

耕种方式对冬小麦籽粒灌浆特性及产量的影响

翟云龙^{1,2}, 魏燕华¹, 张海林¹, 陈 阜¹

(1. 中国农业大学农学院, 北京 100193; 2. 塔里木大学植物科学学院, 新疆 阿拉尔 843300)

摘 要: 通过大田定位试验,研究了免耕条播、深松条播、旋耕条播、机械撒播等 4 种耕种方式下冬小麦强势粒灌浆特性,用 Logistic 方程拟合籽粒灌浆进程,对籽粒灌浆参数进行了分析。试验结果表明,方程拟合决定系数均在 0.9942 以上,Logistic 方程能真实反映籽粒灌浆进程。旋耕条播、机械撒播耕作深度相同,各阶段灌浆速率较一致,渐增期、快增期、缓增期均低于深松条播和免耕条播,但二者株行配置方式不同,机械撒播渐增期略高于旋耕条播,快增期、缓增期均低于旋耕条播,但 3 个阶段灌浆持续期分别比旋耕条播高 0.05、0.57 d 和 0.71d。耕作、种植方式主要通过影响籽粒灌浆速率和灌浆持续天数影响粒重,耕作方式对灌浆速率影响大,株行配置对灌浆持续期影响明显。耕种方式对强势粒、弱势粒灌浆特性影响效应不同,机械撒播强势粒渐增期灌浆速率高达 $0.95\text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{粒}^{-1}$,持续时间仅为 9.95 d,快增期、缓增期灌浆速率仅为 $2.11\text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{粒}^{-1}$ 和 $0.59\text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{粒}^{-1}$,但持续时间长达 12.27 d 和 15.27 d,强势粒千粒重高达 41.65 g,虽然强、弱势粒综合千粒重仅为 40.2 g,但该模式有效穗数高,经济产量高达 $7\,599.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

关键词: 耕种方式;冬小麦;灌浆特性;产量

中图分类号: S512.1⁺1 **文献标志码:** A

Effect of tillage and seeding methods on grain filling and yield of winter wheat

ZHAI Yun-long^{1,2}, WEI Yan-hua¹, ZHANG Hai-lin¹, CHEN Fu¹

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Plant Science, Tarim University, Alaer, Xinjiang 843300, China)

Abstract: In order to providing theory basis for suitable agricultural measures of different tillage and seeding methods, the effect of tillage and seeding methods on grain filling characteristics and yield of winter wheat was discussed. In the field experiment from September 2011 to June 2012, we compared the effects of no tillage with row planting (NTS), subsoiling tillage with row planting (DTS), mechanical broadcast sowing (BSS), and rotary tillage with row planting (RTS) on grain filling characteristics, under the conditions of same sowing date. Logistic equation was used to characterize grain filling process. The result showed that the R square value of equation fitting coefficient reached a highly significant level above 0.9942. This indicated that the logistic equation could truly reflect the process of grain filling. Tillage and seeding methods influenced grain filling process significantly. There were no obvious differences of grain filling rate (GFR) between BSS and RTS treatment because of the same depth of tillage. The GFR of these two treatments in the gradual increasing-stage, rapid increasing-stage and slow increasing-stage, were lower than the NTS and DTS treatment. There was a marked difference of plant and row allocation between the BSS and RTS treatment. The gradual increasing-stage GFR of BSS was higher than RTS, and the GFR of rapid increasing-stage and slow increasing-stage were lower than it. But the grain filling duration (GFD) of BSS during each stage was 0.05, 0.57 d and 0.71 d longer than RTS. Tillage and seeding methods mainly affect the grain weight through GFR and GFD. The tillage affects the GFR most, and the plantation spacing affects GFD. The tillage affects the grain filling of superior and inferior grains differently, and the BSS treatment for the superior grains, the grain weight was higher with higher GFR 0.95 milligram per day per kernel at the slow growth period, and GFD only reached 9.95 day, the GFR at both rapid growth period and slow growth period of the grain filling reached 2.11 and 0.59 mg per day per kernel, whereas the GFD reached 12.27 and 15.27 day, while

