

气候变化对陕西省冬小麦种植布局的影响分析

郑小华¹, 屈振江², 鲁渊平¹, 杜莉丽¹, 康小玉³

(1. 陕西省气象局, 陕西 西安 710015; 2. 陕西省经济作物气象服务台, 陕西 西安 710015; 3. 鞍山市气象局, 辽宁 鞍山)

摘要: 利用陕西近35 a(1971—2005年)的气候资料和同期的冬小麦产量资料, 将对冬小麦生长有指标意义的越冬期 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 负积温、4—5月降水量、5月降水日数、冬前10—11月降水量等气候指标与产量进行统计分析, 建立冬小麦适宜气候资源指标体系。运用模糊综合评判方法和GIS系统的空间分析功能, 分别计算20世纪70年代、80年代、90年代以后三个时期冬小麦的气候可种植面积。计算结果表明: 随着全球气候变暖, 极端气候事件的增多, 冬小麦最适宜种植区面积在缩小; 但同时随着冬季气温的升高, 冬小麦一般适宜种植区的面积在扩大, 北移到定边、靖边、横山、子洲、米脂、佳县一线; 不适宜区的面积也在缩小。

关键词: 气候变化; 冬小麦; 种植布局; 陕西省

中图分类号: S162.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)03-0244-08

全球气候变化对人类生存环境的影响已受到国际社会的普遍关注^[1-4], 气候变化对农业和粮食生产的影响是国际社会关注的焦点之一。我国有12亿多人口, 农业资源承受着极强的压力, 在全球气候变化的条件下, 中国农业生态系统将受到严重的冲击^[4], 全球变暖可导致温度带向极地偏移, 引起农业地理分布格局的变化。探讨气候变化对农作物种植区域分布的影响, 适应这种变化, 趋利避害地采取对策调整生产布局, 保证食品安全, 对制定区域农业可持续发展战略和实施对策具有重要作用。据研究^[5], 气候变化将使我国未来农业生产面临三个突出问题: 一是农业生产的不稳定性, 产量波动大; 二是农业生产布局和结构将出现变动, 气候变暖将使我国作物种植制度发生较大的变化; 三是农业生产条件改变, 农业成本和投资大幅度增加。以往在气候变化对农业影响的研究中^[3, 6-14], 前人在气象因子对农业生态环境的影响、CO₂浓度增加对农作物生长的利弊、气候变化对农作物光合作用、生长发育、地理分布、种植制度、农业灾害的影响^[5, 15], 以及在水资源的供需状况、农业成本等方面作了大量的研究^[15-17], 刘耀武等^[18]在气候综合分析的基础上, 确定了冬小麦适宜种植区北移的气候区划因子和指标, 完成了陕西省冬小麦适宜种植区北移的气候区划及分区评述。曾英等^[19]探讨了陕西省气候变化特点, 计算了冬小麦越冬期积温变化。研究了陕西省热量资源和水资源对冬小麦种植区的影响。这些研究大多是从气候变化对农作物生理影响或大范围地理分布影响的角度分析的。但对不同年代随着气

候变化陕西省冬小麦气候可种植面积的变化并未做深入研究。本文应用地理信息系统(GIS)等技术手段, 通过计算不同年代陕西冬小麦气候可种植面积分析气候变化对冬小麦种植的影响, 为研究气候变化对小范围的农业生产影响提供新的分析方法。为陕西合理调整种植结构提供了技术支撑。

1 资料和方法

1.1 研究区域

陕西地处我国西北内陆黄土高原, 黄河中游, 东经105°29'~111°15', 北纬31°42'~39°35'之间。四周依次与晋、豫、鄂、川、甘、宁、内蒙等省区毗邻。全省南北长870 km, 东西宽200~500 km。土地面积20.6万km², 平原占14.5%, 山地占40%, 高原占38.2%, 沙地占7.3%。境内地形复杂, 气候差异大, 农业类型多。渭水、汉江与秦岭、巴山, 在关中、陕南形成了山川相间的东西向地形; 黄河、子午岭则在陕北黄土高原基面上, 各延东西省界上下延伸, 构成一个与前面迥然不同的南北向山川大势。由汉江河谷到关中平原、黄土高原、风沙滩地, 跨北亚热、暖温、中温三个气候带, 形成水田、灌溉田、旱地等不同农业类型区。

1.2 资料来源

气候资料为陕西省96个测站1971—2005年35 a的地面气象观测资料及同期冬小麦产量资料; 地理数据为国家地理信息中心1:25万地形资料, 包括行政边界、乡镇居民点、道路交通、水系、等高线等矢量信息以及空间分辨率为500 m×500 m的DEM数据。

收稿日期: 2012-01-22

基金项目: 陕西省气象局基金项目(2008K01-G19)

作者简介: 郑小华(1978—), 女, 陕西安康人, 高级工程师, 硕士, 研究方向为气候变化及农业气象。E-mail: zhx_qzj@126.com。

1.3 研究方法

模糊综合评价是通过构造等级模糊子集把反映被评事物的模糊指标进行量化,然后利用模糊变换原理综合各指标,此理论和方法在气候资源评价模型、污染综合评价中已经得到了充分应用和实践[20-23]。

2 结果与分析

2.1 冬小麦种植气候指标的确定

冬小麦是陕西省主要细粮作物。地域分布除长城沿线以种植春小麦为主外,其他地区冬小麦均有种植,分布最广的是关中和渭北旱原。冬小麦是一种喜温凉的作物,对热量要求比较低,耐寒性比较强。根据文献[24],认为越冬期≤0℃负积温、4~5月降水量、5月降水日数、冬前10~11月降水量,是影响小麦生长的主要四个气象指标,选取关中和渭北旱原38个气象代表台站逐日气象资料统计得出越冬期负积温、4~5月降水量、5月降水日数、冬前10~11月降水量及1971—2005年逐年冬小麦产量。本文用这四个因子作为冬小麦区划的主要气象指标,利用Spss统计软件对这四个因子和产量进行了线性曲线模拟,选取相关系数最大的作为拟合方程。2.1.1 越冬期负积温∑ti 负积温是反映越冬期温度的重要标志,也是冬、春小麦分界的重要指标之一,冬小麦安全越冬期负积温为-400℃,极端最低气温-18℃为适宜下线指标。陕西北部地区负积温绝对值都大于400℃,使冬小麦的种植面积受到限制。图1是陕北和关中40个县冬小麦越冬期负积温与产量相关散布图,由图可见小麦单产与负积温有密切关系,负积温(-800℃~0℃)越小产量越高。

