

大蒜不同品种及不同分瓣方式水培青蒜苗生长和品质产量的比较

刘 静^{1,*}, 秦 瑜^{2,*}, 王立霞¹, 刘中良³, 周丽君¹, 张云飞¹, 刘世琦^{1,**}

(¹ 山东农业大学园艺科学与工程学院/山东省大蒜工程技术研究中心/山东果蔬优质高效生产协同创新中心/作物生物学国家重点实验室/农业部黄淮地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 山东泰安 271018; ² 潍坊工程职业学院, 山东潍坊 262500; ³ 泰安市农业科学研究院, 山东泰安 271000)

摘 要: 在水培条件下, 对大蒜品种‘金乡 3 号’、‘苍山糙蒜’和‘四川早薹’不同分瓣方式(单瓣、半头和整头)种植的青蒜苗生长和品质产量进行比较, 结果表明: 在单瓣种植条件下, ‘金乡 3 号’的生长量(株高、假茎粗、假茎长及单株鲜质量)、综合品质及青蒜苗产量显著高于其他两个品种。‘金乡 3 号’单瓣种植的青蒜苗生长量(株高、假茎粗、假茎长及单株鲜质量)、色素含量、光合参数、根系活力、综合品质及产量显著高于其他两个处理。因此, 水培青蒜苗较好的品种为‘金乡 3 号’, 且较好的种植方式为单瓣种植。

关键词: 青蒜苗; 品种; 分瓣方式; 品质; 产量

中图分类号: S 633.4

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2018) 05-0959-08

Effects of Different Varieties and Planting Patterns on the Growth and Quality, Yield of Aquicultural Garlic Seedlings

LIU Jing^{1,*}, QIN Yu^{2,*}, WANG Lixia¹, LIU Zhongliang³, ZHOU Lijun¹, ZHANG Yunfei¹, and LIU Shiqi^{1,**}

(¹College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/Shandong Garlic Engineering Research Center/Shandong Collaborative Innovation Center for High Quality and High Efficiency Production of Fruits and Vegetables/State Key Laboratory of Crop Biology/Ministry of Agriculture Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops in Huanghuai Region, Tai'an, Shandong 271018, China; ²Weifang Engineer Vocational College, Weifang, Shandong 262500, China; ³Tai'an City Agricultural Science Research Institute, Tai'an, Shandong 271000, China)

Abstract: The research was to study the growth, quality and yield of garlic seedlings with different varieties and planting patterns under hydroponic conditions. The garlic varieties were ‘Jinxiang 3’, ‘Cangshan Caosuan’ and ‘Sichuan Zaotai’. The planting patterns of garlic were single cropping, half head planting and whole head planting. The results showed that: in the single planting conditions, the ‘Jinxiang 3’ seedling increments, the comprehensive quality and yield were significantly higher than

收稿日期: 2018-02-10; **修回日期:** 2018-04-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(31372084); 山东农业大学双一流建设项目

*共同第一作者 Contributed equally to this work

** 通信作者 Author for correspondence (E-mail: liusq99@sda.edu.cn)

other varieties. For the ‘Jinxiang 3’ garlic with single planting, the garlic seedling increment, pigment content and photosynthetic parameter (P_n , E , G_s) of leaf, the root activity, the comprehensive quality and aquicultural garlic seedlings yield were significantly higher than other treatments. Therefore, a better variety of hydroponics is ‘Jinxiang 3’, and the reasonable planting type is single planting.

