

稻米直链淀粉含量的形成及其与灌浆结实期温度的关系

程方民¹, 丁元树¹, 朱碧岩²

(1. 浙江大学农学系, 杭州 310029 2. 华南师范大学生物系, 广州 510631)

摘要 通过多类型品种的田间分期播种和人工气候箱控温处理等试验, 对稻米直链淀粉含量(Amylose content, 简称 AC)的形成动态变化特征及灌浆结实期温度的影响效应进行了分析。结果表明, 水稻灌浆结实过程中稻米 AC 的形成动态变化过程可以用三次或二次曲线进行模拟, 灌浆初期籽粒中的 AC 值很低, 随之急剧上升, 至 20~30d 左右达到最大值, 然后 AC 的变化基本趋于稳定。稻米 AC 的形成变化与籽粒干物质积累过程间存在着一定的联系, 但同时也表现出不同的生理生态特征; 灌浆结实期温度对稻米 AC 的影响效应主要表现在从齐穗开始到齐穗后 20d 左右这一时段, 其余时段的作用较小, 且温度对 AC 影响的生态特征与品种本身的 AC 类型有着密切的联系, 而与品种熟性间的关系不甚明显。高 AC 品种一般在较高温度下 AC 可达最大, 低 AC 品种的表现则相反。

关键词 水稻; 直链淀粉含量; 温度

The formation of amylose content in rice grain and its relation with field temperature

CHENG Fang-Min, DING Yuan-Shu, ZHU Bi-Yan (1. Department of Agronomy, Zhejiang, China University, Hangzhou 310029, China; 2. Department of Biology Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract Based on the field experiment with different sowing-date and controlled temperature treatment in the climatic chamber of rice varieties, we analysed the dynamic change characteristics of amylose content (AC) in developing grain and the ecological effects of temperature during the filling period. The result showed that the change trend of AC forming could be simulated by quadratic equation or cubic equation. The AC value was very low at the beginning stage of grain filling, then increased rapidly and the peak of AC was reached in 20~30d. It was stable during the late period of grain filling. AC variation had a close relationship with the dynamic change of the grain dry material accumulation. It was in the stage from the beginning to 20d after full heading, that the temperature had a decisive effect on the AC variation. The varieties with high AC generally reached their maximum AC under higher temperature condition, while low AC variety type was opposite.

Key words rice; amylose content; temperature

文章编号: 1000-093X(2000)04-0177-07 中图分类号: S511.034 文献标识码: A

稻米直链淀粉含量(Amylose content, 简称 AC)是评价稻米蒸煮食味品质优劣的一项重要指标, 受多种生态因子的影响, 其中灌浆结实期的温度对其影响最大, 播期调整及海拔高度不同等引起稻米 AC 的变化均与温度因子的差异有着密切的联系^[1, 2]。Takeda、Normita、周治国等人认为稻米 AC 与温度间的关系

基金项目: 国家自然科学基金(3970085 和 3983250)和中国博士后科学基金资助项目

承蒙西北农业大学沈煜清、张嵩午教授指教, 谨致谢意。

收稿日期: 1998-05-08, 修订日期: 1999-04-15

作者简介: 程方民(1963~), 男, 陕西省韩城市人, 副教授。主要从事水稻生态生理方向研究。

存在着正相关和负相关^[3~5],而贾志宽等则认为灌浆结实期的温度偏高,后期温度偏低有利于稻米 AC 的累积^[6]。近年来一些学者认为温度对稻米 AC 的影响效应可能与品种自身的遗传特征有关^[7~9],但迄今仍对两者间表现出的复杂关系缺乏较为深入的认识。为此,本研究采用田间分期播种试验与人工气候箱控温处理相结合的方法,旨在通过对水稻灌浆结实过程 AC 形成的动态变化及其与灌浆结实期温度间的关系研究,揭示温度对 AC 形成变化产生影响的生态类型特征,为稻米品质的生态改良工作及优质栽培实践提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 田间分期播种试验

