

华南地区龙眼的温度适宜性及其变化趋势

段海来, 千怀遂*, 俞 芬, 宋秋洪

(广州大学地理科学学院, 广州 510006)

摘要: 运用温度适宜度模型对华南地区龙眼生产和生育期的适宜性及其时空差异进行了计算、评价和预测。首先分析龙眼各生育期适宜度, 结果表明, 休眠期、花芽生理分化期、花芽形态分化期适宜性较低, 具有较高的变率, 开花期、果实发育成熟期、抽梢期表现出较高的温度适宜性, 变率也较小, 并且通过进一步研究发现影响华南地区龙眼生产的关键问题不是冷害, 而是冬春季节的热害; 其次分析华南地区各县区的平均温度适宜度, 结果表明, 华南地区龙眼温度适宜性的地域分异呈纬度地带性规律, 并根据龙眼减产率将华南地区划分为最适宜型、适宜型、次适宜型、低适宜型和不适宜型五大适宜度类型; 最后分析龙眼各生育期温度适宜度的年际变化, 发现未来各生育期中除果实发育成熟期和抽梢期无明显变动外, 其他生育期的温度适宜度都有下降趋势, 同时对华南地区各站点龙眼温度适宜度的变化趋势作分析, 结果表明, 除福建省部分地区有弱上升外, 总体上华南地区温度适宜度有下降趋势, 且存在着地区差异, 并且未来龙眼的适宜种植区将有可能北移, 根据各站点未来适宜度变化的方向和强度进行分类, 将华南地区划分为强下降型、次强下降型、弱下降型和上升型四大变动类型。

关键词: 温度适宜度; 气候变化; 龙眼; 华南地区

文章编号: 1000-0933(2008)11-5303-11 中图分类号: S162.5+6 文献标识码: A

Temperature suitability of longan and its changes in South China area

DUAN Hai-Lai, QIAN Huai-Sui*, YU Fen, SONG Qiu-Hong

School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5303 ~ 5313.

Abstract: Being an important subtropical fruit tree, longan is sensitive to temperature change. Selecting 60 counties in South China area and using the temperature suitability model, the article calculates the temperature suitability of longan, evaluates the temporal and spatial differences and also predicts the temperature suitability of longan. Firstly, the article analyzes the temperature suitability of longan at different growth stages. The result shows that temperature change has a great impact on the temperature suitability of dormancy stage, physiologic differentiation of flower bud stage and morphologic differentiation of flower bud stage, all of which have low suitability and high variability. On the contrary, the other three stages have high suitability and low variability. This is caused by the temperature differences between the different growth stages. It is hot damage in winter and spring rather than cold damage that plays an important role in longan production in South China area by further study. Secondly, the article analyzes the suitability in terms of average temperature of the 60 counties, the result shows that the temperature suitability increases with increasing latitude in South China area, based on the relationship between yield reduction rate and the temperature suitability degree, the article divides South China area into

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40771033)

收稿日期: 2007-11-22; 修订日期: 2008-08-29

作者简介: 段海来(1982~), 男, 湖南武冈市人, 硕士生, 主要从事资源开发与管理、气候变化研究. E-mail: duanhailai520@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hsqian1956@163.com

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40771033)

Received date: 2007-11-22; **Accepted date:** 2008-08-29

Biography: DUAN Hai-Lai, Master candidate, mainly engaged in exploitation and management of resources, climate change. E-mail: duanhailai520@163.com

five types: the high suitability type, whose value is higher than 0.80; the suitability type, whose value ranges from 0.75 to 0.80; the medium suitability type, whose value ranges from 0.65 to 0.75; the low suitability type, whose value ranges from 0.55 to 0.65; the no suitability type, whose value is lower than 0.55. Finally, the article analyzes the inter-annual change of temperature suitability at different growth stages, and the result shows all the growth stages except for fruit growth and maturity stage and treetop growth stage have a decreasing trend in the future. At the same time it analyzes the temperature suitability change trend of the 60 counties, and finds that these places also have a decreasing trend except for the part area of Fujian Province and there exists difference among them, also the suitability region will be possibility extending to the north zone in the future. Similarly based on the temperature suitability over 10 years change trend of the 60 counties, the article divides South China area into four suitability change trend types: the high-decrease type, whose value is lower than -0.01; the medium-decrease type, whose value ranges from -0.005 to -0.01; the low-decrease type, whose value ranges from -0.005 to 0; the increase type, whose value ranges from 0 to 0.01.

Key Words: temperature suitability; climate change; longan; South China area

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)于2007年提交的第四次气候评估报告指出,全球气候正在经历着一次以变暖为主要特征的显著变化,观测资料显示,过去的100年全球平均气温上升了0.74℃,尤其在最近50a(1956~2005年)全球气温的上升速度为0.13℃/10a^[1]。全球气候变暖将对自然、经济、社会和政治带来严重影响,已成为国际社会、各国政府和科学界所关注的重大环境问题。而其中以农业生态系统对气候变化最为敏感,因此作物的生长发育与气候变化的关系一直是地学界和农学界重点研究的问题之一。在20世纪80年代以前,该领域主要侧重于农作物生长发育、产量形成以及产量预测等生物过程或要素与各个气候要素之间关系的研究,近20a来,受全球气候变化研究的引导,诸多研究也转向气候变化对作物产量影响、生长发育动态模拟和产量估算和预测等方面,其中农作物的气候适宜性便是农业气象学和农业生态学研究的核心问题之一^[2~4]。关于气候对华南地区龙眼的影响已经做过了一些工作,但是前人研究多数是针对某个地区某一时期开展的静态温度影响分析^[5~8],同时关于适宜性研究多数也是针对龙眼全生长期或某个生育期开展的^[9~12],而很少关注龙眼各个生育期之间的温度适宜性差别,即他们对龙眼生长和生育过程重视不够。本文建立了龙眼的温度适宜度隶属函数,它既考虑了温度影响的宏观过程分析与模拟,而且对龙眼生长过程也十分重视,考虑各个生育期的适宜性。

华南地区地处我国大陆南端,南北跨越北热带、南亚热带和中亚热带,是全国重要热带、亚热带果品的生产基地,而华南地区正处于对气候变化敏感的南海季风区和全球气候变化趋势南北位相相反的交界带。因此,研究在全球气候变暖背景下华南地区的气温变化对龙眼适宜性的影响,不仅可为华南地区未来龙眼生产发展提供决策依据,而且对促进全国气候变化的理论研究也具有积极意义。

