

李召锋, 黄 润, 王竹琼, 等. 滴灌春小麦花后茎秆抗倒性变化[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(9): 63–66.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.09.016

滴灌春小麦花后茎秆抗倒性变化

李召锋¹, 黄 润², 王竹琼³, 杨新军¹

(1. 石河子大学农学院, 新疆石河子 832000; 2. 新疆农业科学院科研管理处, 新疆乌鲁木齐 830091;

3. 第十三师红山农场农业综合服务中心, 新疆巴里坤 833400)

摘要:以新疆主栽春小麦品种新春 6、11、17、26 号等为供试材料, 采用田间试验与实验室分析相结合的方法, 对花后不同时期抗倒性的变化进行研究。结果表明, 滴灌条件下春小麦花后第 2 节间机械强度呈先上升后下降的变化趋势, 花后 10~15 d 茎秆强度最大, 成熟期显著下降。新春 6、11 号花后 5~30 d 的抗倒性呈先上升后下降再上升的变化过程, 花后 10 d 抗倒性最强, 25 d 抗倒性最弱, 成熟期茎秆抗倒性有所恢复。新春 17、26 号抗倒性呈先上升后下降变化过程, 花后 10~15 d 抗倒性最强, 成熟期最弱。重心高、第 2 节间壁厚及干质量均呈先上升后下降的变化趋势, 不同品种峰值出现的时期不完全相同。不同基因型品种花后抗倒性变化规律不完全相同, 重心高、第 2 节间壁厚的变化是滴灌春小麦花后抗倒性变化的主要原因。

关键词:滴灌春小麦; 抗倒性; 倒伏指数; 遗传结构

中图分类号: S512.1⁺20.7; S512.1⁺20.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)09-0063-04

倒伏是指植株茎秆永久性偏离垂直位置的现象, 是制约小麦高产、稳产、优质的主要限制性因素之一, 是基因型、环境与植株互作的结果^[1-2]。在新疆等西北内陆荒漠绿洲干旱半干旱地区, 为节约用水、提高水分利用效率、保证粮食安全, 滴灌已成为该地区小麦种植中一种重要的种植模式^[3]。与常规漫灌相比, 滴灌小麦株高、叶面积、有效茎数增加, 生长速率加快, 容易形成较大的群体, 增加了滴灌小麦发生倒伏的风险^[4]。研究滴灌条件下春小麦花后抗倒性的变化规律, 对高产抗倒品种的选育具有重要的指导意义。一般认为, 株高及重心高较低、基部节间短粗、壁厚、充实度高、机械组织发达、纤维素、木质素含量高是小麦抗倒能力强的主要形态、结构、成分、生理学指标^[5-6]。前人对小麦抗倒性进行了大量的研究, 但多集中于花后至成熟期间的某个或少数几个时期, 对花后抗倒性变化规律的研究较少。小麦抽穗后的整个生育阶段都有可能发生倒伏^[7-10]。冯素伟等对开花后小麦抗倒性

变化规律进行了研究, 认为开花期单茎抗倒伏强度最大, 此后呈递减趋势, 成熟期抗倒性最弱^[11]。本试验对滴灌条件下 4 个春小麦主栽品种花后抗倒性变化规律进行研究, 以期对春小麦抗倒育种和栽培管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为新疆春小麦生产中大面积种植的 4 个小麦品种, 分别为新春 6、11、17、26 号, 均由石河子大学麦类作物研究所提供。试验于 2015 年在石河子大学农学院试验站进行。试验地前茬为小麦, 0~30 cm 土层有机质含量为 11.3 g/kg, 碱解氮含量为 26.53 mg/kg, 速效磷含量为 22.32 mg/kg, 土壤肥力中等。

1.2 试验设计

随机区组试验设计, 3 个重复, 5 个行区, 精量点播, 株行距为 5 cm×20 cm。滴灌春小麦全生育期灌水 8 次, 每次灌水 600 m³/hm², 灌溉周期为 10~15 d。全生育期基施尿素(含 N 量为 46.6%) 120 kg/hm², 磷酸二铵(含 N 量 16.5%, 含 P₂O₅ 47.5%) 150 kg/hm²; 在三叶期、拔节期、孕穗期追施尿素 4 次, 随水施肥, 各次用量分别为 75、150、75、75 kg/hm²。其他田间管理措施同当地大田。

