

水稻不育系育性变化的气候学特征及其适应性分析^{*}

姚克敏 杨亚新 储长树

(南京气象学院应用气象学系, 南京, 210044)

摘要 根据光(温)敏雄性核不育系水稻的育性模型导出的育性转换临界温度和临界日长指标, 用15个代表站1951~1988年逐日平均气温和理论日长分析了7001s、N5088s和安农s-1三不育系的育性转换日期及不育期和可育期长度的气候学特征, 为二系法杂交水稻的育性转换提供一种实用分析方法, 并为生产提供依据。

关键词 不育系, 育性转换, 育性气候学特征

分类号 S511.1

作者曾根据水稻不育系的大田逐日套袋结实率观测数据和人工气候箱模拟数据于1992年提出可供求算结实率数量变化的育性量化模型及其机理解释^[1]。由于日长和温度具有时空变化规律, 受光温条件控制的不育系育性也必然随之波动, 不同种植区域或不同年份会出现不同的育性转换期和不同的不育期及可育期长度。揭示不育系育性转换的气候学规律, 提供相应的育性气候分析方法, 对鉴定不育系的生产利用价值, 指导合理繁、制播期, 充分发挥种植地气候优势意义十分重要, 也是进一步研制二系杂交稻气象服务系统, 拓宽气象服务领域的关键环节。

1 资 料

供分析的不育系为7001s、N5088s(晚粳, 光温敏型)、安农s-1(早中粳, 温敏型)。发育期由南京(1992)、武汉(1990、1991)、合肥(1992)、长沙(1989、1991)实测。逐日气象资料由所述4市提供。作气候分析的15站分别为北京、济南、徐州、成都、武汉、杭州、南昌、长沙、温州、贵阳、昆明、汕头、广州、南宁和海口。其中28°N以北及海拔800m以上为粳稻分析区, 28°N以南及海拔800m以下为籼稻分析区。气温资料取自中国气象局整编出版的1951~1988年逐日平均气温资料, 逐日日长由相应理论公式计算^[1]。

2 不育系育性的季节图式及不育期和可育期长度的确定方法

2.1 育性变化季节图式

为便于育性转换的气候学特征分析, 分别归纳光(温)敏型不育系和温敏型不育系育性变化的季节图式如图1、图2, 并可概括出以下育性变化规律:

(1) 在水稻最早可能抽穗日期至临界(冷害)低温出现日期之间的育性敏感区域内, 光(温)

^{*} 本项研究获国家科委863-01-101专题基金资助。本文由杨亚新执笔初稿, 孙瑞兰负责观测, 范伶俐参加计算工作
收稿日期: 1993-12-08; 改回日期: 1994-03-04

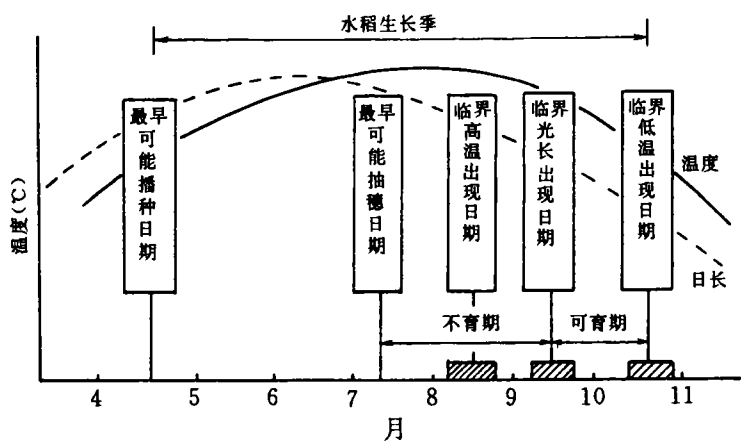


图 1 光(温)敏型不育系育性变化季节图式

Fig. 1 Sketch map of fertility alteration of PGMSR with the slants denoting the fertility fluctuation part

