

doi:10.3969/j.issn.1000-6362.2013.01.008

梁轶, 李星敏, 周辉, 等. 陕西油菜生态气候适宜性分析与精细化区划[J]. 中国农业气象, 2013, 34(1): 50-57

## 陕西油菜生态气候适宜性分析与精细化区划\*

梁轶<sup>1</sup>, 李星敏<sup>2</sup>, 周辉<sup>3</sup>, 朱延年<sup>2</sup>, 颜胜安<sup>1</sup>

(1. 陕西省经济作物气象服务台, 西安 710015; 2. 陕西省气象科学研究所, 西安 710015; 3. 陕西省农业遥感信息中心, 西安 710015)

**摘要:** 利用陕西省 96 个气象站 1981-2010 年油菜生长阶段气象资料和地理信息数据, 采用 GIS 技术对油菜进行气候适宜性区划, 以为气候变暖背景下的陕西油菜生产合理规划布局 and 可持续发展提供科学依据。通过综合分析陕西各地油菜气候适宜性特点和影响油菜产量的关键气象因子, 选取 1 月日最低平均气温、薹薹期平均气温、生育期平均气温、生育期  $\geq 0^{\circ}\text{C}$  积温和生育期降水量作为陕西油菜生态气候适宜性区划指标, 建立各区划指标的小网格推算模式, 应用 GIS 技术推算出陕西无测站区域  $100\text{m} \times 100\text{m}$  网格点上的气候要素值, 采用综合评判的方法得到陕西油菜精细化气候适宜性区划图, 并进行分区评述。结果表明, 最适宜种植区主要分布在陕南汉江及其支流沿岸海拔 600m 以下川道、平坝地区, 以及关中渭河及其支流沿岸海拔 700m 以下的平原地区; 适宜区主要分布在秦岭北麓海拔 850m 以下的河谷、浅山丘陵区, 秦岭南麓、巴山北麓海拔 750m 以下的浅山丘陵地带, 以及渭河北岸最适区以北海拔 800m 以下的台塬地区。

**关键词:** 油菜; 生态气候; 适宜性; GIS; 区划

## Analyzing and Zoning of Eco-climate Suitability of Oilseed Rape in Shaanxi Province

LIANG Yi<sup>1</sup>, LI Xing-min<sup>2</sup>, ZHOU Hui<sup>3</sup>, ZHU Yan-nian<sup>2</sup>, YAN Sheng-an<sup>1</sup>

(1. Shaanxi Meteorological Service Observatory for Economical Crops, Xi'an 710015, China; 2. Shaanxi Meteorological Science Research Institute, Xi'an 710015; 3. Shaanxi Remote Sensing Information Center for Agriculture, Xi'an 710015)

**Abstract:** Based on the meteorological data and geographic information during the growth period of oilseed rape at 96 weather stations from 1981 to 2010 in Shaanxi province, by using GIS technology, authors built the climatic division for oilseed rape in order to provide scientific basis for sustainable development. Firstly, through the comprehensive analysis of climate suitability characteristics and key influential climate factor on oilseed rape yield, some factors such as mean daily minimum air temperature in January, air temperature at stem elongation period, air temperature at whole growth period,  $\geq 0^{\circ}\text{C}$  accumulative temperature at whole growth period, and precipitation during the whole growth period were selected as the climatic regionalization indices. Next, small grid reckon model was established to calculate the spatial distribution without station in Shaanxi province of each regionalization index values of  $100\text{m} \times 100\text{m}$  grid node. Thus, the distribution graph of the eco-climate suitable planting areas of oilseed rape was formed by using comprehensive evaluation method. The results indicated that the most suitable regions for oilseed rape plant distributed around flat and dam areas below 600m along Hanjiang river and its tributaries in southern Shaanxi, and the plain areas below 700m along Weihe river and its tributaries in central Shaanxi. The suitable regions were the surroundings, including valley and shallow mountain areas below 850m in the northern piedmont of Qinling, hilly country area below 750m in the southern hillside of Qinling and northern foot of Bashan mountain, and loess tableland area below 800m at the northern bank of Weihe river.

**Key words:** Oilseed rape; Eco-climate; Suitability; GIS; Zoning

\* 收稿日期: 2012-05-21

基金项目: 陕西省“13115”科技创新工程重大科技专项“基于 GIS 的陕西省精细化农业气候资源区划”(2009ZDKG-08)

作者简介: 梁轶 (1979-), 女, 陕西西安人, 硕士, 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

