

种植密度对蓝蓟光合特性和产量的影响

徐惠风¹, 魏龙雪¹, 高志新², 侯威¹, 冯政东¹

(1. 吉林农业大学 农学院, 吉林 长春 130118; 2. 中邦园林股份有限公司, 吉林 长春 130118)

摘要:以蓝蓟为试材, 采用裂区试验设计, 以种植行距(30、60 cm)为主区, 株距(10、15、20、25、30 cm)为裂区, 研究了大田环境下不同种植密度对蓝蓟光合特性和产量的影响。结果表明: 在行距 30 cm、株距 25 cm(T4)和行距 60 cm、株距 20 cm(S3)情况下, 蓝蓟各光合特性指标数值相互接近; 随着株距的增高, 光合指标增长缓慢, 随着冠层的增高, 光合速率呈增长趋势, T4 和 S3 二者群体叶面积指数相似, S3 时叶面积指数(LAI)小高峰出现于鼓粒期(9月7日), 晚于 T4 时的盛花期(7月27日); 随着密度的增加, 百粒重和单株籽粒数逐渐降低, 产量总体逐渐减少(T5(行株距 30、30 cm)、S4(行株距 60、25 cm)、S5(行株距 60、30 cm)除外); T4 和 S3 处理产量显著高于其它株距配置, 表明高产最终取得的是群体产量的提高, 而不仅是单株个体产量的增加, 产量随种植密度增加到一定程度后不再增加, 说明 T4 和 S3 是蓝蓟合理的栽培密度。

关键词:蓝蓟; 密度; 光合特性; 产量; 影响

中图分类号:S 565.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)10-0001-05

蓝蓟(*Echium vulgare*)属紫草科(Boraginaceae)蓝蓟属(*Echium*)二年生草本植物。蓝蓟种籽富含不饱和酸, 其中, 含 11%~13% 的十八碳四烯酸(SA, C18:4n-3)对于防止心脏血管疾病和炎症的出现具有极为重要的作用^[1-3]。从蓝蓟中提取的甘油三酯被认为是极有价值的脂肪酸的真正唯一且稀缺的来源^[4], 2009 年底, 欧洲/亚洲 BV Bioriginal 获得其精致的蓝蓟油新型食品的批准。蓝蓟作为特殊油料作物, 除了可以在化妆品中使用, 还可以用于食品和膳食补充剂^[5-7]。光合作用是决定作物产量的最重要因素, 光合能力大小直接影响作物产量的高低^[8]。提高群体光能利用, 特别是维持中上部叶片较大的光合速率及持续时间对于经济作物产量的形成十分重要^[9]。不同种植密度可以调控植株群体冠层结构性状^[10], 最终形成较高的群体产量。现以蓝蓟为试材, 研究不同种植密度对蓝蓟植株叶片光合特性和产量的影响, 以期为高产蓝蓟栽培技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于吉林省公主岭市怀德镇和气村。地处东经 124°02'~125°18'、北纬 43°11'~44°15', 属于中温带半湿润地区大陆性季风气候, 平均气温 5.6℃, 年平

均降水量 594.8 mm。盛行西南风, 历年平均风速 3.9 m/s。年日照时数 2 785.3 h, 无霜期 144~157 d。

1.2 试验材料

供试材料为蓝蓟, 属于特种油料作物。

1.3 试验方法

该试验于 2012~2013 年进行, 采用裂区设计, 以行距(30、60 cm)为主区, 裂区为种植株距(10、15、20、25、30 cm)处理, 重复 3 次。其中, 行距 30 cm(R1)各株距处理分别用 T1、T2、T3、T4、T5 表示; 行距 60 cm(R2)各株距处理分别用 S1、S2、S3、S4、S5 表示。小区行长 5 m, 小区面积为 18 m²。5 月 10 日播种, 机械条播, 覆土 0.5 cm, 正常田间管理。