试验分别于 1993 年和 1998 年在广州进行,供试品种共计 12 个,包括早籼稻品种 73-07(1998)、湘早籼 3 号、早粳秋光(1998)、农院 7-1、中粳西农 8116、水晶米、广二矮 104、密阳 23(1998)、中粳新稻 68-11、徐州 80-7、晚粳 5001(1998)、晚粳青林 9 号,设 6 个播期,分别为 2 月 27 日(1998 年为 3 月 1 日)、3 月 15 日、3 月 31 日、6 月 22 日、7 月 7 日、7 月 22 日,采用湿润育秧,每批秧苗在 5~6 叶时移栽,株行距为 20cm×13cm,每穴 2 苗,田间常规管理,分别在各品种、播期生长至齐穗时,在田间选取生长基本一致且已开花 1/3~1/2 的稻株主穗及大分蘖挂牌标记,然后每隔 3d(1998 年为 5d)随机 10 穗,杀青后在自然温度下风干测定 AC 值。

1.2 人工气候箱控温试验

使用两台 Koitotron 气候箱,温度处理分别为 33℃(38℃/28℃)和 23℃(28℃/18℃),试验品种 6 个,其中早籼为 73-07、早粳秋光、中粳是水晶米、中粳新稻 68-11、晚粳汕优 63、晚粳青林 9 号,待各品种在田间生长至齐穗时,通过盆栽(2 株/盆)将稻株移入不同温度处理的气候箱中,20d 后每品种中的两盆保持不动,另两盆移入另一气候箱中,这样就可产生齐穗 20d 高温(33℃)~适温(23℃)、齐穗 20d 适温(23℃)~高温(33℃)、灌浆结实期一直高温(33℃)、灌浆结实期一直适温(23℃) 4 种温度处理,两台人工气候箱的温度调节均由本研究设计的程序自动控制,24h 连续运转,具体要求是:14:00 为最高温、6:00 为最低温,相对湿度保持在 75%~85%,风速 0.5m/s,光照时间为 7 月下旬 6:00~20:00,8 月份为 6:00~19:30,9 月份 6:30~19:00,光照强度 3400~37000lx。

1.3 灌浆结实期的田间遮光、剪叶、疏花试验

试验于 1995 年在陕西杨陵进行,试验品种包括早籼 73-07、早粳秋光、中粳水晶米和密阳 23、晚粳 5001,4 月 26 日播种,采用湿润育秧,秧苗在母田长至 4~5 叶龄时移栽,每穴 5~6 苗,移栽后深水护秧,播后第 10 天追 0.3kg/hm² 尿素,以后不再追肥,不晒田不薅秧,湿润管理。分别在各品种生长至齐穗时,随机在田间选取面积约 1~2m² 左右且生长基本一致的稻株若干小块,利用两层纱网(遮光 40%)构成遮光处理,并设自然光强为对照,重复两次,成熟选纱网中部的稻株收获。当穗颈节抽出剑叶鞘 5cm 时,用剪刀沿中脉剪去一半叶片为剪叶处理,从穗顶部相间剪去 1/2 一次枝梗为疏花处理,每品种分别处理 10 穗,样品单独收获。

1.4 样品分析

直链淀粉含量的测定采用碘蓝比色法,按农业部部颁标准 NY147-88 进行,其中对抽穗后 3~9d 样品直链淀粉含量的测定方法是,用镊子将测试样品的谷壳去除,然后用单面刀片刮去糙米表面的糊粉层后进行测定。

2 结果与分析

2.1 水稻灌浆结实过程籽粒中直链淀粉含量的动态变化特征

2.1.1 水稻灌浆结实过程籽粒中直链淀粉含量的动态变化模型 对参试品种各播期直链淀粉含量的变化趋势进行数学模型分析,可以发现,所有参试品种直链淀粉含量随齐穗后天数的变化趋势均可用三次或二次曲线模拟(见表 1),各方程均通过统计显著性检验。