Keywords: garlic seedling; variety; planting pattern; quality; yield

不同品种与不同种植方式一定程度上决定了作物的产量和品质。陈勇等(2005)在探讨6种不同温度下培育的4个萝卜新品种芽苗菜产量的试验中发现,16℃栽培条件下的‘雪玉大根’萝卜品种的经济产量极显著高于其它所有处理组合;刘磊等(2012)研究指出,6种茼蒿在相同条件下以相同方法水培65d,‘罗马’茼蒿单株鲜质量最大,且单株质量显著优于其他品种。

前人研究证明,种植方式和种植密度影响作物群体的受光面积,进而影响其光能利用率及生长发育(李涛和姜闯道,2017)。徐文栋(2015)认为,茼蒿15cm×20cm株行距的密度下最有利于光合作用,其单株产量、群体产量及营养品质较好。李树庭(2016)证实,随密度增加,番茄株高、茎粗、叶面积及叶片叶绿素含量(SPAD)等降低,在8株·m²的密度下番茄植株达最大产量。

目前水培大蒜生产上存在品种单一、产量不高等问题,筛选适宜当地水培蒜苗的优良品种,对水培蒜苗规模化生产有重要意义。本试验中探讨了温室水培条件下,不同大蒜品种及不同分瓣种植方式的青蒜苗产量和商品性状的差异,以期筛选出较适宜的品种和分瓣方式,在高效高产的前提下,降低生产成本,为生产实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

试验于2016年11月至2017年1月在山东农业大学科技创新园进行。以‘苍山糙蒜’、‘金乡3号’和‘四川早薹’大蒜为试材。试验设定3个种蒜类型:单瓣种植(为1瓣蒜)、半头种植(平均为5瓣蒜)和整头种植(平均为10瓣蒜)。种植密度统一为125瓣·m²,营养液配方统一选用标准Hoagland。每个试验处理200株。

2016年11月10日在覆盖聚乙烯无滴膜拱棚的水培架上种植,拱棚温度控制在0~25℃,并采用自然光周期。于培养60d后各处理随机取10株,测定形态指标(株高、假茎粗、假茎长及单株鲜质量)及青蒜苗产量。于培养20、40及60d后测定蒜苗根系活力及营养品质(大蒜素、维生素C、可溶性蛋白及可溶性糖含量)。于培养60d每处理随机取5株(即5次重复),测定大蒜叶片的光合参数(净光合速率、蒸腾速率、气孔导度及胞间CO₂浓度)及色素含量。

1.2 测定项目与方法

用卷尺测量株高(鳞茎盘至叶片最顶端的长度)、假茎长(鳞茎盘到其叶片和叶鞘分界最为明显的部分),用游标卡尺测量假茎粗(假茎底端的最粗处直径),用MP200B电子天平称量蒜苗的鲜质量,根据各项指标测得的试验数据计算出各处理与各项指标之间的相关系数。色素、大蒜素、可溶性糖、可溶性蛋白、维生素C含量及根系活力的测定分别采用丙酮比色法、苯胺法、蒽酮比色法、考马斯亮蓝法、2,6-二氯靛酚比色法及氯化三苯基四氮唑法(李合生等,2000;赵世杰等,2002)。采用模糊数学隶属函数法综合评价供试蒜苗的综合品质。即采用公式 $X_{(\mu)} = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$

计算各品种及各种蒜类型每个营养指标的隶属函数值,再求各品种及各蒜种类型的平均隶属函数值。光合参数采用 CIRAS-3 光合仪于 8: 30—10: 00 测定,测定光强 $1\ 100 \sim 1\ 200\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 气温 $17 \sim 18\ ^\circ\text{C}$, 叶温 $18 \sim 19\ ^\circ\text{C}$, CO_2 浓度 $425\ \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 测定部位为自下至上第 4 个叶片中部, 每处理随机测 5 株, 即重复 5 次。

通过统计分析软件 SPSS (Version 18.0) 对数据进行方差分析, 并检验差异显著性 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 大蒜不同品种水培蒜苗生长指标和品质产量比较

2.1.1 生长指标

由表 1 可知, 蒜苗鲜质量、株高、假茎粗及假茎长均以‘金乡 3 号’最高, 与‘苍山糙蒜’及‘四川早薹’相比, 蒜苗鲜质量分别增加 7.9%和 25.4%, 株高分别增加 12.4%和 16.7%, 假茎粗分别增加 9.3%和 25.1%, 假茎长分别增加 28.1%和 17.5%。