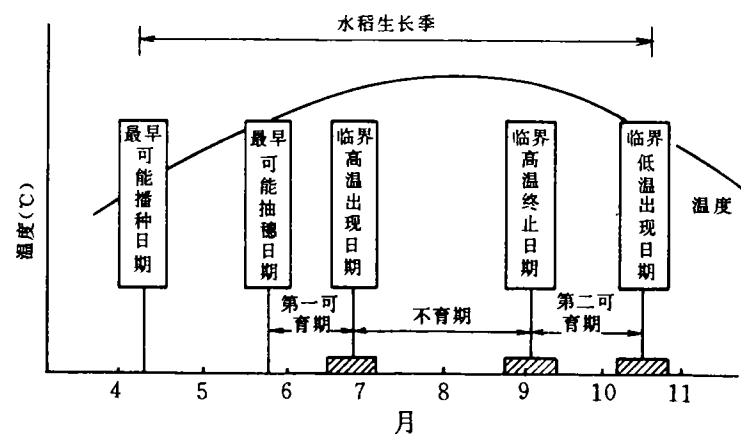


图 2 温敏型不育系育性变化季节图式

Fig. 2 As in Fig. 1 but for TGMSR

敏型不育系的育性受光长主控,日长大于临界日长时不育,日长短于临界日长时可育。同时临界日长受温度制约,处于最适温度时临界日长最长,温度降低或升高时临界日长缩短。由于光(温)敏不育系的第一感光期敏感,抽穗期稳定,仅在秋季出现一个可育时段。

(2)温敏型不育系的育性受温度主控,在临界低温与临界高温之间可育,此范围之外不育。由于第一感光期弱,感温性强,育性可能会出现初夏和秋季两个可育时段。

(3)由于温度和日长的时空变化,育性转换点附近会出现一个波动区域,其宽度决定于种植季节、地理位置和气候波动。不育系在种植地的不育期与可育期长度和波动区宽度决定了该不育系的利用价值。

2.2 不育期和可育期长度的确定方法

由于不育期和可育期长度由该不育系在种植地的最早可能抽穗期和各育性转换点日期的

光温条件确定,在计算它们之前必须确定最早可能抽穗期和各育性转换临界点日期。

以各地历年 5 日滑动平均气温稳定通过 10℃和 12℃日期作 7001s、N5008s 和安农s—1的最早播种期,把逐日平均气温和日长代入三不育系的生育期模型进行积分计算,确定当地最早抽穗日期。三不育系的生育期模型由“水稻钟模型”^{〔2〕}据实测发育期观测资料拟合,复相关系数达 0.91~0.97。育性转换日期是指由不育向可育或由可育向不育转换的日期,由育性转换临界温度和临界日长的出现日期确定。据三不育系的育性转换临界指标值(表 1)^{〔1〕},可由各站历年逐日平均温度和日长资料求得具体的育性转换日期。

表 1 三不育系育性转换临界指标

Table 1 Critical value of fertility alteration of three GMR lines

不育系	临界温度(℃)		不同温度下的临界日长(h)							
	上 限	下 限	21	22	23	24	25	26	27	28
7001s	29.0	20.7	13.01	13.22	13.29	13.33	13.35	13.36	13.36	13.33
N5088s	29.0	20.7	13.36	13.68	13.77	13.81	13.82	13.79	13.72	13.57
安农s—1	26.7	21.2								

3 不育系育性变化的气候学特征及其适应性

根据对 15 站测值求算的逐年最早抽穗日期和育性转换日期,可计算最早及最迟育性转换期。平均育性转换期及 90%保证率下的稳定育性转换期、育性波动期宽度和不育期及可育期长度等育性气候特征值,并对不育系作适应性分析。

