DOI:10.15933/j.cnki.1004-3268.2008.11.019
河南农业科学

黑小麦籽粒灌浆动态变化研究

车永和,杨燕萍,刘丽红,张吉军
(河北科技师范学院 农学系,河北 秦皇岛 066600)

摘要:运用三次多项式对黑小麦灌浆过程中籽粒体积、鲜重和干重的动态变化进行了研究,探讨了黑小麦籽粒灌浆特性。结果表明:黑小麦材料蓝粒58和紫选1号小麦的有效灌浆期较对照小麦品种京冬8号长。参试的3个小麦材料除籽粒体积动态变化差异较大外,鲜重和干重的动态变化差异较小。蓝粒58和紫选1号的百粒体积的平均增长速率、最大增长速率和籽粒干重的增长均低于对照小麦京冬8号。蓝粒58和紫选1号小麦快速增长期期间有相似的变化曲线。通过育种改良或采取有效栽培措施以提高黑小麦灌浆速度,缩短持续时间,是今后在育种和栽培上能更好的发挥黑小麦的产量潜力和优势的一个有效途径。

关键词:黑小麦;籽粒;灌浆动态变化
中图分类号:S512.1　　文献标识码:A　　文章编号:1004-3268(2008)11-0033-04

Dynamic Changes of Grain Filling in Black-kernel Wheat

CHE Yong-he, YANG Yan-ping, LIU Li-hong, ZHANG Ji-jun
(Department of Agronomy, Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao 066600, China)

Abstract: The aim of the research is to analyze the grain filling dynamic changes of black-kernel wheat, and further give suggestions to the black kernel wheat breeding and cultivation. The grain volume, the fresh weight and the dry weight dynamic changes of Blue grain No. 58, Purple selection No. 1 and Jingdong No. 8 (CK) were investigated, and then simulated by the cubic multinomial equation. The result indicated that the grain filling period of two black kernel wheats was longer than that of CK. The differences of dynamic change in fresh weight and dry weight were smaller than in grain volume among the three varieties. The maximum and average increasing rates of grain volume and grain dry weight in black kernel wheat were smaller than in CK. Blue grain No. 58 and Purple selection No. 1 presented the similar dynamic change curve during the fast grain-filling period. For the breeding and cultivation of black kernel wheat, it is important to improve the grain filling rate and shorten the grain filling period.

Key words: Black kernel wheat; Grain filling; Dynamic change

黑小麦是普通小麦(*Triticom aestivom* L.)中籽粒性状比较特殊的一类小麦,其籽粒呈蓝色或紫色或是二色混而有之。此类小麦具有蛋白质含量丰富、必需氨基酸比例高、含有大量的膳食纤维、部分有益矿物质元素等特点。近几年,黑小麦以其自然性、营养性、功能性和科学性日益受到人们的青睐[1~6]。

目前,针对黑小麦籽粒灌浆动态研究还未见相

收稿日期:2008-05-25
基金项目:重大基础研究前期研究专项子项目(2005CCA02300-3);河北省教育厅重点项目(ZH2006001);河北科技师范学院博士基金资助
作者简介:车永和(1970-),男,青海互助土族自治县人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事作物种质资源研究利用与麦类作物遗传育种工作。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

关报道。为此，本研究分别从籽粒体积、籽粒鲜重和籽粒干重三方面对黑小麦籽粒灌浆动态过程进行分析，以了解黑小麦的灌浆特性，从而为黑小麦栽培和育种提供一定的理论借鉴。

1 材料和方法

1.1 试验材料

黑小麦采用笔者所收集保存的蓝粒和紫粒小麦为试验材料，代号为蓝粒 58、紫选 1 号，并以当地主栽小麦品种京冬 8 号为对照。

1.2 田间设计和取样方法

试验于 2006 年在河北科技师范学院农学试验站进行，选用地力较均匀的田块种植。田间设置时采用小区种植，随机排列。每一材料种一小区，每小区 10 行，南北向种植，行长 2m，行宽 0.25 m。田间管理同大田。

在小麦开花盛期采用植株挂牌的方法准确标记小麦开花期一致材料，从开花当天开始，每隔 3d 取一次样，直至小麦成熟。上午 8:00 前取样，每一材料取 5 株，沿地表剪去，带回实验室，测定各项指标。