表 1 不同品种蒜苗的生长指标

Table 1 The growth index of different varieties of garlic seedlings

品种 Variety	单株鲜质量/g Fresh weight of single plant	株高/cm Plant height	假茎粗/mm Pseudo stem diameter	假茎长/cm Pseudo stem length
苍山糙蒜 Cangshan Caosuan	$17.23 \pm 0.39\ \text{b}$	$23.68 \pm 0.49\ \text{b}$	$10.37 \pm 0.49\ \text{b}$	$4.45 \pm 0.43\ \text{c}$
金乡 3 号 Jinxiang 3	$18.59 \pm 0.42\ \text{a}$	$26.62 \pm 0.40\ \text{a}$	$11.33 \pm 0.41\ \text{a}$	$5.70 \pm 0.20\ \text{a}$
四川早薹 Sichuan Zaotai	$14.83 \pm 0.42\ \text{c}$	$22.82 \pm 0.42\ \text{c}$	$9.06 \pm 0.52\ \text{c}$	$4.85 \pm 0.21\ \text{b}$

注: 每列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different small letters in the column mean significant difference at the 5% level.

2.1.2 蒜苗营养品质

由表 2 可知, 除培养 20 d 水培青蒜苗叶片的可溶性糖和培养 40 d 的可溶性蛋白含量‘苍山糙蒜’略高以外, 水培青蒜苗叶片的可溶性糖、维生素 C 和大蒜素含量均以‘金乡 3 号’最高。

表 2 不同品种蒜苗品质指标和产量

Table 2 Quality index and yield of different varieties of garlic seedlings

天数 Days	品种 Variety	可溶性蛋白/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Soluble protein	可溶性糖/% Soluble sugar	维生素 C/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Vitamin C	大蒜素/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Allicin	平均隶属函数值 Mean membership index value
20	苍山糙蒜 Cangshan Caosuan	6.68 a	2.49 a	1.22 b	1.24 b	0.65
	金乡 3 号 Jinxiang 3	6.65 ab	2.32 b	1.29 a	1.36 a	0.84
	四川早薹 Sichuan Zaotai	6.01 b	2.21 c	1.11 c	1.31 b	0.15
40	苍山糙蒜 Cangshan Caosuan	8.02 a	2.52 c	1.31 b	1.32 b	0.25
	金乡 3 号 Jinxiang 3	8.03 a	2.89 a	1.49 a	1.57 a	1.00
	四川早薹 Sichuan Zaotai	7.10 b	2.70 b	1.32 b	1.35 b	0.17
60	苍山糙蒜 Cangshan Caosuan	9.99 a	2.52 c	1.78 c	1.13 b	0.50
	金乡 3 号 Jinxiang 3	8.55 b	2.89 a	1.92 a	1.28 a	0.78
	四川早薹 Sichuan Zaotai	7.92 c	2.70 b	1.85 b	1.19 b	0.23

注: 每列同一天数数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different small letters in the column of date for the same number of day mean significant difference at the 5% level.

平均隶属函数值的大小可综合表达品种间水培青蒜苗营养品质的相对优劣。由表 2 可见，在蒜苗的整个水培过程中，‘金乡 3 号’青蒜苗平均隶属函数值最大，即综合营养品质最好，其次是‘苍山糙蒜’，‘四川早薹’最低。

2.1.3 蒜苗产量

单位质量种蒜的蒜苗产量（图 1）以‘金乡 3 号’最大，分别比‘四川早薹’和‘苍山糙蒜’增加 36.9%和 19.0%；‘苍山糙蒜’比‘四川早薹’产量增加 15.9%。蒜苗单位面积产量也以‘金乡 3 号’最高，为 2.32 kg·m⁻²，‘苍山糙蒜’居中，‘四川早薹’较低。