1.4 项目测定

1.4.1 光合速率的测定 从出苗开始, 用 Li-6400 光合仪对苗期(6-20)、初花期(7-13)、盛花期(7-27)、鼓粒期(8-13)、成熟期(9-7)各生育时期功能叶片的光合速率进行定株测定(每次测定 4 株); 光合仪测定条件: 流速 500 μmol/s, 红蓝光源光量子通量密度(PFD)为 1 200 μmol·m⁻²·s⁻¹, 叶室温度固定值为 18℃, 湿度 20%。鼓粒期(8-13), 6:00~18:00, 利用外界自然光源测定植株叶片净光合速率日变化。

1.4.2 各冠层光合速率测定 在鼓粒期(8-13)按植株平均高度将冠层由下至上每 20 cm 分 1 层, 共 5 层, 采用 Li-6400 光合测定仪, 在上午 9:00~10:00 时测定每层叶片光合速率, 每处理挂牌测定 10 株。冠层每层次光合速率采用的是平均值。

第一作者简介:徐惠风(1965-), 女, 博士, 副教授, 研究方向为作物栽培生理及生态环境。E-mail: xhfzj@163.com.

基金项目:吉林省科技厅基础应用资助项目(201105070); 吉林省教育厅重大资助项目(201240); 吉林省科技厅重点资助项目(2013)。

收稿日期:2014-01-20

1.4.3 叶面积指数(LAI)测定 于苗期(6-20)、初花期(7-13)、盛花期(7-27)、鼓粒期(8-13)、成熟期(9-7)选择生长发育一致、叶片无病斑和破损的植株测定,重复3次。单叶叶面积采用方格法计算, $LAI = \text{单株叶面积} \times \text{单位土地面积内株数} / \text{单位土地面积}$ 。

1.4.4 产量测定 成熟后收获,选择生长发育一致植株,在自然情况下晾晒至恒重,装袋并分别整理,称量和计算产量、单株籽粒产量、百粒重和单株籽粒数,重复3次。

1.5 数据分析

所有数据图表通过 Excel、WPS 表格和 SPSS 软件进行分析和处理。

2 结果与分析

2.1 蓝蓟净光合速率的变化

2.1.1 不同种植密度、不同时期蓝蓟光合速率的变化

由图1可以看出,在不同种植密度下,蓝蓟全生育时期的净光合速率变化均呈双峰曲线变化,净光合速率峰值

出现在初花期(7-13)、鼓粒期(8-13)前后,最低值出现在成熟期(9-7)左右。在行距 30 cm(R1)时,各时期净光合速率最大值出现在鼓粒期(8-13),为 $19.84 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;初花期、盛花期和鼓粒期,在该行距下,株距间的差值分别为 3.7、3.6、3.1 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。然而在行距 60 cm(R2)时,各时期净光合速率最大值也出现在鼓粒期(8-13),为 $21.10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;初花期、盛花期和鼓粒期,该行距下,株距间的差值则分别为 3.6、3.0、2.9 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由各时期叶片净光合速率均值可知,在生育期内,R2 下的叶片群体冠层与 R1 的相比,具有相对较高的净光合速率,有利于生殖器官的养分积累。此外,在 T4 和 S3 情况下的各时期叶片净光合速率均值分别为 15.5、16.26 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。说明缩小行距、增加株距或增大行距、缩小株距对蓝蓟整个生育时期光合特性的改善有一定的作用。

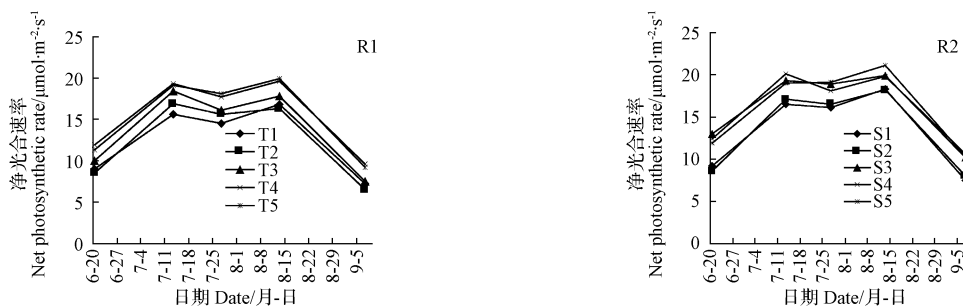


图1 蓝蓟不同种植密度、不同时期叶片净光合速率的变化

Fig. 1 Dynamics of leaf net photosynthetic rate of *Echium vulgare* under different densities at different growth stages