表1 稻米直链淀粉含量(%)随齐穗后天数变化的模拟方程及参数
Table 1 Simulation equation between amylose content in developing rice grain and days after the full heading and its relative parameter

类型 Type	品种 Variety	试验 年份 Year	全结实期 平均天数 Total filling day(d)	回归方程 Regression equation	齐穗至 AC 最大天数 X_{max}	AC 最大值 ¹⁾ Y_{max}	平均积累 速率 ²⁾ Average accum. rates
早籼 Early indica	73-07	1998	26	$Y = 11.39128 + 1.46905X - 0.06013X^2 + 0.00081X^3$	21.96	23.23	1.0578
	湘早籼 3 号 Xiangzaoxian3	1993	26	$Y = 4.20873 + 2.10012X - 0.076774X^2 + 0.000917X^3$	23.98	23.07	0.9525
早粳 Early japonica	秋光 Akihikari	1998	29	$Y = 2.54475 + 1.05735X - 0.02169X^2$	24.73	15.43	0.6238
	农院 7-1 Nongyuan7-1	1993	28	$Y = -0.967258 + 1.643799X - 0.056145X^2 + 0.0063X^3$	26.32	14.91	0.5669
中籼 Middle indica	西农 8116 Xinong8116	1993	34	$Y = 15.572071 + 0.615048X - 0.01585X^2 + 0.000022X^3$	20.26	21.71	0.8365
	水晶米 Shuijingmi	1993	37	$Y = 6.570291 + 0.818894X - 0.014828X^2 + 0.0000049X^3$	28.00	17.08	0.5741
	广二矮 104 Guangerai	1993	31	$Y = 17.41537 + 0.3124X + 0.00251X^2 - 0.000198X^3$	27.56	23.80	0.8636
	密阳 23 Miyang23	1998	35	$Y = 7.80030 + 1.33815X - 0.04422X^2 + 0.00047X^3$	25.49	20.96	0.8223
中粳 Middle japonica	新稻 6811 Xindao6811	1993	33	$Y = 3.074535 + 1.213456X - 0.041124X^2 + 0.00045X^3$	24.90	14.72	0.5902
	徐州 807 Xuzhou807	1993	34	$Y = 2.47615 + 1.1843X - 0.03985X^2 + 0.0004425X^3$	24.36	13.83	0.5677
晚籼 Late undica	50010	1998	40	$Y = 4.84113 + 0.94166X - 0.02671X^2 + 0.00022X^3$	25.94	15.13	0.5832
晚粳 Late japonica	青林 9 号 Qinglin9	1993	48	$Y = 9.75999 + 0.536731X - 0.013296X^2 + 0.000098X^3$	30.40	16.54	0.5374

Y 稻米直链淀粉含量 AC value in the rice grain ;X 齐穗后天数 ;The days after full heading ;1 指从齐穗开始到稻米直链淀粉含量达最大值的天数(d) stand for the days from full heading to maximum AC value 2 平均积累速率 = AC 最大值/齐穗至 AC 达最大值天数 Average accumulating rate was equal to AC maximum/days from full heading to AC maximum

从表 1 中模拟方程的有关参数可见,虽然早、中、晚粳 3 种不同水稻类型的全灌浆结实期的持续天数相差较大,但稻米直链淀粉含量从开始积累到其达到最大值的天数却一般均在 20~30d 左右,普遍要比它们的全灌浆结实期短 3~10d,有的品种如青林 9 号甚至达到 10d 以上,这一结果说明,水稻籽粒中直链淀粉含量形成积累的主要时期是在水稻灌浆结实的前 20~30d 左右,之后籽粒中直链淀粉含量形成变化过程难以表现为 AC 的累积效应;从 AC 的平均积累速率来看,73-07、湘早籼 3 号、广二矮 104 等 3 个高 AC 类型品种要显著高于其它中、低 AC 类型品种,而与品种熟性的关系相对不甚明显。