1 资料与方法

本文遵循均匀布点的原则,在华南地区选择了60个气象站点,选取它们1960~2005年的逐日温度资料,以及1990~2005年广东省11个县(市)、广西壮族自治区10个县(市)和福建省9个县(市)的龙眼单产资料,这些资料前者来源于中国气象局,后者来自于广东省统计年鉴、广西壮族自治区统计年鉴和福建省统计年鉴。数据的处理和图件的制作主要是运用SPSS统计软件、Microsoft Excel软件和ArcMap制图软件完成的。

1.1 构建温度适宜度模型

为了定量分析华南地区热量对龙眼(成年树)各生育期生长发育的满足程度,引入龙眼生长对温度条件的响应函数,根据赵峰^[13]、千怀遂^[14]、刘清春^[2]、任玉玉^[15]等人的研究,结合华南地区实际情况,温度适宜度函数为:

$$S(T) = \begin{cases} 0 & T \leq T_1 \text{ or } T \geq T_2 \\ \frac{[(T - T_1)(T_2 - T)^B]}{[(T_0 - T_1)(T_2 - T_0)^B]} & T_1 < T < T_2 \end{cases} \quad (1)$$

其中

$$B = (T_2 - T_0) / (T_0 - T_1) \quad (2)$$

式中, T 是某一时段(某旬或某生育期)的平均气温, T_1 、 T_2 、 T_0 分别是龙眼在该时段内生长发育的下限温度, 上限温度和最适温度, $S(T)$ 是由实际气温和 T_1 、 T_2 、 T_0 决定的温度适宜度。根据龙眼生长发育和温度的关系, 当 $T \leq T_1$ 时, $S(T) = 0$, 当 $T = T_0$ 时, $S(T) = 1$, 当 $T \geq T_2$ 时, $S(T) = 0$, $S(T)$ 是一个在 0 ~ 1 之间变化的不对称抛物线函数(如图 1), 它反映了温度条件从不适宜到适宜及从适宜到不适宜的连续变化过程。此函数反映了一个普遍规律, 即适宜度随气温的升高而增长, 到达某一适宜值后, 适宜度随气温升高迅速下降。

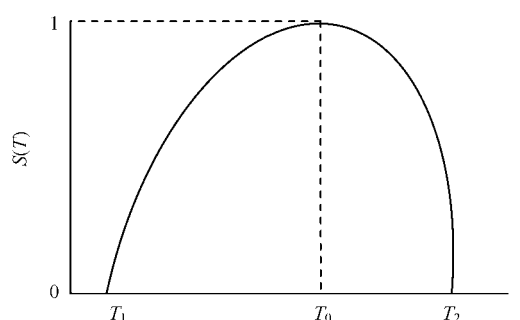


图 1 龙眼全生育期反应过程

Fig. 1 Effect of temperature on longan during its whole growth stage

综合各地的龙眼气象试验资料, 龙眼各生育阶段的最适温度与最低、最高生物学温度如表 1 所示。龙眼各生育期的温度适宜度由模型求出, 首先计算出各旬的适宜度, 然后求出某生育期的总适宜度, 对于龙眼全生育期温度适宜度的计算, 利用几何平均方法求得。

表 1 龙眼各生育期温度指标^[8,12,16~22]

Table 1 Temperature index of different growth stages of longan^[8,12,16~22]

生育期 Growth stages	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_0 (°C)
花芽生理分化期(1月上旬~2月下旬) Physiologic differentiation of flower bud stage(Jan. 1~10 to Feb. 21~29)	0	11	20
花芽形态分化期(3月上旬~4月中旬) Morphologic differentiation of flower bud stage(Mar. 1~10 to Apr. 11~20)	2.5	12	20
开花期(4月下旬~5月下旬) Flowering stage (Apr. 21~30 to May21~31)	13	22	30
果实发育成熟期(6月上旬~8月下旬) Fruit growth and maturity stage(Jun. 1~10 to Aug. 21~31)	15	27	35
抽梢期(9月上旬~10月下旬) Treetop growth stage (Sep. 1~10 to Oct. 21~31)	17	25	35
休眠期(11月上旬~12月一下旬) Dormancy stage(Nov. 1~10 to Dec. 21~31)	-2	8.5	18

表中数据为龙眼各生育阶段的最低、最适温度与最高生物学温度 The data are the minimum, the most suitable and the maximum biological temperatures of longan in different growth stages; T_1 : The minimum temperature; T_0 : The most suitable temperature; T_2 : The maximum temperature

根据龙眼影响因子的组成特点, 可以把龙眼产量分解为趋势产量和气候产量, 前者的变化主要是由于社会经济因子造成的, 后者则主要取决于气候因子的变化。农作物产量分离的方法很多, 很多学者都认为正交多项式的效果较优^[23,24]。本文用该方法拟合趋势产量, 与实际产量对比得到气候产量。在此基础上用 SPSS 软件做龙眼气候产量与龙眼温度适宜度的相关分析, 在样本容量 $N = 480$, 置信度 $\alpha = 0.01$ 、相关系数 0.158 上通过了显著性检验。

1.2 线性倾向估算与检验

用 $S(T)_i$ 表示样本量 n 的温度适宜度变量, 用 t_i 表示 $S(T)_i$ 所对应的时间, 建立 $S(T)_i$ 和 t_i 之间的一元线性回归方程:

$$S(T)_i = a + bt_i \quad (3)$$

其中 a 为回归常数, b 为回归系数。 b 的符号表示温度适宜度的趋势倾向幅度, 当 $b > 0$ 时, 说明随时间 t 的增加 $S(T)$ 呈上升趋势, 当 $b < 0$ 时, 说明随时间 t 的增加 $S(T)$ 呈下降趋势。(3) 式的含义是用一条合理的直线拟合 $S(T)$ 与其时间 t 之间的关系, 所以可以同时求出 $S(T)$ 的自相关系数 r , 并通过检验 r 的显著性来判断回归系数 b 的显著与否。

