

# GIS 技术支持下的陕西核桃精细化 气候适宜性区划

郭兆夏, 梁 轶, 王景红, 郭 新, 柏秦凤

(陕西省经济作物气象服务台, 陕西 西安 710014)

**摘要:** 利用陕西 96 个气象站 1981—2010 年气象资料和地理信息数据, 采用 GIS 技术对核桃种植进行气候适宜性区划。通过对陕西核桃生长的生态气候适宜性和陕西气候特点分析, 选取年平均气温、年降水量、年日照时数、极端最低气温多年平均、日平均气温  $\geq 38^{\circ}\text{C}$  日数 5 个因子作为陕西核桃种植气候适宜性区划指标, 建立区划因子的小网格推算模型, 在 GIS 技术的支持下完成其空间化, 采用模糊综合评判的方法得到陕西核桃精细化气候适宜性区划图, 并进行分区评述。研究表明: 适宜区主要分布在北起陕北北部的安塞、子长、清涧、吴堡一线, 南至陕南汉江河谷, 除秦岭、陇山、黄龙山的深山外, 陕北沟壑区、渭北塬区、关中平原和秦岭的浅山丘陵地区; 渭北旱塬以北和秦岭北麓高海拔适宜区, 应选种抗霜冻核桃品种, 在避风向阳、半阳坡的坡地栽植; 陕南秦巴山区适宜区应选种抗湿性好、抗病性强的核桃品种。

**关键词:** 核桃; 气候适宜性; 气候区划; GIS 技术; 模糊综合评判; 陕西省

**中图分类号:** S162.2; S664.1 **文献标志码:** A

## Climate regionalization for walnut plant in Shaanxi province based on GIS

GUO Zhao-xia<sup>1</sup>, LIANG Yi<sup>1</sup>, WANG Jing-hong<sup>1</sup>, GUO Xin<sup>1</sup>, BAI Qin-feng<sup>1</sup>

(Shaanxi Meteorological Service Observatory for Economical Crops, Xi'an, Shaanxi 710015, China)

**Abstract:** Based on the meteorological data of 96 weather stations from 1981 to 2010 and geographical information in Shaanxi province, GIS technology was employed for climatic divisions of walnut to provide scientific basis for sustainable development. Through the analyses of climatic suitability and characteristics in Shaanxi, five indexes including annual mean temperature, annual mean precipitation, annual mean sunshine hours, extremely minimum temperature, and the day numbers of daily maximum temperature  $\geq 38^{\circ}\text{C}$ , were selected as the climatic regionalization criteria. Subsequently, small grid reckon model was established to calculate the spatial distributions of each regionalization index values using GIS technology. Comprehensive evaluation method was further used to assess the distribution graph of the climatically suitable planting areas for walnut. The results indicated that the suitable regions were distributed in northern Shaanxi from the area along Ansai, Zichang, Qingjian, and Wubu to the area along Hanjiang river; and in southern Shaanxi, these regions included the Loess Hilly and Gully Region of Northern Shaanxi, the northern bank of Weihe river, Central Shaanxi Plain, and the valley and shallow mountain areas of Qinling, excluding the remote mountain areas of Qinling, Longshan, and Huanglong. The suitable region of the northern Weibei Plateau and the high altitude areas of North Slope of Qinling Mountains should select anti-frost walnut varieties planting in sheltered sunny and semi-sunny slope region; And that of Bashan Mountains may choose walnut varieties with good moisture and strong disease resistance.

**Keywords:** walnut plant; climatic suitability; climatic regionalization; GIS technology; fuzzy comprehensive evaluation method; Shaanxi province

陕西是我国核桃主产区, 核桃种植面积、产量和产值仅次于云南省, 位居全国第二位, 至 2012 年底,

陕西省核桃种植面积已达 52.6 万公顷<sup>[1]</sup>。2010 年陕西省政府出台了《关于加快推进核桃等干杂果经

收稿日期: 2014-04-05

基金项目: 陕西省科技创新工程公共服务平台专项(2010FWPT-17); 陕西省气象局研究型业务重点科研项目(2010Z-5)