将表 1 中农院 7-1 和新稻 68-11 的方程作图(图 1、图 2)则可发现,灌浆初期籽粒中的 AC 值很低,随之急剧上升,至 20~25d 左右可达到 AC 的最大值,然后 AC 的变化基本趋于稳定,于是可以把水稻灌浆结实期稻米 AC 的形成变化过程大致分为两个阶段:首先从齐穗开到齐穗后 20~30d 左右,稻米 AC 的形成变化有一近乎线性的增长阶段,在这一阶段稻米 AC 变化速率较大,增加幅度明显;第二阶段是稻米 AC 的相对稳定阶段,当 AC 达最大值以后,稻米 AC 的增长趋势明显,甚至基本稳定;从稻米 AC 的变化速率曲线来看,以灌浆初期 AC 的变化速率最大,然后逐渐下降,最后变为零甚至负值,表现出在水稻灌浆结实前、中期 AC 的变化较为剧烈,而灌浆结实后期稻米 AC 的变化范围不大,至于 AC 变化速率负值的形成,可能是由于灌浆结实中、后期直链淀粉合成的相对速率小于其转化为枝链淀粉速率的缘故。

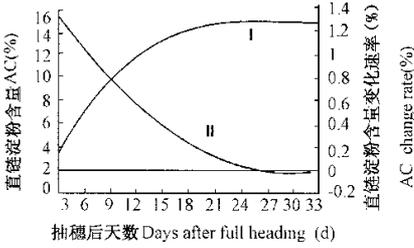


图1 农院 7-1 直链淀粉含量随抽穗后天数的变化趋势 (I)及其变化速率(II)
Fig.1 The AC change tendency (I) and accumulation rate (II) of Nongyuan 7-1

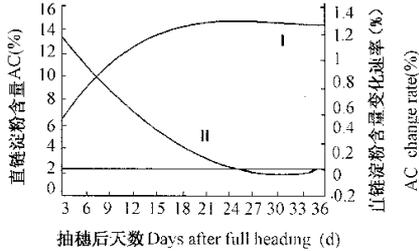


图2 新稻 68-11 直链淀粉含量随抽穗后天数的变化趋势 (I)及其变化速率(II)
Fig.2 The AC change tendency(I) and accumulation rate (II) of Xindao 68-11

2.1.2 稻米直链淀粉含量形成与籽粒干物质积累特征间的关系 对水稻灌浆结实过程中不同时期的 AC 与籽粒千粒重进行相关分析,可以发现,两者间存在着显著或极显著的正相关(相关系数表略),这与前人的研究结论相似^[12,13],说明 AC 的变化和粒重的增加作为籽粒同化产物充实过程中表现的两个方面,在灌浆结实过程中的总体变化趋势基本相同,具体表现为在灌浆结实前中期,随着籽粒干物质积累量的迅速增加,稻米 AC 也呈现出较为剧烈的变化,而在灌浆结实后期两者的变化幅度均不大。但进一步利用灌浆结实期遮光、剪叶及疏花等处理对稻米 AC 与千粒重间关系加以分析(见表 2),则可发现,不同处理对稻米 AC 与粒重的影响存在着明显的差异,表现为千粒重的高低始终与籽粒灌浆充实的“库、源”特征存在着密切的联系,而表 2 中 AC 的变化则较为复杂,与“库、源”特征的关系不甚明显。从表 2 可见,对所有供试品种而言,旨在减少籽粒同化产物供应的遮光、剪叶处理,其千粒重均低于对照处理,而旨在增大单位库容同化产物供应的疏花处理,其千粒重一般都高于对照,而相反,遮光、剪叶、疏花 3 种不同处理下 AC 的变化规律均不甚明显,反映出稻米 AC 的形成变化有着与籽粒干物质积累过程所不同的生理特征。

表 2 灌浆结实期遮光、剪叶、疏花处理下稻米直链淀粉含量(%)和粒重(g,1995 年)