油菜是陕西省第一大油料作物,2005年以来,常年种植面积约17万 $\text{hm}^2$ ,产量约27万t,面积和产量均占油料作物的64%以上<sup>[1]</sup>。早在20世纪80年代,陕西省气象部门就对油菜进行了农业气候区划<sup>[2]</sup>,但是随着气候变化、油菜栽培技术的进步和新品种的推出,油菜种植区域发生了新的变化。随着GIS技术在农业气候区划中的广泛应用,区划结果由基于行政单元发展为基于地理网格单元,克服了以往基于气象站资料,复杂地形条件下气象资料代表性差的问题,极大提高了区划结果的精细化程度<sup>[3-5]</sup>,使农业气候精细化区划成为可能。为充分挖掘气候资源潜力,趋利避害,合理布局,对陕西油菜种植进行新的气候适宜性区划,显得尤为迫切和必要。朱琳等<sup>[6-9]</sup>分别应用GIS技术开展了陕西苹果、白梨、柑橘、猕猴桃等主要果树的气候适宜性区划研究;张惠玲等<sup>[10]</sup>采用数理统计的方法确定甘肃省油菜生态气候适生种植区划综合指标体系,将甘肃省油菜种植区划分为五级,并针对各地资源特点和油菜生育特性提出提高气候资源利用效率的途径;黄淑娥等<sup>[11]</sup>通过分析影响鄱阳湖地区油菜生长的关键气候要素确定区划指标,利用GIS技术对鄱阳湖地区油菜种植进行区划;闵程程等<sup>[12]</sup>利用GIS气候资源小网格推算方法,结合油菜单产和气象要素相关性法分析结果,进行了湖北省油菜气候适宜性区划。但利用GIS技术进行陕西省油菜区划的研究尚未见报道。本文拟利用近30a(1981-2010)气候资源数据,根据油菜生育对气候生态条件的要求,在综合分析陕西各地油菜气候适宜性特点和影响油菜产量的关键气象因子的基础上,借助GIS技术,对陕西油菜种植气候适宜性进行区划,以期气候变暖背景下的油菜生产合理规划布局和可持续发展提供科学依据。

## 1 资料和方法

### 1.1 研究区概况

陕西省地处西北地区东部( $105^{\circ}29' - 111^{\circ}15'E$ ,  $31^{\circ}42' - 39^{\circ}35'N$ ),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,明显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1000m以上)暖温带以及陕南北亚热带3种气候带。陕西省秋播油菜种植的分区明显,渭北旱塬以甘杂1号、单杂1号为主栽品种,关中灌区以秦优7号、秦优10号、秦优8号、陕优9号等为主栽品种,陕南汉中、安康以秦油7号、秦优10号、华油杂13号、

中油杂2号等为主栽品种<sup>[13-15]</sup>。这些主栽油菜品种系冬性、半冬性甘蓝型油菜杂交种,生育期从陕南到渭北220~260d。渭北旱塬、关中灌区,在9月上中旬播种,次年5月中下旬收获;陕南在9月中旬播种或育苗,10月中旬左右移栽,翌年5月中旬收获。

### 1.2 资料及其处理

选取陕西省境内96个气象观测站连续完整的1981-2010年气象观测资料,计算得到30a气象要素平均值,以及2004-2008年不同年份各县油菜关键生育期的气象指标值。统计陕西69个油菜生产县(区)2005-2008年油菜产量与种植面积资料,与气象资料结合,分析得到影响油菜产量的关键气象因子。

采用1:25万陕西数字高程模型(DEM)地理信息数据,提取各地小网格经度、纬度和海拔高度数据,用于区划指标的空间化处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 陕西各油菜主产区的气候条件分析

#### 2.1.1 基本气候条件和限制因子

##### (1)基本气候条件

油菜喜温凉、耐较低温度。一般来说,秋播油菜要求年平均气温在 $10^{\circ}\text{C}$ 以上,最冷月平均气温 $-3 \sim 0^{\circ}\text{C}$ 。油菜在整个生育过程中,要求有一定的积温才能完成其生命周期,秋播油菜从播种到成熟所需 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温为 $1800 \sim 2500^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ <sup>[16]</sup>。油菜生育期较长,营养体大,枝叶繁茂,耗水较多,一般从出苗移栽到收获田间耗水量为 $300 \sim 500\text{mm}$ <sup>[16]</sup>。油菜为长日照作物,一般要求日照时间14h以上,日照时间愈长,现蕾、开花愈早,但品种间差异很大。

##### (2)限制因子

秋播油菜为较耐寒越冬作物,壮苗越冬可忍受短时 $-8 \sim -7^{\circ}\text{C}$ 的低温,遇长时间 $-5^{\circ}\text{C}$ 以下低温将会产生不同程度的冻害<sup>[17]</sup>;同时,冬前9-11月是油菜田积蓄底墒的关键时期,如果水分适宜,幼苗生长健壮,有利于安全越冬。蕾薹期是油菜一生中生长最快的时期,主茎伸长、分枝大量形成、花芽分化速度加快,也是形成产量的关键时期。气温在 $5^{\circ}\text{C}$ 以上现蕾, $10^{\circ}\text{C}$ 以上迅速抽薹,温度增高,抽薹速度加快,此期抗寒能力弱,遇低于 $0^{\circ}\text{C}$ 以下的低温冻害天气,会发生裂薹、断薹和薹薹萎缩等现象<sup>[16]</sup>。

#### 2.1.2 各油菜主产区的主要气候特点

##### (1)越冬前

统计陕西各油菜主产区的气温、降水量和日照时数可见,越冬前(9-11月)平均气温分别为:渭北

9.9 ~ 13.6℃, 关中 11.7 ~ 13.5℃, 陕 南 13.6 ~ 15.9℃; 降水量分别为: 渭北 129 ~ 180mm, 关中 167 ~ 206mm, 陕 南 191 ~ 271mm; 日照时数分别为: 渭北 318 ~ 643h, 关中 278 ~ 526h, 陕 南 293 ~ 635h。与油菜生产需要的热量、水分和光照条件相比, 气温适宜, 降水充足, 日照时数多, 有利于培育壮苗。