2.1.2 不同种植密度蓝蓟净光合速率日变化 如图2所示,不同种植密度下植株叶片净光合速率日变化的最高峰值出现在约 10:30、最低峰值出现在 18:00,且在中午 12:00 前后各处理的净光合速率均呈现低谷,13:30 左右出现午后小高峰。在行距 30 cm(R1)时,各株距叶片净光合速率日变化最大值为 $13.36 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 10:30、12:00 和 13:30 时间点,在该行距下,株距间的差值分别为 8.10、3.30、4.8 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。然而在行距 60 cm(R2),各株距的叶片净光合速率日变化最大值为

$15.26 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;在 10:30、12:00 和 13:30 时间点,该行距下,株距间的差值则分别为 7.9、5.3、5.8 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。说明不同密度下,蓝蓟净光合速率日变化曲线均有明显的高峰和低谷,并随环境条件的变化出现波动;蓝蓟亦存在光合午休现象,且行株距的合理调整利于缓解午休现象。随种植密度的变化,净光合速率日变化基本一致,但密度较大时,折线变化并不规律,这可能与观测当天或本阶段的气象条件有关。

2.1.3 蓝蓟冠层叶片净光合速率变化 如图3所示,各

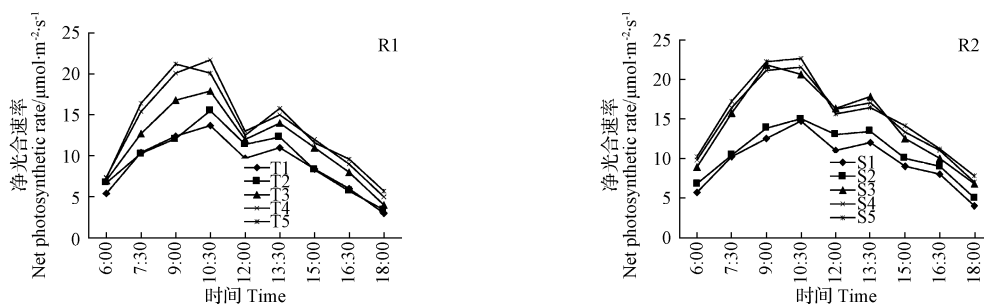


图2 种植密度对蓝蓟净光合速率日变化的影响

Fig. 2 Effect of planting densities on photosynthetic diurnal variation of *Echium vulgare*

冠层高度的净光合速率在 R1 各处理下降的幅度为 87.01%~88.13%;R2 各处理则为 85.17%~87.92%。在不同种植密度下,同一冠层叶片的净光合速率随着密度的增加呈降低趋势;R1 行距时,T1~T5 各处理在 30 cm 以下、30~45、45~60、60~75 cm 及 75 cm 以上各冠层净光合速率差值分别为 0.29、0.91、1.1、1.4、

2.12 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。而在 R2 行距时,S1~S5 各处理的差值分别为 0.48、1.01、1.03、1.14、2.01 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。说明各行株距条件下随冠层降低,净光合速率均呈逐渐降低的趋势;在高密度下,由于冠层透光率较低,从而使净光合速率下降较快,不利于生育后期光合产物的积累。