2 结果与分析

2.1 华南地区龙眼温度适宜度的季节变化规律

本文计算了华南地区 60 个县区的龙眼 46a 来各旬的平均温度适宜度及其变率(如图 2)。从图中可知,

华南地区龙眼在花芽分化期(包括花芽生理分化期和花芽形态分化期)、休眠期温度适宜度相对较低,温度适宜度变率较大,最大可达到 0.6154,0.7815,主要是因为花芽分化期处于春季气温回升时期,温度的升高对花芽分化产生负面效益,引发龙眼“冲梢”现象;在华南地区,冬季温度居高不下,而休眠期正处于这个暖冬季时期,高温使龙眼消耗大量的营养物质,从而影响来年的花芽分化,使成花率和结果率低。正是由于这两个时期的气温相对较高并且变动较大,极易对龙眼生产产生负影响,造成龙眼的“冲梢”,不能进行有价值的花芽分化。温度升高,对于龙眼的开花、授粉和结果,增加花粉量和结果率都很有利,同时温度升高对抽梢期的秋梢生长也是有利的,可以为来年的开花结果打下良好的基础。因此,在龙眼花芽分化和休眠期期间,应注意天气变化,做好预防工作。开花期、果实发育成熟期、抽梢期由于处于华南的高温季节,气温相对较高并且较稳定,因而表现出较高的温度适宜度和较低的变率,这对龙眼的生长很有利。

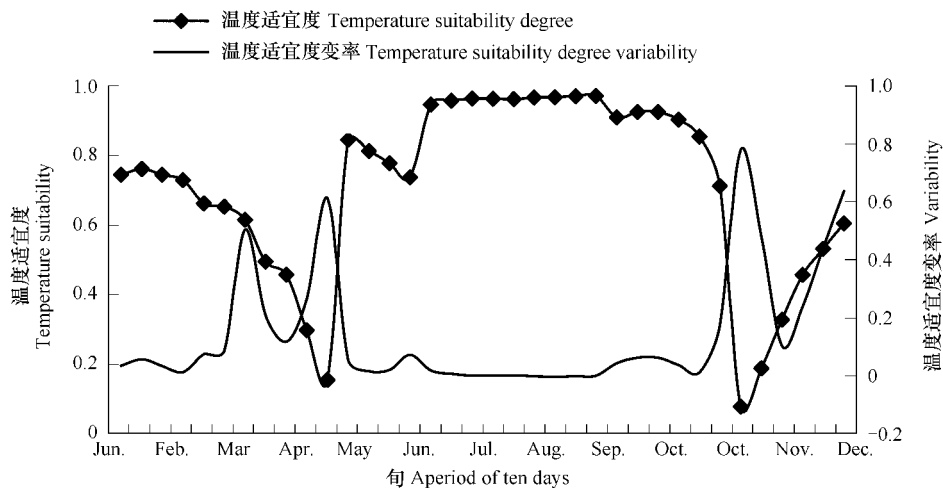


图2 华南地区 60 个县区的龙眼 46a 来各旬的平均温度适宜度及其变率变化

Fig. 2 Seasonal change of temperature suitability and variability of longan from 60 sites in South China area from 1960 to 2005

2.2 华南地区龙眼温度适宜度类型划分

华南地区地处我国大陆南端,南北跨越北热带、南亚热带和中亚热带,处于热量气候过渡带上,温度适宜度也具有明显的过渡性。根据华南地区 60 个县区 46a 的平均适宜度大小,在 ArcMap 软件里对华南地区龙眼平均温度适宜度进行插值分析,生成华南龙眼温度适宜度分布图。然后通过龙眼减产率与温度适宜度的对比分析可知,当温度适宜度大于 0.80 时,龙眼为丰产;当温度适宜度在 0.75 ~ 0.80 时,龙眼基本不减产;当温度适宜度在 0.65 ~ 0.75 时,龙眼减产率在 30% 以内;当温度适宜度在 0.55 ~ 0.65 时,龙眼减产率在 30% ~ 60%;当温度适宜度小于 0.55 时,龙眼减产率大于 60%,基本上不适宜发展龙眼生产。据此将华南地区大致划为 5 个类型,如图 3 所示。

(1)最适宜型(I) 主要包括广西壮族自治区北部和广东省北部(I1)、福建省的西部(I2)和沿海地带(I3)、广西壮族自治区西部小部分(I4),温度适宜度在 0.80 以上。最适宜型地处于中亚热带,热量条件比较丰富,冬春季出现旬平均温度大于 20℃ 的相对高温较少,因此本区在满足龙眼生长的温度范围内,又具有一段 0 ~ 10℃ 的相对低温,从而使龙眼在休眠期能够积累足够的营养物质,同时也使花芽分化期期间发生“冲梢”的风险率降低;而在夏秋季节,此区的温度较高且变化较平稳也很适宜龙眼生长发育。因此总体来说,此区温度对龙眼生育造成的负影响很小,为龙眼温度适宜度的最适宜型。

(2)适宜型(II) 主要包括广西壮族自治区中部、广东省中部、福建省中部,温度适宜度在 0.75 ~ 0.80。该区位于南亚热带的北部,具有丰富的热量资源,但由于冬春季相对高温出现的频率比最适宜型要大些,温度变化对龙眼生长产生的负影响比最适宜型要大,故温度适宜度相对最适宜型要低。总体来说,此区温度对龙眼生育造成的负影响还比较小,为龙眼温度适宜度的适宜型。

