

范路,覃艺舒,刘芳.崇左市澳洲坚果种植气候适宜性区划研究[J].气象研究与应用,2023,44(4):132-136.

FAN Lu, QIN Yishu, LIU Fang. Regionalization of climate suitability for Macadamia Nut planting in Chongzuo City [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2023, 44(4): 132-136.

## 崇左市澳洲坚果种植气候适宜性区划研究

范路<sup>1</sup>, 覃艺舒<sup>2</sup>, 刘芳<sup>3\*</sup>

(1.龙州县气象局, 广西 崇左 532400; 2.柳州市气象局, 广西 柳州 545001; 3.河池市气象局, 广西 河池 547000)

**摘要:**采用崇左市及周边地区共20个国家气象观测站1991—2020年气象资料,根据澳洲坚果的生长特性及前人的研究结果确定澳洲坚果的气候区划指标,运用回归分析法建立崇左市澳洲坚果种植气候区划指标模型,采用GIS技术对崇左市澳洲坚果种植进行气候区划,分析澳洲坚果在不同气候条件下的种植适宜性。结果表明,崇左市及周边地区的年平均气温、年降水量、最冷月平均气温、日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温等气候区划指标与经度、纬度和海拔等地理因子的相关性较高,受地形影响较明显。崇左市大部分区域处于澳洲坚果种植气候最适宜区,其中龙州县、凭祥市、江州区、扶绥县、天等县县城附近区域、宁明县及大新县大部分区域处于澳洲坚果种植的气候最适宜区。

**关键词:**澳洲坚果;GIS技术;气候区划;崇左市

**中图分类号:** S162.5

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2023.4.21

澳洲坚果又称夏威夷果,原产于澳大利亚,属亚热带特色果树<sup>[1]</sup>。澳洲坚果营养丰富,含油量达70%~80%,且大部分为单一不饱和脂肪酸,还含有蛋白、矿物、维生素和烟酸等多种营养物质,备受市场青睐<sup>[2]</sup>。杜尧东<sup>[3]</sup>、班秀文<sup>[4]</sup>、冯源<sup>[5]</sup>、岳海<sup>[6]</sup>、陆超忠<sup>[7]</sup>等对澳洲坚果生长特征的研究表明,澳洲坚果喜欢温暖湿润气候,年降雨量在1000 mm以上适宜澳洲坚果生长;在适宜的温度范围内,澳洲坚果产量与其生长的气温成正相关,其中,在日平均温度10~15 $^{\circ}\text{C}$ 开始生长,在20~25 $^{\circ}\text{C}$ 时果仁生长发育速度加快,果仁量较高,日平均气温达25.0 $^{\circ}\text{C}$ 左右时,果仁的油分积累速度最快,而日平均气温在10 $^{\circ}\text{C}$ 以下和35 $^{\circ}\text{C}$ 以上均会造成果仁生理活动受到抑制,超过38 $^{\circ}\text{C}$ 时停止光合作用;在冬季,无霜冻且小于17 $^{\circ}\text{C}$ 的低温可促进澳洲坚果产生更多花序;澳洲坚果其开花至成熟过程中对水分需求较高,尤其果油积累期不能缺少,否则会严重影响坚果质量;果实膨大期对水分的需求也较高,水分不足会减缓膨果速度,水分过多又会使坚果开裂。

我国澳洲坚果主要种植在云南、贵州、广西、广东和福建等地。截至2022年,崇左市种植澳洲坚果面积达 $2.4\times 10^4\text{ hm}^2$ ,占广西澳洲坚果种植总面积的40%以上,已成为广西第一大坚果种植区。但部分地区为追求效益而盲目扩大澳洲坚果种植区域,致使部分澳洲坚果种植在气候不适宜区,影响品质和产量。因此,开展崇左市澳洲坚果种植气候适宜性区划研究,对各地科学规划和合理优化澳洲坚果种植布局具有重要意义。近年来,地理信息系统(GIS)结合空间和气候数据,可以更精准地确定作物种植区的适宜性地域分布<sup>[8]</sup>。吴健杰<sup>[9]</sup>、叶瑜<sup>[10]</sup>、黄帆<sup>[11]</sup>等利用GIS进行精细化农业区划,并引入经纬度和海拔高度等地理因子,最终得到精确直观的农业气候区划分布;刘聪等<sup>[12]</sup>根据柑橘不同发育期的气候适宜度函数,分析南方地区种植柑橘近60 a来的气候适宜性变化特征。国内诸多专家学者开展了澳洲坚果气候适宜性及其区划方面的研究。刘晓等<sup>[13]</sup>认为,澳洲坚果的适宜性区划应考虑当地气候条件能否满足其生长发育要求,以及是否频繁发生自然灾害;陈

