

分类号：  
学号：20222112020

密级：公开  
单位代码：10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 不同生态区对加工番茄生长发育的影响

学位申请人

牛博文

指导教师

庞胜群 副教授

苏新

申请学位类别

专业硕士

专业名称

农业

研究领域

农艺与种业

所在学院

农学院

中国·新疆·石河子

2024年5月

分类号：  
学号：20222112020

密级：公开  
单位代码：10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 不同生态区对加工番茄生长发育的影响

学位申请人

牛博文

指导教师

庞胜群 副教授

苏新

申请学位类别

专业硕士

专业名称

农业

研究领域

农艺与种业

所在学院

农学院

中国·新疆·石河子

2024年5月

**The Effect of Different Ecological Regions on the Growth and  
Development of Processing Tomatoes**

A Dissertation Submitted to

**Shihezi University**

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

**Master of Agriculture**

By

**Niu Bowen**

**(Agronomy and Seed Industry)**

Dissertation Supervisor: Prof. Pang Shengqun

May, 2024

# 石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

## 学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：牛博文

时间：2024年5月20日

## 使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：牛博文

时间：2024年5月20日

导师签名：

庞胜群

时间：2024年5月20日

## 摘要

**【目的】**适宜的生态区有利于加工番茄产量形成并实现较高的效益，是构建高效加工番茄生产模式重要的调控措施之一。和田地区民丰县从2022年开始试种加工番茄，对品种与环境的互动效应尚不了解，本研究探讨了不同生态区对两个加工番茄品种产量和品质的影响，分析了不同生态区对加工番茄生育进程及干物质积累的影响，并对生育期预测模型、干物质积累模型进行了验证，为民丰县选择加工番茄原料种植适宜区及合理安排定植期提供理论参考。

**【方法】**以加工番茄品种‘石番43’及‘佳义9166’为试验材料，温室育苗后，分别定植到民丰县萨勒吾则克乡（D1）、民丰林果试验基地（D2）、叶亦克乡（D3）三个试验点，调查参试品种的生育期、植株生长、果实品质、产量等农艺性状以及干物质积累、分配情况，分析不同生态区对加工番茄品种生长发育的影响。利用GDD法预测不同生态区参试品种的生育期、利用Logistic方程以时间为自变量建立干物质积累模型，并与实测值进行拟合，以明确模型的有效性。

**【结果】**（1）通过对3个生态区2个参试品种的生育期分析表明：在不同生态区同一个加工番茄品种从定植至红熟需要的天数不同。‘石番43’在D3生态区需要的时间最长，达到了136 d，在D2生态区最短为110 d。‘佳义9166’同样也是在D3区需要时间最长为125 d，在D2生态区最短，仅为100 d。在3个生态区，‘佳义9166’均表现为比‘石番43’早熟，平均早熟12 d。以GDD法建立两个加工番茄品种生育期预测模型，预测值与实测值误差较小，经检验‘石番43’的 $R^2$ 值为0.983，‘佳义9166’ $R^2$ 值为0.981，拟合效果较好。（2）通过对参试加工番茄品种农艺性状及产量的测定，结果表明：2个参试品种的株高均是在D1生态区最高，D2生态区最矮，2个生态区株高有显著性差异，2个品种在D1与D3生态区的株高差异均不显著。3个生态区茎粗差异不显著。2个品种的分枝数均是在D3生态区最多，‘石番43’在D3较D1和D2多0.4~0.6个，‘佳义9166’在D3比D1和D2多0.5~1.2个分枝。D2生态区2个加工番茄品种主茎节数最低。‘石番43’在D1区的花序数、开花数均显著高于D2和D3，‘佳义9166’在D3区的开花数、花序数均高于D1和D2生态区。（3）对果实品质进行分析，结果表明：在不同生态区，2个品种的果实品质均表现为D1>D2>D3。D1区果实硬度最大、可溶性固形物、总糖、Vc、番茄红素等含量最高，D3区总酸含量最高。2个参试品种相比，‘石番43’的果实品质优于‘佳义9166’。（4）对不同生态区2个参试品种的干物质积累与分配进行分析，结果表明2个加工番茄品种在不同生态区干物质积累均表现为：D1>D3>D2，各器官中以果实分配与积累量最大，结合干物质积累数据，以时间为自变量，利用Logistic函数建立总干物质及果实干物质积累预测模型，经过检验‘石番43’的总干物质与果实干物质积累RMSE值分别为12.43、10.21，‘佳义9166’的总干物质与果实干物质积