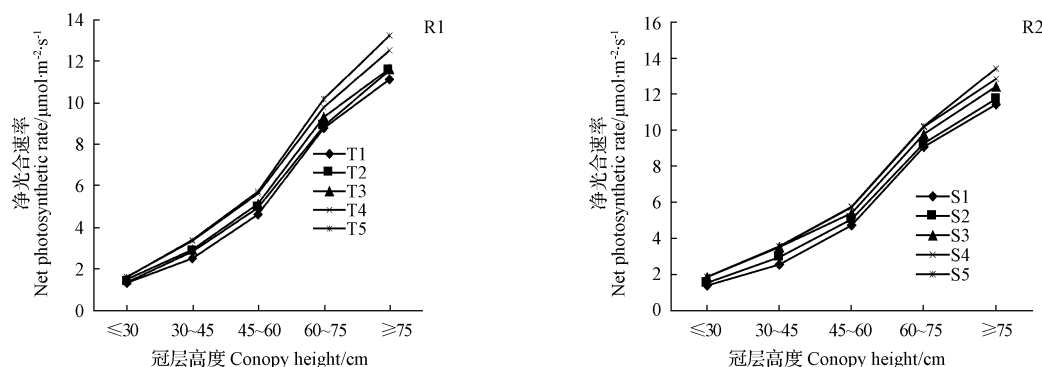


图3 蓝蓟各冠层叶片净光合速率变化

Fig. 3 The net photosynthetic variation of *Echium vulgare*'s per canopy

2.2 蓝蓟叶面积指数(LAI)的变化

由图4可知,不同种植密度下蓝蓟全生育时期的群体叶面积指数均呈单峰曲线变化;在30 cm行距下,各时期群体叶面积指数均值分别为3.553、3.549、3.705、3.845、3.800;各时期株距处理间LAI极值差分别为0.498、0.438、0.551、0.344、0.724;可知该行距下各时期

叶面积指数小高峰出现于盛花期(7-27)。与此不同,在60 cm行距下,各时期的群体叶面积指数分别为3.620、3.721、4.050、3.990、3.916;各时期株距处理间LAI极值差分别为0.580、0.434、0.346、0.942、0.663;亦可知此指数小高峰出现于鼓粒期(8-13),晚于行距30 cm时的盛花期(7-27)。

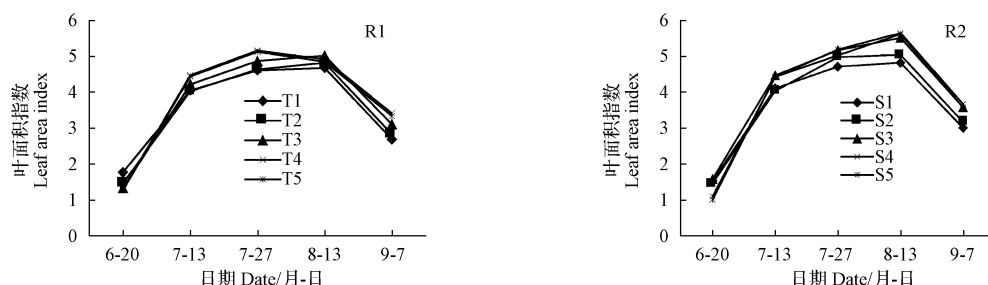


图4 行距和株距配置对蓝蓟叶面积指数的影响

Fig. 4 Effect of row spacing and planting distance on LAI of *Echium vulgare*

苗期密度越大,群体叶面积指数越大,但是随着株距的增大,群体叶面积指数变化缓慢;成熟期(9-7)T5处理下LAI极值差大于S5下LAI极值差(0.724 > 0.663),说明随密度增加,叶片间相互遮挡增大,后期植株间竞争加剧,叶片衰老加快。群体叶面积指数在T4和S3情况时,群体叶面积指数趋于稳定,之后随密度的继续加大,该指数不会再增大或增长缓慢,相比于其它种植密度更好的发挥了群体的长势,说明种植密度大时,缩小行距增加株距或增大行距缩小株距使蓝蓟个体空间更合理。