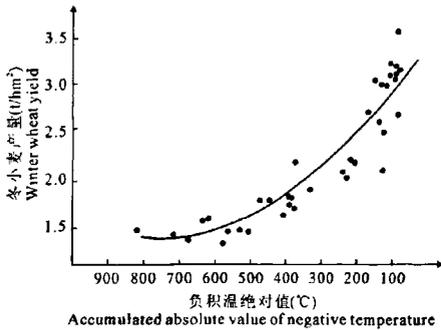


图1 负积温绝对值与冬小麦产量关系图

Fig.1 The relationship between winter wheat yield and accumulated absolute value of negative temperature

拟合方程为 $y = 75 + 8930.72e^{0.9137x}$ (1)

相关系数 $R = 0.9581(\alpha = 0.01)$,其中 x 为自变量代表负积温, y 为因变量代表小麦单产量。由图1可以看出产量随着负积温的增高而呈指数型增长。

2.1.2 10~11月降水量 R_{10-11} 冬小麦冬前降水量,又叫小麦底墒水。小麦播种期和分叶期雨水适宜与否,是确定全苗、早分蘖、多分蘖的关键,在生产实践中关中区也有早灌压茬水的习惯(即在分蘖开始期开始灌水)有利于使麦根与土壤结合,有利盘根避免冬季风蚀发生冻害,说明这时水分对小麦十分重要。图2是冬前降水量与小麦单产的相关散布图。

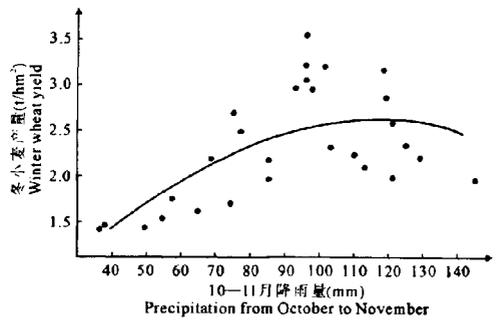


图2 10~11月降水量与冬小麦产量的关系图

Fig.2 The relationship between winter wheat yield and precipitation from October to November

拟合方程为

$y = -16.257 + 3.3043x - 0.0144x^2$ (2)

相关系数 $R = 0.6556(\alpha = 0.01)$,其中 x 为自变量代表10~11月降水量, y 为因变量代表小麦单产量,由图2可以看出产量随着降水呈二次曲线变化。

2.1.3 4月降水 R_4 4月正值陕北关中小麦拔节孕穗期,陕南处于抽穗扬花期,是“麦收八、十、三场雨”中的第三场雨,是麦茎秆迅速伸长、叶片增大、穗部器官形成的关键时期,需要大量的水分,天旱水分不足会减少有效穗数和粒数。农谚说:“麦怕三月旱”就是这个道理。陕西省4月气候特点是气温回升快,蒸发量大。除陕南多雨区外,降水往往不能满足小麦生长要求,供求矛盾比较突出。由图3可以看出有如下统计关系:4月雨量在40~70mm有利于高产,过多和过少都影响产量。

拟合方程为

$y = -34.6849 + 6.7659x - 0.0548x^2$ (3)

相关系数 $R = 0.6870(\alpha = 0.01)$,其中 x 为自变量代表4月降水量, y 为因变量代表冬小麦产量,由图3可以看出产量随降水呈二次曲线变化。

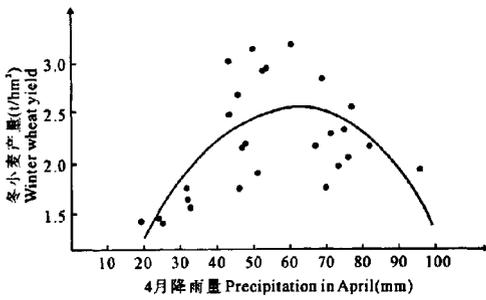


图 3 4 月降水量与冬小麦产量关系图

Fig.3 The relationship between winter wheat yield and precipitation in April

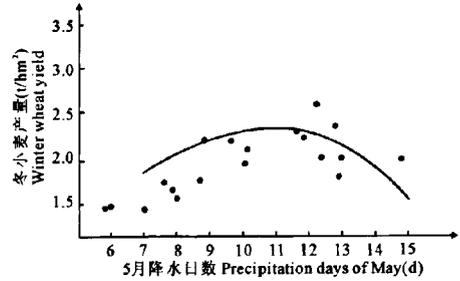


图 4 5 月降水日数与冬小麦产量关系图

Fig.4 The relationship between winter wheat yield and precipitation days of May

2.1.4 5 月降水日数 N_5 反映小麦扬花灌浆期对水分条件的要求,此阶段小麦要求有足够的水分和充沛的日照。5 月雨日 ($R \geq 0.01$) 少,易有干旱;雨日过多、特别是连阴雨会出现灌花现象,同时使麦田温度降低,寡照造成荫蔽,还造成小麦茎秆生长细弱,导致倒伏减产,有利病虫害发生。特别是关中西部,5 月中下旬灌浆速度最快。群众说“立夏十日旱”,“麦怕杏黄雨”。这时因小麦进入灌浆高峰期,骤然降雨引起降温妨碍了养分向籽粒输送,对产量影响很大。陕南 5 月正值小麦成熟收获期,雨水过多使小麦发芽霉烂造成减产。图 4 是 5 月雨日和小麦产量的相关散布图。拟合方程为:

$$y = -268.2308 + 82.8022x - 3.9255x^2 \quad (4)$$

相关系数 $R = 0.6551 (\alpha = 0.01)$, x 为自变量代表 5 月降水日数, y 为因变量代表小麦单产量,由图 4 可以看出产量随降水日数呈二次曲线变化。