收稿日期: 2016-10-01

基金项目: 新疆生产建设兵团“十三五”小麦育种专项(编号: 2016BA002); 石河子大学科学技术研究发展项目动植物育种专项(编号: CXJS2015-YZ05)。

作者简介: 李召锋(1981—), 男, 河南禹州人, 硕士, 实验师, 主要从事作物遗传育种研究。E-mail: hnlizhaofeng@163.com。

[18] 石庆华, 程永盛, 潘晓华, 等. 施氮量对两系杂交晚稻产量和品质的影响[J]. 土壤肥料, 2000(4): 9-12.

[19] 柳金来, 宋继娟, 李福林, 等. 氮肥施用量对水田土壤肥力和水稻植株养分含量及产量的影响[J]. 农业与技术, 2000, 20(4): 8-12.

[20] 任 海, 付立东, 王 宇, 等. 不同氮肥施入量对超级稻盐丰 47 产量的影响[J]. 现代农业科技, 2016(3): 30-31, 34.

[21] 张绍林, 朱兆良, 徐银华, 等. 关于太湖地区稻麦上氮肥的适宜用量[J]. 土壤, 1988(1): 5-9.

[22] 吕小红, 付立东, 王 宇, 等. 配比施用缓释肥与速效氮肥对机

插水稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(5): 115-118.

[23] 江立庚, 曹卫星, 甘秀芹, 等. 不同施氮水平对南方早稻氮素吸收利用及其产量和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(4): 490-496.

[24] 吕小红, 陈温福, 宋玉婷, 等. 施氮条件下不同株型水稻品种的根系活力研究[J]. 北方水稻, 2014, 44(4): 7-11.

[25] 吕小红, 黄 河, 陈温福, 等. 施氮水平对不同株型水稻品种 N₂O 排放通量的影响[J]. 北方水稻, 2015, 45(6): 16-19.

1.3 测定项目与方法

1.3.1 测定项目 开花期用毛线标记出形态、长势基本一致的植株,分别于小麦花后 5、10、15、20、25、30 d 取样。4 个供试材料中新春 6、17、26 号为中早熟品种,本试验中花期相同。取样日期均为 6 月 8 日(花后 5 d)、6 月 13 日(花后 10 d)、6 月 18 日(花后 15 d)、6 月 23 日(花后 20 d)、6 月 28 日(花后 25 d)、7 月 3 日(花后 30 d);新春 11 号为中晚熟品种,取样日期为 6 月 12 日(花后 5 d)、6 月 17 日(花后 10 d)、6 月 22 日(花后 15 d)、6 月 27 日(花后 20 d)、7 月 2 日(花后 25 d)、7 月 7 日(花后 30 d)。每次取 10 株,测定主茎株高、重心高、第 2 节间长、第 2 节间干质量、第 2 节间壁厚、第 2 节间机械强度等与小麦抗倒性有关的性状。

1.3.2 测定方法 地上部鲜质量:测定主茎连叶带穗的完整鲜质量;重心高度:茎秆基部到该茎(带穗、叶、叶鞘)平衡支点的距离;第 2 节间机械强度的测定采取支点法:取去掉叶鞘的基部第 2 节间,将其放在间隔 5 cm 的支撑架上,用 YYD-1 型茎秆强度测定仪(浙江托普仪器有限公司)以平稳的力拉茎秆,使茎秆瞬间折断的力乘以 100 g/N 即为该茎秆的机械强度。

表 1 花后不同天数春小麦茎秆抗倒性状方差分析(F 值)