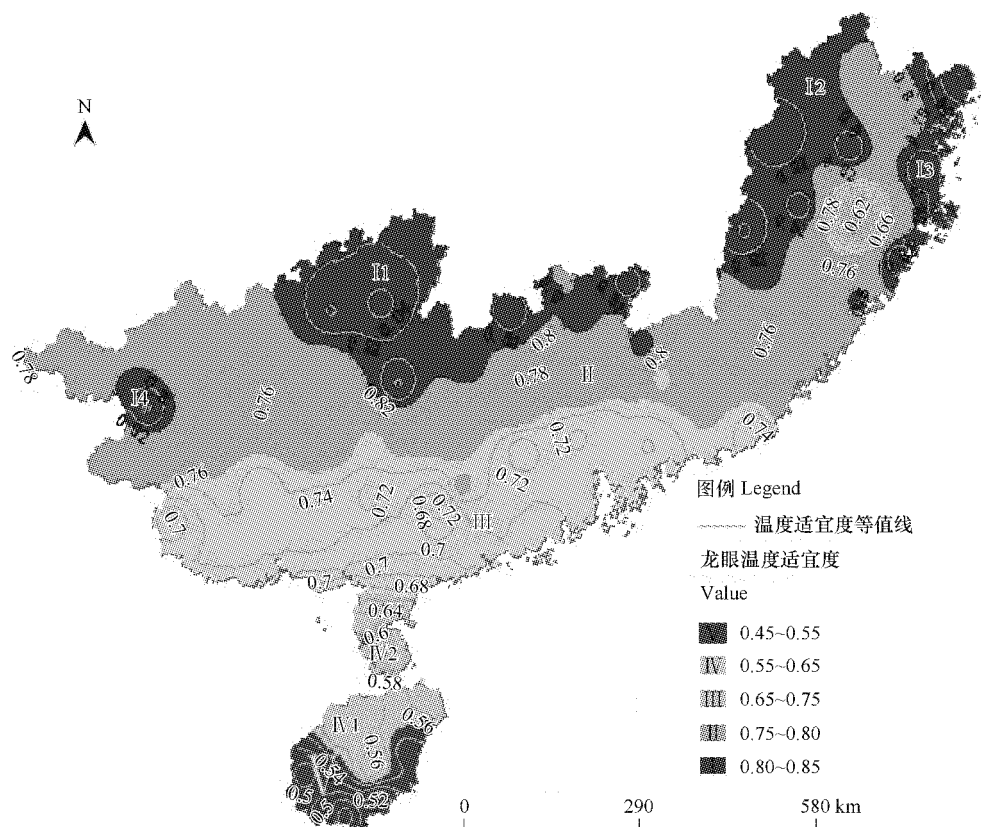


图3 华南地区龙眼温度适宜度类型划分

Fig. 3 Classification of temperature suitability of longan in South China area

温度适宜度等值线: Isoline of temperature suitability degree; 龙眼温度适宜度: Longan temperature suitability degree

(3) 次适宜型(Ⅲ) 主要包括广西壮族自治区南部和广东省南部,本区位于北回归线左右,终年温度较高,在龙眼休眠期和花芽分化期期间相对高温出现的频率比最适宜型和适宜型要高,龙眼适宜度一般在 0.65~0.75。因此总体来说,此区温度对龙眼生育造成的负影响程度中等,为龙眼温度适宜度的次适宜型。

(4) 低适宜型(Ⅳ) 主要包括广东省的雷州半岛(Ⅳ1)和海南省北部(Ⅳ2),本区位于北热带地区,四季不分,终年为夏季,年平均温度较高,因此冬春季相对高温对龙眼的生长有很大的影响,龙眼发生“冲梢”的风险率很高,龙眼适宜度一般在 0.55~0.65。总体来说,本区温度对龙眼生长的负影响较高,为龙眼种植的低适宜型。

(5) 不适宜型(Ⅴ) 主要包括海南省南部,本区由于冬春季平均温度基本在 18℃ 以上,龙眼在休眠期抽生冬梢,消耗了大量的营养物质,使来年的花芽分化受限;同时高温使花芽分化期间不能生成有价值的花穗,而生长成大量的营养枝梢,造成结果少,品质差,产量和质量都不高。因此本区龙眼温度适宜度一般在 0.55 以下,为不适宜型。

根据各省的龙眼产量统计资料显示,我国只有福建、广东和广西三省有龙眼的集约栽培,而在海南的种植面积很小,大约占我国龙眼种植总面积的 3% 左右;根据 4 个省份 2001~2004 年平均单产值可以得出福建省是海南省的 3 倍左右,是广西壮族自治区的 1.5 倍,和广东省相当,因此龙眼总体分布与温度适宜度的分布是一致的。同时以典型县(市)区福鼎、梅县、南宁、徐闻、三亚为例,2001~2004 年的平均龙眼单产分别为 4078、3970、3210、2320、980 kg/hm²,对比分析可以看出,其适宜性与上述适宜类型区基本上呈一致性。

2.3 华南地区龙眼温度适宜度的年际变化及变化倾向分类

从图 4 可以看出,福建省龙眼温度适宜度在近年来有微弱的升高趋势,以平均 0.0006/10a 的速度上升,

说明温度变化在该地区产生了正效应;而两广地区和海南省龙眼温度适宜度在近年来有降低的趋势,分别以平均 $0.006/10a$ 、 $0.016/10a$ 的速度下降,说明温度变化在该地区产生了负效应。从这 3 地区对比来看,生育期的温度适宜度从福建-两广-海南依次是降低的,尤其是以休眠期、花芽生理分化期和花芽形态分化期的温度适宜度降低的最快。从各生育期中看,休眠期、花芽生理分化期及花芽形态分化期龙眼生长对温度很敏感,温度适宜度相对较低且波动较大,这是由于休眠期、花芽生理分化期及花芽形态分化期需要低于 18°C 的相对低温,而 46a 来华南地区冬春季节高温天气出现的频率较大,而且平均温度与冬春高温频率都有上升的趋势,这对龙眼的生长非常不利;龙眼开花期、果实发育成熟期、抽梢期温度适宜度都较高,并且开花期、果实发育成熟期与抽梢期温度适宜度在 46a 中波动也不大,这主要是因为这些生育期处于较适宜的月份,温度历年来的变动较小所引起的。

