

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^{*}

陈 炜, 邓西平, 聂朝娟, 陈玉华

(西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:在长武旱塬地区通过大田试验,研究了该地区主栽的两个小麦品种长武 134 及长旱 58 在不同栽培模式下,籽粒灌浆特性、旗叶叶绿素含量与产量的关系,并对产量构成及灌浆各参数进行分析。结果表明,千粒重与灌浆持续天数 T_d 、平均灌浆速度 V_a 、灌浆渐增期天数 T_1 、灌浆速增天数 T_2 、最大灌浆速度 V_m 均呈显著相关,通过对不同栽培模式下旗叶叶绿素含量的比较发现,有机肥与化肥的互作,可以适当延长灌浆持续时间,使籽粒获得较高的千粒重,提高了小麦的水分利用效率和收获指数。通过比较不同栽培模式下籽粒千粒重、产量的差异表明有机肥与化肥互作的栽培模式较只使用化肥的栽培模式籽粒的千粒重、产量和水分利用效率分别增加了 7.527%、10.74% 和 23.85%。对产量构成进行分析,粒重是影响籽粒产量的主要因素。

关键词:小麦品种;黄土高原旱区;籽粒灌浆特性

中图分类号:S512.11;S311

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)03-0240-05

The Grain-filling Characteristics and Yield Components of Two Wheat Varieties under Different Cultivating Models

CHEN Wei, DENG Xi-ping, NIE Zhao-juan, CHEN Yu-hua

(State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A field experiment was conducted in the dryland areas of the Loess Plateau. The two wheat varieties (changwu134 and changhan58) planting popularly in this area were as the material. The objectives of the study were to explore the relationships among the grain-filling characteristics, the stay green of flag leaf and grain yields under different cultivating models and analysis the components of the yield. Results showed that the kernel weight of winter wheat was positive correlated with T_d (the days of whole grain filling), with V_a (the average rate of whole grain filling), with T_1 (the days of grain filling of gradual growth), with T_2 (the days of grain filling fast growth period), with R_{max} (the maximum rate of the whole grain filling) at 0.01 significant level. Compared the contents of total chlorophyll in flag leaves under different cultivating models, it showed that: using organic manure could increase the days of grain filling, the kernel weight, the WUE (water use efficiency), the HI (harvest index) and the yield, respectively. The averages of 1000-grain weight, the yield and the WUE were increased by 7.527%, 10.74% and 23.85% comparing with that of only use fertilizer. The kernel weight is the main factor that causes the yield differences.

Key words: wheat cultivars; dry-land areas of the Loess Plateau; grain filling characteristics

灌浆过程在小麦的整个生育期有十分重要的作用。其持续时间和速率决定了小麦籽粒大小或重量,但灌浆持续时间易受温度、湿度等气象条件影响^[1-2]。小麦结实器官的建成是一个连续渐进的过

^{*} 收稿日期:2010-03-24

基金项目:国家自然科学基金项目(50779063);中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX-YW-09-07);西北农林科技大学拔尖人才支持计划项目;国家重点基础研究发展计划项目(2009CB118604)