作者简介: 郭兆夏(1964—), 女, 山西沁水人, 高级工程师, 主要从事 GIS 应用和气象服务工作。E-mail: guozhaoxia78206@163.com。

通信作者: 梁 轶(1979—), 陕西西安人, 工程师, 主要从事农业气候资源分析与区划工作。E-mail: flyingly@126.com。

济林产业发展的意见》,将核桃产业确立为继苹果之后又一促进林农增收致富的干杂果经济林产业,并制定长远发展目标,提出到 2020 年核桃种植总面积要达到 66.7 万公顷,核桃产业已经成为加快陕西生态环境建设、促进山区群众脱贫致富的一项重要产业。为充分挖掘气候资源潜力,趋利避害,合理规划布局,引导林农在气候适生区内种植核桃,从而生产出更多的优质商品果,形成产业规模优势,对陕西核桃种植进行精细化气候适宜性区划显得尤为迫切和必要。随着 GIS 技术在农业气候区划中的广泛应用,使农业气候精细化区划成为可能<sup>[2-4]</sup>。唐红艳等<sup>[5]</sup>利用 GIS 技术对内蒙古兴安盟地区马铃薯种植进行了气候区划研究;朱琳等<sup>[6-9]</sup>分别应用 GIS 技术进行了陕西苹果、白梨、柑橘、猕猴桃等主要果树的气候适宜性区划研究;韩华柏等<sup>[10]</sup>采用主成分分析法,确定了影响四川核桃生长发育的主导气候因子,通过对气候因子和土壤因子的适宜性综合分析,结合四川核桃主产区气候条件和生物学特性,得出全省核桃主要适宜的生态指标,将四川划分为 4 个核桃栽培区。陈明彬<sup>[11]</sup>结合商洛立地生态气候资源,找出与核桃种植、产量水平、产品质量有密切关系的气候因子,通过地域分布相似归并,根据择优选取的代表因子与栽培品种的密切关系,确定组成地理分异明显、彼此较为独立的指标,利用 GIS 技术,制作商洛核桃专题气候区划图。本文拟利用近 30 年(1981—2010 年)气象观测资料,在分析核桃生长对气象条件需求的基础上,吸收国内学者有关核桃气候区划的研究成果,确定陕西核桃气候区划指标体系,建立区划因子小网格推算模型,在 GIS 技术下进行指标因子空间化,采用模糊综合评判的方法得到陕西核桃精细化气候适宜性区划结果,为陕西核桃产业基地合理规划布局和可持续发展提供科学依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究区域概况

陕西省地处西北地区东部(105°29' ~ 111°15' E, 31°42' ~ 39°35' N),南北地形狭长,跨越近 5 个纬度,秦岭、渭河横贯其中。境内山塬起伏,地形复杂,可分为北部的陕北黄土高原、中部的关中平原和南部的秦巴山地。气候以秦岭为界,南北差异显著,形成了陕北北部温带,陕北南部、关中、秦岭和秦岭南坡(海拔 1 000 m 以上)暖温带以及陕南北亚热带 3 个气候带。

### 1.2 资料及其处理

气象数据采用 1981—2010 年陕西省 96 个气象

观测站的气象观测资料,补充各县 153 个气象哨和水文站短期气候考察站观测数据。在对气象哨和水文站数据进行审核和严格筛选基础上,按最近相似原则,将气象哨(水文站)观测资料,温度资料按差值法、降水资料按比值法<sup>[12]</sup>,订正延长至 1981—2010 年平均值。

地理信息数据采用陕西省 1:25 万数字高程模型(DEM)数据(空间分辨率为 100 m × 100 m)和陕西各区县的行政边界矢量数据,用于提取各地小网格经度、纬度栅格数据,以及区划指标的空间化处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 核桃生长所需的生态气候条件分析

