

日光温室番茄生长规律及干物质分配研究

王 停 停, 张 玲, 袁 婷 婷, 温 祥 珍, 李 亚 灵

(山西农业大学 园艺学院, 山西 太谷 030801)

摘 要:以番茄品种“金果1号”为试验材料,研究了番茄植株在日光温室内生长发育、干物质生产等规律。结果表明:日光温室番茄株高、叶数、叶面积以及干物质生长量均与定植后的生长天数呈明显线性关系,随着生长天数的增加,其相应生长规律分别为 2.77 cm/d , 0.3 片/d , $78.8\text{ cm}^2/\text{d}$, $9.12\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。试验还表明番茄植株的干重需达到 42 g 以上才开始坐果,并且果实干重与植株总干重之间呈线性关系,坐果后,植株总干重每增加 1 g ,果实干重约增加 0.7 g 。干物质在根、茎、叶中的分配比例从开花前到坐果后呈明显下降趋势,果实干重在植株总干重中所占比例显著增加,达到 60% 以上。番茄干物质生产量与温室有效积温($>10^\circ\text{C}$ 的温度总和)有很强的线性关系,每个有效积温单位($^\circ\text{C}\cdot\text{d}$)干物质的生产量约为 0.67 g/m^2 ;植株干物质生产与太阳辐射量之间也有较强的线性关系。

关键词:日光温室;番茄;生长发育;干物质分配

中图分类号:S 641.226.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)06-0035-04

番茄(*Solanum lycopersicum*)是中国主要的设施作物之一,2010年栽培面积达 147 万 hm^2 ,总产 $3\,300\text{ 万 t}$,均居世界首位^[1]。同时含有多种维生素、微量元素、蛋白质、纤维素等物质,具有很高的营养价值,深受人们喜爱。为了达到番茄的周年生产和供应,华北地区大多数的设施番茄在日光温室中种植。然而日光温室的环境条件,如温度、光照、 CO_2 等对番茄的物质生产和分配有很大的影响^[2]。番茄的物质生产分配直接影响果实产量与品质,进而影响经济价值,因此研究日光温室番茄生长发育规律、干物质生产和分配,可以为番茄栽培管理、源库关系调节和环境优化调控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试品种为无限生长型番茄“金果1号”。

1.2 试验方法

试验于2014年在山西省太谷县(北纬 $37^\circ25'$,东经 $112^\circ25'$)山西农业大学设施农业工程中心的日光温室内

进行。日光温室坐北朝南,跨度 9.75 m ,长度 43 m ,脊高 4.5 m ,北墙高 3 m ,后屋面投影 1.3 m ,屋面为拱圆形无支柱钢结构,夜间用自制复合保温被进行保温。番茄幼苗于2014年3月14日定植,7月15日拉秧,生长期4个月。定植时幼苗有3~4片真叶,采用大行距、小株距的槽式栽培方式,行距 1.50 m ,株距 0.25 m ,栽培密度为 3.3 株/m^2 。采用高线落蔓法管理。试验用塑料膜将日光温室从上至下隔成东、中、西3个小区,东区夜间(23:00至次日6:00)用电加热器进行加温,并挂 CO_2 吊袋肥料(6袋)进行 CO_2 施肥;中区只进行夜间加温(加温时间及方法同上);西区为对照,处于自然状态,不进行任何处理。

1.3 项目测定

1.3.1 形态指标测定 每个小区选取长势均匀的植株10株,共30株,挂标志牌,定期观察其长势,每10d测量1次株高、茎粗、叶数(叶片数以长度大于或等于 5 cm 开始记),共测定8次。叶面积根据测定的番茄最大叶长(L)与最大叶宽(W)计算得出,公式 $A(\text{m}^2) = 0.25L \times W(1 - 1.48L \times W)^{[3]}$ 。

1.3.2 番茄植株干、鲜重测定 每小区随机选取3株长势均匀的番茄植株,共9株。将植株从土中连同土壤和根系完整取出,用水冲洗干净,将植株分解,分别测定根、茎、叶的鲜重,然后于烘箱中烘干称干重^[4],并计算植株各器官干物质分配及含量,每20d测量1次,共测定6次。

1.3.3 环境因子测定 采用“农用通”(北京旗硕公司生

第一作者简介:王婷婷(1989-),女,山东菏泽人,硕士研究生,研究方向为蔬菜栽培生理。E-mail:15803440638@163.com.