作者简介:陈炜(1983-),男,陕西西安人,硕士,研究方向为植物抗旱与水分生理。Email: vacant.chen@yahoo.com.cn

通信作者:邓西平(1959-),男,陕西西安人,研究员,博士,研究方向为旱地农业作物生理生态。E-mail: dengxp@ms.isw.ac.cn

程, 籽粒是小麦最后形成的器官, 粒重是最后形成的产量构成因素, 是植株个体发育、栽培技术、环境条件及生产目标的最终体现^[3]。关于小麦粒重与籽粒灌浆特性有较多报道, 有研究认为, 粒重与灌浆过程持续天数呈显著正相关^[2,4], 也有学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^[5-7]。采用数学模型对小麦籽粒的灌浆过程进行拟合。目前应用较多的模拟方程有 Logistic 生长方程^[5,8-10], 3 次多项式方程^[2,11] 和 Richards 生长方程^[12]。3 种方程均以开花后天数为自变量, 以小麦粒重(单粒重、千粒重或单穗粒重) 为因变量, 确定灌浆持续期、最大灌浆速率和平均灌浆速率等灌浆特征参数。以往对不同地区不同品种灌浆理论的研究较多, 但对黄土高原旱塬区的灌浆特性研究甚少, 对有机肥与化肥互作的研究更少。本试验通过对黄土高原旱塬区目前主栽的两个小麦品种籽粒的灌浆特性进行研究, 进一步深入了解此地区小麦灌浆的发展过程, 探究应该如何在改良小麦灌浆特性的基础上筛选或培育适合此地区生长的小麦品种, 从而提高小麦产量, 实现黄土高原旱塬区小麦高产优质和高效栽培。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在中国科学院长武农业生态试验站进行, 试验站位于陕西省长武县洪家乡王东沟村, 王东沟村距长武县城 12 km, 东经 $107^{\circ}40'30'' - 107^{\circ}42'30''$, 北纬 $35^{\circ}12' - 35^{\circ}16'$, 海拔高度 1 215~ 1 226 m, 年均温度 9.1°C , 年均降水量 578.5 mm, 多集中在 7~ 9 月且年均变化率大。该地区土壤类型主要为黑垆土, 其土层深厚, 物理性质良好, 适合植物的生长^[13-14]。

1.2 试验材料

长武 134(Changwu134) 是 2000 年至今当前主要推广品种, 抗性复杂、综合性优良、高产; 长旱 58(Changhan 58) 是 2004 年审定至今新近育成的高产品种, 丰产稳产性好。

1.3 试验设计

实验于 2008 年 10 月~ 2009 年 6 月进行, 采用随机区组排列, 重复 3 次, 小区面积为 136 m^2 , 行距 0.20 m。于 2008 年 10 月 3 日播种, 2009 年 4 月 6 日追肥, 2009 年 6 月 21 日收获。本生育期内, 降雨量为 155.2 mm。实验设为 4 种栽培模式, 其中栽培模式 1 为: 品种长武 134, 氮肥水平为 150 kg/hm^2 , 磷肥水平为 120 kg/hm^2 , 不施有机肥, 以农民正常耕作为主, 记做 A_1 ; 栽培模式 2 为: 品种长旱 58, 氮肥水平为 120 kg/hm^2 , 磷肥水平为 120 kg/

hm^2 , 不施有机肥, 并在明年冬春期追肥为 75 kg/hm^2 , 记做 A_2 ; 栽培模式 3 为: 品种长旱 58, 氮肥水平为 120 kg/hm^2 , 磷肥水平为 120 kg/hm^2 , 施有机肥 $45\ 000\text{ kg/hm}^2$, 并在明年冬春期追肥为 75 kg/hm^2 , 记做 A_3 ; 其中栽培模式 4 为: 品种长旱 58, 氮肥水平为 150 kg/hm^2 , 磷肥水平为 120 kg/hm^2 , 不施有机肥, 记做 A_4 以农民正常耕作为主。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 灌浆特性 在采样区中, 开花后选同一天开花、生长整齐一致的麦穗标记。从小麦开花后每隔 3 d 取一次样, 采 50 穗, 杀青烘干称重, 采样至小麦成熟^[15-18]。籽粒由人工剥出, 80°C 下烘至恒重后, 用万分之一天平精确称重。用 Logistic 方程拟合花后籽粒干物质质量变化规律, Logistic 方程的表达式为:

$$W = W_0 / (1 + Ae^{-Bt})$$

式中: t ——花后天数, (开花日计 $t=0$); W ——花后籽粒干质量; W_0 ——理论籽粒最大干重; A, B ——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

$$t_1 = [\ln A - \ln(2 + 3^{1/2})] / B;$$

对应于此时的千粒重为 $W_{t_1} = W_0 / (1 + Ae^{-Bt_1})$

(2) 灌浆高峰结束日期

$$t_2 = [\ln A + \ln(2 + 3^{1/2})] / B;$$

对应于此时的千粒重为 $W_{t_2} = W_0 / (1 + Ae^{-Bt_2})$

(3) W 达 99% W_0 为灌浆终期

$$t_3 = [\ln A + 4.59512] / B;$$

此时对应的千粒重为 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 , 平均灌浆速率 $V_1 = W_1 / t_1$; 累积籽粒重 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 $V_2 = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$; 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 $V_3 = (W_3 - W_2) / (t_3 - t_2)$, 累积籽粒重 $W_3 = W_{t_3} - W_{t_2}$