由上述气候条件与冬小麦产量关系的统计分析,对应产量高值区,越冬期 $\leq 0^\circ\text{C}$ 负积温范围是 $-400^\circ\text{C} \leq \sum t_i \leq -50^\circ\text{C}$; 4~5 月降水量范围是 $30 \text{ mm} \leq R_4 \leq 92 \text{ mm}$; 5 月降水日数范围是 $7 \text{ d} \leq N_5 \leq 14 \text{ d}$; 冬前 10~11 月降水量范围是 $60 \text{ mm} \leq R_{10-11} \leq 130 \text{ mm}$ 。对应产量中值区越冬期 $\leq 0^\circ\text{C}$ 负积温范围是 $-500^\circ\text{C} < \sum t_i < -400^\circ\text{C}$, 或 $-50^\circ\text{C} < \sum t_i \leq 0^\circ\text{C}$; 4~5 月降水量范围是 $20 \text{ mm} \leq R_4 < 30 \text{ mm}$, 或 $92 \text{ mm} < R_4 \leq 100 \text{ mm}$; 5 月降水日数范围是 $6 \text{ d} \leq N_4 < 7 \text{ d}$, 或 $14 \text{ d} < N_4 \leq 15 \text{ d}$; 冬前 10~11 月降水量范围是 $40 \text{ mm} \leq R_{10-11} < 60 \text{ mm}$, 或 $130 \text{ mm} < R_{10-11} \leq 140 \text{ mm}$, 对应产量低值区越冬期 $\leq 0^\circ\text{C}$ 负积温范围是 $\sum t_i \leq -500^\circ\text{C}$; 4~5 月降水量范围是 $R_4 > 100 \text{ mm}$, 或 $R_4 < 20 \text{ mm}$ 。5 月降水日数范围是 $N_4 > 15 \text{ d}$, 或 $N_4 < 6 \text{ d}$; 冬前 10~11 月降水量范围是 $R_{10-11} > 140 \text{ mm}$, 或 $R_{10-11} < 40 \text{ mm}$, 另外参考相关文献,综合得出陕西冬小麦气候资源评价指标见表 1。

表 1 陕西冬小麦气候资源评价指标

Table 1 Weather resources index of winter wheat in Shaanxi Province

最適宜区 Most suitable area	一般適宜区 Suitable area	不適宜区 Unsuitable area
$-400^\circ\text{C} \leq \sum t_i \leq -50^\circ\text{C}$	$-500^\circ\text{C} < \sum t_i < -400^\circ\text{C}$, $-50^\circ\text{C} < \sum t_i \leq 0^\circ\text{C}$	$\sum t_i \leq -500^\circ\text{C}$
$60 \text{ mm} \leq R_{10-11} \leq 130 \text{ mm}$	$40 \text{ mm} \leq R_{10-11} < 60 \text{ mm}$, $130 \text{ mm} < R_{10-11} \leq 140 \text{ mm}$	$R_{10-11} > 140 \text{ mm}$, $R_{10-11} < 40 \text{ mm}$
$30 \text{ mm} \leq R_4 \leq 92 \text{ mm}$	$20 \text{ mm} \leq R_4 < 30 \text{ mm}$, $92 \text{ mm} < R_4 \leq 100 \text{ mm}$	$R_4 > 100 \text{ mm}$, $R_4 < 20 \text{ mm}$
$7 \text{ d} \leq N_5 \leq 14 \text{ d}$	$6 \text{ d} \leq N_4 < 7 \text{ d}$, $14 \text{ d} < N_4 \leq 15 \text{ d}$	$N_4 > 15 \text{ d}$, $N_4 < 6 \text{ d}$

2.2 气候因子空间模型及变化特征

气候可种植面积是指某个行政区域内,不考虑作物对土壤的要求,只能满足某种作物生长基本气候要求的空间范围。在丘陵山区,由于地形、特别是海拔高度造成的小气候差异很大,因此气候可种植面积可用 GIS 技术精确计算获得。

2.2.1 气候分区因子 在建立空间模型的时候,考虑陕西的特殊地形,陕西省南北跨度比较大,横贯东西的秦岭造成南北气候差异很大。所以以秦岭为界

将全省分成秦岭以南和秦岭以北分别建立模型,分别拟合,再合并。

陕西省总面积 20.6 万 km^2 , 仅分布 96 个气象台站, 每一个台站的观测资料相当于代表 2 145.7 km^2 的面积。显然,运用现有台站的观测资料很难真实地反映陕西省气候资源的空间多样性特征,也满足不了该地区冬小麦种植区农业气候分区深化和细化的要求。为了弥补信息量的不足,客观地描述该地区气象要素的实际分布情况,必须建立气象要素与

地理因子的关系模型,来推算出无测站地区的气候资源状况。区划因子(Y)与地理因子(海拔高度 H 、经度 λ 、纬度 φ)关系模型^[20]可表示为:

$$Y = a_0 + a_1\lambda + a_2\varphi + a_3h + \Delta T$$

式中, a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 为待定系数, ΔT 为残差值,即气候因子的计算值是实测值的误差。利用陕西省 96 个气象站的气象观测资料,统计得出 4 个区划因子

的具体数值,将各因子分别对应点的海拔高度、经度、纬度等地理因子进行相关分析,从中选择相关显著的地理因子与区划因子而后分别建立推算模型,从而得出各分区因子随地理因子的变化规律见表 2。由于资料时段基本上以 10 a 为一段,所以存在不稳定性,造成气候因子与地理因子相关不一致的情况。