责任作者:李亚灵(1962-),女,博士,教授,现主要从事设施蔬菜无土栽培等研究工作。E-mail:yalingli1988@163.com.

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(61233006);山西省科技攻关资助项目(20130311010-1);山西省回国留学人员科研资助项目(2012-051)。

收稿日期:2015-12-18

产)对环境因子进行监测,每 10 min 记录 1 次数据。

2 结果与分析

2.1 试验期间温室环境状况

由表 1 可知,24 h 平均气温、24 h 土壤平均温度均是从每天 0:00 至次日 0:00,每 10 min 测量 1 次所求的平均值;日间平均气温是从 6:00—18:00,每 10 min 测量 1 次计算的平均值;夜间平均气温是从 18:00 至次日

6:00,每 10 min 测量 1 次的平均值;室内日均光合有效辐射量为累积光照强度(klx,每 10 min 测量 1 次),根据公式: $1 \text{ klx}=4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,进行转化^[5]。可能由于加温处理时间短,CO₂ 肥料量小,又进行温室正常通风,所以 3 个小区试验期间气象环境状况相差不大。故下文中的计算和分析将其视为一个整体来进行。

表 1 试验期间的温室内环境状况

Table 1 Environmental conditions in the greenhouse during the experiment period

	平均气温 Average temperature/℃			10 cm 土壤平均温度 Temperature of 10 cm soil/℃	室内日均光合有效辐 Average daily PAR/(MJ·m ⁻²)
	24 h 24 hours	日间 Day	夜间 Night		
东区 East	24.1	27.6	20.6	21.1	2.1
中区 Middle	23.1	27.0	18.0	21.2	1.9
西区 West	22.8	27.2	18.8	21.3	3.2
均值 Average	23.3	27.2	19.7	21.2	2.4

注:表中温室环境状况数据测量时间为 3 月 15 日至 7 月 8 日。
Note: The data of environmental conditions in the table are measured from March 15th to July 8th.

2.2 番茄的生长发育规律

由表 2、图 1 可知,番茄的生长状况与生长天数的关系以测量时植株生长天数(定植日,3 月 15 日为第 1 天)为横坐标,形态指标:株高(Y_{ph})、叶片数(Y_{ln})、叶面积(Y_{la})、每平方米干物质累积量(Y_{dm})为纵坐标,在 Excel

中作散点图,添加趋势线得到关系式。从各函数式分析,发现番茄定植后株高变化规律为 2.77 cm/d;出叶速率为 0.3 片/d,即 3.3 d 出 1 片叶;叶面积增加规律为 78.8 cm²/d;植株干物质增加量约 9.12 g·m⁻²·d⁻¹。

表 2 试验期间番茄的生长状况与生长天数的关系

Table 2 Relationship between the plant growth and number of days during the experiment period

植株生长状况 Plant growth			
株高 Plant height/cm	叶片数 No. of leaf/片	叶面积 Leaf area/cm ²	干物质累积量 Plant dry weight/(g·m ⁻²)
$Y_{ph}=2.7727X+25.5$ $R^2=0.9694$	$Y_{ln}=0.2994X+7.0586$ $R^2=0.9781$	$Y_{la}=78.8340X+281.43$ $R^2=0.9539$	$Y_{dm}=9.1197X-218.55$ $R^2=0.9543$