变异来源	倒伏指数	第 2 节间机械强度	株高	重心高	第 2 节间长	第 2 节间壁厚	第 2 节间干质量
花后天数	14.98 **	28.65 **	1.03	212.42 **	1.28	28.57 **	22.71 **
品种	18.94 **	9.61 **	141.74 **	204.90 **	0.37	62.21 **	1.61
区组	0.80	0.95	0.13	3.59 *	2.35	0.15	1.14
品种 × 花后天数	3.33 **	4.00 **	0.53	8.77 **	0.39	8.90 **	3.55 **

注:“*”“**”分别表示在 0.05、0.01 水平上差异显著、极显著,“品种 × 花后天数”表示品种与花后天数的互作。

2.2 第 2 节间机械强度及倒伏指数的变化

小麦茎秆不仅具有弹性还具有硬性,茎秆的机械强度是这 2 种属性的综合体现。由于小麦倒伏多发生在茎秆基部第 2 节间,因此第 2 节间的机械强度是影响小麦抗倒伏能力的重要因素。由图 1 可以看出,不同时期各品种小麦第 2 节间机械强度差异显著,4 个供试品种从花后 5 d 到花后 30 d 均呈先升高后降低的变化趋势。各品种小麦机械强度峰值出现的时期不同。其中,新春 6、11、17 号机械强度峰值出现在花后 10 d,新春 26 号出现在花后 15 d。此后随着生育推进,机械强度降低,到成熟期茎秆强度显著下降。这可能与节间贮藏的物质转移,茎秆品质劣变有关。

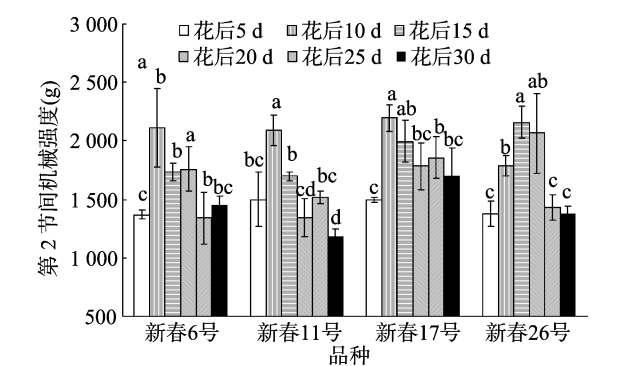


图 1 不同品种花后第 2 节间机械强度的变化

机械强度反映了茎秆抗折断的能力,倒伏指数则是茎秆重量、中心高度、机械强度的综合体现。由图 2 可以看出,各

1.3.3 抗倒性的计算 以品种倒伏指数计算供试材料抗倒性的大小。品种倒伏指数越大,该品种的抗倒性越差,越易倒伏;反之,抗倒伏能力越强。

品种倒伏指数 = 茎秆鲜质量 × 重心高 / 第 2 节间机械强度。

2 结果与分析

2.1 方差分析

方差分析结果表明,倒伏指数、第 2 节间机械强度、重心高、第 2 节间壁厚、第 2 节间干质量等 5 个性状花后不同时期方差均达极显著水平,表明上述性状花后发生了极显著改变(表 1)。株高、第 2 节间长花后不同天数间差异不显著,表明株高、第 2 节间长在小麦开花后无显著变化。品种间倒伏指数差异达极显著水平,表明供试材料抗倒性差异极显著,代表性较好。除重心高外,其他性状区组间差异不显著,表明试验地土壤肥力等条件相对一致,试验结果比较可靠。

由于株高、第 2 节间长在小麦花后已无明显变化,因此本试验着重对花后倒伏指数、第 2 节间机械强度、重心高、第 2 节间壁厚、第 2 节间干质量等 5 个与小麦抗倒性相关的性状进行研究。