表 2 气候分区因子空间模型
Table 2 Spatial model of climate division factors

推算因子 Calculating factor	气候分区因子空间模型 Spatial model of climate division factor			复相关系数 Multiple correlation coefficient	F	α
$\sum t_i$	秦岭以北 North of Qinling Mountains	70 年代 1970s	$Y = 2347.452 - 0.19\lambda + 12.442\varphi - 108.03h$	0.956	222.032	0.01
		80 年代 1980s	$Y = 3677.581 - 1.571\lambda - 100.582\varphi - 0.233h$	0.979	477.549	0.01
		90 年代后 After 1990s	$Y = 3522.728 - 4.564\lambda - 86.925\varphi - 0.194h$	0.974	391.151	0.01
	秦岭以南 South of Qinling Mountains	70 年代 1970s	$Y = 1723.322 - 9.238\lambda - 20.944\varphi - 0.093h$	0.897	33.007	0.01
		80 年代 1980s	$Y = 1596.772 - 8.897\lambda - 18.156\varphi - 0.086h$	0.867	24.253	0.01
		90 年代后 After 1990s	$Y = 1334.311 - 6.959\lambda - 16.83\varphi - 0.064h$	0.854	21.487	0.01
R_{10-11}	秦岭以北 North of Qinling Mountains	70 年代 1970s	$Y = 390.099 + 2.505\lambda - 16.952\varphi + 0.008h$	0.884	75.380	0.01
		80 年代 1980s	$Y = -70.438 + 6.892\lambda - 17.594\varphi + 0.008h$	0.946	178.578	0.01
		90 年代后 After 1990s	$Y = -16.372 + 5.63\lambda - 15.013\varphi - 0.001h$	0.901	91.035	0.01
	秦岭以南 South of Qinling Mountains	70 年代 1970s	$Y = 626.555 - 1.12\lambda - 11.703\varphi - 0.012h$	0.500	2.674	0.01
		80 年代 1980s	$Y = 151.586 + 9.554\lambda - 33.287\varphi + 0.032h$	0.832	17.976	0.01
		90 年代后 After 1990s	$Y = 1313.979 - 2.375\lambda - 28.719\varphi + 0.0056282h$	0.746	10.028	0.01
R_4	秦岭以北 North of Qinling Mountains	70 年代 1970s	$Y = 206.61 + 2.544\lambda - 12.741\varphi + 0.013h$	0.925	124.289	0.01
		80 年代 1980s	$Y = 346.554 - 0.464\lambda - 7.609\varphi + 0.007h$	0.908	98.427	0.01
		90 年代后 After 1990s	$Y = -16.664 + 2.284\lambda - 5.659\varphi + 0.003h$	0.875	68.304	0.01
	秦岭以南 South of Qinling Mountains	70 年代 1970s	$Y = 620.312 + 1.373\lambda - 21.455\varphi + 0.013h$	0.836	18.552	0.01
		80 年代 1980s	$Y = 796.446 - 0.12\lambda - 22.104\varphi + 0.009h$	0.905	36.259	0.01
		90 年代后 After 1990s	$Y = 444.165 + 1.477\lambda - 16.988\varphi + 0.017h$	0.864	23.648	0.01
N_5	秦岭以北 North of Qinling Mountains	70 年代 1970s	$Y = 71.447 - 0.17\lambda - 1.268\varphi + 0.001h$	0.962	258.703	0.01
		80 年代 1980s	$Y = 58.86 - 0.136\lambda - 1.017\varphi + 0.002h$	0.929	132.755	0.01
		90 年代后 After 1990s	$Y = 62.649 - 0.249\lambda - 0.798\varphi + 0.001h$	0.895	84.135	0.01
	秦岭以南 South of Qinling Mountains	70 年代 1970s	$Y = 124.187 - 0.122\lambda - 3.013\varphi + 0.00279h$	0.939	59.935	0.01
		80 年代 1980s	$Y = 98.694 - 0.374\lambda - 1.416\varphi + 0.002h$	0.825	17.004	0.01
		90 年代后 After 1990s	$Y = 117.364 - 0.17\lambda - 2.666\varphi + 0.003h$	0.892	31.024	0.01

注: λ 、 φ 、 h 分别表示经向坐标(m)、纬向坐标(m)和海拔高度(m)。

Note: λ 、 φ 、 h means meridional coordinates(m), latitudinal coordinates(m) and altitude(m), respectively.

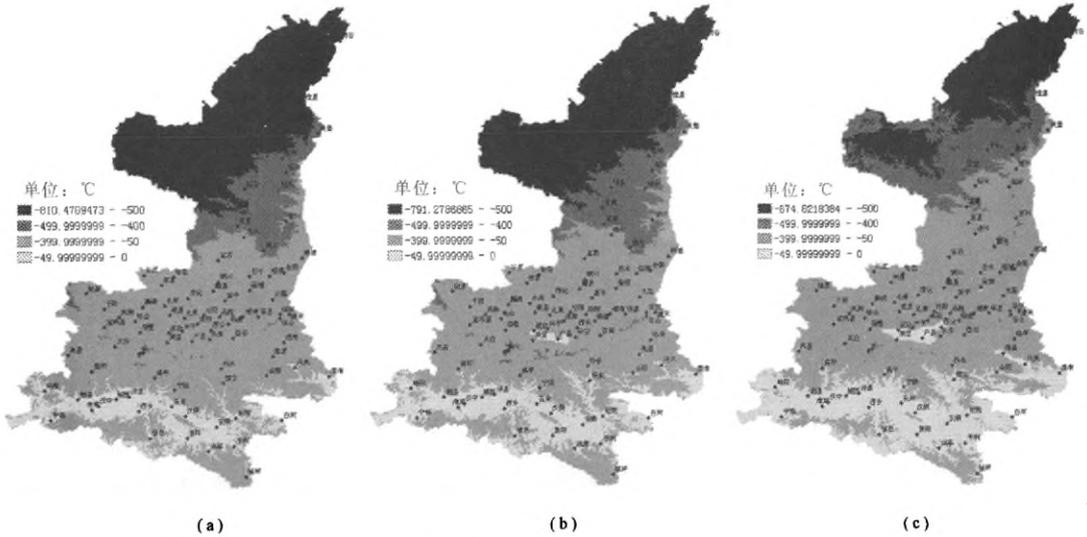
2.2.2 气候资源分布及变化特征 根据以上得到分区气候因子的空间模型,从 1:25 万陕西省基础地理信息数据中提取的高程、经度、纬度栅格数据图层,调入到 GIS 多图模型中,进行分区因子和地形高程、经度、纬度栅格图层的空间运算,求出陕西 500 m × 500 m 网格点上的各分区因子的数值,并将残差用反距离权重插值到所给 DEM 的格点上,最后将预测因子图和残差通过 GIS 空间分析模块进行叠加,得到各气候分区因子值实际分布状况。得到的