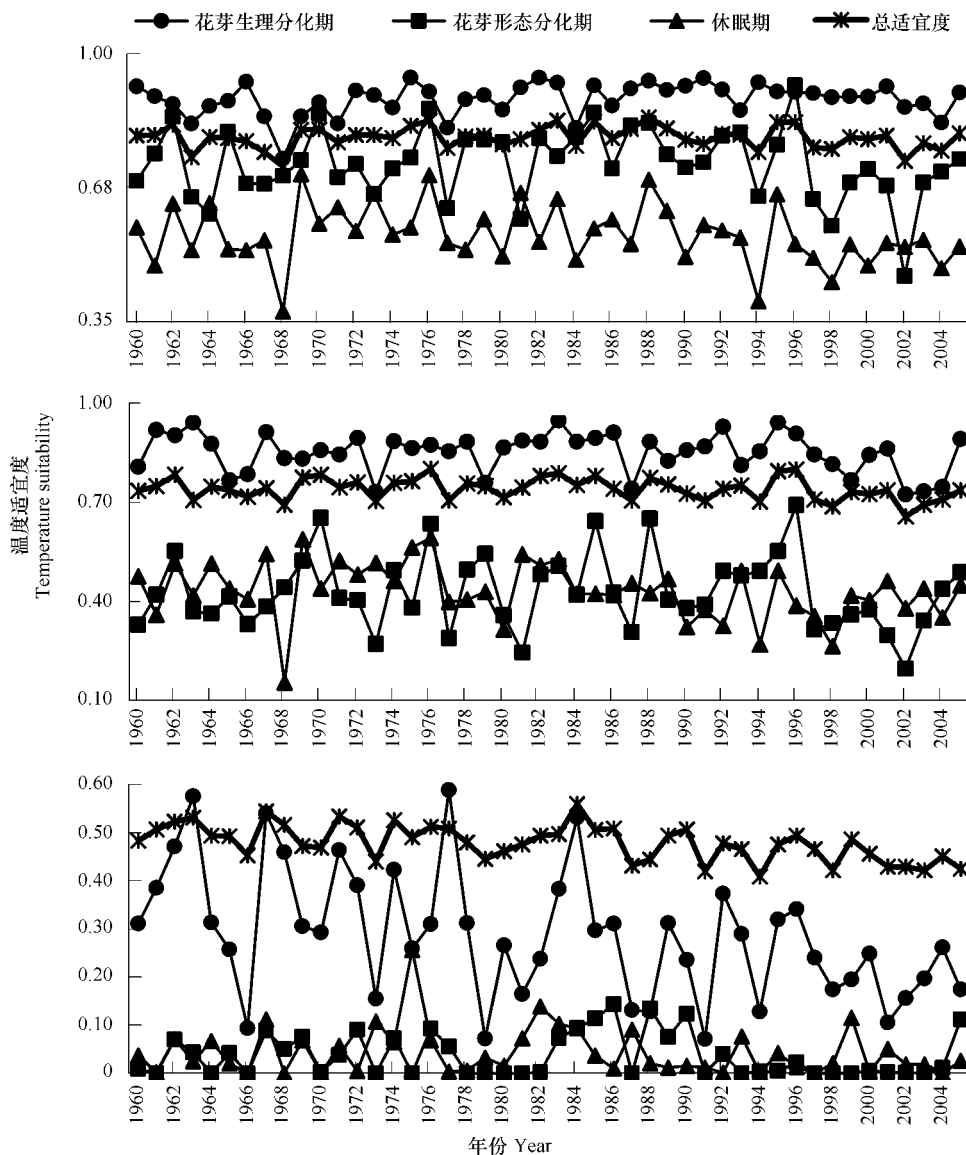


图4 福建省(A)、两广地区(B)、海南省(C)龙眼温度适宜度年际变化曲线

Fig.4 Inter-annual change in temperature suitability in total growth stages of longan in Fujian Province (A), Guangdong Province and Guangxi Province (B) and Hainan Province (C)

花芽生理分化期: Physiologic differentiation of flower bud stage; 花芽形态分化期: Morphologic differentiation of flower bud stage; 休眠期: Dormancy stage; 总适宜度: Total temperature suitability degree

通过华南地区 60 个县区 46a 来龙眼各生育期累积距平的年际变化曲线来看(如图 5),果实发育成熟期与抽梢期的变化具有一致性,且波动幅度不明显,花芽生理分化期与开花期变化具有一致性,适宜度累积距平先上升后下降。花芽生理分化期在 20 世纪 80 年代中期以前为正距平,自此到 20 世纪 90 年代中期,正负距平交替出现,90 年代中期以来变化为负距平且变化幅度较大;花芽形态分化期在 20 世纪 80 年代初期以前正负距平交替,且以负距平为主,自此到 20 世纪 90 年代中期为正距平,90 年代中期以后为负距平;开花期变化比较简单,以 20 世纪 90 年代中期为界,之前为正距平,之后为负距平;休眠期在 20 世纪 70 年代初期之前为正负距平交替,自此到 20 世纪 90 年代初期为正距平,之后为负距平,且变化幅度很大;果实发育成熟期与抽梢期的适宜度累积距平的变化比较平稳,且无明显波动,这主要是由于处于高温季节,温度比较适宜的原因;总适宜度的累积距平以 20 世纪 90 年代中期为界,之前为正距平,之后为负距平。总的来说,除果实发育成熟期和抽梢期外,华南地区龙眼各生育期的温度适宜度累积距平在 20 世纪 90 年代中期以来基本以负距平为主,说明温度适宜度呈现出下降趋势。

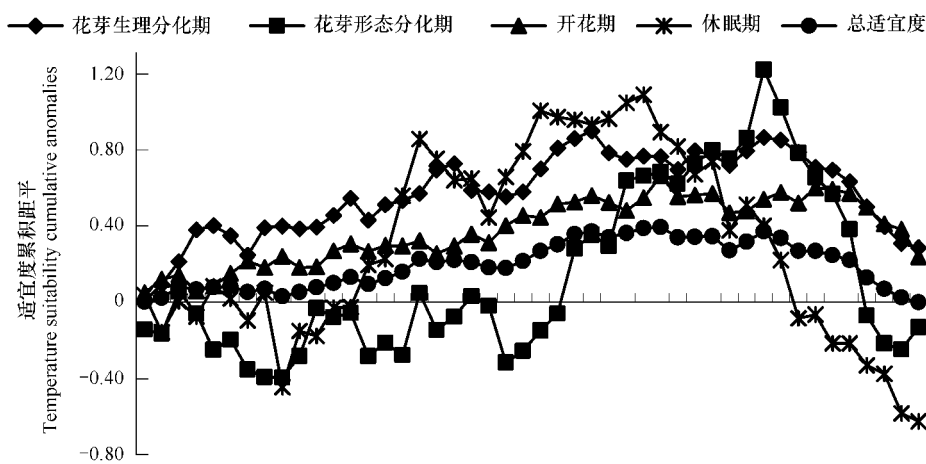


图 5 华南地区 60 个县区 46a 来龙眼全生育期温度适宜度累积距平方年际变化曲线

Fig. 5 Inter-annual change curve of temperature suitability cumulative anomalies in total growth stages of longan from 60 sites in South China area from 1960 to 2005

◆花芽生理分化期: Physiologic differentiation of flower bud stage; ■花芽形态分化期: Morphologic differentiation of flower bud stage; ▲开花期: Flowering stage; *休眠期: Dormancy stage; ●总适宜度: Total temperature suitability degree

