

施氮量对旱地小麦强势粒和弱势粒灌浆及产量的影响

徐莹¹, 王林林^{1,2}, 陈炜¹, 李红兵¹, 邓西平¹

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学生命学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 为给旱地小麦高产栽培中合理施氮提供依据, 在盆栽条件下, 以两个旱地小麦品种长武 134 和长旱 58 为材料, 研究了施氮量对旱地小麦强势粒和弱势粒灌浆特性和产量的影响。结果表明, 两个品种的产量、穗粒数和穗粒重均随施氮量的提高呈增加趋势, 但千粒重受施氮量影响较小。强势粒的灌浆速率在整个灌浆过程中均明显高于弱势粒。随施氮量的增加, 强、弱势粒的灌浆速率都呈现先升后降的趋势。强势粒粒重与平均灌浆速率和总灌浆时间呈正相关, 而弱势粒粒重与最大灌浆速率持续时间和各阶段灌浆持续时间呈正相关。

关键词: 小麦; 施氮量; 强势粒和弱势粒; 灌浆特性; 产量

中图分类号: S512.1; S311

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2013)03-0489-06

Effects of Different Nitrogen Levels on Grain-filling Characteristics and Yield of Two Dryland Wheat Cultivars for Superior and Inferior Grain

XU Ying¹, WANG Lin-lin^{1,2}, CHEN Wei¹, LI Hong-bing¹, DENG Xi-ping¹

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry Land Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The effect of nitrogen level on grain filling characteristics and yield of dryland wheat cultivars for superior and inferior grains under the condition of pot culture were studied. The result indicated that did not influenced N application in creased grain number, grain weight and yield, but thousand grain weight. The filling rate of superior grains was obviously higher than that of inferior grains, and both superior and inferior grain filling rate shows the trend of increasing at first, then decreasing with the increase of nitrogen level. Correlation analysis indicated that, there existed significantly positive correlations of superior grain weight with filling rate and accumulative time. However, there were significantly positive correlations of inferior grain weight with the duration of the maximum filling rate and duration of each filling stage.

Key words: Wheat; Nitrogen level; Superior and inferior grains; Grain-filling characteristics; Grain yield

粒重是决定小麦产量的主要因素之一。小麦 导致麦穗及小穗不同部位的籽粒发育存在差异, 小穗上小花空间位置以及分化存在先后顺序^[1-2], 一般将穗中间小穗基部籽粒作为强势粒, 而顶部

收稿日期: 2013-01-30

修回日期: 2013-02-24

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2009CB118604)。

作者简介: 徐莹(1986-), 男, 硕士研究生, 主要从事植物水分生理生态研究。E-mail: xuying10@mails.ucas.ac.cn

通讯作者: 邓西平(1958-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事植物生理生态研究。E-mail: dengxp@ms.iswc.ac.cn

籽粒作为弱势粒^[3]。开花早的强势粒灌浆启动快,具有较强的同化物积累能力,粒重高;而弱势粒灌浆启动慢,结实率低,充实度差,粒重小^[4-5]。通过研究强弱势粒的粒重变化以及对营养等因素的反应可为通过栽培措施促进小麦籽粒发育和物质填充以及高产提供理论依据。小麦籽粒灌浆过程受栽培模式^[8]、灌水^[9-10]、品种^[11-13]等因素影响。氮素是植物生长发育所必需的大量元素,在作物生产系统中具有极其重要的作用^[6]。施氮影响小麦籽粒灌浆特性^[14-15],可提高产量和改善籽粒品质^[7]。然而有关旱地小麦强、弱势粒灌浆特性差异以及对氮素营养的响应鲜见研究报道。本研究通过盆栽试验,对不同施氮水平下旱地小麦长武 134 和长旱 58 的强、弱势粒灌浆特性和产量差异进行了分析,以期对旱地小麦高产栽培中氮肥的合理施用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2011—2012 年在中国科学院水土保持研究所干旱棚下进行。供试小麦材料为抗旱小麦品种长武 134 和长旱 58。