气候和立地条件是影响核桃生长的关键因子,而气候条件则是决定当地能否种植核桃的主导因子。

2.1.1 核桃生长所需的气象条件 核桃适宜生长在年平均气温 8℃ ~ 14℃,极端最低气温大于 -30℃,极端最高气温小于 38℃,无霜期大于 150 d (150 ~ 220 d)的地区;幼树在 -20℃以下时会出现“抽条”或冻死<sup>[13]</sup>;成年树在低于 -25℃气温下不能正常结果<sup>[14]</sup>。核桃树展叶后,如遇到 -4℃ ~ -2℃低温,将导致新梢受冻,花期和幼果期遇到 -2℃ ~ -1℃则受冻减产。生长期遇 38℃以上的高温天气时,果实易出现“日灼”,核仁停止发育,形成空壳、秕仁。开花期气温在 15℃ ~ 18℃有利授粉<sup>[15]</sup>。核桃树对土壤水分要求较高,过湿或过干的土壤都不利于核桃正常生长。在年降水 500 ~ 900 mm 的地区,无需灌溉,核桃生长良好。核桃是喜光树种,全年日照时数最好在 1 700 h 以上,少于 1 000 h 时结果不良,郁闭透光性不好的核桃园一般结实差、产量低。

2.1.2 核桃生长立地条件 核桃属深根性树种,适宜于土层厚度在 1 m 以上的平地或 20°以下的缓坡上生长,土层薄影响根系发育,易形成“小老树”,不能正常结果。种植在阴坡,尤其是坡度过大和迎风坡面上,生长不良。核桃适宜在土质疏松和排水良好的砂壤土或壤土上生长,土壤 pH 值适宜范围为 6.2 ~ 8.2。陕西土壤类型多样,有栗钙土、黑垆土、棕壤、褐土、黄棕壤、黄褐土、风沙土、黄绵土、水稻土、潮土、新积土等,均适宜核桃种植。

### 2.2 陕西核桃气候区划指标选取

陕西核桃气候区划指标的选取主要考虑三个方面:一是核桃生长要求的基本气候条件,主要包括热量、水分和光照条件;二是陕西核桃种植的限制因子,主要是核桃树越冬条件;三是对核桃产量和品质

有明显影响的夏季高温天气影响。根据陕西核桃气候适宜性、陕西核桃种植区气候特点和种植情况调查,结合国内多位学者对限制核桃生长气象因子的

分析研究结果<sup>[16-19]</sup>,选取年平均气温、年降水量、年日照时数、极端最低气温多年平均和日最高气温 $\geq 38^\circ\text{C}$ 日数作为陕西省核桃气候区划指标(表 1)。

表 1 陕西省核桃气候区划指标

Table 1 The climatic regionalization indexes for walnut plants in Shaanxi

适宜等级 Suitability grade	年平均气温 Annual mean temperature /°C	年降水量 Annual mean precipitation /mm	极端最低气温 Extremely minimum temperature/°C	年日照时数 Annual mean sunshine hours/h	日最高气温 $\geq 38^\circ\text{C}$ 日数 The day numbers of daily maximum temperature $\geq 38^\circ\text{C}/\text{d}$
适宜 The suitable regions	8.0 ~ 14.0	500 ~ 900	$\geq -20.0$	$\geq 1700$	< 3
次适宜 The sub-suitable regions	7.0 ~ 7.9 或 14.1 ~ 15.9	350 ~ 499 或 901 ~ 1300	-20.1 ~ -25.0	1000 ~ 1699	3 ~ 10
不适宜 The unsuitable regions	< 7.0 > 15.9	< 350 > 1300	< -25.0	< 1000	> 10

### 2.3 区划指标空间化处理

由于气象观测站点稀疏,难以反映广大无测站地区尤其是山区复杂的气候状况,要开展精细化的气候区划,首先要推算模拟无测站区域的气候资源分布情况。由于大地形因子(经度、纬度、高度)与气候资源有较好的关系<sup>[20-23]</sup>,可建立各指标因子的空间分布模型,其表达式为:

$$Y = f(\lambda, \varphi, h) + \varepsilon \quad (1)$$

式中,  $Y$  为气候指标因子要素;  $\lambda$  为经度;  $\varphi$  为纬度;  $h$  为海拔高度(m); 函数  $f(\lambda, \varphi, h)$  为气候学方程;  $\varepsilon$  为残差项,可视为小地形因子(坡度、坡向等)及下