(2) 越冬期

各油菜主产区的最冷月(1月)日最低平均气温分别为渭北 -10.4 ~ -4.6℃, 关中 -5.5 ~ -3.9℃, 陕 南 -2.6 ~ 0.3℃。可见, 渭北最冷月最低气温处在油菜安全越冬的下限, 部分地区周期性越冬冻害时有发生, 关中油菜基本可以安全越冬, 陕 南油菜一般不存在明显的安全越冬问题。

(3) 薹 期

薹 期是油菜早发稳长达到根强、秆壮、枝多, 为争取角多、粒多、粒重奠定基础的关键时期。各油菜主产区薹 期平均气温分别为: 渭北 4.6 ~ 8.4℃, 关中 6.4 ~ 8.4℃, 陕 南 6.7 ~ 8.9℃; 降水量分别为: 渭北 19 ~ 26mm, 关中 23 ~ 28mm, 陕 南 19 ~ 25mm。可见, 此期各地气温偏低, 且波动起伏较大, 降水偏少, 常发生冬春连旱, 油菜抽薹缓慢, 影响返青生长。部分地区倒春寒低温冻害天气时有发生, 对油菜现薹抽薹产生影响。

(4) 花 角 期

各油菜主产区的花期平均气温分别为: 渭北 11.0 ~ 15.1℃, 关中 12.6 ~ 15.0℃, 陕 南 12.9 ~ 14.5℃; 空气相对湿度分别为: 渭北 49% ~ 65%, 关中

64% ~ 70%, 陕 南 61% ~ 77%; 花期降雨日数分别为: 渭北 6.4 ~ 7.5d, 关中 7.7 ~ 8.6d, 陕 南 10.4 ~ 12.2d。渭北雨日偏少, 空气相对湿度小, 不利于油菜开花。关中开花期水热条件基本适宜。陕 南水热条件优越, 对油菜开花灌浆和产量形成十分有利。各油菜主产区的角果期平均气温分别为: 渭北 15.9 ~ 20.3℃, 关中 17.6 ~ 20.1℃, 陕 南 17.5 ~ 19.6℃; 空气相对湿度分别为: 渭北 55% ~ 65%, 关中 64% ~ 71%, 陕 南 65% ~ 76%。水热条件基本适宜, 利于油菜结角成熟。花角期(4 ~ 5月)日照时数分别为: 陕 北 376 ~ 482h, 关中 382 ~ 399h, 陕 南 305 ~ 343h, 除陕 南日照时数略感不足外, 其它地方日照充足, 有利于光合作用, 对油菜开花和角果形成、夺取高产十分有利。

2.1.3 气候变化对油菜生产的影响

统计陕西油菜主产区代表县气象站前 30a(1971 ~ 2000)和近 30a(1981 ~ 2010)两个时段油菜生长主要气候资源条件表明, 近 30a, 陕 西大部油菜主产区 1月日最低平均气温升高了 0.1 ~ 0.4℃, 薹 期平均气温升高了 0.2 ~ 0.6℃, 生育期平均气温升高了 1.8 ~ 2.0℃, 生育期 ≥ 0℃ 积温增加了 54 ~ 125℃ · d, 近 30a 各地油菜生长的热量较前 30a 均有不同程度的增加; 生育期 9月 ~ 翌年 5月降水量减少了 9.6 ~ 25.9mm, 水分略有减少, 气候呈现暖干化特征(表 1)。热量增加有利于油菜的生长, 越冬期可能出现的冻害有所减少; 水分的减少主要出现在 4、5 和 10 月, 关中灌区降水量减少明显, 对油菜的生长产生一定影响。

表 1 陕 西油菜主产区代表县前后 30a 油菜生长气候条件比较  
Table 1 Comparison of climate factors during growth period of oilseed rape in Shaanxi between the two time intervals

站点 Station	x <sub>1</sub> (℃)		x <sub>2</sub> (℃)		x <sub>3</sub> (℃)		x <sub>4</sub> (℃ · d)		x <sub>5</sub> (mm)	
	1971 - 2000	1981 - 2010	1971 - 2000	1981 - 2010	1971 - 2000	1981 - 2010	1971 - 2000	1981 - 2010	1971 - 2000	1981 - 2010
耀州 Yaozhou	-5.3	-4.9	6.8	7.4	7.1	8.9	2377	2475	283.9	274.3
澄城 Chengcheng	-6.6	-6.3	6.6	7.2	6.8	8.6	2349	2438	254.8	253.9
陈仓 Chencang	-4.2	-3.9	7.1	7.7	7.5	9.3	2431	2556	350.7	329.5
扶风 Fufeng	-5.3	-5.1	6.7	7.3	7.1	8.9	2364	2475	324.4	298.5
临潼 Lintong	-4.5	-4.4	7.9	8.4	7.9	9.8	2594	2685	344.9	335.3
蓝田 Lantian	-5.4	-5.5	7.3	7.5	7.4	9.1	2470	2530	404.1	382.2
汉台 Hantai	-0.6	-0.2	7.6	8.1	9.3	11.3	2969	3084	454.6	440.4
汉阴 Hanyin	-0.4	-0.3	8.1	8.4	9.9	11.7	3143	3197	474.9	462.0
商南 Shangnan	-2.6	-2.6	6.3	6.7	8.7	10.5	2778	2834	415.2	415.1

