

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

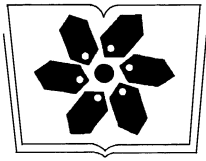
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 3 期
Vol.31 No.3
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 3 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用	李伟峰, 欧阳志云, 肖 焱 (593)
中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统	赵宏波, 周莉花, 郝日明, 等 (602)
昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (611)
天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性	李明辉, 何风华, 潘存德 (620)
大气 CO ₂ 浓度升高对 B 型烟粉虱大小、酶活及其寄主的选择性影响	王学霞, 王国红, 戈 峰 (629)
桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态	王 鹏, 凌 飞, 于 毅, 等 (638)
象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究	廖一波, 寿 鹿, 曾江宁, 等 (646)
北部湾宝刀鱼的摄食生态	颜云榕, 杨厚超, 卢伙胜, 等 (654)
黄河三角洲自然保护区东方白鹤的巢址利用	段玉宝, 田秀华, 朱书玉, 等 (666)
贺兰山野化牦牛冬春季食性	姚志诚, 刘振生, 王兆铨, 等 (673)
杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响	王 丹, 王 兵, 戴 伟, 等 (680)
中国干旱半干旱区潜在植被演替	李 飞, 赵 军, 赵传燕, 等 (689)
夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响	卫云燕, 尹华军, 刘 庆, 等 (698)
洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征	鲁 静, 周虹霞, 田广宇, 等 (709)
杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应	安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳 (716)
柠条细根的空间分布特征及其季节动态	史建伟, 王孟本, 陈建文, 等 (726)
NaCl 和 Na ₂ SO ₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构	孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等 (734)
设施番茄果实生长与环境因子的关系	程智慧, 陈学进, 赖琳玲, 等 (742)
嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响	周宝利, 刘 娜, 叶雪凌, 等 (749)
华北地区冬小麦干旱风险区划	吴东丽, 王春乙, 薛红喜, 等 (760)
干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡	严菊芳, 张嵩午, 刘党校 (770)
秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响	高 飞, 贾志宽, 路文涛, 等 (777)
盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应	徐 猛, 马巧荣, 张继涛, 等 (784)
阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响	母 容, 潘开文, 王进闯, 等 (793)
岷江上游油松与云杉人工林土壤微生物生物量及其影响因素	江元明, 庞学勇, 包维楷 (801)
荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布	贺学礼, 王银银, 赵丽莉, 等 (812)
百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响	邵元元, 王志英, 邹 莉, 等 (819)
居住区植物绿量与其气温调控效应的关系	李英汉, 王俊坚, 李贵才, 等 (830)
近 33 年白洋淀景观动态变化	庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 等 (839)
舟山群岛旅游交通生态足迹评估	肖建红, 于庆东, 刘 康, 等 (849)
¹⁵ N 交叉标记有机与无机肥料氮的转化与残留	彭佩钦, 仇少君, 侯红波, 等 (858)
沉积物老化过程中 DOC 含量变化对菲吸附-解吸的影响	焦立新, 孟 伟, 郑丙辉, 等 (866)
湖南石门、冷水江、浏阳 3 个矿区的苕麻重金属含量及累积特征	余 玮, 揭雨成, 邢虎成, 等 (874)
问题讨论	
近 55a 来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响	刘普幸, 张克新 (882)
利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹	郁振兴, 武予清, 蒋月丽, 等 (889)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-02

设施番茄果实生长与环境因子的关系

程智慧*, 陈学进, 赖琳玲, 滕 林

(西北农林科技大学园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:在设施环境下,研究环境因子与番茄果实生长的关系,以期为设施番茄精准管理提供参考。以1h为步长,记录设施内温度、光照强度及空气湿度,每7d进行1次果径测定,将采集的环境数据细分为7个变量,分析7个变量与果实日增量随时间的变化,采用DPS软件进行逐步回归,建立显著环境因子与果实日增量的回归模型。春茬两个棚环境因子随时间动态变化规律较一致,秋茬日光温室与其有所不同。番茄品种‘粉冠’和‘金棚’果实日增量呈现先升高后降低的趋势,品种‘珍琪’果实日增量变化波动较大。3个设施内影响果实日增量的显著环境因子有所不同,7个环境变量之间相互影响、相互制约。剔除不显著的环境变量后,建立了3个番茄品种果实日增量与显著环境变量的回归模型,确定了7个环境因子对果实生长的影响及果实生长适宜的环境变量范围。

关键词:番茄;果实生长;回归模型;设施栽培;精准农业

Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation

CHENG Zhihui*, CHEN Xuejin, LAI Linling, TENG Lin

College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling 712100 Shaanxi, China