垫面对气候的影响。将  $f(\lambda, \varphi, h)$  展成三维二次趋势面方程<sup>[23-24]</sup>。

$$f(\lambda, \varphi, h) = b_0 + b_1\lambda + b_2\varphi + b_3h + b_4\lambda\varphi + b_5\varphi h + b_6\lambda h + b_7\lambda^2 + b_8\varphi^2 + b_9h^2 \quad (2)$$

式中  $b_0 \sim b_9$  为待定系数,利用逐步回归优化回归模型,模拟区划指标因子宏观趋势项,分别建立各区划指标的小网格推算模型,各模型均通过了信度  $\alpha = 0.01$  的显著性检验,见表 2。

在 DEM 数据支持下,利用该模型完成各区划指标的空间插值处理,对残差项再利用 IDW 法进行插值后,修正其插值结果。

表 2 各区划指标的小网格推算模型

Table 2 Small grids reckoning models of regionalization indexes

区划指标 Regionalization indexes	模型 Models	相关系数 The correlation coefficient	$F$
年平均气温 Annual mean temperature	$R = 31.996 - 0.49312\varphi + 0.00585\lambda - 0.00449h$	0.96	747.8
年降水量 Annual mean precipitation	$R = 24869.88 - 1214.92\varphi - 13.2259\lambda - 2.36h + 0.033268\lambda h - 0.0324\varphi h + 15.968\varphi^2$	0.92	233.3
极端最低气温 Extremely minimum temperature	$R = 959.9329 - 23.6372\varphi - 2.00146\lambda - 0.06477h$	0.95	336.3
日最高气温 $\geq 38^\circ\text{C}$ 日数 The day numbers of daily maximum temperature $\geq 38^\circ\text{C}$	$R = -323.084 + 9.2846\varphi + 2.961\lambda - 0.00835h - 0.08365\varphi\lambda + 2.96 \times 10^{-6}h^2$	0.84	42.1

年日照时数与地形的关系比较复杂,本研究通过克里格空间插值方法,对年日照时数进行空间化处理。

### 2.4 区划指标的归一化处理

考虑到利用适宜区、次适宜区和不适宜区指标

进行区划时在不同区域分界处的跳跃性,将适宜区指标群作为模糊集合,采用模糊集的隶属函数的方法对区划指标进行归一化处理,来计算各区划指标的评判值<sup>[24]</sup>,以模糊评判值进行分区。各区划指标适宜性隶属函数分别为

$$\mu(x_1) = \begin{cases} 1 & 9.0 \leq x_1 < 13.0 \\ \frac{x_1 - 8.0}{1}, \frac{14.0 - x_1}{2} & 8.0 \leq x_1 < 9.0, 13.0 \leq x_1 < 16 \\ 0 & x_1 \leq 8.0, x_1 \geq 16 \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu(x_2) = \begin{cases} 1 & 500 \leq x_2 < 900 \\ \frac{x_2 - 350}{150}, \frac{1300 - x_2}{400} & 350 \leq x_2 < 500, 900 \leq x_2 < 1300 \\ 0 & x_2 < 350, x_2 \geq 1300 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu(x_3) = \begin{cases} 1 & x_3 \geq 1700 \\ \frac{x_3 - 1000}{700} & 1000 \leq x_3 < 1700 \\ 0 & x_3 < 1000 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu(x_4) = \begin{cases} 1 & x_4 \geq -20.0 \\ \frac{x_4 + 25.0}{5.0} & -25.0 \leq x_4 < -20.0 \\ 0 & x_4 < -25.0 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu(x_5) = \begin{cases} 1 & x_5 < 3.0 \\ \frac{x_5 - 3.0}{7.0} & 3.0 \leq x_5 < 10.0 \\ 0 & x_5 \geq 10.0 \end{cases} \quad (7)$$

式中,  $x_1$  为年平均气温;  $x_2$  为年降水量;  $x_3$  为年日照时数;  $x_4$  为极端最低气温多年平均;  $x_5$  为日最高气温  $\geq 38^\circ\text{C}$  日数。

