和4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理后,品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗根的全氮含量分别较对照增加1.90、2.39和3.25倍,0.95、1.32和1.32倍及0.57、1.62和2.35倍,且均显著高于对照。经1和2 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理后,品种‘芭尔德温’幼苗根的全氮含量高于品种‘园蓝’和‘阿拉帕哈’;而经4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理后,品种‘阿拉帕哈’幼苗根的全氮含量高于品种‘园蓝’和‘芭尔德温’,但3个品种间根的全氮含量无显著差异。

2.2.2 对叶中全氮含量的影响 由表2还可以看出:随营养液中氮浓度的提高,品种‘园蓝’和‘芭尔德温’幼苗叶的全氮含量呈先升高后降低的趋势,且均在2 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理条件下达到最高。经1、2和4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理后,品种‘园蓝’和‘芭尔德温’幼苗叶的全氮含量分别较对照增加3.17、3.75和3.65倍及1.98、2.72和2.22倍,且均显著高于对照。品种‘阿拉帕哈’幼苗叶的全氮含量随营养液中氮浓

度的提高呈逐渐升高的趋势,在4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理条件下最高;经1、2和4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理后,品种‘阿拉帕哈’幼苗叶的全氮含量显著高于对照,分别较对照增加1.62、1.63和1.81倍,但各处理组间无显著差异。在营养液中氮浓度相同的条件下,品种‘芭尔德温’幼苗叶的全氮含量均高于品种‘园蓝’和‘阿拉帕哈’。

表2 不同氮浓度对兔眼蓝浆果品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗根和叶中全氮含量的影响( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 2 Effect of different nitrogen concentrations on total nitrogen content in root and leaf of seedlings of cultivar ‘Gardenblue’, ‘Baldwin’ and ‘Alapha’ of *Vaccinium ashei* Reade ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

氮浓度/ mmol·L <sup>-1</sup> Conc. of nitrogen	不同品种根中全氮含量/mg·g <sup>-1</sup> Total nitrogen content in root of different cultivars		
	园蓝 Gardenblue	芭尔德温 Baldwin	阿拉帕哈 Alapha
0(CK)	6.68±1.07cC	12.63±0.47cA	9.30±0.78dB
1	19.39±3.57bB	24.59±0.72bA	14.62±1.25cC
2	22.66±5.66abA	29.24±1.83aA	24.41±2.96bA
4	28.37±0.90aA	29.35±3.35aA	31.12±1.43aA

  

氮浓度/ mmol·L <sup>-1</sup> Conc. of nitrogen	不同品种叶中全氮含量/mg·g <sup>-1</sup> Total nitrogen content in leaf of different cultivars		
	园蓝 Gardenblue	芭尔德温 Baldwin	阿拉帕哈 Alapha
0(CK)	2.66±0.75cA	3.86±0.93cA	4.09±0.48bA
1	11.10±0.74bA	11.52±1.12bA	10.72±0.47aA
2	12.63±0.33aB	14.34±0.39aA	10.76±0.55aC
4	12.38±0.72aA	12.41±0.17bA	11.50±0.50aA

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference among different treatments ( $P<0.05$ ); 同行中不同的大写字母表示不同品种间差异显著( $P<0.05$ ) Different capitals in the same row indicate the significant difference among different cultivars ( $P<0.05$ ).

## 2.3 不同氮浓度对3个兔眼蓝浆果品种幼苗叶片叶绿素含量的影响

经氮浓度不同的营养液处理10周后兔眼蓝浆果品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗叶片的叶绿素含量见表3。由表3可以看出:随营养液中氮浓度的提高,品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗叶片的叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量均呈先升高后降低的趋势。经1、2和4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理后,品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗叶片的叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量均显著高于对照;其中,品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗叶片的总叶绿素含量分别较对照增加3.13、3.13和2.83倍,1.38、1.89和1.59倍及1.81、2.16和2.06倍。在营养液中氮浓度相同的条件下,3个品种

表3 不同氮浓度对兔眼蓝浆果品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗叶片中叶绿素含量的影响( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 3 Effect of different nitrogen concentrations on chlorophyll content in leaf of seedlings of cultivar ‘Gardenblue’, ‘Baldwin’ and ‘Alapha’ of *Vaccinium ashei* Reade ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