收稿日期: 2016-04-20
基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(200903003, 201103001); 国家科技支撑计划项目(2012BAD20B00)
作者简介: 翟云龙(1979—), 男, 河南扶沟人, 副教授, 博士研究生, 研究方向为农作制度。E-mail: zylzky@163.com。
通信作者: 陈 阜(1964—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事农作制度与区域农业研究。E-mail: chenfu@cau.edu.cn。

the 1000-kernel weight of superior grains reached 41.65 g. Although 1000-kernel weight for the superior and inferior grains were only 40.2 g, the plantation mode was of higher effective panicles number and the economic yield come to 7 599.0 kg per hectare.

Keywords: tillage and seeding methods; winter wheat; grain filling characteristics; yield

小麦群体产量是由单位面积有效穗数、每穗粒数和粒重三者共同决定的,粒重是决定小麦产量高低的重要因素之一,籽粒灌浆特性主要影响小麦的粒重,既受品种遗传特性的影响^[1],也受环境因素的影响^[2]。小麦籽粒灌浆特性已有较多报道,但多集中在环境温度^[3-4]、水分条件^[5-8]、施肥^[9-11]、品种^[12-13]、播期^[14-15]等方面,对不同的耕作方式^[16]、株行配置方式^[17-19]下小麦籽粒灌浆特性的研究较少。华北一年两熟区农田土壤耕作方式翻耕、旋耕、深松、免耕并存,每种耕作方式都有与之相应的机械化播种方式和株行配置,有研究认为多年免耕会使土壤体积质量增加、质地紧实,降低小麦产量^[20],深松能有效疏松土壤,改善土壤的渗透性能,增加深层土壤蓄水量,提高籽粒产量^[21]。小麦群体配置方式直接影响群体数量、群体结构和群体质量,最终影响小麦产量构成因素与经济产量^[22-23]。本试验设置不同耕作方式以及与之相应的播种方式,对机械化耕种冬小麦灌浆特性及产量进行研究,以期为华北地区不同耕种方式冬小麦配套农艺措施的制定提供理论与技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2011—2012 年在中国农业大学吴桥试验站(北纬 37°37'22",东经 116°25'54",海拔 19.7 m)进行,属于半湿润易旱大陆性季风气候,常年平均气温 12.7℃,全年 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温 4 832.4℃,年日照 2 623.3 h,年降水量 675.7 mm,降水量年内和年际变率大。土壤为冲积型盐化潮土,壤质土,深层偏粘,土层深厚,地下水位 6~9 m。耕层有机质含量 12.4 g·kg⁻¹,全氮 0.79 g·kg⁻¹,速效磷 44.6 mg·kg⁻¹,速效钾 94.2 mg·kg⁻¹。前茬作物为玉米。

1.2 试验设计

采用大田试验,设旋耕条播(RTS)、深松条播(DTS)、免耕条播(NTS)和机械撒播(BSS)4 种耕种方式,每处理 0.3 hm²。各处理田间作业如下:(1) RTS:玉米收获后,秸秆粉碎全量还田,撒施基肥,旋耕机旋耕两遍(耕深 14 cm),条播机播种小麦,行距 15 cm。(2) DTS:玉米收获后,秸秆粉碎全量还田,撒施基肥,采用 1SQ-340 全方位深松机深松一遍

(耕深 40~50 cm),旋耕机旋耕一遍,条播机播种小麦,行距 15 cm。(3) NTS:玉米收获后,秸秆粉碎全量还田,采用 2BMGF-6/12 免耕覆盖施肥播种机一次性完成施肥、播种和镇压作业,播种后地表形成具有垄沟、垄背的微地表(垄背垄沟高度差为 12 cm),小麦播种于垄沟内两侧的土壤中,垄沟内行距 10 cm,相邻垄沟边行行距 20 cm。(4) BSS:玉米收获后,秸秆粉碎全量还田,采用 HSTV 小麦无垄联合耕播机一次性完成施肥、播种和镇压作业,均匀撒播(耕深 14 cm)。