### 2.5 区划图的制作

利用 GIS 技术, 在实现区划指标空间化的基础上, 根据各区划要素隶属函数模型, 分别建立各区划因子的适宜性评价栅格图。依据各因子对陕西核桃产量和品质的影响程度, 结合实地调查确定各指标因子的权重集为:  $\alpha = \{0.2, 0.2, 0.3, 0.2, 0.1\}$ 。再依据各评价因子的权重, 采用线性加权求和的方法, 利用 GIS 空间分析技术, 将各评价指标的栅格图进行叠加, 得到陕西核桃气候适宜性综合评价栅格图。综合评判值为

$$p = \sum_{i=1}^5 \alpha_i \mu(x_i) \quad (8)$$

式中,  $p$  为综合评判值;  $\mu(x_i)$  为第  $i$  个指标气候隶属度,  $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ;  $\alpha_i$  为相应指标因子权重,  $0 < \alpha_i < 1, \sum \alpha_i = 1$ 。计算后的  $p$  值在  $0 \sim 1$ , 用来评价陕西核桃生长气候综合条件的优劣。

综合评价值以满足核桃适宜生长的界限为依据, 结合陕西核桃分布状况实地调查, 确定  $p \geq 0.90$ 、 $0.89 \sim 0.60$ 、 $< 0.60$  依次为适宜、次适宜、不适宜 3 个等级, 据此制作陕西核桃气候适宜性区划图, 见图 1。

### 2.6 区划结果与分析

**2.6.1 适宜区** 本区北起陕北北部的安塞、子长、清涧、吴堡一线, 南至陕南汉江河谷, 除秦岭、陇山、黄龙山的深山外, 陕北沟壑区、渭北塬区、关中平原和秦岭的浅山丘陵区均为适宜区。本区年平均气温

$8.5^\circ\text{C} \sim 15.3^\circ\text{C}$ , 年降水量  $470 \sim 1\,000\text{ mm}$ , 年日照时数  $1\,500 \sim 2\,600\text{ h}$ , 极端最低气温多年平均  $-21.3^\circ\text{C} \sim -6.2^\circ\text{C}$ ,  $\geq 38^\circ\text{C}$  日数  $0 \sim 4\text{ d}$ 。该区气温适宜, 降水适中, 光照条件好, 核桃树生长健壮、丰产性好, 品质优良, 是陕西核桃栽培的最佳气候区。主要气象问题是, 渭北旱塬以北和秦岭北坡高海拔地区核桃展叶—花期冻害危害时有发生。据近 40 年气象数据统计, 陕北、渭北春季冷空气活动强度较大、频率较高, 秦岭山区高海拔地区, 气温低, 易发生萌芽—花期冻害; 该区萌芽—花期极端最低气温达  $-4^\circ\text{C}$  的冻害天气  $3 \sim 7$  年 1 遇, 极端最低气温达  $-2^\circ\text{C}$  的冻害天气  $2 \sim 4$  年 1 遇。因此, 渭北旱塬以北和秦岭北坡高海拔适宜区, 应选种抗霜冻核桃品种为宜; 建林选址不宜在下坡、梁顶和川道地栽植, 应在避风向阳、半阳坡、土层深厚肥沃的山腰坡地或平地栽植。陕南秦巴山区核桃生长后期阴雨天气多, 湿度大, 光照少易造成核桃果实霉烂、涩苦, 应选种抗湿性好、抗病性强的核桃品种。