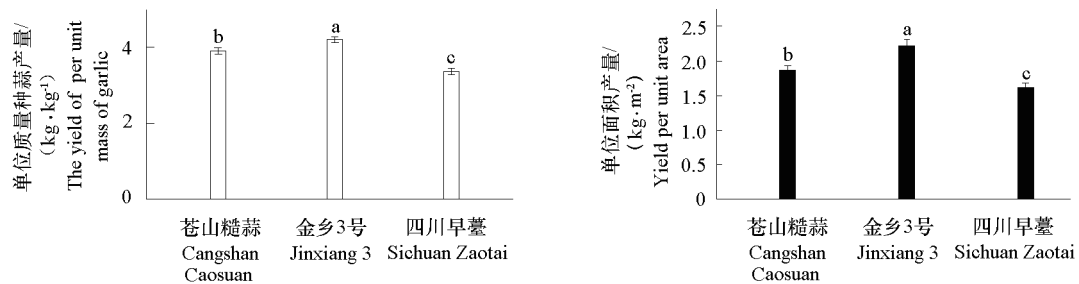


图 1 不同品种蒜苗产量比较

不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Fig. 1 Yield comparison of different varieties of garlic seedlings

Different small letters in the column mean significant difference at the 5% level.

2.2 不同分瓣方式水培蒜苗生长和品质产量比较

2.2.1 生长指标

由表 3 可见，蒜苗鲜质量、株高、假茎粗和假茎长均以单瓣种植的最大，分别比半头种植和整头种植增加 11.0%和 14.7%，10.4%和 7.9%，29.4%和 46.0%，19.1%和 24.5%。经相关性分析得出，种蒜瓣数与蒜苗鲜质量、假茎粗及假茎长均呈负相关关系，相关系数分别为 - 0.92、- 0.95 和 - 0.92。

表 3 不同种蒜分瓣方式水培蒜苗的生长指标

Table 3 The growth index of hydroponics garlic bolt of different planting patterns

分瓣方式 Planting pattern	单株鲜质量/g Fresh weight of single plant	株高/cm Plant height	假茎粗/mm Pseudo stem diameter	假茎长/cm False stem length
单瓣种植 Single implant	17.91 ± 0.29 a	24.20 ± 0.46 a	10.86 ± 0.43 a	4.93 ± 0.43 a
半头种植 Half head planting	16.13 ± 0.50 b	21.92 ± 0.36 b	8.39 ± 0.45 b	4.14 ± 0.21 b
整头种植 Whole head planting	15.61 ± 0.41 b	22.43 ± 0.32 b	7.44 ± 0.32 c	3.96 ± 0.42 b

注：每列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different small letters in the column mean significant difference at the 5% level.

2.2.2 叶片色素含量

由表 4 可见，单瓣种植对青蒜苗叶片色素的合成有显著的促进作用。叶绿素 a (Chl.a)、叶绿素 b (Chl.b)、类胡萝卜素 (Car.)、叶绿素 a + 叶绿素 b [Chl. (a + b)] 含量均以单瓣种植蒜苗最高，分别比半头种植和整头种植增加 22.0%和 22.0%，36.4%和 25.0%，9.5%和 22.7%，3.1%和 14.23%。

表 4 不同种蒜分瓣方式水培蒜苗的叶片色素含量

Table 4 The leaf pigment content of hydroponic garlic sprout of different planting patterns

mg · g⁻¹

分瓣方式 Planting pattern	Chl.a	Chl.b	Chl. (a + b)	Car.
单瓣种植 Single implant	0.50 ± 0.039 a	0.15 ± 0.0036 a	0.92 ± 0.035 a	0.16 ± 0.0031 a
半头种植 Half head planting	0.41 ± 0.026 b	0.11 ± 0.0038 c	0.84 ± 0.035 b	0.13 ± 0.0043 c
整头种植 Whole head planting	0.41 ± 0.032 b	0.12 ± 0.0040 b	0.75 ± 0.037 c	0.14 ± 0.0035 b

注: 每列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different small letters in the column mean significant difference at the 5% level.

