

# 甘肃临夏州双低油菜产量动态气候模型

孙玉莲<sup>1,2</sup>, 尹宪志<sup>2</sup>, 边学军<sup>2</sup>, 石登科<sup>2</sup>, 黄成秀<sup>2</sup>, 杨文凯<sup>2</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃兰州 730020; 2. 甘肃省临夏州气象局, 甘肃临夏 731100)

**摘要:** 采用数理统计和多元回归方法, 主要分析了临夏地区油菜气候生态条件以及气候条件对油菜产量及其构成因素的影响。发现影响该地区油菜生长发育的主要气候要素为降水、气温和日照; 根据临夏地区双低油菜不同生长阶段所需气候条件, 把双低油菜从春播到成熟, 划分为五个生育期, 建立了气候生态适生种植区划综合指标体系和各生育期时空动态气候预测模式, 实现双低油菜产量气象预测。

**关键词:** 临夏州, 气候条件; 油菜; 产量; 预测模式

**中图分类号:** S565.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)04-0184-06

临夏回族自治区位于甘肃省中南部, 地处青藏高原东北侧边坡区和黄土高原沟壑过渡区, 农业种植面积 16.7 万公顷。近年来, 随着经济发展、人民生活水平提高和农业结构调整, 油菜种植面积逐年扩大。1987 年油菜成为主产经济作物, 播种面积为 1.042 万公顷, 到 2009 年, 油菜成为主导经济作物, 种植面积上调到 1.9 万公顷。油菜受气候条件影响较大, 不同地区由于气候特点、播种季节以及油菜品种不同, 对油菜生产影响的关键生育期和关键气候因子也存在差异<sup>[1-5]</sup>。临夏地区地处典型的高寒阴湿地区, 是最适宜种植油菜的地区之一<sup>[1]</sup>。临夏州油菜播种期干旱少雨, 开花结荚期多雨寡照等都是影响油菜生产的关键气候因子, 是油菜产量波动的重要原因<sup>[6]</sup>。近年来, 临夏州各级政府也逐步加大了气候资源的利用和开发力度, 对种植结构进行了调整。为了适应种植结构的变化, 揭示油菜产量与气象条件的内在联系, 本文以农业气象学和农业气候学为指导, 选用主要品种双低油菜为研究对象, 采用历年双低油菜产量与气象资料进行平行对比分析, 结合生产调查和物候资料进行深入研究, 重点分析、研究影响油菜产量的关键生育期及主要气象因子, 提出了合理利用农业气候资源和防灾减灾的措施。建立了临夏州双低油菜各生育期时空动态气候预测模式。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

气象数据主要来自临夏州干旱区(永靖县)、半

干旱区(临夏市)、二阴气候区(和政县)1971—2008 年的各农业气象观测站实测资料。油菜产量资料由临夏州农业局提供, 为 1995—2008 年的当地油菜的实际产量, 参考 1995—2008 年油菜物候观测资料。

### 1.2 数据处理

在资料的分析处理中, 采用对比法和数理统计法。分析临夏地区油菜生长不同海拔高度、不同生育期所需温度、降水、日照等条件; 采用多元回归方法, 对临夏州油菜各生长季节进行相关分析, 把油菜各生育期进行划分, 通过相关分析找出与油菜产量相关性好的气象因子且通过显著性检验, 建立油菜各生育期产量与当地气象因子的多元回归方程。选用  $\geq 0^{\circ}\text{C}$  积温是考虑双低油菜生长适宜性和布局的必须热量指标; 选择  $\geq 5^{\circ}\text{C}$  积温, 它是决定双低油菜种植上限高度的重要指标; 选全生育期降水量, 是不能忽略水分条件对产量的影响。资料采集年代为 1971—2008 年, 计算年代为 1995—2008 年。

## 2 结果与分析

### 2.1 临夏州双低油菜各生育期的气候生态

双低油菜喜凉爽、耐湿润, 适宜于二阴气候区生长。临夏地处高原寒冷地带, 冷凉的气候特征十分有利于油菜的生长发育和油分的积累<sup>[7]</sup>, 高原高寒地区的光照、热量等气候条件特别适合油菜生长<sup>[8]</sup>。把双低油菜从春播到成熟, 划分为五个生育时期, 即春播发芽期、苗期、蕾薹期、开花期和角果成熟期<sup>[9]</sup>。不同生育期的生育特性以及对气象条件的要求有明

