

小麦籽粒灌浆特性分析

任红松^{1a}, 朱家辉^{1b}, 艾比布拉^{1a},

宋羽^{1c}, 崔新菊², 曹连莆³

(1 新疆农业科学院 a 科研管理处, b 经济作物研究所, c 品质资源所, 新疆 乌鲁木齐 830000;

2 伊犁州农业科学研究所, 新疆 伊宁 835000;

3 新疆兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆 石河子 832003)

[摘要] 用 Richards 方程对新春 8 号等 6 个春小麦品种籽粒灌浆过程进行了拟合。结果表明, 新春 6 号、新春 9 号和 Geleng 为典型的强、弱势粒异步灌浆型品种; 新春 8 号、宁春 30 号和新陇麦 15 为典型的强、弱势粒同步灌浆型品种。异步灌浆型品种强、弱势粒起始势之间差异较大, 强势粒进入灌浆盛期较弱势粒早; 同步灌浆型品种强、弱势粒起始势之间差异不大。灌浆过程的前期、中期和后期 3 个阶段对总灌浆物质的贡献分别约占 26%, 45%, 29%, 但所需的时间在强、弱势粒和品种间有较大差异。

[关键词] 小麦; 籽粒灌浆; 灌浆特性; Richards 方程; 粒重

[中图分类号] S512.101

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)03-0055-06

小麦籽粒灌浆过程是小麦种子形成中重要的生理过程, 它最终决定小麦籽粒的重量及其产量。对不同小麦品种灌浆特性的准确分析有助于揭示其生理过程的本质, 也有助于对灌浆过程进行合理调控。关于小麦籽粒灌浆过程的数学模型研究已有较多报道, 如彭永欣等^[1]、张晓陇^[2]、蔡庆生等^[3]、郭文善^[4]、高翔等^[5]、Gent 等^[6]和 Borrell^[7]先后用三次多项式模型和 Logistic 方程对小麦籽粒灌浆过程进行了模拟。但前人在研究小麦特别是水稻籽粒灌浆规律时发现^[8], 一些品种开花后同一穗上不同粒位籽粒灌浆不同步, 强势粒子房生长迅速, 进入灌浆盛期早; 弱势粒子房灌浆开始生长很慢, 经相当长时间后才迅速灌浆。因此, 用三次多项式和 Logistic 方程模拟小麦籽粒灌浆过程存在与实际情况不相符的问题, 且模型参数的生物学解释也存在困难。为此, 朱庆森等^[9]用 Richards 方程模拟了水稻籽粒灌浆过程, 并根据强、弱势粒的灌浆参数对长江中下游地区的籼粳品种和籼型杂交组合进行了同步和异步灌浆类型划分。袁继超等^[10]应用该模型研究了源库关系对水稻籽粒灌浆特性的影响; 郭文善等^[11]、周竹青等^[12]也用类似方法探讨了小麦不同粒位籽粒胚乳细胞增殖动态及其与粒重、体积的关系。本研究对新

春 6 号、新春 8 号、新春 9 号、新陇麦 15、宁春 30 号、Geleng 6 个春小麦品种籽粒增重过程进行了测定, 用 Richards 方程模拟了籽粒灌浆过程, 并对由方程导出的一系列参数进行了深入分析, 以为小麦高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种

新春 6 号、新春 8 号、新春 9 号、新陇麦 15、宁春 30 号、Geleng。

1.2 试验设计

试验于 2002 年在石河子大学农学系试验站进行。完全随机区组设计, 3 次重复。小区行长 1 m, 行距 20 cm, 株距 3 cm, 5 行区。全生育期管理同常规大田。

1.3 测定项目

开花后选同一天开花、生长整齐一致的麦穗拴线标记。从开花后第 3 天开始取样, 以后每隔 3 d 取样 1 次, 直至成熟为止。每品种每重复每次取 5 穗带回室内, 每穗取中部小穗第一、二小花的籽粒作为强势粒, 其余作为弱势粒。所取籽粒迅速于 120 ℃ 杀青 30 min, 65 ℃ 烘干至衡重。用电子天平称重, 换算成

[收稿日期] 2005-07-08

[基金项目] 新疆生产建设兵团农业科学研究与技术开发计划项目(NKBOZSDXNK12P2)