供试冬小麦品种为济麦 22。于 2011 年 10 月 11 日播种,免耕条播处理播量 270 kg·hm⁻²,旋耕条播、深松条播处理播量 240 kg·hm⁻²,机械撒播处理播量 285 kg·hm⁻²,2012 年 6 月 11 日收获。各耕作处理水肥管理均采用当地普遍水平,冬小麦施尿素 450 kg·hm⁻²、磷酸二铵 300 kg·hm⁻²,并分别在冬小麦拔节期、扬花期灌水 60 mm。

1.3 测试项目与方法

于开花期在每处理小区选择同一天开花、生长整齐的麦穗 200 个挂牌标记,自开花至收获,每隔 5 d 取标记穗 10 个,取每穗中间 5 个小穗第 1、2 粒位强势粒^[24],然后置烘箱中经 105℃ 杀青 0.5 h,再降至 80℃ 烘干至恒质量,称籽粒干质量,并换算出千粒质量。

1.4 数学方法描述

1.4.1 模型的拟合 以开花后的天数(t)为自变量,每次测得的千粒质量(Y)为因变量,用 Logistic 方程 $Y = K/(1 + e^{A+Bt})$ 对籽粒生长过程进行拟合,其中 K 为灌浆结束时所能达到的最大千粒质量, A 、 B 为方程参数,用决定系数 R^2 (Y 依 t 的回归平方和占总平方和的比率)表示其拟合优度。

1.4.2 灌浆特征参数 根据 Logistic 方程和该方程的一级和二级导数,推导出一系列灌浆参数。

(1) 灌浆高峰期开始日期 $t_1 = [A - \ln(2 + 1.732)]/(-B)$;

(2) 灌浆高峰期结束日期 $t_2 = [A + \ln(2 + 1.732)]/(-B)$;

(3) 灌浆终期(Y 达 99% K)日期 $t_3 = (4.59512 + A)/(-B)$;

(4) 最大灌浆速率出现日期 $T_m = -A/B$,最大灌浆速率 $V_m = -BK/4$;

(5) T1、W1、V1、T2、W2、V2、T3、W3、V3 分别表示籽粒灌浆渐增期、快增期和缓增期持续时间、积累量和阶段灌浆速率, $T1 = t_1$, $T2 = t_2 - t_1$, $T3 = t_3 - t_2$;

(6) 灌浆总天数 $T = t_3$, 平均灌浆速率 $V_a = K/t_3$ 。

2 结果与分析

2.1 不同耕种方式下冬小麦群体茎蘖动态

受播量、种子有效覆盖率、出苗率等的影响,不同耕种方式基本苗存在差异(见表 1),免耕条播处理显著高于其它处理,其它 3 个处理间无显著差异,表现为深松条播 > 旋耕条播 > 机械撒播。拔节期,群体总茎数达最高值,不同处理间差异达极显著水平,机械撒播处理最高,免耕条播处理最低,深松条播略高于旋耕条播。成熟期总茎数处理间达极显著差异,机械撒播处理最高,其次是深松条播,免耕条播和旋耕条播差异不大。免耕条播茎蘖少于其他处理,但其茎蘖成穗率远高于其他处理;撒播处理茎蘖较多,但茎蘖成穗率最低。

表 1 耕种方式对冬小麦群体茎蘖动态的影响

Table 1 Effect of seeding and tillage methods on population tillers of winter wheat				
处理 Treatment	茎蘖动态 Dynamic of tillers/(10 ⁴ ·hm ⁻²)			茎蘖成穗率/% Ear bearing tiller percentage
	基本苗 Basic seedlings	拔节期 Jointing	成熟期 Maturity	
NTS	607.7aA	2279.1cC	554.8cC	24.3
DTS	516.7bB	2460.1bB	587.9bB	23.9
BSS	472.3bB	3096.1aA	657.0aA	21.2
RTS	514.5bB	2404.8bB	548.4cC	22.8