注: x<sub>1</sub> 为 1 月日最低平均气温; x<sub>2</sub> 为薹 期平均气温; x<sub>3</sub> 为生育期(9月 ~ 翌年 5月)平均气温; x<sub>4</sub> 为生育期 ≥ 0℃ 积温; x<sub>5</sub> 为生育期降水量。下同。  
Note: x<sub>1</sub> is daily minimum air temperature in January; x<sub>2</sub> is air temperature at stem elongation period; x<sub>3</sub> is air temperature at whole growth stage; x<sub>4</sub> is ≥ 0℃ accumulative temperature at whole growth; x<sub>5</sub> is precipitation at whole growth stage. The same as below.

2.1.4 影响油菜产量的关键气象因子分析

对 2005 – 2008 年陕西油菜产区各县不同年份油菜单产数据与相应年份油菜各生育期气象条件进行相关分析,其结果见表 2。由表可见,蕾薹期气温、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$  积温、生育期气温、最冷月(1 月)日最低平均气温、花期雨日、生育期降水量、薹花期降水量与油菜产

量间均呈显著正相关关系( $P < 0.05$ )。为进一步从影响油菜产量的诸多气象因子中找出影响最显著的因子,同时保证因子间的相互独立性,利用逐步回归方法,选取通过 0.05 水平显著性检验的 13 项因子与油菜单产进行逐步回归分析。

表 2 油菜产量与关键生育期气象因子的相关系数(R)

Table 2 Correlation coefficient(R) between yield and meteorological factors during the key growth stages of rape

气象要素 Meteorological factor	R	F 值 F-vuale
苗期气温 Air temperature at seeding stage	0.282	21.241 **
蕾薹期气温 Air temperature at stem elongation stage	0.359	36.253 **
花期气温 Air temperature at florescence	0.208	11.112 **
角果期气温 Air temperature at podding stage	0.247	15.971 **
生育期气温 Air temperature at whole growth stage	0.296	23.601 **
角果期日平均气温 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 日数 Days of $T\geq 25^{\circ}\text{C}$ at podding stage	0.098	2.371
角果期日平均气温 $\geq 21^{\circ}\text{C}$ 日数 Days of $T\geq 21^{\circ}\text{C}$ at podding stage	0.258	17.456 **
1 月气温 Air temperature in January	0.200	10.229 **
年极端最低气温 Annually extremely lowest temperature	0.241	15.054 **
1 月日最低平均气温 Mean daily minimum air temperature in January	0.286	21.752 **
生育期积温 Accumulative temperature at whole growth stage	0.322	28.257 **
9 – 11 月降水量 Precipitation from Sep. to Nov.	0.117	3.401
苗期降水量 Precipitation at seeding stage	0.107	2.813
蕾薹期降水量 Precipitation at stem elongation stage	0.042	0.434
薹花期降水量 Precipitation at stem elongation-florescence	0.144	5.159 *
生育期降水量 Precipitation at whole growth stage	0.144	5.170 *
花期雨日 Rainy days at florescence	0.231	13.841 **
角果期雨日 Rainy days at podding stage	0.019	0.092

注: \*、\*\* 分别表示通过 0.05、0.01 水平的显著性检验。 Note: \* is  $P < 0.05$ , \*\* is  $P < 0.01$ .

2.2 陕西油菜生产的气候区划指标

2.2.1 区划指标的选取

陕西油菜种植气候适宜性区划因子的选取主要考虑三个方面:一是油菜生长要求的基本气候条件,主要包括热量和水分;二是陕西油菜种植的限制性因子,主要是越冬条件和生育期降水量;三是各生育期对油菜产量影响较大的主要气象因子。根据陕西油菜气候适宜性和陕西油菜种植区气候特点,参考全国油菜种植气候区划指标<sup>[16]</sup>,结合影响油菜产量的关键气象因子分析结果,选取 1 月日最低平均气温、蕾薹期平均气温、生育期平均气温、生育期 $\geq 0^{\circ}\text{C}$  积温和生育期降水量共 5 个指标,作为陕西油菜气候适宜性区划指标(表 3)。

2.2.2 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,利用模糊集的隶属函数计算单项指

表 3 陕西油菜种植气候适宜性区划指标  
Table 3 The climatic regionalization indices of oilseed rape in Shaanxi

	$x_1(^{\circ}\text{C})$	$x_2(^{\circ}\text{C})$	$x_3(^{\circ}\text{C})$	$x_4(^{\circ}\text{C} \cdot \text{d})$	$x_5(\text{mm})$
指标值 Value	$\geq -3.4$	$\geq 7.6$	$\geq 9.7$	$\geq 2600$	$\geq 410$