累 RMSE 值分别为 9.35、6.18，拟合效果较好，模型预测可行。

**【结论】**D3 生态区气候冷凉，同样的品种在这个区域种植生育期延长，D2 生态区土壤贫瘠，植株生长势弱，容易早衰，果实成熟提前，D1 土壤条件较好，加工番茄产量、品质、农艺性状及干物质积累含量显著高于其他 2 个生态区，且同期温度高于 D3 生态区，成熟期比 D3 早，生产上可以利用这 3 个生态区温度上的差异，将 D1 区作为中熟原料区、D2 作为早熟原料区、D3 作为晚熟原料区，合理安排种植面积和种植时间，以实现原料均衡供应，延长原料供应期的目的，但 D2 区土壤贫瘠，漏水漏肥严重，应加大有机肥的投入量，改善土壤结构，种植过程中应采用少量高频次灌溉的水肥管理措施，以提高产量。生产中可以利用基于有效积温的生育期模型来预测民丰县不同种植区的加工番茄物候期，用基于时间 X 的干物质积累模型来预测作物养分最大效率期，这两种模型预测效果好，可为制定适于民丰县的高效栽培技术提供理论基础。

**关键词：**生态区；加工番茄；生长发育；模型

## Abstract

**【Objective】** A suitable ecological zone is conducive to the formation of processing tomato yield and achieving high benefits, and is one of the important regulatory measures for constructing an efficient processing tomato production model. Starting from 2022, Minfeng County in Hotan Prefecture has been experimenting with the cultivation of processed tomatoes. The interaction effect between varieties and the environment is not yet understood. This study explores the impact of different ecological zones on the yield and quality of two processed tomato varieties, analyzes the impact of different ecological zones on the growth process and dry matter accumulation of processed tomatoes, and verifies the growth period prediction model and dry matter accumulation model, Provide theoretical reference for screening suitable areas for processing tomato raw material cultivation and arranging planting periods reasonably in Minfeng County.

**【Methods】** The processed tomato varieties 'Shifan 43' and 'Jiayi 9166' were used as experimental materials. After greenhouse seedling cultivation, they were planted at three experimental points in Salewuzeke Township (D1), Minfeng Forest and Fruit Experimental Base (D2), and Yeyike Township (D3) in Minfeng County. The growth period, plant growth, fruit quality, yield, and dry matter accumulation and distribution of the tested varieties were investigated, Analyze the impact of different ecological zones on the growth and development of different processed tomato varieties. Using GDD method to predict the growth period of tested varieties in different ecological regions, using Logistic equation to establish a dry matter accumulation model with time as the independent variable, and fitting it with measured values to clarify the effectiveness of the model.

**【Results】** (1) Through the analysis of the growth period of two tested varieties in three ecological regions, it was found that the number of days required for the same processed tomato variety to mature from planting to red varies in different ecological regions 'Shifan 43' takes the longest time in the D3 ecological zone, reaching 136 days, and the shortest time in the D2 ecological zone is 110 days ' Jiayi 9166 also requires the longest time of 125 days in Zone D3 and the shortest ecological period of only 100 days in D2. In three ecological zones, 'Jiayi 9166' showed earlier maturity than 'Shifan 43', with an average of 12 days of early maturity. Two prediction models for the growth period of processed tomato varieties were established using the GDD method. The predicted values had a small error compared to the measured values. After testing, the  $R^2$  values of 'Shifan 43' were 0.983 and 'Jiayi 9166' were 0.981, indicating a good fitting effect. (2) Through the determination of agronomic traits and yield of the tested processed tomato varieties, the results showed that the plant height of both varieties was the highest in the D1 ecological zone,