(6) 灌浆总天数 T , 平均灌浆速率 $V_a = W_0 / t_3$ 。

1.4.2 旗叶 SPAD 的测定 叶片 SPAD 值采用日本 Minolta 公司生产的 SPAD 叶绿素仪进行活体测定。每小区 25 株, 求平均值。

1.4.3 水分利用效率 土壤含水量测定采用中子仪法, 测定深度为 400 cm; 0~ 100 cm 每 10 cm 为 1 层, 100 cm 以下每 20 cm 为 1 层。2008 年 9 月冬小麦播种期 0~ 300 cm 土层的土壤储水量按下式计算:

$$H = h \cdot a \cdot \theta \times 10$$

式中: H ——土壤储水量 (mm); h ——土层深度 (cm); a ——土壤容重 (g/cm^3); θ ——土壤重量含水量 (%);

土壤水分消耗= 播种期土壤贮水量- 收获期土壤贮水量;

作物耗水量= 土壤水分消耗+ 生育期降水;

水分利用效率= 产量/耗水量

1.4.3 产量测定 收获前各小区人工收割 2 m^2 共 4 个重复测产, 最后折算公顷产量。

1.4.4 数据分析 对试验数据采用 Sigma plot、CURXPT、SPSS 软件进行分析。用 CURXPT 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 灌浆过程中千粒重的变化

小麦籽粒灌浆过程中, 在开花后小麦籽粒千粒重增加呈现出“慢- 快- 慢”的趋势(图 1)。灌浆初期, 籽粒千粒重增长缓慢, 灌浆中期是粒重增加的关

键时期, 此期粒重增长最快, 呈现急剧上升阶段, 灌浆后期籽粒千粒重的增加又趋缓慢, 直至成熟。从籽粒千粒重的变化曲线图中可以看出, 供试品种籽粒最后千粒重的差异很大, 其中, 在不同品种中长旱 58 较长武 134 的千粒重有明显的增加。在长旱 58 品种中 A_3 的千粒重明显大于 A_2 和 A_4 , 而 A_2 和 A_4 千粒重差异不显著。

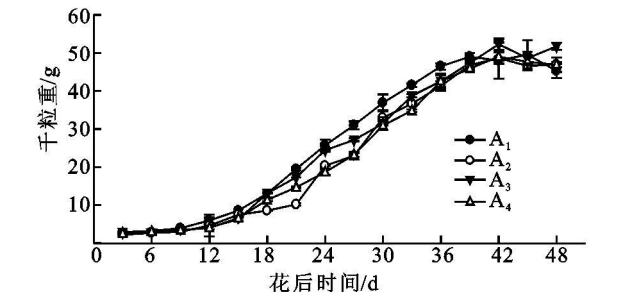


图 1 籽粒灌浆期千粒重的变化

2.2 籽粒灌浆参数及次级参数的变化

用 Logistic 生长方程, 利用 CURXPT 软件, 对该 S 型曲线进行模拟, 决定系数均大于 0.99, 达极显著水平, 拟合效果良好(表 1)。

表 1 小麦籽粒灌浆的 Logistic 方程参数

处理	方程参数					V_a [$\text{mg}/(\text{d} \cdot \text{粒})$]
	r	W_0	A	B	T_d	
A_1	0.997323	49.69401	64.65122	0.176495	48.17	1.0322
A_2	0.998409	49.79705	79.4008	0.167277	50.81	0.9762
A_3	0.996302	53.72397	52.97623	0.150011	57.19	0.9394
A_4	0.9970810	51.60946	66.18096	0.153232	55.72	0.9262

通过表 1 可以看出随着品种演替, 小麦品种的理论千粒重 W_0 也逐渐增加, 长武 134 的 W_0 小于任何一种栽培模式下长旱 58 的千粒重。在长旱 58 品种中, $A_3 > A_4 > A_2$ 。平均灌浆速率 V_a 随着不同的处理有不同的变化, 其中 A_1 的 V_a 最大, 达到 $1.032\text{ mg}/(\text{d} \cdot \text{粒})$ 。

