

种植密度对封闭式槽培黄瓜产量、品质及光合作用的影响

孟宪敏¹, 刘明池^{2,3}, 季延海^{2,3}, 武占会^{2,3}, 梁浩^{2,3}, 赵敏¹

(1. 河北工程大学 园林与生态工程学院, 河北 邯郸 056038; 2. 北京市农林科学院 蔬菜研究中心, 北京 100097;
3. 农业部华北都市农业重点实验室, 北京 100097)

摘要:以“中农 26”黄瓜为试材, 采用封闭式槽培循环供液系统, 设定低密度 33 330 株·hm⁻²(T1)、中密度 49 995 株·hm⁻²(T2)与高密度 66 660 株·hm⁻²(T3)3 个种植密度处理, 通过测定黄瓜株高、叶片数、最大叶面积和叶片的净光合速率、叶绿素含量等光合指标, 结合叶片显微结构、叶片衰老速度及叶面积指数等分析, 比较了不同种植密度对黄瓜生长、果实产量和品质以及光合特性的影响, 并筛选出适宜的种植密度, 以期为黄瓜封闭式无土栽培提供参考。结果表明: 随密度增加, 黄瓜的株高、最大叶面积及产量增高, 而果实可溶性糖、可溶性固形物含量及单株产量降低。与 T3 处理相比, T2 处理叶片叶绿素含量及群体光合速率较高, 栅栏组织较为发达, 表现了较强的自我调节能力; T2 处理果实的果形指数、含水量、维生素 C、可溶性糖及可溶性蛋白质含量较高, 可滴定酸含量较低, 且 T2 与 T1 处理差异不显著。T3 处理提高了黄瓜总产量, 但果实单株产量与品质显著低于 T1、T2 处理。综上, 中密度 49 995 株·hm⁻²处理的叶片结构较好, 植株上下层叶片光合能力强, 能提高黄瓜产量与品质。

关键词: 黄瓜; 种植密度; 光合; 品质; 产量

中图分类号: S 642.204⁺.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2019)09-0060-09

无土栽培以节水、节肥及避免土传病害等优点, 已在欧洲、北美、日本等温室发达国家到广泛应用, 无土栽培正逐渐取代土壤栽培, 成为日光温室的主流生产模式^[1]。目前国外温室生产多以封闭式无土栽培模式为主, 营养液的回收利用大大降低了对外界环境的污染, 也提高了水肥利用率, 在欧洲得到了广泛应用。欧盟甚至立法规定

2010 年以后其所有温室生产均要采用封闭式无土栽培模式^[2]。其中, 荷兰利用高新技术和封闭循环式无土栽培系统, 设施内番茄年产量可达 800 t·hm⁻², 黄瓜产量达 1 000 t·hm⁻², 是我国的 6~8 倍^[3]。

虽然我国的无土栽培正处于快速发展阶段, 但起步较晚, 实际生产以简易开放式无土栽培为主, 与发达国家有较大差距, 而且水资源浪费、地下水与温室环境污染的现象较为普遍, 因此需要发展适合我国国情的较简易、低成本且易推广的无土栽培模式。针对此情况, 北京市农林科学院蔬菜研究中心自主研发一种封闭式无机基质槽培系统, 基质采用单一无机基质珍珠岩。该系统在栽培槽下添加了回液管, 使营养液可以回流入营养液桶, 多余营养液不再排放到环境中, 实现了营

第一作者简介: 孟宪敏(1993-), 女, 河南商丘人, 硕士研究生, 研究方向为设施蔬菜与无土栽培。E-mail: 1475102978@qq.com.

责任作者: 赵敏(1977-), 女, 河北保定人, 硕士, 教授, 现主要从事设施园艺与植物生理等研究工作。E-mail: zhaomin616@163.com.

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2016YED0201010)。

收稿日期: 2018-12-06

养液的循环利用。

有研究认为适宜种植密度对植株性状及叶片光合速率有调节作用,进而对产量及产量性状有显著影响^[4];刘伟等^[5]也认为增加种植密度、提高光资源利用率、依靠群体发挥增产潜力是作物获得高产的重要措施。马兆惠等^[6]研究表明密植使大豆根系更发达,根系吸收能力强,生产干物质较多。李树庭^[7]通过适当增密减氮显著提高了设施袋培番茄的生长发育、冠层结构、果实品质及产量,也有对无土栽培上海青^[8]、辣椒^[9]、不结球白菜^[10]等种植密度的研究。但尚鲜见采用封闭式循环供液栽培模式,关于蔬菜作物种植密度与植株群体光合作用的研究。因此,试验以黄瓜为试材,采用营养液循环利用的封闭式槽培栽培系统,研究不同种植密度对黄瓜植株生长、果实品质、叶片光合特性及显微结构的影响,并筛选可提高封闭式无土栽培条件下黄瓜产量及品质的适宜种植密度,以期对封闭式无土栽培提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试黄瓜(*Cucumis sativus* L.)品种为“中农26”,由中国农业科学院蔬菜花卉研究所提供。