标的评判值<sup>[18]</sup>,以模糊评判值进行分区,据此建立的各区划因子适宜性隶属函数分别为

$$\mu(x_1) = \begin{cases} 1 & x_1 \geq -3.4 \\ \frac{x_1 + 13.5}{10.1} & -13.5 < x_1 < -3.4 \\ 0 & x_1 \leq -13.5 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu(x_2) = \begin{cases} 1 & x_2 \geq 7.6 \\ \frac{x_2 - 2.8}{4.8} & 2.8 < x_2 < 7.6 \\ 0 & x_2 \leq 2.8 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu(x_3)=\begin{cases}1 & x_3\geqslant 9.7 \\ \frac{x_3-3.9}{5.8} & 3.9 < x_3 < 9.7 \\ 0 & x_3\leqslant 3.9\end{cases}\quad (3)$$

$$\mu(x_4)=\begin{cases}1 & x_4\geqslant 2600 \\ \frac{x_4-1700}{900} & 1700 < x_4 < 2600 \\ 0 & x_4\leqslant 1700\end{cases}\quad (4)$$

$$\mu(x_5)=\begin{cases}1 & x_5\geqslant 410 \\ \frac{x_5-190}{220} & 190 < x_5 < 410 \\ 0 & x_5\leqslant 190\end{cases}\quad (5)$$

式中,  $x_1$  为 1 月日最低平均气温(℃),  $x_2$  为蕾薹

期平均气温(℃),  $x_3$  为生育期平均气温(℃),  $x_4$  为生育期 $\geqslant 0^{\circ}\text{C}$  积温(℃·d),  $x_5$  为生育期降水量(mm)。

2.2.3 区划指标的空间化处理

在 DEM 数据支持下, 将区划指标与气象站的经度、纬度和海拔高度进行相关分析和回归分析, 分区域分别建立 1 月日最低平均气温、蕾薹期平均气温、生育期平均气温、生育期 $\geqslant 0^{\circ}\text{C}$  积温和生育期降水量的 GIS 小网格推算模型(表 4), 实现各区划指标的空间插值处理, 对误差再利用 IDW 法进行插值后, 修正其插值结果<sup>[19-21]</sup>。为了检验上述各要素空间插值效果, 对研究区站点进行了交叉验证, 插值结果较理想。

表 4 区划指标的小网格推算模型  
Table 4 Small grids reckoning models of regionalization indices

区域 Region	推算模型 Reckoning model	R
秦岭以北	$x_1 = 74.77 - 0.155\lambda - 1.744\varphi - 0.0047h$	0.957 *
秦岭以南, 汉江以北	$x_1 = 132.87 - 0.29\lambda - 3.06\varphi - 0.0033h$	0.956 *
汉江以南	$x_1 = 47.07 - 0.17\lambda - 0.845\varphi - 0.0026h$	0.733 *
秦岭以北	$x_2 = 26.35 - 0.0086\lambda - 0.442\varphi - 0.0046h$	0.974 *
秦岭以南, 汉江以北	$x_2 = 103.57 - 0.396\lambda - 1.546\varphi - 0.003h$	0.939 *
汉江以南	$x_2 = 21.03 - 0.062\lambda - 0.152\varphi - 0.0031h$	0.848 *
秦岭以北	$x_3 = 23.97 + 0.102\lambda - 0.689\varphi - 0.0041h$	0.951 *
秦岭以南, 汉江以北	$x_3 = 79.62 - 0.159\lambda - 1.498\varphi - 0.0033h$	0.913 *
汉江以南	$x_3 = 37.46 - 0.125\lambda - 0.336\varphi - 0.0038h$	0.828 *
秦岭以北	$x_4 = 5283.4 - 9.65\lambda - 33.236\varphi - 1.0096h$	0.963 *
秦岭以南, 汉江以北	$x_4 = 23859.90 - 34.03\lambda - 504.61\varphi - 0.813h$	0.965 *
汉江以南	$x_4 = 2200.8 + 7.83\lambda + 12.75\varphi - 0.852h$	0.864 *
陕北、关中	$x_5 = 1132.2 + 7.76\lambda - 48.57\varphi - 0.025h$	0.918 *
秦岭以南, 汉江以北	$x_5 = -827.38 + 24.74\lambda - 44.03\varphi + 0.03h$	0.873 *
巴山	$x_5 = -1146 + 6.25\lambda - 26.42\varphi + 0.197h$	0.931 *

注:  $\lambda$ 、 $\varphi$ 、 $h$  分别表示经度、纬度和海拔高度(m)。 Note:  $\lambda$ 、 $\varphi$  and  $h$  is longitude, latitude and altitude(m), respectively.