2.3 行距及株距配置对蓝蓟产量及产量性状的影响

表1表明,随种植密度的增加,单株籽粒数和百粒

重均逐渐降低,同一种植行距下的产量,R1不同株距间差异较小(极值差:21.82),T4处理显著高于其它株距配置,T5处理时的百粒重和单株籽粒数均为极大值,但产量较其它株距的低,表明随种植密度增加至一定程度后,产量便不再增加。R2不同株距配置间差异较大(极值差:49.52),S3处理的产量显著高于S4及S5,而后二者又显著低于S1及S2,R1产量平均值159.87 kg/hm² > R2产量平均值147.31 kg/hm²,因此,在一定程度上,T4和S3行株距配置增产的原因与密度有关,二者产量接近,表明高产的最终取得是群体产量的提高,而不仅是单株个体产量的增加。

表1 行距及株距配置对蓝蓟产量及产量性状的影响

Table 1 Effect of plant row spacing and

planting distance on yield traits and yield of *Echium vulgare*

行距 Row spacing	株距 Planting distance	产量 Yield /kg·hm ⁻²	百粒重 Weight of 100-kernel/g	单株籽粒数 Number of kernels per plant/g·株 ⁻¹
R1	T1	151.90c	0.171c	300c
	T2	156.09b	0.218b	358b
	T3	158.98b	0.269b	394b
	T4	173.72a	0.310a	467a
	T5	156.65b	0.317a	488a
	平均值 Average	159.87	0.258	401
R2	S1	150.93b	0.230c	386d
	S2	151.40b	0.296b	465c
	S3	170.86a	0.326a	597b
	S4	139.98c	0.330a	606a
	S5	121.34d	0.331a	611a
	平均值 Average	147.31	0.303	533

注:同一性状中的数值标以不同字母表示在同一密度下不同行距配置处理在 $P<0.05$ 水平上差异显著,SPSS 数据统计。

Note: Values within a column followed by different letters are significantly different at $P<0.05$ as determined by SPSS.

3 讨论与结论

合理的群体结构是获得高产的重要条件,开花后维持较大的光合面积是高产农田群体结构的重要特征之一^[11-13]。张晓艳等^[14]研究表明,随种植密度增加叶面积指数及光合势呈增加趋势。良好的冠层结构可提高群体光能利用率,影响作物光合作用^[15]。净光合速率是光合作用的量度,其与产量之间存在显著的相关性^[16]。各时期的种植密度对净光合速率影响不同^[17]。有研究表明^[18-20],比叶重与净光合速率及产量三者存在显著的相关性,且与冠层高度存在一定关系;还有研究表明^[21-22],随种植密度的增加,叶片净光合速率呈逐渐下降趋势。该研究表明不同层次净光合速率随着种植密度的增加而降低,高密度与低密度群体间差异达显著或极显著水平,且呈正相关。与前期生态因子对蓝蓟高产栽培的研究结果大致相当^[23-24],说明高密度群体内光分布不合理,易导致光合性能降低和产量减少。

60 cm 行距下的植株鼓粒期净光合速率日变化曲线平稳,其日变化中光合作用有效时间明显长于 30 cm 行距的,而 30 cm 行距的在盛花期,对光强的滞后效应较明显;T4(行距 30 cm、株距 25 cm)、S3(行距 60 cm、株距 20 cm)情况下的蓝蓟植株各时期光合特性接近,随着株距的增加,光合特性增长缓慢;群体叶面积指数在 T4 和 S3 情况时,群体叶面积指数趋于稳定,相比于其它种植密度更好的发挥了群体的长势,说明缩小行距增加株距或增大行距缩小株距均能使蓝蓟群体空间更为合理;T4 和 S3 情况下的产量接近,说明宽垄密植和窄垄稀植均是获得蓝蓟高产的栽培方式。综上所述,该试验认为行距 30 cm、株距 25 cm 和行距 60 cm、株距 20 cm 即 T4、S3 为蓝蓟适宜的高产栽培密度。

