

文章编号: 1000-2022(2001) 03-0415-08

江西省两系杂交稻制种基地气候风险区划的研究

殷剑敏, 魏 丽, 王怀清
(江西省气象科学研究所, 南昌 330046)

摘 要: 通过对两系稻制种气候风险的数学定义, 根据江西省 1: 25 万地形数据和各气象台站 40 a 气候资料及气候要素与海拔高度的关系, 运用地理信息系统的空间分析方法, 对两系稻制种基地的气候风险进行了区划, 找出了最佳制种地理区域和不同品种最小气候风险下的最佳播种期。
关键词: 两系稻, 制种基地, 风险区划, 地理信息系统
中图分类号: S162.2 文献标识码: A

“风险”定义为“生命与财产损失或损伤的可能性”;也就是危险事件出现的概率。对任何风险进行评估时, 首先要考察其风险存在的原因^[1]。

1 两系杂交稻制种气候指标

根据前人研究^[2], 两系杂交稻在制种时主要考虑两个关键生育期, 第 1 为不育系育性转换期, 第 2 为亲本扬花授粉期, 其适宜的气象指标如下:

- (1) 育性转换期, 要求连续 20 d 日平均气温大于等于 24.5℃, 日最低气温大于等于 21.0℃, 对光敏型品种同时要求天文可照时数大于等于 13 h。若育性转换期遇到低温天气, 将会使制种失败。
- (2) 亲本扬花授粉期, 要求连续 15 d 日平均气温在 24~30℃之间, 日最高气温小于等于 35℃, 持续雨日(日降水量大于 1 mm 或日照时数小于 3 h 的雨日)小于等于 2 d。若亲本扬花授粉期遇到高温、低温、多雨天气, 将降低制种产量。

江西省夏季温度、降水受副高进退、台风等影响, 年际变化较大, 不同地形、海拔高度等也影响气象要素的空间分布, 因此, 从气候角度看, 两系杂交稻制种存在两种风险, 一是制种失败, 二是减产。怎样使两系稻制种基地选择在气候风险最小的地区, 是解决生产实际问题的关键^[3]。文献[4]用江西省 84 个气象台站 30 a 的气象资料计算了各地最适宜制种的海拔高度, 但未能给出此适宜高度的地理位置和气候风险大小。实际上能种双季稻的地方两系杂交稻均可制种, 只不过气候风险太大的地方没有经济价值。

收稿日期: 2000-06-28; 改回日期: 2001-05-05
基金项目: 中国气象局第三次农业气候区划项目; 中国气象局“青年气象科学基金”
第一作者简介: 殷剑敏, 男, 1962 年 11 月生, 双学士, 高级工程师。

2 两系稻制种气候风险的定义

根据育性转换期制种适宜的气象条件指标,首先考虑育性转换期的受灾风险,它关系到制种成败与否,因此称为制种失败风险。对某地 (x,y) (x,y 为地理坐标),若具有 M a 气象资料,用5 d 滑动平均法得 $\bar{T}_j = (T_{j-2} + T_{j-1} + T_j + T_{j+1} + T_{j+2})/5$ ($j = 1, 2, \dots, 365$,为一年中天数序号)。逐年求算日平均气温稳定通过24.5 的初日 $DTCi$ 、终日 $DTZi$ 和最低气温稳定通过21.0 的初日 $DT-Ci$ 、终日 $DT-Zi$ ($i = 1, 2, \dots, M$),再计算两者的公共初日 DCi 和公共终日 DZi ,算法为

$$DCi = \max[DTCi, DT-Ci]; \quad DZi = \min[DTZi, DT-Zi]。$$

考虑到日长的影响,对光敏型品种必须满足日照时数大于等于13.0 h 的要求。用天文可照时数计算,

$$\sin(t/2) = \frac{\sin(45 - (\varphi - \delta - \gamma)/2)\sin(45 + (\varphi - \delta + \gamma)/2)}{\cos\varphi\cos\delta}。$$