2.2.4 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, 建立单因子评价栅格图层。依据各因子对陕西油菜产量和品质的影响程度及各要素空间分布的峰度系数, 结合实地调查确定各指标因子的权重集为:  $\alpha = \{ 0.18, 0.12, 0.20, 0.28, 0.22 \}$ 。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, 得到陕西油菜气候适宜性综合评价栅格图。综合评判值为

$$P = \sum_{i=1}^5 \alpha_i \mu(x_i) \quad (6)$$

式中,  $P$  为综合评判值,  $\mu(x_i)$  为第  $i$  个指标气候隶属度,  $i = 1, 2, \dots, 5$ ,  $\alpha_i$  为相应指标权重,  $0 < \alpha_i < 1$ ,  $\sum \alpha_i = 1$ 。计算后的  $P$  值在  $0 \sim 1$ , 用来评价陕西油菜生长气候综合条件的优劣。

综合评价值以满足油菜适宜生长的界限为依据, 结合陕西油菜分布状况实地调查, 确定  $P \geqslant 0.85$ 、 $0.69 \sim 0.85$ 、 $0.45 \sim 0.69$ 、 $< 0.45$  依次为最适宜、适宜、次适宜、不适宜 4 个等级, 据此制作陕西油菜气候适宜性区划图, 见图 1。

2.3 区划结果分析

2.3.1 最适宜区

图 1 中 I 区为最适宜区, 该区域综合评判值  $P \geqslant 0.85$ 。其中 I A 区为陕南川道、平坝最适区。本区包

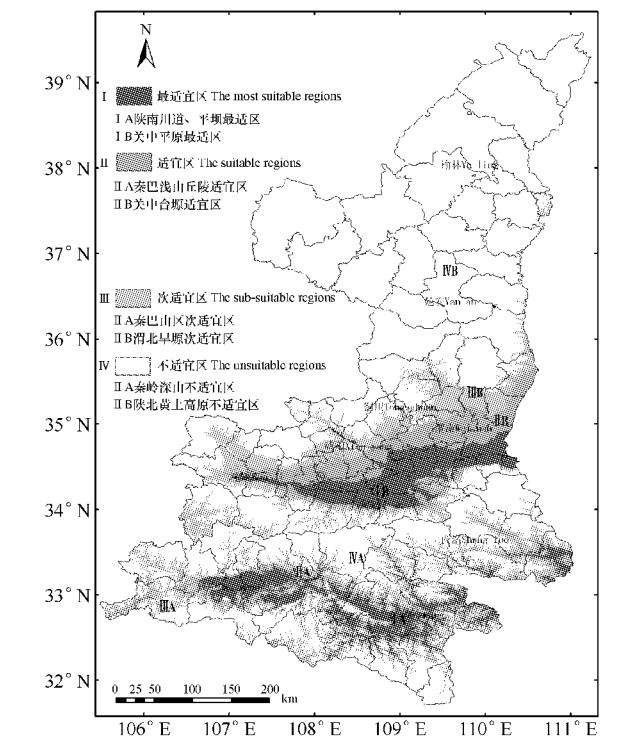


图 1 陕西油菜气候适宜性区划图

Fig. 1 Climate suitability regionalization of oilseed rape in Shaanxi province

括汉江及其支流沿岸海拔 600m 以下川道、平坝区。可分为东部和西部两大区域。西部地区包括宁强沿嘉陵江的河谷,勉县、汉台、城固、洋县、南郑 5 县(区)境内的汉中盆地,西乡汉江、牧马河等流域的西乡盆地。东部地区包括石泉、汉阴、汉滨 3 县(区)境内月河、恒河流域平原、川道及凤凰山以南的汉江河谷,紫阳任河、岚皋大道河、岚河,平利黄洋河、坝河流域的河谷、川道,旬阳、镇安境内的旬河河谷,白河境内汉江及其支流冷水河、白石河流域的川道、河谷,商洛金钱河流域、丹凤、商南境内莽岭与新开岭之间丹江流域的河谷、平原。该区域海拔 175 ~ 600m,油菜生育期平均气温 10.6 ~ 13.5℃,生育期 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 2900 ~ 3542℃·d,1 月日最低平均气温 -2.6 ~ 1.2℃,薹期平均气温 6.9 ~ 9.6℃,生育期降水量 400 ~ 590mm。此区水热条件优越,大部以移栽油菜为主,是油菜生长最佳区域。

Ⅰ B 区为关中平原最适区。本区包括渭河及其支流沿岸海拔 700m 以下的川道、平原区。北部以渭北一道塬边为界,西起宝鸡峡水库、东至大荔渭河阶地,南部以秦岭海拔 600m 以下山前阶地为南界。该区域海拔 300 ~ 600m,油菜生育期平均气温 8.9 ~ 10.2℃,生育期 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 2600 ~ 2900℃·d,1 月日

最低平均气温 -4.9 ~ -2.9℃,薹期平均气温 7.1 ~ 9.0℃,生育期降水量 300 ~ 460mm。本区油菜多数年份能安全越冬,土壤肥沃,灌溉条件好,以直播油菜为主,油菜单产仅次于陕南。