1.2 试验设计

试验采用盆栽土培法,土壤取自于陕西杨凌东卜村大田 0~20 cm 的耕层,土壤有机质含量为 16.6 g·kg⁻¹,全氮含量为 1.1 g·kg⁻¹,速效氮含量为 82.3 mg·kg⁻¹,速效磷含量为 39.8 mg·kg⁻¹,速效钾含量为 147.7 mg·kg⁻¹。盆栽所用塑料桶直径为 29 cm,深 27 cm,每桶装风干土 12 kg,施磷酸二氢钾 5.0 g,氮磷钾肥与土壤混匀装桶。种子经挑选并用 5%~10% 次氯酸钠消毒后催芽,于 10 月 28 日播种,每桶 12 穴,每穴 2 粒,5 叶一心期定苗,每桶最终留苗 12 株。为了减少小麦无效分蘖对试验的影响,在拔节前剪去分蘖,留主茎。定苗后在每个栽培桶表层均匀铺撒珍珠岩 50 g,以减少土壤水分蒸发。

在正常供水情况(保持土壤含水量在田间最大持水量的 70%~80%)下,试验设置 0、0.12、0.24 和 0.36 gN·kg⁻¹ 土 4 个施氮水平,分别用 N0、N1、N2 和 N3 表示。每个处理 10 次重复。

1.3 取样和测定方法

开花期选择同一天开花、发育正常、大小均匀的穗挂牌标记,于开花当日(0 d)及花后 5、10、15、20、25 和 30 d 分别取样,各处理每次取样 12 穗

子。按照姜东等^[16]的方法把穗中部小穗,即第 5~第 12 小穗上第 1~第 3 位籽粒及第 3~第 5 位籽粒剥离出来,分别作为强势粒与弱势粒。籽粒经 105℃ 杀青 30 min,80℃ 烘干至恒重,称干重,再将其换算成千粒重,用于 Logistic 方程拟合粒重变化。

Logistic 方程: $W = W_0 / (1 + Ae^{-Bt})$, t 代表花后天数,(开花日当计 $t=0$), W 表示花后 t 天籽粒的理论干重; W_0 为粒重理论最大干重; A 、 B 为参数。由方程的一阶导数和二阶导数推导出一系列灌浆参数。

(1) 灌浆高峰开始日期 $t_1 = [\ln A - \ln(2 + 3^{1/2})] / B$; 对应于此时的粒重为 $W_{t_1} = W_0 / (1 + Ae^{-Bt_1})$ 。

(2) 灌浆高峰结束日期 $t_2 = [\ln A + \ln(2 + 3^{1/2})] / B$; 对应于此时的粒重为 $W_{t_2} = W_0 / (1 + Ae^{-Bt_2})$ 。

(3) W 达 99% W_0 时为灌浆终期: $t_3 = (\ln A + 4.595) / B$; 此时对应的粒重为 W_{t_3} 。

(4) 最大灌浆速率出现日 $T_m = (\ln A) / B$; 最大灌浆速率 $V_m = W_0 \cdot B / 4$ 。

(5) 灌浆渐增期持续时间(天数) $T_1 = t_1$, 平均灌浆速率 $V_1 = W_{t_1} / T_1$; 累积粒重 W_1 ; 灌浆速增期持续时间(天数) $T_2 = t_2 - t_1$, 平均灌浆速率 $V_2 = (W_{t_2} - W_{t_1}) / (t_2 - t_1)$; 累积籽粒重 $W_2 = W_{t_2} - W_{t_1}$; 灌浆缓增期持续时间(天数) $T_3 = t_3 - t_2$, 平均灌浆速率 $V_3 = (W_{t_3} - W_{t_2}) / (t_3 - t_2)$, 累积籽粒重 $W_3 = W_{t_3} - W_{t_2}$ 。

(6) 灌浆总天数 $T = T_1 + T_2 + T_3$; 平均灌浆速率 $V_a = W_0 / t_3$ 。

1.4 数据分析

使用 SPSS 20.0 软件对数据进行方差分析和多重比较,运用 Sigmaplot 12.3 绘图,用 CURX-PT 软件模拟灌浆过程,得出灌浆参数,并以此计算灌浆次级参数。