收稿日期: 2011-03-16

基金项目: 甘肃省自然科学基金项目(0803RJZA092)

作者简介: 孙玉莲(1967—), 女, 北京大兴人, 高级工程师, 主要从事应用气象、气候变化和农业气象研究。E-mail: bjey18199@163.com。

通信作者: 边学军(1968—), 甘肃临洮人, 工程师, 主要从事应用气象研究。

显差异(表1)。

表1 临夏地区1989—2008年双低油菜生育期气候生态  
Table 1 Ecological climate at double-low rape growth period in Linxia area from 1989—2008

生育期 Growth period	气候要素 Climatic factor	永靖古城 Yongjing gucheng	东乡锁南 Dongxiang suonan	积石山 吹麻滩 Jishishan chuimatan	临夏市 西川 Linxia xichuan	广河城关 Guanghe chengguan	和政城关 Hezheng chengguan	康乐附城 Kangle fucheng
春播期 Sowing stage	≥0℃的日期(M-d) Date of temperature ≥0℃	02-28	03-23	03-19	03-14	03-11	03-19	03-13
	≥5℃的日期(M-d) Date of temperature ≥5℃	03-21	04-24	04-16	04-05	04-11	04-14	04-09
	降水量(mm) Precipitation	4.9	19	27.5	12.1	9.8	19.5	10.7
	气温(℃) Air temperature	5.4	2.1	1.9	4	4.7	3.3	4.1
苗期 Seedling stage	降水量(mm) Precipitation	51.4	97.7	110.7	85.2	92.4	105.6	99.7
	气温(℃) Air temperature	15.7	10.3	11	12.8	12.5	11.1	12
花期 Blooming stage	降水量(mm) Precipitation	73.7	132.2	130	113.3	110.3	126.8	118.9
	气温(℃) Air temperature	20.6	15.5	16.2	17.6	17.8	16	17
	日照(h) Sunshine hours	322.8	306.9	268.9	304.3	336.7	318.5	301.3
角果成 熟期 Silique mature stage	降水量(mm) Precipitation	60.8	105.4	121.7	95.1	77.6	89.7	89.9
	气温(℃) Air temperature	21.7	16.8	17.5	19	18.6	17.4	18.6
	日照(h) Sunshine hours	163.9	154.1	143.3	153	167.5	160.8	151.8
全生 育期 Full growth period	降水量(mm) Precipitation	171	311	359.4	289.5	268.4	316	299.6
	≥0℃临界积温(℃) Critical accumulated temper- ature ≥0℃	2291.7	1524.3	1635.3	1857.4	1800	1623.9	1753.9
	≥5℃临界积温(℃) Critical accumulated temper- ature ≥5℃	2116.7	1413.5	1519.6	1735.9	1711.6	1487	1643.2
	日照 Sunshine hours	1167.1	967.1	871.5	1005.5	1123.1	1006.2	997.6

通过对1971—2008年实时观测资料统计分析,3月11—23日普遍解冻,积温≥0℃初日3月上旬为播前。播前表现特征为油菜出苗与气温、降水呈正相关,与日照时数呈负相关。对临夏州双低油菜各生育期资料的分析,发现临夏地区双低油菜对当地光、热、水资源的需求是不同的。通过多元回归方程计算和分析,以及多年油菜分期播种气候资源与产量可得到如下结论:

2.1.1 春播发芽期气候生态 双低油菜分为秋播和春播,临夏州主要以春播为主。双低油菜种子遇到适宜的条件就会发芽,根据多年油菜分期播种气候资源与产量计算,气温稳定通过0℃时播种产量最高;0℃~5℃时播种产量稳产几率大,变幅较小;5℃~10℃时播种产量变幅较大,稳产几率小;≥10.0℃时产量最低。计算结果表明,早播有利于营养生长期延长,低温发育充分,可以躲过花期高温和季节性干旱,有利于高产。由此确定,双低油菜最

适宜播种期为气温稳定通过0℃~5℃时段。

从临夏各地气候条件看,气温稳定通过0℃平均初日,永靖县古城为2月28日,其余各地为3月11—23日;气温稳定通过5℃平均初日,永靖县古城为3月21日,其余各地为4月5—24日。可以确定,以永靖古城为代表的种植海拔高度在1700m以下地方的最佳春播期为3月上中旬;1900~2500m种植区最佳播种期为3月中旬至4月中旬。临夏州播种期平均降水量为9.8~27.5mm,日平均气温为1.9℃~4.7℃。

