

籽粒灌浆特性对小麦磨粉品质的影响及其氮肥调控效应研究

马冬云,郭天财,宋晓,岳艳军,查菲娜

(河南农业大学 国家小麦工程技术研究中心,河南 郑州 450002)

摘要:在大田条件下,以大穗型小麦品种兰考矮早8和多穗型小麦品种豫麦49-198为材料,通过设置不同氮肥施水平,研究籽粒灌浆过程对小麦磨粉品质的影响以及氮肥的调控效应。结果表明,在各施氮处理中小麦籽粒灌浆过程均呈“S”型变化,籽粒干质量积累均可用三次曲线进行拟合,但模型参数因氮肥用量而不同。大穗型品种兰考矮早8均以N3(270 kg/hm²)处理的灌浆特征参数值较高,多穗型品种豫麦49-198以N2(180 kg/hm²)处理的灌浆持续期最长,最大灌浆速率出现的时间最晚,最大灌浆速率最高以及有效灌浆持续期最长,理论最大粒重以N0(0 kg/hm²)和N5(450 kg/hm²)处理的较高。灌浆特征参数与磨粉品质的相关分析表明,多数籽粒灌浆特征参数与磨粉品质指标之间的相关达到极显著水平;同时建立了磨粉品质指标和灌浆特征参数之间的回归方程,可以用籽粒灌浆特征参数来预测籽粒的磨粉品质。

关键词:小麦;籽粒灌浆;特征参数;磨粉品质;氮肥

中图分类号:S512.01 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2010)04-0226-05

Interrelationships among Grain Filling, Milling Quality in Wheat and Nitrogen Fertilizer Application

MA Dong-yun, GUO Tian-cai, SONG Xiao, YUE Yan-jun, CHA Fei-na

(Henan Agricultural University, National Engineering Research Center for Wheat, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to understand the interrelationship between grain filling and milling quality in winter wheat, Two winter wheat cultivars, Yumai49-198 and Aizao8 were planted at Henan Agricultural University Research Station during 2004-2006 under different amounts of nitrogen application. The results indicated that during the course of wheat grain filling, the process of grain filling presented a shape of "S" and curve equation were used to describe the grain filling process, but all the parameters of the model were different at in different treatments. The parameters of grain filling for Aizao8 attained the highest value in N3(270 kg/ha) treatment. The duration of grain filling, the appearance time of maximum rate of grain filling, the maximum rate of grain filling and effective duration of grain filling occurred the highest value in N2(180 kg/ha) treatment for Yumai49-198. The correlation analysis between parameters of grain filling and milling quality traits showed that most parameters of grain filling were significantly correlated with milling quality traits. Multiple regression equation between parameters of grain filling and milling quality traits were reasonable and practicable.

Key words: Wheat; Grain filling; Parameters; Milling quality; Nitrogen fertilizer

小麦籽粒灌浆特性与籽粒产量密切相关,对它的研究可为籽粒产量目标制定及育种策略抉择提供重要依据。籽粒灌浆期是高产小麦对氮素吸收的2个高峰期^[1],此期保持土壤氮素供应非常重要,如

果这一时期土壤有效氮不足,会加速植株茎、叶、鞘中的氮素过早降解,向籽粒转移,从而导致早衰^[2]。因此,研究氮素对冬小麦籽粒灌浆特性的影响,具有重要的理论和实践意义。而小麦磨粉是小麦加工利

收稿日期:2009-08-25

基金项目:小麦超高产优化栽培技术攻关研究(2006BAD02A-07);农作物生产技术与示范项目(2130103)