品种花后不同时期倒伏指数存在显著差异,其中新春 6、11、17 号在花后 10 d 倒伏指数最小,抗倒性最强,新春 26 号倒伏指数最小值则出现在花后 15 d。这与第 2 节间机械强度峰值出现的时期吻合,表明机械强度是影响茎秆抗倒伏能力的重要因素。新春 6 号花后 25 d 倒伏指数显著大于其他时期,新春 11 号花后 20、25 d 倒伏指数明显高于其他时期,新春 26 号花后 25、30 d 倒伏指数无显著差异,且均显著大于其他时期。结果表明,新春 6 号在花后 25 d 时抗倒伏能力最弱,倒伏风险较大,而新春 11、26 号分别在花后 20、25 d 和 25、30 d 有较高的倒伏风险。在生产中应根据不同品种倒伏敏感期的差异,通过综合栽培管理措施加以防范。4 个供试品种中,新春 17 号在各个时期的倒伏指数均较小,综合倒伏能力较好,在育种中可作为抗倒伏亲本。进一步研究发现,不同基因型品种花后倒伏指数的变化趋势不尽相同,供试材料可分为 2 个类型。其中,新春 6、11 号整体呈先下降后升高再下降的趋势。新春 17、26 号则表现为先降低后升高的趋势。花后 5 ~ 25 d 供试品种抗倒性变化规律一致,花后 25 ~ 30 d 出现了差异。其中,新春 6、11 号花后 25 ~ 30 d 倒伏指数显著下降,同一时期新春 17、26 号则呈继续上升的趋势。结果表明,不同基因型小麦品种花后抗倒伏能力变化趋势不完全相同。

2.3 重心高、第 2 节间壁厚、第 2 节间干质量的变化

重心高、第 2 节间壁厚、第 2 节间干质量与小麦抗倒性密切相关。由表 2 可以看出,花后 5 ~ 30 d 供试品种重心高除新春 17 号外整体呈先上升后下降的变化趋势。新春 6、11、26 号品种花后 5 ~ 25 d 植株重心高度持续上升,花后 25 d 达

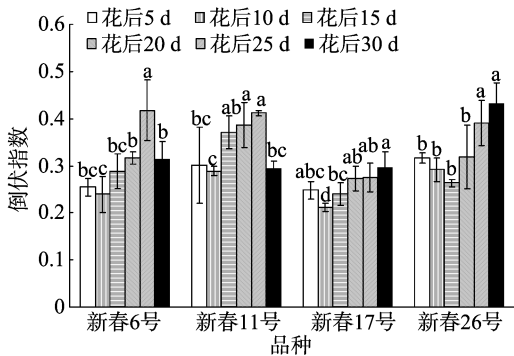


图2 不同品种花后倒伏指数的变化

到峰值,此后呈下降趋势。其中,新春6、26号花后30 d重心高较花后25 d显著降低,新春11号则降低不显著。结果表明,花后随籽粒灌浆的进行重心高度不断上移,到蜡熟期因籽粒脱水鲜质量急剧下降,致使重心高度降低。花后第2节间

壁厚的变化趋势与重心高基本一致,呈先增加后减小的变化趋势。新春11、17号的壁厚花后10 d达到最大,且显著高于其他时期,新春26号花后15 d最大,随着茎秆内部物质的转运,花后30 d壁厚减小到最低值。从4个供试材料的重心高、第2节间壁厚可以看出,抗倒伏能力较强的品种新春17号各时期重心高相对较低、第2节间壁厚相对较厚。结果表明,秆壁较厚、重心高度较低是抗倒伏品种的重要特征。第2节间干质量是衡量基部节间物资外运的重要指标。供试品种第2节间干质量整体均呈先升高后降低的变化趋势。其中,新春6号花后不同时期节间干质量差异不显著,其他3个品种花后节间干质量变化差异显著。新春11、17号品种干质量在花后10 d到达峰值,新春26号在花后15 d达到最大值,此后持续下降,花后30 d最小。结果表明,花后不仅重心高度发生了显著变化,同时由于茎秆内贮藏物质的转化及外运,壁厚及重量也发生了显著改变,直接影响茎秆机械强度,间接影响小麦品种的抗倒伏性。