2.1.2 苗期气候生态 出苗至现蕾期称为苗期。对于临夏而言,主要生长时段为4月下旬至5月下旬。苗期温度条件是决定苗期生长发育的关键因素,油菜幼苗期耐旱抗冻能力比较强,初期能抗-3℃左右低温,经过一定的低温锻炼,能抗-15℃的低温<sup>[10]</sup>。苗期要求适宜的气温为10.0℃~12.0℃,下限温度为5.0℃~6.0℃。

现蕾抽薹期适宜的气温为12.0℃~14.0℃。经过相关分析,临夏州油菜的产量与春季温度呈正相关。油菜苗期临夏州各地平均气温为10.3℃~12.2℃之间,降水量为51.4~110.7 mm之间,气候条件完全适宜于苗期生长发育。

2.1.3 花期气候生态 花期是营养生长与生殖生长同时进行的阶段,临夏州双低油菜花期生长主要在5月下旬至6月下旬。根据观测,花期对气温要求较高,花期最适宜温度为17.0℃~19.0℃,下限温度为14.0℃~15.0℃。花期温度过高容易使花期缩短,减弱和丧失花粉发芽率,不利于开花授粉,无效角果增加。适宜的温度可明显延长花期,授粉良好,花荚增多,提高结实率,易于增产。

从临夏多年气候资源看,北部永靖县5月下旬至6月下旬平均气温为18.9℃,受高温影响,不利于花期生长发育。州内其余大部分地方花期平均气温为13.5℃~15.6℃,降水量为87.1~110.9 mm,日照时数为286.2~324.4 h。通过以上分析说明,临夏大部地方花期温度适宜,降水适宜,日照充足,是双低油菜花期生长发育较理想的气候生态。

2.1.4 角果成熟期气候生态 临夏州双低油菜从终花到角果成熟期,主要生长时段为7月上旬至8月中旬。本期主要是角果发育、种子形成,体内营养物质向种子运输积累等营养生长为主,是争取籽粒饱满和提高含油率的关键期。经计算,角果成熟期与临夏州7月下旬日照、8月气温和降水呈正相关,但与8月 $\geq 0.1$  mm降水日数呈负相关。此期油菜对气象条件的要求是天晴、温适、水足。

角果成熟期的生物学最适宜温度为15.0℃~20.0℃,下限温度为12.0℃,田间土壤水分含量不低于60%为宜。在角果成熟期,临夏州平均气温为16.0℃~17.9℃,平均降水量为201.6~275.2 mm,日照时数为416.3~489.4 h。光、热、水资源适宜于角果生长和成熟。

## 2.2 临夏州双低油菜各生育期气象因子与时空序列

临夏州双低油菜各生育期对当地光、热、水资源的需求是不同的。下面列出了不同生育期油菜单产量与气象因子的相关关系表(表2)。

表2 临夏地区双低油菜各生育期气象相关因子与时空序列

Table 2 Meteorological factors and spacial-temporal sequence of double-low rape at different growth stages in Linxia area

生育期 Growth period	气象因子 Meteorological factor	相关系数 Correlation coefficient	生育期 Growth period	气象因子 Meteorological factor	相关系数 Correlation coefficient
播前 Before sowing	T3 上	0.47	花期 Blooming stage	R6 中	0.44
	R3 上	0.41		H6 中	-0.3
	H3 上	-0.35		R6	0.28
春播期 Sowing stage	R3 中	0.7	角果成熟期 Silique mature stage	R7 中	-0.41
	R3 下	-0.31		H7 下	0.36
	R4 中	0.5		H8 上	0.30
	R3	0.37		H7	0.34
	T3	0.31		H8	-0.43
	T4 上	0.41		T8	0.31
T4 中	0.38	T8 中	0.35		
H4 上	0.3	R8	0.45		
苗期 Seedling stage	T5 上	0.36	苗期 Seedling stage	R8 中	0.34
	R5 上	0.32		R8 $\geq 0.1$	-0.44
	H5 中	0.33			

注:表中T为平均温度(℃);R为降水量(mm);H为日照时数(h);T3上为3月上旬平均温度(℃);R3上为3月上旬降水量(mm);H3上为3月上旬日照时数(h);依次类推;R8 $\geq 0.1$ 为8月 $\geq 0.1$  mm降水日数(d);表中的相关系数:R3中表示3月中旬降水量(mm)对春播期单产的贡献,与春播期单产相关系数;依次类推。

Note: T: Average temperature(℃); R: Precipitation(mm); H: Sunshine hours(h); T3上: Average temperature(℃) of the first 10 days of March; R3上: Precipitation(mm) of the first 10 days of March; H3上: Sunshine hours(h) of the first 10 days of March; The others are in analogy; R8 $\geq 0.1$ : The days with precipitation $\geq 0.1$  mm in August; Correlation coefficients: R3中: Contribution of precipitation in mid March to the yield per unit area; The others are in analogy.