Abstract: To provide information for precision management in tomato production under protected environments, the relationship between environmental factors and fruit growth of facility-cultivated tomatoes were studied and the optimum range of key environmental variables promoting fruit growth was identified. The temperature, light intensity, relative humidity and soil temperature at depth of 10cm in tomato cultivation facilities were recorded at one hour interval. The variation of daily tomato fruit growth were modeled from the data of fruit diameter increase by measuring transverse and longitudinal diameters of fruit every seven days. Data on seven environmental variables and fruit growth were analyzed, and a regression model was established with the DPS software package based on stepwise regression of key environmental variables and tomato fruit growth. It was shown that, the dynamics of environmental factors over time in two plastic sheds for spring tomato crops was similar. In both cases, there was a gradual increase of temperature, decrease of day/night temperature difference, and fluctuation of light intensity and relative humidity. In contrast, in two greenhouses with autumn tomato crops, there was a gradual decrease of air temperature but insignificant day/night temperature difference. Daily fluctuation of light intensity and relative humidity was similar to that in the plastic sheds in the spring. There was a great dependency among the seven environmental variables. For instance, the soil temperature rose with elevated air temperature while the relative humidity dropped with increase of light intensity. Daily fruit growth in the cultivars Fen Guan and Jin Peng increased dramatically first and decreased afterwards, which, however, fluctuated greatly in the cultivar Zhen Qi. The key environmental factors affecting daily fruit growth were significantly different among the three cultivation facilities. A regression model between daily tomato fruit growth and key environmental variables was developed for each of the three cultivars, Fen Guan, Jin Peng and Zhen Qi. The goodness of fit, as evidenced by the correlation coefficients, which were 0.9866, 0.9107 and 0.9237, respectively; and the F-statistics values, which were 29.32, 9.73 and 7.26, respectively

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAD79B01)

收稿日期:2009-12-17; 修订日期:2010-06-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chengzh@nwsuaf.edu.cn

for the regression function indicated that this model could be used for analysis and predication of tomato fruit growth with reasonable accuracy and precision. The optimum range of the seven environmental variables was defined with regard to their effects on promoting tomato fruit growth.

Key Words: tomato (*Solanum lycopersicum*); fruit development; regression model; facility-cultivation; precision agriculture

近年来,我国设施农业以超时令、反季节的设施园艺作物生产为主迅猛发展,至 2008 年,以塑料拱棚和日光温室为主要设施类型的设施园艺面积达 350 万 hm^2 ,居世界第一位^[1],但产量上与设施园艺先进国家相比差距还较大。如国外园艺技术发达国家的设施栽培果菜(番茄、黄瓜)单位面积产量达 50—70 kg/m^2 ,而我国(2007 年)还只有 18—25 kg/m^2 ^[2],其主要原因是我国无论从设施本身还是栽培管理,多以传统经验为主,缺乏量化指标和成套技术。因而寻找优化设施环境和管理决策的方法进而提高园艺产品的产量十分必要。番茄是我国乃至世界最重要的园艺产品之一,设施番茄果实生长膨大过程是产量形成的关键因素,这除与品种等因素有关外,还与设施内环境密切相关。如何科学、合理、准确的调节设施内环境因素,促进果实生长、提高单果重、进而增加产量具有重要的现实意义。国外较早就有关于设施环境和果实生长关系的报道^[3],但不适用我国的设施环境及条件。我国早在 1995 年,任鹤麒等^[4]就探讨了早春季节塑料大棚内温度、湿度等气象条件对番茄果实膨大的影响,以及棚内光照的分布情况,但各环境因子之间是相互影响、相互制约的^[5],孤立的研究某一因子对番茄果实膨大的影响不能很好的反应客观规律。范永强等^[6]研究了温度与番茄果实生长的关系,划出了果实生长速率较快的温度范围,但没有考虑其他环境因子的影响。其他关于温度对番茄果实生长的报道有很多^[7-8]。杨丽丽等^[9]将环境数据引入 logistic 方程,建立了较为精确的番茄单个果实生长规律模型,但模型较复杂,应用难度大。

本文就我国目前生产中应用最普遍的塑料大棚和日光温室为试验设施,研究了 3 个番茄品种果实生长与环境的关系,为设施番茄生产环境调控提供技术支持。3 个品种均为陕西关中地区主栽品种,无论从产量还是品质上都具有普遍性。另外,试验数据采自生产设施和环境下(非试验条件),数据可靠准确,具有更强的实践指导意义。综合分析 7 个环境因子对番茄果实生长的影响及显著程度,而非单一的、孤立的研究某一个或多个环境因素,研究结果较科学、准确。采用 DPS 中逐步回归的数理统计方法,对番茄果实生长期的 7 个环境因子进行分析和筛选,找出显著因子建立其与果实生长的相关关系,确定 3 个番茄品种果实生长的适宜环境因子范围。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2008 年 1—12 月在陕西杨凌进行。供试材料为粉红色圆形番茄(*Solanum lycopersicum*),品种分别为‘粉冠’、‘金棚’和‘珍琪’。种子均由杨凌农科大农城种业公司提供。催芽、育苗、定植按照生产方式进行。

1.2 方法

1.2.1 试验设施状况

试验数据采自杨凌东卫店村春茬番茄生产塑料大棚 2 个、秋茬番茄生产日光温室 1 个。春茬 4 月初定植,7 月中旬拉秧结束;秋茬 8 月中旬定植,12 月底拉秧结束。设施结构尺寸及番茄栽培株行距见表 1。