收稿日期: 2023-05-16

基金项目: 广西气象科研计划项目(桂气科2023QN19)

第一作者简介: 范路(1995—),男,助理工程师,主要从事气象服务研究。E-mail: fanlu369@163.com

\* 通讯作者: 刘芳(1971—),女,高级工程师,主要从事应用气象研究。E-mail: lf5626@163.com

显国等<sup>[14]</sup>通过澳洲坚果的生长、抗逆、开花结果等特性及产量和品质等性状来分析澳洲坚果在桂中地区的种植适宜性,邓晓璐等<sup>[15]</sup>将华安县近 50 a 的气候条件与澳洲坚果原产地适宜种植的气候条件进行对比分析;韩树全等<sup>[16]</sup>根据澳洲坚果的生长特性选取年平均气温、最冷月平均气温、最低气温平均值、积温和日平均气温作为区划因子,基于“3S”技术提出区划方法;覃杰凤<sup>[17]</sup>研究证实,崇左市种植澳洲坚果具有气候资源优势、土地资源优势和区域优势。李元会等<sup>[18]</sup>研究发现,降水量、气温、土壤、风和光照是影响西藏墨脱地区种植澳洲坚果的主要因素;王伟等<sup>[19]</sup>采用 MaxEnt 生态软件对澳洲坚果的潜在适宜生长区域进行预测,划分澳洲坚果适宜生长区域分布情况和地理分布格局等。目前,采用 GIS 进行崇左市澳洲坚果种植气候适宜性精细化区划的研究未见报道。因此,本文采用崇左市及周边地区共 20 个国家气象观测站 1991—2020 年气象资料,根据澳洲坚果的生长特性及前人的研究结果,确定气候区划指标,运用回归分析法建立气候适宜性区划指标模型,采用 GIS 技术进行区划,分析澳洲坚果在不同气候条件下的种植适宜性,为崇左市科学规划和合理优化澳洲坚果种植布局提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 研究区域概况

崇左市地处广西西南部,位于北回归线以南,地

理位置介于 106°33′~108°6′E,21°36′~23°22′N 之间,境内丘陵起伏,地貌复杂,属亚热带湿润季风气候区,年降水量 1 137.7~1 433.0 mm,年日照时数 1 469.0~1 688.5 h,年均气温 20.8~23.0 ℃,无霜期在 330 d 以上,极端最高气温和极端最低气温分别为 41.7 ℃和 0.0 ℃。

1.2 资料来源

崇左市及周边地区 20 个国家气象观测站 1991—2020 年的气温、降水量和日照时数等资料来自广西壮族自治区气象信息中心,1:25 万崇左市地理背景数据和 90 m×90 m 分辨率的高程数据(DEM)来自国家基础地理信息中心。

1.3 研究方法

1.3.1 区划指标确定

根据澳洲坚果的生长特性及崇左市本地的实际种植经验,分析各气候因子在澳洲坚果气候区划中的贡献大小,结合相关澳洲坚果种植方面文献的研究结果,得到澳洲坚果的气候区划指标。最终确定将年平均气温、年降水量、最冷月平均气温、日平均气温≥10 ℃年积温共 4 个气象要素作为区划的主要影响因子。温度、降水和日照等气候条件对作物生长发育的影响最直接<sup>[20]</sup>,因崇左市的日照时数均在最适宜范围内,故不将日照时数作为区划指标,由此得到崇左市澳洲坚果种植气候区划指标(表 1)。并按分级区间对年平均气温、年降水量、最冷月平均气温和日平均气温≥10 ℃年积温进行适宜性区划。