注:表中小写字母和大写字母分别表示 5% 和 1% 水平显著性差异;NTS—免耕条播;DTS—深松条播;BSS—机械撒播;RTS—旋耕条播;下同。

Note: the lowercase and uppercase letters indicate significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ level, respectively; NTS—no tillage with row planting, DTS—subsoiling tillage with row planting, BSS—mechanical broadcast sowing, RTS—rotary tillage with row planting; the same below.

2.2 不同耕种方式下冬小麦千粒重变化动态

由图 1 可见,在开花后小麦籽粒千粒重呈“S”型

曲线增加,灌浆初期,籽粒千粒重增长缓慢,灌浆中期是千粒重急剧增长的时期,灌浆后期籽粒千粒重的增加又趋缓慢,直至成熟。不同耕种方式间千粒重变化存在差异,前期机械撒播、旋耕条播处理增加较快,中后期深松条播处理增重速度高于旋耕条播处理,但仍低于机械撒播处理,免耕条播处理前、中期千粒重一直最低,但在最后略高于旋耕条播处理,最终千粒重表现为机械撒播 > 深松条播 > 免耕条播 > 旋耕条播。

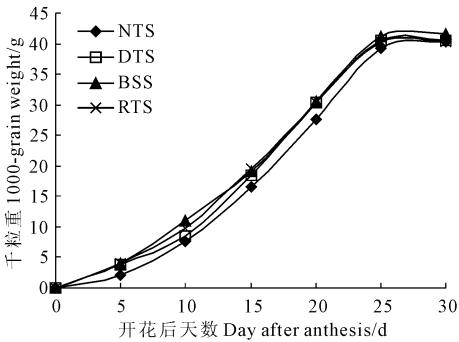


图 1 不同耕种方式下冬小麦千粒重变化动态

Fig.1 1000-kernel weight dynamics of winter wheat under different tillage and seeding methods

2.3 不同耕种方式下冬小麦籽粒灌浆的数学模型

对不同耕种方式下冬小麦籽粒开花后天数与籽粒质量的关系配合 Logistic 方程进行了模拟,所得方程参数估值及决定系数见表 2,用 Logistic 方程拟合的冬小麦籽粒千粒重增长动态见图 2,各方程的决定系数均在 0.994 以上,拟合度高,这说明 Logistic 模型能准确描述本试验冬小麦籽粒的灌浆过程。

表 2 中的 K 为籽粒在冬小麦灌浆结束时所能达到的最大千粒质量,由结果可知,机械撒播处理理论最大千粒质量远高于其他处理,深松条播处理与免耕条播处理差异不明显,旋耕条播处理最低;机械撒播、深松条播、免耕条播处理分别比旋耕条播处理高 1.76、0.17、0.13 g,为旋耕条播处理的 104.08%、100.39%、100.30%。实测千粒重也是机械撒播处理最高,其次是深松条播,免耕条播与旋耕条播差异

表 2 不同耕种方式下冬小麦籽粒灌浆 Logistic 模型参数和决定系数

Table 2 Estimated Logistic equation parameters and coefficients of determination of winter wheat under different tillage and seeding methods				
处理 Treatment	模拟方程 Logistic equation	K/g	实测千粒重/g 1000-kernel weight	R^2
NTS	$Y = 43.2621 / (1 + e^{4.0474 - 0.23706t})$	43.26	40.43	0.9962**
DTS	$Y = 43.301 / (1 + e^{3.8156 - 0.23688t})$	43.30	40.65	0.9960**
BSS	$Y = 44.8943 / (1 + e^{3.4532 - 0.21466t})$	44.89	41.65	0.9942**
RTS	$Y = 43.1313 / (1 + e^{3.5467 - 0.22521t})$	43.13	40.42	0.9956**

