麦类作物学报 2006, 26(2): 98～102
Journal of Triticeae Crops

硫氮配施对强筋小麦豫麦34籽粒灌浆特性的影响*

李国强, 朱云集, 郭天财, 王晨阳, 马冬云, 沈学善
(河南农业大学/国家小麦工程技术研究中心, 郑州 450002)

摘 要: 为对硫肥和氮肥合理配施提供参考依据, 2003～2005年在大田条件下以强筋小麦豫麦34为试验材料, 采用Logistic方程拟合其籽粒灌浆过程并计算有关籽粒灌浆参数, 探讨了硫氮配施对强筋小麦籽粒灌浆特性的影响。结果表明, 在硫氮配施条件下, 强筋小麦籽粒灌浆进程呈"慢～快～慢"的S型曲线, Logistic方程决定系数均大于0.9981, 达到极显著水平, 拟合效果良好; 在相同施氮水平下, 最大灌浆速率到达时间(T_m)、千粒重潜力值(K)、最大灌浆速率(V_m)、平均灌浆速率(V_a)和灌浆持续时间(T)等灌浆参数随硫肥施用量的变化而有差异。适宜的硫氮配施可提高K、V_m和V_a, 且T随施硫量的增加而延长。

关键词: 冬小麦; 硫; 氮; 籽粒灌浆
中图分类号: S 512.1; S 311 **文献标识码**: A **文章编号**: 1009-1041(2006)02-0098-05

Effect of Sulfur and Nitrogen Fertilizer Combined Application on Grain Filling Characteristics of Wheat Yumai 34 with High Gluten

LI Guo-qiang, ZHU Yun-ji, GUO Tian-cai, WANG Chen-yang, MA Dong-yun, SHEN Xue-shan
(Henan Agricultural University / National Engineering Research Centre for Wheat, Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: Under field conditions, changes of grain filling of high-gluten winter wheat cultivar Yumai 34 were studied in Zhengzhou experimental site in Henan during the 2003～2004 and 2004～2005 growing seasons, which aimed at understanding the effect of sulfur and nitrogen fertilizers combined application on grain filling. Grain filling course was imitated by logistic equation, and the specific property of grain filling was analyzed by T test. The result indicated that under sulfur and nitrogen fertilizers combined application conditions, the process of grain filling was S curve, The logistic equation was at significant level (R^2> 0.9981). There were variance among average filling rate (V_a), filling duration time (T) and biggest filling rate (V_m) in different treatments. Sulfur and nitrogen combined application could improve K, V_m, V_a, and extend T.

Key words: High-gluten winter wheat; Sulfur; Nitrogen; Grain filling

近几十年来, 随着生态环境以及农业生产条件的变化, 许多学者不断报道由于硫缺乏影响作物产量和品质的事例, 且研究发现硫缺乏有迅速扩展的趋势[1]。国内外学者对小麦需硫量、硫素积累分配规律[2～6]、施硫对小麦籽粒产量和品质(特别是籽粒的蛋白质组成、面团流变学特性)的影响[7～9]等方面进行了研究。但关于硫对小麦籽粒灌浆进程, 以及对籽粒产量和品质形成的影响方面的研究较少, 有关硫氮配施对小麦籽粒灌浆特性的影响更少见报道。本文探讨硫氮配施对强筋小麦灌浆特性的影响, 以期为小麦生产实现高产高效提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2003～2005年在河南农业大学科教示范园区进行。试验区土质为中壤土, 前茬为玉米, 试验地土壤养分状况见表1。供试材料为强筋小麦豫麦34, 试验采用裂区设计, 以四个氮素供应水平为主区, 分别以N 0、N 150、N 240、N 330表示施氮0、150、240、330 kg/hm^2; 以四个硫素供应水平为副区, 分别以S0、S20、S60、S100表示施硫0、

* 收稿日期: 2005-09-21 修回日期: 2005-11-20
基金项目: 国家科技部粮食丰产科技工程项目(2004BA520A-06); 河南省重大科技攻关项目(0522010100)。
作者简介: 李国强(1984-), 男, 在读硕士, 主要从事小麦品质生态研究。
通讯作者: 朱云集(1955-), 女, 研究员, 主要从事小麦高产优质栽培和营养生理研究。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