2.3 临夏州双低油菜各生育期气象动态预测模型

2.3.1 播种期油菜单产预测方程 通过对预报因子进行显著性检验,自由度  $n = 10$ ,  $F = 0.42$ ,判别系数 0.55,选用4月中旬、3月中旬降水量和4月上旬温度,建立播种期产量预测方程:

$$y = 0.44X_1 + 2.06X_2 + 3.72X_3 + 85.39 \quad (1)$$

式中,  $y$  为单位面积产量;  $X_1$  为四月中旬降水量;  $X_2$

为三月中旬降水量;  $X_3$  为四月上旬气温。

利用方程(1)对1995—2008年的实际产量进行预报检验,把预测产量和当年实际产量进行对比分析(图1),从图1可以看出依据播种期气候因子预测的双低油菜产量和实际产量接近,其预测准确率  $T_1 = 71.4%$ 。

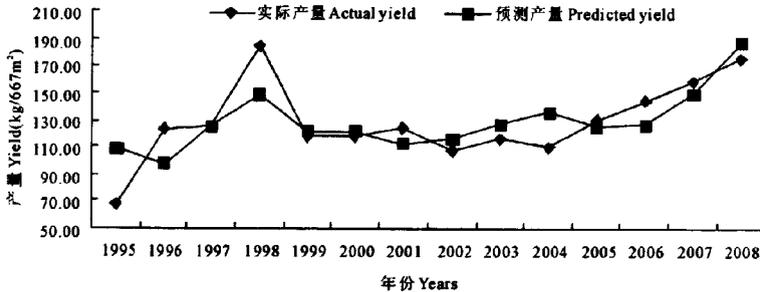


图1 依据临夏地区1995—2008年油菜播种期气象因子预测产量与实际产量对比  
Fig.1 Comparison of actual yield of rape and yield predicted in use of meteorological factors at sowing stage in Linxia area from 1995—2008

2.3.2 苗期油菜单产预测方程 通过显著性检验,自由度  $n = 10$ ,  $F = 1.70$ ,判别系数 0.34,选用5月上旬、5月中旬降水量和4月降水量,建立苗期产量预测方程

$$y = 0.48X_1 + 0.43X_2 + 0.8X_3 + 66.55 \quad (2)$$

式中,  $y$  为单位面积产量;  $X_1$  为五月上旬降水量;  $X_2$

为五月中旬降水量;  $X_3$  为四月降水量;利用方程(2)对1995—2008年的实际产量进行检验,把预测产量和当年实际产量进行对比分析(图2),从图2可以看出依据苗期气候因子预测的双低油菜产量和实际产量相关非常好,经预测检验,其准确率  $T_1 = 80.9%$ 。

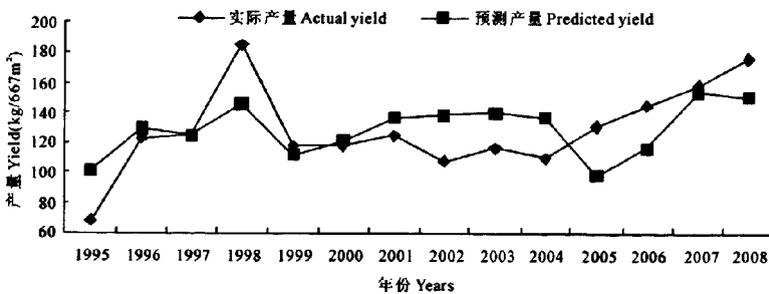


图2 依据临夏地区1995—2008年油菜苗期气象因子预测产量与实际产量对比  
Fig.2 Comparison of actual yield of rape and yield predicted in use of meteorological factors at seedling stage in Linxia area from 1995—2008