2 结果与分析

2.1 施氮量对旱地小麦产量及其构成的影响

从表 1 可以看出,长武 134 和长旱 58 的产量和穗粒重在不同施氮处理间差异显著。随施氮量的增加,两品种穗粒数、穗粒重、产量均呈增加趋势;千粒重表现为 N1、N2、N3 处理显著高于 N0 处理,但 N1、N2、N3 间无显著差异。在同一施氮水平下长旱 58 高于长武 134。施氮对旱地小麦

的增产效应与其促进穗粒数增加关系较大。

2.2 旱地小麦强势粒与弱势粒的粒重变化及其对施氮量的响应

在籽粒灌浆过程,长武 134 和长旱 58 强、弱势粒粒重均呈“慢-快-慢”的“S”型曲线变化(图 1)。由于不施氮处理(N0)中弱势粒败育,所以无数据。两品种强势粒最终粒重均表现为 N1、N2、N3 处理显著高于 N0 处理,强、弱势粒最终粒重在 N1、N2、N3 处理间差异不显著。从灌浆过程来看,两个品种的高氮处理 N2、N3 下强、弱势粒

粒重在花后前 20 d 均小于低氮处理 N1,但在花后 20 d 后高氮处理粒重增速较快,尤其是 N3 处理。

2.3 不同施氮水平下旱地小麦强势粒和弱势粒的灌浆特性

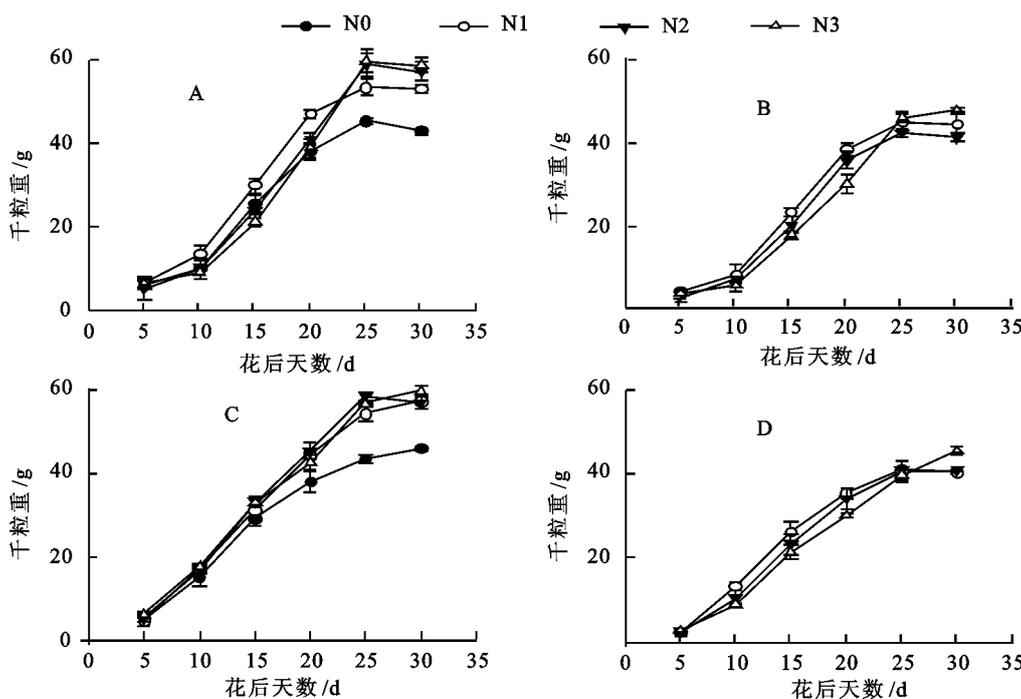
不同施氮水平下,两个小麦品种强、弱势粒灌浆过程的 Logistic 方程的相关系数(r)均大于 0.990,达到极显著水平,拟合度好(表 2)。两个品种强势粒和弱势粒的理论最大干重(W_0)均随施氮量的增加而增大,并且强势粒的 W_0 明显比