Table 2 AC and grain weight under the treatment of shading sunshine and leaf-cutting spikelet-thinning

品种类型 Variety type	品种 Varity	性状 Traits	处理 Treatment			
			对照 CK	遮光 40% Shading 40%	剪叶 Leaf-cutting	疏花 Spikelet thinning
早籼 Early indica	73-07	千粒重 ^①	19.04	17.19	18.11	22.46
		AC	25.73	25.14	24.82	25.78
早粳 Early japonica	秋光 Akihikari	千粒重	23.17	20.12	20.17	24.24
		AC	16.85	19.17	19.83	20.04
中籼 Middle indica	水晶米 Shuijingmi	千粒重	21.18	20.17	20.21	22.09
		AC	17.53	17.5	18.56	17.62
		千粒重	24.01	21.66	16.98	24.83
晚籼 Late indica	50010	AC	21.50	22.03	22.96	19.86
		千粒重	22.32	20.82	19.07	22.64
		AC	16.52	16.35	16.78	17.11

① Grain weight

2.2 水稻灌浆结实期温度对稻米直链淀粉含量形成动态的影响

2.2.1 灌浆结实期温度对稻米直链淀粉含量影响的积分回归分析 数学模型是：

$$Y = C + \int_0^t \alpha(t)X(t)dt$$

式中, Y 为稻米直链淀粉含量; $\alpha(t)$ 为 t 时刻温度每变化 1℃ 时对稻米直链淀粉含量的影效果, X(t) 为 t 时

刻温度值, C 是常数项。

为便于分析, 将灌浆结实期的温度分为 7 个时段, 每时段 5d, 建立积分回归模型的 3 次项正交展开多项式:

$$Y = C + a_0p_0 + a_1p_1 + a_2p_2 + a_3p_3$$

经对 1993 年田间分期播种试验的 6 个类型品种的计算, 其 $\alpha(t)$ 值见表 3。

表 3 灌浆结实期温度的时段分布对稻米直链淀粉含量的影响效应

Table 3 Effects of the period distribution of temperature during the full heading stage upon AC

品种 Variety	$\alpha(1)$	$\alpha(2)$	$\alpha(3)$	$\alpha(4)$	$\alpha(5)$	$\alpha(6)$	$\alpha(7)$
湘早籼 3 号 ^①	-0.3217	-0.5123	-0.6311	-0.3746	-0.2368	-0.1022	0.0791
农院 7-1 ^②	-0.7340	-0.4251	-0.3482	-0.1639	0.1247	-0.1165	-0.3248
西农 8116 ^③	-0.5542	-0.8313	-0.6122	-0.2143	-0.0912	-0.1946	-0.2462
水晶米 ^④	-0.3106	-0.4861	-0.7546	-0.4325	-0.2946	-0.1413	-0.1187
广二矮 104 ^⑤	-0.3764	0.3682	0.6394	0.4216	0.1683	-0.1381	-0.2163
新稻 68-11 ^⑥	-0.1285	-0.3924	-0.5169	-0.6741	-0.3146	-0.1642	-0.1495
青林 9 号 ^⑦	-0.2738	-0.3929	-0.6183	-0.8974	-0.3253	-0.2345	-0.1219
绝对值平均 ^⑧	0.3856	0.4869	0.5887	0.4540	0.2221	0.1559	0.1795

①Xiangzaoxian3 ②Nongyuan7-1③Xinong8116④Shuijingmi⑤Guangerai104⑥Xindao68-11⑦Qinglin9⑧ABSX