2.3.3 花期油菜单产预测方程 通过显著性检验,自由度  $n = 11$ ,  $F = 3.44$ ,判别系数 0.38,选用6月中旬、7月中旬降水量,建立花期产量预测方程

$$y = 0.55X_1 - 0.87X_2 + 138.99 \quad (3)$$

式中,  $y$  为单位面积产量;  $X_1$  为六月中旬降水量;  $X_2$

为七月中旬降水量。利用方程(3)进行历史数据检验,预测1995—2008年的产量,把预测产量和实际产量对比分析(图3),从图3可以看出依据花期气候因子预测的双低油菜产量和实际产量非常接近,经预测检验,其预测准确率  $T_1 = 90.5%$ 。

2.3.4 角果成熟期油菜单产预测方程 通过显著性检验,自由度  $n = 17$ ,  $F = 1.10$ , 判别系数 0.47, 选用 8 月降水量、8 月降水量  $\geq 0.1$  mm 日数和 9 月上旬气温, 建立角果成熟期产量预测方程

$$y = 0.17X_1 - 5.73X_2 + 1.55X_3 + 148.19 \quad (4)$$

式中,  $y$  为单位面积产量;  $X_1$  为 8 月降水量;  $X_2$  为 8

月降水量  $\geq 0.1$  mm 日数;  $X_3$  为 9 月上旬气温。利用方程(4) 进行历史数据检验, 预测 1995—2008 年的产量, 把预测产量和实际产量对比(图 4), 从图 4 可以看出依据角果成熟期气候因子预测的双低油菜产量和实际产量很接近, 经预测检验其预测准确率  $T_1 = 85.7\%$ 。

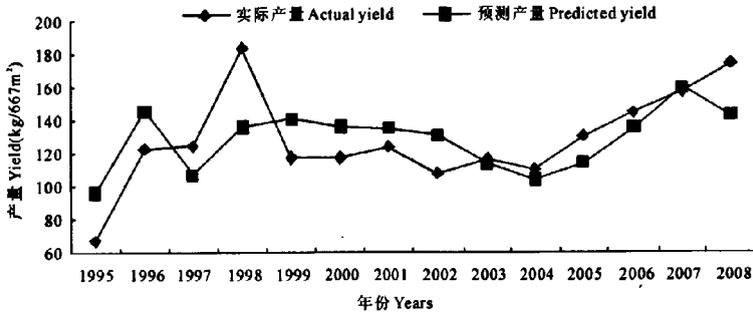


图 3 依据临夏地区 1995—2008 年油菜花期气象因子预测产量与实际产量对比  
Fig.3 Comparison of actual yield of rape and yield predicted in use of meteorological factors at blooming time in Linxia area from 1995—2008

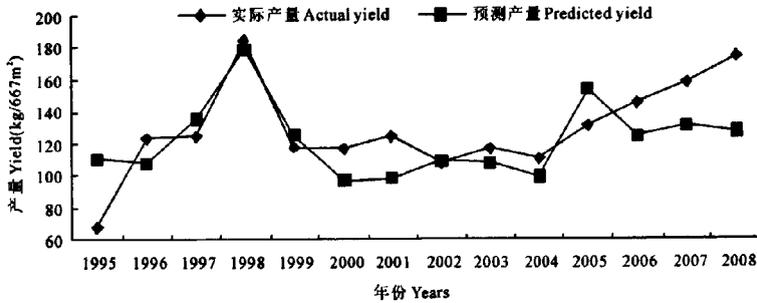


图 4 依据临夏地区 1995—2008 年油菜角果成熟期气象因子预测产量与实际产量对比  
Fig.4 Comparison of actual yield of rape and yield predicted in use of meteorological factors at silique mature stage in Linxia area from 1995—2008

通过以上产量预测检验, 得知临夏地区双低油菜能否种植和取得高产, 主要取决于对双低油菜生长、发育和产量形成有决定意义的气象因子。

### 3 结论与讨论

1) 通过分析,  $\geq 0^\circ\text{C}$  积温为  $1\ 524.3^\circ\text{C} \sim 2\ 291.7^\circ\text{C}$ ,  $\geq 5^\circ\text{C}$  积温为  $1\ 413.5^\circ\text{C} \sim 2\ 116.7^\circ\text{C}$ , 降水量为  $171.0 \sim 359.4$  mm, 日照为  $871.5 \sim 1167.1$  h, 年平均气温  $5^\circ\text{C} \sim 9^\circ\text{C}$  之间的高寒阴湿地区可以考虑种植双低油菜。

