

稻米粒重形成规律与结实期温度的关系

朱碧岩¹ 程方民 吴永常² 方 辉

(西北农业大学农学系,陕西杨陵 712100)

摘 要 多品种,多播期的试验结果表明,粒重形成的动态过程可用二次曲线模型来表征,且齐穗后 20 d 内是粒重形成及其温度影响的主要时段;温度对粒重有效积累天数及速率的影响存在相互补偿作用,在补偿作用达到平衡时粒重达最大值,此时温度为粒重积累的适宜温度;结实期高(低)温一般要经历 9~12 d 的连续作用才能看出其效果,并在以后时间亦有一定的影响。

关键词 稻米粒重,粒重形成,结实期温度

中图分类号 S511.101

粒重是稻米产量构成因素之一。研究稻米粒重形成动态变化及结实期不同时段环境因素尤其是温度因子对稻米粒重形成的影响效果,不仅可以认识籽粒内物质积累的动态变化过程,而且对确定稻米粒重形成的主要时段及其对环境因素影响反应的敏感时段具有重要的理论意义,进而为水稻有关生态指标的确定提供较为科学、准确的依据

1 材料和方法

试验设计 试验 1989~1992 在西北农业大学水稻试验地进行(陕西关中),1993 年在华南农业大学农学分场水稻试验地进行(广州)。1989 和 1990 年小区面积为 14 m²,重复 1 次,设 1 个播期;1991 年小区面积 12 m²,1992 年为 14 m²,两年均随机排列,重复 2 次,设 3 个播期;1993 年小区面积为 20 m²,重复 1 次,设 6 个播期。材料和设计详见表 1。

表 1 各年试验设计表

类型	品 种	1989	1990	1991			1992			1993					
				I	II	III	I	II	III	I	II	III	IV	V	VI
早籼	湘早籼 3 号			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
中籼	西农 8116	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
中籼	广二矮 104		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
中籼	水晶米			✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓			✓	✓
早粳	农院 7-1			✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
中粳	新稻 68-11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
中粳	徐稻 80-7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
晚粳	青林九号				✓		✓		✓			✓			

注: ✓ 者为有效播期。

田间管理 种子播前浸种、消毒、催芽、带芽播种,1991~1993 年第 I 播期采用薄膜育秧,5~6 叶龄时移栽。株行距 20 cm×13 cm,穴播 1~2 株,不同播期间用小埂隔开,施

底肥 225 kg /hm² 尿素,插秧后灌水护秧,插后 7~ 10 d施尿素 150 kg /hm².生长期及时灌水,生育后期保持湿润,本田期间及时防治病虫害和拔除杂草。其它管理同一般大田。

样品采集 齐穗期当日选取生长基本一致已开花 1/3~ 1/2的主穗或大分叶穗挂牌标记,然后每隔 3 d取一次样,每次随机取 10~ 20穗,重复 2次时,每重复各取一半的穗数,然后混合,其中 6~ 10穗在 120℃下杀青固定 2 h,其余自然风干备用。

2 结果与分析

2.1 粒重形成动态变化规律

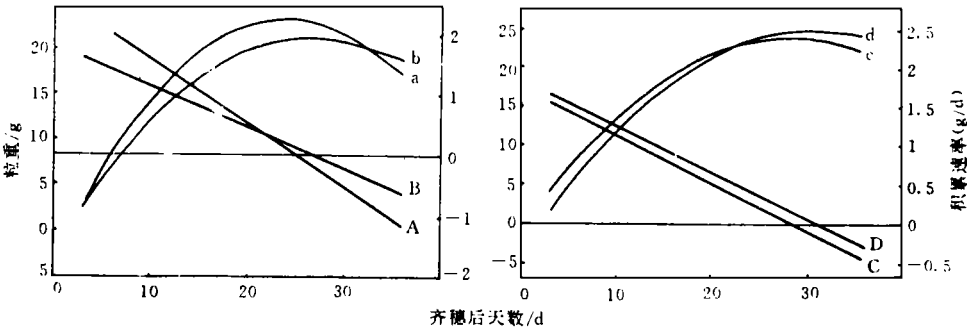
对参试品种粒重形成动态的数学模型分析表明,所有参试品种粒重形成动态都可以用二次曲线方程模拟。各品种不同年份、播期的模拟结果均通过统计显著性检验。