不明显,仍是旋耕条播最低;机械撒播、深松条播、免耕条播处理分别比旋耕条播处理高 1.23、0.23、0.01 g,为旋耕条播处理的 103.04%、100.57%、100.02%。表明耕种方式对冬小麦千粒质量有一定的影响,田间植株均匀分布(机械撒播)、加深耕层(深松条播)、免耕覆盖均能适当增加千粒重,植株田间分布状况影响最大。

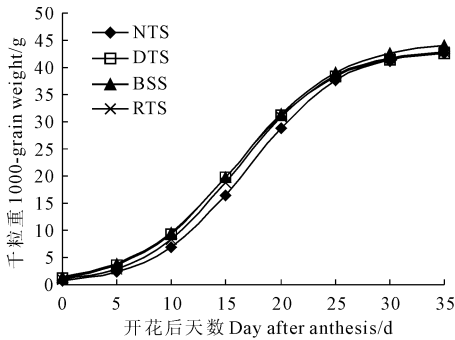


图 2 不同耕种方式下冬小麦粒重增加的 Logistic 曲线
Fig.2 Grain filling process of fitting Logistic curve of winter wheat under different tillage and seeding methods

2.4 不同耕种方式下冬小麦籽粒灌浆特征分析

2.4.1 耕种方式对冬小麦灌浆特征参数的影响

根据 Logistic 模型计算出的冬小麦灌浆特征参数见表 3。旋耕条播处理达到最大灌浆速率的时间最早,其次是机械撒播处理和深松条播处理,免耕条播处理最晚;最大灌浆速率免耕条播处理和深松条播处理高达 $2.56\text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{粒}^{-1}$,机械撒播处理最低,仅为 $2.41\text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{粒}^{-1}$;平均灌浆速率深松条播处理高达 $1.22\text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{粒}^{-1}$,其次是机械撒播处理 $1.20\text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{粒}^{-1}$,旋耕条播处理和免耕条播处理最低,仅为 $1.19\text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{粒}^{-1}$;持续灌浆时间机械撒播处理最高,其次是免耕条播处理,深松条播处理最低。本研究对整个灌浆期灌浆特征参数与最大理论千粒

重进行了相关分析,表明千粒重与灌浆持续天数和平均灌浆速度呈正相关,机械撒播、深松条播、免耕条播等耕种方式虽然未明显改变小麦籽粒灌浆的基本趋势,但能改变灌浆持续天数、平均灌浆速度等灌浆特征参数,优化灌浆过程。

表 3 不同耕种方式处理籽粒灌浆特征参数
Table 3 Grain filling parameters during whole grain filling period under different tillage and seeding methods

处理 Treatment	T_m /d	V_m / $(\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{粒}^{-1})$	T /d	V_a / $(\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{粒}^{-1})$
NTS	17.07	2.56	36.46	1.19
DTS	16.11	2.56	35.51	1.22
BSS	16.09	2.41	37.49	1.20
RTS	15.75	2.43	36.15	1.19

2.4.2 耕种方式对冬小麦阶段灌浆期灌浆特征参数的影响 根据 Logistic 模型计算出的冬小麦阶段灌浆特征参数见表 4。渐增期籽粒产量约占整个灌浆期的 21.34%,快增期籽粒产量占 58.32%左右,缓增期占 20.34%左右。旋耕条播、机械撒播处理籽粒灌浆前期增速很快,远高于深松条播和免耕条播处理,但渐增期持续时间较短,低于深松条播和免耕条播处理。深松条播、免耕条播处理籽粒灌浆快增期灌浆速度最高,远高于旋耕条播和机械撒播处理,但快增期持续时间低于旋耕条播和机械撒播处理,机械撒播处理该阶段持续时间最长。缓增期机械撒播和旋耕条播处理灌浆速度较低,深松条播和免耕条播处理灌浆速度较高,籽粒灌浆缓增期持续时间机械撒播处理最长,其次是旋耕条播,深松条播和免耕条播处理持续时间较短。受灌浆速度和各阶段持续时间的综合影响,渐增期、快增期、缓增期三个阶段籽粒产量均表现为机械撒播处理最高,其次是深松条播和免耕条播,旋耕条播处理积累量最少。