式中, γ 为太阳光线受空气屈折而产生的平折射度,即所谓蒙气差; φ 为当地纬度; δ 为太阳赤纬。依上式即求得太阳时角 t ,除以15,即由度数化为小时,再以2倍之,即得一日中自日出至日没之日照时间。本式中蒙气差取 $\gamma = 34$ 之约数; δ 采用格林威治(Greenwich)正午之太阳赤纬。计算在当地纬度下天文可照时数大于等于13.0 h 的初日 SC 和天文可照时数小于等于13.0 h 的终日 SZ 。三者的公共初日 DCi 和公共终日 DZi 为

$$DCi = \max[DTCi, DT-Ci, SC]; \quad DZi = \min[DTZi, DT-Zi, SZ]。$$

对某年(i 年),初日(DCi)与终日(DZi)的间隔天数为

$$Li = DZi - DCi + 1。$$

当 $Li \geq 20$ 时,若将 i 年育性转换期安排在这段时间,则制种成功。目前由于无法准确预测20 d 以上的天气,只能对过去的历史资料进行分析,找出保证率最高的时段。因此在时间维 j ($j = 1, 2, \dots, 365$)上计算 i 年($i = 1, 2, \dots, M$)符合育性转换期指标的初终日之间任意一天安全制种的天数 t_{ij} (表1)。

$$t_{ij} = \begin{cases} 1, & DCi \leq j \leq DZi; \\ 0, & j < DCi, j > DZi。 \end{cases}$$

表1 1960~1999 年符合育性转换期适宜气象条件的天数

Table 1 Number of days to be in keeping with proper weather conditions for breeding transformation during 1960~1999

	1	2	...	180	181	182	...	210	211	...	365
1960年	0	0	...	0	1	1	...	1	0	...	0
1961年	0	0	...	1	1	1	...	1	1	...	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1999年	0	0	...	0	0	1	...	1	1	...	0
合计	0	0	...	38	39	40	40	40	39	...	0

将历年的 t_{ij} 相加得, $T_j = \sum_{i=1}^M t_{ij}$ 。定义

$$DC_M = j, \quad T_j = M \text{ 且 } T_{j-1} = M - 1, DC_M \text{ 为 } T_j = M \text{ 中序号 } j \text{ 最小的 } j;$$

$DZ_M = j$, $T_j = M$ 且 $T_{j+1} = M - 1$, DZ_M 为 $T_j = M$ 中序号 j 最大的 j ;

$L_M = DZ_M - DC_M + 1$, L_M 为 $T_j = M$ 的天数。

DC_M 、 DZ_M 称为无风险下育性转换期最早初日和最迟终日, L_M 称为无风险下育性转换期最大长度。当 $L_M \geq 20$ d 时, 该地把育性转换期安排在 DC_M 与 DZ_M 之间, 从概率统计上讲, 可称该时段为无风险($R = 0$), 而该地为无风险下的可制种区。

当 L_M 不够 20 d 时, 同样定义

$DC_{M-1} = j$, $T_j = M - 1$ 且 $T_{j-1} = M - 2$, DC_{M-1} 为 $T_j = M - 1$ 中序号 j 最小的 j ;

$DZ_{M-1} = j$, $T_j = M - 1$ 且 $T_{j+1} = M - 2$, DZ_{M-1} 为 $T_j = M - 1$ 中序号 j 最大的 j ;

$L_{M-1} = DZ_{M-1} - DC_{M-1} + 1$, L_{M-1} 为 $T_j = M - 1$ 的天数。

如 $L_{M-1} \geq 20$ d, 则把育性转换期安排在 DC_{M-1} 与 DZ_{M-1} 之间, 其风险为 $R = 1/M \times 100\%$ 或称有 M a 一遇的风险, 或称在 M a 一遇风险下的可制种区。

依次判断 L_{M-2} 是否大于等于 20 d, 若 $L_{M-2} \geq 20$ d, 则称该地有 M a 二遇的风险, 或为 M a 二遇风险下的可制种区, 风险为 $R = 2/M \times 100\%$ 。