气候分区因子分布图,突破了以往气候因子分布图仅能描述水平变化的局限,能够直观地反映出分区因子随地理位置和海拔高度的立体变化特征。

由图 5 可看出,上世纪 70 年代小于 -500℃ 的北界线沿甘泉、安塞、子长、清涧、绥德、佳县一线,80 年代除甘泉外基本与 70 年代一致,90 年代北界明显北推,面积也明显缩小,基本位于吴堡、子丹、靖边、子洲、米脂佳县以北地区。小于 -400℃ 的北界线,70 年代位于洛川、黄龙、宜川、延长、延川一线,

80 年代与 70 年代基本相似,只是渭北西部略往北推,90 年代北界就明显北推,位于甘泉、延安、延长、延川、吴堡一线,基本接近于 70 年代小于 -500℃ 的

北界;同时负积温大于 -50℃ 的面积在扩大。这说明陕西省的冬季气温是变暖的,这会造成冬小麦种植北界向北推移,可种植面积增大。

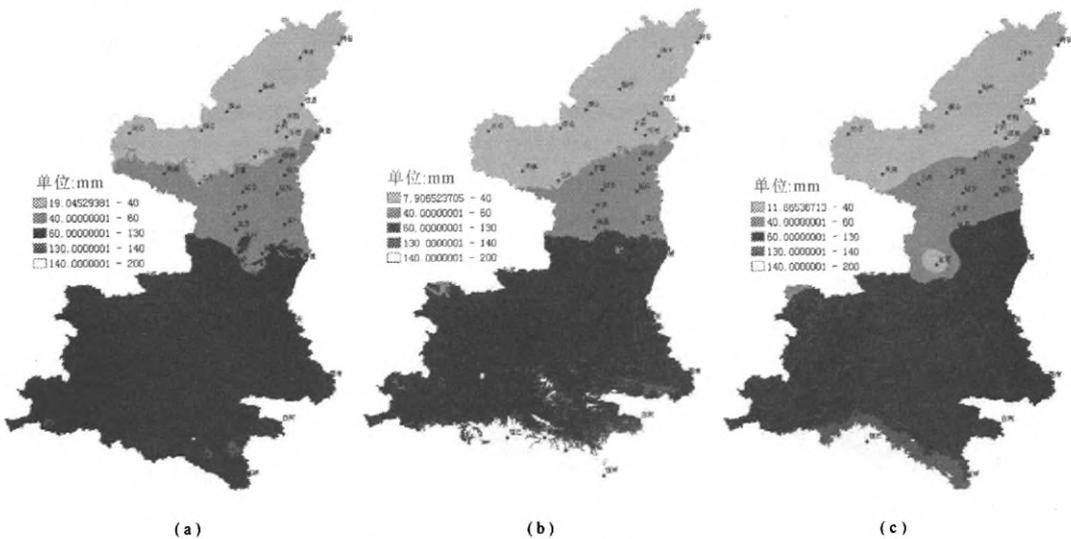


(a. 70 年代 1970s, b. 80 年代 1980s, c. 90 年代 1990s)
图 5 20 世纪 70~90 年代越冬期负积温分布图

Fig.5 The distribution of negative accumulated temperature during the over-wintering stage from 1970s ~ 1990s

由图 6 冬前降水量的空间分布来看,70~90 年代小于 40 mm 的北界基本分布一致,小于 60 mm 的北界有些变化,70 年代为宜君、白水、黄龙、韩城一线;80 年代较 70 年代略有北推到洛川、宜川一线,90 年代又南移到旬邑、铜川、洛川、宜川一线,即 90 年

代后渭北西部冬前越来越早,渭北东部冬前越来越湿。70 年代冬前降水大于 130 mm 的地区基本没有。到 80、90 年代大巴山北坡的镇巴、紫阳、岚皋、镇平等地降水开始大于 130 mm,即 80 年代后陕南东南部大巴山北坡冬前降水量有明显增加。

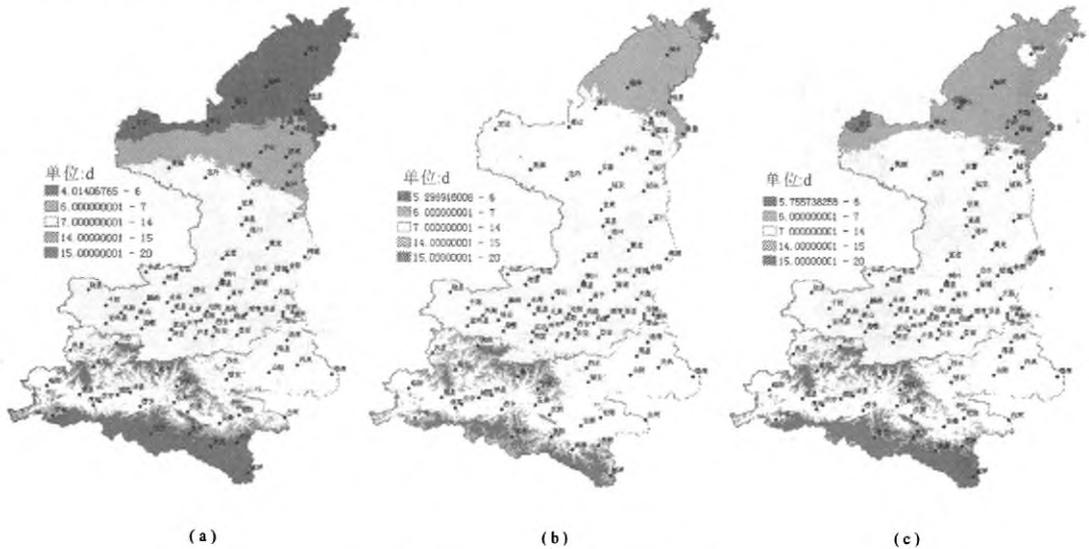


(a. 70 年代 1970s, b. 80 年代 1980s, c. 90 年代 1990s)
图 6 20 世纪 70~90 年代 10~11 月降水量

Fig.6 The distribution of precipitation during October ~ November from 1970s ~ 1990s

