

# 昼夜温差对番茄果期干物质分配的影响及模拟

袁小康, 刘富来

(湖南省气象科学研究所, 湖南 长沙 410118)

**摘 要:**以番茄品种“金冠 5 号”为试材,在人工气候箱对坐果后的番茄植株进行昼夜温差(DIF)处理,设置 25℃ 日平均温度下 5 个昼夜温差水平,即-18℃(16/34,昼温/夜温,℃,以下同)、-12℃(19/31)、0℃(25/25)、+12℃(31/19)、+18℃(34/16),研究昼夜温差对番茄干物质分配在果期各阶段的影响,并构建综合了昼夜温差、辐射和热效应的干物质分配动态模拟模型。结果表明:与零昼夜温差处理相比,+12℃ DIF 使根和叶的干物质分配比例降低,茎和果实的干物质分配比例增加;+18℃ DIF 使叶干物质分配比例增加,而使果实干物质分配比例减少。而负昼夜温差使根、叶的干物质分配比例增加,茎、果实的干物质分配比例降低。不同昼夜温差处理下,根、茎、叶的干物质分配比例均与坐果后的累积辐热积呈指数递减关系,而果实的干物质分配比例与坐果后的累积辐热积呈 Logistic 模型递增关系,通过拟合昼夜温差值与指数模型和 Logistic 模型参数的数量关系,得到昼夜温差对根、茎、叶、果的干物质分配比例影响的模拟模型。经独立试验数据检验表明,模拟效果良好。

**关键词:**昼夜温差;番茄;干物质分配;影响;模拟

**中图分类号:**S 641.201 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)05-0020-07

番茄(*Solanum lycopersicum* L.)是一种在全球范围内被大量种植、市场需求旺盛的蔬菜,其营养丰富,一年四季都受到消费者欢迎。如何实现番茄周年高产量、高品质地生产,是农业生产部门需要解决的重要课题之一。设施农业生产方式是解决该问题的重要途径。然而,中国设施番茄生产面临产量低、品质欠佳、难以周年生产等问题,如中国大部分设施番茄的单位面积产量仅有  $7.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,而发达国家荷兰设施番茄单产高达  $54 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ [1]。番茄的生长除了受自身遗传特性影响外,还与外界的环境条件具有密切的关系。如何优化调控设施环境因子以提高番茄品质和产量,是亟待解决的关键技术问题。近年来,利用昼夜温差调节设施作物生长发育、产量

和品质的引起了国内外科学家广泛关注[2-3]。昼夜温差对番茄也有显著的影响。毛丽萍等[4-5]研究了苗期昼夜温差对番茄光合作用、成株期生长发育、产量形成的影响,得出平均温度 20℃ 时,+12℃ 昼夜温差有利于番茄光合作用、+6℃ 昼夜温差有利于营养生长和产量形成的结论;杨再强等[6]研究了昼夜温差对番茄各器官营养物质分配的影响;李莉等[7]研究指出番茄苗期生长温差不宜过大,花果期适当增大昼夜温差可提高产量。然而,国内外大多数研究集中在昼夜温差对番茄生长发育和产量的影响,而对番茄干物质分配的影响较少。干物质分配指的是植物在一定时间内积累的干物质向各个器官的分配[8]。大量研究表明,昼夜温差影响作物干物质分配[2,9-10]。果期是番茄产量形成的关键生育期,研究昼夜温差对番茄果期干物质分配的影响,对于提高番茄产量有重要意义。

**第一作者简介:**袁小康(1987-),男,湖南常宁人,博士,研究方向为设施农业气象。E-mail:yxknuist@126.com

**收稿日期:**2016-12-12

concentration, the root length, contents of chlorophyll decreased obviously. The activity of SOD and POD tended to increase, the content of MDA and Pro tended to firstly increase then decrease with the increasing of  $\text{Cu}^{2+}$  concentration.

**Keywords:**  $\text{Cu}^{2+}$  stress; *Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.; contents of chlorophyll; SOD; POD; MDA; Pro

“辐热积”的概念被倪纪恒<sup>[11]</sup>、李永秀等<sup>[12]</sup>提出后,广泛应用于一品红<sup>[13]</sup>、甜瓜<sup>[14]</sup>、郁金香<sup>[15]</sup>等作物生长、干物质生产和分配的模拟中,效果良好。该研究利用试验数据,在前人热效应和光合有效辐射的基础上,增加昼夜温差效应,构建综合了昼夜温差、辐射和热效应的干物质分配动态模拟模型,以期优化设施番茄生产的环境因子调控、提高番茄产量提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试番茄品种“金冠 5 号”(Solanum lycopersicum ‘Jinguan 5’),种子由辽宁省农业科学院提供,无限生长型。