[作者简介] 任红松(1977—), 男, 新疆尉犁人, 硕士, 主要从事作物遗传育种和农业科技管理研究。

[通讯作者] 曹连莆(1939—), 男, 新疆石河子人, 教授, 博士生导师, 主要从事作物遗传育种研究。

千粒重,取 3 次重复的平均值用于方程的拟合。

1.4 籽粒增重模型及参数意义

以开花后天数(t)为自变量,每次所得千粒重(W)为依变量,用 Richards 方程进行拟合。

$$W = \frac{A}{(1 + be^{-kt})^{1/N}}, \quad (1)$$

式中, A 为终极生长量(g/1 000 粒); b 为初值参数; k 为生长速率参数; N 为形状参数。当 $N=1$ 时,(1) 式变为 Logistic 方程,此时生长速率达到最大值的拐点位于 $1/2A$ 处;当 $N<1$ 时,生长速率达到最大值的拐点小于 $1/2A$,籽粒发育初值小,前期增重缓慢,中后期则会补偿超出;当 $N>1$ 时,生长速率达到最大值的拐点大于 $1/2A$,籽粒发育初值较大,前中期籽粒增重平稳增加,后期增重缓慢。对 Richards 方程求一阶导数,得灌浆速率 GR 方程:

$$GR = \frac{dW}{dt} = \frac{Akbe^{-kt}}{N(1 + be^{-kt})^{(N+1)/N}} = \frac{k}{N} \cdot \frac{A}{(1 + be^{-kt})^{1/N}} \cdot \frac{e^{-kt}}{1 + be^{-kt}} = \frac{kW}{N} \left[1 - \left(\frac{W}{A} \right)^N \right]. \quad (2)$$

对灌浆速率方程 GR 求一阶导数(即对 Richards 求二阶导数),得灌浆速率变化率 GR' 方程:

$$GR' = \frac{d^2W}{dt^2} = \frac{Ak^2be^{-kt}}{N^2(1 + be^{-kt})^{(2N+1)/N}} \cdot (be^{-kt} - N), \quad (3)$$

当 $GR'=0$ (即 $be^{-kt}-N=0$)时求得的 t 值即为灌浆速率达到最大值的时间 $t_{\max, GR}$,也是灌浆物质累积曲线拐点出现的时间,即

$$t_{\max, GR} = \frac{\ln b - \ln N}{k}, \quad (4)$$

将(4)式代入(1)式即可得灌浆速率达到最大值时的生长量:

$$W_{\max, GR} = \frac{A}{(1 + b \exp(-kt_{\max, GR}))^{1/N}} = \frac{A}{A(1 + N)^{-1/N}}. \quad (5)$$

同时,将(4)式代入(2)式求得最大灌浆速率为

$$GR_{\max} = \frac{Abk \exp(-kt_{\max, GR})}{N(1 + b \exp(-kt_{\max, GR}))} = \frac{Ak(1 + N)^{-(N+1)/N}}{N}. \quad (6)$$

生长速率方程有两个拐点,令其对 t 的二阶导数为零时,可得到两个拐点在 t 坐标上的 t_1 和 t_2 值:

$$t_{1,2} = \ln \left[\frac{N^2 + 3N \mp N \sqrt{N^2 + 6N + 5}}{2b} \right] / k. \quad (7)$$

同时假定灌浆达 99% A 时为实际灌浆终期 t_3 ,由(1)式解得

$$t_3 = -\ln \left[\frac{(100/99)^N - 1}{b} \right] / k. \quad (8)$$

据此可将整个灌浆过程划分为前期($0-t_1$)、中期(t_1-t_2)和后期(t_2-t_3)3 个时期。根据各期持续时间和灌浆物质积累量,计算各期的平均灌浆速率 $\overline{GR}_1$, $\overline{GR}_2$, $\overline{GR}_3$ 和贡献率 P_1, P_2, P_3 。灌浆起始生长势 $R_0 = k/N$,活跃灌浆期(大约完成总生长量的 90%) $D = \frac{2(N+2)}{k}$,灌浆速率最大时的生长量与籽粒终极生长量的比值 $I/\% = \frac{W_{\max, GR}}{A} \times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 小麦强、弱勢粒的灌浆参数