1.2 试验方法

试验于2017—2018年在北京市农林科学院蔬菜研究中心连栋玻璃温室进行。栽培方式采用北京市农林科学院蔬菜研究中心研发的营养液可循环利用的封闭式无机基质槽培系统,栽培槽长×宽×高=48 cm×20 cm×13 cm,槽子南北向摆放,基质为珍珠岩,采用蔬菜中心根据日本山崎黄瓜配方^[11]改良的黄瓜营养液地下水专利配方,配方内大量元素N、P、K、Ca、Mg、S含量分别为:11.60、1.30、6.51、2.24、1.00、1.39 mmol·L⁻¹,微肥为通用配方。以滴灌形式循环供液。黄瓜3叶1心时定植,清水浇灌,缓苗1周,每天07:00—19:00供液5次,间隔180 min,每次供应6 min。苗期EC值(2.3±0.2)mS·cm⁻¹,开花结果期EC值(3.1±0.2)mS·cm⁻¹,pH 6.4±0.2。试验期间进行打杈、绑蔓和摘除侧枝、卷须及底部老叶片等周期性操作。

因槽培系统栽培槽体积和布局固定,试验通过

改变槽距和每个槽子内定植株数而设计。设3个种植密度处理,低密度T1:每个栽培槽种植2株,槽距40 cm,即33 330株·hm⁻²;中密度T2:每个种植槽种植3株,槽距40 cm,即49 995株·hm⁻²;高密度T3:每个种植槽种植2株,槽距20 cm,即66 660株·hm⁻²。以上处理大行距均为150 cm,设3次重复,各小区面积50 m²。

1.3 项目测定

1.3.1 生长指标的测定

直尺测定株高及最大叶长、叶宽并计算最大叶面积;统计叶片数;共3次重复,每重复测量6株。

1.3.2 果实品质的测定

初瓜期测定品质,3次重复,取平均值。直尺测定果实纵径、果柄长,游标卡尺测定果实横径、果肉厚,计算果柄长-纵径比及果形指数;烘干称质量测定果实含水量;2,6-二氯酚靛酚滴定法测定维生素C含量^[12];蒽酮比色法测定可溶性糖含量^[13];ACT-1EC手持折射仪(日本ATAGO)测定可溶性固形物含量;NaOH滴定法测定可滴定酸含量^[13];考马斯亮蓝G-250染色法测定可溶性蛋白质含量^[14]。

1.3.3 产量的测定

拉秧前每次采收统计单株产量和总产量。

1.3.4 叶绿素含量和光合作用参数的测定

于初瓜期采用95%乙醇浸提法进行测定^[13],计算叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素含量及叶绿素a/b。

从初瓜期(定植48 d)开始,对从上至下数第4、7、10、17片叶(叶宽>5 cm)进行标记,跟踪测定不同叶位净光合速率并记录叶位变化,直至这4片叶失去光合能力并打叶。采用LI-6400XT光合仪(美国LI-COR)于盛瓜期晴天08:30—11:00测定第4~5片叶,包括净光合速率、气孔导度、胞间CO₂浓度及蒸腾速率,内置光强800 μmol·m⁻²·s⁻¹,叶室内设定空气流速500 μmol·s⁻¹,CO₂浓度(400±2)μmol·mol⁻¹。于盛瓜期测定光响应曲线,PFD为0~1 500 μmol·m⁻²·s⁻¹,测定最大净光合速率,计算光饱和点和光补偿点且曲线的初始直线部分斜率为表观量子效率^[15]。

1.3.5 叶面积指数的测定

于盛瓜期测定单株叶面积,参考何冬冬等^[16]

的公式计算叶面积指数。叶面积指数=单位土地面积内叶片总面积/单位土地面积。

1.3.6 叶片显微结构观察

于盛瓜期取第4叶叶脉左右5 mm×5 mm见方小块,于FAA固定液固定24 h以上,经脱水、透明、浸蜡、包埋、切片,番红固绿染色,制成厚度1.2~1.5 μm切片于Leica CTR 4000显微镜下观察并拍照^[17]。各处理10张切片,每张切片随机3个视野测量叶片厚度、上下表皮厚度、栅栏组织与海绵组织厚度,并计算栅-海比。

1.4 数据分析

采用Microsoft Excel 2010、Auto CAD 2009

软件进行数据处理,采用SPSS 17.0软件中Duncan比较法进行差异显著性分析及LSD($P<0.05$)检验。

2 结果与分析

2.1 不同种植密度对黄瓜生长的影响

不同种植密度对黄瓜的生长有显著影响。由图1可以看出,株高以T3处理高于其它处理,定植40 d, T3分别比T1、T2处理提高6.29%、7.83%($P<0.05$)。各处理叶片数无显著差异。最大叶面积以T3>T2>T1处理,定植40 d, T2与T3处理最大叶面积分别比T1处理提高17.79%、24.75%,且T2与T3处理差异不显著。