作者简介:马冬云(1972-),女,河南修武人,副研究员,博士,主要从事小麦生理及品质研究。

通讯作者:郭天财(1953-),男,河南济源人,教授,主要从事小麦高产栽培研究。

用的首要环节,磨粉品质是小麦加工品质指标中的重要部分,磨粉品质的优劣直接影响面粉企业的效益和面包、馒头等食品的加工品质。出粉率、粉色、灰分是主要的磨粉品质指标,千粒重、硬度、籽粒粒径是影响磨粉品质的主要籽粒性状^[3]。关于出粉率,前人研究认为,小麦出粉率为数量性状,遗传力中等,同时受生态环境和品种遗传特性的影响,变化幅度最高达到 9%^[4,5]。有研究认为,在适量施用氮、钾肥基础上,增施磷肥,使强筋冬小麦出粉率明显提高,而弱筋冬小麦出粉率变化无规律^[6]。李友军等^[7]研究认为,增施氮肥降低了强筋和弱筋小麦的籽粒硬度。Wang Chun 等^[8]研究表明,随着施氮量的增加,面粉白度总体呈下降的趋势。许多学者对籽粒灌浆过程和千粒重的关系进行了研究,一般认为,粒重与灌浆速率呈显著正相关,与灌浆持续期无显著相关关系^[9,10];也有人认为灌浆持续天数与粒重呈正相关性^[11]。但是关于籽粒灌浆过程对小麦磨粉品质的影响还鲜见报道,因此本试验通过设置不同氮肥施用水平,研究籽粒灌浆特征对小麦磨粉品质的影响以及氮肥的调控效应,以为小麦高产优质育种和栽培管理提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料与试验设计

试验于 2004—2006 年在河南农业大学科教试验园区进行。土壤为潮土,土壤有机质含量 17.8 g/kg,全氮 0.99 g/kg,碱解氮 57.9 mg/kg,速效磷 67.5 mg/kg,速效钾 204.8 mg/kg, pH 值为 7.94。试验采用裂区设计,重复 3 次,小区面积 3 m × 7 m,每公顷施 P₂O₅ 150 kg, K₂SO₄ 150 kg,以上肥料做基肥一次掩底施入。供试品种为具有超高产潜力的冬小麦品种豫麦 49-198 和兰考矮早 8, N 肥施用量设 6 个水平,即 0 kg/hm² (N0)、90 kg/hm² (N1)、180 kg/hm² (N2)、270 kg/hm² (N3)、360 kg/hm² (N4)、450 kg/hm² (N5)。将总施 N 量的 50% 作基肥掩底,剩余的 50% 于拔节期结合浇水追施。播种密度按照品种特性而定,分蘖成穗率高的多穗型品种豫麦 49-198 基本苗为 150 × 10⁴ 株/hm²;分蘖成穗率低的大穗型品种兰考矮早 8 基本苗为 330 × 10⁴ 株/hm²。10 月 12 日播种,三叶期定苗,其余田间管理按一般高产麦田进行。

1.2 测试项目与方法

1.2.1 籽粒灌浆特性测定 在盛花期各处理选取同天开花且生长正常、长势长相、穗子大小基本相同的单茎 200 个挂牌标记作为取样观测材料。从开花

后 5 d 开始,每隔 5 d 取样一次,每次取样 20 穗,剥其籽粒,测定籽粒鲜质量及干质量。成熟时取 9 m² 全部植株籽粒风干后备用。

1.2.2 籽粒灌浆特征参数的计算 用三次多项式 $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ 对籽粒灌浆过程进行拟合,其参数分别计算如下:

籽粒灌浆持续期(S):令 $f'(x) = 3ax^2 + 2bx + c = 0$,求得灌浆起始、终止的时间 x_1 和 x_2 ($x_1 < x_2$),则籽粒灌浆持续期(S) = $x_2 - x_1$ 。

理论最大粒重(W)和平均灌浆速率(V):将籽粒灌浆终止时间 x_2 代入粒重增长方程,得理论最大粒重(W) = $ax_2^3 + bx_2^2 + cx_2 + d$,理论最大粒重除以籽粒灌浆持续期,即得平均灌浆速率(V) = W/S 。

最大籽粒灌浆速率出现时间(T):对 $f(x)$ 二次求导并令导数为 0,求得 $x = -2b/6a$,即为最大籽粒灌浆速率出现时间(T)。

最大灌浆速率(V_{max}):将最大籽粒灌浆速率出现时间(T)代入籽粒灌浆速率方程 $f'(T) = 3aT^2 + 2bT + c$,求得最大灌浆速率(V_{max})。

有效灌浆持续期(Se)及有效灌浆持续期灌浆速率(V_s):把籽粒灌浆曲线的线性增长阶段定义为该曲线的斜率 ≥ 1 的部分^[12],令 $f'(x) = 3ax^2 + 2bx + c = 0.1$,求得 x_1' 和 x_2' ($x_1' < x_2'$),有效灌浆持续期(Se) = $x_2' - x_1'$ 。有效灌浆持续期粒重增加值(W_s) = $ax_2'^3 + bx_2'^2 + cx_2' + d - (ax_1'^3 + bx_1'^2 + cx_1' + d)$ 和有效灌浆持续期灌浆速率(V_s) = W_s/Se 。