2.1.1 起始生长势 籽粒灌浆起始生长势大小反映了其子房的生长潜力。 R_0 值大,则胚乳细胞分裂周期短,分裂速度快,籽粒灌浆启动早; R_0 值小,则籽粒灌浆启动推迟,进入灌浆盛期延长; R_0 值过小,则胚乳细胞不能正常发育,籽粒灌浆过程趋于停止。由表 1 可见,各品种强势粒起始生长势均大于弱勢粒,且新春 6 号、新春 9 号和新春 8 号强势粒起始生长势之间差异显著,说明强势粒灌浆启动较弱勢粒早,优先得到光合产物。就不同小麦品种而言,新陇麦 15、新春 9 号和新春 8 号起始生长势较大;新春 6 号、Genleg 较小;宁春 30 号最小。

2.1.2 籽粒大小 A 为模拟灌浆过程中的终极生长量, A 值的变化基本与灌浆结束时籽粒重量的变化相一致。由表 1 可知,各品种强势粒的终极生长量 A 均大于弱勢粒,其中新春 6 号、新春 9 号和新陇麦 15 强、弱勢粒终极生长量差异较大(千粒重相差大于 8 g),其余品种强、弱勢粒间差异较小,表明新春 6 号、新春 9 号和新陇麦 15 这 3 个品种的灌浆物质较为充足,在强势粒得到充分充实的同时,弱勢粒也得到了较好的充实。

2.1.3 灌浆速率达到最大值的时间 $t_{\max, GR}$ 由表 1 可见,不同品种以及同一品种强、弱勢粒灌浆速率达到最大值的时间 $t_{\max, GR}$ 有明显的规律性,即起始生长势大的品种达到最大灌浆速率的时间较起始生长势较小的品种早,同一品种强势粒达到最大灌浆速率的时间较弱勢粒早;Glenleg、新春 9 号和新春 6 号强、弱勢粒达到最大灌浆速率的时间相差较大(接近 3 d),其余品种强、弱勢粒之间差异较小。

2.1.4 活跃灌浆期 活跃灌浆期是指籽粒从灌浆开始到大约完成总生长量 90%所经历的时间。由表 1 可以看出,各小麦品种强势粒活跃灌浆期均大于弱势粒,但时间间隔在品种间有一定差异。从全穗来看,新春 8 号、新春 6 号和新陇麦 15 活跃灌浆期较长,其余品种较短。

2.1.5 其他参数 从 I 和 $W_{\max,GR}$ 值大小可以看

出,各品种及其同一品种强、弱势粒在灌浆速率达到最大时积累的干重占籽粒最终重量的 50%左右;强势粒最大灌浆速率 $GR_{\max}$ 一般大于弱势粒,但粒位间差异不大;而平均灌浆速率 $\overline{GR}$ 在异步灌浆型品种中为强势粒小于弱势粒,在同步灌浆型品种中为强势粒大于弱势粒。

表 1 6 个小麦品种籽粒灌浆的 Richards 方程参数值
Table 1 Parameters of Richards equation for grain-filling of 6 wheat varieties