氮浓度/ mmol · L <sup>-1</sup> Conc. of nitrogen	不同品种的叶绿素 a 含量/mg · g <sup>-1</sup> Chlorophyll a content of different cultivars		
	园蓝 Gardenblue	芭尔德温 Baldwin	阿拉帕哈 Alapha
0 (CK)	0.16±0.05bA	0.24±0.10bA	0.25±0.04cA
1	0.72±0.02aA	0.68±0.08aA	0.68±0.04bA
2	0.73±0.01aB	0.83±0.05aA	0.76±0.01aB
4	0.68±0.09aA	0.75±0.10aA	0.76±0.04aA

  

氮浓度/ mmol · L <sup>-1</sup> Conc. of nitrogen	不同品种的叶绿素 b 含量/mg · g <sup>-1</sup> Chlorophyll b content of different cultivars		
	园蓝 Gardenblue	芭尔德温 Baldwin	阿拉帕哈 Alapha
0 (CK)	0.08±0.02bA	0.09±0.04bA	0.10±0.03bA
1	0.27±0.01aA	0.19±0.03aB	0.23±0.02aA
2	0.26±0.02aA	0.24±0.01aA	0.25±0.01aA
4	0.24±0.04aA	0.21±0.04aA	0.23±0.03aA

  

氮浓度/ mmol · L <sup>-1</sup> Conc. of nitrogen	不同品种的总叶绿素含量/mg · g <sup>-1</sup> Total chlorophyll content of different cultivars		
	园蓝 Gardenblue	芭尔德温 Baldwin	阿拉帕哈 Alapha
0 (CK)	0.24±0.06bA	0.37±0.11bA	0.32±0.03cA
1	0.99±0.03aA	0.88±0.11aA	0.90±0.06bA
2	0.99±0.03aA	1.07±0.55aA	1.01±0.01aA
4	0.92±0.03aA	0.96±0.13aA	0.98±0.07abA

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference among different treatments ( $P < 0.05$ ); 同行中不同的大写字母表示不同品种间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different capitals in the same row indicate the significant difference among different cultivars ( $P < 0.05$ ).

间叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量总体上无显著差异。

## 2.4 不同氮浓度对 3 个兔眼蓝浆果品种幼苗叶片光合和气体交换参数的影响

经氮浓度不同的营养液处理 10 周后兔眼蓝浆果品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗叶片的光合和气体交换参数的影响见表 4。由表 4 可以看出:经 1、2 和 4 mmol · L<sup>-1</sup>氮处理后,品种‘园蓝’幼苗叶片的净光合速率 (Pn)、气孔导度 (Gs) 和蒸腾速率 (Tr) 呈逐渐增加的趋势,而胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 (Ci) 则呈逐渐减小的趋势,且均显著高于对照,但不同氮浓度处理间这 4 项参数均无显著差异。经 2 mmol · L<sup>-1</sup>氮处理后品种‘芭尔德温’幼苗叶片的 Pn、Gs、Ci 和 Tr 值均达到最高;其 Pn 值在 4 mmol · L<sup>-1</sup>氮处理下显著低于对照,Gs 和 Tr 值在 2 mmol · L<sup>-1</sup>氮处理下显著高于

对照,Ci 值与对照无显著差异。品种‘阿拉帕哈’幼苗叶片的 Pn 值在 1 和 4 mmol · L<sup>-1</sup>氮处理条件下显著高于对照,其 Gs 值在 1 mmol · L<sup>-1</sup>氮处理条件下显著高于对照,Tr 值在 1 和 2 mmol · L<sup>-1</sup>氮处理条件下显著高于对照,Ci 值则在 4 mmol · L<sup>-1</sup>氮处理条件下显著低于对照。经 0、1 和 2 mmol · L<sup>-1</sup>氮处理后,品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’间叶片的 Gs、Ci 和 Tr 值总体上无差异显著;而经 4 mmol · L<sup>-1</sup>氮处理后,品种‘园蓝’幼苗叶片的 Pn、Gs、Ci 和 Tr 值显著高