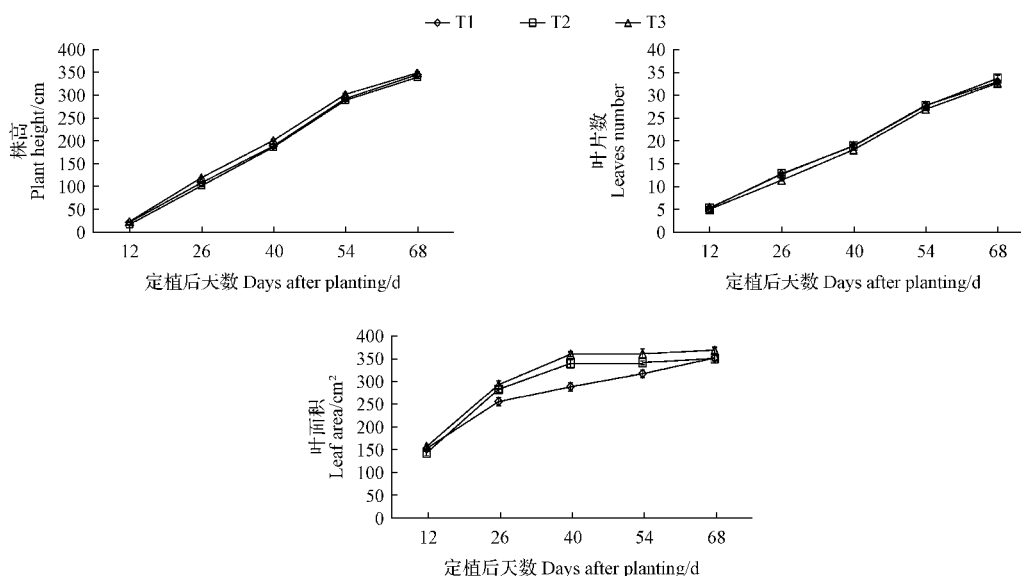


图1 不同种植密度对黄瓜生长的影响

Fig.1 Effects of different planting densities on cucumber growth

2.2 不同种植密度对黄瓜叶片光合作用的影响

2.2.1 叶绿素含量和光合速率

黄瓜叶片叶绿素含量随密度增加呈先增后降趋势,如表1所示,叶绿素a、b与总叶绿素含量均

以T2处理较高,分别比T3处理提高78.31%、159.26%与98.18%,但与T1处理差异不显著。叶绿素a/b以T3处理较高。

表1 不同种植密度对黄瓜叶片叶绿素含量的影响

Table 1 Effects of different planting densities on chlorophyll content in cucumber leaves

处理 Treatment	叶绿素a含量 Chlorophyll a content/(mg·g ⁻¹)	叶绿素b含量 Chlorophyll b content/(mg·g ⁻¹)	叶绿素a/b Chlorophyll a/b	总叶绿素含量 Total chlorophyll content/(mg·g ⁻¹)
T1	1.38±0.05a	0.49±0.03ab	2.82±0.09ab	1.87±0.08a
T2	1.48±0.12a	0.70±0.13a	2.25±0.30b	2.18±0.25a
T3	0.83±0.06b	0.27±0.02b	3.13±0.07a	1.10±0.08b

注:表中不同小写字母表示差异在0.05的水平上显著。下同。

Note: Different letters in the table indicate significant difference at 0.05 level. The same as below.

由表 2 可知,随种植密度增加,黄瓜叶片的净光合速率、蒸腾速率呈降低趋势,气孔导度、胞间 CO₂ 浓度呈先升后降趋势。其中 T1、T2 处理的净光合速率较高,分别比 T3 处理提高 6.73%、4.82%,蒸腾速率分别比 T3 处理提高 28.70%、26.71%,且 T1 与

T2 处理差异不显著;T3 处理的气孔导度分别比 T1 与 T2 处理降低 35.90%、41.86%,胞间 CO₂ 浓度分别比 T1、T2 处理降低 7.67%、8.84%。说明封闭式槽培黄瓜高密度 66 660 株·hm⁻² (T3)处理叶片光合速率显著降低。

表 2 不同种植密度对黄瓜叶片光合指标的影响

Table 2 Effects of different planting densities on photosynthetic index of cucumber leaves

处理 Treatment	净光合速率 Net photosynthetic rate /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	气孔导度 Stomatal conductance /($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间 CO ₂ 浓度 Intercellular CO ₂ concentration /($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	蒸腾速率 Transpiration rate /($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
T1	14.60±0.42a	0.39±0.04a	300.71±1.79a	5.83±0.48a
T2	14.34±0.49a	0.43±0.04a	304.57±3.23a	5.74±0.40ab
T3	13.68±0.55b	0.25±0.03b	277.64±3.14b	4.53±0.54c

2.2.2 叶片光响应及叶面积指数

如表 3 所示,相比 T1 处理,T2、T3 处理光补偿点均有所降低,但 T2 降幅小于 T3 处理;T1、T2 处理光饱和点较高,分别比 T3 提高 78.16%、61.42%,说明 T1 与 T2 处理可利用的光强较大。

黄瓜叶片最大净光合速率及表现量子效率以 T2 处理最高;叶面积指数以 T3 处理最高,分别比 T1 与 T2 处理提高了 54.84%、11.30%,说明 T3 处理(高密度 66 660 株·hm⁻²)可能因叶片较大且较多,导致株间互相遮光较严重,透光率降低。

