

# 基于气候适宜度的贵州番茄 精细化农业气候区划

张波<sup>1,2</sup>, 胡家敏<sup>1</sup>, 谷晓平<sup>1</sup>, 古书鸿<sup>1</sup>

(1. 贵州省山地环境气候研究所, 贵州 贵阳 550002; 2. 贵州省山地气候与资源重点实验室, 贵州 贵阳 550002)

**摘要:**利用贵州省 81 个气象台站 1961—2015 年的温度、降水和日照等气象资料, 建立番茄不同生育期的温度、降水和日照的气候适宜模型, 并采用相对权重法计算了番茄整个生育期的综合气候适宜度。结果表明: 全省温度适宜度空间呈东高西低、南高北低趋势, 变化范围为 0.42~0.97, 降水充沛, 降水适宜度较高, 变化范围为 0.78~1.00, 日照适宜度在 0.54~0.98, 呈西高东低的分布特征; 贵州省番茄适宜种植区的总面积为 17.2 万 km<sup>2</sup>, 其中最适宜区面积为 4.25 万 km<sup>2</sup>, 主要分布在黔西南州、六盘水南部、安顺市西部、南部边缘及遵义市北部边缘地区, 约占全省面积的 24.14%; 适宜区主要集中在贵阳市、毕节市、遵义市、铜仁市和黔东南州大部及黔南州北部等地区, 约占全省面积的 73.49%。

**关键词:**番茄; 气候适宜度; 精细化区划

**中图分类号:**S 162.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2018)02-0193-06

农业气候区划是在农业气候分析的基础上, 采用一定的区划方法, 遵循农业气候相似原理, 将一个地区划分为若干个有明显差异的农业气候区域, 它着重从农业生产各地农业气候条件对农业生产的利弊程度分析及比较地区间的差异, 为决策者制定农业区划和农业发展规划, 充分利用气候资源提供科学依据<sup>[1]</sup>。随着计算机技术和 GIS 技术的发展, 农作物气候区划的精确度已显著提高, 并在农业气候区划中得到广泛应用<sup>[2-3]</sup>。

关于农作物气候区划国内外已经开展了相关

研究, 夏菜<sup>[4]</sup>、辣椒<sup>[5]</sup>、荔枝<sup>[6]</sup>、水稻<sup>[7]</sup>、火龙果<sup>[8]</sup>、大豆<sup>[9]</sup>、油桃<sup>[10]</sup>、百合<sup>[11]</sup>、杨梅<sup>[12]</sup>、油菜<sup>[13]</sup>等作物的精细化区划研究已有报道, 研究中区划指标的确定常通过实际生产经验或气象因子和作物的产量进行回归分析, 对比筛选适合作物区划的关键气候因子, 由于部分作物的产量数据难以获取, 给作物区划指标的确定增加了难度, 而气候适宜度能够表征气候对作物生长适宜程度的量化指标, 因此基于气候适宜度的精细化区划可以有效的解决这一问题, 目前气候适宜度模型在作物产量预报中应用较为广泛<sup>[14-16]</sup>, 在农业气候化区划中, 齐斌等<sup>[17]</sup>基于气候适宜度模型确定了河南省的棉花精细化区划。

贵州省属亚热带湿润季风气候区, 气候温暖湿润, 气温变化小, 冬暖夏凉, 雨热同季, 大气、水源、土壤受污染少, 适合蔬菜产业的发展, 已成为农业部全国蔬菜重点区域发展规划中的重点区域<sup>[18]</sup>。据统计, 2014 年贵州省蔬菜种植面积 128.3 万 hm<sup>2</sup>, 产量 2 881 万 t, 产值 605 亿元<sup>[19]</sup>, 因此开展蔬菜精细化气候区划的工作成为合理利

**第一作者简介:**张波(1985-), 男, 山东临沂人, 硕士, 工程师, 现主要从事农业气象等研究工作。E-mail: nj0622@126.com.

**责任作者:**谷晓平(1968-), 女, 湖南耒阳人, 博士, 正高级工程师, 现主要从事农业气象等研究工作。E-mail: 16114331@qq.com.

**基金项目:**贵州省科技厅资助项目(黔科合人才(2016)4026号, 黔科合院士站(2014)4010号); 贵州省气象局业务发展重大科技专项资助项目(ZD201504)。

**收稿日期:**2017-09-30

用气候优势及指导蔬菜的生产的首要任务。

目前贵州已经开展对蓝莓<sup>[20]</sup>、小油桐<sup>[21]</sup>、马铃薯<sup>[22]</sup>等作物的精细化区划研究,对蔬菜的精细化农业气候区划尚鲜见报道,现以番茄作为研究对象,建立番茄气候适宜度模型并确定贵州番茄的精细化农业区划,以期为贵州省其它蔬菜种类的区域规划和产业的持续发展提供科学依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