表4 不同氮浓度对兔眼蓝浆果品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗叶片光合和气体交换参数的影响( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 4 Effect of different nitrogen concentrations on photosynthetic and gas exchange parameters of leaf of cultivar ‘Gardenblue’, ‘Baldwin’ and ‘Alapha’ of *Vaccinium ashei* Reade ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

氮浓度/ mmol · L <sup>-1</sup> Conc. of nitrogen	不同品种的净光合速率/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Net photosynthetic rate of different cultivars		
	园蓝 Gardenblue	芭尔德温 Baldwin	阿拉帕哈 Alapha
0 (CK)	2.69±0.69bB	4.36±0.67abA	3.05±0.30bB
1	5.19±0.25aA	3.35±0.34bC	4.16±0.29aB
2	5.31±0.13aA	4.81±0.30bA	3.13±0.19bC
4	5.79±0.27aA	2.24±0.85cC	3.97±0.59aB

  

氮浓度/ mmol · L <sup>-1</sup> Conc. of nitrogen	不同品种的气孔导度/ $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Stomatal conductance of different cultivars		
	园蓝 Gardenblue	芭尔德温 Baldwin	阿拉帕哈 Alapha
0 (CK)	0.06±0.02bA	0.11±0.03bA	0.10±0.03bcA
1	0.17±0.02aA	0.10±0.02bB	0.14±0.02aAB
2	0.18±0.00aA	0.20±0.06aA	0.11±0.02abB
4	0.20±0.01aA	0.06±0.01bB	0.06±0.01cB

  

氮浓度/ mmol · L <sup>-1</sup> Conc. of nitrogen	不同品种的胞间 CO <sub>2</sub> 浓度/ $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ Intercellular CO <sub>2</sub> concentration of different cultivars		
	园蓝 Gardenblue	芭尔德温 Baldwin	阿拉帕哈 Alapha
0 (CK)	156.45±27.12bA	182.35±41.38aA	198.56±14.10aA
1	206.84±11.00aA	192.85±11.82aA	197.17±13.22aA
2	203.90±5.41aA	205.93±6.36aA	197.67±12.53aA
4	200.61±7.77aA	189.93±21.22aA	139.98±17.07bB

  

氮浓度/ mmol · L <sup>-1</sup> Conc. of nitrogen	不同品种的蒸腾速率/ $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Transpiration rate of different cultivars		
	园蓝 Gardenblue	芭尔德温 Baldwin	阿拉帕哈 Alapha
0 (CK)	1.87±0.73bA	3.16±0.65bA	2.85±0.62bA
1	6.26±0.98aA	4.32±0.60bA	5.99±1.44aA
2	6.71±0.33aAB	7.49±1.68aA	5.20±0.42aB
4	7.18±0.59aA	2.78±0.24bB	3.14±0.64bB

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference among different treatments ( $P < 0.05$ ); 同行中不同的大写字母表示不同品种间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different capitals in the same row indicate the significant difference among different cultivars ( $P < 0.05$ ).

于品种‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’。

## 2.5 不同氮浓度对3个兔眼蓝浆果品种幼苗叶片PS II最大光化学效率( $F_v/F_m$ )的影响

经不同氮浓度处理10周后兔眼蓝浆果品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗叶片的 $F_v/F_m$ 值见表5。由表5可以看出:随营养液中氮浓度的提高,品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗叶片的 $F_v/F_m$ 值均呈先升高后降低的趋势;经1、2和4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理后,3个品种幼苗叶片的 $F_v/F_m$ 值均显著高于对照。在营养液中氮浓度相同的条件下,品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗叶片的 $F_v/F_m$ 值总体上无显著差异。

表5 不同氮浓度对兔眼蓝浆果品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗叶片PS II最大光化学效率( $F_v/F_m$ )的影响<sup>1)</sup>  
Table 5 Effect of different nitrogen concentrations on the maximal photochemical efficiency of PS II ( $F_v/F_m$ ) of leaf of seedlings of cultivar ‘Gardenblue’, ‘Baldwin’ and ‘Alapha’ of *Vaccinium ashei* Reade<sup>1)</sup>

氮浓度/ mmol·L <sup>-1</sup> Conc. of nitrogen	不同品种的 $F_v/F_m$ 值 $F_v/F_m$ value of different cultivars		
	园蓝 Gardenblue	芭尔德温 Baldwin	阿拉帕哈 Alapha
0(CK)	0.79±0.01bA	0.79±0.01bAB	0.76±0.02bB
1	0.82±0.00aA	0.82±0.01aA	0.81±0.01aA
2	0.83±0.00aA	0.82±0.01aA	0.81±0.01aA
4	0.82±0.01aA	0.81±0.01aA	0.80±0.01aA

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )  
Different small letters in the same column indicate the significant difference among different treatments ( $P<0.05$ ); 同行中不同的大写字母表示不同品种间差异显著( $P<0.05$ )  
Different capitals in the same row indicate the significant difference among different cultivars ( $P<0.05$ ).