### 1.2 试验方法

试验在南京信息工程大学农业气象试验站(北纬 32.0°,东经 118°)进行,在温室采用 50 孔穴盘基质育苗,等番茄苗生长至三叶期,选取生长一致的幼苗,将其移栽至直径为 25 cm、高为 30 cm 的塑料花盆,每盆 1 株,栽培基质为园田土:鸡粪:草炭=3:1:1,每桶并加入内施入 1:1:1 的尿素、磷酸二铵和硫酸钾共 50 g,继续在温室培养。等番茄生长至现果时(花后 10 d 左右),选择生长情况一致的番茄植株置于规格相同的人工气候箱(TPG-2900,澳大利亚)开展昼夜温差试验,共设置 25 °C 日平均温度下-18、-12.0、+12、+18 °C 5 个不同昼夜温差处理,即 16/34、19/31、25/25、31/19、34/16(昼温/夜温,°C),每个处理 18 盆,光照均为 500  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,光照时间为 06:00—18:00,其余时间光照为 0,CO<sub>2</sub> 浓度为(380±10)  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,相对湿度 75%,提供适当水分和养分,单干整枝,留一穗果。至第一序果实成熟时,昼夜温差处理结束。试验期间各处理均无明显病虫害发生。第 1 次昼夜温差处理试验 2014 年 5 月 10 日至 6 月 24 日。第 2 次试验 2014 年 9 月 10 日至 10 月 26 日。第 3 次试验 2014 年 11 月 1 日至 12 月 16 日。

### 1.3 项目测定

果实膨大过程分为 3 个阶段:1)果实膨大前期,果实坐果后缓慢生长、膨大;2)膨大中期,果实快速生长和膨大的阶段;3)膨大后期,果实膨大速度由快变慢的阶段。将成熟过程也分为 3 个阶段:1)绿熟期。果实大小已长足,表皮绿色,坚实,不宜食用;2)转色期。果实顶端逐渐转色达全果的 1/4。3)红熟期。果实表皮完全变红。果实膨大过程和成熟过

程均指的是第一穗果。昼夜温差处理后,分别在果实膨大前期、膨大中期、膨大后期、绿熟期、转色期、红熟期破坏性取样,每个处理取 3 株番茄植株,用小铲子将番茄带根挖出,洗净,根、茎、叶、果分离,先用电子秤测定根、茎、叶、果的鲜质量,然后在 105 °C 杀青 20 min,再在 80 °C 条件下烘至恒重,称各器官干质量。

### 1.4 数据分析

由于 3 次试验结果类似,该研究用第 1 次试验数据进行分析昼夜温差对番茄干物质分配的影响,用第 1、2 次试验数据用于构建模型,第 3 次试验数据检验模型。

### 1.5 辐热积的计算

辐热积即热效应与光合有效辐射的乘积<sup>[11]</sup>。热效应(RTE)是指作物在实际温度条件下生长 1 d 与在最适温度条件下生长 1 d 的比例。其计算公式为:

$$RTE = \begin{cases} 0(T \leq T_b) \\ (T - T_b)/(T_{ob} - T_b)(T_b < T < T_{ob}) \\ 1(T_{ob} \leq T \leq T_{oa}) \\ (T_m - T)/(T_m - T_{oa})(T_{oa} < T \leq T_m) \\ 0(T > T_m) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $T_{ob}$ 为发育最适下限温度, $T_{oa}$ 为发育最适上限温度, $T_b$ 为发育下限温度, $T_m$ 为发育上限温度, $T$ 为气温。累计辐热积即一个时段内逐日辐热积之和。

### 1.6 模型构建方法

指数函数模型表达式为: $y = a \exp(bx)$ (2),式中: $y$ 为器官干物质分配比例, $a$ 、 $b$ 为模型参数, $x$ 为累计辐热积( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ )。经典 Logistic 模型表达式为: $y = k/[1 + a \times \exp(-bx)]$ (3),式中: $y$ 为生长指标, $k$ 、 $a$ 、 $b$ 为模型参数,其中  $k$  为一定时期内的生长上限, $a$  为与曲线位置有关的参数, $b$  为内禀增长率, $x$  为累计辐热积( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 昼夜温差对番茄果期干物质分配的影响

各器官干质量占植株总干质量的比例,即为各器官干物质分配比例。图 1 为不同昼夜温差对番茄各器官干物质分配比例的影响。由图 1(a)可知,在果实膨大前期,各处理下干物质分配比例最大的均是叶,其次是茎,然后是根和果实。与零昼夜温差处理相比,-12 °C DIF 和 -18 °C DIF 处理根干物质分配比例分别增加 14.3% 和 28.6%,而 +12 °C