由表 3 可以看出, 7 个品种的直链淀粉含量对灌浆结实期不同时段温度的反应有所不同, 有的呈正效应, 有的呈负效应, 但其 $\alpha(t)$ 的绝对值变化有着明显的规律性, 以 $|\alpha(1)|$ 、 $|\alpha(2)|$ 、 $|\alpha(3)|$ 、 $|\alpha(4)|$ 4 个时段的价值较大, 而 $|\alpha(5)|$ 、 $|\alpha(6)|$ 、 $|\alpha(7)|$ 3 个时段的价值相对较小。由于 $|\alpha(t)|$ 是反映该时段温度对直链淀粉含量影响的效应大小的一个指标, 因而这一现象说明, 水稻灌浆结实期温度对稻米直链淀粉含量的影响主要在灌浆结实的前中期(齐穗后 20d 内左右), 其余时段温度的影响效应则较小。至于正负效应的形成, 是由于灌浆结实期不同时段温度偏离直链淀粉含量累积所需的最佳温度引起的, 与效应值的大小无关。

2.2.2 灌浆结实期不同时段的人工气候箱控温试验 对灌浆结实期不同时段进行不同的人工控温处理, 试验结果证实(见表 4) 高温 20d(33℃)后转入适温(23℃)的处理, 其直链淀粉含量几乎与全灌浆结实期一直高温(33℃)处理的直链淀粉含量高低相等, 与一直适温处理(23℃)的差异较大, 相反, 适温(23℃)处理 20d 后转入高温的所有品种处理一般却与一直适温(23℃)处理相接近, 而与一直高温处理的差异较为显著, 各供试品种类型的表现趋势基本一致。从而可以证实, 水稻灌浆结实期不同时段温度处理对稻米最终直链淀粉含量表现为存在着较大差异, 水稻从齐穗开始到齐穗 20d 左右这一时段, 可能是温度对稻米直链淀粉含量高低产生影响的关键时期, 其余时期的影响效应则不甚明显。

2.3 稻米直链淀粉含量形成与温度间关系的生态类型特征

对稻米直链淀粉含量与齐穗后 20d 内的日平均温度进行回归分析发现(见表 5), 所有品种 AC 的变化均与齐穗后 20d 的日均温度状况有着密切的联系, 复相关系数达显著或极显著水平, 但供试 12 个品种的直链淀粉含量随齐穗后 20d 内的温度变化大致呈现出两种类型: 直线型和曲线型, 对于直线类型品种来讲, 稻米直链淀粉含量随温度的变化呈现着单向的增加或减少趋势, 但其直链淀粉含量随温度的变化趋势究竟是呈现递增还是递减, 则与品种本身的 AC 类型有关, 当灌浆结实期温度升高时, 高 AC 类型品种如 73-07、湘早籼 3 号的直链淀粉含量将进一步增加, 而中、低 AC 类型品种如秋光、西农 8116 和水晶米等却呈现着进一步下降的趋势, 表 5 中二者最高 AC 时的温度分别用“高温”和“低温”表示, 表明品种的最高 AC 值分别出现在高温端和低温端。从品种 AC 对温度影响的反应敏感度来看, 低 AC 类型品种的绝对值一般大于高 AC 类型品种, 可见前者对温度变化的反应更为敏感。从表 5 可见, 广二矮 104、密阳 23、农院 7-1、新稻 68-11 和青林 9 号 5 个品种的 AC 与温度间的关系呈现着的曲线变化, AC 的形成存在着一个最适的温度点, 说明对这类品种而言, 稻米的 AC 值只有在某一温度条件下才能达到最大, 温度过高或过低均不利于稻米直链淀粉的积累, 且温度对 AC 的影响效应与温度的区间范围有关, 同一品种在一定温度区间内稻米的 AC 随温度的升高而增加, 而在另一温度区却随温度的升高呈下降趋势, 表中 AC 对温度影响的敏感度是一个变值, 表示不同温

度下 AC 对温度影响的反应灵敏度不同。不难发现,在这类品种中,高 AC 类型品种广二矮 104,其 AC 达到最大值时的温度是 27.99℃,处在灌浆结实期的偏高温条件下;而其他中、低 AC 类型品种最高 AC 时的温度则均在 20℃以下,AC 的最大值出现在偏低温端,可见这一类型品种与上述直线型品种相似,高 AC 品种一般在较高温度条件下可达到品种最高的 AC 值,而中、低 AC 品种则在偏低温条件下 AC 的值最高。上述现象说明,温度对 AC 影响的生态特征主要与品种固有的 AC 类型有着密切的联系,而与品种熟性间的关系不甚明显。