表 3 不同种植密度对黄瓜叶片光合指标的影响

Table 3 Effects of different planting densities on photosynthetic index of cucumber leaves

处理 Treatment	最大净光合速率 Maximum net photosynthetic rate /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	光饱和点 Optical saturation point /($\mu\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	光补偿点 Optical compensation point /($\mu\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	表现量子效率 Quantum efficiency /($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	叶面积指数 Leaf area index
T1	13.30±0.10ab	1 996.74±16.60a	2.19±0.19a	1.49±0.04ab	2.48±0.44b
T2	15.19±1.44a	1 809.13±10.83a	1.81±0.42b	1.62±0.04a	3.45±0.54ab
T3	11.56±0.57b	1 120.73±7.79b	1.52±0.68b	1.24±0.10b	3.84±0.54a

2.2.3 不同叶位光合速率

监测不同叶位净光合速率过程中,叶位变化记录见表 4。由图 2 可知,T3 处理的各叶片净光合速率均低于 T2 处理,且 T3 处理随定植时间延长,叶片光合速率下降趋势较快。其中,T1 与 T2 处理第 17 片叶分别在定植 70、63 d 打叶,而 T3 处理第 17 片叶于定植 56 d 打叶,T1 与 T2 处理第 17 片叶的光合作用维持时间分别较 T3 处理延长 14、7 d。T1 与 T2 处理第 10 片叶于定植 91 d 打叶,叶片光合能力维持了 43 d,而 T3 处理第 10 片叶于定植 77 d 打叶,维持光合作用时间为 29 d,说明 T3 处理第 10 片叶维持光合作用时间比 T1 与 T2 处理缩短 14 d。进一步说明 T3 处理群体间遮光现象较严重,尤其是下部位叶片较

快失去光合能力。

2.2.4 叶片显微结构

由表 5 与图 3 可知,黄瓜叶片厚度以 T1 处理最高,比 T3 处理提高 26.89%,T1 与 T2 处理差异不显著;上下表皮厚度、栅栏组织厚度、栅-海比随种植密度增加呈先升后降趋势,其中栅栏组织厚度以 T1 与 T2 处理较厚,分别比 T3 处理提高 38.38%、44.15%,T3 处理的栅-海比分别比 T1 和 T2 处理降低了 6.94%、11.84%,差异达显著水平,说明 T1 和 T2 处理的栅栏组织排列较紧密且差异不显著。由图 3 可以看出,T1 和 T2 处理的栅栏组织排列相对整齐且气腔较少,而 T3 处理栅栏组织稀疏,排列相对倾斜无序,气腔较多。

表 4 第 4、7、10、17 片叶随定植天数的叶位变化
Table 4 Leaf position changes of leaves 4th, 7th, 10th and 17th with planting days

处理 Treatment	定植后天数 Days after planting/d						
	48	56	63	70	77	84	91
T1	4	7	9	11	12	14	16
	7	10	12	14	15	17	19
	10	13	15	17	18	20	22
	17	20	22	—	—	—	—
T2	4	7	8	10	12	13	15
	7	10	11	13	15	16	18
	10	13	14	16	18	19	21
	17	20	21	—	—	—	—
T3	4	8	10	13	14	15	16
	7	11	13	16	17	—	—
	10	14	16	19	20	—	—
	17	—	—	—	—	—	—

注：—表示叶片已被打掉。
Note: — indicates that the leaves have been removed.