参考文献

- [1] Kimberley, Miranda Forrest L M, Boudyguina E, et al. Echium oil reduces atherosclerosis in apoB100-only LDLrKO mice[J]. Atherosclerosis, 2011, 220(1): 118-211.
- [2] Anonymous. Refined Echium Oil[J]. Nutraceutical Business and Technology, 2010, 6(3): 45-64.
- [3] Maddonni G A, Otegui M E, Cirilo A G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation[J]. Field Crops Res, 2001, 71: 183-193.
- [4] Kitesa S M, Young P, Nattrass G, et al. When balanced for precursor fatty acid supply echium oil is not superior to linseed oil in enriching lamb tissues with long-chain n-3 PUFA[J]. British Journal of Nutrition, 2011, 108(1): 71-79.
- [5] Rabbani M, Sajjadi S E, Khalili S A. A lack of tolerance to the anxiolytic action of *Echium amoenum* [J]. Research in Pharmaceutical Sciences, 2012, 6(2): 101-602.
- [6] Qing Y, O'Shea, Michael T. Dietary Echium oil increases tissue (n-3) Long-Chain polyunsaturated fatty acids without elevating hepatic lipid concentrations in premature neonatal rats 1, 2[J]. The Journal of Nutrition, 2009, 139(7): 66-79.
- [7] 张晓艳, 杜吉到, 郑殿峰. 密度对大豆群体冠层结构及光合特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 30(2): 185-241.
- [8] Katayoun M S, Majid S, Mohammad A. Chemical composition and anti-microbial activity of essential oil of *Echium italicum* L[J]. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 2009, 12(5): 557-561.
- [9] Warnar M. Echium; the soil-to-oil source of essential fatty acids[J]. Nutraceutical Business and Technology, 2010, 6(4): 22-45.
- [10] Purcell L C, Ball R A, Reaper J D, et al. Radiation use and biomass production in soybean at different plant population densities[J]. Crop Science, 2002, 42: 172-177.
- [11] 周勤波, 杨国敏, 孙淑娟. 不同株行距配置对夏大豆群体结构及光截获的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(3): 691-697.
- [12] Awal M A, Koshi H, Ikeda T. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy[J]. Agric For Meteorol, 2007, 139: 74-83.
- [13] 郑殿峰, 张晓艳, 李建英, 等. 大豆群体光合特性的研究现状[J]. 大豆科学, 2007, 26(3): 412-416.
- [14] 张晓艳, 杜吉到, 郑殿峰, 等. 大豆不同群体叶面积指数及干物质积累与产量的关系[J]. 中国农学通报, 2006, 22(11): 161-163.
- [15] 杜吉到, 张晓艳, 李建英, 等. 密度对大豆群体冠层微气象特征及产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(2): 245-251.
- [16] Chikov V I. Evolution of notions about relationships between photosynthesis and plant productivity[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2008, 55(1): 115-209.
- [17] 段巍巍, 李慧玲, 肖凯, 等. 密度对玉米光合生理特性和产量的影响[J]. 玉米科学, 2007(2): 111-242.
- [18] Lawson T, Kramer D M, Raines C A. Improving yield by exploiting mechanisms underlying natural variation of photosynthesis[J]. Current Opinion in Biotechnology, 2012, 23(2): 215-220.
- [19] Tadaki H, Shimpei O. Mean residence time of leaf number, area, mass, and nitrogen in canopy photosynthesis[J]. Oecologia, 2012, 169(4): 927-937.
- [20] 郑宝香, 满为群, 杜维广, 等. 高光效大豆光合速率与主要光合生理指标及农艺性状的关系[J]. 大豆科学, 2008(3): 240-361.
- [21] 周勤波, 孙淑娟, 陈雨海, 等. 株行距配置对夏大豆光利用特性、干物质积累和产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2008(3): 235-353.
- [22] 徐惠风, 高志新. 水分、pH 值、光照对蓝蓟生长性状及产量的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2011(3): 221-453.
- [23] 高志新. 蓝蓟(*Echium vulgare*)高产栽培技术的初步研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2012: 667-981.