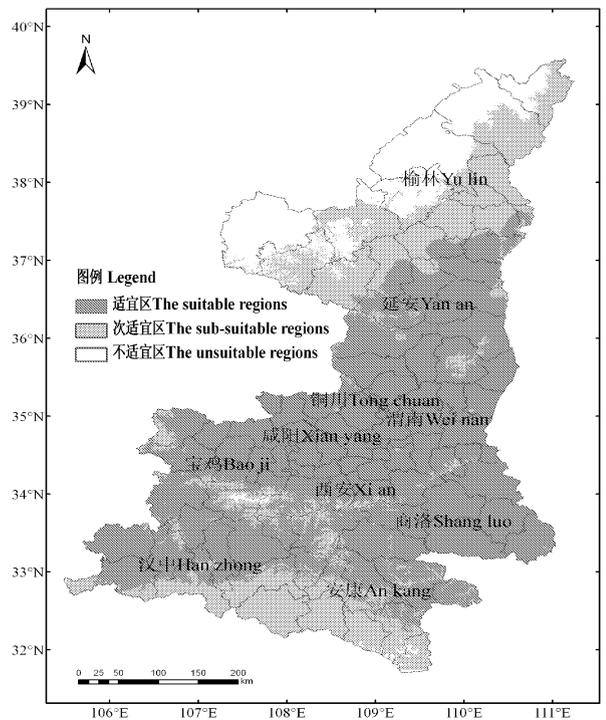


图 1 陕西核桃气候适宜性区划图

Fig. 1 The climatic regionalization map for walnut plants in Shaanxi

**2.6.2 次适宜区** 本区分为陕北次适宜区和陕南次适宜区两部分。

陕南次适宜区包括汉江河谷以南大部分地区。本区内年日照时数 1 400 ~ 1 520 h, 年平均气温 8.9℃ ~ 14.3℃, 年降水量 1 000 ~ 1 360 mm, 极端最低气温多年平均 -12.5℃ ~ -4.2℃。该区光照略显不足, 降水偏多, 容易造成这一地区核桃果实品质欠佳, 产量低。影响该区核桃生长的主要气象灾害是核桃生长后期遇连阴雨, 湿度增大, 日照时数减少, 常使果实霉烂、涩苦。

陕北次适宜区包括适宜区北界至长城沿线区域。本区内年日照时数 2 370 ~ 2 750 h, 年平均气温 7.9℃ ~ 9.2℃, 年降水量 350 ~ 450 mm, 极端最低气温多年平均 -23.3℃ ~ -21.7℃。该区光照充足, 气温偏凉、降水偏少, 冬季冷空气活动频繁, 当遇到低于 -20.0℃ 的低温时, 会使幼树和新梢受冻, 春季霜冻又常使核桃花器受冻, 该区核桃产量低而不稳, 发展受限。

### 3 结论与讨论

1) 本研究依据陕西近 30 年气候资料, 在 DEM 数据的支持下, 利用 GIS 技术对陕西核桃各区划指标进行空间小网格推算模拟, 依据各因子对陕西核桃产量和品质的影响程度结合实地调查, 对各区划因子进行空间叠加分析完成陕西核桃气候适宜性区划, 结果表明适宜区主要分布在北起陕北北部的安塞、子长、清涧、吴堡一线, 南至陕南汉江河谷, 除秦岭、陇山、黄龙山的深山外, 陕北沟壑区、渭北塬区、关中平原和秦岭的浅山丘陵地区, 客观地反映了陕西核桃适宜种植区的分布状况, 精度达乡镇一级, 为陕西优质核桃生产基地合理规划布局提供技术支撑。

2) 陕西核桃气候适宜区地域广, 范围大, 其气候资源满足种植核桃的各项气候指标, 发展核桃产业的空间很大。应充分挖掘气候资源潜力, 在适宜区内适度扩大核桃种植面积, 根据立地条件选种优良品种, 加强生长期管理, 扩大产业规模, 创建陕西核桃优势品牌。

3) 陕西核桃气候适宜区, 光、热、水气候资源优越, 核桃树生长健壮、丰产性好, 品质优良, 是陕西核桃栽培的最佳气候区。但渭北旱塬以北和秦岭北坡高海拔地区核桃展叶—花期冻害危害时有发生, 应选种抗霜冻核桃品种, 建林选址不宜在下坡、梁顶和川道地栽植, 应在避风向阳、半阳坡、土层深厚肥沃的山腰坡地或平地栽植; 同时密切关注灾害性天气预警信息, 在霜冻来临时, 及时开展熏烟防冻, 减轻霜冻灾害损失。陕南秦巴山区要注意高湿天气对核桃带来的危害, 核桃生长后期遇连阴雨, 湿度增大, 日照时数减少, 常使果实霉烂、涩苦; 应选种抗湿性