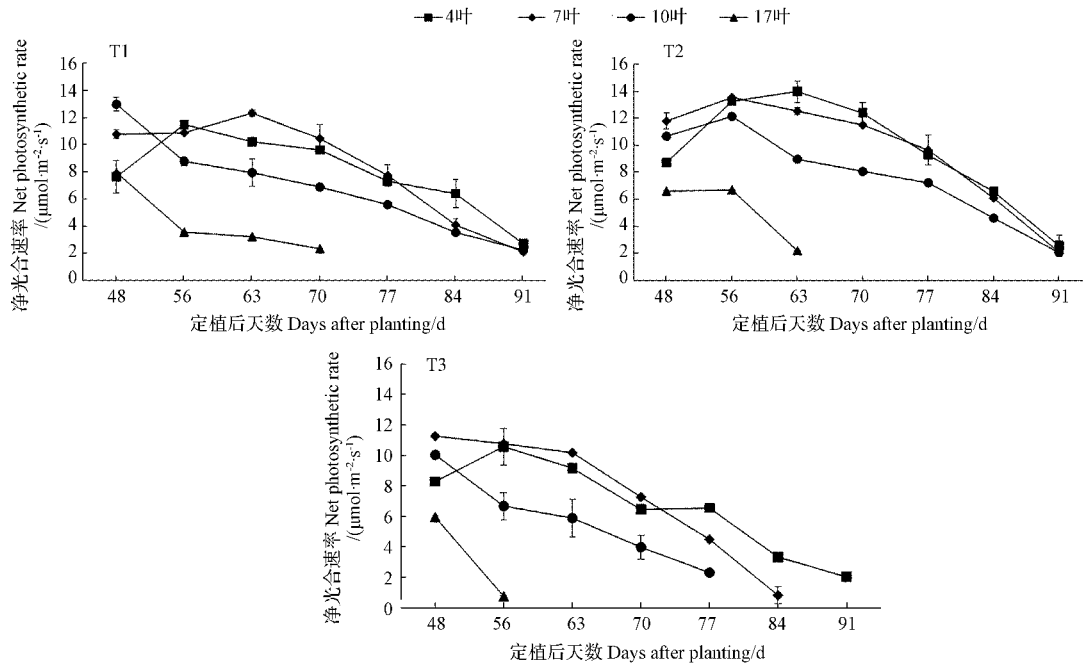
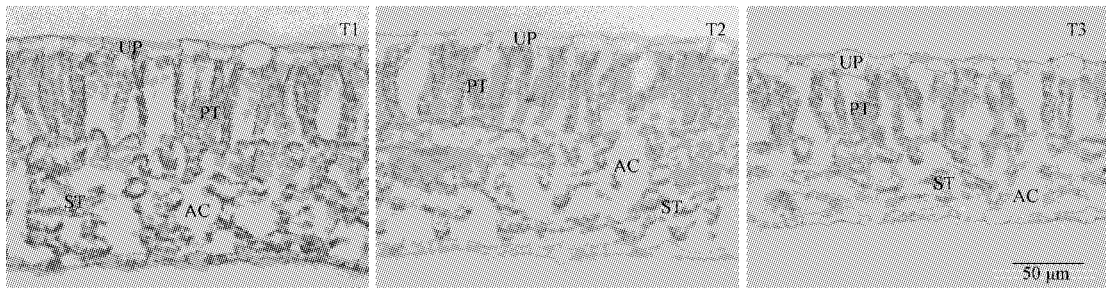


图 2 不同种植密度的不同叶位叶片净光合速率
Fig. 2 Net photosynthetic rate of leaves at different leaf positions with different planting densities

表 5 不同种植密度对黄瓜叶片显微结构的影响
Table 5 Effects of different planting densities on the microstructure of cucumber leaves

处理 Treatment	上表皮厚 Thickness of upper epidermis / μm	下表皮厚 Thickness of lower epidermis / μm	叶片厚度 Blade thickness / μm	栅栏组织厚度 Palisade tissue thickness / μm	海绵组织厚度 Sponge tissue thickness / μm	栅-海比 Ratio of palisade tissue-sponge tissue	栅栏组织厚- 叶片厚比 Ratio of palisade tissue thickness- leaf thickness	海绵组织厚- 叶片厚比 Ratio of sponge tissue thickness- leaf thickness
T1	10.64±1.01a	9.08±2.32ab	156.40±3.80a	58.30±0.92a	81.24±2.38a	0.72±0.07ab	0.37±0.01ab	0.52±0.03a
T2	12.01±1.66a	10.86±1.43a	155.96±1.84a	60.73±1.62a	79.85±1.39a	0.76±0.08a	0.39±0.01a	0.51±0.03a
T3	9.79±1.73a	8.42±1.63b	123.26±1.71b	42.13±2.24b	63.71±2.40b	0.67±0.09b	0.34±0.01b	0.52±0.04a



注:黄瓜叶片横切面;UP:上表皮细胞;PT:栅栏组织;ST:海绵组织;AC:气腔。

Note: The picture shows the cross section of cucumber leaves; UP: upper epidermal cells; PT: palisade tissue; ST: spongy tissue; AC: air cavity.

图 3 不同种植密度对黄瓜叶片显微结构的影响

Fig. 3 Effects of different planting densities on the microstructure of cucumber leaves

2.3 不同种植密度对黄瓜产量的影响

由表 6 可知,单株产量以 T1 处理最高,分别比 T2 与 T3 处理提高了 5.68%、30.99%,T1 与 T2 处理差异不显著;各处理单株瓜条数无显著差

异。种植株数较高的 T3 处理 667 m² 产量最高,比 T1 处理提高了 52.69%,且 T2 与 T3 处理差异不显著。说明 T2 处理(中密度 49 995 株·hm⁻²)能在保证单株产量基础上,提高黄瓜总产量。

表 6 不同种植密度对黄瓜产量的影响

Table 6 Effects of different planting densities on cucumber yield

处理 Treatment	单株产量 Single plant yield/kg	单株瓜数 Single plant number	667 m ² 株数 Number of 667 m ² plants	667 m ² 产量 Yield of 667 m ² /kg
T1	0.93a	3.71a	2 222	2 066.65b
T2	0.88ab	3.58a	3 333	2 933.30a
T3	0.71b	3.21ab	4 444	3 155.52a

2.4 不同种植密度对黄瓜品质的影响

2.4.1 外部商品品质

由表 7 可知,随种植密度增大,黄瓜果形指数呈先升后降趋势。果形指数 T2>T1>T3,达显

著水平,T2 处理果形指数分别比 T1、T3 处理提高了 11.57%、12.93%。说明果实商品性以中密度 49 995 株·hm⁻²最佳。

表 7 不同种植密度对黄瓜外部商品品质的影响

Table 7 Effects of different planting densities on external commodity quality of cucumber