贵州省现有 85 个地面气象观测站,由于各站建站时间不一致,为保证资料的完整性,剔除数据缺测较多的站点,因此该研究选用贵州省 1961—2015 年 81 个气象站逐日温度、降水和日照时数资料,气象数据来源于贵州省气象信息中心;贵州省数字高程地图(DEM)来源于中国科学院科学

数据库,分辨率为 90 m×90 m;番茄生育期为 3—7 月。研究区域及气象站点的分布见图 1。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 温度适宜度

番茄是喜温性蔬菜,生长发育的最适温度为白天 20~25℃,夜间 15~18℃,当温度达到 40℃时,就停止生长,当温度降到 10℃以下时,生长缓慢,在 5℃时,植株停止生长,以逐日气象资料为基础,根据番茄不同生育期内的三基点温度<sup>[23]</sup>,建立番茄温度适宜度模型为

$$f(T) = \frac{(T - T_1)(T_2 - T)^B}{(T_0 - T_1)(T_2 - T_0)^B} \quad (1),$$

$$B = \frac{(T_2 - T_0)}{(T_0 - T_1)} \quad (2)。$$

式中, $f(T)$ 为番茄生育期温度适宜度; $T$ 为各站日平均气温, $T_0$ 、 $T_1$ 、 $T_2$ 分别为番茄发育阶段所需的最适气温、最低气温和最高气温(表 1)。

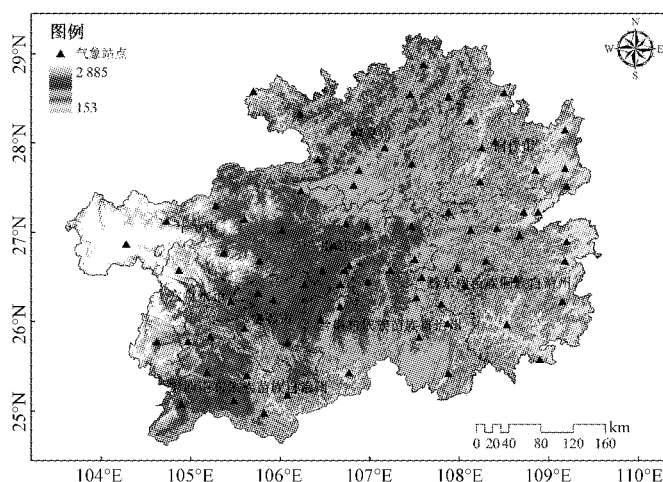


图 1 研究区域及气象站点分布

Fig. 1 Study area and distribution of meteorological station

#### 1.2.2 降水适宜度

水分是显著影响番茄生长,产量及品质的主要因子<sup>[24]</sup>,番茄是深根作物,既怕旱又怕涝,不同生育期对水分的要求不同,要保证土壤排水好,水分均匀供给,该研究根据番茄不同生育期的需求量的满足程度计算降水适宜度模型。

$$f(R) = \begin{cases} 1 - \frac{|\Delta W|}{W} \dots \Delta W < 0 \\ 1 \dots \Delta W \geq 0 \end{cases} \quad (3)。$$

式中, $f(R)$ 为番茄生育期降水适宜度; $\Delta W$ 为

水分盈亏额, $\Delta W = R - KcET_0$ , $W = KcET_0$ , $R$ 为作物生育期内的降水量, $W$ 为作物生育期内的理论需水量, $Kc$ 为作物需水系数, $ET_0$ 为参考作物蒸散量由 FAO 推荐的并修订的 Penman-Monteith 模型计算;根据 FAO 推荐的  $Kc$  值确定了不同生育期内的番茄作物系数,具体值参考表 1。

#### 1.2.3 日照适宜度

番茄是喜光性作物,生长发育需要充足的光照,充足的阳光不仅有利于植株的光合作用,而且对花芽分化和结果都是有利的,较强的光照,花芽

表1 番茄不同发育期的下限、  
最适温度、上限(℃)及需水系数(Kc)

Table 1 Minimum, maximum and optimum  
temperatures of tomato in different growth periods (℃) and  
water requirement coefficient (Kc)