咸淡水交替灌溉对芹菜生长及品质的影响

王艳芳, 曹 玲, 陈宝悦, 刘溪静, 王 倩

(中国农业大学 农学与生物技术学院, 设施蔬菜生长发育调控北京市重点实验室, 北京 100193)

摘 要:以芹菜为试材, 研究盆栽条件下咸水(NaCl 溶液 60 mmol/L)与淡水交替灌溉对芹菜生长、生理生化特性及品质的影响。结果表明:只浇咸水可显著抑制芹菜株高生长, 其抗氧化酶活性、叶绿素含量及可溶性糖含量显著升高;随着淡水灌溉次数的增加, 可降低 NaCl 对芹菜生长、生理生化特性及品质的抑制作用;其中, 1:2 咸淡水交替灌溉处理的芹菜叶片数、干鲜重、MDA 及叶绿素含量、维生素 C 及膳食纤维含量相对于淡水处理差异均不显著, 未对芹菜产生显著胁迫, 说明 1:2 咸淡水交替灌溉是较适宜的咸淡水交替灌溉方式。

关键词:芹菜;咸水;交替灌溉;生长;生理生化特性;品质

中图分类号:S 636.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)10-0005-04

水资源短缺是目前农业生产面临的重要挑战, 如何充分利用水资源, 缓解农业用水危机是当前全世界共同

第一作者简介:王艳芳(1990-), 女, 山西临汾人, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜种子与栽培生理研究。E-mail: ciffie0110@126.com.

责任作者:王倩(1964-), 女, 山东济南人, 博士, 教授, 博士生导师, 现主要从事蔬菜种子与栽培生理等研究工作。E-mail: wangq@cau.edu.cn.

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项资助项目(201203003);现代农业产业技术体系北京市叶类蔬菜创新团队专项资金资助项目(blvt-08)。

收稿日期:2014-01-21

面临的重要课题。对于劣质水, 尤其是微咸水的利用正越来越受到人们的重视。对于微咸水的定义国外有多种分类标准, 我国一般认为微咸水是指矿化度在 2~5 g/L 范围内的水资源, 大多数地表土壤盐渍化地区的地下水和地表径流都会形成咸水、微咸水^[1]。中国的微咸水资源接近 200 亿 m³, 且存在于地表及浅层地下水的比例较高^[2]。因此, 微咸水在农业灌溉方面潜力巨大, 微咸水的灌溉利用, 对于我国农业发展也具有重要意义。微咸水中的盐分能与土壤颗粒发生作用, 改变土壤的理化性质, 从而对植株生长产生影响^[3]。但是不恰当的灌溉方法和模式会造成土壤次生盐碱化等现象, 降低

Effect of Plant Density on Photosynthetic Characters and Yield of *Echium vulgare*

XU Hui-feng¹, WEI Long-xue¹, GAO Zhi-xin², HOU Wei¹, FENG Zheng-dong¹

(1. College of Agriculture, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118; 2. Zhong Bang Garden Co. Ltd., Changchun, Jilin 130118)

Abstract: Experimental treatments applied by a split plot design with *Echium vulgare* as test material, row spacing (30, 60 cm) factor was assigned to the main plot and plant spacing (10, 15, 20, 25, 30 cm) factor was assigned to the subplot to investigate the influence on photosynthetic characteristics of *Echium vulgare*, and density on yield and yield components in the field conditions were studied. The results showed that, the index values of photosynthetic characteristics in either case T4 and S3 were isometric each other, as plant spacing of increased, the index values of photosynthetic characteristics grew slowly; as the canopy increased, photosynthetic rate with an increasing trend; both T4 and S3 were similar to the leaf area index (LAI), the LAI little spikes of S3 at the seed filling stage, and was later to the full-bloom stage of T4. Yields of T4 were higher than other plant spacing configuration significantly, S3 production was significantly higher than other configurations too. As the density increased, 100-kernel weight and number of Kernels per plant decreased, the overall yield also decreased (exclude T5 (row and plant space 30, 30), S4 (row and plant space 60, 25), S5 (row and plant space 60, 30)). T4 and S3 yield factors significantly increased, it showed that high output eventually yield enhancement, rather than just individual yield of per plant increased. With the density increased to a certain extent, yield did not increase. T4 and S3 were *Echium vulgare*'s reasonable planting density.

Key words: *Echium vulgare*; density; photosynthetic characteristic; yield; effect