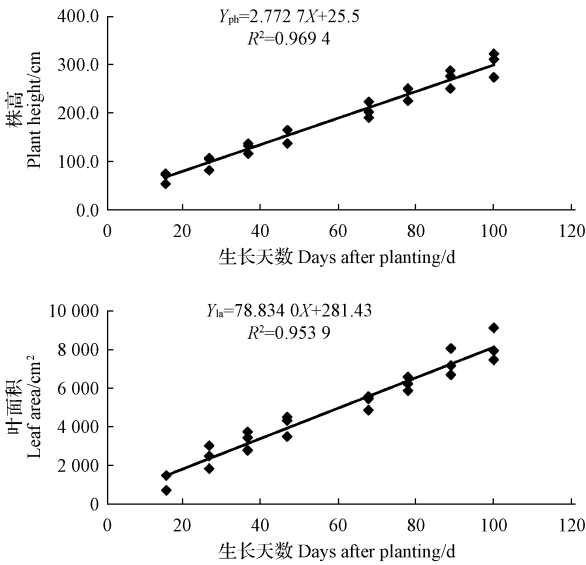


图 1 番茄植株株高生长变化规律

Fig. 1 Variation of plant height with the growing time

进一步分析番茄果实干重与植株总干重之间的关系,以每株植株的总干重为横坐标,以相应的果实干重为纵坐标,在 Excel 中作散点图,添加趋势线(图 2),获得下述线性关系: $Y_{fw}=0.716\ 0X_{dm}-100.49(R^2=0.990\ 3)$ 。式中: Y_{fw} 为番茄果实干重,单位为 g/m^2 ; X_{dm} 为番茄植株总干重,单位为 g/m^2 。从以上关系式可知,番茄果实干重与植株总干重有很强的线性关系,坐果后植株总干重每增加 1 g,果实干重相应增加约 0.7 g。此外,植株的总干重需达到 140.3 g/m^2 以上,即每株约 42 g 以上,才开始有果实产量。

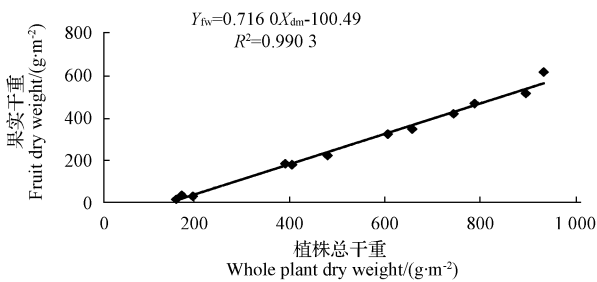


图 2 番茄果实干重与植株总干重之间的关系
Fig. 2 Relationship between the fruit dry weigh and the plant dry weight

表 3 温室生产中番茄的干物质分配状况

Table 3 Distribution of plant dry weight and dry matter content		%				
		全株 Whole plant	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	果实 Fruit
干物质分配率 Distribution ration of dry weight	开花前 Before flowering	100.00	7.27	28.59	64.14	—
	坐果盛期 Fruiting period	100.00	1.05	12.20	25.61	61.14
干物质含量 Dry matter content		9.13	13.44	9.78	13.58	6.02

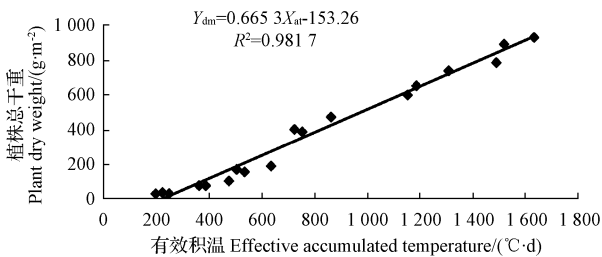


图 3 有效积温对番茄植株干重的影响
Fig. 3 Effect of effective accumulated temperature on the plant dry weight

太阳辐射是植物生长的能量来源。分析番茄干物质生产与太阳有效辐射量的关系,以每平方米植株总干重为纵坐标,以定植日至测定日的室内太阳有效辐射量为横坐标画图,并得到其关系式, $Y_{dm}=3.074\ 4X_{sr}-137.76(R^2=0.713\ 6)$ 。式中, Y_{dm} 表示每平方米植株总干重,单位为 g/m^2 , X_{sr} 表示从定植日到测量日的室内光