发育阶段 Growth period	时间段 Time	T <sub>1</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>2</sub>	K <sub>C</sub>
发芽期 Germination stage	3月上旬—3月中旬	5	20	38	0.30
幼苗期 Seedling stage	3月下旬—4月下旬	8	23	35	0.40
开花期 Flowering stage	5月上旬—5月中旬	15	25	35	0.45
结果期 Fruiting stage	5月下旬—7月下旬	15	26	38	0.30

分化较早,花序的着生节位也较低,不容易落花,在前人研究基础上,以理论日照时数的40%作为最适宜,日照适宜度模型为

$$f(S) = \begin{cases} \frac{S}{S_0} \cdots S < S_0 \\ 1 \cdots S > S_0 \end{cases} \quad (4)。$$

式中, $f(S)$ 为番茄生育期日照适宜度; $S$ 为番茄生育期内实际日照时数, $S_0$ 为日照百分率为40%的日照时数。

#### 1.2.4 综合适宜度

番茄不同发育阶段对光、温、水条件需求不同,各气象要素的贡献系数也不同,采用相对权重法确定不同气象要素的权重,构建番茄综合气候适宜度模型为

$$B = \sum_{j=1}^3 (W_j \times S_j) \quad (5),$$

式中, $B$ 为番茄全生育期综合适宜度; $j$ 代表温度、降水和日照3种气象要素; $S_j$ 代表每个气象要素的全生育期适宜度值,对番茄4个生育期内温度、降水和光照的气候适宜度值进行平均得到番茄全生育期单因子气候适宜度结果( $S_j$ )。

$$S_j = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 S_i \quad (6),$$

式中, $S_j$ 代表单因子气候适宜度; $i$ 代表发芽至结果4个生育期, $S_i$ 代表每个生育期的适宜度值;代表不同要素的权重值,采取相对权重法计算<sup>[17]</sup>,首先判断样本数据中是否存在明显的限制因子,找出评价单元中气候适宜度最小的因子,即 $S_m = \min(S_j)$ ,若 $S_m > 0.2$ 则认为此评价单元没

有明显的限制因子,则此评价单元中某个因子的相对权重是由其限制性 $(1-S_j)$ 及其它因子的限制共同决定的。

$$W_j = \frac{(1-S_j)^2}{\sum_{j=1}^3 (1-S_j)^2} \quad (0.2 < S_m \leq 1.0) \quad (7),$$

若 $S_m \leq 0.2$ ,则认为存在显著的限制因子,则该因子的相对权重较大,权重为 $(1-S_m)$ ,其它因子的相对权重之和为 $S_m$ ,即

$$W_j = \frac{(1-S_j)^2}{\sum_{j=1}^2 (1-S_j)^2} \times S_m \quad (S_m \leq 0.2, S_j \neq S_m) \quad (8),$$

$$W_j = 1 - S_m \quad (S_j = S_m \leq 0.2) \quad (9)。$$

## 2 结果与分析

### 2.1 适宜度空间分布

图2所示为贵州省温度、降水和日照适宜度的空间分布特征,可以看出,全省温度适宜度(图2a)在0.42~0.97,空间分布表现为东高西低、由南向北递减的变化趋势,温度适宜度较高的区域分布在安顺市、黔西南州、黔南州、黔东南州的南部地区以及遵义市北部边缘地区,毕节市、六盘水市及贵阳市大部分地区的温度适宜度较低;降水适宜度(图2b)空间分布表明,全省降水适宜度在0.78~1.00,降水充沛,能够满足番茄生长发育的需水量;日照适宜度(图2c)空间分布表明,全省日照适宜度在0.54~0.98,空间分布特征显著,自西向东呈明显的递减的变化趋势,高值区域分布在毕节市大部、六盘水和黔西南州等地区,中东部地区的日照适宜度较低。