不难看出, 当某地为无风险可制种区时, 一定属于 M a 一遇风险区, 也属于 M a 二遇风险区……。

由于 $L_M \leq L_{M-1} \leq L_{M-2} \leq \dots$, 因此某地的两系稻制种失败风险可定义为

$$R = \frac{K}{M} \times 100\%。$$

M 为资料年代数, $K = 0, 1, \dots, M$ 。当 $L_{M-K} \geq 20$ 且 $L_{M-K-1} < 20$ 时, 称该地为 M 年 K 遇风险下的可制种区。该风险下的育性转换最早初日为 DC_{M-K} , 最迟终日为 DZ_{M-K} , 育性转换期最大长度为 L_{M-K} 。

上述风险是从一年时间中计算出的最小风险。根据江西省的实际情况, 大部分水稻田为双季稻田, 两系稻制种可分春季制种(双季早稻田)和秋季制种(双季晚稻田)。对春季制种表 1 中的 t_{ij} 只要从 3 月份计算到 7 月底, 秋季制种 t_{ij} 要从 5 月份计算到 9 月底, 以确定该时段的最小风险。

3 制种气候失败风险区划

按照上述风险(R)的定义, 可用气象台站几十年来的逐日平均气温、最低气温资料计算该地的风险 R 值。但它仅代表气象台站周围有限范围的风险情况, 对以丘陵山区为主的南方省份, 地形气候十分明显, 水稻田块的海拔高度均有不同分布, 山区因缺少气象观测资料而无法计算其制种风险, 用气象台站的 R 值来推算无测站地区的风险缺乏依据, 而气象要素是可根据地形来推算的, 因此推算 R 值, 还得从计算气象要素开始。

3.1 气象要素海拔高度模型

影响气象要素空间分布的地形因素很多, 如大山体、大水体、离海远近(经度)、太阳辐射的纬向分布(纬度)等。为化解问题, 根据江西省六十年代以来进行的山区考察成果, 将全省按不同地形、地貌分成 4 个区(图略), 即赣北的鄱阳湖区、赣西的井冈山山区、赣东的武夷山区和赣南的南岭山区。在每一个小区内仅考虑海拔高度对气象要素的影响, 为此计算了不同地形区、不同月份的温度随高度递减率(表 2)。

表 2 江西省各地形区各月温度递减率 γ
Table 2 Monthly mean temperature delapse rates
in 4 topographical regions of Jiangxi Province $\cdot (100\text{ m})^{-1}$

气候区	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
鄱阳湖区	0.54	0.58	0.67	0.68	0.64
井冈山地区	0.56	0.58	0.65	0.64	0.58
武夷山区	0.54	0.59	0.67	0.72	0.65
南岭山区	0.55	0.58	0.66	0.68	0.62

3.2 数字高程模型

根据上述气象要素与地形因子的关系,要推算某地的气象要素还必须知道该地的海拔高度,因此还要建立数字高程模型(DEM)。一般用等高线进行内插,内插时必须给定网格大小,也就是气候资源分析的精度(或称分辨率);网格越小,分辨率越高,描述性就越好,但计算量增加。另外还须考虑原始图件(矢量)的比例尺。比例尺大,网格可取小;比例尺小,网格不能太小,否则误差很大。考虑气候资源空间变化的连续性、研究区域范围的大小、原始图件比例尺的大小、山区地形的复杂性,用 1:25 万地形高程矢量数据,在 Arc/info 地理信息系统中转成全省 500 m×500 m 的网格高程数据(全省为 1 261 行×987 列),足以反映全省农业气候资源的特征。