品种 Variety	粒位 Grain position	A	b	k	N	R^2	R_0	$t_{\max,GR}$	$W_{\max,GR}$	$GR_{\max}$	$\overline{GR}$	D	$I/\%$
新春 6 号 Xinchun 6	强势粒 SG	61.84	10.238	0.190 5	0.529 2	0.999 7	0.360 1	15.55	27.71	3.45	1.56	26.55	44.82
	弱势粒 IG	50.69	1 342.702	0.344 8	2.001 5	0.999 8	0.172 3	18.88	29.27	3.36	1.57	23.21	57.74
	全穗 WP	54.45	136.106	0.265 4	1.210 2	0.999 7	0.219 3	17.79	28.27	3.40	1.55	24.19	51.93
新春 8 号 Xinchun 8	强势粒 SG	59.29	17.963	0.218 8	0.683 4	0.999 5	0.320 1	14.94	27.67	3.60	1.65	24.53	46.67
	弱势粒 IG	54.32	55.256	0.257 9	0.920 2	0.999 3	0.280 3	15.88	26.73	3.59	1.61	22.64	49.21
	全穗 WP	57.88	26.162	0.229 0	0.762 5	0.999 3	0.300 3	15.44	27.53	3.58	1.63	24.13	47.56
新春 9 号 Xinchun 9	强势粒 SG	52.69	6.782	0.194 9	0.353 3	0.999 8	0.551 6	15.16	22.38	3.22	1.36	24.15	42.47
	弱势粒 IG	42.67	1 664.25	0.380 9	1.907 0	0.999 5	0.199 8	17.78	24.39	3.20	1.43	20.51	57.14
	全穗 WP	46.74	67.892	0.273 7	0.883 5	0.999 5	0.309 8	15.86	22.83	3.32	1.43	21.07	48.84
新陇麦 15 Xinlong-mai 15	强势粒 SG	60.89	12.073	0.206 2	0.526 3	0.999 2	0.391 8	15.20	27.27	3.68	1.62	24.51	44.78
	弱势粒 IG	52.72	40.402	0.252 8	0.774 7	0.999	0.326 4	15.64	25.15	3.58	1.56	21.95	47.69
	全穗 WP	56.74	20.450	0.222 9	0.650 6	0.999	0.342 5	15.47	26.27	3.55	1.57	23.79	46.29
宁春 30 号 Ningchun 30	强势粒 SG	51.57	733.581	0.371 9	2.032 2	0.999 9	0.183 0	15.83	29.88	3.67	1.83	21.68	57.93
	弱势粒 IG	46.35	2369.452	0.411 2	2.306 5	0.999 8	0.178 3	16.86	27.60	3.43	1.65	20.95	59.54
	全穗 WP	48.44	1 076.490	0.378 6	2.133 5	0.999 9	0.177 5	16.44	28.36	3.43	1.70	21.83	58.55
Glenleg	强势粒 SG	54.16	24.496	0.244 4	0.684 4	0.999 8	0.357 1	14.64	25.28	3.67	1.62	21.97	46.68
	弱势粒 IG	49.29	12 936.13	0.461 5	2.711 3	0.998 6	0.170 2	18.35	30.39	3.78	1.74	20.42	61.65
	全穗 WP	51.30	147.861	0.307 4	1.205 5	0.999 4	0.255 0	15.64	26.62	3.71	1.68	20.85	51.89

注:SG,强势粒;IG,弱势粒;WP,全穗; R^2 ,决定系数; $\overline{GR}$,平均灌浆速率。下表同。
Note:SG, Superior grains; IG, Inferior grains; WP, Whole panicle; R^2 , Determinations; $\overline{GR}$, Average grain-filling rate.

2.2 不同小麦品种籽粒灌浆类型的划分

Richards 方程生长曲线是由 N 值大小决定的一簇曲线,当 $0 < N < 1$ 时,生长速率达到最大值时的位置(即曲线拐点)在 $0.367 9 \sim 0.5A$,灌浆速率曲线左偏;当 $N = 1$ 时,即为 Logistic 方程,曲线拐点在 $0.5A$ 处;当 $N > 1$ 时,曲线拐点大于 $0.5A$,并随 N 的增大而逐渐接近于 A ,灌浆速率曲线右偏。由图 1 可以看出,新春 6 号、新春 9 号和 Geleng 强势粒 $0 < N < 1$,灌浆速率曲线左偏;弱势籽 $N > 1$,灌浆速率曲线右偏。强势粒起始生长势高,开花后在较短时间内达到最大灌浆速率,而弱势籽起始生长势低,开花受精后在相当长一段时间增重缓慢,待强

势粒生长速率下降到十分微弱时才开始加速灌浆,进入生长高峰期,且最终粒重相差很大,为强、弱势粒异步灌浆型品种(简称异步灌浆型)。从灌浆速率曲线形状、达到最大灌浆速率的时间以及最终粒重来看,新春 8 号和新陇麦 15 两个品种强、弱势粒生长特性相似,为同步灌浆型品种(简称同步灌浆型)。宁春 30 号的 $N > 1$,灌浆速率曲线右偏,起始生长势明显低于其他品种,开花后较长时间才能达到灌浆高峰;强、弱势粒 N 值相差不大,灌浆时间近于同步,且最终粒重相差也不大,因此宁春 30 号的强、弱势粒的灌浆类型也为同步灌浆型。