根据研究表明,华南地区的夏秋季节温度变化幅度平稳,且升温趋势不明显,而冬春季节温度变化幅度大,且升温趋势明显,这与全球出现“暖冬”现象是一致的。华南地区“暖冬”现象的增加会进一步导致华南南部地区龙眼“热害”的增加,使这些区域的龙眼温度适宜度下降;然而对于华南北部地区“暖冬”的增加将会减轻这些区域的龙眼“冷害”,从而使这些区域的龙眼温度适宜度更高。根据华南地区各县区 46a 来的温度适宜度变化,通过直线拟合 1960~2005 年的温度适宜度变化趋势,求得华南地区各县区的温度适宜度 10a 变化倾向率,在 ArcMap 软件里进行插值分析,做出华南地区龙眼温度适宜度倾向率变化图,并根据各站点未来龙眼温度适宜度变化的方向和强度将华南地区大致划为 4 种类型,如图 6 所示。

(1) 强下降型(Ⅳ) 该类型的倾向率一般小于 -0.010 , 主要分布在广东省的雷州半岛(Ⅳ2)和海南省(Ⅳ1),未来温度变化对该区龙眼生长产生强负效应,适宜度会继续下降。雷州半岛和海南省处在华南地区龙眼低适宜型和不适宜型区内,适宜度的降低会使这种情况趋于更加不利。

(2) 次强下降型(Ⅲ) 该类型倾向率的变动幅度在 $-0.005 \sim -0.010$, 分布范围较大,包括广西壮族自治区中部和南部、广东省的中部和南部、福建省南部边沿地区。该类型处在龙眼的次适宜型和部分适宜型区内,未来温度变化对该区龙眼生长产生次强负效应,适宜度会继续下降,但变化幅度稍小于强下降型,在区内,未来变动也存在明显差异,广西壮族自治区中部和东南部的适宜度倾向要高于广东省的中部和南部、福建省

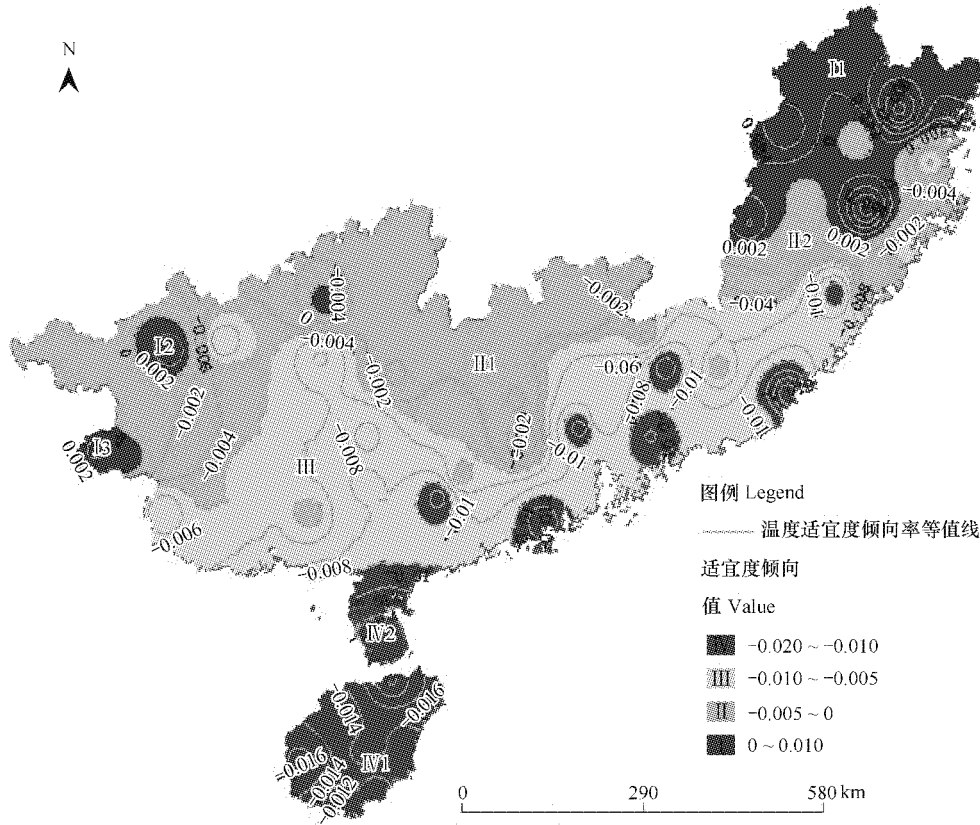


图6 华南地区龙眼温度适宜度变化倾向分类

Fig. 6 Classification of temperature suitability change trend of longan in South China area

温度适宜度倾向率等值线: Isoline of temperature suitability degree trend; 适宜度倾向: Temperature suitability degree trend

南部边沿地区。

(3) 弱下降型(Ⅱ) 该类型的倾向率变动幅度在 $0 \sim -0.005$, 位于广西壮族自治区的西部和北部(Ⅱ1)、广东省的北部(Ⅱ1)、福建省的南部和沿海地区(Ⅱ2)。该类型处在华南地区部分适宜型和部分最适宜型区内, 未来温度变化也会对龙眼生长产生弱负效应, 温度适宜度会少量降低, 但变化幅度小于强下降型和次强下降型。

(4) 上升型(Ⅰ) 该类型的倾向率的变动幅度在 $0 \sim 0.010$ 之间, 主要分布于福建省的中部和西部以及北部地区(Ⅰ1), 广西壮族自治区西部有零星分布(Ⅰ2、Ⅰ3)。该类型是在华南地区龙眼温度的最适宜型和部分适宜型区内, 未来温度变化对龙眼生长产生正效应, 温度适宜度将持续升高, 龙眼生产因此而更加趋于有利。

受温度变化的影响, 未来华南地区大部分县区龙眼温度适宜度都有降低的趋势, 但是由于地域差异, 变化倾向也表现出显著的地域性。由于温度的升高, 尤其是冬季和春季的高温使温度适宜度降低, 从而使华南地区龙眼种植环境趋于恶化。因此, 在未来华南地区龙眼种植上必须对其合理的、科学的布局, 充分有效的利用本地气候资源, 减少损失。

3 结论与讨论

在农业生态系统中, 农作物的生产过程是在众多生态环境因子的制约下进行的, 针对某种作物, 这些生态因子都有其最高、最低和最适阈值, 为表示作物生长的资源需求与环境的资源供给之间的适宜度, 许多学者提出生态(位)适宜度的概念, 它是指现实生态位与最适生态位之间的贴近程度^[25], 是一个模糊概念的量化指标, 因此许多学者常用模糊数学的方法表示之^[13~15]。农业气候因子多为易变因子, 由它们构成的生态位往往