3.1 7001s 和 N5088s

3.1.1 育性转换日期及育性波动区宽度

(1)可育开始日期及其波动

由表 2 可见,各站 7001s 可育期开始的最早日期的变化在 8 月 13 日~8 月 22 日之间,其中杭州最早 8 月 13 日,北京最迟 8 月 22 日。可育最迟日期各站间变化在 8 月 22 日~9 月 14 日,相差 23 天,并有随纬度降低而推迟的趋势。平均可育日期各站间变化在 8 月 19 日~9 月 2 日之间,变幅为 13 天,纬度较高的北京、济南、徐州出现在 8 月 20 前后,其余各站出现在 8 月 31 日前后。稳定可育日期各站间变化在 8 月 24 日~9 月 4 日之间,变幅 11 天。同一测站的可育开始日期的波动以高纬地区较小,如北京、济南仅 4 天,徐州也仅 9 天,中纬度地区则较大,可达 20 天以上。这是由于中纬度地区温度年际变化较大造成的。海拔 800m 以上的贵阳、昆明因全年日照较短,温度较低,不存在育性转换日期,终年可育。

N5088s 因育性转换临界光长较 7001s 长,故可育开始日期多数站均提早,其中最早日期各站间变化在 7 月 29 日~8 月 20 日,平均早 8 天;最迟日期各站间变化在 8 月 15 日~9 月 16 日,平均约早 2 天;平均日期变化在 8 月 12 日~9 月 2 日,约早 5 天;稳定日期变化在 8 月 12 日~9 月 6 日,仅早 1 天。可育开始日期的波动区宽度各站变化在 5~34 天之间,变幅略大于 7001s,变化趋势相同。

(2)可育终止日期及其波动

7001s 可育终止日期的最早出现日各站间变化在 8 月 20 日~10 月 6 日,变幅达 47 天;最迟出现日变化在 9 月 14 日~10 月 18 日,变幅 39 天;平均出现日期在 9 月 3 日~10 月 12 日,变幅为 39 天;稳定终止日期变化在 8 月 27 日~10 月 8 日,变幅 42 天。上述各可育终止日期均

有随纬度降低而逐渐推迟之势。波动区宽度变化在 12~33 天之间,其中徐州、武汉、贵阳较短,为 15 天左右,其余各站在 20 天以上。

表 2 7001s 和 N5088s 在不同站点的育性转换日期(日/月)及不育期和可育期长度

Table 2 Fertility alteration date and lengths of sterile/fertile periods
for 7001s and N5088s at different stations

站 名		北京	济南	徐州	武汉	杭州	南昌	长沙	温州	贵阳	昆明
可 育 开 始 日	平均出现日期	24/8 (13/8)*	20/8 (15/8)	19/8 (12/8)	19/8 (18/8)	28/8 (25/8)	2/9 (2/9)	31/8 (27/8)	31/8 (31/8)	—	—
	稳定出现日期	24/8 (12/8)	20/8 (19/8)	20/8 (19/8)	31/8 (20/8)	1/9 (31/8)	4/9 (5/9)	2/9 (6/9)	3/9 (5/9)	—	—
	波动区宽度(天)	4 (5)	4 (21)	9 (28)	28 (32)	28 (24)	24 (26)	28 (34)	24 (24)	—	—
	最早出现日期	23/8	20/8	3/9	19/9	25/9	4/10	4/10	1/10	6/10	—
	最迟出现日期	14/9	23/9	21/9	5/10	16/10	27/10	27/10	31/10	18/10	—
可 育 终 止 日	平均出现日期	3/9	5/9	12/9	27/9	6/10	15/10	15/10	16/10	12/10	—
	稳定出现日期	29/8	27/8	9/9	22/9	30/9	4/10	4/10	2/10	8/10	—
	波动区宽度(天)	22	33	18	16	23	23	23	30	12	
	平均不育期(天)	22 (9)	23 (8)	22 (7)	38 (23)	35 (28)	44 (38)	41 (34)	40 (38)	0 (0)	0 (0)
	稳定不育期	20 (16)	21 (9)	21 (11)	37 (30)	37 (31)	44 (38)	39 (40)	41 (40)	0 (0)	0 (0)
	平均可育期	10 (21)	16 (21)	24 (31)	30 (40)	39 (42)	43 (43)	45 (49)	46 (46)	69 (69)	0 (0)
	稳定可育期	5 (17)	7 (8)	20 (21)	22 (25)	29 (30)	30 (29)	32 (28)	29 (27)	63 (63)	0 (0)