3.3 网格点上气象要素的计算

网格点的气象要素值,在地理信息系统中^[5]一般采用距离加权平均法进行内插,计算公式为

$$T_{ij} = \sum_{k=1}^n T_k d_k^{-2} / \sum_{k=1}^n d_k^{-2}.$$

式中, T_k 为网格点邻近第 k 个气象台站的气候要素值; d_k^{-2} 是网格点到邻近第 k 个气象台站距离的平方倒数值,即距离权重; n 为网格点邻近气象站的个数,一般取 3~5 个。从公式可知观测点的相互位置越是接近,其数据的相似性越强,是符合天气气候规律的。上述公式中的距离为平面距离,而每个网格点及其周围邻近气象站的海拔高度均不一样,还应考虑海拔高度的影响。在实际工作中,对某个网格点,先要找出离该网格点距离最近的几个气象站(一般取 3~5 个)。把这几个气象站的要素值,根据台站的海拔高度及不同区域、不同季节气象要素的递减(增)率(表 2),将要素值订正到海拔平面上, $T_0 = T_k + \gamma h$ 。用距离加权平均计算网格点的值。该值为网格点海平面上的值,再用网格点的海拔高度及气象要素的递减(增)率订正到网格点的实际高度上, $T_k = T_0 - \gamma h$,才能得出网格点的气象要素实际值。

3.4 网格点上风险度 R 的计算及风险评估

风险度计算从逐日资料开始。网格点的逐日气象要素值都要根据前面的数字高程、要素的地形模型,由周围邻近台站的逐日资料用距离加权平均法内插而来。把网格点虚拟为具有历年逐日气象资料的气象台站,再根据 R 的定义来计算该网格的 R 值,待所有网格都计算完毕即成一幅图像,也就是风险评估图。在地理信息系统中可转成面层矢量,叠加其他地理信息(如行政区等)后一同打印出风险图。本文用全省 84 个台站 40 a(1960~1999 年)5 月 1 日~9 月 30 日逐日平均气温、逐日最低气温资料和日照时数公式,按 500 m×500 m 的网格,计算、制作了江西省两系稻温敏型品种秋季制种育性转换期气候失败风险区划图(图 1)。从图可以看到,无

风险区在赣东北的铅山、德兴、上饶的低海拔地区和赣南海拔较低的大部分地区。全省大部分平原地区为 40 a 一遇风险的制种区。越往山区制种失败的风险越大, 直至不能制种。表 3 列出了图 1 中不同制种气候风险所包含的地区。

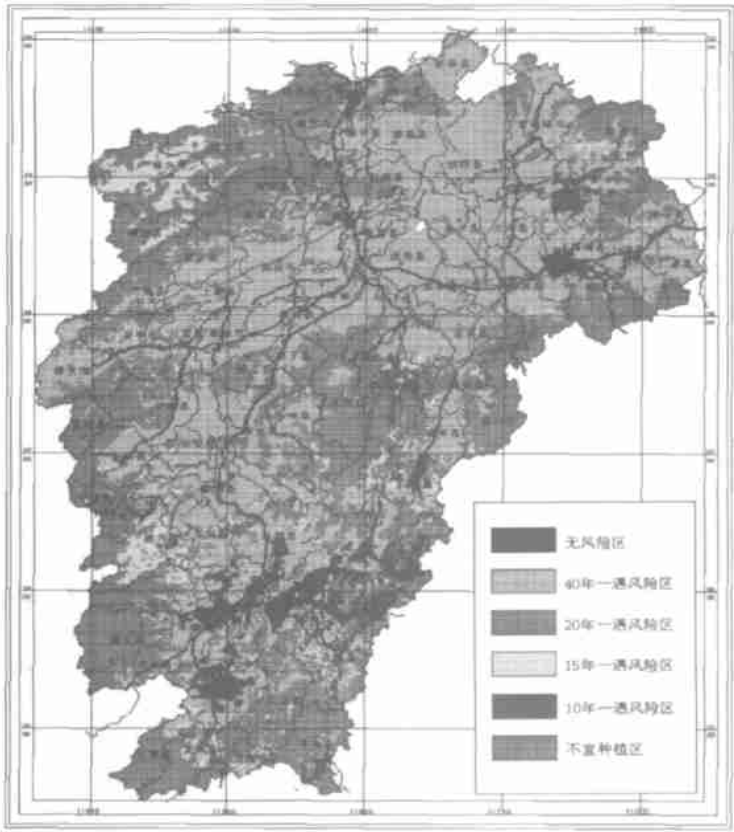


图 1 江西省两系稻制种气候风险图

Fig. 1 Climate risk map of two lines hybrid rice seed-breeding in Jiangxi Province