管理由设施主人按常规生产方式进行。浇水标准在开花坐果期之前不干不浇,浇则浇透水,在果实膨大期为见干就浇,保持土壤湿润。以正常标准施肥和必要的病虫害防治等措施进行管理,都用浓度为 10—20 $\mu\text{L}/\text{L}$ 的 2, 4-D 进行点花,每穗保留 3—5 个果实,3 个品种都保留到 5 穗果后打顶,均为单杆整枝。

表 1 供试设施结构尺寸及番茄栽培株行距

Table 1 Structure measurement of facilities for examination and tomato spaces in row and between plants

设施 Facilities	长度 Length/m	跨度 Span/m	高度 Height/m	种植品种 Varieties	番茄行距 Row space/cm	番茄株距 Planting distance/cm
塑料大棚 1 Plastic shed 1	40	7.5	1.9	粉冠	50	30
塑料大棚 2 Plastic shed 2	25	7.5	2.1	金棚	50	30
日光温室 Solar greenhouse	40	6.0	3.0	珍琪	60	30

1.2.2 番茄果实生长数据测定及处理

试验从开花结果期开始到拉秧结束,塑料大棚 1 和 2 随机标记有代表性的植株各 12 株,日光温室随机标记有代表性的植株 10 株,每株每穗选取 1—2 个果实标记,从果径 2cm 左右开始到果实成熟,每 7d 用精度 0.02mm 的游标卡尺测量果实横径 2 个(最大值和最小值),纵径 1 个(最大值)。已有研究表明果实横、纵径的立方与果实体积、鲜重存在显著线性关系^[10],为了真实反应果实整体增加量的变化,将日平均果实生长增量做如下处理:

$$V = R_1 \times R_2 \times R_3$$

式中, V 是果实体积模拟值, R_1 、 R_2 是分别是横径最大值和最小值, R_3 是纵径。 R_1 、 R_2 、 R_3 均为直径。

$$Y = \frac{\Delta Y}{\Delta t} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

式中, Y 是果实日增量,即因变量, V_1 、 V_2 分别是相邻前后两次由横、纵径计算出的果实体积模拟值。为了能较客观地反应出群体平均单果增长量,将同一时间测定的 10 或 12 株果实数据求其平均作为分析样本,故文中所涉及的果实日增量为群体平均单果日增量的模拟值。 $t_2 - t_1$ 是两次测定的时间间隔,本式中为 7d。

1.2.3 设施内环境数据采集及处理

利用河北邯郸清胜电子科技有限公司生产的 JL-18 型空气温度、光照强度、湿度自动记录仪采集设施内环境数据。另有 JL-01 型土壤温度记录仪采集地表以下 10cm 处的温度。每 1h 自动记录并保存数据 1 次。JL-18 型仪器安装在设施内中心番茄行间株高的 2/3 处,高度随株高调整,且避免被叶片遮挡光照传感器。

前人研究番茄果实生长和温度密切相关^[7-8],番茄光合产物的累计需要一定的温差^[11],所以将温度进一步细分为若干因子,定义各环境因子 X_1 — X_7 为自变量, X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 , X_6 , X_7 分别为 7d 的平均气温、白天平均气温、夜晚平均气温、平均温差、平均空气相对湿度、平均光照强度和地表以下 10cm 处的平均温度。春茬和秋茬在白天和夜晚的时间划分上有所不同,根据陕西关中地区光周期及仪器采集到的环境数据情况,春茬每天 7:00—19:00 为白天,20:00—翌日 6:00 为夜晚,秋茬每天 7:00—18:00 为白天,19:00—翌日 6:00 为夜晚。

2 结果与分析

2.1 设施内各环境因子和果实日增量随时间的变化

将棚 1、棚 2 和日光温室处理后环境因子自变量数据做随时间的变化图,如图 1。

从图 1 可以看出,用于春茬生产的棚 1 和棚 2 内平均气温逐渐升高,呈现出波动、缓慢上升趋势。白天和夜晚平均气温也随之上升,上升趋势基本一致;不同的是,夜温较日温上升幅度大,造成的结果是平均温差逐渐缩小。地表以下 10cm 处的平均地温和平均气温显著相似,不同之处是地温变化幅度更小。试验开始前 20d,棚 1 和棚 2 内光照强度增加明显,之后的 40d 呈现波动下降趋势,后又有小幅上升。平均湿度的变化规律是随光强的增加而下降;随光强的减弱而增加。整个试验 80d 左右,棚 1 的平均气温、平均光强、平均空气湿度分别为 22.3℃、22.0klx、65.9%;棚 2 分别为 21.8℃、21.5klx、72.3%。秋茬的日光温室内平均气温逐渐降低,平均土温较平均气温高且下降缓和。平均温差的变化规律不明显,平均光照和平均湿度呈负相关。整个试验过程中的平均气温、平均光强、平均空气湿度分别为 16.4℃、8.9klx、87.8%。