DIF 和 +18 °C DIF 处理根干物质分配比例减少 7.1% 和 7.1%。负昼夜温差处理使茎干物质分配比例降低,与零昼夜温差处理相比,−12 °C DIF 和 −18 °C DIF 处理茎干物质分配比例分别降低 9.1% 和 12.1%,而 +12 °C DIF 处理茎干物质分配比例升高 3.0%,+18 °C DIF 处理茎干物质分配比例不变。负昼夜温差处理使叶干物质分配比例增加,−12 °C DIF 和 −18 °C DIF 处理叶干物质分配比例分别增加 7.0% 和 9.3%,而 +12 °C DIF 处理叶干物质分配比例不变,+18 °C DIF 处理叶干物质分配比例增加 2.3%。果实干物质分配比例在负昼夜温差处理下降低,负昼夜温差越大,果实干物质分配比例越小,而果实干物质分配比例在正昼夜温差下几乎不变。

由图 1(b)知,在果实膨大中期,与果实膨大前期各器官干物质分配比例相比,各处理下茎和叶干物质分配比例均降低,而果实干物质分配比例增加,根干物质分配比例几乎不变。负昼夜温差处理下干物

质分配比例最大的是叶,其次是茎,然后是根,最小的是果实,而零昼夜温差处理和正昼夜温差处理下干物质分配比例最大的是叶,其次是茎,然后是果实,最小的是根,果实干物质分配比例超过了根。与零昼夜温差处理相比,根干物质分配比例在负昼夜温差下增加,负昼夜温差越大,根干物质分配比例越大,而在正昼夜温差下根干物质分配比例稍微减少;茎干物质分配比例在负昼夜温差处理下降低,负昼夜温差越大,茎干物质分配比例降低越多,而在 +12 °C DIF 下茎干物质分配比例升高,而 +18 °C DIF 下不变;叶干物质分配比例在负昼夜温差处理下增加,而在 +12 °C DIF 下减少,在 +18 °C DIF 下增加;果实干物质分配比例在负昼夜温差处理下降低,负昼夜温差越大,果实干物质分配比例降低越多,而果实干物质分配比例在 +12 °C DIF 处理下增加,在 +18 °C DIF 下减少。

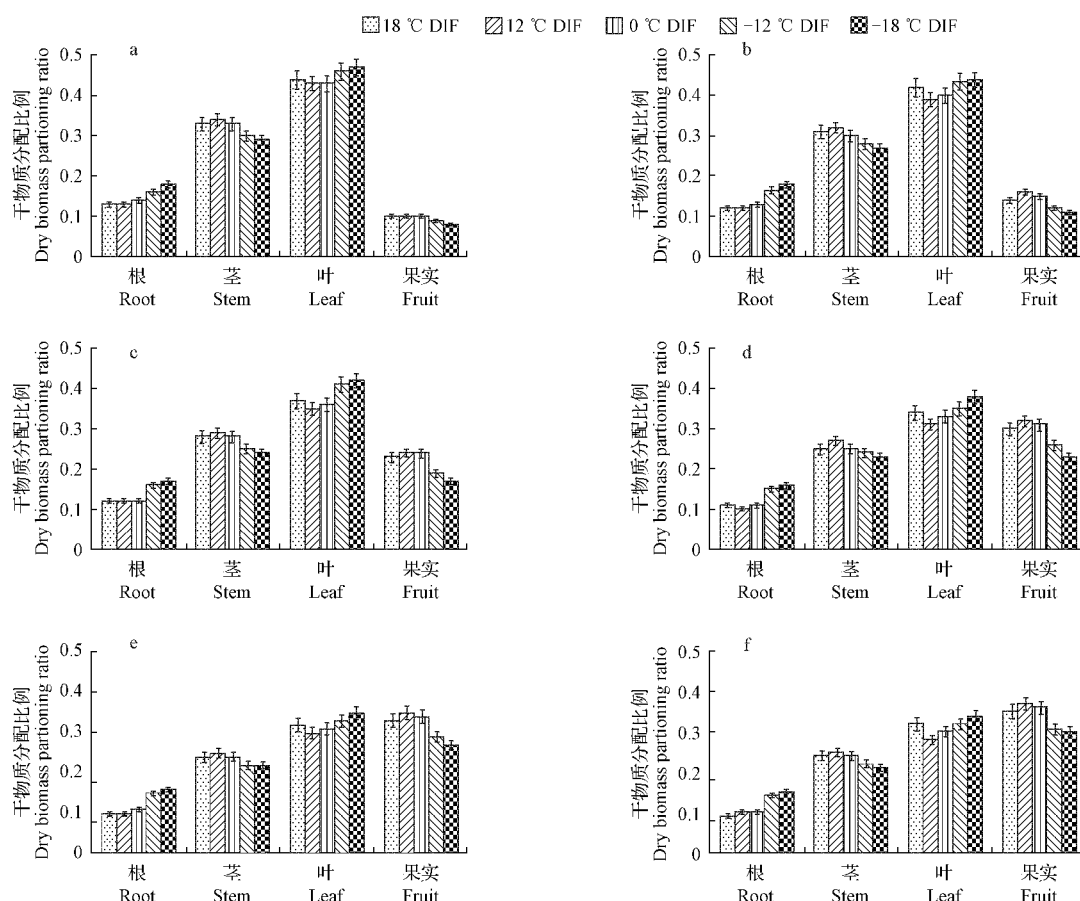


图 1 昼夜温差对番茄各器官干物质分配比例的影响(a、b、c、d、e、f 分别指果实膨大前期、膨大中期、膨大后期、绿熟期、转色期和红熟期)