表 1 崇左市澳洲坚果种植气候区划指标

区划因子	最适宜区	适宜区	次适宜区	不适宜区
年平均气温(℃)	[19.5, 25.0)	[18.5, 19.5)	[17.0, 18.5)	< 17.0, ≥25.0
年降水量(mm)	[1 500, 2 100)	[1 000, 1 500)	[660, 1 000)	< 660, ≥2 100
最冷月平均气温(℃)	[9.0, 17.0)	[7.0, 9.0)	[5.0, 7.0)	< 5.0, ≥17.0
日平均气温≥10℃年积温(℃)	[7 000.0, 8 500.0)	[6 500.0, 7 000.0)	[6 000.0, 6 500.0)	< 6 000.0, ≥8 500.0

1.3.2 气候区划指标模型建立

采用多元回归方法,将崇左市及周边地区 20 个国家气象观测站的气象资料及对应站点的经度、纬度和海拔高度等地理因子作为自变量,将年平均气温、年降水量、最冷月平均气温、日平均气温≥10℃的年积温 4 个区划指标分别作为因变量(Y),建立气候区划因子与地理因子的关系模型,模型表达式及相关统计参数见表 2。模型的相关系数在 0.630~0.905,通过信度显著性检验(α=0.01),可见各模型

具有较好的统计学意义。

1.3.3 气候区划图制作

利用 GIS 技术将区划因子对应的线性回归方程进行栅格计算器运算后绘制出 4 张 90 m×90 m 分辨率的数据细网格分布图。通过反距离加权插值法对线性回归方程中的残差值 ε 进行插值,得到 4 张 90 m×90 m 分辨率的残差栅格图。将 4 张细网格数据栅格图与 4 张残差栅格图进行叠加运算得到残差订正结果,按照区划指标进行分类可得到 4 张区划因子

表 2 崇左市澳洲坚果种植气候区划指标模型

区划因子	推算方程	$R^2$	$F$ 检验
$Y_1$	$Y_1=75.765-0.448\lambda-0.196\varphi-0.005h$	0.905	51.042
$Y_2$	$Y_2=-9\,559.499+97.269\lambda+10.390\varphi+0.714h$	0.630	7.949
$Y_3$	$Y_3=124.123-0.898\lambda-0.761\varphi-0.006h$	0.805	21.971
$Y_4$	$Y_4=59\,865.932-438.536\lambda-193.536\varphi-2.992h$	0.836	27.247

注: $Y_1$  为年平均气温, $Y_2$  为年降水量, $Y_3$  为最冷月平均气温, $Y_4$  为日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温, $\lambda$  为经度, $\varphi$  为纬度, $h$  为海拔。

的适宜度分布图。根据专家打分法对适宜度分布图进行打分(表 3),处于区划指标最适宜区范围的打 35 或 15 分,适宜区打 30 或 12 分,次适宜区打 25 分或 8 分,不适宜区打 20 分或 4 分。将适宜度分布图进行栅格叠加、数据归一化、矩阵加法运算等处理,即可根据专家打分结果进行分类,总分在

(84,100]范围为最适宜区,总分在(66,84]范围为适宜区,总分在(44,66]范围为次适宜区,当总分 $\leq 44$ 分时划分为不适宜区,最终确定 4 个适宜性区域,并赋予不同颜色,叠加以县为单位的行政边界、名称、图例、指北标志和比例尺等,制作崇左市澳洲坚果种植气候区划图。

表 3 专家打分标准

区划因子	最适宜区	分值	适宜区	分值	次适宜区	分值	不适宜区	分值
年平均气温/ $^{\circ}\text{C}$	[19.5, 25.0)	35	[18.5, 19.5)	30	[17.0, 18.5)	25	$< 17.0, \geq 25.0$	20
年降水量/mm	[1 500, 2 100)	15	[1 000, 1 500)	12	[660, 1 000)	8	$< 660, \geq 2\,100$	4
最冷月平均气温/ $^{\circ}\text{C}$	[9.0, 17.0)	15	[7.0, 9.0)	12	[5.0, 7.0)	8	$< 5.0, \geq 17.0$	4
日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温/ $^{\circ}\text{C}$	[7 000, 8 500)	35	[6 500, 7 000)	30	[6 000, 6 500)	25	$< 6\,000, \geq 8\,500$	20