将 3 个品种的果实生长数据随时间变化作图,见图 2。

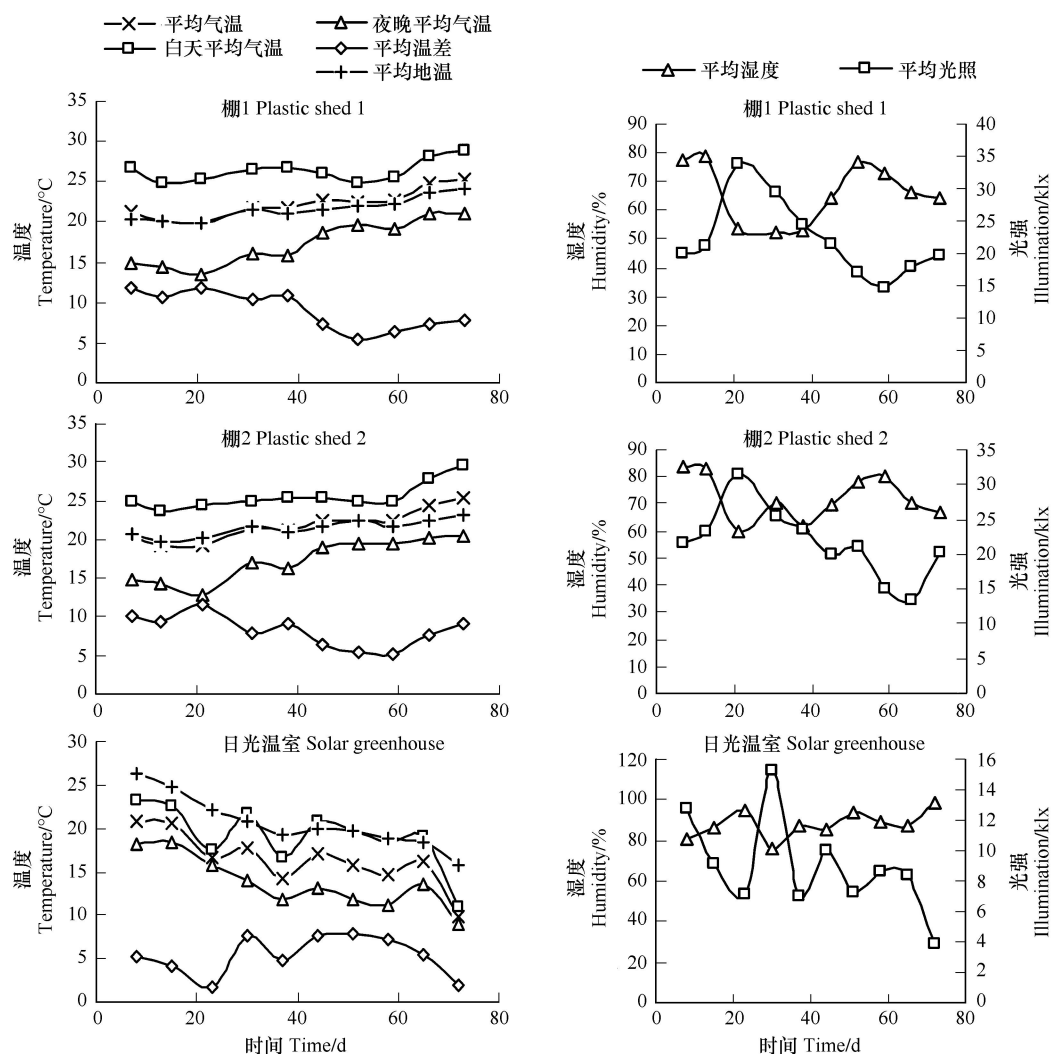


图1 设施内各环境因子随时间的变化

Fig. 1 Change of environmental factors in facilities along with time

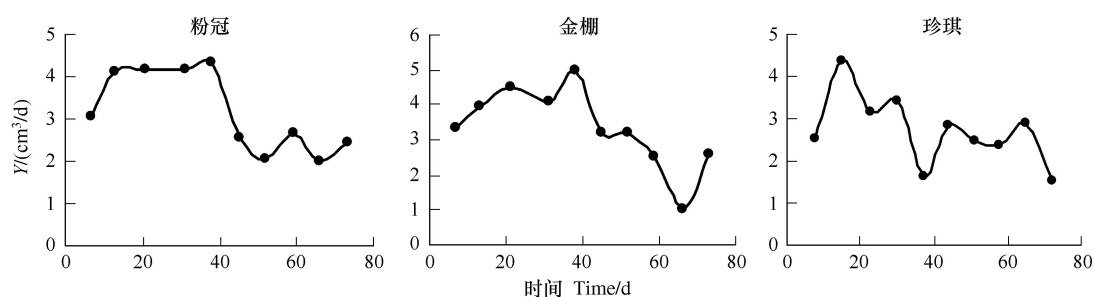


图2 果实日增量随时间的变化

Fig. 2 Change of fruit increment per day along with time

品种‘粉冠’和‘金棚’果实日增量平均值分别为 3.15 、 $3.34 \text{ cm}^3/\text{d}$, 都呈现先增大后下降的变化趋势, 这与前人的研究结论一致。品种‘珍珠’果实日增量平均值为 $2.72 \text{ cm}^3/\text{d}$, 低于前两个品种, 且变化波动较大, 可能由于秋茬环境条件较不适宜果实生长, 环境因子对果实日增量的影响较大。