## 3 讨论和结论

在根、茎和叶之间分配调节生物量是植物生长的关键过程。当土壤氮营养缺乏时,植物向根系提供更多的碳同化物质,促进根系生长发育<sup>[18-19]</sup>;而增施氮肥可促进植物生物量的增加<sup>[8]</sup>。本研究中,随营养液(pH 5.0)中氮浓度的提高,对兔眼蓝浆果品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗生长的影响有一定差异,其中,品种‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’幼苗的单株茎叶干质量增加,根冠比降低,单株根系干质量无显著差异;品种‘园蓝’幼苗的单株茎叶干质量也有所增加,根冠比降低,特别是经1 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理后其幼苗的单株根系干质量显著高于对照,但氮浓度提高(2和4 mmol·L<sup>-1</sup>)对其单株根系干质量无显著影

响。表明在营养生长前期,增加氮浓度有利于兔眼蓝浆果茎和叶的生长,但对其根系生长无明显影响;施用1~4 mmol·L<sup>-1</sup>氮可显著促进兔眼蓝浆果品种‘园蓝’、‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’植株地上部分生长。

氮是植物生长所需的大量营养元素,氮缺乏或过量均可导致植物生长代谢紊乱<sup>[20-21]</sup>。Eck<sup>[22]</sup>于1988年确立了兔眼蓝浆果叶片内主要元素分析标准值,认为兔眼蓝浆果叶片中氮含量低于12 mg·g<sup>-1</sup>时为缺氮,氮含量在12~17 mg·g<sup>-1</sup>范围内为适合。本研究结果显示:经1 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理后兔眼蓝浆果品种‘园蓝’和‘芭尔德温’幼苗叶片的全氮含量低于12 mg·g<sup>-1</sup>,而经2和4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理后二者叶片的全氮含量高于12 mg·g<sup>-1</sup>;经1、2和4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理后品种‘阿拉帕哈’幼苗叶片的全氮含量均低于12 mg·g<sup>-1</sup>,但实验过程中并未出现叶片失绿现象,与Eck确立的标准值有一定差异。推测其原因可能是Eck确立的元素分析标准值是针对成熟叶片的,而本研究中测定的是全株叶片的全氮含量,全株叶片中除成熟叶片外还包含嫩叶和老叶,从而降低了叶片全氮含量的平均值。

氮素是影响叶片叶绿素含量的最主要因子之一。庄辉发等<sup>[23]</sup>和金相灿等<sup>[24]</sup>的研究结果表明:不同氮肥施用量对植物的光合特性有一定影响,增施氮肥可提高叶片叶绿素含量、光合速率及光补偿点等指标;而朱根海等<sup>[25]</sup>认为,提高叶片光合能力是品种改良和高产的重要内容;但也有研究者认为,氮浓度过高会导致叶片内营养过量并使氮素转移至其他器官,进而造成叶片早衰及光合能力下降<sup>[21]</sup>。本研究中,随营养液中氮浓度的提高,3个兔眼蓝浆果品种幼苗的叶片叶绿素含量以及Pn、Gs和Tr值总体上显著高于对照;而经4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理后,品种‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’叶片的Pn、Gs和Tr值大多降低,可能与高浓度氮处理抑制了叶片的光合效率有关。相比较而言,经4 mmol·L<sup>-1</sup>氮处理后,品种‘园蓝’幼苗叶片的Pn、Gs和Tr值显著高于品种‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’,说明品种‘园蓝’更适宜高氮环境。