由图7可以看出,70~90年代5月降水日数小于6d的北界:70年代位于定边、靖边、子洲、吴堡一代,但是到了80~90年代基本找不到小于6d的地区。小于7d的北界70年代位于吴旗、志丹、安塞、延安、延长一线,80年代明显北推位于横山、子洲、绥德、米脂、吴堡一线,90年代有所南移,位于定边、

靖边、子长、清涧、延川一线。可见80年代后陕北大部分地区5月降水日数增多,90年代后雨日又开始减少,但相对70年代还是增多的。大于15d的地区是70年代与90年代基本一致。80年代有所缩小。



(a. 70年代 1970s, b. 80年代 1980s, c. 90年代 1990s)

图7 20世纪70~90年代5月降水日数

Fig.7 The precipitation days in May from 1970s~1990s

由图8可以看出70~90年代4月降水量小于20mm的北界,70年代位于定边、靖边、横山、子洲、绥德、佳县、吴堡一线,80年代有所南移位于吴旗、子长、清涧、延川一线,90年代就北推非常明显,区域位于定边、横山、榆林、神木、府谷以北小部分地区。小于30mm的地区北界,70年代位于吴旗、志丹、甘泉、延安、延长、宜川一线,80年代明显南移位于宜君、白水、澄城、合阳一线,90年代又北推到甘泉、延长一线。可见70年代和90年代4月降水量最适宜区最大,80年代最小。

3 分区指标的确定

3.1 指标模型及权重

设定隶属函数为线性关系,并综合冬小麦气候资源评价指标,确定各指标最适宜隶属函数值,建立冬小麦气候隶属函数为:

$$\mu(x_1) = \begin{cases} 1 & -400 \leq x_1 \leq -50 \\ \frac{x_1 + 500}{100}, \frac{0 - x_1}{50} & -500 < x_1 < -400, -50 < x_1 < 0 \\ 0 & x_1 \leq -500 \end{cases}$$

$$\mu(x_2) = \begin{cases} 1 & 60 \leq x_2 \leq 130 \\ \frac{x_2 - 40}{20}, \frac{140 - x_2}{10} & 40 < x_2 < 60, 130 < x_2 < 140 \\ 0 & x_2 < 40, x_2 > 140 \end{cases}$$

$$\mu(x_3) = \begin{cases} 1 & 30 \leq x_3 \leq 92 \\ \frac{x_3 - 20}{10}, \frac{140 - x_3}{10} & 20 < x_3 < 30, 92 < x_3 < 100 \\ 0 & x_3 < 20, x_3 > 100 \end{cases}$$

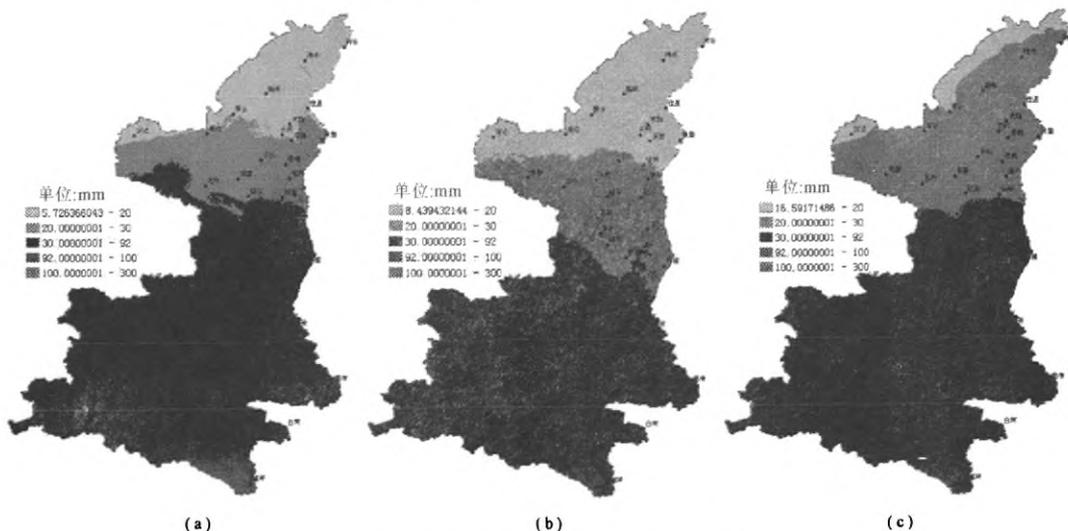
$$\mu(x_4) = \begin{cases} 1 & 7 \leq x_4 \leq 14 \\ \frac{x_4 - 6}{1}, \frac{0 - x_4}{50} & 6 < x_4 < 7, 14 < x_4 < 15 \\ 0 & x_4 < 6, x_4 > 15 \end{cases}$$

隶属函数模型中, x_1 : 越冬期 $\leq 0^\circ\text{C}$ 负积温;
 x_2 : 冬前10~11月降水量; x_3 : 4~5月降水量; x_4 : 5月降水日数。