Fig. 1 Influence of DIF on dry mass partitioning index of tomato(a,b,c,d,e,f denote junior fruit expanding stage,middle fruit expanding stage,senior fruit expanding stage,green ripe stage,turning colour stage and red ripe stage, respectively)

由图 1(c)知,在果实膨大后期,与果实膨大中期各器官干物质分配比例相比,各处理下根、茎和叶干物质分配比例均稍微降低,而果实干物质分配比例大幅增加。各处理下干物质分配比例最大的均是叶,其次是茎,然后是果实,最小的是根,负昼夜温差处理下果实干物质分配比例超过了根。与零昼夜温差处理相比,根干物质分配比例在负昼夜温差下升高,而在正昼夜温差处理下不变;茎干物质分配比例在负昼夜温差处理下降低,而在正昼夜温差下稍微增加;叶干物质分配比例在负昼夜温差和+18℃ DIF 处理下增加,而在+12℃ DIF 下稍微减少;果实干物质分配比例在负昼夜温差处理下降低,而在+12℃ DIF 下果实干物质分配比例不变,在+18℃ DIF 下稍微降低。

由图 1(d)知,与果实膨大后期各器官干物质分配比例相比,在绿熟期各处理下根、茎和叶干物质分配比例稍微降低,而果实干物质分配比例增加。与零昼夜温差处理相比,根干物质分配比例在负昼夜温差下增加,负昼夜温差越大,根干物质分配比例增

加越大,而在+12℃ DIF 处理下稍微降低;茎干物质分配比例在负昼夜温差处理下降低,而在+12℃ DIF 处理下稍微增加;叶干物质分配比例在负昼夜温差和+18℃ DIF 处理下增加,而在+12℃ DIF 下减少;果实干物质分配比例在负昼夜温差处理下降低,负昼夜温差越大,果实干物质分配比例降低越多,而在+12℃ DIF 下果实干物质分配比例稍微增加,在+18℃ DIF 下稍微降低。

由图 1(e)知,与绿熟期各器官干物质分配比例相比,在转色期各处理下根、茎、干物质分配比例几乎不变,叶干物质分配比例降低,而果实干物质分配比例增加。由图 1(f)知,在红熟期与绿熟期各器官干物质分配比例相比,各处理下根、茎、叶和果实干物质分配比例变化很小。

## 2.2 各器官干物质分配比例的模拟

2.2.1 根干物质分配比例的模拟 图 2 是根干物质分配比例与坐果后累积辐热积的关系。可以看出,不同昼夜温差处理下根干物质分配比例( $R_{\text{root}}$ )均随累积辐热积的增加而减少,呈指数递减关系。

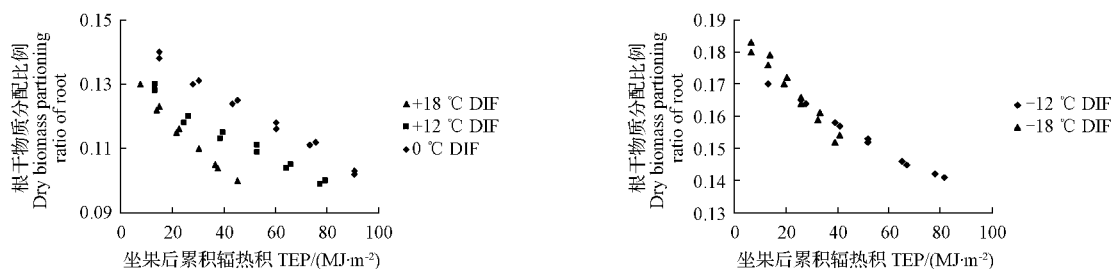


图 2 番茄根干物质分配比例与坐果后累积辐热积的关系

Fig. 2 Relationship between root dry mass portioning index of tomato and TEP

拟合不同昼夜温差处理下  $R_{\text{root}}$  与坐果后累积辐热积的关系,得到下列方程:

-18℃ DIF 下:  $R_{\text{root}} = 0.188 \exp(-0.0052 \text{TEP})$ ,  $R^2 = 0.96$ ,  $\text{SE} = 0.004$ , ..... (4);

-12℃ DIF 下:  $R_{\text{root}} = 0.177 \exp(-0.0029 \text{TEP})$ ,  $R^2 = 0.97$ ,  $\text{SE} = 0.003$ , ..... (5);