从表 2看出,有效积累天数早熟品种比晚熟品种少,而籼稻品种比同熟期的粳稻品种少;平均积累速度早熟品种比晚熟品种大,籼粳稻均有这一个趋势,说明籽粒干物质的积累速率与生育期长短有关,而籼粳稻之间,籼稻的相对积累速率比同熟期的粳稻品种大。从 20 d值占最大值比率可以看出,粒重积累速率不仅与品种生育期有关,而且与粒重最大值亦有较密切的关系。生育期短且粒重最大值大的品种,其粒重积累速率大,反之亦然。

表 2 各品种粒重形成动态模拟总方程及其参数

品 种	方 程	有效积 累天数 ¹⁾	最大值 ²⁾	平均积 累速率 ³⁾	20 d值 ⁴⁾	20 d值 最大值	相对 速率 ⁵⁾
湘早籼 3号	$Y = - 3.9306x^2 + 2.306445x - 0.048409x^2$	23.82	23.54	0.9882	22.83	96.99	4.198
西农 8116	$Y = - 2.68143x^2 + 1.81254x - 0.034157x^2$	26.53	21.36	0.8051	19.96	93.18	3.769
广二矮 104	$Y = - 2.236194x^2 + 1.92789x - 0.035623x^2$	27.06	23.85	0.8814	22.07	92.56	3.696
水晶米	$Y = - 1.062486x^2 + 1.639256x - 0.028285x^2$	28.98	22.69	0.7830	20.41	89.95	3.451
农院 7-1	$Y = - 0.923144x^2 + 1.736526x - 0.030404x^2$	28.56	23.87	0.8358	21.65	90.67	3.501
新稻 68-11	$Y = - 0.739196x^2 + 1.708011x - 0.029337x^2$	29.11	24.12	0.8286	21.69	89.91	3.435
徐稻 80-7	$Y = - 1.30803x^2 + 1.709871x - 0.029323x^2$	29.16	23.62	0.8100	21.16	89.59	3.429
青林九号	$Y = - 3.695152x^2 + 1.824365x - 0.029285x^2$	31.15	24.72	0.7936	21.08	85.27	3.210

注: 1)指从齐穗后到粒重最大值出现的时间(d); 2)粒重形成动态模型方程曲线的顶点值; 3)最大值/有效积累天数; 4) 20 d时方程的预测值; 5)平均积累速率除以粒重最大值。



附图 稻料粒重形成动态变化

A(a)湘早籼 3号; B(b)西农 8116; C(c)农院 7-1; D(d)青林九号

大写字母为积累速率,小写字母为粒重

从附图可以看出,各品种粒重形成动态过程,近乎直线增长,达到最大值后,粒重有一个下降过程,下降速度和幅度因品种和结实期环境而异,但一般不会很大。所以,亦有人认为粒重在达到最大值后是基本恒定的^[1]。粒重积累速率是呈直线下降的,前期积累速率大,而后期的积累速率小,积累速率在达到零后,仍有一定时间的积累速率为负值。

2 2 温度对稻米粒重影响的时段效应分析

前已述及,稻米粒重在结实前期(约齐穗后 20 d)的积累速率最快,后期粒重形成基本趋势于稳定,甚至有所下降。由此笔者推论,环境因素对稻米粒重形成影响的关键时段也应该在结实前期。人工气候箱控温试验结果表明(见表 4),结实期高温使粒重明显下降,而齐穗后 20 d 内的温度状况对粒重形成起主导作用。因此,齐穗后 20 d 内不仅是粒重形成的主要时段,而且是其受温度影响的敏感时段。

表 3 人工控温条件下稻米粒重 g

齐穗后 20 d	高温 (33℃)		低温 ¹⁾	
	齐穗 20 d	高温	低温	高温
73-07		16. 12	17. 40	19. 76
水晶米		18. 54	18. 81	20. 91
秋 光		19. 00	19. 36	23. 60
新稻 68-11		18. 69	18. 75	21. 01