表 4 灌浆结实期不同时段人工控温处理下稻米直链淀粉含量(%)的变化(1994)
Table 4 AC change of different period treatment during full heading stage under controlled temperature condition in chamber

品种类型 Variety type	品种 Variety	处理 Treatment			
		高温(33℃) High T.	高温 20d ~ 适温 H.T. 20d ~ P.T.	适温 20d ~ 高温 Proper T. 20d ~ H.T.	适温(23℃) Proper T.
早籼 Early indica	73-07	26.11	25.73	23.04	23.54
早粳 Early japonica	秋光 Akihikari	11.15	12.10	15.03	16.84
中籼 Middle indica	水晶米 Shuijingmi	11.42	10.76	15.99	16.72
中粳 Middle japonica	新稻 68-11 Xindao6811	10.24	10.84	15.12	13.85
晚籼 Late indica	汕优 63 Shanyou63	15.59	13.86	20.35	20.49
晚粳 Late japonica	青林 9 号 Qinglin9	9.45	9.61	17.89	17.19

3 讨论

水稻开花后 25 ~ 45d 成熟,早稻 25 ~ 30d,中、晚稻 35 ~ 45d,有的甚至长达 50d,目前把水稻的全灌浆结实期作为温度等环境因子对稻米 AC 影响的时期指标已被有关研究普遍所采用^[1,7,11],然而,前人在研究温度与稻米 AC 间关系时,以水稻全灌浆结实期的温度指标,往往会出现与生产实际或控温试验结果相不吻合的结论^[5,6,12]。据本研究试验结果,水稻灌浆结实过程中 AC 形成主要时期是在水稻齐穗后 20 ~ 30d 内,而温度对稻米 AC 高低产生影响的关键阶段也在水稻齐穗后 20 内,此后阶段的温度变化对稻米在最终 AC 值影响不大。据此笔者认为,以水稻灌浆结实期前 20d 的温度状况来描述温度与稻米 AC 间的关系较水稻全灌浆结实期更为确切。前人在研究温度与稻米 AC 间关系时所得的结论较为混乱或复杂^[3,12],在某种程度上很可能是由于取全灌浆结实期平均温度值掩盖了该时段温度变化对直链淀粉含量影响效应,从而致使两者间的关系不够确切所引起。

本研究关于结实期温度对稻米直链淀粉含量的影响效应的研究结论,与以往研究结果有同有异,其意义在于对不同 AC 类型品种的温度反应型及温度与稻米 AC 间曲线关系的认识,打破了以往研究报道中关于稻米 AC 与温度间呈正(负)相关或不相关的简单结论^[1,9],使两者间的关系更加明确。根据本研究结果,不同 AC 类型品种对温度影响的反应存在着较为明显的规律性,在高温度下高 AC 品种的 AC 值一般进一步增大,而中、低 AC 类型的 AC 值反而却呈进一步降低的趋势,因而高温条件对各种类型品种优质种性(籼稻 17% ~ 22%、粳稻 14% ~ 18%)的发挥均有不利的影响,温度与稻米 AC 间的曲线关系表明,对某一特定品种而言,在一定温度范围内两者呈正相关,而在另一温度区段两者却呈负相关,国内外许多学者的研究结果,在同一试验条件下有的品种 AC 随升高而升高,有的品种则随温度升高而下降^[3,5,10],其原因除与品种的 AC 类型有关外,也可能是因为部分品种温度与 AC 间呈复杂的曲线关系所致。

表 5 稻米直链淀粉含量与齐穗后 20d 内温度间关系的模拟方程及有关参数

Table 5 Simulation equation between AC and temperature in 20d after full heading and its relative parameter