注:波动区宽度(天)=最迟出现日期-最早出现日期 the width of fluctuation area = the last date - the first date
不育期=可育开始日期-抽穗日期 sterile period = starting date - heading date
可育期=可育终止日期-可育开始日期 fertile period = ending date - starting date
*()内为 N5088s 的相应数值 *() values in the brackets are those for N5088s

N5088s 因育性转换临界低温与 7001s 相同,各可育终止日期及波动区宽度也相同。

3.1.2 不育期和可育期长度

(1)不育期长度

除贵阳、昆明外,7001s 的平均不育期长度各站变化在 22~44 天,90%保证率的稳定不育期长度变化在 20~44 天,两者差异不大。平均和稳定不育期长度均与纬度呈负相关,相关系数分别达-0.92 和-0.94。这主要是由高纬度地区温度低、日照长,水稻抽穗期(不育开始日期)迟,而不育终止日期却较早的缘故。由于东部受水体调节,春温上升慢,沿海地区的不育期略短于同纬度的西部内陆地地区。7001s 的平均和稳定不育期长度(n)与纬度(φ)的关系可由下列两个一元回归方程表达

7001s 平均不育期长度 $n_1 = 95.98 - 1.96\varphi, \quad r = 0.92$ (1)

7001s 的稳定不育期长度 $n_2 = 121.40 - 2.15\varphi, \quad r = 0.94$ (2)

(1)、(2)式可粗略估算该不育系在种植地的平均或稳定不育期长度。

N5088s 的平均和稳定不育期长度比 7001s 略短,分别变化在 7~38 天和 9~40 天,按纬度估算的一元回归方程为

$$N5088s \text{ 的平均不育期长度 } n_3 = 112.98 - 2.80\varphi, \quad r = 0.91 \quad (3)$$

$$N5088s \text{ 的稳定不育期长度 } n_4 = 129.02 - 3.22\varphi, \quad r = 0.97 \quad (4)$$

(2) 可育期长度

7001s 的平均可育期长度各站变化在 10~46 天, 稳定可育期长度变化在 5~32 天。海拔 800m 以上的贵阳因无不育期, 不育系抽穗后即可育, 故可育期长达 66 天。平均和稳定可育期随纬度变化的回归方程为

$$7001s \text{ 的平均可育期长度 } n_5 = 130.41 - 3.08\varphi, \quad r = 0.97 \quad (5)$$

$$7001s \text{ 的稳定可育期长度 } n_6 = 96.20 - 2.32\varphi, \quad r = 0.96 \quad (6)$$

N5088s 的平均和稳定可育期长度比 7001s 略长, 分别变化在 21~49 天和 8~30 天, 与纬度(φ)的回归表达式为

$$N5088s \text{ 的平均可育期长度 } n_7 = 114.85 - 2.44\varphi, \quad r = 0.97 \quad (7)$$

$$N5088s \text{ 的稳定可育期长度 } n_8 = 68.84 - 1.44\varphi, \quad r = 0.83 \quad (8)$$

3.1.3 适用性

据上, 在我国梗稻种植区域, 7001s 和 N5088s 的不育期和可育期长度均较长, 繁殖、制种都比较安全, 适用性较大。但仍须注意育性的年际波动。较高纬度的梗稻区域育性波动虽较小, 但不育和可育期长度均较短, 繁、制存在一定风险, 贵阳不育期长度为零, 繁殖十分安全, 可考虑作光(温)敏型不育系的繁殖基地。据生产要求, 平均不育期和可育期应大于 30 天或 90% 保证率的稳定不育期和可育期长度应大于 25 天, 则 7001s 和 N5088s 可适用推广的区域有武汉、杭州、南昌、长沙和温州, 具体区域范围尚待增加测站密度再作分析。

3.2 安农s-1

3.2.1 育性转换日期及育性波动区宽度

(1) 第一可育期终止日期

由表 3 可见, 安农s-1 第一可育期终止日的出现日期除成都外, 多数站点均出现在最早可能抽穗日之后, 故第一可育期长度为零, 成都虽有 15~18 天的春繁时间, 仍不能满足安全繁殖的必要条件, 故无利用价值。