2.3.2 适宜区

图 1 中Ⅱ区为适宜区,该区域综合评判值  $0.69 < P < 0.85$ 。其中Ⅱ A 区为秦巴浅山丘陵适宜区。主要分布在秦岭北麓海拔 850m 以下的河谷、浅山丘陵区,秦岭南麓、巴山北麓的浅山丘陵地带,主要包括汉中盆地,西乡盆地,月河、恒河盆地,及安康盆地最适区周边海拔 750m 以下的浅山丘陵区,以及商南川道最适区周边海拔 700m 以下的浅山丘陵地带。该区域海拔 600 ~ 750m,油菜生育期平均气温 8.9 ~ 10.8℃,生育期 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 2600 ~ 3000℃·d,1 月日最低平均气温 -3.9 ~ 0.3℃,薹期平均气温 7.1 ~ 9.6℃,生育期降水量 390 ~ 560mm。本区气候差异显著,雨量充沛,个别地区存在越冬冻害,薹期气温偏低,且山多,地薄,质地差,水土流失严重。本区如能加强水土保持,商洛地区重视油菜生产,改善耕作,抓好以施肥为主的春季及中后期管理<sup>[22]</sup>,总体上气象条件有利于油菜生长。

Ⅱ B 区为关中台塬适宜区。主要分布在渭河北岸最适区以北海拔 800m 以下的旱塬区,南起渭北塬区,北至北山 800m 以下地区。该区海拔 350 ~ 780m,油菜生育期平均气温 8.1 ~ 10.3℃,生育期 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 2300 ~ 2780℃·d,1 月日最低平均气温 -4.1 ~ -6.3℃,薹期平均气温 6.8 ~ 9.9℃,生育期降水量 250 ~ 320mm。渭北西部旱塬气温适宜,降水充足,但个别地区冬季油菜越冬冻害时有发生,东部旱塬热量条件优于西部,冻害较轻,但降水量略显不足。本区大部薹期气温偏低,降水条件尚可,加之大部灌溉条件优越,土质好,蓄水保肥能力强,如能加强越冬和春季管理,总体上气象条件适宜油菜生长。

2.3.3 次适宜区

图 1 中Ⅲ区为次适宜区,该区域综合评判值  $0.45 < P < 0.69$ 。其中Ⅲ A 区为秦巴山区次适宜区。主要分布在汉中、安康、商洛适宜区周边海拔 1150m 以下的秦巴浅山区,秦岭北麓海拔 1000m 以下浅山区,以及宁强县青木川镇一大安镇的河谷地带,凤县嘉陵江和褒河两岸海拔 1200m 以下区域。该区域海拔 750 ~ 1150m,油菜生育期平均气温 7.1 ~ 8.9℃,生育期 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 1800 ~ 3542℃·d,1 月日最低平均气温 -6.5 ~ -3.9℃,薹期平均气温 5.5 ~ 7.2℃,生育期降水量 320 ~ 630mm。该区水热条件基本能满足

油菜生长,但海拔较高,土薄、地瘠,越冬冻害时有发生,为油菜种植次适宜区。

ⅢB 区为渭北旱塬次适宜区。主要分布在渭河北岸适宜区以北海拔 1000m 以下的旱塬区。该区域海拔 650~1100m,油菜生育期平均气温  $6.1\sim 8.6^{\circ}\text{C}$ ,生育期  $\geq 0^{\circ}\text{C}$  积温  $2000\sim 2410^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,1 月日最低平均气温  $-9.1\sim -5.2^{\circ}\text{C}$ ,蕾薹期平均气温  $5.2\sim 7.3^{\circ}\text{C}$ ,生育期降水量 230~310mm。本区域西部地区越冬冻害时有发生,东部地区热量和水分资源处于油菜生长的下限,加之该地区地下水埋藏深,灌溉设施不足,缺水少雨和越冬冻害问题突出,油菜种植气象风险大。因此东部地区可在引黄灌溉区适当发展优质甘蓝型油菜<sup>[23]</sup>;西部地区如能加强适期早播、培育壮苗、中耕培土、适时冬灌等越冬管理,选择半冬性中迟熟抗冻性较强的品种<sup>[24]</sup>,利用背风有利地形小气候条件,油菜也能勉强正常生长。

#### 2.3.4 不适宜区

Ⅳ区为不适宜区,该区域综合评判值  $P\leq 0.45$ 。其中ⅣA 区为秦岭深山不适宜区。该区域大部位于秦岭和巴山海拔 1200m 以上的深山区,是以林牧为主的非农业区,气温低,积温小、油菜冻害严重,不适宜油菜种植。ⅣB 区为陕北黄土高原不适宜区。该区域主要位于渭北次适宜区北界以北的黄土高原地区。本区梁卯起伏,沟壑纵横,不同地形气候差异大。总的来说,该地区水热条件差,油菜生育期降水不足,1 月气温低,越冬死苗严重,无法满足油菜生长需要。

### 3 结论与讨论

(1)通过综合分析油菜生长的气候适宜性、陕西油菜种植气候特点,以及近年来陕西油菜产区各县不同年份油菜产量与相应年份油菜各个生育期气象条件相关性,研究发现越冬冻害、生育期降水和蕾薹期气温是影响陕西油菜生产和产量形成的关键气候因子,据此建立的陕西油菜气候适宜性区划指标体系,较 20 世纪 80 年代油菜气候区划指标<sup>[2]</sup>更客观合理。