### 2.2 番茄精细化区划

根据综合适宜度计算结果,并结合贵州省的实际生产情况,综合考虑确定贵州省番茄精细化农业气候区划分级指标(表2)。

表2 番茄精细化气候区划分级指标

Table 2 Agricultural climate regional  
planning standard of tomato

分区	最适宜区	适宜区	次适宜区	不适宜区
综合适宜度	$\geq 0.7$	0.5~0.7	0.4~0.5	$\leq 0.4$

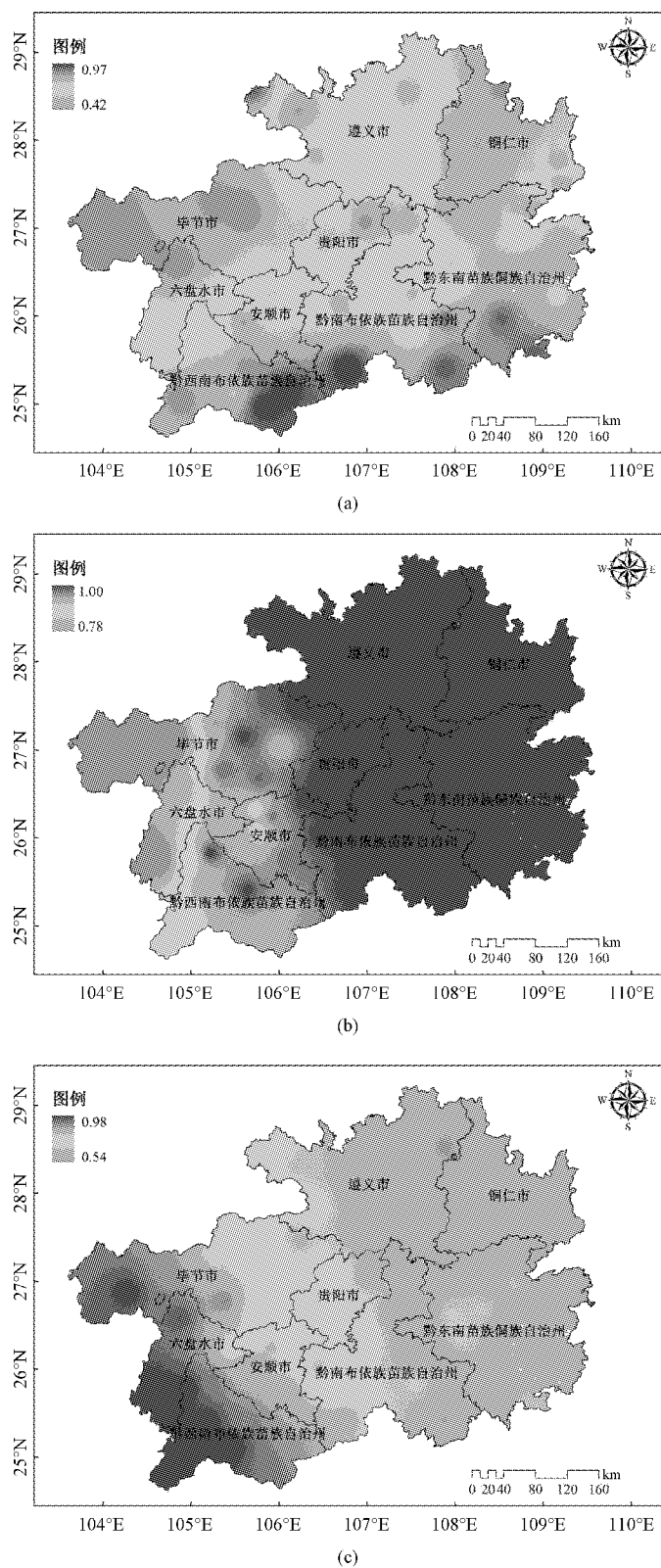


图2 温度(a)、降水(b)和日照(c)适宜度空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of temperature (a), precipitation (b) and sunshine (c) suitability

根据番茄精细化气候区划分级指标,基于 ArcGIS 的精细化空间插值技术,结合 DEM 数据计算得到贵州省番茄精细化农业气候区划分布(图 3),区划结果显示,贵州省番茄适宜种植区的总面积为 17.200 万 km<sup>2</sup>(表 3),其中最适宜区面积为 4.250 万 km<sup>2</sup>,主要分布在黔西南州、六盘水南部、安顺市西部、南部边缘及遵义市北部边缘地区,约占全省面积的 24.14%,该区属于黔、滇、桂三省交界,地形复杂,立体气候特征显著,既有南亚热带气候特征,也有北亚热带气候、中亚热带气候特征,主属山区中亚热带季风湿润气候,番茄生育期内热量充足,光照适中,雨量充沛,平均气温 16.93~22.87℃,平均降雨量 733.08~890.13 mm,日照时数达 714.41 h 左右;适宜区主要集中在贵阳市、毕节市、遵义市、铜仁市和黔东南州大部及黔南州北部等地区,面积为 12.950 万 km<sup>2</sup>,约占全省面积的 73.49%。