20、60、100 kg/hm^2。小区宽2.9 m, 长5 m, 随机区组排列, 重复3 次。氮肥、硫肥种类分别为尿素、硫磺粉, 按小区面积计算出肥料, 整地后将肥料人工施入。2003 年于10 月16 日播种, 次年6 月8 日收获。2004 年于10 月15 日播种, 次年6 月4 号收获。基本苗180 万/hm^2, 5 月份防治病虫害2 次, 其它栽培管理措施同一般大田。

表1　试验地基础肥力水平

Table 1　Basic fertility of experimental field

土层 (cm) Layers	有机质 (%) Organic matters	水解氮 (μg/g) Available nitrogen	速效磷 (μg/g) Available phosphate	速效钾 (μg/g) Available potassium	有效硫 (μg/g) Available sulfur
0～20	1.15	69.2	44.4	217.3	22.78
20～40	1.06	64.0	37.5	143.1	13.65

1.2　测定项目与方法

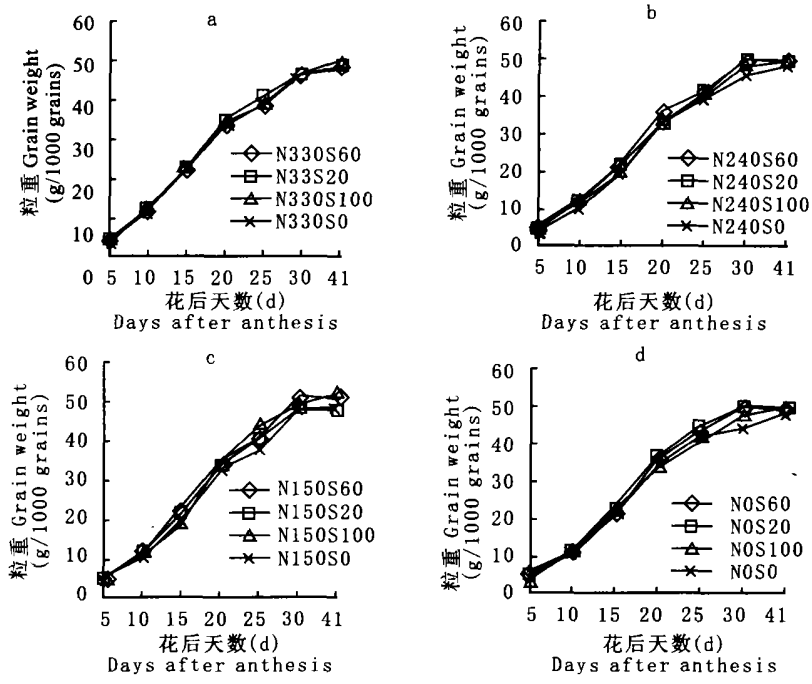
1.2.1　籽粒灌浆动态的测定　开花期每小区选取生长一致且花期相同的主茎穗200 个, 挂牌标记。从花后5 d 开始, 每隔4 d 随机取10 个标记主茎穗, 于室内每穗取中部小穗第一、二位花的籽粒20 粒, 共计200 粒, 105℃下杀青20 min, 然后在80℃下烘至恒重, 万分之一天平称量并折算成千粒重。

1.2.2　籽粒生长曲线方程的拟合及灌浆特征参数的计算　以开花后天数(t)为自变量, 每次所得千粒重(Y)为依变量, 用Logistic 方程$Y = K/(1+e^{A+Bt})$进行拟合。其中K 为千粒重潜力值,A、B 为常数。对Logistic 方程求一阶导数和二阶导数, 得灌浆速率方程和次级灌浆参数[10～14]。所得参数分别为T_m: 最大灌浆速率到达时间;V_m: 最大灌浆速率;T_1、T_2、T_3 分别表示籽粒灌浆渐增期、快增期和缓增期持续天数;W_1、W_2、W_3 分别为灌浆渐增期、快增期和缓增期积累量;V_{1a}、V_{2a}、V_{3a}分别表示灌浆渐增期、快增期和缓增期的灌浆速率;T 为灌浆持续天数;V_a 为籽粒平均灌浆速率。因所得两年数据的趋势相同, 故用2004～2005 年数据进行拟合。

2　结果与分析

2.1　硫氮配施对豫麦34 籽粒增重变化规律的影响

从图1 可以看出, 各处理籽粒灌浆进程均呈"S"曲线, 表现为"慢～快～慢"的趋势, 适宜用生长曲线拟合。Logistic 方程决定系数均大于0.9981, 经F 测验均达到极显著水平, 拟合效果良好, 真实反映了小麦籽粒干物质积累过程。从



N330S60 表示施氮330 kg/hm^2, 施硫60 kg/hm^2, 其余类推。图2、表2 同。

N330S60 refer the amount of N was 330 kg/hm^2, S was 60 kg/hm^2. The others was similar. The table 2 and Fig 2 are the same as Fig 1.