表 3 不同制种气候风险所包含的地区

Table 3 Regions for different climate risks of seed-breeding

气候风险	地区
无风险区	德兴、弋阳、鹰潭、广昌、赣州、于都、瑞金、信丰等低海拔地区
40 a 一遇区	赣北、赣中的九江、南昌、吉安、宜春、上饶等地的平原地区
20 a 一遇区	九江、抚州、吉安等地的山区
不宜制种区	海拔 300 m 以上的山区

4 两系稻制种减产气候风险

抽穗扬花期遇到不利天气(高温、低温、连阴雨等) 会降低结实率, 减少制种产量。首先考虑适宜气象条件指标, $24 \leq \text{日平均温度} \leq 30$, 对某地(x, y) 具有 M 年逐日气象资料(对江西省来讲秋季制种抽穗扬花期在 8、9 月份) , 用 5 d 滑动平均法, 求算历年大于等于 24 的终日 DZ_i 。从秋季往夏季用 5 d 滑动平均法倒推, 求算历年日平均温度低于 30 的初日 DC_i , 制

作一张二维表(表 4),表中元素为 t_{ij} 。

$$t_{ij} = \begin{cases} 1, & DC_i \leq j \leq DZ_i; \\ 0, & j < DC_i, j > DZ_i. \end{cases}$$

式中, $i = 1, 2, \dots, M (M = 40); j = 1$ (对应 8 月 1 日, 以下类推), $2, \dots, 61$ 。然后求算每日 t_{ij} 的合计值 $T_j = \sum_{i=1}^M t_{ij}$ 。其中, $j = 1, 2, \dots, 61$ 。则每日减产的风险值 $R_j = \frac{M - T_j}{M} \times 100\%$ 。其中, $j = 1, 2, \dots, 61$ 。对任意 15 d (完成抽穗扬花期的天数) 可计算该时段平均减产风险 $R_j = \sum_{j+14} R_j / 15$ 。其中, $j = 1, 2, \dots, 47$ 。

表 4 历年符合抽穗扬花期适宜气象条件的天数

Table 4 Number of days to be in keeping with proper weather conditions for heading and flowering during 1960~1999

	1	2	...	31	32	33	...	61
1960 年	0	0	...	1	1	1	...	0
1961 年	0	0	...	1	1	1	...	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...
1999 年	0	0	...	1	1	1	...	0
合计	4	5	...	40	40	39	...	0

设某地在 R 风险($R = K / M \times 100\%$) 下可制种, 则存在该风险下育性转换期最早初日 DC_{M-K} 、最迟终日 DZ_{M-K} , 且 DZ_{M-K} 与 DC_{M-K} 之差 L_{M-K} 一定大于等于 20。育性转换期应有 $L_{M-K} - 19$ 种安排法, 如 $L_{M-K} = 20$, 有 1 种安排; $L_{M-K} = 21$, 有 2 种安排; 依此类推。对每一种安排, 可根据制种减产风险的定义, 计算出抽穗扬花期的平均减产风险。其中最佳的安排为育性转换期之后的抽穗扬花期的平均减产风险达到最小, 计算公式为

$$R_{\min} = \min(R_j), \quad j = 1, 2, \dots, 47。$$

这个最小平均风险值称为该制种失败风险下的减产风险。这里时间变量 j 为抽穗扬花期的初日。根据江西省的实际情况, 抽穗扬花期必须在 9 月底前结束, 因此 j 只要计算到 9 月 16 日即可。