and the shortest in the D2 ecological zone. There was a significant difference in plant height between the two ecological zones, and there was no significant difference in plant height between the two varieties in the D1 and D3 ecological zones. There was no significant difference in stem thickness among the three ecological zones. Both varieties have the highest number of branches in the D3 ecological zone, with 'Shifan 43' having 0.4-0.6 more branches in D3 than D1 and D2, and 'Jiayi 9166' having 0.5-1.2 more branches in D3 than D1 and D2. The two processed tomato varieties in the D2 ecological zone have the lowest number of main stem nodes. The number of flowers and inflorescences of Shifan 43 in D1 area is significantly higher than that in D2 and D3, while the number of flowers and inflorescences of Jiayi 9166 in D3 area is higher than that in D1 and D2 ecological areas. (3) The analysis of fruit quality showed that in different ecological regions, the fruit quality of both varieties showed  $D1 > D2 > D3$ . D1 zone has the highest fruit hardness, soluble solids, total sugar, Vc lycopene and other contents, while D3 zone has the highest total acid content. Compared with the two tested varieties, the fruit quality of 'Shifan 43' is better than that of 'Jiayi 9166'. (4) An analysis was conducted on the dry matter accumulation and distribution of two tested tomato varieties in different ecological regions. The results showed that the dry matter accumulation of the two processed tomato varieties in different ecological regions was as follows:  $D1 > D3 > D2$ , with the fruit distribution and accumulation being the highest among all organs. Combined with dry matter accumulation data and time as the independent variable, a logistic function was used to establish a prediction model for total dry matter and fruit dry matter accumulation. After testing, the RMSE values of total dry matter and fruit dry matter accumulation of 'Shifan 43' were 12.43 and 10.21, respectively, and the RMSE values of total dry matter and fruit dry matter accumulation of 'Jiayi 9166' were 9.35 and 6.18, respectively. The fitting effect was good, and the model prediction was feasible.

**【Conclusion】** The climate in the D3 ecological zone is cold and cool, and planting the same variety in this area will prolong the growth period. The soil in the D2 ecological zone is poor, the plant growth is weak, and it is prone to premature aging. The fruit ripens earlier, and the soil conditions in the D1 ecological zone are better. The yield, quality, agronomic traits, and dry matter accumulation content of processed tomatoes are significantly higher than those in the other two ecological zones, and the temperature in the same period is higher than that in the D3 ecological zone. The maturity period is earlier than that in the D3 ecological zone. The temperature differences in these three ecological zones can be utilized in production, and D1 area can be used as a medium maturing raw material zone, D2 area as an early maturing raw material zone, and D3 area as a late maturing raw material zone. Reasonable arrangement of planting area and time can be made to achieve balanced supply of raw materials. The purpose is to increase the input of organic fertilizer and improve soil structure, but the soil in D2 area is poor and suffers from serious water and fertilizer leakage. During the planting process, a small amount of

high-frequency irrigation water and fertilizer management measures should be adopted to increase yield. In production, a growth period model based on effective accumulated temperature can be used to predict the phenological period of processed tomatoes in different planting areas of Minfeng County. A dry matter accumulation model based on time X can be used to predict the maximum nutrient efficiency period of crops. These two models have good predictive effects and can provide a theoretical basis for developing efficient cultivation techniques suitable for Minfeng County.