图1　不同处理间千粒重增重进程

Fig 1　The filling process of 1000 grains weight with different treatments

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

图1a 来看, 花后20 d 施硫与不施硫处理干物质积累过程基本相同, 自花后 20 d 开始N 330S20 和N 330S0 的积累量要高于N 330S100 和N 330S60, 而N 330S100 于收获时积累量最大。从图1b、1c、1d 来看, 自花后5 d 开始施硫处理均高于不施硫处理, 且以N 240 水平下各处理间差异最大。在高氮(N 330) 条件下, 灌浆后期(花后20 d) 施硫处理间有差异。而在适宜氮(N 240、N 150) 和不施氮条件下, 自灌浆前期(花后5 d) 就存在差异。除高氮(N 330) 处理外, 其它氮处理于花后30 d 籽粒干物质积累量有所降低, 这可能与氮营养供应有关。

2 2 硫氮配施对豫麦34 籽粒灌浆速率的影响

对Logistic 方程求一阶导数得灌浆速度方程: $V_t = -KBe^{A+Bt}/(1+e^{A+Bt})$, 用该方程拟合灌浆速率变化曲线(小麦灌浆速率模型见图2), 并进一步推导出灌浆参数及次级参数。

由图2 可知, 小麦灌浆速率的变化接近正态, 各处理均于花后15 d 达最大灌浆速率, 在高氮(N 330) 水平下, 花后5 d 施硫处理籽粒干物质积累速率高于不施硫处理, 但从花后10 d 不施硫处理灌浆速率逐渐上升, 于花后15 d 达到最大值, 且保持到花后25 d。在适宜氮(N 240) 水平下, 不施硫处理籽粒灌浆速率始终低于其它处理, N 240S60 处理于花后15 d 达到最大值。在适宜氮(N 150) 水平下, 花后15 d 内施硫处理籽粒干物质积累速率均较不施硫处理高, 但自花后15 d 施硫处理逐渐低于不施硫处理。在N 240 水平下的施硫处理后期灌浆速率高于不施硫处理相比, 这可能是由于氮肥后期跟不上所致。在不施氮条件下, 施硫处理均较不施处理高, N 0S20 处理在花后15 d 积累速率最高。由以上结果可知, 适宜的硫氮配施可提高籽粒灌浆速率。

2 3 硫氮配施对豫麦34 籽粒灌浆参数和次级参数的影响

K 是千粒重最大生长量上限, 即理论上可能达到的最大值。从表2 可以看出, 施硫可以提高千粒重的潜力势。从K 值的变化来看, 施肥处理的K 值均较不施肥处理高。在高氮(N 330) 水平下, S100 处理的K 值最高。在适宜氮(N 240) 水平下, S20 处理K 值最高, 但与S60 处理K 值接近。在适宜氮(N 150) 水平下, S100 处理的K 值最高, S60 处理次之。不施氮条件下, 以S60 处理的K 值最高。所有处理中以N 150S60 处理的K 值最大。不同氮水平间K 值大小顺序为N 150> N 240