2 结果与分析

2.1 温度适宜性分析

(1)年平均温度

崇左市年平均气温在 16.6~23.5  $^{\circ}\text{C}$ 间,根据区划指标(表 1),年平均气温 19.5~23.5  $^{\circ}\text{C}$ 区域是澳洲坚果种植的最适宜区,该区域热量充足,有利于澳洲坚果的油分积累,果仁质量较高。崇左市大部分地区的年平均温度都处于澳洲坚果种植的最适宜区。而年平均气温 16.6~18.4  $^{\circ}\text{C}$ 区域是澳洲坚果种植的次适宜区和不适宜区,该区域分布较少,仅位于天等县中西部零散区域和宁明县南部小片区域。

(2)最冷月平均气温

崇左市最冷月平均气温在 2.8~10.4  $^{\circ}\text{C}$ 间,根据区划指标(表 1),最冷月平均气温为 9.0~10.4  $^{\circ}\text{C}$ 最有利于澳洲坚果的花序生长,故该区域划定为澳洲坚果的最适宜种植区,该区域主要分布在龙州县、凭祥市、大新县南部、宁明县北部、江州区和扶绥县。当最冷月平均气温小于 5.0  $^{\circ}\text{C}$ 时,澳洲坚果花穗的现蕾期甚至整个花期严重推迟,澳洲坚果树的枝叶在

低温环境下存在被冻伤的风险,故气温小于 5.0  $^{\circ}\text{C}$ 区域为澳洲坚果的不适宜种植区,仅分布在天等县中南部及宁明县南部零散区域。

(3)日均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温

崇左市日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温在 4 480~8 465  $^{\circ}\text{C}$ ,根据区划指标(表 1),澳洲坚果生长发育所需要日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温应满足 6 000~8 500  $^{\circ}\text{C}$ ,当日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温在 7 000~8 465  $^{\circ}\text{C}$ 时,澳洲坚果的糖分积累最快,故崇左市大部区域均处于澳洲坚果种植的最适宜区,主要分布于龙州县、凭祥市、江州区、扶绥县及大新县。当日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温小于 6 000  $^{\circ}\text{C}$ 时,澳洲坚果的果实饱满度降低且含油率也会下降,故天等县中南部及宁明县南部等区域为澳洲坚果种植的不适宜区。

2.2 降水适宜性分析

崇左市年降水量在 1 000 mm 以上,故崇左市处于澳洲坚果种植适宜区。其中,宁明县南部及天等县大部的年降水量在 1 500 mm 以上,降水充沛,参考区划指标(表 1),该区域是澳洲坚果种植的最适宜区。



## 2.3 气候适宜性综合分析

### (1) 适宜区面积

从图 1 可看出, 崇左市澳洲坚果种植气候适宜性总体上呈现中部丘陵平原适宜度高、南北两侧高海拔地区及山地丘陵地区适宜度相对较低的分布特点。根据区划统计结果显示, 气候最适宜区分布最多, 约占全市面积的 85.0%, 其次是适宜区, 约占全市面积的 12.0%, 而次适宜区和不适宜区分布较少, 仅占全市面积的 3.0%。

### (2) 气候最适宜区

主要分布在龙州县、凭祥市、江州区、扶绥县、天等县县域附近区域、宁明县及大新县大部分区域, 是崇左市种植澳洲坚果的最佳区域, 非常有利于澳洲坚果生长发育, 可在此区域进行大面积种植。

### (3) 气候适宜区

主要分布在天等县大部区域、宁明县中部及南部、大新县东北部、龙州县西南部及北部小片区域、凭祥市中南部及东北部、江州区及扶绥县北部小片区域。这些地区的气候条件也能满足澳洲坚果生长发育。经实地调研, 该区域发展澳洲坚果种植时间相对较晚, 可作为后续发展澳洲坚果种植的主要区域。

### (4) 气候次适宜区和不适宜区

集中分布在天等县西南部的凹帽塔至牛头岭一带及宁明县桐棉镇板棉村至枯楠村米康屯一带, 零散分布在天等县北部、宁明县中南部、大新县东北部、龙州县西南部、扶绥县及江州区北部。该区域降水量虽较充沛, 但热量条件不够充足, 对澳洲坚果的