**Key words:** ecological zone; Processed tomatoes; Growth and development; model

# 目录

摘要.....	I
Abstract.....	III
目录.....	VI
缩略词表.....	VIII
第1章 文献综述.....	1
1.1 不同生态区气候因子对加工番茄的影响.....	2
1.1.1 湿度对加工番茄生育进程的影响.....	2
1.1.2 温度对加工番茄生育进程的影响.....	2
1.1.3 温度对加工番茄生长的影响.....	3
1.1.4 温度对品质影响.....	4
1.2 园艺作物生长发育模型研究.....	4
1.2.1 园艺作物发育模型研究.....	4
1.2.2 园艺作物生长模型研究.....	6
1.3 园艺作物模拟模型的已有成果.....	6
1.3.1 国外主要园艺作物模拟模型研究成果.....	6
1.3.2 国内主要园艺作物模拟模型研究成果.....	7
1.4 研究目的及内容.....	8
1.4.1 研究目的.....	8
1.4.2 研究内容.....	8
1.4.3 技术路线.....	9
第2章 材料与方法.....	10
2.1 材料与方法.....	10
2.1.1 生态区概况.....	10
2.1.2 试验地气象资料.....	10
2.1.3 试验材料.....	11
2.1.4 试验设计方案.....	11
2.1.5 测定项目与方法.....	11
2.1.6 数据统计与分析.....	15
第3章 结果与分析.....	16
3.1 不同生态区加工番茄生育进程分析及生育期预测.....	16

3.1.1 三个生态区 4~8 月气象条件变化情况 .....	16
3.1.2 不同生态区对加工番茄生育期的影响 .....	17
3.1.3 参试品种生育期模型预测 .....	17
3.1.4 参试品种生育期模型检验 .....	18
3.2 不同生态区对加工番茄农艺性状及产量的影响 .....	21
3.2.1 不同生态区对加工番茄农艺性状的影响 .....	21
3.2.2 不同生态区对加工番茄产量的影响 .....	25
3.3 不同生态区对加工番茄果实品质的影响 .....	26
3.3.1 生态区对加工番茄果实硬度的影响 .....	26
3.3.2 生态区对加工番茄果实可溶性固形物的影响 .....	26
3.3.3 生态区对加工番茄果实总糖含量的影响 .....	27
3.3.4 不同生态区对加工番茄果实总酸含量的影响 .....	27
3.3.5 不同生态区对加工番茄果实糖酸比的影响 .....	28
3.3.6 不同生态区对加工番茄果实 Vc 含量的影响 .....	29
3.3.7 不同生态区对加工番茄果实番茄红素含量的影响 .....	29
3.4 基于 Logistic 加工番茄干物质积累与预测 .....	30
3.4.1 不同生态区对加工番茄干物质积累与分配的影响 .....	30
3.4.2 不同生态区域对加工番茄生物量分配的影响 .....	38
3.4.3 参试品种单株干物质积累子模型的建立 .....	41
3.4.4 参试品种果实干物质积累子模型的建立 .....	42
3.4.5 不同品种植株干物质模型检验 .....	42
第 4 章 讨论 .....	45
4.1 不同生态区加工番茄生育进程分析及生育期预测 .....	45
4.2 不同生态区对加工番茄农艺性状及产量的影响 .....	46
4.3 不同生态区对加工番茄果实品质的影响 .....	46
4.4 基于 Logistic 加工番茄干物质积累与预测 .....	47
第 5 章 结论与展望 .....	49
5.1 结论 .....	49
5.2 展望 .....	49
参考文献 .....	51
致谢 .....	58
作者简介 .....	59

## 缩略词表

缩写	英文全称	中文全称
Abbreviations	Full name in English	Full name in Chinese
GDD	Growing degree day	生长度日
MEx	Accumulated effective accumulated temperature	累积有效积温
NRMSE	Normalized Root Mean Square Error	归一化均方根误差
RMSE	Root Mean Square Error	根均方差
R	Total acid content	总酸含量
R <sup>2</sup>	Relative coefficient	相关系数
S	Total sugar content	总糖含量
SAT	Sugar acid ratio	糖酸比
Tav	Average temperature	平均温度

## 第 1 章 文献综述

我国是全球最重要的加工番茄制品生产国和出口国，是亚洲最大的加工番茄生产和加工基地，其中新疆生产销量占全国的 90% 以上，加工番茄产业是新疆的优势产业之一<sup>[1-3]</sup>。