0℃ DIF 下:  $R_{\text{root}} = 0.149 \exp(-0.0031 \text{TEP})$ ,  $R^2 = 0.94$ ,  $\text{SE} = 0.002$ , ..... (6);

+12℃ DIF 下:  $R_{\text{root}} = 0.135 \exp(-0.0040 \text{TEP})$ ,  $R^2 = 0.93$ ,  $\text{SE} = 0.001$ , ..... (7);

+18℃ DIF 下:  $R_{\text{root}} = 0.137 \exp(-0.0071 \text{TEP})$ ,  $R^2 = 0.95$ ,  $\text{SE} = 0.001$ , ..... (8);

拟合不同昼夜温差处理下参数 a、b 与昼夜温差值的关系,它们为:

$a = 4 \times 10^{-5} \text{DIF}^2 - 0.0015 \text{DIF} + 0.1494$ ,  $R^2 = 0.99$ ,

$\text{SE} = 0.002$ , ..... (9);

$b = -1 \times 10^{-5} \text{DIF}^2 - 5 \times 10^{-5} \text{DIF} - 0.0025$ ,  $R^2 = 0.91$ ,  $\text{SE} = 0.0003$ , ..... (10)。

因此,昼夜温差对根干物质分配比例的影响模型可以表示为:

$$R_{\text{root}} = (4 \times 10^{-5} \text{DIF}^2 - 0.0015 \text{DIF} + 0.1494) \times \exp[-(1 \times 10^{-5} \text{DIF}^2 + 5 \times 10^{-5} \text{DIF} + 0.0025) \text{TEP}] \quad (11)。$$

2.2.2 茎干物质分配比例的模拟 图 3 为茎干物质分配比例与坐果后累积辐热积关系,由图 3 知,不同昼夜温差处理下茎干物质分配比例( $R_{\text{stem}}$ )随累积辐热积的增加而减少,也呈指数递减关系。

按照上述方法,同样可以构建出昼夜温差对茎干物质分配比例的影响模型:

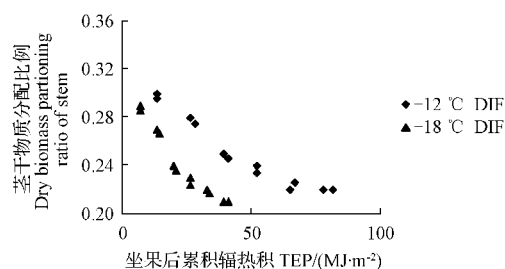
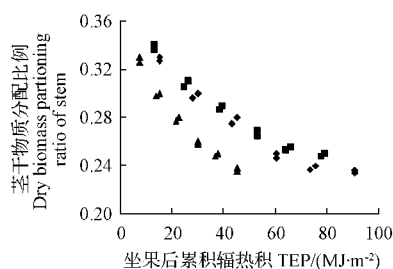


图3 番茄茎干物质分配比例与坐果后累积辐射热关系

Fig. 3 Relationship between stem dry mass portioning index of tomato and TEP

$$R_{\text{stem}} = (-7 \times 10^{-5} \text{DIF}^2 + 0.0013 \text{DIF} + 0.345) \times \exp[-(2 \times 10^{-5} \text{DIF}^2 - 3 \times 10^{-5} \text{DIF} + 0.003) \text{TEP}] \quad (12).$$

2.2.3 叶干物质分配比例的模拟 图4为叶干物质分配比例与坐果后累积辐射热积关系,可以看出,不同昼夜温差处理下叶干物质分配比例( $R_{\text{leaf}}$ )随累积辐射热的增加而减少,也呈指数递减关系。

同样,可以构建昼夜温差对叶干物质分配比例

的影响模型:

$$R_{\text{leaf}} = (8 \times 10^{-5} \text{DIF}^2 - 0.0012 \text{DIF} + 0.4648) \times \exp[-(2 \times 10^{-5} \text{DIF}^2 - 1 \times 10^{-5} \text{DIF} + 0.0045) \text{TEP}] \quad (13).$$

2.2.4 果实干物质分配比例的模拟 图5为果实干物质分配比例与坐果后累积辐射热积关系,可以看出,不同昼夜温差处理下叶干物质分配比例( $R_{\text{fruit}}$ )随坐果后累积辐射热的增加而增加,它们的关系呈Logistic关系。

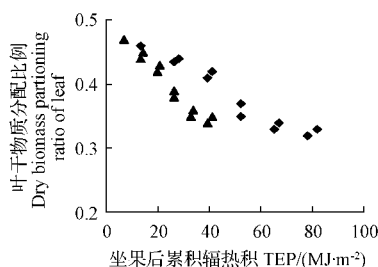
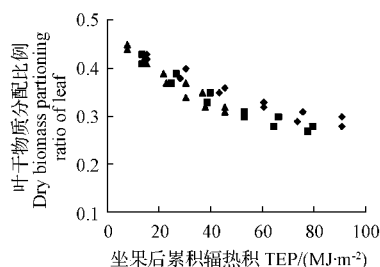