1.3 指标测定方法

手工迅速剥粒，放入称量杯，称鲜重。运用排水法测量小麦籽粒体积。籽粒 105 ℃杀青 1h 后，65 ℃烘干至恒重后测定籽粒干重。

1.4 数据处理

对籽粒体积、鲜重和干重的变化动态分别用一元三次正交多项式 $y=a+bx+cx^2+dx^3$ 进行拟合。数据统计分析用分析统计软件 DPS 完成，部分数据采用 Excel 处理。

2 结果与分析

2.1 不同品种籽粒的灌浆性能

由表 1 可知，对照京冬 8 号的最大鲜籽粒体积和成熟干籽粒体积均高于蓝粒 58 和紫选 1 号，但其饱满指数低于两黑小麦材料。从最大鲜粒重和最大干粒重变化量来看也以京冬8号的最大(3.573)，说明其籽粒的充实度小于蓝粒 58 和紫选 1 号。

表 1 参试材料籽粒的灌浆性能

品种	百粒最大鲜籽粒体积（cm^3）	百粒成熟干籽粒体积（cm^3）	百粒最大籽粒鲜重（g）	百粒最大籽粒干重（g）	穗粒数（粒）	饱满指数（%）
蓝粒 58	6.801	4.473	7.875	4.216	51.69	65.770
紫选 1 号	7.210	4.525	7.704	4.638	46.13	62.760
京冬 8 号	9.035	5.012	8.060	4.487	44.74	55.473

注：饱满指数= 成熟干籽粒的体积/ 最大鲜籽粒的体积× 100%

2.2 不同黑小麦品种籽粒体积动态变化比较

在籽粒生长发育过程中，体积的变化状况影响着籽粒的充实状况。通过用三次多项式对籽粒体积进行拟合，得到不同小麦品种花后籽粒体积变化的拟合方程，见表2。从表2可知，不同小麦材料的决决定系数分别为 0.963，0.956，0.980，说明用三次多项式对小麦籽粒体积拟合较好，能够反映出不同小麦材料籽粒的变化特征。花后不同灌浆时期不同小麦材料籽粒体积的变化动态见图 1。

表 2 参试材料籽粒体积变化的三次多项式

品种	三次正交多项式	决定系数	残差标准误
蓝粒 58	$Y=0.692855+0.068781x+0.022982x^2-0.000614x^3$	0.963	0.477
紫选 1 号	$Y=1.449174+0.192315x+0.005777x^2-0.000215x^3$	0.956	0.378
京冬 8 号	$Y=0.830979+0.049833x+0.026946x^2-0.000695x^3$	0.980	0.398

由图 1 可以看出，3 个参试小麦材料的籽粒体积变化曲线均呈“S”形，但其曲线特征具有较大差异。籽粒体积的增长以京冬 8 号小麦最好。京冬 8 号小麦籽粒体积在花后 6d 内增长较缓慢，此后开始逐渐加快，到花后 27d 时达到最大，百粒体积为 9.035cm^3。与对照小麦京冬 8 号相比较，在整个灌浆期内，蓝粒 58 的籽粒体积增长均小于对照品种。紫选 1 号小麦在花后 12d 内籽粒体积增长大于对照品种，从花后第 12 天到小麦籽粒成熟，紫选 1 号小麦的籽粒体积增长减缓且低于京冬 8 号。

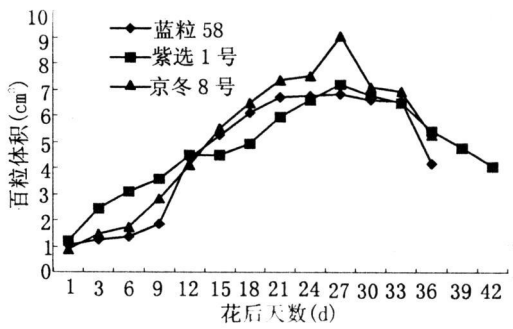


图 1 不同小麦材料籽粒体积的动态变化

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

经计算，蓝粒 58 和紫选 1 号的百粒体积的平均增长速率和最大增长速率均低于对照小麦京冬 8 号。从直线增变期来看，紫选 1 号的直线增变期较京冬 8 号的直线增变期长，而蓝粒 58 的直线增变期比对照品种稍短。蓝粒 58 和紫选 1 号的日库容增长量较京冬 8 号慢，蓝粒 58、紫选 1 号和京冬 8 号的籽粒体积变化速率分别为 0.119 cm^3/d，0.096 cm^3/d，0.146 cm^3/d。