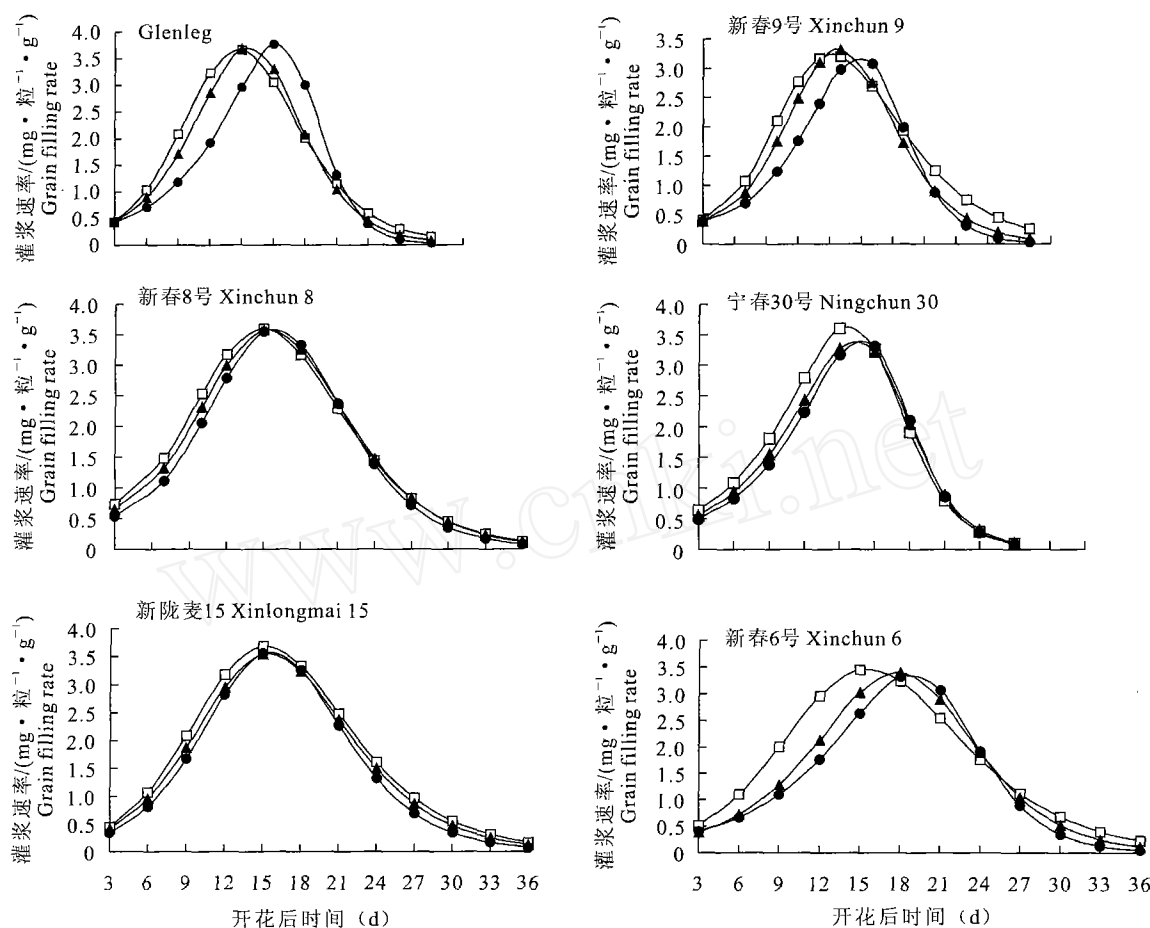


图 1 6 个春小麦品种强、弱勢粒和全穗的平均灌浆速率曲线

—□—, 强势粒; —●—, 弱勢粒; —▲—, 全穗

Fig. 1 The average grain filling rate curve of SG, IG and WP for 6 Spring wheat varieties

—□—, Superior grains; —●—, Inferior grains; —▲—, Whole panicle

2.3 灌浆时段的划分及其灌浆特征

由表 2 可见,前期、中期和后期 3 个时期对总灌浆物质的贡献分别约占 26%, 45%, 29%; 各期灌浆持续时间在粒位间有较大差异, 平均而言, 强势粒前期 6 d, 中期 10.2 d, 后期 19.4 d, 弱勢粒前期 15.1 d, 中期 8.7 d, 后期 7.2 d; 各期平均灌浆速率大小顺序为强势粒中期 ($2.175 \text{ mg}/(\text{粒} \cdot \text{d})$) > 后期 ($1.243 \text{ mg}/(\text{粒} \cdot \text{d})$) > 前期 ($0.732 \text{ mg}/(\text{粒} \cdot \text{d})$), 弱勢粒为中期 ($2.467 \text{ mg}/(\text{粒} \cdot \text{d})$) > 前期 ($1.295 \text{ mg}/(\text{粒} \cdot \text{d})$) > 后期 ($0.603 \text{ mg}/(\text{粒} \cdot \text{d})$); 另外, 各品种不同阶段灌浆所需时间和贡献率比例也有一定差异。