产量和品质影响较大, 应减少或不种植澳洲坚果。

经专家验证和实地考察, 崇左市澳洲坚果种植的气候适宜性区划与实际情况大致相符, 但凭祥市的实际种植面积明显少于气候区划, 主要是因为凭祥市城镇化水平较高且当地以甘蔗产业为主, 在一定程度上制约了澳洲坚果产业的发展, 而天等县地形地貌以低山丘陵为主, 交通不够便利且矿产资源的大力开发也导致澳洲坚果产业发展相对缓慢。

## 3 结论与讨论

本研究以崇左市年平均气温、年降水量、最冷月平均气温、日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温等作为澳洲坚果种植气候区划因子, 建立气候区划因子与经度、纬度、海拔高度等地理因子的关系模型, 采用 GIS 技术对崇左市澳洲坚果种植进行区划, 结论如下:

(1) 崇左市澳洲坚果种植的气候最适宜区分布最多, 约占全市面积的 85.0%, 其次是适宜区, 约占全市面积的 12.0%, 而次适宜区和不适宜区分布较少, 仅占全市面积的 3.0%。

(2) 气候最适宜区主要分布在龙州县、凭祥市、江州区、扶绥县、天等县县域附近区域、宁明县及大新县大部分区域。气候适宜区主要分布在天等县大部区域、宁明县中部及南部、大新县东北部、龙州县西南部及北部小片区域、凭祥市中南部及东北部、江州区及扶绥县北部小片区域。气候次适宜区和不适宜区集中分布在天等县西南部的凹帽塔至牛头岭一带及宁明县桐棉镇板棉村至枯楠村米康屯一带, 零散分布在天等县北部、宁明县中南部、大新县东北部、龙州县西南部、扶绥县及江州区北部。

本研究仅考虑年气温、年降水等要素对澳洲坚果种植适宜性的影响, 未考虑澳洲坚果生长发育关键期如花期、坐果期、成熟期对气温、降水等气象条件的需求, 因此, 今后进行气候适宜性区划分析时应增加澳洲坚果不同发育时期的气象要素指标。

### 参考文献:

- [1] 杨为海, 曾利珍, 曾辉, 等. 湛江地区澳洲坚果种质开花生物学特性观测分析[J]. 南方农业学报, 2019, 50(5): 1 042-1 048.
- [2] 孔广红, 马静, 柳颀, 等. 乙烯利诱使澳洲坚果落果的研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(7): 18-24.
- [3] 杜尧东, 何健, 梁凤娟, 等. 热带、亚热带作物引种气候咨询系统[J]. 热带气象学报, 2006, 22(5): 510-514.