2.3 不同黑小麦品种籽粒鲜重动态变化比较

通过三次多项式的拟合得到不同材料籽粒鲜重变化方程。从表 3 中可以看出，紫选 1 号小麦的决定系数在 0.9948，说明小麦植株为籽粒增重提供了有效同化物的积累。蓝粒 58 和京冬 8 号小麦的决定系数分别为 0.9706，0.9631，同化物的积累也较充分，可有效增加粒重。不同小麦材料籽粒鲜重的动态变化曲线见图 2。

由图 2 看出，3 个小麦品种花后籽粒鲜重在整个灌浆过程中有相似的变化，呈“S”型曲线。从籽粒形成来看，蓝粒 58 和紫选 1 号的籽粒形成期为 9 d，较京冬 8 号小麦多 3 d，这不利于增加灌浆时间。从小麦鲜重的增加来看，京冬 8 号的籽粒鲜重从开花后第 6 天就进入直线增长期，到花后 27d 达到最大值且高于蓝粒 58 和紫选 1 号，2 种黑小麦的籽粒鲜重从花后第 9 天进入快速增长期，在此期间二者有相似的变化曲线。从籽粒鲜重的下降速率来看，以蓝粒 58 小麦最快；紫选 1 号小麦下降持续期最长，但下降幅度小于蓝粒 58。

表 3 参试材料籽粒鲜重变化的三次多项式

品种	三次正交多项式	决定系数	残差标准误
蓝粒 58	$Y=0.729487-0.091997x+0.035444x^2-0.000831x^3$	0.9706	0.4786
紫选 1 号	$Y=0.679108-0.026847x+0.031091x^2-0.000734x^3$	0.9948	0.2131
京冬 8 号	$Y=0.597049-0.085905x+0.026753x^2-0.000546x^3$	0.9631	0.5143

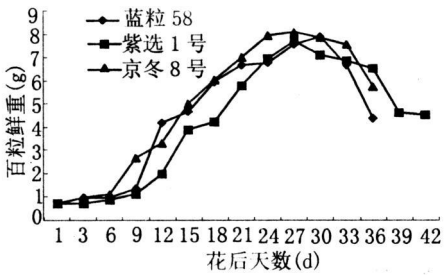


图 2 不同小麦材料花后籽粒鲜重的动态变化

2.4 不同黑小麦品种籽粒干重动态变化比较

籽粒干物质积累是小麦粒重形成的主要方面，用三次多项式对不同小麦材料的籽粒干重变化拟合得到拟合方程(表 4)。由表 4 可见，3 个参试小麦品种的干重变化多项式决定系数都较高，灌浆性能较好。由图 3 可见，花后 9 d 内 3 个参试品种的籽粒干重都处于平稳增长，此后籽粒干重增长速度逐渐加快，到花后第 33 天前蓝粒 58 和京冬 8 号均达到最大值，而紫选 1 号小麦一直延续到花后第 36 天。对照材料京冬 8 号的籽粒干重的增长一直高于蓝粒 58 和紫选 1 号。3 个参试品种的籽粒干重达到最大值后均有不同程度的下降，其中以京冬 8 号小麦的降幅最小，蓝粒次之，而紫选 1 号降幅最大。

表 4 参试材料籽粒干重变化的三次多项式

品种	三次正交多项式	决定系数	残差标准误
蓝粒 58	$Y=0.617413-0.138255x+0.015059x^2-0.000236x^3$	0.9694	0.2871
紫选 1 号	$Y=0.515282-0.181873x+0.020257x^2-0.000350x^3$	0.9899	0.1662
京冬 8 号	$Y=0.918664-0.193118x+0.021138x^2-0.000363x^3$	0.9844	0.2142

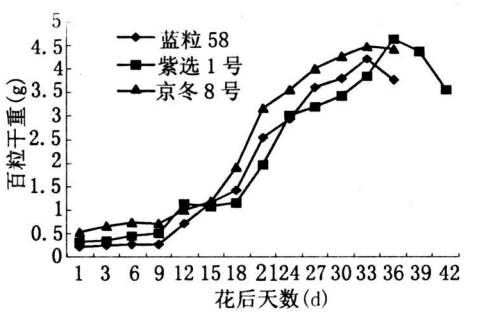


图 3 不同小麦材料花后籽粒干重的动态变化

3 讨论

从本研究的数学方程拟合结果来看，用三次多项式拟合小麦籽粒体积、籽粒鲜重和籽粒干重，其决定系数都达到 0.95 以上，说明方程拟合较好，黑小麦籽粒灌浆符合小麦的生长曲线，表现为“S”形曲