(2) 第二可育开始日期及其波动

安农s-1 第二可育开始日的最早出现日期各站变化在 7 月 8 日~10 月 1 日之间, 最迟出现日期变化在 7 月 24 日~10 月 20 日之间, 平均日期在 7 月 16 日~10 月 10 日, 稳定日期在 7 月 10 日~10 月 3 日。各可育出现日期均随纬度降低而后移, 如 28~30°N 之间的武汉、杭州、南昌、长沙, 90% 年份出现在 8 月 25 日前后, 22~23°N 的汕头、广州、南宁 90% 年份出现在 9 月 15 日前后, 20°N 的海口则推迟至 10 月 1 日前后。第二可育开始日的波动区宽度变化在 9~23 天之间, 其中低纬地区波动较小, 中纬地区波动较大。

(3) 第二可育终止日期及其波动

安农s-1 的第二可育终止日的最早出现日期各站变化在 8 月 26 日~10 月 30 日, 最迟出现日期在 9 月 27 日~11 月 19 日, 平均出现日期在 9 月 13 日~10 月 25 日, 稳定出现日期在 9 月 18 日~11 月 13 日。变化规律与第二可育开始日期同。可育终止日的波动区宽度各站变化在 7~37 天。

3.2.2 不育期和可育期长度

(1) 不育期长度

表 3 安农s-1在各站点的育性转换日期及不育期和可育期长度
Table 3 As in Table 2 except for the cultivar Annong s-1

	站 名	武汉	杭州	南昌	长沙	温州	汕头	广州	南宁	海口	成都
第一可育终止日	最迟出现日期	6/7	6/7	20/6	20/6	11/7	30/5	30/5	18/5	14/5	8/7
	平均出现日期	15/6	23/6	6/6	6/6	27/6	6/5	20/5	10/5	30/4	3/7
	稳定出现日期	5/7	3/7	1/7	28/6	26/6	28/5	20/5	16/5	12/5	6/7
	波动区宽度(天)	42	27	28	28	28	48	19	16	28	9
第二可育开始日	最早出现日期	26/8	12/8	21/8	21/8	24/8	10/9	10/9	4/9	1/10	8/7
	最迟出现日期	17/9	13/9	14/9	14/9	20/9	22/9	19/9	26/9	20/10	24/7
	平均出现日期	6/9	28/8	2/9	2/9	7/9	16/9	4/9	15/9	10/10	16/7
	稳定出现日期	27/8	20/8	23/8	23/8	24/8	12/9	11/9	8/9	3/10	10/7
第二可育终止日	波动区宽度(天)	22	32	24	24	27	12	9	22	19	16
	最早出现日期	11/9	26/8	25/9	25/9	3/10	30/10	2/11	20/10	12/11	10/9
	最迟出现日期	5/10	2/10	31/10	31/10	29/10	9/11	11/11	31/10	19/11	27/9
	平均出现日期	23/9	13/9	13/10	13/10	16/10	4/11	6/11	25/10	15/11	18/9
	稳定出现日期	8/9	10/9	29/9	29/9	8/10	2/11	2/11	22/10	13/11	12/9
	波动区宽度(天)	24	37	36	36	26	10	9	11	7	17
	平均第一可育期长度	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
	稳定第一可育期长度	5	2	1	0	0	0	0	0	0	18
	平均不育期长度	73	59	67	66	71	70	61	77	99	13
	稳定不育期长度	53	48	53	54	58	73	67	69	91	4
	平均第二可育期长度	17	16	41	41	39	53	63	40	36	63
	稳定第二可育期长度	12	21	37	37	45	51	52	44	41	63

注:第一可育期长度=第一可育终止日期-抽穗日期(如果抽穗日期大于第一可育终止日期,则第一可育期长度为0)
the length of the first fertile period = the first ending date - the heading date (if the heading date > the first ending date, then the length of the first fertile period equals to 0)
不育期长度=第二可育开始日期-第一可育终止日期(或抽穗日期)
the length of the sterile period = the second starting date - the first ending date (or the heading date)
第二可育期长度=第二可育终止日期 - 第二可育开始日期
the length of the second fertile period = the second ending date - the second starting date