次适宜区主要分布在遵义市东北部道真县和务川县等地区,面积约为 0.390 万 km<sup>2</sup>(表 3),该区番茄生育期内日照不足,不利于番茄的光合作用,对番茄的花芽分化和结果不利;不适宜区主要分布在铜仁市中部的梵净山地区,面积约为 0.029 万 km<sup>2</sup>,该区平均气温较低且日照时间短,严重影响番茄生长发育。

表 3 番茄不同气候适宜区的面积

Table 3 The area of different agricultural climate regional of tomato

	最适宜区	适宜区	次适宜区	不适宜区
面积	4.250	12.950	0.390	0.029

### 3 结论

研究基于贵州省 81 个气象台站的气象资料,构建番茄不同生育期的温度、降水和日照气候适宜度模型,并采用相对权重法计算番茄整个生育期的综合气候适宜度,在 GIS 平台中利用栅格计算得出番茄的综合适宜度空间分布特征,根据番茄农业气候区划分级指标将全省划分为最适宜区、适宜区、次适宜区和不适宜区 4 个区,结果表明:1)贵州省番茄生育期内温度、降水和日照适宜度空间分布特征明显,温度适宜度由南向北递减的变化趋势,降水充沛全省大部分地区的降水适

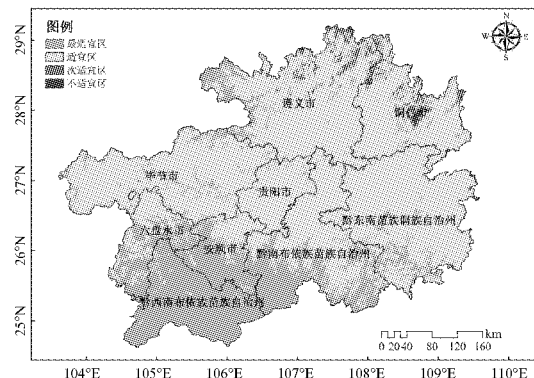


图 3 贵州番茄精细化气候区划分布

Fig. 3 Precise comprehensive agricultural climate regional distribution of tomato in Guizhou Province

宜度较高,日照适宜度空间上自西向东呈明显的递减的变化趋势;2)贵州省番茄适宜种植区的总面积为 17.2 万 km<sup>2</sup>,其中最适宜区面积为 4.25 万 km<sup>2</sup>,主要分布在黔西南州、六盘水南部、安顺市西部、南部边缘及遵义市北部边缘地区,约占全省面积的 24.14%;适宜区主要集中在贵阳市、毕节市、遵义市、铜仁市和黔东南州大部及黔南州北部等地区,面积为 12.95 万 km<sup>2</sup>,约占全省面积的 73.49%;不适宜种植番茄的区域分布在遵义市东北部边缘区域和铜仁市的中部等地区。

气候区划是农业区划的基础性工作之一,由于番茄的种植和分布区域不仅受气候条件的影响,同时还受土壤、灌溉条件、种植技术、生产成本以及市场状况等因素的约束<sup>[23]</sup>,其结果可能存在着少部分地区与实际不符的现象,这有待在今后的研究中不断补充、修正和完善,使农业气候区划结果更加合理、实用<sup>[25]</sup>。

### 参考文献

- [1] 郭文利,权维俊,刘洪. 精细化农业气候区划业务流程初步设计[J]. 中国农业气象,2010(1):98-103.
- [2] 张明洁,赵艳霞. 近 10 年我国农业气候区划研究进展概述[J]. 安徽农业科学,2012,40(2):993-997.
- [3] 宁锦阳. 精细化农业气候区划系统相关技术研究[D]. 长沙:湖南大学,2011.
- [4] 张凯,张玉鑫,陈年来,等. 甘肃省高原夏菜种植气候区划[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012(5):179-185.
- [5] 王华,胡飞,黄俊. 基于 GIS 的广东冬种辣椒气候适宜性区划[J]. 气象与环境科学,2014,37(3):76-80.
- [6] 郭淑敏,陈印军,苏永秀,等. 广西荔枝精细化农业气候区划

与应用研究[J]. 中国农学通报, 2011(2): 205-209.

[7] 秦鹏程, 万素琴, 邓环, 等. 湖北省水稻种植布局精细化气候区划[J]. 湖北农业科学, 2016(16): 4150-4153.

[8] 胡子有. 火龙果气候适应性分析与广西火龙果种植生态气候区划[J]. 南方园艺, 2015, 26(3): 16-19.