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

线,并呈现“慢—快—慢”的基本态势。参试的 3 个小麦品种除籽粒体积变化差异相对较大外,其他 2 项指标的差异较小。

小麦灌浆过程是一个植株体内生理、生化反应和外部生态因子相互协调的过程,不同材料籽粒灌浆速率和灌浆时间对小麦粒重的贡献程度不同。一般研究者认为,粒重与灌浆速率呈正相关,与灌浆持续时间无显著相关关系[7~9]。据前人研究[10],快增期是籽粒干物质积累的关键时期,这一时期干物质的积累量是籽粒干物质总量的 50%左右。有研究者认为,在中国北方冬麦区要增加粒重,提高灌浆速度比延长灌浆持续时间更为有利[11]。

在此试验材料的整个灌浆过程中,参试的黑小麦具有相对较长的灌浆持续期,说明其流供应时间相对较长。但 2 个黑小麦品种的灌浆速率低于对照。因此,通过育种改良或栽培措施以提高黑小麦灌浆速度,缩短持续时间,是今后在育种和栽培上能更好的发挥黑小麦的产量潜力和优势的一个有效途径。

参考文献:

[1] 李杏普,侯红军,刘玉平,等. 蓝、紫粒小麦的营养品质研究[J]. 华北农学报, 2002, 17(3): 21—24.

[2] Qualset C O, Soliman K M, Jan C C, *et al*. Release of wheat germplasm: a blue aleurone translocation stock-UC66049[J]. Agron Progress Report, 1991, 139: 2—5.

[3] 李建钊,李志辉. 黑小麦研究现状及育成品种分析[J]. 中国种业, 2007(10): 17—19.

[4] 白云凤,李文德,孙善澄,等. 黑粒小麦的营养价值及其理化特性[J]. 中国粮油学报, 2000, 15(1): 6—9.

[5] Zeven A C. Wheat with purple and blue grains: a review[J]. Euphytica, 1991, 56: 243—258.

[6] 宗学凤. 黑粒小麦生长特性、籽粒营养及抗氧化性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2006.

[7] Darroch B A. Grain filling in three spring wheat genotype: statistical anaylsis[J]. Crop Sci, 1995, 30: 525—529.

[8] 蔡庆生,吴兆苏. 小麦籽粒生长各阶段干物质积累与粒重的关系[J]. 南京农业大学学报, 1993, 16(1): 27—32.

[9] 李秀君,潘宗东. 不同粒重小麦品种籽粒灌浆特性研究[J]. 中国农业科技导报, 2005, 7(1): 26—30.

[10] 李秧秧. 灌浆持续期干旱对不同产量潜势小麦品种灌浆特性的影响[J]. 西北农业学报, 1997, 6(4): 47—50.

[11] 曾浙荣,庞家智,周桂英,等. 我国北部冬麦区小麦品种籽粒灌浆特性研究[J]. 作物学报, 1996, 22(6): 720—728.

本刊常用单位符号及换算

依据国家标准,本刊在刊发稿件中一律使用法定计量单位,为便于读者阅读,现将本刊常用单位符号及其换算方法介绍如下:

1 长度单位: km= 公里、千米, m= 米, cm= 厘米, mm= 毫米; 换算: 1 km= 1 000 m, 1 m= 100 cm= 3 尺, 1 cm= 10 mm

2 重量单位: t= 吨或 1 000 kg, kg= 公斤、千克, g= 克, mg= 毫克; 换算: 1 t= 1 000 kg, 1 kg= 1 000 g, 1 g= 1 000 mg, 500 g= 1 市斤, 50 g= 1 两

3 面积单位: m^2= 平方米, hm^2= 公顷, cm^2= 平方厘米; 换算: 1 hm^2= 10 000 m^2= 15 亩, 1 亩= 667 m^2

4 浓度单位: 1 mg/ kg, mg/ L 或 mg·kg^{-1}, mg·L^{-1}, μL·L^{-1}= 1×10^{-6}= 1 ppm, 即百万分之一, 不用 ppm 和 1×10^{-6}表示

5 时间单位: “天、小时、分钟、秒”分别用“d, h, min, s”表示

(本刊编辑部)

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net