安农s-1的平均和稳定不育期长度,在籼稻区域可变化在 13~99 天和 4~91 天,呈随纬度增加和海拔升高而减少之势。与纬度(φ)的单相关系数为 0.66 和 0.80,与拔海高度(H)的单相关系数为 0.86 和 0.84,其二元回归关系式如下

安农s-1 平均不育期长度 $n_9 = 126.41 - 1.96\varphi - 0.10H, \quad r = 0.92 \quad (9)$

安农s-1 稳定不育期长度 $n_{10} = 149.94 - 3.23\varphi - 0.09H, \quad r = 0.99 \quad (10)$

(2)可育期长度

安农s-1的第一可育期长度各站均较短或为零。平均和稳定第二可育期长度各站变化分别在 16~63 天和 12~63 天之间,两者差异不大。可育期长度(n)与纬度(φ)、经度(L)和拔海高度(H)均呈显著相关,其中 $r_{n\varphi}$ 为 -0.32 和 -0.37, r_{nL} 均为 0.46, r_{nH} 为 0.43 和 0.49,其多元回归表达式为

安农s-1的平均可育期长度 $n_{11} = -16.43 - 3.29\varphi + 1.20L + 0.11H, \quad r = 0.72 \quad (11)$

安农s-1的稳定可育期长度 $n_{12} = -87.28 - 3.99\varphi + 1.97L + 0.13H, \quad r = 0.86 \quad (12)$

3.2.3 适用性

据以上分析,安农s-1对南方籼稻种植区以低纬区域较长,育性年际波动较小,因而适应性较强。武汉、杭州等地不育期虽较长,但可育期较短,且年际波动较大,适应性较差。按不育期和可育期长度均大于30天作为安农s-1的可利用标准,则可适用的地区有南昌、长沙、温州、汕头、广州、南宁和海口。

4 结 语

- (1)由种植地光温条件调控的不育系的实用价值,取决于不育期与可育期的长度及其稳定性。根据不育系育性临界条件和相应的发育期和气象资料可以计算这些特征值。
- (2)7001s 与 N5088s 的育性因由日长主控,不育期和可育期比较稳定,波动较小,在武汉、杭州、南昌、长沙和温州等地具有实际推广价值。不育期与可育期长度主要取决于纬度。
- (3)由于温度的时空波动较大,安农s-1的育性转换日期不稳定,波动也很大。初夏的第一可育期并无实际应用价值,秋季的第二可育期与盛夏的不育期长度与种植地的纬度、高度及经度均有关。南方籼稻区域的南昌、长沙、温州、汕头、广州、南宁及海口等地有一定实用价值。

参 考 文 献

1 姚克敏,杨亚新,储长树等. 水稻光敏核不育的育性气象模型及其机理. 南京气象学院学报,1994,17(4):418~425

2 高亮之,金之庆,黄 耀等. 水稻钟模型——水稻发育动态的计算机模型. 中国农业气象,1989,10(3):3~10

CLIMATOLOGICAL CHARACTERISTICS OF FERTILITY
ALTERATION OF STERILE LINE HYBRID RICE
WITH ANALYSIS OF ITS ADAPTABILITY

Yao Kemin Yang Yaxin Chu Changshu
(Department of Applied Meteorology, NIM, Nanjing, 210044, PRC)

Abstract Using the critical temperature and daylength as indices derived from the fertility alteration model of photoperiod-sensitive genic male sterile rice (PGMSR) and 1951~1988 data of daily mean temperature and theoretical daylength from 15 representative weather stations on a national basis, analysis is performed of climatological characteristics of the fertility alteration data and the duration of the fertile and sterile periods of three male sterile lines (7001s, 5088s and Annong s-1). This provides a new approach to the ananalysis of climatic basis for fertility alteration of two-lined hybrid rice and a theoretical basis for further application of sterile line crop to planting.

Keywords sterile line, fertility alteration, sterile and fertile periods, climatological characteristics of fertility