品种类型 Variety Type	品种 Variety	回归方程 Regression equation	最高 AC 时的温度 Temperature at AC maximum	AC 对温度的 敏感度 Sensitivity	复相关系数 R
高 AC High AC	73-07	$Y = 16.4810 + 0.3243X$	高温 High T.	0.3243	0.944**
	湘早籼 3 号 Xiangzaoxian3	$Y = 14.6931 + 0.3512X$	高温 High T.	0.3512	0.911*
中低 AC Middle &low AC	广二矮 104 Guangerai104	$Y = -228.2634 + 30.633X - 1.2148X_2 + 0.0159X_3$	27.99	变值 Variation	0.962**
	秋光 Akihikari	$Y = 26.7855 - 0.4289X$	低温 Low T	-0.4289	0.923**
	农院 7-1 Nongyuan7-1	$Y = -27.4778 + 6.002X - 0.247X_2 + 0.0031X_3$	18.36	变值 Variation	0.981**
	西农 8116 Xinong8116	$Y = 31.6574 - 0.4396X$	低温 Low T	-0.4396	0.961**
	水晶米 Shuijingmi	$Y = 29.8712 - 0.4114X$	低温 Low T	-0.4114	0.935**
	密阳 23 Miyang23	$Y = -109.1746 + 17.4365X - 0.7463X_2 + 0.0102X_3$	19.87	变值 Variation	0.906*
	新稻 68-11 Xindao68-11	$Y = -248.0183 + 37.8546X - 1.7530X_2 + 0.0263X_3$	18.49	变值 Variation	0.947**
	徐州 80-7 Xuzhou80-7	$Y = 25.4799 - 0.4113X$	低温 Low T	-0.4113	0.895*
	50010	$Y = 29.1524 - 0.4963X$	低温 Low T	-0.4963	0.943**
	青林 9 号 Qinglin9	$Y = -37.6021 + 7.4360X - 0.3071X_2 + 0.0038X_3$	18.35	变值 Variation	0.976

Y 稻米直链淀粉含量 AC in rice grain ; X 齐穗后 20d 内日均温度 Average temperature in th 20d after full heading

参考文献

- [1] 周广洽, 谭同兹. 关于稻米直链淀粉含量的研究. 湖南农业科学, 1987(6): 12~16
- [2] 朱旭东. 异季栽培对稻米品质的影响. 中国水稻科学, 1993, 7(3): 25~28.
- [3] Takeda. *Rice physiology*. Japan Agr. Department, Tokyo, 1995.
- [4] Normita cruz. Effect of temperature during grain development on stability of coking quality components in rice. *Japan J breed*, 1989, 39: 292~306.
- [5] 周治国, 孟亚利. 结实期温度与稻米品质关系. 中国水稻科学, 1997, 11(1): 51~54.
- [6] 贾志宽, 朱碧岩. 灌浆结实期气温分布对稻米直链淀粉的累积效应研究. 陕西农业科学 1990(4): 9~13.
- [7] Guang-cen he. Starch property as affected by the temperature during grain development. *Japan journal crop science*, 1990, 58: 340~345.
- [8] 周德翼, 高如嵩. 稻米直链淀粉含量与结实期温度间的关系. 西北农业大学学报, 1994, 22(2): 1~5.
- [9] 李林, 沙国栋. 水稻灌浆结实期温光因子对稻米品质的影响. 中国农业气象, 1989, 10(3): 33~38.
- [10] Shouichi yoshida. Effect of temperature and light on grain filling of indica and japonica under controlled environment condition. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1987, 33(2): 311~316.
- [11] Masako Asaoka. Effect of environment temperature at the milky stage on amylose content and fine structure of amylopectin of waxy and nonwaxy endosperm starches of rice. *Agri. and Bio Chem*, 1985, 49: 373~378.
- [12] 高如嵩, 张嵩午. 稻米品质气候生态基础研究. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994.