处理 Treatment	果实纵径 Longitudinal diameter of fruit/cm	果实横径 Transverse diameter of fruit/cm	果肉厚 Flesh thickness /mm	果柄长 Stalk length /cm	果柄长-纵径比 Ratio of fruit stalk length- longitudinal diameter	果形指数 Fruit shape index
T1	32.33±0.60ab	3.89±0.06a	9.55±0.77b	4.80±0.31a	0.15±0.01a	8.30±0.12b
T2	33.16±0.37a	3.87±0.10b	10.08±0.09a	4.27±0.23c	0.13±0.01c	9.26±0.41a
T3	30.50±0.50c	3.42±0.088c	8.54±0.22c	4.40±0.31b	0.14±0.01b	8.20±0.52c

2.4.2 营养品质

由表 8 可知,维生素 C 含量以 T2 处理较高,与 T1 处理差异不显著;可溶性固形物含量以 T1 处理较高,其次为 T2 处理;T2 处理果实含水量

分别比 T1、T3 处理显著提高了 1.63%、1.82% (P<0.05);可滴定酸含量以 T2 处理较低,且各处理间无显著差异;可溶性蛋白质含量以 T2 处理最高。

表 8 不同种植密度对黄瓜营养品质的影响

Table 8 Effects of different planting densities on nutritional quality of cucumber

处理 Treatment	维生素 C 含量 Vitamin C content /(mg · (100g) ⁻¹)	可溶性固形物含量 Soluble solids content/%	可溶性糖含量 Soluble sugar content/%	果实含水量 Fruit water content/%	可滴定酸含量 Titratable acid content/%	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content /(mg · g ⁻¹)
T1	8.17±0.12a	3.87±0.08a	2.98±0.07a	93.75±0.71b	0.21±0.02a	0.99±0.18b
T2	9.20±0.31a	3.80±0.18a	2.80±0.20ab	95.28±0.04a	0.17±0.18a	2.08±0.06a
T3	6.95±0.62b	3.63±0.08a	2.34±0.71b	93.58±0.22c	0.34±0.02a	1.47±0.04b

3 讨论与结论

3.1 不同种植密度对封闭式槽培黄瓜生长的影响

作物的合理密植对于建造良好的群体冠层结构有重要意义^[18-19]。而植株会随密度变化,表现出不同的株型结构,但当密度在一定范围内时,作物会表现出较强的调节能力^[20-21]。该试验中,高密度处理株高及最大叶面积较高,但叶片大而薄且叶面积指数较大,导致株间遮光严重,尤其是引起下层叶片光合速率降低,进而导致黄瓜单株产量及果实品质较低;而中、高密度的株高及最大叶面积差异不显著,但中密度处理下叶片栅栏组织较厚且叶片群体光合速率较高,单株产量、果实品质与低密度处理基本一致;综上所述,中密度群体有较强的自我调节能力,也提高了黄瓜产量与品质,适宜封闭式黄瓜无土栽培。

3.2 不同种植密度对封闭式槽培黄瓜光合特性及冠层结构的影响

石小红等^[22]研究表明高密度植株下部叶片长期处于弱光下,易出现阴生结构。而且黄瓜叶片在弱光环境下,叶片光合色素含量降低,从而影响光合速率^[23]。该试验结果表明,中密度处理黄瓜叶片内叶绿素含量以及各叶位净光合速率较高,并且气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率均高于高密度处理,低、中密度处理差异不显著;另外,低、中密度可利用的光强高于高密度处理,中密度处理叶片最大净光合速率及表现量子效率较高;中密度叶面积指数较小,群体间叶片遮挡不严重,能将光能分配于中下位叶片,说明中密度处理冠层结构较好。

BORRAS 等^[24]认为低密度的玉米植株衰老速度较高密度的植株衰老速度低。唐建华等^[25]

认为合理冠层结构的不同层叶片受光均匀,群体间光合能力增强,进一步改善生产物质能力,其中叶面积指数也是影响冠层结构的重要因素,也是判断植株光合能力的重要指标^[26-27]。该试验中,高密度处理叶面积指数较大,群体间遮光严重,导致中下部叶片衰老速度较快,其中第 17 片叶维持光合能力时间比低密度缩短 14 d,进一步验证了高密度植株叶片衰老速度快。光合能力与叶片结构也有直接联系^[28]。一般认为,叶绿体主要存在于栅栏组织内,栅栏组织越发达,植物光合能力越强^[29]。该试验结果表明,低、中密度处理叶片与栅栏组织较厚,而高密度处理的栅海比低于其它密度处理,因此中密度处理的光合能力较强,可能与栅栏组织增厚有关,而高密度处理因为栅栏组织变薄,导致叶片变薄,光合能力降低。