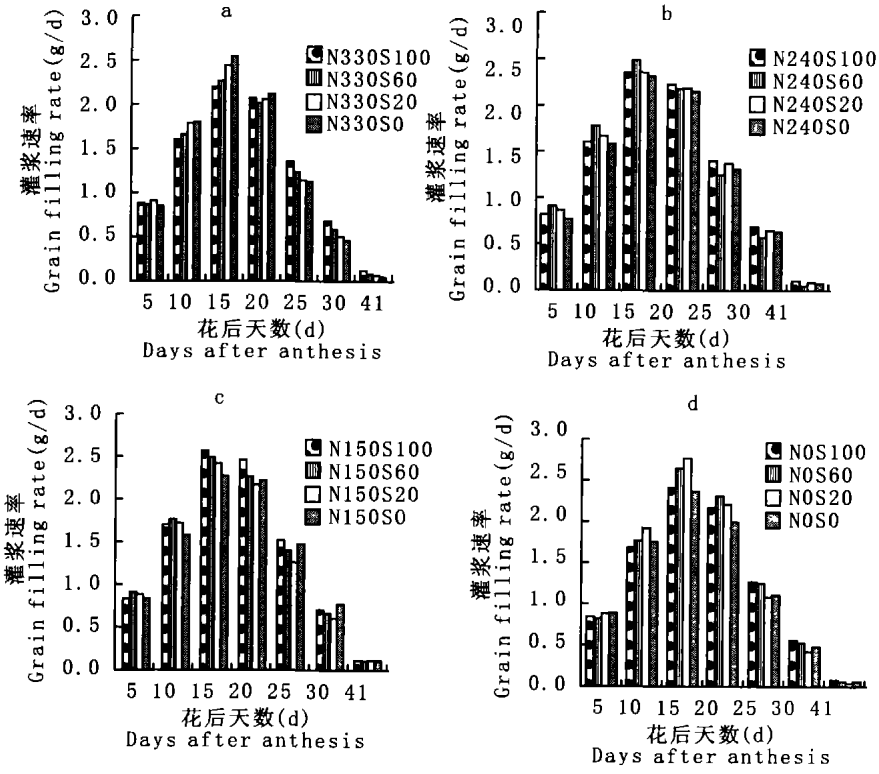


图2 不同处理籽粒灌浆速率的变化

Fig 2 The change of grain filling rate in different treatments

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表2　豫麦34 籽粒灌浆Logistic 方程参数与次级参数

Table 2　Logistic equation parameters and filling parameters of Yumai 34

处理 Treatment	R^2	K	A	B	T_m	V_m	T	V_a	T_1	T_2	T_3	V_{1a}	V_{2a}	V_{3a}	W_1	W_2	W_3
N330S100	0.9953**	50.3962	2.9977	-0.1795	16.7	2.26	42.3	1.19	9.36	14.7	18.3	1.14	1.98	0.26	10.65	47.70	11.16
N330S60	0.9931**	48.3597	3.074	-0.1894	16.2	2.29	40.5	1.19	9.28	13.9	17.3	1.10	1.97	0.26	10.22	45.77	10.71
N330S20	0.998**	48.7807	3.1624	-0.2005	15.8	2.44	38.7	1.26	9.21	13.1	16.4	1.12	2.07	0.28	10.31	46.17	10.80
N330S0	0.9983**	48.4454	3.3613	-0.2121	15.8	2.57	37.5	1.29	9.64	12.4	15.5	1.06	2.08	0.29	10.24	45.85	10.73
N240S100	0.9956**	50.7124	3.2301	-0.1906	16.9	2.42	41.1	1.23	10.04	13.8	17.2	1.07	2.01	0.27	10.72	47.99	11.23
N240S60	0.994**	51.1516	3.183	-0.1976	16.1	2.53	39.4	1.30	9.45	13.3	16.6	1.14	2.13	0.29	10.81	48.41	11.33
N240S20	0.994**	51.1575	3.1378	-0.1883	16.7	2.41	41.1	1.24	9.67	14.0	17.4	1.12	2.05	0.28	10.81	48.42	11.33
N240S0	0.9972**	48.7374	3.3006	-0.1964	16.8	2.39	40.2	1.21	10.10	13.4	16.7	1.02	1.96	0.27	10.30	46.13	10.79
N150S100	0.9968**	53.3278	3.4169	-0.2003	17.1	2.67	40.0	1.33	10.48	13.1	16.4	1.07	2.14	0.30	11.27	50.47	11.81
N150S60	0.9915**	52.6208	3.1872	-0.1928	16.5	2.54	40.4	1.30	9.70	13.7	17.0	1.15	2.13	0.29	11.12	49.80	11.65
N150S20	0.9958**	49.7775	3.1956	-0.1967	16.2	2.45	39.6	1.26	9.55	13.4	16.7	1.10	2.05	0.28	10.52	47.11	11.02
N150S0	0.9881**	51.1777	3.1739	-0.1844	17.2	2.36	42.1	1.22	10.07	14.3	17.8	1.07	1.99	0.27	10.82	48.44	11.33
N0S100	0.9972**	49.5703	3.2617	-0.1989	16.4	2.46	39.5	1.25	9.78	13.2	16.5	1.07	2.04	0.28	10.48	46.91	10.98
N0S60	0.9966**	50.795	3.462	-0.2123	16.3	2.70	37.9	1.34	10.10	12.4	15.4	1.06	2.14	0.30	10.73	48.07	11.25
N0S20	0.9976**	50.0971	3.4681	-0.2226	15.6	2.79	36.2	1.38	9.66	11.8	14.7	1.10	2.21	0.31	10.59	47.41	11.09
N0S0	0.9983**	47.7518	3.1495	-0.2008	15.7	2.40	38.6	1.24	9.13	13.1	16.3	1.11	2.03	0.27	10.09	45.19	10.57