[9] 王莹, 张晓月, 焦敏, 等. 基于 GIS 的辽宁省大豆种植气候区划[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(11): 163-166.

[10] 王锐婷, 李金建, 杨涛, 等. 基于 GIS 的四川省油桃精细化农业气候区划[J]. 中国农学通报, 2013, 29(35): 355-361.

[11] 陈艳华, 郭俊琴, 张旭东. 基于 GIS 的兰州百合适生种植气候区划[J]. 干旱气象, 2014, 32(1): 157-161.

[12] 边超钧, 王连喜, 王亚军, 等. 江苏省杨梅精细化农业气候区划[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(11): 190-193.

[13] 刘灿, 徐前进, 陈志军, 等. 重庆地区油菜精细化气候区划研究[J]. 高原山地气象研究, 2014, 34(1): 77-80.

[14] 刘伟昌, 陈怀亮, 余卫东, 等. 基于气候适宜度指数的冬小麦动态产量预报技术研究[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(2): 21-24.

[15] 黄淑娥, 田俊, 吴慧峻. 江西省双季水稻生长季气候适宜度评价分析[J]. 中国农业气象, 2012, 33(4): 527-533.

[16] 易雪, 王建林, 宋迎波. 气候适宜指数在早稻产量动态预报

上的应用[J]. 气象, 2010, 36(6): 85-89.

[17] 齐斌, 余卫东, 袁建显, 等. 河南省棉花精细化农业气候区划[J]. 中国农业气象, 2011(4): 571-575.

[18] 赵利晖, 邓静琳, 毛伟. 贵州省蔬菜产业发展战略研究[J]. 热带农业科学, 2013, 33(1): 77-81.

[19] 董鹏, 胡美华, 王娟娟, 等. 云贵高原夏秋蔬菜产业现状及发展对策[J]. 中国蔬菜, 2016(3): 1-4.

[20] 张帅, 谷晓平, 莫建国, 等. 基于 GIS 的贵州蓝莓生态适宜性区划[J]. 贵州农业科学, 2014(10): 255-257.

[21] 谷晓平, 于飞, 马建勇, 等. 贵州省小油桐气候适宜性评价指标分析和区划[J]. 中国农业气象, 2013, 34(4): 434-439.

[22] 池再香, 莫建国, 康学良, 等. 基于 GIS 的贵州西部春薯种植气候适宜性精细化区划[J]. 中国农业气象, 2012, 33(1): 93-97.

[23] 孟平红. 贵州主要蔬菜无公害栽培技术[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2010.

[24] 杨再强, 邱译莹, 刘朝霞, 等. 土壤水分胁迫对设施番茄根系及地上部生长的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(3): 748-757.

[25] 张山清, 普宗朝, 吉春容, 等. 气候变化对新疆酿酒葡萄种植气候区划的影响[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(9): 125-134.

## Precise Comprehensive Agricultural Climate Division for Tomato in Guizhou Province Based on Climatic Suitability Models

ZHANG Bo<sup>1,2</sup>, HU Jiamin<sup>1</sup>, GU Xiaoping<sup>1</sup>, GU Shuhong<sup>1</sup>

(1. Guizhou Institute of Mountainous Environment and Climate, Guiyang, Guizhou 550002; 2. Guizhou Key Laboratory of Mountainous Climate and Resources, Guiyang, Guizhou 550002)

**Abstract:** Based on the 81 meteorological stations data of temperature, precipitation and sunshine during 1961—2015 in Guizhou Province, the climate suitable models of temperature, precipitation and sunshine in different growth stages of tomato were established, and the comprehensive climate suitability of tomato was calculated by relative weighting method. The results showed that the spatial distribution of the temperature suitability decreased gradually from south to north, at the scope of 0.42—0.97, abundant precipitation, precipitation suitability degree, changed at the scope of 0.78—1.00, sunshine suitability degree at the scope of 0.54—0.98, the spatial distribution of sunshine suitability showed West High and east low; the total area of tomato growing areas suitable was  $17.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ , one of the most suitable area was  $4.25 \times 10^4 \text{ km}^2$ , mainly distributed in Qianxi Prefecture, southern Liupanshui, west of Anshun city, the southern edge of Zunyi city and the northern edge area, accounting for 24.14% of the province's area; suitable area mainly concentrated in the Guiyang, Bijie city, Zunyi city, Tongren city and Qiandongnan state and Northern Qiannan, accounted for about 73.49% of the province's area.

**Keywords:** tomato; climate suitability; precise comprehensive