新疆地处 73°40′~96°18′E，34°25′~48°10′N 之间，光照强，昼夜温差大，气候干燥，年太阳能总辐射量 130~150 kcal/cm<sup>2</sup>，年平均日照时数为 2600~3400 h，具有良好的水土光热资源，所种加工番茄品质佳、病虫害少、可溶性固形物和番茄红色素含量高，适合进行番茄加工，经济效益高<sup>[4]</sup>。现今，许多番茄加工企业普遍存在原料前期和后期供应不足，中期过于饱和，成熟高峰期交售组织困难的问题，影响企业的可持续生产、农民积极性、经济效益和原料的均衡供应<sup>[5]</sup>，不同生态区加工番茄种植模式、定植时期和农业生产技术应用水平方面差异较大，会对加工番茄的生产效率与品质产生不同程度的影响<sup>[6]</sup>。

目前，新疆加工番茄生产基本采用育苗移栽。北疆大部分地区  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  有效积温持续日数为 190~220 d<sup>[7]</sup>，这些地区通常 3 月 5~25 日播种，4 月 20~5 月 15 日定植，8 月初至 9 月底采收。加工企业一般 8 月 5 日前后开始收购番茄原料，8 月 10~30 日为采收和交售高峰期，9 月 10 日以后为原料供应晚期，交售量不大<sup>[8]</sup>。南疆地区  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  有效积温的时间早于北疆，天数也多于北疆，所以育苗、移栽等均较北疆提前 10~20 d<sup>[8]</sup>。由于南疆有效积温时间早于北疆，无霜期长。近几年很多加工企业开始在南疆开辟新的原料种植基地，以解决北疆原料种植区供应能力不足、加工企业产能过剩的问题。

民丰县属于新疆和田地区，位于昆仑山北麓，塔里木盆地南缘。地处 82°22′~85°55′E，35°20′~39°29′N。属温带荒漠气候，多年平均无霜期为 194 d，昼夜温差大，热量资源充足，适宜加工番茄生长<sup>[9]</sup>。在 2022 年就开始试种加工番茄，但是哪些品种适合在当地种植、适宜作物生长的生态环境等关键问题还不明确，需要广泛开展试验筛选出适合当地的品种和种植区域。

适宜的生态区有利于加工番茄产量形成并实现较高的效益，是构建高效加工番茄生产模式重要的调控措施之一<sup>[10]</sup>，随着农业信息技术快速发展，带动智慧农业与信息农业的发展。农业信息技术的主要内容之一是作物生长发育模拟模型研究，随着国内外对作物生理生态及计算机模拟技术的研究越来越多，机理性和解释性模型已被广泛应用，它可以采用简单的方法，通过模拟遗传发育因子、生长发育环境，可较精准的

预测作物适宜的生育期及作物养分最大效率期，从而达到精准施肥，实现农产品高效优质发展。

## 1.1 不同生态区气候因子对加工番茄的影响

新疆是我国加工番茄生产的主要种植区，也是国内加工番茄主要生产地。新疆地区有效积温高，气候干旱，多年平均降水量不足 100 mm，但降水量分布比较集中，且有明显的季节性变化，南北疆都有较适宜的种植区域。

### 1.1.1 湿度对加工番茄生育进程的影响

农业用水量占总用水量比例最大，是节水的重要内容。基于我国的实际情况，节水农业是一种重要的农业生产方式，因此，如何科学用水，提高用水效率，是一个亟待解决的重要问题。