偏离最适生态位,这对农作物的生长发育带来不适宜性,并且偏离越远,带来的不适宜性越大。气候变化通过各个气候因子的趋势变化和变率变化,使作物生态适宜度及其变率发生变化,从而使作物适宜区及各地种植制度、品种类型和关键期发生改变。生态适宜度理论与方法是基于农业生态系统中的宏观过程分析与模拟来探讨农业生态问题的,而且对作物生长过程也十分重视,考虑各个生育期的适宜性。本文把龙眼(成年树)生育期划分为不同的生育时段,将各生育期最佳温度指标与作物各生育时段的实际温度指标进行对比分析,求出了龙眼每个生育期时段温度要素的隶属度值,作为龙眼的温度适宜度指标,通过数据处理结果与区域农业气候资源的对比分析,认为本文建立的龙眼温度适宜度模型用于评价华南地区龙眼温度适宜性动态变化是合理可行的。但是作物适宜性的因素很多,且彼此相互关系错综复杂,而本文仅考虑了温度的影响效应,所以得出的结论还难以有效的指导实践,必要综合其他因子,如降水、日照、农业病虫害、栽培技术、管理措施和种植制度等对作物适宜性的作用,才能客观反映其生态适宜性及其变化规律,从而为农业生产提供理论指导和技术支持。另外,作物适宜性应该是质与量的结合,不仅要考虑对其产量的影响,应该还要考虑对其品质的影响,本文更多的从产量的角度出发考虑龙眼生态阈值的确定,而对龙眼品质考虑较少,因此这种方法虽然能使宏观过程和微观过程得到一定的衔接,但是它还是着重于对宏观过程的分析,对一些微观过程的分析 and 模拟还很难提供解决的平台。因此,本文选用温度适宜度模型研究华南地区龙眼温度适宜度的时空变动,结果比较理想,但是这种方法也存在一定的缺陷。

利用温度适宜度模型对华南龙眼生育期适宜性分析可知,休眠期、花芽分化期(包括花芽生理分化期和花芽形态分化期)温度适宜度较小,并且波动较大,在此时期龙眼生长对温度变化很敏感,开花期、果实发育成熟期、抽梢期温度适宜度相对较高,并且波动也不大。这主要是因为华南地区冬春季节温度变化幅度大,且升温趋势明显,而在夏秋季节温度变化幅度平稳,且升温趋势不明显。因此,华南地区龙眼生产的关键问题不是“冷害”,而是“热害”,尤其是冬春季节的“热害”。

通过华南地区 60 个县区 46a 来的平均温度适宜度与龙眼减产率的对比分析,将华南地区划分为 5 个类型:最适宜型,主要包括广西壮族自治区北部和西部小部分、广东省北部、福建省西部和沿海地带;适宜型,主要包括广西壮族自治区中部、广东省中部、福建省中部;次适宜型,主要包括广西壮族自治区南部和广东省南部;低适宜型,主要包括广东省的雷州半岛和海南省北部;不适宜型,主要包括海南省南部。从以上分布可以看出,华南大部分地区为适宜型和次适宜型,适宜度的变化范围为 0.65 ~ 0.80,由于地理位置的差异,温度适宜度在各区内部存在差异;未来华南地区温度适宜度总体上有下降的趋势,但下降的幅度各地不一,依据各县区 10 年温度适宜度变化倾向率大小,将华南地区分为 4 个类型:强下降型、次强下降型、弱下降型和上升型。因此,从以上温度适宜度及其变化倾向类型分布来看,华南地区龙眼温度适宜性的地域分异呈纬度地带性规律,即随着纬度升高,龙眼“热害”的发生频率越小,其适宜度越高。

华南地区南北地跨北热带、亚热带和中亚热带,龙眼各生育期对温度变化都很敏感。因此,华南地区龙眼温度适宜性对全球变暖的响应也发生了相应的变化。同全球气候变暖呈一致性,华南地区气候也呈现变暖趋势,尤其是冬春季节温度显著升高,从而使影响龙眼生产的“热害”的发生频率增加,龙眼温度适宜度呈降低之势,严重的限制了华南地区龙眼生产。同时,从华南地区龙眼适宜度的变化趋势来看,由于气候变暖使龙眼的适宜种植区将有可能北移,也就是说在未来气候变暖情况下将导致华南以北的部分地区可能适宜种植龙眼。

References:

- [1] <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm>.
- [2] Liu Q C, Qian H S, Ren Y Y, *et al.* Temperature suitability of cotton and its change in Henan Province. *Resources Science*, 2004, 26(4): 51 — 56.
- [3] Rosenzweig C, *et al.* Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, 1994, (367): 133 — 138.
- [4] Qian H S, Shi Y R, Wei D L. Climate effect on cotton yield and their changes trend in Henan Province. *Journal of Natural Resources*, 2000, 20

(6):1061—1068.