2.2 3 个番茄品种果实日增量的回归模型

影响 Y 的环境因子有很多,当各个环境因子之间存在着高度的相互依赖性时(如光强和气温),就会给回归系数的估计带来不合理的解释。为了得到可靠的回归模型,需要从众多影响 Y 的因子中挑选出对 Y 贡献大的变量,在它们和 Y 的观测数据基础上建立“最优”的回归方程。逐步回归分析法就是这样一种比较理想的方法。DPS 统计软件是一款实验设计及统计分析功能齐全的、技术上达到国际先进水平的统计分析软件包,提供了完善、详尽的逐步回归功能模块。本文采用 DPS 中的逐步回归分析法分析果实日增量与环境因子的关系,建立回归模型。

在棚 1、棚 2 和日光温室中,将 7 个自变量和因变量数据整理,在 DPS 中将数据进行逐步回归分析。系统采用浮动 F_{α} 临界值的方法,可人为地变动该值,以筛选出对 Y 影响显著的变量,从而得到最佳回归方程。要求方程的方差分析 F 值的显著水平 P 要小于等于 0.05,相关系数 R 在 0.9 以上。所得到的回归方程如表 2。

表 2 各品种果实日增量回归方程

Table 2 Regression equation of fruit increment per day for three varieties

品种 Varieties	回归方程 Regression equation	X 范围 Range of X	R	F	P
粉冠	$Y = 12.0202 - 0.8183X_2 + 0.6207X_4 - 0.0666X_5 - 0.0949X_6 + 0.6261X_7$	X_2 (24.2, 29.0), X_4 (5.3, 11.9) X_5 (52.4, 79.0), X_6 (14.8, 33.8) X_7 (20.0, 24.2)	0.9866	29.32	0.0030
金棚	$Y = 18.5443 + 0.6171X_3 + 0.2595X_6 - 1.4686X_7$	X_3 (12.8, 20.5), X_6 (13.4, 31.4) X_7 (19.8, 23.0)	0.9107	9.73	0.0101
珍琪	$Y = -9.7259 + 146.0898X_1 - 145.7784X_3 - 72.8317X_4 + 0.0843X_5$	X_1 (9.9, 20.7), X_3 (8.9, 18.4) X_4 (1.8, 7.9), X_5 (75.6, 98.1)	0.9237	7.26	0.0259

3 个方程均可用于对番茄果实生长的分析和预测。自变量前面的系数越大,表明该自变量对因变量影响越显著。如金棚回归方程中,当 X_6 和 X_7 不变时, X_3 每增加 1,则果实日增量增加 0.6171;当 X_3 和 X_6 不变时, X_7 每增加 1,则果实日增量减小 1.4686。从模型原始数据中找出果实日增量最大的环境因子组合,见表 3,该组合可作为设施番茄果实膨大期管理的参考。

表 3 各品种果实日增量最大的环境因子组合

Table 3 Environmental factors of maximum fruit increment per day for three varieties

品种 Varieties	$Y_{\max}$ /(cm^3/d)	$X_1/^\circ\text{C}$	$X_2/^\circ\text{C}$	$X_3/^\circ\text{C}$	$X_4/^\circ\text{C}$	$X_5/\%$	X_6/klx	$X_7/^\circ\text{C}$
粉冠	4.31	21.73	26.72	15.82	10.90	52.68	24.50	21.05
金棚	5.00	21.27	25.46	16.33	9.13	61.75	23.47	20.98
珍琪	4.38	20.52	22.65	18.39	4.26	86.23	9.07	24.79

2.3 各环境因子之间及与果实日增量的相关关系

将各自变量和因变量相关系数整理,见表 4、表 5 和表 6。在棚 1 中平均土温和平均气温相关系数最高,达 0.98;夜晚平均气温与平均气温相关系数为 0.94;平均温差与夜晚平均气温、平均光强与平均湿度显著负相关。棚 2 的环境因子相关关系规律与棚 1 相似,说明处在相同的外界环境下,不同的棚内的环境差异不大。在秋茬的日光温室中夜晚平均气温和平均地温显著正相关,相关系数为 0.96;白天平均气温与平均气温相关系数为 0.95;平均温差与其他环境因子无显著相关;平均光强与平均湿度显著负相关,相关系数为 -0.94;平均湿度与白天平均气温呈负相关。