1.2.3 制粉 使用 Brabender Quadrumat Junior 磨磨粉,并过孔径 0.15 mm 筛。

1.2.4 籽粒硬度和粒径 使用瑞典 Peten(波通)公司生产的 SKCS 4100 测定。

1.2.5 灰分 采用 GB5505-85 测定。

1.2.6 粉色值 面粉样品色泽用日本 STAKA 公司的色彩色差计测定。CGV(Color Grade Value)表示面粉颜色的评价,数值越低表示颜色越白。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥施用量对籽粒干物质积累的影响

从图 1、2 可见,不同氮肥处理下,两品种籽粒干质量积累均呈“慢—快—慢”的变化趋势。在开花后 15 d 之前,各个处理之间的差异较小,花后 15 d 之后,各个处理之间的差异增大。2 个品种在不同氮肥处理之间,均表现为 N0 处理的籽粒干质量最大,其次为中等氮肥处理的 N2 或 N3 处理,最低的为高氮量的 N5 处理。

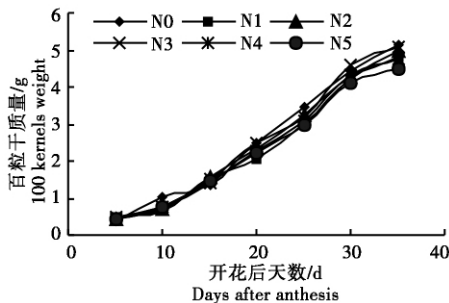


图 1 氮肥施用量对兰考矮早 8 籽粒灌浆动态的影响
Fig.1 Effect of nitrogen application on grain filling of Lankao Aizao8

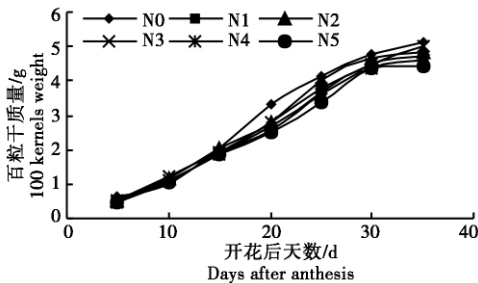


图 2 氮肥施用量对豫麦 49-198 籽粒灌浆动态的影响
Fig.2 Effect of nitrogen application on grain filling of Yumai49-198

2.2 不同氮肥施用量下小麦籽粒干物质积累拟合方程的建立

不同氮肥用量下小麦籽粒干物质积累的动态变化均呈“S”型曲线,故可用三次多项式对其进行拟合,百粒干质量(y)与花后天数(x)的 S 型曲线拟合方程见表 1,各模拟方程的决定系数均达到极显著水平,说明模拟方程可以客观地反映两品种粒重的形成。

2.3 氮肥施用量对小麦籽粒灌浆特征参数的影响

不同氮肥处理下两品种籽粒灌浆特征参数表现不同(表 2),对于大穗型品种兰考矮早 8,灌浆持续天数、理论最大粒重、平均灌浆速率、最大灌浆速率出现时间、最大灌浆速率、有效灌浆持续天数、有效灌浆期粒重增加值、有效灌浆期平均速率均表现为随施氮量的增加呈先上升后下降的趋势,以 N3 处理的数值最高,但 N0 处理的数值高于 N1 和 N2 处理。豫麦 49-198 以 N2 处理的灌浆持续期最长,最大灌浆速率出现的时间最晚,最大灌浆速率最高以及有效灌浆持续期最长;理论最大粒重以 N0 和 N5 处理的较高,灌浆速率以 N3 处理的较高。