加工番茄是新疆主要的特色产业之一，近几年来，其规模已经成为新疆最大的番茄生产基地<sup>[11]</sup>。随着农业领域普遍推广应用节水灌溉技术，番茄种植中的膜下滴灌技术与机械化采收逐渐融合。目前，番茄膜下滴灌技术已成为设施农业的重要组成部分，可以实现节水节肥、节地、降低劳动强度、增产、增效等目的。也可以有效地防止土壤次生盐渍化，改善生态环境<sup>[12]</sup>。早期的研究显示，番茄在生长发育过程中对水分有较高的需求。干旱会明显影响番茄的生理代谢、产量和品质。因此，在栽培管理过程中，必须注意保持水分充足，以满足番茄生长所需<sup>[13]</sup>。前人在这方面的研究主要集中在鲜食番茄的生理生态效应上，通常是针对特定领域进行的单一机理研究，比如研究土壤水分对番茄光合作用生理的影响。目前，关于土壤水分对番茄光合生理的研究主要集中于苗期，对不同生育时期的光合特性、叶绿素荧光参数等指标进行了深入分析，但对番茄产量与品质的影响则偏重于水分亏缺开始时期；而在灌溉指标方面，主要是集中于灌溉临界点的选择上，对不同生育期的水分敏感指数、等进行了深入研究，但关于灌溉下限却鲜有涉及<sup>[14]</sup>。在此基础上，以加工番茄为研究对象，依据其耗水规律及适宜的用水标准，在保障正常生理需水量的基础上，保障需水关键期的供水，通过合理的灌水方式，降低灌水次数，抑制农田内的无效耗水，实现节水增产，从而进一步提高农田用水效率。

### 1.1.2 温度对加工番茄生育进程的影响

在高温条件下，种子萌发和幼苗生长受到不同程度的胁迫，一方面，高温引起种子萌发期延长，而且直接影响了幼苗的生长发育。另一方面，高温使种子萌发受到胁迫，从而抑制了其活力<sup>[15]</sup>。

结果表明,在 30 °C 的条件下,番茄种子的发芽受抑制,且这种抑制作用随温度和时间的延长而增加。这一结论在黄瓜、芹菜等农作物上也得到了证实,在对黄瓜上的研究中发现,高温能够影响黄瓜的主根长度增加、变细,侧根数量增多<sup>[16]</sup>;金春燕等<sup>[17]</sup>研究发现,在番茄生长的早期,高温对幼苗根系产生了不良影响,抑制了幼苗根系对水分和养分的吸收能力,从而影响了早期幼苗正常的生长。同时,高温还会使植株叶片失水黄化,引发植株早衰,甚至死亡<sup>[18]</sup>。

### 1.1.3 温度对加工番茄生长的影响

加工番茄属于喜温作物,温度对其生长至关重要,植物生长、呼吸、光合作用等都会受到温度的影响<sup>[20]</sup>。任何一种植物,都有其最高、最低、最适温度,就算是同一物种,在不同的生长期内,其最适温度也不同。番茄生长适宜的白天温度为 25 °C~28 °C,日温小于 15 °C 将限制加工番茄的生长发育<sup>[21]</sup>,日温长期处于小于 5 °C 时将会引起对植物的低温伤害<sup>[22]</sup>。武利明等<sup>[23]</sup>研究显示,番茄生长最快的温度在 20~30 °C 范围内。超过适宜温度,植物会发生徒长<sup>[24]</sup>,当日温超过 30 °C 以上时,植株呼吸耗氧量急速增加<sup>[25]</sup>,同化物显著降低,不利于营养物质的积累<sup>[26]</sup>。孙小丽等<sup>[27]</sup>研究表明,日温超过 30 °C 有碍于番茄生长,且对番茄生长产生高温胁迫,严重时造成植株死亡。赵玉萍等<sup>[28]</sup>研究发现,短期亚高温处理会使番茄植株生长加快,长时间受高温胁迫的番茄植株会出现早衰的现象。气温升高会导致光合产物大量向叶片转运,从而导致植株体内干物质累积含量减少,从而阻碍了光合产物向果实的转运。刘保才等<sup>[29]</sup>研究表明,高温胁迫下,番茄植株库强度受到温度升高的影响,高温会加剧植物的呼吸强度,从而导致果实脱落。在较高的温度下,容易导致植株徒长,花芽分化和果实的发育都有很大的影响<sup>[30]</sup>。低温胁迫引起的形态结构变化,渗透压,氧化胁迫和光照抑制在营养生长阶段<sup>[31]</sup>,如果遇到低温,就会出现植物生长迟缓、叶片变黄、叶片变黄等症状<sup>[32]</sup>。但在花期受到高温胁迫,则使植物结实率下降,柱头的萌发率下降<sup>[33]</sup>。低温胁迫是影响黄瓜生长的主要因素,严重影响其产量、品质,同时也影响其抗病能力。严重时可造成黄瓜产量下降,甚至绝产<sup>[34]</sup>。