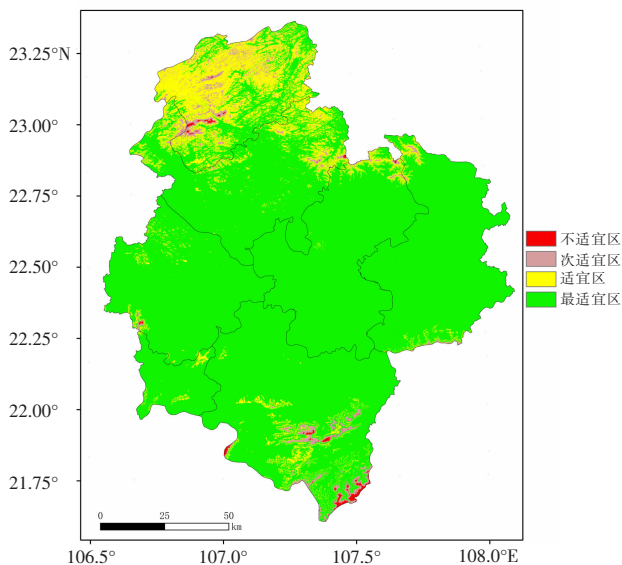


图 1 崇左市澳洲坚果种植气候适宜性区划图

- [4] 班秀文,周明强,班秀芝.澳洲坚果在贵州南亚热区栽培现状及发展对策[J].河北农业科学,2009,13(6):29-30.
- [5] 冯源,何燕.广西引种澳洲坚果的气候适应性分析[J].广西气象,1999,20(4):43-45.
- [6] 岳海,李国华,李国伟,等.澳洲坚果不同品种耐寒特性的研究[J].园艺学报,2010,37(1):31-38.
- [7] 陆超忠,肖邦森,孙光明,等.澳洲坚果优质高效栽培技术[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [8] 薛丽芳,王春林,申双和.广东省龙眼种植农业气候区划研究[J].热带气象学报,2011,27(3):403-409.
- [9] 吴健杰,李政,曾东兰.昭平县基于 GIS 技术的茶树种植气候区划[J].气象研究与应用,2019,40(4):50-52,71.
- [10] 叶瑜,徐芳,李敬源,等.梧州市六堡茶气候适应精细化种植区划[J].气象研究与应用,2019,40(2):73-75,79.
- [11] 黄帆,徐芳.梧州市基于 GIS 荔枝优化布局的气候区划[J].气象研究与应用,2016,37(4):62-65.
- [12] 刘聪,李凯伟,张继权,等.基于气候适宜度的南方柑橘种植精细化种植区划[J].应用气象学报,2021,32(4):421-431.
- [13] 刘晓,陈建,曾平安.澳洲坚果在我国栽培与发展中存在的几个重要问题[J].中国南方果树,2002,31(3):36-38.
- [14] 陈显国,黄华,林玉虹,等.澳洲坚果在广西桂中地区的适应性研究[J].热带农业科学,2013,33(7):30-34,53.
- [15] 邓晓璐,施宗强.华安县种植澳洲坚果的气候适应性分析[J].福建热作科技,2015,40(1):37-38.
- [16] 韩树全,范建新,王代谷,等.基于“3s”技术的贵州省澳洲坚果种植气候区划[J].贵州农业科学,2016,44(8):157-161.
- [17] 覃杰凤,郑树芳.澳洲坚果在广西崇左的发展前景[J].中国热带农业,2014,11(2):19-20.
- [18] 李元会,赵贯飞,朱荣杰,等.墨脱地区引种澳洲坚果适应性分析[J].中国果菜,2018,38(11):78-80.
- [19] 王伟,田荣荣,那立妍,等.基于 MaxEnt 生态软件划分澳洲坚果的潜在地理适生区[J].林业科学研究,2017,30(3):444-449.
- [20] 张柳红,王华,唐力生.广东种植青枣气候适宜度评价[J].热带气象学报,2020,36(5):660-667.

## Regionalization of climate suitability for Macadamia Nut planting in Chongzuo City

FAN Lu<sup>1</sup>, QIN Yishu<sup>2</sup>, LIU Fang<sup>3</sup>

(1.Longzhou Meteorological Bureau, Guangxi Longzhou 532400, China;

(2.Liuzhou Meteorological Bureau, Guangxi Liuzhou 545001, China;

(3.Hechi Meteorological Bureau, Guangxi Hechi 547000, China)

**Abstract:** Based on the meteorological data of 20 national meteorological observation stations in Chongzuo City and its surrounding areas from 1991 to 2020, the climate regionalization index of Macadamia Nut was determined according to the growth characteristics of Macadamia Nut and previous research results, and the climate regionalization index model of Macadamia Nut planting in Chongzuo City was established by regression analysis. The planting of Macadamia Nut in Chongzuo city was divided by GIS technology, and the planting suitability of Macadamia Nut under different climatic conditions was analyzed. The results show that the climatic regionalization indexes such as annual mean temperature, annual precipitation, mean temperature of coldest month and annual accumulated temperature of daily mean temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  in Chongzuo City and its surrounding areas are highly correlated with geographical factors in terms of longitude, latitude and altitude, and are significantly affected by terrain. Most of Chongzuo City is in the climatic optimal zone for Macadamia Nut planting, among which Longzhou County, Pingxiang City, Jiangzhou District, Fusui County, Tiandeng county and most of Ningming County and Daxin County are the climatic optimal zone for Macadamia Nut planting.

**Key words:** Macadamia Nuts; GIS technology; climate zoning; Chongzuo City