表 1 不同氮肥用量下小麦籽粒灌浆进程的曲线模拟

Tab.1 The simulative equation of grain filling process of wheat with different nitrogen application amount				
品种 Cultivars	氮肥处理 Nitrogen treatment	模拟方程 Simulative equation		决定系数 R^2 Decision coefficient
兰考矮早 8 Lankao Aizao8	N0	$y = -0.000\ 2x^3 + 0.011\ 7x^2 - 0.072\ 1x + 0.5457$		0.996 6**
	N1	$y = -0.000\ 2x^3 + 0.011\ 4x^2 - 0.089\ 6x + 0.634\ 8$		0.995 3**
	N2	$y = -0.000\ 2x^3 + 0.011\ 1x^2 - 0.068x + 0.521\ 6$		0.998 8**
	N3	$y = -0.000\ 2x^3 + 0.014\ 1x^2 - 0.118\ 6x + 0.759\ 3$		0.994 7**
	N4	$y = -0.000\ 2x^3 + 0.013\ 6x^2 - 0.115\ 5x + 0.713\ 5$		0.997 1**
	N5	$y = -0.000\ 2x^3 + 0.011\ 2x^2 - 0.072\ x + 0.544\ 1$		0.996 2**
豫麦 49-198 Yumai49-198	N0	$y = -0.000\ 3x^3 + 0.017\ 8x^2 - 0.105\ 3x + 0.706\ 8$		0.997 4**
	N1	$y = -0.000\ 2x^3 + 0.011\ 4x^2 - 0.023\ 4x + 0.321\ 6$		0.997 6**
	N2	$y = -0.000\ 2x^3 + 0.013\ 3x^2 - 0.041\ 7x + 0.450\ 9$		0.996 7**
	N3	$y = -0.000\ 2x^3 + 0.008\ 9x^2 + 0.012\ 2x + 0.304\ 5$		0.999 4**
	N4	$y = -0.000\ 2x^3 + 0.012\ 1x^2 - 0.044\ x + 0.472\ 2$		0.997 3**
	N5	$y = -0.000\ 2x^3 + 0.010\ 8x^2 - 0.030\ 6x + 0.429\ 8$		0.994 2**

表 2 氮肥用量对小麦籽粒灌浆特征参数的影响

Tab.2 Effect of nitrogen application on grain filling characteristic parameter of wheat cultivars									
品种 Cultivars	处理 Treatment	S/d	W/g	V/(g/d)	T/d	$V_{max}/(g/d)$	Se/d	Ws/g	$V_s/(g/d)$
兰考矮早 8 Lankao Aizao8	N0	32.25	3.78	0.12	19.50	0.16	19.33	2.66	0.14
	N1	29.10	2.91	0.10	19.00	0.13	13.42	1.58	0.12
	N2	30.26	3.07	0.10	18.50	0.14	15.78	1.91	0.12
	N3	37.66	5.83	0.15	23.50	0.21	27.42	4.80	0.18
	N4	35.85	5.06	0.14	22.70	0.19	24.87	4.02	0.16
	N5	30.23	3.12	0.11	18.70	0.14	15.72	1.96	0.12
豫麦 49-198 Yumai49-198	N0	33.12	3.12	0.09	19.78	0.25	25.54	2.65	0.10
	N1	35.89	3.09	0.09	19.00	0.19	24.93	2.64	0.11
	N2	41.08	2.32	0.06	22.17	0.25	31.95	2.51	0.08
	N3	31.01	3.08	0.10	14.83	0.14	17.17	1.95	0.11
	N4	36.52	2.97	0.08	20.17	0.20	25.82	2.64	0.10
	N5	33.05	3.18	0.10	18.00	0.16	20.62	2.38	0.12

2.4 小麦籽粒灌浆特征参数与磨粉品质指标的相
关性分析

从表 3 可见,灌浆参数与磨粉品质指标之间多数
也达到了显著相关水平,其中平均速率、最大灌浆速
率出现时间、有效灌浆期平均速率分别与出粉率、硬

度、灰分、粉色呈正相关,并且除出粉率之外均达到了
极显著水平;最大速率和有效灌浆持续天数分别和出
粉率、硬度、灰分、粉色呈负相关,和千粒重之间呈正
相关,但是均未达显著水平;有效灌浆期粒重增加值
和除千粒重之外的其他指标之间均呈正相关。

表 3 小麦籽粒灌浆特征参数与磨粉品质指标之间的相关系数

Tab. 3 Correlation coefficient of milling quality and grain filling characteristic parameter of wheat

项目 Item	灌浆持续期 Duration of grain filling	平均速率 Average rate	最大速率出现时间 Appearance time of maximum rate of grain filling	最大速率 Maximum rate	有效灌浆天数 Effective duration of grain filling	有效速率 Effective rate	有效灌浆期 粒重增加值 Weight increase value
出粉率 Flour yield	-0.22	0.39	0.25	-0.05	-0.16	0.35	0.15
硬度 Hardness index	0.03	0.65 **	0.72 **	-0.13	-0.10	0.71 **	0.36
灰分 Ash content	0.13	0.57 **	0.60 **	-0.21	-0.13	0.66 **	0.30
粉色 Flour color	-0.08	0.60 **	0.63 **	-0.26	-0.23	0.65 **	0.25
千粒重 1000-grain weight	0.11	-0.22	-0.09	0.13	0.13	-0.17	-0.02