- [5] Tu F X, Su Z, Li Y L. Division of frozen injury of litchi and longan in Guangxi. *Guangxi Sciences*, 2002, 9(3): 225—230.
- [6] Kuang Z M, Ou Z R, Liang M Y. Studies on meteorological index of warm winter damage of litchi and longan and its temporal and spatial distribution in Guangxi. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2004, 25(2): 59—61.
- [7] Huang Y H, Yang L Y, Li L Y. Meteorological conditions analysis for the Qinzhou City. litchi and longan output in 2005. *Journal of Guangxi Meteorology*, 2005, 26(4): 27—28.
- [8] Zhu H J. Climate advantages analysis for lichi and longan and their developmental prospect in Yulin. *Journal of Guangxi Meteorology*, 1996, 17(2): 30—32.
- [9] Li Y X. Generalized analyze eco-climatic area of planting longan in South China. *Guangxi Agricultural Science*, 2001, 4:221—225.
- [10] Zhong S Q, Su W J. Agro meteorology and high quality fruit production in South China. *Tropical Geography*, 1996, 16(3): 204—211.
- [11] Du P, Li S K, Wen F G, *et al.* Agro meteorology hazard risk analysis of main fruit trees in South China. Refer to editor in chief of Li S K. The evaluating and countermeasure for agrometeorology hazard risk in China. Beijing: Meteorology Press, 2000. 116—121.
- [12] Li L Y. Probe into the effect of meteorological factor on the bud differentiation and development of lichi and longan. *Journal of Guangxi meteorology*, 2003, 24(2): 23—24.
- [13] Zhao F, Qian H S, Jiao S X. The climatic suitability model of crop: a case study of winter wheat in Henan Province. *Resources Science*, 2003, 25(6): 77—82.
- [14] Qian H S, Ren Y Y, Li M X. Changes of cotton climate risk degree in Henan Province. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(3): 319—326.
- [15] Ren Y Y, Qian H S, Liu Q Q. Analysis of climatic suitability of cotton in Henan Province. *Research of Agricultural Modernization*, 2004, 25(3): 231—235.
- [16] Xu C S, *et al.* Index of agrometeorology. Beijing: Meteorology Press, 2004. 119.
- [17] Su Y X, Ding M H, Li Z, *et al.* Study on effect of climate condition on the longan yield and longan climate index in Guangxi. *Journal of Tropical Meteorology*, 2006, 22(3): 308—312.
- [18] Shi Y Q, Peng C J. Growth and regulation technology on the main fruit trees in the South. Beijing: Chinese Agrometeorology Press, 2002. 22—33.
- [19] Zhong S Q, He G X, Cheng Y Z. Ecological conditions and distribution of developing southern subtropical fruits in Guangxi. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 1997, 13(1): 32—37.
- [20] Zhong S Q, Huang D Y. Factors affecting blooming and fruit bearing and measures for high yield in Longan. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 2001, 17(1): 27—33.
- [21] Li J S. Impacts of longan yield to the key climatic factor and its managing countermeasures. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1990, 11(1): 33—34.
- [22] Gao Y H, Chen Z J, Lin Q, *et al.* Eco-Climatic division of Three-Gorges Reservoir Area based on GIS for longan and lichi cultivation. *Journal of Southwest Agricultural University (Natural Science)*, 2005, 27(5): 713—716.
- [23] Qian H S, Wei D L. Impacts of climate on wheat yield and their changes in Henan Province. *Journal of Natural Resources*, 2000, 15(2): 149—154.
- [24] Ren Y Y, Qian H S. Climatic suitability of cotton and its changes in Henan Province. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2006, 17(1): 87—93.
- [25] Li Z Z, Li W L. The effect of water-fertilizer conditions on crop's niche-fitness and yield in semi-arid regions of the Loess Plateau. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2003, 23(1): 28—33.

参考文献:

- [2] 刘青春, 千怀遂, 任玉玉, 焦士兴. 河南省棉花的温度适宜性及其变化趋势分析. *资源科学*, 2004, 26(4): 51—56.
- [4] 千怀遂, 石艳蕊, 魏东岚. 气候对河南省棉花产量的影响及变化研究. *自然资源学报*, 2000, 20(6): 1061—1068.
- [5] 涂方旭, 苏志, 李艳兰. 广西荔枝龙眼的冻害区划研究. *广西科学*, 2002, 9(3): 225—230.
- [6] 匡昭敏, 欧钊荣, 梁棉勇. 广西荔枝龙眼冬季暖害气象指标及其时空分布研究. *中国农业气象*, 2004, 25(2): 59—61.
- [7] 黄汝红, 杨兰英, 李莲英. 2005 年影响钦州市荔枝、龙眼产量的气象条件分析. *广西气象*, 2005, 26(4): 27—28.
- [8] 朱海俊. 玉林地区荔枝、龙眼气候优势及其开发前景分析. *广西气象*, 1996, 17(2): 30—32.
- [9] 李耀先. 华南龙眼种植气候区划生态区域的综合分析. *广西农业科学*, 2001, 4: 221—225.
- [10] 钟思强, 苏维生. 农业气象与我国热区名特优水果生产. *热带地理*, 1996, 16(3): 204—211.
- [11] 杜鹏, 李世奎, 温福光, 等. 华南南部主要热带果树农业气象灾害风险分析. 见: 李世奎主编. *中国农业灾害风险评价与对策*. 北京: 气象出

版社,2000. 116 ~ 121.

- [12] 李莲英. 气象因子对荔枝和龙眼花芽分化和发育影响的探讨. 广西气象,2003,24(2):23 ~ 24.
- [13] 赵峰,千怀遂,焦士兴. 农作物气候适宜度模型研究——以河南省冬小麦为例. 资源科学,2003,25(6):77 ~ 82.
- [14] 千怀遂,任玉玉,李明霞. 河南省棉花的气候风险研究. 地理学报,2006,61(3):319 ~ 326.
- [15] 任玉玉,千怀遂,刘青春. 河南省棉花气候适宜度分析. 农业现代化研究,2004,25(3):231 ~ 235.
- [16] 许昌荣等. 农业气象指标大全. 北京:气象出版社,2004. 119.
- [17] 苏永秀,丁美花,李政,孙涵. 气候条件对广西龙眼产量的影响及其丰歉气象指标研究. 热带气象学报,2006,22(3):308 ~ 312.
- [18] 石尧清,彭成绩. 南方主要果树生长发育与调控技术. 北京:中国农业气象出版社,2002. 22 ~ 23.
- [19] 钟思强,何国祥,陈燕珠. 试论广西发展3种亚热带各特优水果的生态条件与布局. 广西科学院学报,1997,13(1):32 ~ 37.
- [20] 钟思强,黄党源. 影响龙眼开花结果的因素及增产措施. 广西科学院学报,2001,17(1):27 ~ 33.
- [21] 黎金水. 影响梧州龙眼产量的关键气象因素及管理措施. 中国农业气象,1990,11(1):33 ~ 34.
- [22] 高阳华,陈志军,林巧,程佳,李永华,黄志远. 基于GIS的三峡库区龙眼和荔枝气候生态区划. 西南农业大学学报(自然科学版),2005,27(5):713 ~ 716.
- [23] 千怀遂,魏东岚. 气候对河南省小麦产量的影响及其变化研究. 自然资源学报,2000,15(2):149 ~ 154.
- [24] 任玉玉,千怀遂. 河南省棉花气候适宜度变化趋势分析. 应用气象学报,2006,17(1):87 ~ 93.
- [25] 李自珍,李文龙. 黄土高原半干旱农田水肥条件对作物生态适宜度和产量的影响. 西北植物学报,2003,23(1):28 ~ 33.