综合有关研究和当地实际情况,四个评价因子的权重集为: $a = \{0.20, 0.35, 0.25, 0.2\}$, $\mu(x_i)$ 为第*i*因子气候隶属度, a_i 为相对应该因子的权重, $0 < a_i < 1$, $\sum a_i = 1$ 。运用模糊综合评判对其进行区划。利用GIS技术在DEM数据支持下,在分区指标海拔高度订正基础上,采用反距离权重法进行指标空

间化。根据要素隶属度,建立单因子评价栅格图层;利用GIS空间叠置功能,将各指标评价栅格图进行叠加,得到气候综合评价栅格图,对综合评价图按适宜度分级,即得到冬小麦种植气候适生区域。据分析

结果,确定综合评价值 $P \geq 0.85$, $0.85 < P \leq 0.60$, $P < 0.60$ 依次划分为最适宜区,一般适宜区,不适宜区三个等级。



(a. 70年代 1970s, b. 80年代 1980s, c. 90年代 1990s)

图8 20世纪70~90年代4月降水量

Fig.8 The precipitation in April from 1970s~1990s

3.2 不同年代气候可种植面积变化

按照以上分区的方法分别制作70、80、90年代的分区图(见图9),这样每个年代都有最适宜区、一般适宜区和不适宜区等3个气候区域。将每个气候

区的像元数换算成面积数(1个像元 = 25 hm²),分别统计不同年代不同气候适宜区的冬小麦气候可种植面积见表3。

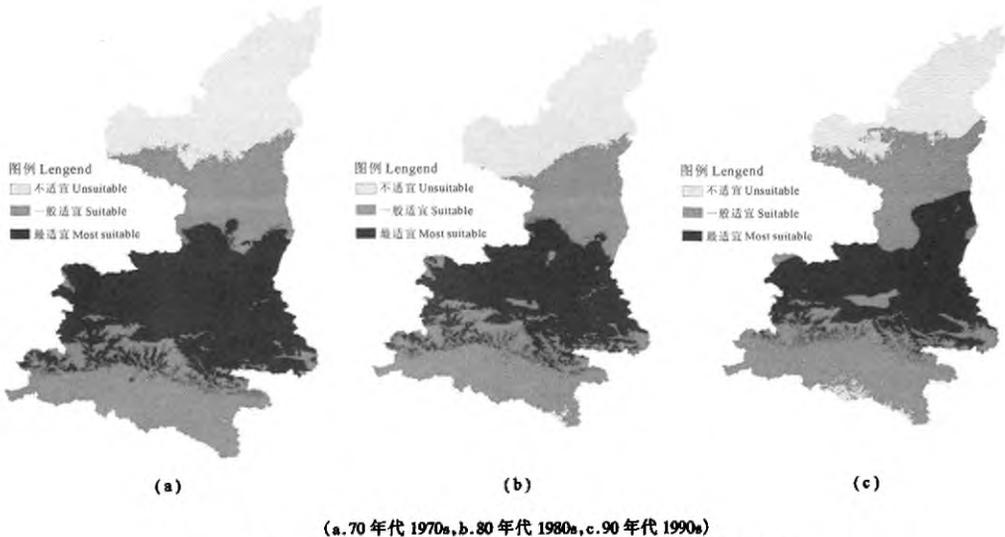
表3 20世纪不同年代陕西省冬小麦气候可种植面积(hm²)

Table 3 Climatic planting area of winter wheat in Shaanxi Province during the 20th century

分级 Grade	分区 Division	90年代 1990s	90年代 1990s	80年代 1980s	80年代 1980s	70年代 1970s	70年代 1970s
0		665.10		1903.30		27226.71	
1	不适宜区 Unsuitable area	8220.17	45251.62	19890.59	53367.79	5193.30	50160.96
2		18512.14		18869.09		12690.97	
3		17854.19		12704.80		5049.96	
4		12279.72		12272.19		11121.85	
5	一般适宜区 Suitable area	15395.60	92314.06	19832.79	85606.99	14715.39	79439.43
6		17902.73		12297.85		22648.94	
7		46735.99		41204.16		30953.24	
8	最适宜区 Most suitable area	68434.31	68434.31	67025.20	67025.20	76399.60	76399.60

由图9和表3可见,陕西省种植气候最适宜区70年代比较多,到80年代最适宜区面积明显减小,90年代跟80年代基本持平,但地理位置向北向东有所推移;一般适宜区面积扩大,不适宜区面积减

小。可见,70~90年代,由于全球气候变暖,极端气候事件增多导致陕西省冬小麦最适宜种植面积有所减少,但是由于冬季气温上升,使得冬小麦不适宜种植面积有明显缩小,一般适宜种植面积增大。



(a. 70年代 1970s, b. 80年代 1980s, c. 90年代 1990s)

图9 20世纪70-90年代陕西冬小麦气候可种植面积分布图

Fig.9 The distribution of climatic appriplanting area of winter wheat in Shaanxi from 1970s ~ 1990s

4 结论与讨论

本文运用统计分析的方法,确定了陕西省冬小麦气候资源评价指标,并应用模糊综合评判方法确定了冬小麦分区指标,在GIS系统下以数字高程模型(DEM)为数据基础,并运用GIS系统的空间分析功能,分别制作了20世纪70年代、80年代、90年代以后三个时期冬小麦的气候分区图,分析了气候变化对冬小麦布局影响,计算了不同年代冬小麦气候可种植面积。计算结果表明:随着气候变化极端气候事件的增多造成冬小麦最适宜种植区面积在缩小,由70年代的76 399.60 hm²,下降到80年代的67 025.20 hm²和90年代的68 434.31 hm²;但同时随着冬季气温的升高,冬小麦一般适宜种植区的面积在扩大,主要是种植区北扩:70年代北界位于吴旗、志丹、安塞、清涧、吴堡一线,90年代向北移后位于定边、靖边、横山、子洲、米脂、佳县一线;不适宜区的面积在缩小。这对研究其它作物受气候变化影响的种植布局变化研究有一定借鉴意义,为陕西合理调整种植结构提供了技术支撑。但本文并没有考虑土地利用及土壤性质情况,所以说计算结果仅是理论值。未来气候变化对农作物的影响及应当采取的措施还需进行深入研究。

参考文献:

[1] 叶笃正,陈泮勤.中国的全球变化预研究[M].北京:地震出版社,1992.
[2] 陈泮勤,孙成权.国际全球变化研究核心计划(一、二)[M].北

京:气象出版社,1994.