在棚 1 中影响果实日增量最显著的正因子是平均温差,相关系数为 0.84,即温差越大,果实增长越明显。其次是平均光强。影响果实日增量最显著的负因子是夜晚平均气温,相关系数为 -0.88,其次是平均气温。在棚 2 中平均光强对果实日增量影响显著,光强越强,果实增长越明显。平均温差的变化对果实增长的影响

不显著。平均气温和夜晚平均气温与果实日增量呈负相关。秋茬日光温室中,3 个气温因子与果实日增量呈正相关,其他环境因子相关性不显著。

表 4 棚 1 中各自变量和因变量相关系数

Table 4 Related coefficients in plastic shed 1

变量 Variable	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
X_1	1.00						
X_2	0.80	1.00					
X_3	0.94	0.55	1.00				
X_4	-0.65	-0.08	-0.88	1.00			
X_5	0.02	-0.31	0.18	-0.35	1.00		
X_6	-0.56	-0.13	-0.68	0.72	-0.75	1.00	
X_7	0.98	0.74	0.94	-0.69	-0.01	-0.52	1.00
Y	-0.77	-0.36	-0.88	0.84	-0.47	0.76	-0.73

表 5 棚 2 各自变量和因变量相关系数

Table 5 Related coefficients in plastic shed 2

变量 Variable	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
X_1	1.00						
X_2	0.88	1.00					
X_3	0.93	0.65	1.00				
X_4	-0.48	-0.01	-0.77	1.00			
X_5	-0.15	-0.36	0.03	-0.35	1.00		
X_6	-0.69	-0.42	-0.78	0.68	-0.41	1.00	
X_7	0.96	0.78	0.95	-0.59	-0.12	-0.61	1.00
Y	-0.73	-0.59	-0.73	0.47	-0.28	0.85	-0.68

2.4 番茄果实生长适宜的环境因子范围

本文已得到 7 个环境因子与番茄果实日增量的单相关系数。当单相关系数很大时,该环境因子的变化能极大地影响果实日增量的大小,说明该环境因子是主要制约因子,它的变化范围偏离适宜范围较大。反之,当单相关系数很小时,该环境因子的变化对果实日增量制约性不大,说明该环境因子处在果实生长适宜范围。根据这个观点,得到 3 个番茄品种果实生长部分适宜环境因子的范围,选择标准为 R 的绝对值小于等于 0.5,求其平均值和标准差,得到的环境因子适宜范围见表 7。

表 6 日光温室中各自变量和因变量相关系数

Table 6 Related coefficients in solar greenhouse

变量 Variable	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
X_1	1.00						
X_2	0.95	1.00					
X_3	0.93	0.78	1.00				
X_4	0.27	0.55	-0.10	1.00			
X_5	-0.67	-0.75	-0.50	-0.53	1.00		
X_6	0.73	0.81	0.54	0.55	-0.94	1.00	
X_7	0.92	0.79	0.96	-0.02	-0.50	0.57	1.00
Y	0.77	0.70	0.75	0.12	-0.43	0.50	0.61

表 7 各品种的环境因子适宜范围

Table 7 Suitable range of environmental factors about varieties

品种 Varieties	$X_2/^\circ\text{C}$	$X_4/^\circ\text{C}$	$X_5/\%$	X_6/klx
粉冠	26.3 ± 1.5		65.9 ± 10.5	
金棚		8.2 ± 2.1	72.3 ± 8.6	
珍珠		5.4 ± 2.3	87.8 ± 6.6	8.9 ± 3.2

3 讨论与结论

番茄果实生长膨大过程受多种因素影响,就内因来讲,果实生长受到内部生理调控呈现出“S”形生长曲线,生长速率为单峰曲线^[6]。外界环境的影响通过内因起作用,属可控因素,也是精准管理的关键所在。研究环境因子对果实生长的影响,找出果实生长所需适宜环境因子为精准管理提供数据支持。

关于气象条件对番茄果实生长的研究结论,一般认为气温增加、光强增强,同化量增加,促进果实生长^[4,6,11],这与本研究的结论一致。但前人研究多集中在某一环境因子,或将多环境因子分开研究,实际上各环境因子之间是相互影响、相互制约的,关于多环境因子对番茄果实生长的综合影响还未见报道。本文就我国目前应用最普遍的塑料大棚和日光温室内多环境因子对番茄果实的生长的综合影响进行了较为细致的研究,并建立了关键环境因子变量对 3 个番茄品种果实日增量影响的回归模型,分析了 7 个环境因子之间及 7 个环境因子变量与果实日增量的相关关系,说明 7 个环境因子之间存在高度的相互依赖性。本研究发现温差小也会成为番茄果实生长的限制因子,这在前人的研究中未见报道。就陕西关中地区来说,在设施内栽培番茄,应该人为增大温差。春茬大棚内环境较秋茬日光温室更适宜番茄果实生长,体现在秋茬温室中的低温、弱光、高湿环境条件限制了番茄果实生长。本研究还分析明确了 3 个番茄品种果实生长适宜的环境因子范围,