注: 1)低温为室外自然温度; 2) 73-07 为早粳品种,秋光为中粳品种。

从表 4 看出,齐穗后 20 d 内温度对稻米粒重积累速率的影响呈正效应,而温度对有效积累天数的影响为负效应,两者与温度的关系反映在粒重积累上有相互补偿作用。

表 4 各品种粒重有效积累天数、平均积累速率与温度关系

品 种	有效积累天数与温度	R	平均积累速率与温度	R	适宜温度指标 (℃)
湘早籼 3 号	$Y= 46. 04944- 0. 84229x$	- 0. 9478	$Y= 0. 16243+ 0. 030259x$	0. 8633	24. 65
广二矮 104	$Y= 50. 38239- 0. 84966x$	- 0. 9028	$Y= 0. 2544+ 0. 02308x$	0. 8660	24. 14
西农 8116	$Y= 53. 2281- 0. 98019x$	- 0. 9764	$Y= 0. 12005+ 0. 025039x$	0. 9638	24. 75
水晶米	$Y= 67. 0685- 1. 3824x$	- 0. 9410	$Y= - 0. 08451+ 0. 030651x$	0. 9470	25. 50
农院 7-1	$Y= 69. 2737- 1. 4618x$	- 0. 9275	$Y= - 0. 07684+ 0. 033850x$	0. 8175	24. 83
新稻 68-11	$Y= 62. 2722- 1. 2045x$	- 0. 9073	$Y= 0. 11312+ 0. 025758x$	0. 9274	23. 65
徐稻 80-7	$Y= 63. 0427- 1. 2168x$	- 0. 8875	$Y= 0. 1038+ 0. 02412x$	0. 9034	23. 75

注: 温度为齐穗后 20 d 内日平均温度。

从各品种的适宜温度指标可以看出,粳稻品种低于籼稻品种,这可能与粳稻品种的耐低温性能有关。

2 3 温度影响效果的累积作用和延续作用

对结实期不同时段的粒重及粒重积累速率与其对的时段的温度间关系进行相关分析(表 5, 6),发现各时段的粒重积累速率与温度间的相关系数绝大多数均未达到显著水平,而粒重一般在 9~ 12 d 后才与温度的关系较为密切。说明结实期温度对粒重的影响不是直接影响某一时段的积累速率,而是对粒重形成的整个过程产生影响,体现在某一积累速率的持续时间上,即粒重一般要经历一定的时间积累才能显示出温度对其的影响作用。

表 5 各时段粒重积累速率与其对应时段平均温度的相关系数

品 种	时 段									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
湘早籼 3号	- 0.3335	0.2548	0.0887	0.1676	0.1243	0.3950	- 0.3644	0.0422	- 0.4078	- 0.3698
西农 8116	- 0.2210	0.1756	0.3906	0.1322	0.0120	0.2086	- 0.1199	0.0172	- 0.0774	- 0.2378
广二矮 104	0.2578	0.3276	0.3849	0.3601	0.1955	0.5516	- 0.6636 [*]	0.3107	- 0.2950	0.1485
水晶米	0.4026	0.0901	0.2904	0.3467	0.0730	0.1357	- 0.1517	0.4595	- 0.5441	- 0.3118
农院 7-1	0.1135	0.4981	0.1592	0.2252	0.1013	- 0.2463	0.5259	0.3977	- 0.6828 [*]	0.6184 [*]
新稻 68-11	0.2418	0.3279	0.3443	- 0.1429	0.1802	- 0.1693	- 0.0781	0.1908	0.1709	- 0.5965 [*]
徐稻 80-7	0.3204	0.1120	0.0160	0.6187	- 0.0785	0.2245	- 0.1095	0.1849	- 0.0250	- 0.8356 [*]

注: 每时段为 3 d,平均温度为对应时段内平均温度

表 6 齐穗后不同时段粒重与温度的关系

品 种	齐穗后天数 (d)				
	6 d	9 d	12 d	15 d	18 d
湘早籼 3号	- 0.0126	0.3101	0.7356 [*]	0.5874 [‡]	0.6584 [*]
西农 8116	0.1775	0.6287 [*]	0.7242 [*]	0.6454 [*]	0.6814 [*]
广二矮 104	0.3736	0.7562 [*]	0.6991 [*]	0.7250 [*]	0.8930 [*]
水晶米	- 0.1326	0.3781	0.7062 [*]	0.6925 [*]	0.7453 [*]
农院 7-1	0.3461	0.8189 [*]	0.8055 [*]	0.7641 [*]	0.7963 [*]
新稻 68-11	0.2244	0.5149 [‡]	0.7044 [*]	0.9324 [*]	0.8697 [*]
徐稻 80-7	- 0.2672	0.4247	0.6718 [*]	0.5955 [‡]	0.6982 [*]

既然结实期温度是影响粒重的整个积累进程,那么可以推论齐穗后 20 d内的温度状况对齐穗 20 d后粒重的积累也将产生影响。从表 7可以看出,齐穗 20 d后的粒重有效积累天数、积累量、积累速率和齐穗 20 d后积累量占最大值比率均与齐穗后 20 d内的温度状况有明显关系,相关系数均达到显著或极显著水平。说明齐穗后 20 d内的温度状况对此后时间的粒重积累仍有显著的影响。作者把这种关系称之为温度影响的后续作用。