2.2.3 光合特性

由表 5 可见, 分瓣种植方式能影响蒜苗的光合速率。净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r) 和气孔导度 (G_s) 以单瓣种植的蒜苗最大, 分别比半头种植及整头种植增加 9.7% 和 16.0%, 3.3% 和 9.4%, 9.1% 和 5.8%。胞间 CO_2 浓度 (C_i) 以半头种植和单瓣种植的蒜苗显著高于整头种植的蒜苗。

表 5 不同种蒜分瓣方式水培蒜苗叶片的光合参数

Table 5 The photosynthetic parameter of hydroponic garlic sprout of different planting patterns

$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

分瓣方式 Planting pattern	P_n	T_r	G_s	C_i
单瓣种植 Single implant	16.04 ± 0.46 a	4.67 ± 0.05 a	418.07 ± 2.92 a	321.19 ± 4.25 a
半头种植 Half head planting	14.62 ± 0.44 b	4.52 ± 0.04 b	383.17 ± 3.49 c	326.30 ± 5.03 a
整头种植 Whole head planting	13.58 ± 0.34 c	4.27 ± 0.04 c	395.00 ± 3.52 b	304.67 ± 3.22 b

注: 每列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different small letters in the column mean significant difference at the 5% level.

2.2.4 根系活力

不同分瓣种植方式能影响根系对水肥资源和生长空间的竞争, 进而影响植株的根系活力。培养 20、40 和 60 d 后, 根系活力均以单瓣种植最高, 分别比半头种植及整头种植增加 18.3% 和 24.2%, 12.3% 和 6.7%, 18.9% 和 9.6%; 从培养 40 d 开始, 整头种植的蒜苗根系活性又高于半头种植的 (表 6)。

2.2.5 蒜苗品质

由表 6 可见, 蒜苗可溶性糖和大蒜素含量均以单瓣种植最高, 半头种植和整头种植次之。大蒜素含量随水培时间延长均呈先升再降的趋势。可溶性糖含量随水培时间的延长均呈上升趋势。同一培养天数, 单瓣种植的蒜苗平均隶属函数值最大为 1。

表 6 不同种蒜分瓣方式蒜苗品质的分析结果与评价

Table 6 The analysis results and valuations of garlic seedlings quality of different planting patterns

天数 Days	分瓣方式 Planting patterns	根系活力/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) Root activity	可溶性糖/% Soluble sugar	大蒜素/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Allicin	平均隶属函数值 Mean subordinate function value
20	单瓣种植 Single implant	28.46 a	2.55 a	1.32 a	1.00
	半头种植 Half head planting	24.06 b	2.35 b	1.19 b	0.51
	整头种植 Whole head planting	22.92 c	2.21 c	1.05 b	0.00
40	单瓣种植 Single implant	43.24 a	2.81 a	1.41 a	1.00
	半头种植 Half head planting	38.51 c	2.52 b	1.32 b	0.43
	整头种植 Whole head planting	40.52 b	2.39 c	1.21 c	0.00
60	单瓣种植 Single implant	34.46 a	3.65 a	1.22 a	1.00
	半头种植 Half head planting	28.98 c	3.02 c	1.20 b	0.45
	整头种植 Whole head planting	31.44 b	3.38 b	1.02 c	0.29

注: 每列同一天数数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different small letters in the column of date for the same number of day mean significant difference at the 5% level.

2.2.6 蒜苗产量

水培蒜苗产量(表7)以单瓣种植最高,最高单位面积产量达 $2.25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,分别比半头种植及整头种植增加 10.9%和 14.9%;单位质量种蒜的蒜苗最高产量达 $3.62 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别比半头种植、整头种植增加 32.5%和 57.5%。经相关性分析结果表明,单位质量种蒜的蒜苗产量及单位面积产量与种植蒜瓣数呈负相关关系,相关系数分别为 - 0.9617 和 - 0.9349。

表 7 不同种蒜分瓣方式蒜苗产量
Table 7 The garlic seedling yield of different planting patterns

分瓣方式 Planting pattern	单位质量种蒜的蒜苗产量/ $(\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1})$ Garlic seedling yield per unit mass of garlic	单位面积蒜苗产量/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2})$ Garlic seedling yield per unit area
单瓣种植 Single implant	3.62 a	2.25 a
半头种植 Half head planting	2.76 b	2.02 b
整头种植 Whole head planting	2.37 b	1.95 b

注:每列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different small letters in the column mean significant difference at the 5% level.