2) 双低油菜最适宜播种期为气温稳定通过  $0^\circ\text{C} \sim 5^\circ\text{C}$  时段。高寒山区海拔  $2\ 500 \sim 2\ 700$  m,  $\geq 0^\circ\text{C}$  积

温  $< 1\ 400^\circ\text{C}$ , 热量不足, 花期温度接近生物学下限温度为油菜种植一般区。

3) 降水、气温和日照条件是临夏地区双低油菜生长的关键气候因子。油菜的不同生长阶段, 从春播到成熟, 对气象条件的要求有明显差异。划分的五个生育期, 现蕾抽薹期适宜的气温为  $12.0^\circ\text{C} \sim 14.0^\circ\text{C}$ , 经过相关分析, 临夏州油菜的产量与春季温度呈正相关; 油菜苗期临夏州各地平均气温为  $10.3^\circ\text{C} \sim 12.2^\circ\text{C}$  之间, 降水量为  $51.4 \sim 110.7$  mm 之间, 气候条件完全适宜于苗期生长发育; 临夏州双低油菜花期生长主要在 5 月下旬至 6 月下旬, 根据农气观测, 花期对气温要求较高, 花期最适宜温度为

17.0℃~19.0℃,下限温度为14.0℃~15.0℃。临夏大部地方花期温度适宜,降水适宜,日照充足,是双低油菜花期生长发育较理想的气候生态;角果成熟期的生物学最适宜温度为15.0℃~20.0℃,下限温度为12.0℃,田间土壤水分含量不低于60%为宜,在角果成熟期,临夏州平均气温为16.0℃~17.9℃,平均降水量为201.6~275.2 mm,日照时数为416.3~489.4 h,光、热、水资源适宜于角果生长和成熟。

4) 根据划分的五个生育时期,建立了各生育期时空动态气候预测方程,实现双低油菜单产与总产量气象预测。通过显著性检验,建立各生育期与相关气象因子的多元回归方程,对历史实际产量进行检验,检验结果显示预测产量与双低油菜实际产量非常接近,预报准确率达70%以上。

5) 根据模型和气候条件,临夏地区可以科学制订种植结构调整规划,并根据气候因子,指导调整双低油菜的种植面积,促进农业增效、农民增收。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 邢君,费俊杰,杨建群,等.安徽省油菜主要气象灾害与防御技术对策[J].安徽农学通报,2004,10(4):58-63.
- [3] 戴清明,吕爱敏,何维君,等.洞庭湖区油菜主要气象灾害发生规律与减灾避灾对策[J].作物研究,2006,20(1):37-42.
- [4] 秘晓东,张旭东,倾继祖,等.运用“3s”技术制作张掖甘蓝型油菜区划方法初探[J].干旱地区农业研究,2004,22(3):19-22.
- [5] 余兆海.气候条件对油菜产量的影响[J].中国农业科学,1981,(5):64-70.
- [6] 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(6):946-947.
- [7] 聂战声,王耀.高海拔山区油菜高产栽培技术[J].作物杂志,2009,(1):118.
- [8] 孙淑梅.甘肃油菜生产现状分析[J].中国蜂业,2009,60(6):32-33.
- [9] 余松烈.作物栽培学[M].北京:农业出版社,1980:776-785.
- [10] 王隽,薛景轩,王珺.陇东冬油菜的气象条件分析[J].甘肃农业,2005,(2):89.

## Dynamical climate model for yield of double - low rape in Linxia Prefecture

SUN Yu-lian<sup>1,2</sup>, YIN Xian-zhi<sup>2</sup>, BIAN Xue-jun<sup>2</sup>, SHI Deng-ke<sup>2</sup>,  
HUANG Cheng-xiu<sup>2</sup>, YANG Wen-kai<sup>2</sup>

(1. Institute of Arid Meteorology in Lanzhou, CMA, Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction,  
Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730020, China;

2. Meteorology Bureau of Linxia Prefecture, Linxia, Gansu 731100, China)

**Abstract:** Using mathematical statistic method, we analysed physiological characteristics and requirements of the ecological climate condition to rape yield in Linxia. The results showed that the precipitation, temperature and sunshine conditions were main climatic factors affecting the growth of rape. According to the requirements to climatic conditions at different growth stages of double-low rape, we divided its growth period into 5 stages from sowing to harvest, and then established a system of suitable conditions for rape growth and a model of forecast of spatial and temporal dynamics which realized the prediction of rape yield.

**Keywords:** Linxia Prefecture; climatic condition; rape; yield per mu; prediction model