3.3 不同种植密度对封闭式槽培黄瓜品质及产量的影响

不同种植密度对植株的冠层结构以及叶片光合能力显著影响,进而影响果实的产量及品质。该试验中,相比高密度,中密度叶片栅栏组织较厚,可能是植株自我调节能力及适应性增强所致,且二者的折合 667 m² 产量差异不显著,说明适宜的密植结构可以提高封闭式无土栽培黄瓜物质生产能力;另外,中密度的单株产量及果实品质与低密度基本一致,进一步说明中密度能保证一定的个体产能,增加群体产量,可能实现了群体结构与个体功能的平衡^[30],其它具体影响机制需进一步研究。

随密度增加,黄瓜的株高、最大叶面积及折合 667 m² 产量增高,而果实可溶性糖、可溶性固形物含量及单株产量降低。中密度因其叶片较厚且叶绿素含量较高,叶面积指数较小,株间遮光不严重,也延缓了中下位叶片衰老速度,群体光合速率增强,与低密度差异不显著。综上,

49 995 株·hm⁻²(中密度)为封闭式槽培黄瓜适宜种植密度,能在保证黄瓜品质基础上,进一步增加产量。

参考文献

- [1] 袁洪波. 日光温室封闭式栽培系统关键技术研究[D]. 北京:中国农业大学,2015.
- [2] 万军. 国内外无土栽培技术现状及发展趋势[J]. 科技创新导报,2011(3):11.
- [3] 郭世荣,孙锦,束胜,等. 国外设施园艺发展概况、特点及趋势分析[J]. 南京农业大学学报,2012,35(5):43-52.
- [4] 代旭峰,王国强,刘志斋,等. 不同密度下不同行距对玉米光合及产量的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版),2013,35(3):15-21.
- [5] 刘伟,吕鹏,苏凯,等. 种植密度对夏玉米产量和源库特性的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(7):1737-1743.
- [6] 马兆惠,车仁君,王海英,等. 种植密度和种植方式对超高产大豆根系形态和活力的影响[J]. 中国农业科学,2015,48(6):1084-1094.
- [7] 李树庭. 密度和氮肥对设施袋培番茄生长、产量和品质的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [8] 郑回勇,严雨洁,许静,等. 不同栽培密度对水培上海青产量的影响[J]. 亚热带植物科学,2017,46(3):281-284.
- [9] 许耀照,吕彪,王勤礼,等. 密度和整枝方式对有机生态型无土栽培辣椒商品性及产量的影响[J]. 北方园艺,2013(5):1-3.
- [10] 陆海洋. 基于植物工厂的不结球白菜栽培关键技术探讨[D]. 南京:南京农业大学,2015.
- [11] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2011.
- [12] 蔡庆生. 植物生理学实验[M]. 北京:中国农业大学出版社,2013:166-168.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,1998.
- [14] 赵世杰,史国安,董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2002.
- [15] 许大全,徐宝基,沈允钢. C₃ 植物光合效率的日变化[J]. 植物生理学报,1990(1):3-7.
- [16] 何冬冬,杨恒山,张玉芹. 扩行距、缩株距对春玉米冠层结构及产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2018,26(3):397-408.
- [17] 李和平. 植物显微技术[M]. 北京:科学出版社,2009:56-113.
- [18] SHARRATT B S, MCWILLIAMS D A. Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn[J]. Agronomy Journal,2005,97(4):1129-1135.
- [19] STEWART D W, COSTA C, DWYER L M, et al. Canopy structure, light interception, and photosynthesis in maize[J]. Agronomy Journal,2003,95(6):1465-1474.
- [20] 李树庭. 密度和氮肥对设施袋培番茄生长、产量和品质的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [21] 陈秀娟,糜林,章镇,等. 栽培密度对草莓产量和品质的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(19):296-300.
- [22] 石小红,田丰,张永成,等. 不同施肥量和密度对马铃薯叶片叶绿素含量的影响[J]. 青海大学学报(自然科学版),2009,27(6):56-60.
- [23] 孙建磊,王崇启,肖守华,等. 弱光对黄瓜幼苗光合特性及Rubisco酶的影响[J]. 核农学报,2017,31(6):1200-1209.
- [24] BORRAS L, MADDONNI G A, OTEGUI M E. Leaf senescence in maize hybrids: Plant population, row spacing and kernel set effects[J]. Field Crops Research,2003,82(1):13-26.
- [25] 唐建华,张卫建,王延波,等. 密度对耐密性不同玉米品种群体冠层结构的影响[J]. 作物杂志,2013(2):126-130.
- [26] 朱从桦,张嘉莉,王兴龙,等. 硅磷配施对低磷土壤春玉米干物质积累、分配及产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2016,24(6):725-735.
- [27] EVANS J R. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Plant Physiology,1983,72(2):297-302.
- [28] SCHANSKER G, SRIVASTAVA A, STRASSER R J. Characterization of the 820-nm transmission signal paralleling the chlorophyll a fluorescence rise (OJIP) in pea leaves[J]. Functional Plant Biology,2003,30(7):785-796.
- [29] AND G D F, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annu Rev Plant Physiol,1982,33(33):317-345.
- [30] 沈杰,王昌全,何玉亭,等. 合理密植对不同株型烤烟冠层结构及光合生产特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2018,24(5):1-12.