综合分析结果表明:在兔眼蓝浆果品种‘芭尔德温’和‘阿拉帕哈’的营养生长期,施用少量氮肥即可促进其幼苗地上部分生长,而较高浓度氮处理仍可显著促进‘园蓝’植株生长,且适当施用氮肥可提高兔眼蓝浆果叶片的光合效率,从而促进其营养生长。但是,不同品种的适宜施氮量不同,因而,兔眼蓝浆果的

栽培过程中,应针对不同的土壤条件及品种制定适宜的施氮量,以达到兔眼蓝浆果丰产的目标。

#### 参考文献:

- [1] 顾 姻,贺善安. 蓝浆果与蔓越桔[M]. 北京:中国农业出版社,2001:4-9.
- [2] 於 虹,贺善安,顾 姻. 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] 韦杰楠,李亚东,张志东,等. 氮磷钾肥对越橘的产量效应及优化分析[J]. 吉林农业大学学报,2007,29(3):284-288.
- [4] HANSON E J, RETAMALES J B. Effect of nitrogen source and timing on highbush blueberry performance[J]. HortScience, 1992, 27: 1265-1267.
- [5] BALLINGER W E, KUSHMAN L J. Factors affecting the mineral element content of leaves and fruit of Wolcott blueberry [J]. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, 1966, 88: 325-330.
- [6] BAILEY J S, GERSTEN B, VALACH E, et al. Response of Rubel blueberry bushes to ammonium sulfate and sulfate of potash-magnesia [J]. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, 1966, 89: 237-242.
- [7] 李亚东. 越橘(蓝莓)栽培与加工利用[M]. 长春:吉林科学技术出版社,2001:2-6.
- [8] 林郑和,陈荣冰,陈常颂. 植物对氮胁迫的生理适应机制研究进展[J]. 湖北农业科学,2011,50(23):4761-4764.
- [9] 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.
- [10] 陈华江,陈伟平,李建华,等. 浙江省适栽蓝莓品种筛选试验初报[J]. 浙江农业学报,2013,25(4):777-781.
- [11] DARNELL R L, CRUZ-HUERTA N. Uptake and assimilation of nitrate and iron in cultivated and wild *Vaccinium* species [J]. International Journal of Fruit Science, 2011, 11: 136-150.
- [12] POONNACHIT U, DARNELL R. Effect of ammonium and nitrate on ferric chelate reductase and nitrate reductase in *Vaccinium* species[J]. Annals of Botany, 2004, 93: 1-7.
- [13] DARNELL R L, HISS S A. Uptake and assimilation of nitrate and iron in two *Vaccinium* species as affected by external nitrate concentration[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2006, 131: 5-10.
- [14] WRIGHT G C, PATTEN K D, DREW M C. Salinity and supplemental calcium influence growth of rabbiteye and southern highbush blueberry[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1992, 117: 749-756.
- [15] 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.
- [16] 舒 展,张晓素,陈 娟,等. 叶绿素含量测定的简化[J]. 植物生理学报,2010,46(4):399-402.
- [17] 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,2000:308-310.
- [18] CHAPIN F S III. The mineral nutrition of wild plants[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1980, 11: 233-260.
- [19] COOMES D A, GRUBB P J. Responses of juvenile trees to above- and belowground competition in nutrient-starved Amazonian rain forest[J]. Ecology, 1998, 79: 768-782.
- [20] 庞 薇. 土肥管理对蓝莓生长、产量及果实品质的影响[D]. 北京:北京林业大学林学院,2012:19-28.
- [21] SPIERS J M. Elemental leaf content and deficiency symptoms in rabbiteye blueberries: 1. Nitrogen[J]. Journal of Plant Nutrition, 1983, 6: 1059-1071.
- [22] ECK P. Blueberry Science [M]. New Brunswick: Rutgers University Press, 1988: 135-169.
- [23] 庄辉发,王 辉,王 华,等. 不同荫蔽度对香草兰光合作用与产量的影响[J]. 江苏农业科学,2012,40(8):239-240.
- [24] 金相灿,楚建周,王圣瑞. 水体氮浓度、形态对黑藻和狐尾藻光合特征的影响[J]. 应用与环境生物学报,2007,13(2):200-204.
- [25] 朱根海,张荣铤. 叶片含氮量与光合作用[J]. 植物生理学报,1985(2):9-12.

(责任编辑:张明霞)