2.3 番茄不同器官的干物质分配状况及干物质含量

了解番茄干物质在各器官的分配比例,可以为调节源库关系奠定基础。从表 3 可以看出,干物质在根、茎、叶的分配比例从开花前的 7.27%、28.59%、64.14%,到坐果盛期,调整到 1.05%、12.20%、25.61%,此时果实干重所占比例为 64.14%。另从植株干物质含量来看,果实最低,为 6.02%,根、茎、叶分别为 13.44%、9.78%、13.58%,叶与根的干物质含量相差不大,全株干物质含量为 9.13%。

2.4 番茄干物质生产与积温、光合有效辐射之间的关系

温度在进行预测植物生长方面具有其方便和较准确的特征。该试验从每平方米干物质生产量与积温关系的角度分析,以每平方米植株总干重为纵坐标,以定植日至测定日的有效积温($>10^{\circ}C$ 的温度总和)为横坐标作散点图(图 3),得到下列关系式: $Y_{dm}=0.665\ 3X_{at}-153.26(R^2=0.981\ 7)$ 。式中: Y_{dm} 表示每平方米植株总干重,单位为 g/m^2 ; X_{at} 表示 $>10^{\circ}C$ 的有效积温,单位为 $^{\circ}C \cdot d$ 。从以上关系式可知,番茄干物质生产量与积温有很强的线性关系,即每个有效积温单位($^{\circ}C \cdot d$)干物质的生产量约为 0.67 g/m^2 。此外,结合果实干重与总干重之间的关系,即获得每株 42 g 植株总干物质时才开始生产果实干重,得知番茄定植后大约经过 $294^{\circ}C \cdot d$ 以上的有效积温才开始坐果。

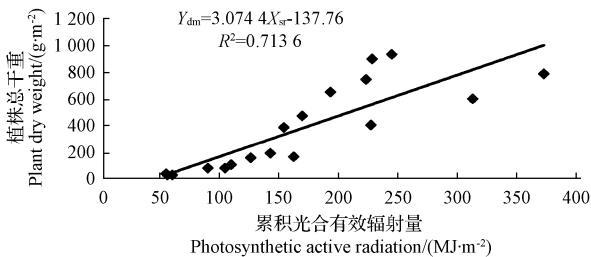


图 4 累计光辐射对番茄总干重的影响
Fig. 4 Effect of accumulated PAR inside the greenhouse on the plant dry weight

合有效辐射累积量,单位为 MJ/m^2 。从以上关系式可知,每平方米植株总干重与太阳有效辐射量有较强线性关系,每积累 MJ/m^2 的太阳光合有效辐射量,番茄干物质的生产量约为 3 g/m^2 。

3 讨论与结论

该试验初步表明,番茄植株的株高增长、叶片发生、

叶面积增长规律均与生长天数呈明显的线性相关。这与贺超兴等^[3]以番茄夏季长季节栽培的研究结果基本一致。该试验番茄的出叶速率为 0.3 片/d, 即 3.3 d 出 1 片叶, 一般番茄每 3 片叶以后长 1 穗果, 也就是说大约 10 d 左右生长 1 穗果, 这个结论经多年的试验已经反复得到印证^[6-8]。果实干重与植株总干重之间的显著线性关系也与李灵芝等^[9]的研究一致。在该试验条件下, 定植后 120 d 内番茄总干物质积累达到 230 g/株, 远远高于薛俊华等^[10]以越冬番茄为试验材料所得到的干物质积累量 133 g/株。因此干物质的生产与生产季节有极大的关系。朱晋宇等^[11]研究也表明不同生长季节番茄干物质的生产积累量不同。该试验表明, 番茄干物质生产与有效积温和太阳辐射呈极显著的线性关系。