表 4 不同耕种方式下不同阶段籽粒灌浆特征参数
Table 4 Grain filling parameters of different stages under different tillage and seeding methods

处理 Treatment	灌浆持续时间/d Grain filling duration/d			灌浆速率/ $(\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{粒}^{-1})$ Grain filling rate			阶段籽粒产量/ $(\text{g}\cdot 1000\text{粒}^{-1})$ Yield each stage		
	T1	T2	T3	V1	V2	V3	W1	W2	W3
NTS	11.52	11.11	13.83	0.79	2.25	0.63	9.14	24.98	8.71
DTS	10.55	11.12	13.84	0.87	2.25	0.63	9.15	25.00	8.72
BSS	9.95	12.27	15.27	0.95	2.11	0.59	9.49	25.92	9.04
RTS	9.90	11.70	14.56	0.92	2.13	0.60	9.11	24.90	8.68

2.5 不同耕种方式下冬小麦产量及其构成因素

不同耕种方式下冬小麦产量及产量构成因素结果见表 5。由表 5 可以看出,处理间产量差异达极

显著水平,机械撒播处理产量均极显著高于其它处理,分别比深松条播、旋耕条播、免耕条播产量提高 11.55%、16.17%、20.16%;免耕条播处理产量极显

著低于其它处理;深松条播产量极显著高于旋耕条播处理。

表 5 耕种方式对冬小麦产量及产量构成因素的影响
Table 5 Effect of tillage and seeding methods on yield and yield components of winter wheat

处理 Treatment	有效穗数 Spike number /(10 ⁴ ·hm ⁻²)	穗粒数 Grains per spike	千粒重 1000-kernel weight/g	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)
NTS	554.8cC	29.0a	40.5a	6323.8dD
DTS	587.9bB	30.0a	40.5a	6812.4bB
BSS	657.0aA	29.1a	40.2a	7599.0aA
RTS	548.4cC	29.6a	40.4a	6541.5cC

单穗粒数处理间差异未达显著水平,表现为深松条播>旋耕条播>撒播>免耕条播。千粒重处理间差异较小,免耕条播与深松条播结果相当,略高于旋耕条播,撒播处理最低。有效穗数处理间差异达极显著水平,撒播处理有效穗数极显著高于其他处理,分别比深松条播、旋耕条播、免耕条播增加11.76%、19.81%、18.43%;免耕条播处理略高于旋耕条播处理;深松条播均极显著高于旋耕条播处理。可见,高产条件下,有效穗数对产量的贡献最大。行株距配置方式对产量及产量构成因素影响最大,相同株行配置情况下,加深耕层能有效增加收获穗数、千粒重,进而增加产量。

3 讨论与结论

小麦粒重主要由灌浆速率和灌浆持续期来决定^[15],有研究者认为,小麦粒重与灌浆速率呈正相关,而与灌浆持续时间无显著相关性^[25-26],也有研究认为,千粒重与灌浆速率无明显相关性^[27],而与灌浆持续天数呈显著正相关^[12]。本试验研究结果得出,小麦粒重由灌浆速率和灌浆持续期共同决定。许多学者通过 Logistic 方程、Richards 方程和多项式拟合了不同品种、管理模式下小麦籽粒灌浆过程,并对推导出的相关参数作了分析^[4-8,28-29]。有研究认为^[30-31],快增期灌浆速率、持续天数和渐增期灌浆速率是影响粒重主要参数。也有人认为渐增期灌浆速率、快增期灌浆速率及缓增期持续天数是影响小麦粒重的主要参数^[32]。本试验研究结果认为渐增期灌浆速率、快增期持续天数、缓增期持续天数是影响小麦粒重主要参数,通过延缓叶片衰老的进程延长缓增期持续天数是增加粒重的有效途径。不同耕作、栽培模式主要通过影响籽粒灌浆速率和灌浆持续天数影响粒重,最终来影响小麦的产量^[16-19]。本试验中旋耕条播、机械撒播耕作深度