表 1 不同施氮水平下旱地小麦的产量及其构成

Table 1 Grain yield and yield components of two wheat cultivars under different nitrogen levels

品种	处理	穗粒数	千粒重/g	穗粒重/g	产量/(g·桶 ⁻¹)
长武 134	N0	21.00a	40.53±0.20a	0.85±0.04a	10.22±0.53a
	N1	41.33b	47.31±0.16b	1.96±0.12b	23.47±1.48b
	N2	53.00c	48.13±1.83b	2.55±0.02c	30.58±0.24c
	N3	71.33d	49.69±1.01b	3.45±0.23d	41.35±2.70d
长旱 58	N0	22.33a	42.32±0.54a	0.95±0.01a	11.34±0.16a
	N1	44.67b	50.11±0.35b	2.24±0.09b	26.86±1.07b
	N2	69.00c	48.89±0.54b	3.37±0.05c	40.48±0.65c
	N3	74.33d	49.13±0.48b	3.72±0.07d	44.60±0.79d

同列数值后不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。



A 为长武 134 强势粒;B 为长武 134 弱势粒;C 为长旱 58 强势粒;D 为长旱 58 弱势粒

图 1 不同施氮水平下旱地小麦灌浆期强、弱势粒的千粒重动态变化

Fig. 1 Dynamic change of superior and inferior grain of dryland wheat under different nitrogen levels

弱势粒大。两个品种相比,长武 134 的强、弱势粒的 W_0 均高于长早 58。灌浆持续时间(T)与 W_0 随施氮量的增加有着相同的变化趋势。长武 134 强势粒和弱势粒的 T 均短于长早 58。从平均灌浆速率(V_a)看,长武 134 和长早 58 的强势粒随着施氮量的增加均呈先增后降趋势,而弱势粒总体上呈降低趋势。在同一施氮水平下,长武 134 和长早 58 的 V_a 相近。

在相同施氮量下,长武 134 强、弱势粒的最大灌浆速率(V_m)均高于长早 58(表 3)。两个品种强势粒的 V_m 随施氮量的增加均呈先增后减趋势,最大值均出现在 N2 处理中;弱势粒 V_m 均随施氮量的增加而降低。不同时期的灌浆速率差异很大,总的趋势为增速期(V_2)>渐增期(V_1)>缓增期(V_3)。 V_1 随施氮量的增加而增加, V_2 和 V_3 却是先增后减。因此增施氮肥可以提高旱地小麦灌浆的起步速率,但是到中后期过多施氮会抑制灌浆速率。

从各阶段灌浆持续天数(T_1 、 T_2 、 T_3)看,两个品种的强势粒均随施氮量增加呈增加趋势,而弱势粒呈先减后增趋势(表 3)。同一品种强势粒的 T_1 小于弱势粒, T_2 、 T_3 则大于弱势粒。在同一施氮量下,长早 58 的强、弱势粒的 T_1 均比长武 134 短,但 T_2 、 T_3 要比长武 134 长。最大灌浆速率出现的天数(T_m)随着施氮量的增加而延长,并且相同施氮水平下强势粒的 V_m 要比弱势粒出现得早。长武 134 整体达到 V_m 的天数比长早 58 短 1~3 d。

2.4 旱地小麦强、弱势粒灌浆参数与粒重的相关性

相关分析(表 4)表明,长武 134 强势粒千粒重与 V_1 、 T 和 V_a 呈显著正相关($P<0.05$),弱势粒的千粒重与 V_m 、 T_2 、 T_3 和 T 呈极显著正相关($P<0.001$);长早 58 强势粒的千粒重与 V_a 显著正相关,弱势粒的千粒重与 T_m 呈显著负相关,与 T_2 、 T_3 呈显著正相关。

表 2 不同施氮水平下旱地小麦强势粒和弱势籽粒灌浆的 Logistic 方程参数

Table 2 Parameters of Logistic equation of superior and inferior grain filling dryland wheat under different nitrogen levels