Effect of Planting Densities on Yield, Quality and Photosynthesis of Cucumbers Grown in Enclosed Trough Culture

MENG Xianmin¹, LIU Mingchi^{2,3}, JI Yanhai^{2,3}, WU Zhanhui^{2,3}, LIANG Hao^{2,3}, ZHAO Min¹

(1. College of Landscape and Ecological Engineering, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038; 2. National Engineering Research Center for Vegetables, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097; 3. Key Laboratory of North China Urban Agriculture, Ministry of Agriculture, Beijing 100097)

Abstract: Cucumber variety of ‘Zhongnong 26’ was used as experimental materials, with the system of enclosed circulation trough culture, the differences among different levels of planting densities

treatment were investigated at 33 330 plants \cdot hm $^{-2}$ (T1), 49 995 plants \cdot hm $^{-2}$ (T2) and 66 660 plants \cdot hm $^{-2}$ (T3). In order to select the suitable planting density and provide theoretical guidance of cucumber in enclosed trough culture, so we measured the plant height, leaf number, maximum leaf area, net photosynthetic rate and chlorophyll content of cucumber leaves. And also made a comprehensive analysis after combined with the leaf microstructure, leaf senescence rate and leaf area index. The results showed that the plant height, the maximum leaf area and yield of cucumbers increased with the increase of plant densities, while the contents of soluble sugar, soluble solids, and yield of per plant decreased. Compared with T3, T2 had higher chlorophyll content and photosynthetic rate in leaves, more developed palisade tissue and stronger self-regulation ability. The water content, vitamin C content, soluble protein content and fruit shape index of fruit were higher, which the content of tiratable acid was lower, there was no significant difference between T1 and T2. T3 increased the total yield of cucumber, but the yield of per plant and quality of fruit were significantly lower than T1 and T2. To sum up, the leaf structure of the medium density (49 995 plants \cdot hm $^{-2}$) treatment was better and the leaf photosynthetic capacity of the plants populations was strong, and the yield and quality of cucumber were improved.

Keywords: cucumbers; planting densities; photosynthetic; quality; yield

信息广角

早春小拱棚黄瓜栽培,何时定植好? 怎样使其缓苗快,长势旺?

- 1 小拱棚黄瓜栽培特点** 塑料薄膜小拱棚早熟栽培黄瓜的适宜定植期为3月下旬。定植后黄瓜缓苗快慢、长势好坏是由许多环境因素共同作用的结果,其中最主要的是根系生长得好坏。实际上,每当观察地上部生育状态时,应当首先想到根系发育如何,有些症状表现在地上的冠部,但问题的根源却存在于地下部的根系上。所以,为达到缓苗快,长势旺的目的,首先必须在定植过程中保护好根系,在定植过程中尽量减少根系的损伤。定植以后采取各种措施,促进根系生长,根系旺盛,地上部茎叶长势自然旺盛。
- 2 搞好围苗** 围苗时间长短,主要取决于苗床土质,砂壤土干得快,围苗时间应短些,粘壤土干得慢,围苗时间可长些,适宜的围苗时间5~7 d。调制培养土时除考虑到肥力外,还应考虑到培养土的质地,最好是壤土偏重一些。
- 3 提前烤畦** 定植畦应提前10 d左右扣棚烤畦,提高地温。
- 4 暗水稳苗** 3月下旬,选择冷尾暖头晴朗无风天的上午定植。按要求的株行距挖穴。如小拱棚早熟栽培,行距60 cm,株距25 cm。穴的深度12~13 cm,使定植后原土坨与地表齐平即可。先浇水后放苗坨,但决不能等穴中水渗干后座苗坨,要求穴中水渗完时,苗坨已全湿透,如没湿透苗坨,应适量补浇一些水。定植不可过深。农谚说:“茄子没脖,黄瓜露坨”,就是说黄瓜要求栽得浅些,因为黄瓜是浅根系,栽得浅根系发育好,而且浅层土壤温度比深层高,有利于根系发育。
- 5 严盖膜** 定植后到缓苗前严盖膜,提高气温与地温,促进整个幼苗生长。遇有白天高温时,回盖草苫遮荫;防止秧苗萎蔫。一般情况下不通风。
- 6 中耕松土** 缓苗后及时中耕,中耕后看幼苗长势与土壤干湿程度浇一小水,然后再连续中耕2次,每次中耕深度可达7~10 cm,行间及株间要划到,但无论怎样中耕,都不能损伤定植时幼苗土坨。中耕能提高土温,能增加土壤的通透性,有利于根系生长。
- 7 合理管理畦温** 缓苗后白天适当通风,白天畦温20~25℃,夜间15℃。4月中旬,若白天气温达20℃以上时,可将塑料薄膜全部揭开,令其接受自然光照,16:00左右再将薄膜盖上,盖部分草苫,防风把薄膜吹跑。5月上旬,夜间温度稳定在15℃以上时,将薄膜、草苫撤掉。

(来源:农村养殖栽培技术)