相同,各阶段灌浆速率较一致,渐增期、快增期、缓增期灌浆速率均低于深松条播和免耕条播,可能与深松条播、免耕条播处理灌浆期间对深层土壤水分的截获有关^[33-35],耕作方式对各阶段灌浆速率影响明显;虽然旋耕条播、机械撒播耕作深度相同,但株行配置方式不同,机械撒播渐增期略高于旋耕条播,快增期、缓增期均略低于旋耕条播,但每个阶段灌浆持续期均高于旋耕条播,可能与机械撒播处理小麦群体均匀分布、利于群体光能利用和干物质积累有关^[36]。可见,耕种方式对小麦灌浆特征有一定的影响,耕作方式对灌浆速率影响大,株行配置对灌浆持续期影响明显,这与前人^[16-19]研究结果一致。

机械撒播强势粒渐增期灌浆速率高,持续时间短,快增期、缓增期低,但持续时间长,强势粒粒重较高,虽然强、弱势粒综合粒重和穗粒数均较低,但该模式有效穗数高,经济产量极显著高于其它耕种方式。

本研究各处理仅取每穗部分强势粒研究小麦籽粒灌浆特征,理论最大千粒重、实测千粒重与最终测产时所得千粒重(包括所有强、弱势粒)存在一定的差异,趋势亦不相同,可见,耕种方式对强势粒、弱势粒影响效应不同,需进一步加以研究。

参 考 文 献:

[1] 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的研究[J].作物学报,1996,22(6):720-728.

[2] 王瑞霞,张秀英,伍 玲,等.不同生态环境条件下小麦籽粒灌浆速率及千粒重 QTL 分析[J].作物学报,2008,34(10):1750-1756.

[3] 成 林,张志红,方文松.干热风对冬小麦灌浆速率和千粒重的影响[J].麦类作物学报,2014,34(2):248-254.

[4] 胡吉帮,王晨阳,郭天财,等.灌浆期高温和干旱对小麦灌浆特性的影响[J].河南农业大学学报,2008,42(6):597-601,608.

[5] 张 娜,张永强,仵妮平,等.滴灌量对冬小麦籽粒灌浆特性的影响研究[J].水土保持研究,2015,22(5):271-275.

[6] 王姣爱,裴雪霞,张定一,等.灌水处理对不同筋型小麦籽粒灌浆特性及品质的影响[J].麦类作物学报,2011,31(4):708-713.

[7] 姚素梅,康跃虎,吕国华,等.喷灌与地面灌溉条件下冬小麦籽粒灌浆过程特性分析[J].农业工程学报,2011,27(7):13-17.

[8] 张作为,史海滨,李仙岳,等.限量灌溉对河套灌区间作小麦干物质转移与灌浆特征的影响[J].生态学杂志,2016,35(2):415-422.

[9] 邓若磊,张树华,郭程瑾,等.春季施氮方式对小麦子粒灌浆的调控及其生理机制[J].植物营养与肥料学报,2008,14(1):1-8.

[10] 李国强,朱云集,郭天财,等.硫氮配施对强筋小麦豫麦 34 籽粒灌浆特性的影响[J].麦类作物学报,2006,26(2):98-102.

[11] 李朝苏,汤永禄,吴 春,等.施氮量对四川盆地小麦生长及灌浆的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(4):873-883.

[12] 周竹青,朱旭彤.不同粒重小麦品种(系)籽粒灌浆特性分析

- (上接第 114 页)