以及果实日增量达到最大时的环境因子组合。

影响春茬番茄果实日增量的限制因子是温差和光强。对于春茬栽培的品种粉冠和金棚,通过增大温差和光照强度可以促进果实生长。增大温差可采用白天尤其是上午保温,下午通风降低夜温等措施;增加光照强度的措施如选用新膜或及时清洗旧膜,挂反光膜等措施。3 个气温变量与果实日增量呈负相关,说明气温偏高,需要延长通风时间。秋茬番茄果实日增量的最大限制因子是平均气温,平均气温的升高显著促进果实膨大,说明秋茬栽培的关键是提高温室内气温。3 个空气湿度变量对果实日增量影响不显著,说明空气湿度在适宜的范围内。以上环境变量与番茄果实生长的关系,为设施番茄精准管理提供了技术支撑。

春茬两个棚的 7 个环境变量随时间的动态变化规律较一致,均是平均气温逐渐上升,平均夜温上升相对较快,平均温差逐渐减小。平均地温和平均气温变化有高度的一致性。秋茬日光温室内平均气温逐渐降低,平均地温较平均气温高且下降缓慢,平均温差的变化规律不明显。综合来看,平均地温变化幅度小,较稳定;平均湿度和平均光强变化呈波动趋势,两者之间有显著负相关关系;7 个环境变量之间存在高度相互依赖性。

品种‘粉冠’和‘金棚’果实日增量呈现先升高后降低的趋势,品种‘珍珠’果实日增量变化波动相对较大。

本研究建立的回归方程中只包含了对番茄果实日增量影响显著的环境因子,可对群体果实生长膨大过程进行分析和预测。棚 1 的显著环境因子是平均温差、夜晚平均气温和平均光强;棚 2 的显著环境因子是平均气温、夜晚平均气温和平均光强;日光温室的显著环境因子是平均气温、白天平均气温和夜晚平均气温。

References:

- [1] Research Group of the Development of Horticultural Facilities. Research of the industrial development of horticultural facilities in China. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2010, (3):1-5.
- [2] Cao D H, Gao J J, Wan W D, Fang J D, Fang B, Zhou B. Environmental condition of facility and synthesized control technology. *Shandong Agricultural Sciences*, 2007, (2):122-124.
- [3] Austin P T, Hall A J, Gandar P W, Warrington I J, Fulton T A, Halligan E A. A compartment model of the effect of early-season temperatures on potential size and growth of ‘delicious’ apple fruits. *Annals of Botany*, 1999, 83(2):129-143.
- [4] Ren H Q, Wang R F. The relationship between tomato growth and meteorological condition. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1995, 16(6):17-18.
- [5] Lian H. Studies on the Dynamic Relations between Vegetable Yield Formation and Environmental Factors in the Facilities. Harbin: Northeast Agricultural University, 2001.
- [6] Fan Y Q, Jing Y S. Study on temperature and the growth of tomato fruit. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2007, 35(36):11831-11832.
- [7] He C X, Qi W Q, Zhang Z B. Study on tomato's fruit development regular based on effective temperature in greenhouse // *Memoir of Urban Agricultural Engineering Innovation and International Development in Beijing*. Beijing: Beijing Association for Science and Technology, 2005:285-291.
- [8] Gong Z Q. Analysis on the Relationship of the Greenhouse Temperature and the Growth, Production of the Tomato. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2003.
- [9] Yang L L, Wang Y M, Kang M Z, Dong Q X. Simulation of tomato fruit individual growth rule based on revised Logistic Model. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(11):81-84.
- [10] Fu T, Luo X L, Li T L, Ren L, Hua Y. Study on the mathematical relationship between fresh weight and diameter of tomato fruit. *Northern Horticulture*, 2007, (5):10-12.
- [11] Shandong Agricultural University. Each Theory of Vegetable Cultivation. The third Edition. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 158-162.

参考文献:

- [1] 设施园艺发展对策研究课题组. 我国设施园艺产业发展对策研究. *长江蔬菜*, 2010, (3):1-5.
- [2] 曹德航, 高俊杰, 万卫东, 方京东, 方波, 周波. 设施蔬菜环境条件及其综合调控技术. *山东农业科学*, 2007, (2):122-124.
- [4] 任鹤麒, 王瑞芳. 番茄果实膨大与气象条件的关系. *中国农业气象*, 1995, 16(6):17-18.
- [5] 廉华. 蔬菜产量形成与设施内环境因素之间的动态关系的研究. 哈尔滨: 东北农业大学, 2001.
- [6] 范永强, 景元书. 温度与番茄果实生长的研究. *安徽农业科学*, 2007, 35(36):11831-11832.
- [7] 贺超兴, 齐维强, 张志斌. 基于积温的温室番茄果实发育规律研究 // *北京都市农业工程科技创新与发展国际研讨会论文集*. 北京: 北京市科协, 2005: 285-291.
- [8] 弓志青. 温室温度与番茄生长、生产关系的分析. 太谷: 山西农业大学, 2003.
- [9] 杨丽丽, 王一鸣, 康孟珍, 董乔雪. 基于修正 logistic 模型的番茄单个果实生长规律模拟. *农业机械学报*, 2008, 39(11):81-84.
- [10] 符特, 罗新兰, 李天来, 任乐, 花妍. 日光温室番茄果实鲜重与横纵径数学关系研究. *北方园艺*, 2007, (5):10-12.
- [11] 山东农业大学. 蔬菜栽培学各论. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 158-162.