2.4 籽粒灌浆参数与千粒重的相关分析

相关分析结果表明, 异步灌浆型品种 (新春 6 号、新春 9 号和 Glenleg) 强势粒的千粒重除与前期灌浆持续时间和后期平均灌浆速率呈负相关 (相关

系数分别为 -0.256 和 -0.044) 外, 与 3 个阶段的其他灌浆参数均呈正相关, 且与中期灌浆持续时间相关极显著 (相关系数为 0.843^{**}); 弱勢粒的千粒重与中期平均灌浆速率和后期灌浆持续时间、平均灌浆速率呈负相关, 与中期灌浆持续时间和前期灌浆持续时间、平均灌浆速率呈正相关, 且与前期两参数达到极显著和显著水平 (相关系数分别为 0.882^{**} 和 0.755^{*})。强势粒由于起始生长势高, 胚乳细胞分裂周期短, 分裂速度快, 籽粒灌浆启动早, 前期所需时间短, 进入灌浆盛期 (中期) 快; 而弱勢粒起始生长势低, 灌浆启动晚, 前期灌浆持续时间长。因此, 从强弱势粒发育特点、灌浆特性以及相关参数与千粒重的关系来看, 异步灌浆型品种有利于高产、稳产。同步灌浆型品种 (新春 8 号、新陇麦 15 和宁春 30 号) 强弱势粒 3 个阶段灌浆参数, 除强势粒中期平均灌浆速率与千粒重相关不显著 (相关系数为一

0.235)外,其余参数与千粒重相关均达到极显著水平(相关系数均在0.851**以上),且强弱势粒灌浆前期灌浆持续时间、平均灌浆速率与千粒重呈负相关。研究表明^[2],籽粒生长前期(第一阶段)主要是籽粒形成和胚乳细胞分裂阶段,此阶段产量库容基本建成,对籽重形成尤为重要。从本试验划分的3个同步灌浆型品种各阶段强弱势粒灌浆参数与千粒重的相关性质和相关大小来看,前期灌浆持续时间与千

粒重呈极显著负相关,前期持续时间短,影响胚乳细胞的充分分裂和大库容量籽粒的形成,从而导致中、后期光合产物积累过剩,影响产量的提高。从试验所在地区小麦灌浆期间气候影响因素看,灌浆后期易受干热风的影响。因此,在后期持续灌浆时间和平均灌浆速率与强弱势粒千粒重极显著相关情况下,该灌浆型品种的高产稳产势必受到一定程度的影响。

表2 不同粒位、不同灌浆阶段持续时间、平均灌浆速率及占最终粒重百分比

Table 2 Grain-filling duration, average rate and percentage of different stages in different grain positions