通过对灌浆期不同参数与最大理论千粒重进行

相关分析, 表明千粒重与灌浆持续天数 T_d , 与灌浆渐增期天数 T_1 , 与灌浆速增天数 T_2 , 与最大灌浆速度 V_m , 与平均灌浆速度 V_a , 呈显著正相关; 与灌浆缓增期天数 T_3 , 与灌浆渐增期速度 V_1 , 与灌浆速增期速度 V_2 相关; 与灌浆缓增期速度 V_3 呈极显著负相关。这说明在灌浆后期 T_3 , 较长的灌浆时间不利于千粒重的增加。

表 2 不同栽培模式下籽粒灌浆参数均值

处理	持续时间/d				籽粒产量/g			灌浆速度[$\text{mg}/(\text{d} \cdot \text{粒})$]			
	T_m	T_1	T_2	T_3	W_1	W_2	W_3	V_1	V_2	V_3	V_m
A_1	22.13	14.67	14.92	18.57	8.487	28.36	12.20	0.5786	1.900	0.6569	2.193
A_2	23.34	15.47	15.74	19.60	7.111	27.60	14.10	0.4590	1.753	0.7195	2.014
A_3	26.56	17.78	17.56	21.85	11.48	31.02	10.70	0.6457	1.767	0.4900	2.074
A_4	25.73	17.14	17.19	21.39	8.920	29.49	12.54	0.5203	1.716	0.5861	1.971

2.3 灌浆过程与 SPAD 的关系

对旗叶绿素含量的测定表明(图 2), 花后叶绿素含量均逐渐增加。一般在花后 20 d 达到高峰, 说明叶绿素的合成代谢正常进行, 有利于光合作用。后期叶片衰老, 叶绿素含量迅速下降。其中以 A_1 的

降幅最大, 降幅达 21.07, 而此时 A_1 籽粒的灌浆速率也开始明显下降, 进入灌浆缓增期。而在长旱 58 品种中, 以 A_3 的降幅最低, 降幅只有 2.407, 籽粒仍处于灌浆速增期。 A_3 灌浆所用的时间(57.19 d)大于其它各种栽培模式的灌浆时间, A_3 旗叶的 SPAD 的值

也明显高于其它各种栽培模式,说明有机肥的使用可以延长小麦旗叶的持绿性,促进灌浆速增期的延伸。虽然 A_4 的灌浆天数 T_d (55.72) 大于 A_2 的,但是该模式在 T_3 灌浆缓增期所处的时间长于 A_2 在灌浆缓增期所用的,导致其产量与 A_2 的差异不明显。

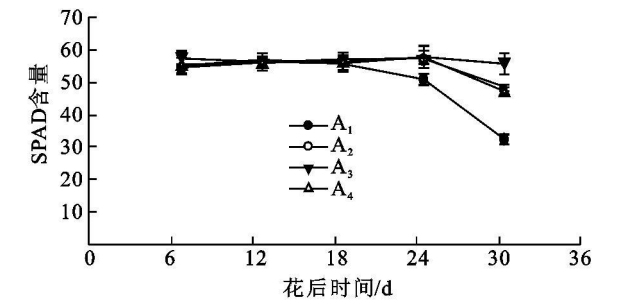


图 2 不同处理小麦旗叶 SPAD 值的动态变化

2.4 籽粒产量构成

从表 3 中可看出, A_1 的籽粒产量低于其余各种栽培模式下籽粒的产量,而在穗数方面四种栽培模

表 3 不同栽培模式下小麦产量和产量构成

处理	产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	千粒重/g	穗粒数/个	穗数/ (万穗 $\cdot \text{hm}^{-2}$)	水分利用效率 WUE/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$)	收获指数 HI
A_1	5423 \pm 12.81C	44.52 \pm 1.023C	22.80 \pm 2.754A	551 \pm 1.2A	15.50 \pm 0.9641B	0.425 \pm 0.36C
A_2	6112 \pm 14.75B	46.93 \pm 0.639B	19.90 \pm 2.082B	542 \pm 2.2A	18.24 \pm 1.3561A	0.506 \pm 0.26B
A_3	6769 \pm 17.17A	50.46 \pm 1.818A	16.75 \pm 3.697C	572 \pm 2.3A	18.36 \pm 1.3656A	0.584 \pm 0.35A
A_4	5880 \pm 14.26B	46.87 \pm 0.147B	20.12 \pm 3.403B	554 \pm 1.2A	15.79 \pm 1.3396B	0.461 \pm 0.48C