CONTENTS

Applying landscape ecological concepts in urban land use classification	LI Weifeng, OUYANG Zhiyun, XIAO Yi (593)
Mating system of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China	ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Riming, et al (602)
Photosynthetically and ecophysiological characteristics of <i>Calligonum roborowasikii</i> in different altitudes on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (611)
Spatial distribution pattern of different strata and spatial associations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China	LI Minghui, HE Fenghua, PAN Cunde (620)
Effect of elevated CO ₂ on the body size, enzyme activity and host selection behavior of <i>Bemisia tabaci</i> biotype B	WANG Xuexia, WANG Guohong, GE Feng (629)
The dynamics of super-cooling ability and biochemical substances in the overwintering <i>Carposina niponensis</i> Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae) larvae	WANG Peng, LING Fei, YU Yi, et al (638)
A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China	LIAO Yibo, SHOU Lu, ZENG Jiangning, et al (646)
Feeding ecology of dorab wolf-herring, <i>Chirocentrus dorab</i> from the Beibu Gulf	YAN Yunrong, YANG Houchao, LU Huosheng, et al (654)
Make use of nest-site of oriental white stork in the Yellow River Estuary Nature Reserve	DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, ZHU Shuyu, et al (666)
Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China	YAO Zhicheng, LIU Zhensheng, WANG Zhaoding, et al (673)
Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations	WANG Dan, WANG Bing, DAI Wei, et al (680)
Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China	LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, ZHANG Xiaoqiang (689)
Responses on rhizosphere effect of two subalpine coniferous species to night-time warming and nitrogen fertilization in western Sichuan, China	WEI Yunyan, YIN Huajun, LIU Qing, et al (698)
Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin	LU Jing, ZHOU Hongxia, TIAN Guangyu, et al (709)
Growth and physiological responses of the <i>Periploca sepium</i> Bunge seedlings to drought stress	AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang (716)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (726)
The ultrastructure of chloroplast in mesophyll cell on two robinias under NaCl and Na ₂ SO ₄ stress	MENG Fanjuan, PANG Hongying, WANG Jianzhong, et al (734)
Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation	CHENG Zhihui, CHEN Xuejin, LAI Linling, et al (742)
Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under <i>Verticillium dahliae</i> stress	ZHOU Baoli, LIU Na, YE Xueling, et al (749)
The drought risk zoning of winter wheat in North China	WU Dongli, WANG Chunyi, XUE Hongxi, et al (760)
Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition	YAN Jufang, ZHANG Songwu, LIU Dangxiao (770)
Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia	GAO Fei, JIA Zhikuan, LU Wentao, et al (777)
Osmotic and ionic stress effects of high NaCl concentration on seedlings of four wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) genotypes	XU Meng, MA Qiaorong, ZHANG Jitao, et al (784)
Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils	MU Rong, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (793)
Soil microbial biomass and the influencing factors under <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Picea asperata</i> plantations in the upper Min-jiang River	JIANG Yuanming, PANG Xueyong, BAO Weikai (801)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of <i>Artemisia sphaerocephala</i> from Inner Mongolia desert	HE Xueli, WANG Yinyin, ZHAO Lili, et al (812)
Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of <i>Larix</i> artificial shelter-forest	SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying, ZOU Li, et al (819)
Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter	LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, et al (830)
Landscape dynamics of Baiyangdian Lake from 1974 to 2007	ZHUANG Changwei, OUYANG Zhiyun, XU Weihua, et al (839)
Evaluation of tourism transport ecological footprint in Zhoushan islands	XIAO Jianhong, YU Qingdong, LIU Kang, et al (849)
Nitrogen transformation and its residue in pot experiments amended with organic and inorganic ¹⁵ N cross labeled fertilizers	PENG Peiqin, QIU Shaojun, HOU Hongbo, et al (858)
Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing	JIAO Lixin, MENG Wei, ZHENG Binghui, et al (866)
Heavy metal concentrations and bioaccumulation of ramie (<i>Boehmeria nivea</i>) growing on 3 mining areas in Shimen, Lengshuijiang and Liuyang of Hunan Province	SHE Wei, JIE Yucheng, XING Hucheng, et al (874)
Discussion	
Climate characteristic of seasonal variation and its influence on annual growth period of <i>populus euphratica</i> Oliv in Hexi Corridor in recent 55 years	LIU Puxing, ZHANG Kexin (882)
Forward trajectory analysis of wheat aphids during long-distance migration using HYSPLIT model	YU Zhenxing, WU Yuqing, JIANG Yueli, et al (889)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 3 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 3 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许可证	京海工商广字第 8013 号		