表 7 齐穗后 20 d温度与齐穗 20 d后粒重各参数的关系

品 种	温度与齐穗 20 d后			
	有效积累天数	积累量	积累速率	积累量 最大值
湘早籼 3号	- 0.9498 [*]	- 0.8411 ^{**}	- 0.6740 [‡]	- 0.9301 [*]
西农 8116	- 0.9764 [*]	- 0.7317 [*]	- 0.6652	- 0.6698
广二矮 104	- 0.9028 [*]	- 0.8052 [*]	- 0.7426 [*]	- 0.6669
水晶米	- 0.9410 [*]	- 0.8564 [*]	- 0.7493 [*]	- 0.8355 [*]
农院 7- 1	- 0.9275 [*]	- 0.9490 [*]	- 0.9217 [*]	- 0.9428 [*]
新稻 68- 11	- 0.9073 [*]	- 0.7732 [*]	- 0.8143 [*]	- 0.8408 [*]
徐稻 80- 7	- 0.8975 [*]	- 0.7301 [*]	- 0.7158 [*]	- 0.7670 [*]

3 讨 论

稻米粒重形成动态变化规律的研究结果表明,稻米齐穗后到齐穗后 20 d这一时段稻料粒重呈明显的增长趋势,此后时段粒重的积累速率明显减慢,并在达到零点后仍有一定时间的积累速率为负值。粒重形成动态变化可用二次曲线模型进行模拟。进一步通过时段分析和人工气候箱控温试验结果,作者认为齐穗后 20 d这一时段是稻米粒重的形成及其受温度影响的主要时段。这一指标的确定在生产上和科研中有重要的意义。因为同一

品种不同时空条件下结实期长短是不一致的,而同一品种同一时空条件下不同研究者所确定的结实期长短亦不一致,如果根据全结实期环境因素与粒重形成关系所确定的生态指标就无法解决结实期长短不一致的问题。由于它包含着对粒重形成作用不大的一段时期在内,结果形成对生态指标的严重干扰,使所确定的生态指标很难真实反映粒重形成与环境因素之间的关系。此外,根据稻米粒重形成及其对温度影响的主要时段,为提高稻米产量和品质所采取的各种农艺措施必须在齐穗后 20 d 以前进行,才能收到最佳的效果。

稻米最终粒重的形成取决于粒重积累速率和有效积累天数,结实期温度对粒重形成的影响是通过影响粒重积累速率和有效积累天数来实现的,两者与温度的关系反映在粒重的积累上有一种相互补偿作用,通过相互补偿作用的分析可以估算出各品种粒重积累的适宜温度指标。同时,结实期温度对稻米粒重形成的影响要有一定时间的连续作用才能看出其影响效果,而连续作用的时间一般要经历 9~12 d,作者称此为温度影响累积作用。这种连续的高温(或低温)不仅对连续高温(或低温)出现时期内对粒重形成有影响,而且对其后时期粒重的形成亦有明显的影响,作者称此为温度影响的延续作用。

参 考 文 献

1 丁颖. 丁颖稻作论文集. 北京: 农业出版社, 1983, 282~ 287
2 高如嵩, 张嵩午. 稻米品质气候生态基础研究. 西安: 陕西科技出版社, 1994
3 邵冬生, 唐建军. 水稻籽粒灌浆特性与米质的关系. 贵州农业科学, 1987(2): 12~ 14
4 马青华主编. 田间试验与统计方法. 北京: 农业出版社, 1978
5 田志宏. 几种典型生长曲线的最优化拟合. 农业系统科学与综合研究, 1990(2):

A Study on the Dynamic Changes of Rice Seed Weight and the Temperature Effect During the Full Heading Stage

Zhu Biyan Cheng Fangmin Wu Yongchang Fang Hui

(Department of Agronomy, North western Agricultural University, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract The experimental result of multiple varieties and different sowing dates showed that the dynamic changes of rice seed weight could be simulated with quadratic curve model and that the 20 days after full heading was the key period for weight accumulation and temperature. The temperature played an important role in the seed weight accumulation through the compensatory function between the available accumulation days and accumulation rates. When this compensatory function reached its level of balance, the seed weight reached its utmost, during which period the temperature was most favourable for seed accumulation. Furthermore, the high or low temperature effect could be clear only on the condition of 9 to 12 days' constant function, and it could also affect the seed weight accumulation, not only on its existing period, but also in its later stage.

Key words rice, seed weight, dynamic change, temperature effect