大写字母不同者表示在 0.05 水平上的差异。

3 讨论

产量由穗数、穗粒数和千粒重三者共同决定,籽粒灌浆特性主要影响小麦的千粒重,小麦粒重是灌浆速率和灌浆持续时间的函数,这两个性状既受品种遗传特性的影响,也受环境因素的影响^[13-16]。许多研究认为,小麦籽粒最大粒重主要由灌浆速率和灌浆持续期来决定^[17-18],但也有研究表明,灌浆速率影响大于灌浆持续时间^[19-20]。本试验的研究结果表明,籽粒灌浆持续时间对千粒重的作用明显大于灌浆速率。从阶段灌浆参数来分析,研究认为^[21-23],快增期灌浆速率、持续天数和渐增期灌浆速率是影响粒重的 3 个主要参数。本试验表明,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千粒重的 3 个主要参数,其中快增期灌浆速率对粒重的影响更明显。从这个角度考虑,若能延长缓增期灌浆持续时间,提高快增期的灌浆速率,则有利于千粒重的提高。而在 A_3 下,通过有机肥的应用使 A_3 模式下旗叶叶绿素含量明显高于其余栽培模式,从而获得较长的光合时间,积累较多的同化物,使得 A_3 的千粒重明显高于其余栽培模式下籽粒的千粒

式之间没有差异性,说明在本实验所采用的栽培模式下,籽粒产量的差异是由千粒重的差异所造成的;而造成千粒重存在差异的主要原因是各种栽培模式下,籽粒在灌浆过程中的表现不同。其中 A_3 的千粒重最大。随着小麦品种的更替,长旱 58 品种在千粒重和籽粒产量方面均强于长武 134 品种;在穗粒数方面,只能看到不同品种间的差异,而在相同品种,不同栽培模式之间没有差异性。不同栽培模式之间,水分利用效率(WUE),收获指数(HI)和产量(Yield)的关系表明, A_4 虽然其产量与 A_2 没有差异性,但 A_4 的 WUE 和 HI 都没有 A_2 的高,表明只依赖较高的氮肥是不能从本质上提高小麦在黄土高原旱区的产量。有机肥与化肥的互作使得 A_3 的产量、水分利用效率、收获指数都明显高于其余各种栽培模式。与其它栽培模式相比较, A_1 虽然在收获指数与 A_4 没有差异性,但 A_1 的产量远远低于其余栽培模式下的产量。

重。不同栽培模式主要通过影响籽粒的千粒重,最终来影响小麦的产量^[24]。籽粒灌浆与持绿性的关系,通过延缓叶片衰老的进程来保持较强的光合能力从而提供更多的光合产物,是提高小麦产量最有效的途径。随着小麦品种的演替,长旱 58 比长武 134 具有较好的灌浆特性。参试品种间籽粒灌浆参数差异明显,说明品种的遗传特性与籽粒灌浆特性密切相关。从长武 134 与长旱 58 灌浆参数均值的比较可见,长旱 58 品种较长武 134 品种平均灌浆时间、快增期灌浆持续时间均明显提高,快增期、缓增期灌浆速率及最大灌浆速率均略有降低,最大粒重和实际千粒重都有所提高。

有机肥是黄土旱区农业生产的重要肥源。大多学者认为长期单施化肥不能使土壤有机质维持基本平衡,长期采用有机肥或化肥与有机肥配施可增加土壤有机质含量^[25-26],从而提高小麦产量和水分利用效率^[27],施用有机肥能提高旗叶的相对叶绿素含量,进而增加了穗粒重和千粒重,为籽粒产量和经济系数的显著提高奠定基础。通过对产量构成的分析可以看出,千粒重是造成产量上差异的主要因素。本实验表明,通过有机肥与化肥的互作,并适当提高