品种 Variety	粒位 Position	前期(0~t ₁) First grain-filling			中期(t ₁ ~t ₂) Middle grain-filling			后期(t ₂ ~t ₃) Late grain-filling		
		灌浆持续 时间/d Duration	平均灌浆 速率/ (mg· 粒 ⁻¹ · d ⁻¹) Average rate	贡献率/% Percent- age	灌浆持续 时间/d Duration	平均灌浆 速率/ (mg· 粒 ⁻¹ · d ⁻¹) Average rate	贡献率/% Percent- age	灌浆持续 时间/d Duration	平均灌浆 速率/ (mg· 粒 ⁻¹ · d ⁻¹) Average rate	贡献率/% Percent- age
新春6号 Xinchun 6	强势粒 SG	2.73	0.56	2.47	12.27	1.98	39.30	24.67	1.43	57.23
	弱势粒 IG	18.36	1.50	54.30	9.09	2.28	40.87	4.74	0.41	3.83
	全穗 WP	14.05	1.17	30.13	10.37	2.91	55.36	10.69	0.69	13.50
新春8号 Xinchun 8	强势粒 SG	5.88	0.74	7.34	11.15	2.75	51.80	18.91	1.25	39.86
	弱势粒 IG	10.22	0.93	17.54	10.03	3.13	57.78	13.45	0.96	23.69
	全穗 WP	7.63	0.80	10.55	10.88	2.94	55.16	17.00	1.13	33.29
新春9号 Xinchun 9	强势粒 SG	2.19	0.20	0.83	7.97	0.96	14.56	28.60	1.54	83.60
	弱势粒 IG	17.11	1.30	52.15	8.12	2.23	42.45	4.60	0.41	4.40
	全穗 WP	10.27	0.72	15.88	9.37	2.87	57.54	13.01	0.92	25.58
新陇麦15 Xinlongmai 15	强势粒 SG	3.30	0.44	2.41	11.33	2.09	38.97	22.86	1.53	57.62
	弱势粒 IG	8.68	0.67	11.07	9.88	2.96	55.53	15.26	1.12	32.40
	全穗 WP	6.18	0.56	6.13	10.86	2.61	49.86	19.06	1.28	43.01
宁春30号 Ningchun 30	强势粒 SG	15.41	1.84	54.97	8.46	2.46	40.37	4.30	0.44	3.67
	弱势粒 IG	16.96	1.65	60.26	7.93	2.12	36.27	3.13	0.37	2.47
	全穗 WP	16.23	1.70	57.05	8.43	2.23	38.78	3.90	0.39	3.17
Glenleg	强势粒 SG	6.54	0.61	7.38	9.99	2.81	51.85	16.92	1.27	39.77
	弱势粒 IG	18.97	1.72	66.36	7.41	2.08	31.29	1.91	0.35	1.35
	全穗 WP	12.39	1.24	29.94	8.94	3.18	55.44	9.26	0.75	13.62

3 结论与讨论

(1)描述籽粒增重的模型很多,本研究应用Richards方程^[13]模拟了6个春小麦品种的籽粒灌浆过程。通过对各品种强、弱势粒灌浆参数以及灌浆速率曲线的分析表明,新春6号、新春9号和Glenleg品种强势粒起始生长势较大,灌浆速率曲线左偏;弱势粒起始生长势较小,灌浆速率曲线右偏,为典型的异步灌浆型品种。新春8号、宁春30号和新陇麦15品种起始生长势在强、弱势粒间差异不大,灌浆时间上也趋于同步,为典型的同步灌浆型品种。

(2)本试验研究认为,供试的6个品种中异步灌浆型品种有利于高产和稳产,但籽粒灌浆是个复杂的过程,易受外界环境因素的影响。因此,可以通过追肥和灌溉来保证充足的养分供应,在返青拔节期可根据苗情及土壤肥力基础,适当进行追肥,必要时

在灌浆初期进行叶面喷肥和浇灌浆水,以延长旗叶和倒二叶的功能期,适当减少灌浆前期持续时间,增加中期和后期的持续时间,以达到提高粒重的目的。在籽粒灌浆前期形成大库容是实现高产的先决条件,而在灌浆中期向库容中调运库容物质(即光合产物)是保证高产的基础。就本试验划分的同步灌浆型品种而言,可以根据种植地区灌浆期间温度等气象因素情况,通过改变播期(目的是让灌浆前期胚乳细胞分裂和库容建成时温度适中)和灌浆初期适度干旱胁迫,以延长前期持续时间,加大胚乳细胞分裂数量,提高库容,增加光合产物的积累量,从而实现高产稳产。

(3)关于籽粒灌浆类型的划分,周竹青等^[14]根据小麦籽粒灌浆Richards方程的形状参数 N 值($N=1$ 时为Logistic曲线)的大小,将供试品种强弱势粒的灌浆类型划分为同步灌浆型(强弱势粒的 $0<$

$N < 1$, 灌浆速率曲线左偏)和异步灌浆型(强势粒的 $0 < N < 1$, 灌浆曲线左偏, 弱势粒的 $N > 1$, 灌浆曲线右偏)。本试验根据模拟的籽粒灌浆 Richards 方程的形状参数 N 值, 将供试的 6 个品种划分为同步灌浆型和异步灌浆型。但从划分指标来看, 用不同品种强弱势粒间起始生长势的差异和强弱势粒灌浆速率达到最大值的时间差划分同、异步灌浆类型, 较形状参数 N 值更具规律性, 即异步灌浆型品种强弱势粒的起始生长势和灌浆速率达到最大值的时间差扩