图4 番茄叶干物质分配比例与坐果后累积辐射热关系

Fig. 4 Relationship between leaf dry mass portioning index of tomato and TEP

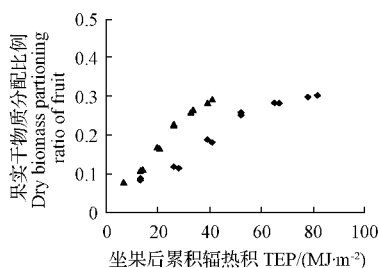
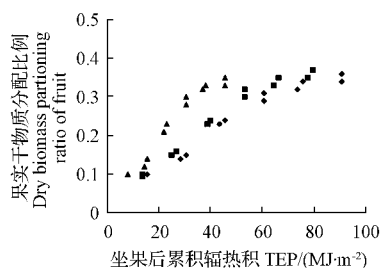


图5 番茄果实干物质分配比例与坐果后累积辐射热关系

Fig. 5 Relationship between fruit dry mass portioning index of tomato and TEP

拟合不同昼夜温差处理下  $R_{\text{leaf}}$  与坐果后累积辐射热的关系,得到下列方程:

$$-18\text{ }^{\circ}\text{C DIF 下: } R_{\text{fruit}} = 0.29/[1 + 7.450 \exp(-0.126 \text{TEP})], R^2=0.95, \text{SE}=0.004 \dots \dots (14),$$

$$-12\text{ }^{\circ}\text{C DIF 下: } R_{\text{fruit}} = 0.31/[1 + 7.438 \exp(-0.066 \text{TEP})], R^2=0.94, \text{SE}=0.005 \dots \dots (15),$$

$$0\text{ }^{\circ}\text{C DIF 下: } R_{\text{fruit}} = 0.37/[1 + 7.600 \exp$$

$$(-0.056 \text{TEP})], R^2=0.95, \text{SE}=0.006 \dots \dots (16),$$

$$+12\text{ }^{\circ}\text{C DIF 下: } R_{\text{fruit}} = 0.38/[1 + 7.677 \exp(-0.067 \text{TEP})], R^2=0.93, \text{SE}=0.009 \dots \dots (17),$$

$$+18\text{ }^{\circ}\text{C DIF 下: } R_{\text{fruit}} = 0.36/[1 + 7.725 \exp(-0.116 \text{TEP})], R^2=0.96, \text{SE}=0.008 \dots \dots (18),$$

拟合不同昼夜温差处理下参数 k、a、b 与昼夜温差值的关系,它们为:

$k = -0.000\ 1\text{DIF}^2 + 0.000\ 2\text{DIF} + 0.367, R^2 = 0.97,$   
 $\text{SE} = 0.000\ 1\cdots\cdots(19),$

$a = 0.008\ 4\text{DIF} + 7.578, R^2 = 0.96, \text{SE} = 0.000\ 9\cdots\cdots$   
 (20),

$$R_{\text{fruit}} = \frac{-0.000\ 1\text{DIF}^2 + 0.000\ 2\text{DIF} + 0.367}{1 + (0.008\ 4\text{DIF} + 7.578) \times \exp[-(0.000\ 2\text{DIF}^2 - 0.000\ 2\text{DIF} + 0.044\ 7)\text{TEP}]} \quad (22),$$

### 2.3 模型的检验

采用回归估计标准误(root mean squared error, RMSE)对模拟值和观测值之间的符合程度进行统计

分析:  $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{OBS}_i - \text{SIM}_i)^2}{n}}$  (23), 式中

$\text{OBS}_i$  为实测值,  $\text{SIM}_i$  为模型模拟值,  $n$  是样本容量。

$b = 0.000\ 2\text{DIF}^2 - 0.000\ 2\text{DIF} + 0.044\ 7, R^2 = 0.91,$   
 $\text{SE} = 0.000\ 2\cdots\cdots(21)。$

因此,昼夜温差对果实干物质分配比例的影响模型可以表示为:

RMSE 值越小,表明模拟值与观测值间的偏差越小。

用独立试验数据和上述方法检验各器官干物质分配比例模拟模型,结果见图 6。结果表明,果期番茄根、茎、叶、果实的模拟值与实测值之间基于 1:1 线的决定系数( $R^2$ )分别为 0.93、0.91、0.90、0.92, RMSE 分别为 0.03、0.05、0.06、0.04,说明模型模拟效果良好。