日温与叶温同等重要,有研究发现,大多数植物在夜间生长较快<sup>[35]</sup>,很多植物在晚上温度比小于白天温度的情况下才能正常生长<sup>[36]</sup>。适宜番茄生长的夜温为 15 °C~18 °C<sup>[35]</sup>。有研究发现,番茄果实发育的关键温度是夜间温度,适宜的夜间温度范围是 15 °C~20 °C。适宜的夜间温度可以促进番茄白天的同化物质向茎、果实以及根部之间充分转运<sup>[36]</sup>。研究表明,夜温为 16.4 °C 时,番茄新叶等器官转运<sup>[37]</sup>,使其叶面积增加速度快,根冠比较大,有利于光合产物的运输<sup>[37]</sup>。夜间温度在 8.2 °C 以下,会使植株的根活力下降,从而影响了植株对矿物元素的吸收与转运。夜间气温对植株的生长起着重要的作用,夜间气温较低时对植株的生长发育有明显的抑制作用,并且在营养生

长期内, 植株的生长与夜间气温的关系更为密切<sup>[38]</sup>。

### 1.1.4 温度对番茄果实品质影响

番茄果实中含有丰富的类胡萝卜素, 以番茄红素含量最高(83%)。番茄红素主要分布在果实中, 它能与脂类形成复合体, 并与胞内膜相结合。在果实成熟过程中, 大量的绿色叶绿素被降解, 体内类胡萝卜素的合成加快, 从而提高了番茄红素的含量, 从而使果实从青绿转红。番茄红素不但能促进果实的色泽, 还具有较强的抗氧化性, 能降低多种癌症及心脏疾病的发生率<sup>[39]</sup>。番茄红素的形成受温度的影响。果实的品质与其所含有糖分的类型及含量密切相关, 果实糖分是由叶片光合产物转化而来。前期研究发现, 高温高湿条件下, 植株糖运输受阻, 果糖和葡萄糖积累增多, 而蔗糖积累量下降, 并与大气湿度和温度存在明显的负相关关系<sup>[40]</sup>。随着温度的升高, 在整个生长期中, 随着温度的升高, 各个生育期的糖分、糖的浓度都呈递减的趋势<sup>[41]</sup>。有结果表明, 随着气温的升高, 果实中的可溶性固形物、可溶性蛋白含量都有所下降。结果表明, 在果期高温条件下, 各个生育期的果实总糖、蔗糖、可溶性糖和蔗糖的含量都比开花时高<sup>[42]</sup>。

## 1.2 园艺作物生长发育模型研究

农作物的生长发育模型可分为两大类: 一是生长模型, 二是发育模型。作物模型是一个复杂的系统, 它由许多部分组成, 具有检验假设、综合知识、描述和理解复杂系统等功能, 常被分为描述性及解释性模型, 目前已有的多种解释模型都是以光合作用为基础, 并包含了叶面积、冠层光分布、光合作用、呼吸作用、干物质分配等模型<sup>[43]</sup>。目前, 国内在作物模型研究比较多的是番茄、黄瓜、甜椒等。随着设施农业的发展, 许多温室内还种植了一些观赏作物, 如玫瑰、月季、郁金香等。模型的研究内容涉及生长、发育、温度和养分吸收等方面<sup>[44]</sup>。作物生长发育模拟模型的研究最直接的意义就是可以准确地预测出不同阶段作物的物候期, 从而为农民在选择合适的定植期等方面提供理论依据, 这对于保证农业生产的稳定发展起着至关重要的作用。

### 1.2.1 园艺作物发育模型研究

园艺作物在成长过程中, 不同器官的发育和形态建成过程会直接导致植株外部形态学的变化, 从而确定了物候期, 如播种、出苗、开花、结果、成熟等阶段。植物的生长发育受多个因素影响, 模型建立过程中需要将它们进行区分。