注: W 的单位为g/千粒; T 的单位为d; V 的单位为g/千粒/d。** 表示0.01 显著水平。

Note: Units of W are g/1000 grains; Units of T are d; Unites of V are g/1000grains/d. ** refer to the significant level of 0.01.

> N 0> N 330。

不同处理间的最大灌浆速率到达时间(T_m)有一定差异。施肥处理的最大灌浆速率到达时间均较不施肥处理滞后, 在不施氮条件下, T_m 随施硫量的增加而逐渐延长。在不同施氮水平下, S20 和S60 处理均可使 T_m 提前0.1～0.97 d, 但S100 处理可推迟最大灌浆速率到达时间0.1～0.9 d。

硫氮配施对 V_m、V_a 的明显的调节效应。在N 240、N 150 和不施氮(N 0)条件下, 施硫可提高 V_m 和 V_a, 但在N 330 水平下, 施硫则使其降低。其原因可能是由于 V_{2a} 受施硫的影响。

同一施氮水平下, 施硫使 T 延长, 且随施硫量的增加而增加。不同氮水平间, 施氮处理灌浆持续天数均较不施氮处理天数长, T_{N150}= 40.5> T_{N240} = 40.4> T_{N330}= 39.8> T_{N0}= 38.1。

籽粒灌浆的三个阶段: 渐增期天数(T_1)、快增期天数(T_2)和缓增期天数(T_3), 各处理均表现为, T_3= 16.6> T_2= 13.4> T_1= 9.70。缓增期要比快增期长3.2 d。从 T_1 变化来看, 不施氮条件下, 施硫可延长0.54～0.98 d。不同施氮水平下, S20、S60 可缩短 T_1, 但S100 可相对延长。从 T_2 变化来看, 不施氮情况下, 施硫可缩短快增期天数, 但S100 可延长。在适宜氮(N 150)水平下, 施硫表现为, 籽粒灌浆快增期天数缩短, S100 处理最短。在适宜氮(N 240)水平下, 施硫差异不明显。但在高氮(N 330)水平下, T_2 随施硫量的增加而延长。T_3 与 T_2 变化相似。

从这三个阶段的积累量来看, W_2= 47.49> W_3= 11.11> W_1= 10.06, 快增期的天数虽不是最长, 但积累量最高。不同施肥处理不同灌浆阶段的积累量均高于不施肥处理, 以N 150S100 处理最高, 且在不同供氮水平下, 施硫均能增加籽粒积累量。

3　讨论

许多学者研究了水分、播期、密度和氮肥对不同熟期、不同粒重小麦品种籽粒灌浆特性的影响[12～15], 特别在水分方面做了大量工作。他们分别用Logistic 方程、Richards 模型和多项式拟合了小麦、水稻等作物籽粒鲜重、干重和体积变化, 并对推导出的相关参数作了分析。研究认为, 粒重是一个受多重因素影响的复杂产量性状, 除遗传因素、气候因素外, 栽培措施对小麦粒重影响也很大[16]。

李科江等认为, 随着施氮量的增加, 小麦的千粒重降低, 这主要与施氮的增穗作用有关[11]。蔡瑞国等也认为, 低氮处理(120 kg/hm^2)千粒重要显著高于高氮处理(360 kg/hm^2)和中氮处理(240 kg/hm^2)[12], 本研究结果与其结论一致。