氮肥的投入,可以提高小麦的千粒重,水分利用效率和收获指数。

参考文献:

- [1] Pinthus M J, Shalom S Y. Dry matter accumulation in the grains of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in grain weight[J]. Ann. Bot., 1978, 42: 469-471.
- [2] Wiegand C L, Cuellar J A. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature[J]. Crop Sci., 1981, 21: 95-101.
- [3] 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.
- [4] 吴少辉, 高海涛, 张学品, 等. 播期对不同习性小麦品种籽粒灌浆特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(4): 105-107.
- [5] 韩占江, 郜庆炉, 吴玉娥, 等. 小麦籽粒灌浆参数变异及与粒重的相关性分析[J]. 种子, 2008, 27(6): 27-30.
- [6] 鲁清林, 叶石, 何春雨, 等. 冬麦北移后小麦籽粒灌浆特性的初步研究[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(2): 281-286.
- [7] 冯素伟, 胡铁柱, 李淦, 等. 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.
- [8] 张园, 郝明德, 庞玉辉. 黄土高原沟壑区小麦品种演替过程中籽粒灌浆特性研究[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(6): 1058-1062.
- [9] 高松洁, 王文静, 宋家永, 等. 小麦大粒品种源库特点及其与穗粒重关系的研究[J]. 华北农业学报, 2002, 17(1): 46-50.
- [10] 吴少辉, 高海涛, 王书飞, 等. 干旱对冬小麦粒重形成的影响及灌浆特性分析[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(2): 49-51.
- [11] 徐向阳, 康明辉, 何纪安, 等. 冬小麦籽粒充实度及灌浆模式的研究[J]. 华北农学报, 1998, 18(4): 8-13.
- [12] 宋希云, 夏美翠, 李储学, 等. 不同类型小麦品种籽粒灌浆特性研究[J]. 莱阳农学院学报, 1996, 13(4): 241-245.
- [13] 崔党群. Logistic 曲线方程的解析与拟合优度测验[J]. 数理统计与管理, 2005, 24(1): 112-115.
- [14] 吴纪民. 小麦灌浆物质积累运转动态和分配率[J]. 江苏农业科学, 1983, 15(5): 46-51.
- [15] 周竹青, 朱旭彤. 小麦籽粒胚乳细胞增殖动态及其与籽粒和体积的关系[J]. 麦类作物学报, 2003, 23(2): 57-59.
- [16] 翟利剑. 春小麦群体库的形成及其特性分析[J]. 麦类作物学报, 2003, 23(2): 60-64.
- [17] 裴雪霞, 王姣爱, 党建友. 播期对优质小麦籽粒灌浆特性及旗叶光合特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 121-128.
- [18] 郝犁仁, 樊元, 郝哲鸥, 等. SPSS 实用统计分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [19] 袁志发, 周静芋. 试验设计与分析[M]. 西安: 高等教育出版社, 2000.
- [20] 陈跃武. 高产小麦物质积累与运转规律研究[J]. 江苏农业科学, 1999(4): 30-32.
- [21] 肖世和, 陈孝, 吴兆苏. 小麦开花后生物产量组分的动态分析[J]. 作物学报, 1995, 21(2): 155-160.
- [22] 乔玉辉, 宇振荣. 冬小麦干物质在各器官中的积累和分配规律研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5): 543-546.
- [23] Ehdaie B, Alloush G A, Waines J G. Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat[J]. Field Crops Research, 2008, 106: 34-43.
- [22] Borrell A K, Hammer G L, Henze R G. Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought II. Dry matter population and yield[J]. Crop Sci., 2000, 40: 1037-1048.
- [24] 徐明岗, 李冬初, 李菊梅, 等. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3133-3139.
- [25] 王旭东, 张一平, 吕家珑, 等. 不同施肥条件对土壤有机质及胡敏酸特性的影响[J]. 中国农业科学, 2000, 33(2): 75-81.
- [26] 隋跃宇, 张兴义, 焦晓光, 等. 长期不同施肥制度对农田黑土有机质和氮素的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 190-194.
- [27] 李春明, 熊淑萍, 赵巧梅, 等. 有机无机肥配施对小麦冠层结构、产量和蛋白质含量的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(12): 4287-4293.