3 讨论

大蒜的品种对其综合品质及产量有重要的影响(徐彦军 等, 2011; 苟艳丽, 2013)。于新会(2015)研究指出,不同的蒜种在同一播期下,‘兰州紫皮蒜’的生长量(株高、假茎长等)最大,随播期延后,‘沈阳’品种收获的独头蒜中大蒜素、维生素 C 及可溶性蛋白含量均高于其他品种。本研究中,在同一播期下蒜苗的单株鲜质量、株高、假茎粗、假茎长及产量均以‘金乡 3 号’高于其他 2 个品种。但培养 20 d 后蒜苗的可溶性糖及可溶性蛋白含量和培养 60 d 后的蒜苗可溶性蛋白含量均以‘苍山糙蒜’高于其他品种,除此之外,在同一播期下可溶性糖、维生素 C、大蒜素及可溶性蛋白含量均以‘金乡 3 号’高于其他品种,其隶属函数值也最大,即金乡大蒜水培的蒜苗综合营养品质最好。说明不同品种大蒜间的生长、营养指标及产量存在差异,综上所述,‘金乡 3 号’在 3 个大蒜品种中表现出最好的培养优势(程智慧 等, 1996; 杨凤娟 等, 2004; 刘同金 等, 2014)。

光合作用为植物提供了物质及能量来源,是植物正常生长及促进其高产的基础,而叶绿素含量常被用来衡量植株叶片的光能吸收(Lin et al., 2009)。在蒜苗的水培生产上,种蒜的分瓣种植方式很大程度上影响了光合速率及叶绿素合成。李涛和姜闯道(2017)研究指出,密植会显著降低薄荷单株的总叶面积、叶绿素含量及光合速率;也有研究表明,不考虑其他因素的前提下,植株种植密度的增加会导致叶绿素含量降低(张永丽 等, 2005; 吕丽华 等, 2008; 陈传永 等, 2010; 刘伟 等, 2011)。本研究表明,单瓣种植能显著提高青蒜苗叶片叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素(a + b)及类胡萝卜素的含量,同时能提高净光合速率、蒸腾速率、气孔导度;半头种植及整头种植会提高单株蒜苗间的种植密度,会增加蒜苗间的遮光面积,限制单株对光能的吸收与利用,进而导致蒜苗叶片色素含量及光合速率下降(张永丽 等, 2005; Marchiori et al., 2014; Li et al., 2015)。

地上部及根系生长状况直接影响了蒜苗对水分及营养物质的吸收,进而影响蒜苗的产量及品质。胡建超等(2015)研究指出,随辣椒种植密度的增加,其根系生长势及单株鲜质量等均呈下降趋势。不同种蒜类型会显著影响水培蒜苗的生长及产量(Hodadadi & Nosrati, 2012),本研究表明,种蒜瓣数与单株鲜质量、株高、假茎粗、假茎长及青蒜苗产量呈负相关关系,单瓣种植的单位质量蒜头的蒜苗产量比半头种植及整头种植增加 32.5%和 57.5%。本研究还表明,半头种植及整头种植

的蒜苗地上部生长势及根系活性均比单瓣种植蒜苗弱, 这可能是由于半头及整头种植蒜苗的种植密度升高, 加剧蒜苗地下部根系对水肥营养及生长空间的竞争 (Hashemi et al., 2005; Jensen et al., 2011), 影响地上部各器官 (叶片、假茎等) 的生长势, 也不可避免地降低了植株的生物量和产量。因此, 单瓣种植作为水培蒜苗合理的种植方式, 对蒜苗植株的生长及产量均有促进作用。

综上所述, ‘金乡 3 号’大蒜的综合品质及产量较好, 为水培青蒜苗较好的品种。半头及整头种植方式的蒜苗种植密度较密, 对水培蒜苗综合品质的负面影响大, 蒜苗间的相互遮荫面积影响了单株蒜苗对光能的截获与利用, 导致其蒜苗光合速率下降, 从而阻碍水培蒜苗的生长发育。单瓣种植作为水培蒜苗综合品质及产量最优的种蒜类型, 为水培蒜苗的工厂化生产模式及高效高产提供参考。