王东和朱云集等研究结果表明, 施硫可提高

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

穗粒重,并随施硫量的增加有不同程度的增加[3, 4, 17, 18]。本研究认为,众多籽粒灌浆参数中,K 值是籽粒灌浆的最终结果,最能反应籽粒的灌浆状况,它与结实率、籽粒充实度和千粒重显著正相关。本研究结果表明,施硫肥可以提高K 值,在所有处理组合中N 150S100 的K 值最高,但在不同施氮素水平下,因施硫量不同而有差异。在高氮(330 kg/hm^2)水平下,施硫100 kg/hm^2 可使K 值最高,在适宜氮(150 kg/hm^2)水平下,施硫 100 kg/hm^2 可使 K 值最高,但在适宜氮(240 kg/hm^2)水平下,施硫 20 kg/hm^2 和 60 kg/hm^2 的处理K 值相差不大;在不同施氮水平下,施硫均可提高V_m 和V_a,并延长T。

冬小麦在拔节至孕穗阶段需硫最多,硫的最高浓度出现在孕穗期,其累积吸收高峰亦在孕穗期,之后小麦体内硫累积逐渐下降,至开花后灌浆期硫素在植株体内的累积达到高峰。这说明小麦孕穗前已吸收了大部分硫素,后期则是这些硫素向穗部,尤其是籽粒的大量移动[3, 4]。若在灌浆中后期追施硫肥,是否能提高灌浆速率、延长灌浆持续时间,从而达到增加粒重的目的,仍有待进一步研究。

参考文献:

[1] Zhao F J, Hawkesfordt M J, McGrath S P. Sulfur assimilation and effects on yield and quality of wheat[J]. J. Cereal Sci., 1999, 30: 1—17.

[2]戴良香,刘东强. 冬小麦硫素营养初探[J]. 河北农业技术师范学院学报, 1993, 7(3): 26—30.

[3]王 东,于振文. 硫素对冬小麦品质和产量的影响[J]. 山东农业科学, 2000, (6): 10—12.

[4]王 东,于振文,王旭东. 硫肥对冬小麦硫素吸收分配和产量的影响[J]. 作物学报, 2003, 29(5): 791—793.

[5]刘宝存,孙明德. 氮硫交互作用对小麦苗期生长和养分吸收的影响[J]. 华北农学报, 2002, 17(3): 90—93.

[6]吴 静,刘宝存. 冬小麦对硫的吸收及在体内的分布规律[J]. 华北农学报, 2000, 15(3): 103—108.

[7]刘宝存,孙明德. 硫素营养对小麦子粒氨基酸含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 458—461.

[8] Kettlewell P S, Griffiths M W, Hocking T J, *et al*. Dependence of wheat dough extensibility on flour sulphur and nitrogen concentrations and the influence of foliar-applied sulphur and nitrogen fertilizers[J]. J. Cereal Sci, 1998, 28: 15- 23.

[9]Scherer H W. Sulphur in crop production- invited paper[J]. Europ. J. Agron., 2001, 14: 81—111.

[10]李科江,张西科. 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.

[11]蔡瑞国,王振林,李文阳,等. 氮素水平对不同基因型小麦旗叶光合特性和籽粒灌浆进程的影响[J]. 华北农学报, 2004, 19(4): 36—41.

[12]冯 伟,郭天财,李晓,等. 不同降雨年型下水分处理对大穗型小麦品种籽粒灌浆及产量的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 192—199.

[13]周竹青,朱旭彤. 不同粒重小麦品种(系)籽粒灌浆特性分析[J]. 华中农业大学学报, 1999, 18(2): 107—110.

[14]上官周平,陈培元,李 英. 氮肥和底墒对小麦籽粒灌浆过程的调节效应分析[J]. 西北植物学报, 1994, 14(2): 107—116.

[15]谢令琴,葛淑俊,吴同彦,等. 不同熟期小麦品种籽粒灌浆参数与粒相关性研究[J]. 农业与技术, 2002, 22(1): 33—35, 38.

[16]郭天财,贺德先,王志和. 小麦穗粒重研究进展[A]. 小麦穗粒重研究[C]. 北京: 中国农业出版社, 1995.

[17]谢迎新,朱云集,郭天财. 施肥硫肥对两种穗型冬小麦品种群体生理、产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2003, 23(1): 44—48.

[18]朱云集,谢迎新,谭金芳,等. 砂土麦田追施硫肥对冬小麦产量和品质的影响[J]. 土壤通报, 2005, (5): 15—19.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net