5 制种减产风险区划

从减产风险的定义可看出, 抽穗扬花期安排在不同时段, 其减产风险值 $R_{\min}$ 不一样, 太早会受高温危害, 太迟受低温影响。另外, 两系稻制种育性转换期完成后, 才进入抽穗扬花期。在某地制种, 首先要保证育性转换期的气象条件, 即保证制种成功的基础上, 再考虑抽穗扬花期的气象条件 (影响产量高低), 因此减产风险区划是在某个失败风险区划下的再区划。在制种失败风险区划的基础上, 选择某一失败风险下的可制种区, 再进行减产风险区划。计算方法同失败风险区划一样, 先将 40 a 逐日气象要素 (8、9 月份温度) 按前面的方法推算到 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ 网格点上, 把每个网格点虚拟为一个气象站, 按照减产风险的定义, 计算各网格点的减产风险, 即可制作出该制种失败风险下的制种减产风险区划图。

由温敏型品种在 40 a 一遇风险下的可制种区计算出的减产风险全省区划图(图略)可看出, 虽然育性转换期的失败风险相同, 但抽穗扬花期的减产风险仍有较大差别, 反映了气候要

素随时间分布的不均匀性和变异性, 因此两系稻制种基地的选择应当优中选优。

6 播种期的确定

对任一地点, 按照上述方法可计算出该地两系稻制种的气候失败风险、该气候失败风险下的气候减产风险和最小气候减产风险下的抽穗扬花初日(始穗期)。根据江西省农业科学研究院水稻所大田观测试验, 两系稻各种不育系品种和恢复系品种, 从播种到始穗期 10~27 的有效积温基本上稳定(表 5)。因此, 计算出始穗期后, 根据当地气候资料和表 5 中提供的有效积温值, 再计算不同恢复系和不育系品种组合的播种期, 使其花期相遇, 以达到稳产高产之目的。

表 5 部分两系稻制种品种所需 10~27 有效积温
Table 5 Effective accumulated temperature between 10 to 27
for some two lines hybrid rice seed-breeding species

恢复系		不育系	
品种名称	有效积温	品种名称	有效积温
2469	1 170	PA 64S	1 103
7024	1 290	6442S	1 054
JR 1068	1 110	安湘 S	1 014
南 30	1 040	N5088S	1 224

两系杂交稻研究是我国 ‘863 ’高科技发展计划项目, ‘九五 ’期间我国南方已开始大面积推广两系杂交稻。由于两系杂交稻制种对光、温、水等气象因子反应十分敏感, 加上气候年际间存在一定的波动, 给两系杂交稻制种带来一定的风险。在一些气候不稳定的制种区, 曾多次出现制种失败, 一度影响两系稻的推广。本研究通过对两系稻制种气候风险的数学定义, 运用地理信息系统对江西省两系稻制种气候风险进行了评估分析, 对指导农业生产有着重要的实际意义。

参考文献:

[1] Contini S, Servida A. Risk analysis in environmental impact studies [C]. In: Colomha G, eds. Environmental Impact Assessment. 1992. 79 ~ 103.

[2] 潘熙淦, 尹建华, 吴崇浩, 等. 两系杂交水稻制种技术[J]. 江西农业科技, 1996, (4): 1 ~ 4.

[3] 曹华盖, 殷剑敏, 魏 丽. 充分发挥我省气候资源优势、调整两系杂交稻制种基地布局[J]. 江西气象科技, 1997, (2): 25 ~ 26.

[4] 殷剑敏. 江西省小网格热量资源图的分析与应用[C]. 亚热带丘陵山区农业气候资源研究论文集. 北京: 气象出版社, 1988.

[5] 张 超, 陈丙咸, 邹 伦. 地理信息系统[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.

STUDY ON CLIMATE RISK DIVISION
FOR SEED-BREEDING BASE OF TWO LINES
HYBRID RICE OF JIANGXI PROVINCE

YIN Jian-min, WEI Li, WANG Huai-qing

(Institute of Meteorological Science of Jiangxi Province, Nanchang 330046)

Abstract: By defining the climate risk for seed-breeding of two lines hybrid rice, on the basis of Jiangxi geographical data with scale of 1 to 250 000, climate data in 40 years of 84 stations, and with the help of GIS spatial analysis method, climate risk division is done for seed-breeding base of two line hybrid rice, the best region and season for seed-breeding of different species can be assured.

Key words: two line hybrid rice; seed-breeding base; risk division; GIS