好、抗病性强的核桃品种。

### 参考文献:

- [1] 杨淑艳. 国家林业局充分肯定陕西核桃发展成效 [EB/OL]. (2013-05-20) [2013-12-16]. <http://www.snly.gov.cn./info/1008/5737.htm>.
- [2] 尹东, 尹红, 张旭东. 基于 GIS 的甘肃省纹党种植气候区划 [J]. 中国农业气象, 2011, 32(2): 246-249.
- [3] 丁丽佳, 王春林, 郑有飞, 等. 基于 GIS 的广东荔枝种植气候区划 [J]. 中国农业气象, 2011, 32(3): 382-387.
- [4] 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.
- [5] 唐红艳, 牛宝亮, 张福. 基于 GIS 技术的马铃薯种植气候区划 [J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(4): 158-162.
- [6] 朱琳, 郭兆夏, 朱延年. 基于 GIS 气候资源评价及区划研究——以陕西省苹果气候区划为例 [J]. 陕西气象, 2005, (3): 23-26.
- [7] 郭兆夏, 李星敏, 朱琳, 等. 基于 GIS 技术的陕西白梨气候区划 [J]. 果树学报, 2010, 27(5): 698-702.
- [8] 朱琳, 李星敏, 朱延年, 等. 基于 GIS 的陕南柑桔气候生态适宜性区划 [J]. 中国农业气象, 2011, 32(1): 122-128.
- [9] 贺文丽, 李星敏, 朱琳, 等. 基于 GIS 的关中猕猴桃气候生态适宜性区划 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(22): 202-207.
- [10] 韩华柏, 罗成荣, 朱益川, 等. 四川核桃栽培适宜性区划研究 [J]. 西部林业科学, 2012, 41(3): 1-7.
- [11] 陈明彬, 张鸿雁, 雷盘军, 等. 商洛基于 GIS 的核桃适宜气候区划及分区评述 [J]. 陕西气象, 2011, (2): 22-25.
- [12] 程德瑜. 农业气候学 [M]. 北京: 气象出版社, 1994.
- [13] 王健, 邱宗旭, 韩勇. 核桃生长与气候 [J]. 新疆气象, 2002, 25(5): 43-45.
- [14] 周长征. 平阴县核桃种植气象条件分析 [J]. 山东气象, 2003, 23(92): 48-49.
- [15] 张美勇, 徐颖, 许林. 山东省核桃栽培历史及栽培区划 [J]. 落叶果树, 2008, (1): 1-6.
- [16] 李化龙, 赵西社, 朱海利, 等. 陕西黄土高原果业气候生态条件研究及应用 [M]. 北京: 气象出版社, 2010: 199-207.
- [17] 张日清, 吕芳德, 何方. 美国山核桃引种栽培区划研究 II 原生境与新生境自然条件比较 [J]. 中南林学院学报, 2001, 21(2): 1-5.
- [18] 叶殿秀, 肖永全, 阮士文, 等. 陕西引种黑核桃气候生态条件分析及适生区划 [J]. 陕西气象, 2000, (3): 19-22.
- [19] 贺春燕. 甘肃省核桃气候适宜性分区评价与种植区划 [J]. 甘肃农业大学学报, 2007, 42(4): 77-81.
- [20] 郭兆夏, 符昱, 王军, 等. 陕西苹果主产区日最低(最高)气温的空间插值 [J]. 陕西气象, 2008, (5): 24-26.
- [21] 郭兆夏, 李星敏, 朱琳, 等. 基于 GIS 的陕西省年降水量空间分布特征分析 [J]. 中国农业气象, 2010, 31(增 1): 121-123.
- [22] 范辽生, 刘新安, 于贵瑞, 等. 东北地区辐射资源栅格化信息系统的建立 [J]. 资源科学, 2003, 25(1): 59-65.
- [23] 廖菲, 洪延超, 郑国光. 地形对降水的影响研究概述 [J]. 气象科技, 2007, 35(6): 310-316.
- [24] 中国农林作物气候区划协作组. 中国农林作物气候区划 [M]. 北京: 气象出版社, 1987: 174-184.