2.5 磨粉品质指标与灌浆特征参数之间的回归分析

表 4 是磨粉品质指标(y) 和灌浆参数(x) 之间的
多元线性回归方程, x_1 灌浆持续期, x_2 平均灌浆速
率, x_3 最大灌浆速率出现的时间, x_4 最大灌浆速率,
 x_5 有效灌浆持续期, x_6 有效灌浆持续期的灌浆速
率, x_7 有效灌浆持续期的粒重增加值,各回归方程
的决定系数均达到了显著水平,表明回归方程是有效
方程,同时,回归系数的 t 检验也达到了显著水平。
对于籽粒硬度,可以用最大灌浆速率出现的时间、
有效灌浆持续天数、有效灌浆持续期的粒重增加
值来回归,表明最大灌浆速率出现越晚和有效灌浆

持续期粒重增加越大,籽粒硬度越高。出粉率可以
用灌浆持续天数和最大灌浆速率出现时间来预测;
灰分可以用最大灌浆速率出现的时间、最大灌浆速
率、有效灌浆持续期的灌浆速率来预测,表明最大灌
浆速率越大,则灰分含量较低;粉色值用最大灌浆速
率出现的时间、有效灌浆持续期、有效灌浆持续期的
粒重增加值来回归预测,表明最大灌浆速率出现时
间越晚,有效灌浆持续期的粒重增加值越高,则面粉
白度越低;千粒重用灌浆持续期和平均灌浆速率来
预测,平均灌浆速率越高,则千粒重越高。

表 4 磨粉品质指标(y) 与灌浆特征参数(x) 之间的回归方程

Tab. 4 Regression equation between parameters of grain filling and milling quality traits

回归方程 Regression equation	回归系数检验 Regression coefficient test
$y_{\text{硬度}} = 0.850x_3 - 1.177x_5 + 0.473x_7$	$t_7 = 3.388^{**}$, $t_3 = 6.564^{**}$, $t_5 = -10.218^{**}$
$y_{\text{出粉率}} = -0.473x_1 + 0.737x_3 + 66.968$	$t_0 = 21.927^{**}$, $t_1 = -3.567^{**}$, $t_3 = 3.638^{**}$
$y_{\text{灰分}} = 0.0002x_3 - 0.898x_4 + 0.214x_6 + 0.444$	$t_0 = 14.365^{**}$, $t_3 = 4.728^{**}$, $t_4 = -6.499^{**}$, $t_6 = 0.931$
$y_{\text{粉色}} = 0.661x_3 + 0.706x_7 - 0.414x_5 - 6.422$	$t_0 = -5.74^{**}$, $t_3 = 8.332^{**}$, $t_5 = -12.826^{**}$, $t_7 = 3.172^{**}$
$y_{\text{千粒重}} = 111.182x_2 - 0.426x_1 + 46.433$	$t_0 = 7.784^{**}$, $t_1 = -2.564^{**}$, $t_2 = 4.067^{**}$

3 结论与讨论

籽粒灌浆过程是小麦产量形成的关键过程,灌
浆特性对产量的高低有重要影响。关于氮肥在小麦
灌浆进程中的作用有不同的观点和结论。李科江
等^[13] 研究表明,随着施 N 量的增加,小麦的千粒重
降低,这主要与施 N 的增穗作用有关;冯伟等^[14] 认
为施氮水平对不同穗型小麦品种千粒重的影响效应
不同,但均以 225 kg/hm² 的处理最高。刘克礼
等^[15] 对旱作春小麦的研究表明,在适宜的施氮范围
内,随着施氮量的增加,籽粒干质量和灌浆速率有增
大的趋势,而过量施氮却呈下降趋势。本研究结果
表明千粒重以 N0 处理最大,其次为中等氮肥(180
kg/hm² 或 270 kg/hm²) 处理,表明在不施氮肥的情

况下,由于穗数和穗粒数的下降,使千粒重增加;在
一定范围内,即低氮到中等氮肥水平(90 ~ 270
kg/hm²),随着施氮量的增加千粒重增加;而过量施
氮下,千粒重呈下降趋势,这可能是由于高氮条件
下,穗数和穗粒数增多,群体也较大,从而影响到籽
粒干物质的积累。