(2)本次区划,考虑到经度、纬度、海拔等地理因子对气候因子的影响,分区域建立各区划指标的小网格推算模式,应用 GIS 技术,推算出陕西无测站区域  $100\text{m}\times 100\text{m}$  网格点上的区划指标的气候要素值,采用综合评判的方法得到陕西油菜生态气候适宜性精细化区划图。区划结果由以往基于行政单元<sup>[2]</sup>发展为基于相对均质的自然地理网格单元,大大提高了区划结果的空间分辨率和精细化程度。

(3)区划结果显示,陕西油菜种植气候最适宜区主要分布在陕南汉江及其支流沿岸海拔 600m 以下川

道、平坝地区,以及关中渭河及其支流沿岸海拔 700m 以下的平原地区;适宜区主要分布在秦岭北麓海拔 850m 以下的河谷、浅山丘陵区,秦岭南麓、巴山北麓海拔 750m 以下的浅山丘陵地带,以及渭河北岸最适区以北海拔 800m 以下的台塬地区,这与陕西省油菜种植现状基本一致<sup>[14,23]</sup>。

(4)陕西油菜生产与国内油菜主产区相比,优质油菜品种种植面积偏小、种植较分散,产业化程度较低<sup>[25]</sup>。陕南川道、平坝最适区,是陕西油菜生长最佳区域,应充分利用当地水热气候资源优势,培肥地力,提高栽培技术水平,加快优质油菜产业化生产步伐;关中平原最适区,土地肥沃,灌溉条件好,冬季无严寒,应大力推广优质油菜品种集中连片种植,推广优质高产栽培技术,主攻单产,增加效益;秦巴浅山丘陵适宜区雨量充沛,个别地区存在越冬冻害,但山多,地薄,质地差,水土流失严重,如能加强水土保持,改善耕作,抓好以施肥为主的春季及中后期管理,基本能满足油菜正常生长需要;关中台塬适宜区,大部降水条件尚可,加之灌溉条件优越,土质好,蓄水保肥能力强,如能加强越冬和春季管理,总体上气象条件适宜油菜生长;秦巴山区次适宜区,水热条件尚好,但海拔较高,土薄、地瘠,杂交油菜越冬冻害时有发生,为油菜种植次适宜区;渭北旱塬发展油菜生产,热量和水分资源均处于油菜生长下限水平,东部地区可在引黄灌溉区适当发展优质甘蓝型油菜;西部地区应加强越冬管理,选择半冬性中迟熟抗冻性较强的品种,利用背风有利地形小气候条件,油菜也能勉强正常生长。

(5)油菜的生长受各种自然环境因子的共同影响,其中气候条件起主导作用。本区划仅考虑了气候因子的影响,对土壤、土地利用类型等因素未加考虑,今后待进一步修改、完善,使其更具生产指导价值。

#### 参考文献:

- [1] 陕西省统计局,国家统计局陕西调查总队. 陕西省统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2010:241-246.
- [2] 陕西省气象局区划办公室. 陕西省农业气候资源区划[M]. 西安:西安地图出版社,1988:118-126.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [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]张惠玲,邓振镛,尹宪志,等. 甘肃省油菜生态气候适应性分析与适生种植区划[J]. 中国农业气象,2004,25(4): 51-55.
- [11]黄淑娥,祝必琴,辜晓青,等. 鄱阳湖地区油菜生产气象条件分析与种植气候区划[J]. 江西农业大学学报,2009,31(5):945-949.
- [12]闵程程,马海龙,王新生,等. 基于 GIS 的湖北省油菜种植气候适宜性区划[J]. 中国农业气象,2010,31(4): 570-574.
- [13]景军胜,董振生,樊雅琴,等. 陕西油菜生产现状分析[J]. 西北农林科技大学学报,2004,32(4):13-18.
- [14]罗恒. 陕西省油菜生产现状与发展前景[J]. 陕西农业科学,2010,(2):114-116.
- [15]陕西省农业厅. 陕西省农业厅(2004-2010 年)关于陕西省秋播小麦、油菜品种区域布局指导意见[OL]. <http://www.sxny.gov.cn>.
- [16]韩湘玲,曲曼丽. 作物生态学[M]. 北京:气象出版社,1991:210-215.
- [17]陆凤祥,夏献峰,曹流俭,等. 油菜科学栽培[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,2010:4-15.
- [18]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.
- [19]封志明,杨艳昭,丁晓强,等. 气象要素空间插值方法优化[J]. 地理研究,2004,23(3):357-364.
- [20]杨昕,汤国安,邓凤东,等. 基于 DEM 的山区气温地形修正模型[J]. 地理科学,2007,27(4):525-530.
- [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]郑乃生,甘峰. 陕西油菜产区春季管理及中后期管理技术[J]. 陕西农业科学,2011,(6):263-264.
- [23]薛汉军. 油菜的冻害及防治措施[J]. 陕西农业科学,2011,(5):270-272.
- [24]周济铭,党占平,杨建利,等. 陕西双低杂交油菜配套栽培技术探讨[J]. 中国农学通报,2007,23(6):270-274.
- [25]张登辉. 对陕西优质油菜生产的思考与建议[J]. 陕西农业科学,2007,(1):96-99.