- [3] 孙成权.国际全球变化研究核心计划(三)[M].北京:气象出版社,1996.
[4] 肖国举,张强,王静.全球气候变化对农业生态系统的影响研究进展[J].应用生态学报,2007,18(8):1877-1885.
[5] 林而达,杨修.气候变化对农业的影响评价及适应对策[C]//全国政协人口资源环境委员会,中国气象局.气候变化与生态环境研讨会文集.北京:气象出版社,2003:72-77.
[6] 秦大河.气候变化对农业生态的影响[M].北京:气象出版社,2003.
[7] 王朔元,张强,王耀林,等.西北干旱区玉米对气候变暖的响应[J].植物学报,2004,46(12):1387-1392.
[8] 伏洋,张国胜,颜亮东.气候变化对青海省种植业的影响及适应对策[J].中国农业气象,2004,25(3):11-14.
[9] 宋艳玲,张强,董文杰.气候变化对新疆地区棉花生产的影响[J].中国农业气象,2004,25(3):15-20.
[10] 杨小利,尹东.近50年平凉地区气候变化及其对农业生产的影响[J].气象,2001,27(5):16-18.
[11] 薛翔,王涛,吴薇,等.中国北方农牧交错区沙漠化发展过程及其成因分析[J].中国沙漠,2005,25(3):320-328.
[12] 宋耀选,周茂先,张小由,等.额济纳绿洲主要植物的水势与环境因子的关系[J].中国沙漠,2005,25(4):496-499.
[13] 杜华明.气候变化对农业的影响研究进展[J].四川气象,2005,94(4):18-20.
[14] 杨尚英.气候变化对我国农业影响的研究进展[J].安徽农业科学,2006,34(2):303-304.
[15] 张厚德.中国种植制度对全球气候变化响应的有关问题I.气候变化对我国种植制度的影响[J].中国农业气象,2000,21(1):9-13.
[17] 孙芳,杨修.农业气候变化脆弱性评估研究进展[J].中国农业气象,2005,26(3):170-173.

(下转第256页)

Research on drought assessment index of summer maize base on precipitation anomaly

LI Shu-yan^{1,2}, LIU Rong-hua^{1,2}, MA Zhi-hong^{1,2}

(1. He'nan Institute of Meteorological Sciences, Zhengzhou, He'nan 450003, China;

2. Key Laboratory of Agro-meteorological Safeguard and Applied Technique, CMA, Zhengzhou, He'nan 450003, China)

Abstract: The drought assessment index of summer maize was determined based on the relationship between precipitation and yield. Firstly, the history data series of yield were processed, trend yield was fitted using cubic polynomial, and the relative meteorological yield was detached; and then the relationship between precipitation anomaly in different growing phase and relative meteorological yield was analyzed. The result showed that precipitation anomaly from emergence to teaseling stage had significant positive correlation with relative meteorological yield. The regression equation was established through statistic analysis. The drought assessment index of summer maize in different grade was determined combined with division standard of agricultural drought. The index was: when negative precipitation anomaly was < 20%, 20% ~ 50%, 50% ~ 80%, or > 80%, the drought grade was slight drought, middle drought, heavy drought and serious drought, and the yield reduction was < 10%, 10% ~ 20%, 20% ~ 30%, or > 30%.

Keywords: summer maize; trend yield; meteorological yield; drought index

(上接第 251 页)

- [18] 刘耀武,朱琳,郭兆夏,等.陕西省冬小麦北移气候分析和区划[J].陕西气象,2001,(4):24-26.
- [19] 曾英,黄祖英,张红娟.气候变化对陕西小麦种植区的影响[J].水土保持通报,2007,27(5):137-140.
- [20] 亚热带东部丘陵山区农业气候资源及其合理利用研究课题组.中国亚热带东部丘陵山区农业气候资源及合理利用研究[M].北京:科学出版社,1989.
- [21] 施能.气象科研与预报中的多元分析方法[M].北京:气象出版社,1995:58-100.
- [22] 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.
- [23] 郭兆夏,朱琳,叶殿秀,等. GIS在气候资源分析及农业气候区划中的应用[J].西北大学学报(自然科学版),2000,30(4):357-359.
- [24] 陕西省气象局区划办公室.陕西省农业气候区划[M].西安:西安地图出版社,1988.

Impact of climate change on planting distribution of winter wheat in Shaanxi Province

ZHENG Xiao-hua, QU Zhen-jiang, LU Yuan-ping

(1. Shaanxi Meteorological Bureau, Xi'an, Shaanxi 710015, China;

2. Shaanxi Meteorological Service Station for Economic Crops, Xi'an, Shaanxi 710015, China)

Abstract: The data of climate and winter wheat yield in Shaanxi Province in recent 35 years (1971—2005) were used to analyze the relationship between winter wheat yield and typical climatic factors such as temperature $\leq 0^{\circ}\text{C}$ during over-wintering stage, precipitation amount in April to May, precipitation days in May and precipitation amount in October to November so as to establish an index system of suitable climatic resources for winter wheat. And the suitable planting area of winter wheat in three periods of 1970s, 1980s and after 1990s was calculated by using fuzzy multiple estimation and spatial analysis function of the GIS system. The results show that the most suitable planting area of winter wheat is decreasing due to global warming and the increase of extreme weather events. However, the general suitable planting area is increasing and the unsuitable area is decreasing because of the increase of temperature in winter. The planting boundary of winter wheat in Shaanxi Province has been expanded northwards to the counties of Dingbian, Jingbian, Hengshan, Zizhou, Mizhi and Jiexian.

Keywords: climate change; winter wheat; planting distribution; Shaanxi Province