关于氮肥对籽粒灌浆特征参数的影响,李紫燕
等^[16] 研究结果表明,遗传差异是控制小麦籽粒灌浆
特征参数的主要因素,氮肥与基因间存在互作,但总
体上氮肥对这些参数的影响相对较小。马新明
等^[17] 认为,不同施氮处理中,不同品质类型小麦品
种籽粒灌浆过程均呈“S”型曲线,但模型参数因氮
肥用量而不同。本研究结果表明,籽粒灌浆过程可
以用三次曲线拟合,但不同施氮水平和不同品种的

灌浆特征参数不同。表明籽粒灌浆特征参数受品种特性即遗传控制,同时,环境对其有重要的调节效应,因此,在生产实践中,可以对小麦籽粒灌浆过程进行适当的调控,使其籽粒灌浆过程有利于产量的形成。

许多学者对籽粒灌浆过程和千粒重的关系进行了研究。有人认为小麦籽粒最大粒重主要由灌浆速率和灌浆持续期来决定^[18],但也有研究表明灌浆速率的影响大于灌浆持续时间^[19]。杨紫燕等^[16]研究结果表明,最大灌浆速率持续期、达到最大灌浆速率的天数、活跃灌浆期与千粒重呈极显著正相关关系,是影响粒重的关键因子。但关于籽粒灌浆参数和磨粉品质之间的报道较少,本文就籽粒灌浆参数和磨粉品质指标之间进行了相关和回归分析,结果表明,籽粒灌浆过程对磨粉品质有重要影响,磨粉品质指标可以用籽粒灌浆参数进行预测。小麦产量和磨粉品质不仅受基因型控制,同时,环境对其产生重大影响,环境对小麦产量和品质的影响很大一部分是通过调节籽粒灌浆过程来实现的,因此,在生产实践中,应依据不同品种类型、不同品质性状对环境 and 栽培措施的反应,科学制定栽培管理模式,以实现产量、品质与效益的协调统一。

参考文献:

- [1] 金善宝. 中国小麦[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [2] 余松烈. 山东小麦[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [3] 周艳华, 何中虎. 小麦品种磨粉品质研究概况[J]. 麦类作物学报, 2001, 21(4): 91-95.
- [4] 于亚雄, 陈坤玲, 刘丽, 等. 云南低纬高原不同生态环境与小麦品质关系的初步研究[J]. 麦类作物学报, 2001, 21(1): 51-54.
- [5] 顾尧臣. 小麦制粉特性、制粉效果评定[J]. 粮食与饲料工业, 2001, 9: 1-3.
- [6] 毛凤梧, 赵会杰, 段藏禄. 潮土麦田施磷对小麦品质的影响初探[J]. 河南农业大学学报, 2001, 35(4): 400-402.
- [7] 李友军, 熊瑛, 骆炳山. 氮、钾及其互作对两种品质类型小麦品质性状的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 43-48.
- [8] Wang Chun, Kovacs MIP, Fowler D B, *et al.* Effects of protein content and composition on white noodle making quality: color[J]. Cereal Chemistry, 2004, 81(6): 777-784.
- [9] 张晓龙. 小麦品种籽粒灌浆的研究[J]. 作物学报, 1982, 8(2): 87-92.
- [10] 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.
- [11] 刘丰明, 陈明灿, 郭香凤. 高产小麦粒重形成的灌浆特性分析[J]. 麦类作物, 1997, 17(6): 38-41.
- [12] 李世清, 邵明安, 李紫燕, 等. 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.
- [13] 李科江, 张西科, 刘文菊, 等. 不同栽培措施下冬小麦灌浆模拟研究[J]. 华北农学报, 2001, 16(2): 70-74.
- [14] 冯伟, 李晓, 郭天财, 等. 氮用量对不同穗型小麦品种籽粒灌浆及穗部性状的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 22-26.
- [15] 刘克礼, 高聚林, 张永平, 等. 旱作春小麦籽粒形成与灌浆特性[J]. 麦类作物学报, 2003, 23(4): 71-74.
- [16] 李紫燕, 李世清, 伍维模, 等. 氮肥对半湿润区不同基因型冬小麦籽粒灌浆特性的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(1): 75-79.
- [17] 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.
- [18] 钱兆国, 吴科, 丛新军, 等. 小麦籽粒灌浆特性研究[J]. 安徽农业科学, 2004, 32(1): 5-8.
- [19] 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.