大, 且差异显著, 而同步灌浆型缩小, 差异不明显。由于受品种灌浆特性差异和环境、气候等因素的影响, 划分标准还有待于进一步商榷。

(4) 由于不同品种灌浆特性的差异受栽培措施和外界环境气候因素的影响, 本试验得出的不同灌浆型品种籽粒灌浆特性与产量的关系只是初步结论, 值得进一步验证。另外, 有关小麦籽粒不同灌浆型与小麦籽粒品质及种子整齐度、饱满度等外观性状的关系还有待于进一步研究。

[参考文献]

- [1] 彭永欣, 郭文善, 封超年. 小麦籽粒生长特性分析[J]. 江苏农学院学报, 1992, 13(3): 9-15.
- [2] 张晓陇. 小麦品种籽粒灌浆研究[J]. 作物学报, 1982, 8(2): 87-93.
- [3] 蔡庆生, 吴兆苏. 小麦籽粒生长各阶段干物质积累量与粒重的关系[J]. 南京农业大学学报, 1993, 16(1): 27-32.
- [4] 郭文善. 小麦栽培与生理[M]. 南京: 东南大学出版社, 1992.
- [5] 高翔, 董剑, 庞红喜. 小麦高产品种籽粒灌浆与粒重的关系[J]. 西北农业学报, 2002, 11(3): 33-35.
- [6] Gent M P N, Kiyomoto R K. Assimilation and distribution of photosynthate in wheat cultivars differing in harvest index[J]. Crop Science, 1989, 29(1): 120-125.
- [7] Borrell A K. Partitioning of dry matter and the deposition and use of stem reserves in a semi-dwarf wheat crop[J]. Ann of Bot, 1989, 63: 527-537.
- [8] 朱庆森, 曹显祖. 杂交水稻南优 3 号籽粒发育动态研究[J]. 中国农业科学, 1981(1): 43-47.
- [9] 朱庆森, 曹显祖. 水稻籽粒灌浆的生长分析[J]. 作物学报, 1988, 14(3): 182-192.
- [10] 袁继超, 丁志勇, 俄胜哲, 等. 源库关系对水稻籽粒灌浆特性的影响[J]. 西南农业学报, 2005, 18(1): 15-19.
- [11] 郭文善, 周振新. 小麦籽粒胚乳细胞增殖动态及其与粒重的关系[J]. 江苏农学院学报, 1997, 18(3): 15-20.
- [12] 周竹青, 朱旭彤. 小麦籽粒胚乳细胞增殖动态及其与粒重和体积的关系[J]. 麦类作物学报, 2003, 23(2): 57-59.
- [13] Richards F J. A flexible growth function for empirical use[J]. Journal of Experimental Botany, 1959, 10(29): 290-300.
- [14] 周竹青, 朱旭彤, 王维金. 用 Richards 方程模拟三个典型小麦品种的灌浆过程[J]. 湖北农业科学, 2001(6): 26-28.

Analysis on grain filling characteristics of wheat variety

REN Hong-song^{1a}, ZHU Jia-hui^{1b}, AIBIBULA^{1a}, SONG Yu^{1c}, CUI Xin-ju², CAO Lian-pu³

(1 a Scientific Administration Division, b Institute of Industrial Crops;

c Institute of Crop Germplasm Resource of Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830000, China;

2 Institute of Yili Agricultural Sciences, Yining, Xinjiang 835000, China;

3 Key Laboratory of Ecology Agriculture of Xinjiang Corps, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: The Richards equation was used to describe grain filling processes of six Spring wheat varieties including Xinchun 8. The determinations of all fitted equations were very high. Analysis of parameters revealed grain-filling characteristics of the wheats. These wheat varieties had different grain sizes, grain filling rates and gaps between superior and inferior grain positions. Xinchun 6, Xinchun 9 and Geleng were typical asynchronous type; but Xinchun 8, Ningchun 30 and Xinlongmai 15 were typical synchronous ones. The differences of R_0 of asynchronous between superior and inferior grain positions were significant, and its vigorous filling phase was early. However, the differences of R_0 of synchronous between superior and inferior grain positions were not significant. Three stages of grain filling contributed about 26%, 45%, 29% of the final dry weight respectively, But the time needs for three stages were variant for grain positions among wheats.

Key words: wheat; grain filling; filling characteristics; richards equation; grain weight