品种	粒型	处理	方程参数					
			r	W_0/g	A	B	T/d	$V_a/(mg \cdot 粒^{-1} \cdot d^{-1})$
长武 134	强势粒	N0	0.9961	45.21	50.70	0.28	30.39	1.49
		N1	0.9940	57.04	30.46	0.23	34.80	1.64
		N2	0.9959	61.86	62.25	0.25	35.35	1.75
		N3	0.9930	64.26	48.97	0.23	37.35	1.72
	弱势粒	N1	0.9987	43.41	94.09	0.31	29.85	1.45
		N2	0.9969	45.51	98.82	0.27	33.53	1.36
长早 58	强势粒	N0	0.9948	51.62	23.10	0.23	32.97	1.57
		N1	0.9982	58.66	26.56	0.23	34.80	1.69
		N2	0.9968	64.72	29.90	0.22	36.76	1.76
		N3	0.9962	65.48	21.27	0.20	37.69	1.74
	弱势粒	N1	0.9898	44.36	55.38	0.27	31.48	1.41
		N2	0.9931	45.10	52.84	0.27	31.38	1.44
		N3	0.9977	49.10	31.43	0.20	36.28	1.25

3 讨论

目前,施氮对水稻、小麦等作物籽粒灌浆特性影响的研究很多,但结论不一。吴金花等^[17] 研究认为氮肥用量影响水稻籽粒灌浆速率和粒重。周强等^[18] 研究表明,随着施氮量的增加,小麦最大

灌浆速率和阶段灌浆速率均呈下降趋势。但在刘丽霞等^[19] 的研究中,生育后期施氮有利于提高小麦籽粒平均灌浆速率、最大灌浆速率。本研究中,旱地小麦灌浆速率表现为速增期>缓增期>渐增期,各阶段灌浆速率对施氮的响应不同,渐增期 V_1 随着氮肥用量的增加而增长,但是速增期 V_2

表 3 不同施氮水平下旱地小麦强势粒和弱势粒的阶段灌浆参数

Table 3 Grain-filling characteristics of three stage for superior and inferior grain under different nitrogen levels

品种	粒型	处理	渐增期			速增期			缓增期			最大特征值	
			W ₁ /g	T ₁ /d	V ₁ /(mg·粒 ⁻¹ ·d ⁻¹)	W ₂ /g	T ₂ /d	V ₂ /(mg·粒 ⁻¹ ·d ⁻¹)	W ₃ /g	T ₃ /d	V ₃ /(mg·粒 ⁻¹ ·d ⁻¹)	V _m /(mg·粒 ⁻¹ ·d ⁻¹)	T _m /d
长武 134	强势粒	N0	9.55	9.30	1.03	26.10	9.39	2.78	9.10	11.69	0.78	3.17	14.00
		N1	12.05	9.12	1.12	32.93	10.44	2.88	11.48	14.24	0.81	3.28	14.84
		N2	13.07	11.40	1.15	35.71	10.67	3.35	12.45	13.28	0.94	3.82	16.74
	弱势粒	N3	13.58	11.33	1.20	37.10	11.59	3.20	12.94	14.43	0.90	3.65	17.12
		N1	9.17	10.54	0.87	25.06	8.60	2.71	8.74	10.71	0.82	3.32	14.84
		N2	9.62	11.96	0.80	26.28	9.61	2.73	9.16	11.96	0.77	3.12	16.76
长旱 58	强势粒	N3	10.75	12.70	0.85	29.37	10.66	2.76	10.24	13.27	0.77	3.11	18.03
		N0	10.91	7.77	1.40	29.80	11.23	2.65	10.39	13.97	0.74	3.03	13.38
		N1	12.40	8.67	1.43	33.87	11.64	2.91	11.81	14.49	0.82	3.32	14.49
	弱势粒	N2	13.68	9.57	1.43	37.37	12.11	3.09	13.03	15.08	0.86	3.52	15.63
		N3	13.84	8.57	1.61	37.81	12.97	2.91	13.18	16.15	0.82	3.32	15.06
		N1	9.37	9.86	0.95	25.61	9.63	2.66	8.93	11.98	0.75	3.08	14.68
	N2	9.53	9.71	0.98	26.04	9.65	2.70	9.08	12.01	0.76	3.03	14.54	
	N3	10.38	10.41	1.00	28.35	12.86	2.20	9.88	16.01	0.62	2.51	16.84	