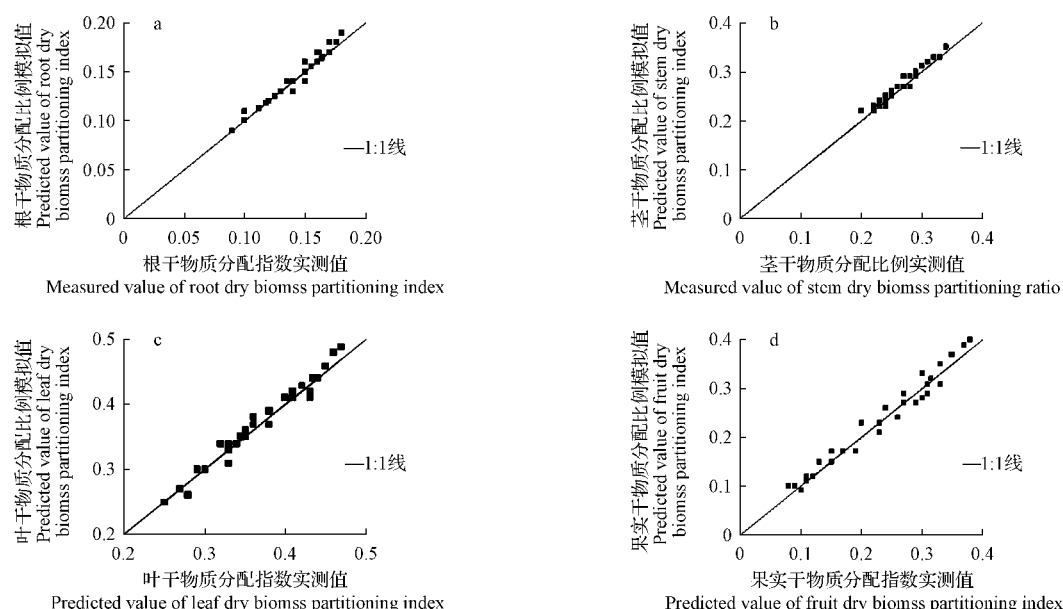


图 6 番茄各器官(a、b、c、d 分别为根、茎、叶、果)干物质分配比例模拟值与实测值比较

Fig. 6 Comparison between predicted value of dry biomass partitioning index and measured value of dry biomass partitioning index

### 3 结论与讨论

碳水化合物是植物生长发育和产量形成的主要物质基础。干物质分配过程是植物生长的关键环节,在很大程度上决定了植物的生长速率、生长模式<sup>[16]</sup>和植物的结构<sup>[17]</sup>。干物质分配的本质是植物在长期进化过程中形成的、在特定环境条件下通过调整器官的优先生长次序,受温度、水分、光照等环境因子影响。该研究结果表明,与零昼夜温差处理相比, +12 °C DIF 促进茎和果干物质分配比例增加,根和叶干物质分配比例减少; +18 °C DIF 促进叶干物质分配比例增加,果实干物质分配比例减少。+18 °C 处理下果实干物质分配比减少,原因可能是

+18 °C 处理下昼温(34 °C)太高,而温度过高,植物呼吸作用增加,不利于干物质向果实分配,而有利于向叶片分配<sup>[18]</sup>,因此叶干物质分配比例增加, KIM 等<sup>[2]</sup>也有类似的发现。+18 °C DIF 下根干物质分配比例比 +12 °C DIF 大,与郑卫杰等<sup>[10]</sup>研究结果一致。郑卫杰等<sup>[10]</sup>研究指出,文心兰试管苗 +12 °C DIF 处理比 +9 °C、+12 °C 处理地下部生物量大。而负昼夜温差对干物质分配的影响与正昼夜温差完全相反,负昼夜温差使茎和果干物质分配比例减少,根和叶干物质分配比例增加,与 KIM 等<sup>[2]</sup>、STAVANG 等<sup>[9]</sup>研究结果一致。STAVANG 等<sup>[9]</sup>指出野生型豌豆在负昼夜温差处理下茎干物质分配比例减少,根和

叶的干物质分配比例增加,KIM等<sup>[2]</sup>也有类似研究结论,其作用机理有待进一步的研究。不同昼夜温差处理下,根、茎、叶的干物质分配比例均与坐果后的累积辐热积呈指数递减关系,而果实的干物质分配比例与坐果后的累积辐热积呈 Logistic 模型递增关系。通过拟合昼夜温差值与指数模型和 Logistic 模型参数的数量关系,从而得到昼夜温差对根、茎、叶、果的干物质分配比例影响的模拟模型。前人构建的辐热积模型仅考虑辐射和热效应,该研究在前人基础上,加入昼夜温差效应,构建出基于昼夜温差和辐射、热效应的干物质分配动态模拟模型。