该试验通过番茄干物质生产积累量和日光温室内光合有效辐射累积量, 求得它们之间的线性相关, 并且大约每 MJ/m² 光合有效辐射量生产 3 g/m² 干物质。这一结果与 HEUVELINK^[12]研究的 1 MJ/m² 光合有效辐射量产生干物质 2.5 g/m² 接近, 其以番茄干物质的增长率与温室内的日均光合有效辐射量进行计算, 求得这个值。关于干物质生产量与有效积温的关系, 齐维强等^[13]从 1 月份播种开始累计有效积温, 达到 547.9℃·d 时, 第 1 穗果实开始坐果, 当有效积温达到 1 326.5℃·d 时, 第 1 穗果实才开始成熟。该试验从定植后开始累计有效积温, 约经历 294℃·d 植株开始坐

果, 如果考虑育苗期间需要的有效积温, 与其研究结果接近。

参考文献

- [1] 杨再强, 王学林, 彭晓丹, 等. 人工环境昼夜温差对番茄营养物质和干物质分配的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 138-147.
- [2] 毛竞, 温室、大棚和露地气候生态因子对番茄生长发育及品质的影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011.
- [3] 贺超兴, 齐维强, 马丽丽, 等. 日光温室不同番茄品种生长发育动态规律的研究[J]. 农业网络信息, 2008(8): 127-133.
- [4] 赵玉萍, 邹志荣, 白鹏威, 等. 不同温度对温室番茄生长发育及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(2): 133-137.
- [5] 张福媛. 设施园艺学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2010: 114.
- [6] 弓志青. 温室温度与番茄生长、生产关系的分析[D]. 太原: 山西农业大学, 2003.
- [7] 李灵芝, 弓志青, 李亚灵, 等. 温室番茄长季节栽培生长发育特性的研究[J]. 华中农业大学学报, 2003, 22(4): 395-398.
- [8] 贾会丽, 李亚灵. 遮阳对温室番茄叶片生长发育的影响[J]. 华北农学报, 2006(21): 78-81.
- [9] 李灵芝, 李海平, 弓志青, 等. 现代化温室番茄植株各器官鲜物质和干物质分配规律的研究[J]. 江西农业大学学报, 2003, 25(4): 553-557.
- [10] 薛俊华, 罗新兰, 李东, 等. 温室番茄干物质分配及果实生长发育规律的研究[J]. 河南农业科学, 2008(10): 110-115.
- [11] 朱晋宇, 温祥珍, 刘美琴, 等. 不同茬口日光温室番茄干物质生产与分配[J]. 园艺学报, 2007, 34(6): 1437-1442.
- [12] HEUVELINK E. Tomato growth and yield: quantitative analysis and synthesis[D]. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1996.
- [13] 齐维强, 张志斌, 邹志荣, 等. 基于积温的日光温室番茄生长发育规律研究[J]. 华中农业大学学报, 2004(35): 53-57.

Study on the Growth Regulation and Dry Matter Distribution of Tomato in Greenhouse

WANG Tingting, ZHANG Ling, YUAN Tingting, WEN Xiangzhen, LI Yaling
(College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801)

Abstract: Taking tomato cultivar 'Jinguo No. 1' as test material, in order to study the growth rule and dry matter production and distribution of tomato plant in a solar greenhouse. The results showed that the plant height, leaf number, leaf areas and weight of total dry matter were linearly increased with the days after transplanted, which were 2.77 cm/d, 0.3 leaf/d, 78.8 cm²/d and 9.12 g·m⁻²·d⁻¹, respectively. Fruit dry weight and total dry weight of plant also showed linear relationship. Fruiting did not occur until plant dry weight reached to 42 g. And after fruiting, fruit dry weight increased about 0.7 g when total dry weight of per plant increased 1 g. Dry matter distribution proportion of root, stem and leaf declined obviously from plant flowering to fruiting, while the proportion of fruit dry weight was increased obviously, which the proportion was more than 60%. Dry matter production of tomato had a strong linear relationship with accumulated temperature, and normally dry matter production was increased about 0.67 g/m² each effective accumulated temperature unit. Also, dry matter production of tomato plant had linear relationship with photosynthetic active radiation in the greenhouse.

Keywords: solar greenhouse; tomato; plant growth and development; dry matter distribution