References

- Chen Chuanyong, Hou Haipeng, Li Qiang, Zhu Ping, Zhang Zhenyong, Dong Zhiqiang, Zhao Ming. 2010. Effects of planting density on photosynthetic characteristics and changes of carbon and nitrogen in leaf of different corn hybrids. *Acta Agron Sin*, 36 (5): 871 - 878. (in Chinese)
- 陈传永, 侯海鹏, 李 强, 朱 平, 张振勇, 董志强, 赵 明. 2010. 种植密度对不同玉米品种叶片光合特性与碳, 氮变化的影响. *作物学报*, 36 (5): 871 - 878.
- Chen Yong, Chen Zaixin, He Jinyin. 2005. Comparative experiment on aquatic culture of radish seeding. *Shanghai Vegetables*, (6): 19 - 21 (in Chinese)
- 陈 勇, 陈在新, 何金银. 2005. 萝卜芽苗菜水培比较试验. *上海蔬菜*, (6): 19 - 21.
- Cheng Zhihui, Du Huifang, Meng Huanwen, Zhao Ping. 1996. Analysis and evaluation of nutritional quality of garlic varieties garlic. *Acta Horticulturae Sinica*, 23 (4): 398 - 400. (in Chinese)
- 程智慧, 杜慧芳, 孟焕文, 赵 萍. 1996. 大蒜不同品种蒜薹营养品质分析与评价. *园艺学报*, 23 (4): 398 - 400.
- Gou Yanli. 2013. Preliminary report on comparison test of garlic varieties. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, (16): 60 - 61. (in Chinese)
- 苟艳丽. 2013. 大蒜品种比较试验初报. *安徽农学通报*, (16): 60 - 61.
- Hashemi A M, Herbert S J, Putnam D H. 2005. Yield response of corn to crowding stress. *Agron J*, 97: 839 - 846.
- Hodadadi M K, Nosrati A E. 2012. Effect of sowing date and planting density on yield and yield components of white garlic of Hamadan. *Seed and Plant Production Journal*, 27: 491 - 500.
- Hu Jianchao, Zhao Zunlian, Guo Changmei, Nie Weiyan, Shi Lianlian, Xu Nailin, Guo Jianwei. 2015. Effects of planting densities on growth of root and yield in line pepper. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 28 (1): 317 - 322. (in Chinese)
- 胡建超, 赵尊练, 郭长美, 聂伟燕, 史联联, 徐乃林, 郭建伟. 2015. 不同定植密度对线辣椒根系发育及产量的影响. *西南农业学报*, 28 (1): 317 - 322.
- Jensen A M, Löf M, Gardiner E S. 2011. Effects of above and below-ground competition from shrubs on photosynthesis, transpiration and growth in *Quercus robur* L. seedlings. *Environ Exp Bot*, 71: 367 - 375.
- Li Shuting. 2016. The effects of plant density and nitrogen fertilizer on growth, yield and quality of greenhouse tomato cultivated on bag [M. D. Dissertation]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University. (in Chinese)
- 李树庭. 2016. 密度和氮肥对设施袋培番茄生长, 产量和品质的影响 [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学.
- Li T, Liu Y J, Shi L, Jiang C D. 2015. Systemic regulation of photosynthetic function in field-grown sorghum. *Plant Physiol Bioch*, 94: 86 - 94.
- Li Tao, Jiang Chuangdao. 2017. Effects of close planting on photosystem II functions in menthe haplocalyx leaves. *Plant Physiology Journal*, 53 (7): 1279 - 1286. (in Chinese)
- 李 涛, 姜闯道. 2017. 密植对薄荷叶片光系统 II 功能的影响. *植物生理学报*, 53 (7): 1279 - 1286.
- Lin Z H, Chen L S, Chen R B, Zhang F Z, Jiang H X, Tang N. 2009. CO₂ assimilation, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase, carbohydrates and photosynthetic electron transport probed by the JIP-test, of tea leaves in response to phosphorus supply. *BMC Plant Biol*, 9:

- 43.
- Liu Lei, Zeng Di, Xie Yuping, Huang Xiaojuan, Zhou Duanyong, Wang Weiwei, Zhang Jianhua, Huang Junsheng. 2012. Selection of hydroponically grown lettuce cultivar and effect of different airing treatments on the yield and quality of lettuce. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 33 (4): 613 - 616. (in Chinese)
- 刘磊, 曾迪, 谢玉萍, 黄小娟, 周端咏, 王伟伟, 张建华, 黄俊生. 2012. 水培生菜高产品种筛选及不同通气处理对生菜平均单株质量和品质的影响. *热带作物学报*, 33 (4): 613 - 616.
- Liu Tongjin, Cheng Zhihui, Meng Huanwen, Zhao Huiling, Imran Ahmad. 2014. Effects of garlic varieties and intercropping dates on growth of garlic and tomato cultivated in substrate under plastic tunnel. *Journal of Northwest A & F University (Nat Sci Ed)*, (3): 197 - 205. (in Chinese)
- 刘同金, 程智慧, 孟焕文, 赵慧玲, Imran Ahmad. 2014. 大蒜不同品种及套播期对大棚基质栽培番茄和大蒜生长的影响. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, (3): 197 - 205.
- Lü Lihua, Tao Hongbin, Xia Laikun, Zhang Yajie, Zhao Ming, Zhao Jiuran, Wang Pu. 2008. Canopy structure and photosynthesis traits of summer maize under different planting densities. *Acta Agron Sin*, 34 (3): 447 - 455. (in Chinese)
- 吕丽华, 陶洪斌, 夏来坤, 张雅杰, 赵明, 赵久然, 王璞. 2008. 不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性. *作物学报*, 34 (3): 447 - 455.
- Marchiori P E R, Machado E C, Ribeiro R V. 2014. Photosynthetic limitation imposed by self-shading infield-grown sugarcane varieties. *Field Crop Res*, 155: 30 - 37.
- Xu Wendong. 2015. The effect of different lights and plant density and harvest pressure time on yield and quality of lettuce pressure in plant factory pressure. Nanjing: Nanjing Agricultural University. (in Chinese)
- 徐文栋. 2015. 光照, 种植密度与采收期对植物工厂内生菜产量和品质的影响. 南京: 南京农业大学.
- Xu Yanjun, Zhang Wanping, Wan Jiarong, Yang Jing. 2011. Comparative experiment of garlic cultivars cultivation. *Jiangsu Agricultural Sciences*, (4): 175 - 176. (in Chinese)
- 徐彦军, 张万萍, 王家容, 杨静. 2011. 大蒜品种栽培比较试验. *江苏农业科学*, (4): 175 - 176.
- Yang Fengjuan, Liu Shiqi, Wang Xiufeng. 2004. Effect of different varieties and fertilizer on allicin content in bulb of garlic. *Shandong Agricultural Sciences*, (4): 22 - 24. (in Chinese)
- 杨凤娟, 刘世琦, 王秀峰. 2004. 不同品种及微肥对鳞茎中大蒜素含量的影响. *山东农业科学*, (4): 22 - 24.
- Zhang Yongli, Xiao Kai, Li Yanming. 2005. Effects and physiological mechanism of planting densities on photo synthesis characteristics of flag leaf and grain yield in wheathy brid C6-38/Py85-1. *Acta Agron Sin*, 31 (4): 498 - 505. (in Chinese)
- 张永丽, 肖凯, 李雁鸣. 2005. 种植密度对杂种小麦 C6-38/Py85-1 旗叶光合特性和产量的调控效应及其生理机制. *作物学报*, 31 (4): 498 - 505.
- Zhao Shijie, Shi Guoan, Dong Xinchun. 2002. Plant physiology laboratory guidance. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. (in Chinese)
- 赵世杰, 史国安, 董新纯. 2002. 植物生理学试验指导. 北京: 中国农业科学技术出版社.