表 4 旱地小麦强、弱势粒灌浆参数与千粒重的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between grain filling parameters and grain weight

品种	粒型	T _m	V _m	T ₁	V ₁	T ₂	V ₂	T ₃	V ₃	T	V _a
长武 134	强势粒	0.773	0.862	0.674	0.960*	0.920	0.776	0.901	0.785	0.978*	0.961*
	弱势粒	-0.904	0.997*	0.990	-0.316	0.999*	0.988	0.999*	-0.886	1.000**	-0.685
长旱 58	强势粒	0.889	0.916	0.795	0.565	0.775	0.889	0.777	0.929	0.900	0.972*
	弱势粒	-1.00*	0.994	0.965	0.837	0.999*	-0.991	0.999*	-0.992	0.997*	-0.979

*表示达到 P<0.05 显著水平; **表示达到 P<0.01 极显著水平。

和缓增期 V₃ 却呈先增后降趋势,表明灌浆前期增施氮肥可以提高小麦灌浆的起步速率,中后期过多施氮会抑制灌浆速率。对灌浆持续天数而言,氮肥用量的增加使强势粒前期表现出先升后降的趋势,说明高氮肥用量缩短了前期持续天数,使灌浆较快地进入速增期,同时高氮肥用量延长了速增期的灌浆持续天数,因而从两个方面保证了籽粒同化物的积累。

研究表明,小麦粒重与灌浆速率呈正相关关系,与灌浆持续时间无显著相关性^[11-13];也有人认为,灌浆持续天数与粒重呈正相关^[20-22]。伍维模^[23]研究认为,小麦达到最大灌浆速率的天数、活跃灌浆期和氮活跃吸收期与千粒重呈极显著正相关。谢光辉等^[24]对水稻的研究发现,水稻籽粒的充实和重量决定于灌浆速率和灌浆持续时间,强势粒灌浆速率大,灌浆活跃时期短。本研究结

果显示,旱地小麦强势粒和弱势粒千粒重与灌浆参数的相关性具有明显的差异,强势粒千粒重主要与灌浆过程的平均速率和总灌浆时间正相关;弱势粒千粒重主要与最大灌浆出现的天数显著相关。强势粒开花早,灌浆启动快,弱势粒则相反。强势粒灌浆早,速率快,要保证高粒重就必须延长灌浆时间;弱势粒灌浆启动晚,灌浆时间延后于强势粒,要保证高粒重就必须提高灌浆速率。

小麦在籽粒灌浆期对氮素吸收达到一个高峰,此期保持较高的氮素供应非常重要。如果这一时期氮素供应不足,会加速植株营养器官的氮素过早、过快向籽粒中动员,从而导致植株的早衰,缩短灌浆时间,从而严重影响小麦产量。灌浆前期适当增加氮素营养能够增加小麦穗粒数,中后期追施适量氮肥能延长灌浆持续时间,促进开花前营养器官贮存的干物质在花后向籽粒的转

运,增加粒重。本试验条件下,随着氮肥用量的增加,强势粒和弱势粒干重都呈先增加后基本不变的趋势,但是不同氮肥处理的穗粒数差异显著,穗粒数增加是增施氮肥对小麦增产的主要原因。

参考文献:

- [1] Lesch S M, Grieve C M, Maas E V, *et al.* Kernel distributions in main spikes of salt-stressed wheat: a probabilistic modeling approach [J]. *Crop Science*, 1992, 32: 704-712.
- [2] Stamp P H, Geisler G. Grain development in relation to grain position in two spring wheat cultivars [J]. *Acker Pflanzenbau*, 1976, 142: 264-274.
- [3] Langer, R H M, Hanif, M. A study of floret development in wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Annals of Botany*, 1973, 37: 743-751.
- [4] Gao X, Francis D, Ormrod J C, Bennett M D. Changes in cell number and cell division activity during endosperm development in allohexaploid wheat, (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1992, 43: 1603-1609.
- [5] Ishimaru T, Matsuda T, Ohsugi R, Yamagishi T. Morphological development of rice caryopses located at the different positions in a panicle from early to middle stage of grain filling [J]. *Functional Plant Biology*, 2003, 30: 1139-1149.
- [6] 张俊英, 赵同科, 许永利. 氮肥施用与环境质量[J]. *华北农学报*, 2002, 17(增刊): 223-229.
- [7] 李金才, 魏凤珍. 氮素营养对小麦产量和籽粒蛋白质及组分含量的影响[J]. *中国粮油学报*, 2001, 16(2): 6-8.
- [8] 陈炜, 邓西平, 聂朝娟, 等. 不同栽培模式下两个旱地小麦品种籽粒灌浆特性与产量构成分析[J]. *水土保持研究*, 2010, 17(3): 240-244.
- [9] 孟兆江, 孙景生, 段爱旺, 等. 调亏灌溉条件下冬小麦籽粒灌浆特征及其模拟模型[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(1): 18-23.
- [10] 杨茹, 马富裕, 何海兵. 滴灌春小麦的籽粒灌浆特性[J]. *麦类作物学报*, 2012, 32(4): 743-746.
- [11] 张晓龙. 小麦品种籽粒灌浆的研究[J]. *作物学报*, 1982, 8(2): 87-92.
- [12] 周竹青, 朱旭彤. 不同粒重小麦品种(系)灌浆特性分析[J]. *华中农业大学学报*, 1999, 18(2): 107-110.
- [13] 冯素伟, 茹振钢. 不同小麦品种籽粒灌浆特性分析[J]. *麦类作物学报*, 2009, 29(4): 643-646.
- [14] 马新明, 张娟娟, 熊淑萍, 等. 氮肥用量对不同品质类型小麦品种籽粒灌浆特征和产量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2005, 25(6): 72-77.
- [15] 陆增根, 戴廷波, 姜东, 等. 氮肥运筹对弱筋小麦群体指标与产量和品质形成的影响[J]. *作物学报*, 2007, 33(4): 590-597.
- [16] Dong Jiang, Weixing Cao, Tingbo Dai, *et al.* Activities of key enzymes for starch synthesis in relation to growth of superior and inferior grains on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) spike [J]. *Plant Growth Regulation*, 2003(41): 247-257.
- [17] 吴金花, 焦峰, 郑树生, 等. 不同氮肥水平影响下的水稻灌浆特性分析[J]. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2007, 19(2): 8-12.
- [18] 周强, 张跃非, 李生荣, 等. 密度与施氮量对杂交小麦品种绵杂麦 168 籽粒灌浆特性的影响[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2010, 32(10): 1-5.
- [19] 刘丽霞, 刘宛, 闵国春, 等. 氮素水平对不同穗型水稻品种籽粒灌浆特性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2011, 39(2): 117-119.
- [20] 刘丰明, 陈明灿, 郭香风. 高产小麦粒重形成的灌浆特性分析[J]. *麦类作物(已更名为麦类作物学报)*, 1997, 17(6): 38-41.
- [21] Wiegand C L, Cuellar J A. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature [J]. *Crop Science*, 1981, 21: 95-101.
- [22] 李世清, 邵明安, 李紫燕. 小麦籽粒灌浆特征及影响因素的研究进展[J]. *西北植物学报*, 2003, 23(11): 2031-2039.
- [23] 谢光辉, 杨建昌, 王志琴, 等. 水稻籽粒灌浆特性及其与籽粒生理活性的关系[J]. *作物学报*, 2001, 27(5): 557-565.
- [24] 伍维模. 不同基因型冬小麦灌浆特征及物质转移效率的研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2002.