### 参考文献

- [1] 温祥珍. 从国外设施园艺状况看我国设施园艺的发展[J]. 中国蔬菜, 1999(4): 1-5.
- [2] KIM S H, NIEDZIELA J C E, NELSON P V, et al. Growth and development of *Lilium longiflorum* 'Nellie White' during bulb production under controlled environments I. Effects of constant, variable and greenhouse day/night temperature regimes on scale and stem bulblets [J]. Scientia Horticulturae, 2007, 112: 89-94.
- [3] MICHEL J V, ANITA S, GRIMSTAD S. Influences of day and night temperatures on flowering of *Fragaria* × *ananassa* Duch, cvs. Korona and Elsanta, at different photoperiods [J]. Scientia Horticulturae, 2007, 112: 200-206.
- [4] 毛丽萍, 李亚灵, 赵军良, 等. 昼夜温差对番茄幼苗光合特性和物质积累的影响[J]. 华北农学报, 2012, 27(1): 128-133.
- [5] 毛丽萍, 李亚灵, 温祥珍. 苗期昼夜温差对番茄产量形成因子的影响分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 172-177.

- [6] 杨再强, 王学林, 李丽, 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.
- [7] 李莉, 李佳, 高青, 等. 昼夜温差对番茄生长发育、产量和果实品质的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(9): 2700-2706.
- [8] 平晓燕, 周广胜, 孙敬松. 植物光合产物分配及其影响因子研究进展[J]. 植物生态学报, 2010, 34(1): 100-111.
- [9] STAVANG J A, PETTERSEN R I, WENDEL M, et al. Thermo-periodic growth control by gibberellin does not involve changes in photosynthetic or respiratory capacities in pea [J]. Journal of Experimental Botany, 2010, 61(4): 1015-1029.
- [10] 郑卫杰, 郭子霞, 王政, 等. 昼夜温差对文心兰试管苗生长的影响[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(4): 137-141.
- [11] 倪纪恒. 温室番茄生长发育模拟模型研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.
- [12] 李永秀, 罗卫红, 倪纪恒, 等. 用累积辐热积法模拟温室黄瓜叶面积、光合速率与干物质产量[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 131-136.
- [13] 徐国彬, 罗卫红, 陈发棣, 等. 温度和辐射对一品红发育及主要品质指标的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33(1): 168-171.
- [14] 袁昌梅, 罗卫红, 邵翔, 等. 温室网纹甜瓜干物质分配、产量形成与采收期模拟研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(2): 353-360.
- [15] 陈亚茹. 日光温室切花郁金香生长发育和外观品质模拟模型[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [16] GEIGER D R, KOCH K E, SHIEH W J. Effect of environmental factors on whole plant assimilate partitioning and associated gene expression [J]. Experimental Botany, 1996, 47(special issue): 1229-1238.
- [17] NIELSEN N K, LYNCH J P, JABLOKOW A G, et al. Carbon cost of root systems: an architectural approach [J]. Plant and Soil, 1994, 165: 161-169.
- [18] 刘保才. 蔬菜高产栽培技术大全[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.

## Effect of Day and Night Temperature Difference on Dry Matter Allocation of Tomato in Fruit Stage and Its Simulation Models

YUAN Xiaokang, LIU Fulai

(Hunan Research Institute of Meteorological Science, Changsha, Hunan 410118)

**Abstract:** In order to study the effect of day and night temperature difference (DIF) on dry matter allocation of tomato in fruit stage, three experiments were conducted in climate chambers. Five day/night temperature regimes 16/34, 19/31, 25/25, 31/19 and 34/16 °C with respective DIF of -18, -12, 0, +12 and +18 at a common 25 °C mean daily temperature were used. The results showed that DIF influenced dry matter allocation. Compared with 0 °C DIF, dry matter partitioning index of root ( $R_{\text{root}}$ ) and dry matter partitioning index of leaf ( $R_{\text{leaf}}$ ) decreased while dry matter partitioning index of stem ( $R_{\text{stem}}$ ) and dry matter partitioning index of fruit ( $R_{\text{fruit}}$ ) increased under +12 °C DIF. However,  $R_{\text{root}}$  and  $R_{\text{leaf}}$  increased while  $R_{\text{stem}}$  and  $R_{\text{fruit}}$  decreased under negative DIF. Under +18 °C DIF,  $R_{\text{leaf}}$  increased while  $R_{\text{fruit}}$  decreased.  $R_{\text{root}}$ ,  $R_{\text{stem}}$  and  $R_{\text{leaf}}$  decreased with product of thermal effectiveness and PAR (TEP) exponentially, while  $R_{\text{fruit}}$  increased with TEP in Logistic model. By fitting the numerical relationship between DIF value and exponential model parameters, simulation models of  $R_{\text{root}}$ ,  $R_{\text{stem}}$  and  $R_{\text{leaf}}$  were established. By fitting the numerical relationship between DIF value and Logistic model parameters, simulation model of  $R_{\text{fruit}}$  was established. They were tested by independent data and showed good effect.

**Keywords:** day and night temperature difference; tomato; dry matter allocation; influence; simulation