表2 供试品种花后不同时期茎秆抗倒性特征的变化

花后天数 (d)	重心高(cm)			
	新春6号	新春11号	新春17号	新春26号
5	41.20 ± 1.30e	39.10 ± 1.70c	37.70 ± 2.10c	43.00 ± 1.50e
10	44.00 ± 1.20d	43.20 ± 1.60b	38.20 ± 1.20c	44.80 ± 1.30d
15	44.80 ± 1.60d	45.00 ± 1.20b	40.50 ± 1.10b	48.30 ± 1.10c
20	46.90 ± 1.90c	48.90 ± 1.40a	40.60 ± 1.60b	47.00 ± 1.00c
25	52.90 ± 1.10a	50.10 ± 1.10a	44.50 ± 1.20a	57.80 ± 1.80a
30	51.00 ± 0.90b	48.50 ± 2.30a	45.40 ± 1.70a	55.00 ± 1.10b

花后天数 (d)	第2节间壁厚(mm)			
	新春6号	新春11号	新春17号	新春26号
5		0.67 ± 0.01bcd	0.95 ± 0.07b	0.68 ± 0.01b
10		0.88 ± 0.06a	1.05 ± 0.01a	0.71 ± 0.06b
15		0.77 ± 0.10b	0.90 ± 0.01bc	0.82 ± 0.05a
20		0.73 ± 0.01bc	0.83 ± 0.03cd	0.79 ± 0.03a
25		0.63 ± 0.02cd	0.76 ± 0.01de	0.63 ± 0.01b
30		0.60 ± 0.06d	0.71 ± 0.09e	0.52 ± 0.05c

花后天数 (d)	第2节间干质量(g)			
	新春6号	新春11号	新春17号	新春26号
5	0.18 ± 0.01a	0.19 ± 0.01bc	0.21 ± 0.01ab	0.16 ± 0.01ab
10	0.19 ± 0.01a	0.24 ± 0.02a	0.23 ± 0.01a	0.19 ± 0.04a
15	0.17 ± 0.03a	0.17 ± 0.01c	0.19 ± 0.02b	0.20 ± 0.01a
20	0.18 ± 0.01a	0.19 ± 0.02b	0.19 ± 0.01b	0.19 ± 0.02a
25	0.16 ± 0.01a	0.18 ± 0.01bc	0.16 ± 0.02c	0.16 ± 0.02ab
30	0.16 ± 0.01a	0.12 ± 0.02d	0.14 ± 0.03c	0.15 ± 0.01b

注:同列数据后不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。

2.4 茎秆的节间特征与倒伏指数的相关性

小麦抗倒性的变化是多种因素共同作用的结果,那么在此过程中哪些因素的改变起着关键作用呢?花后各时期茎秆节间特征与倒伏指数的相关分析结果(表3)表明,各性状与倒伏指数的相关性从大到小依次为重心高>第2节间壁厚>第2节间机械强度>第2节间干质量。其中,倒伏指数与重心高呈极显著正相关,与第2节间壁厚、第2节间机械强度呈极显著负相关,与第2节间干质量呈不显著负相关。结果表明,重心高、第2节间壁厚、第2节间机械强度是影响花后小麦抗倒性变化的主要因素,重心高越低、第2节间壁厚越厚、第2节间机械强度越强、第2节间干质量越大,品种的抗倒伏能

力越强。第2节间机械强度与壁厚的相关系数最大,呈极显著正相关。结果表明,第2节间壁厚是决定机械强度的主要因素。上述分析综合表明,重心高、第2节间壁厚的改变是小麦花后抗倒性变化的关键因素。

3 结论与讨论

小麦拔节后的每个时期均有倒伏的可能,花后伴随着籽粒灌浆,重心高度不断上移,倒伏的风险急剧增加。徐磊等研究指出,灌浆中期是小麦抗倒能力复杂变化的时期,不同小麦品种的抗倒性在灌浆中期的变化趋势不完全相同^[10]。冯素伟等研究指出,倒伏指数随生育时期推进呈“S”形规律变化,

表 3 花后小麦倒伏指数与其影响因素的相关系数

项目	重心高	第 2 节间壁厚	第 2 节间干质量	第 2 节间机械强度
重心高	1			
第 2 节间壁厚	-0.674 1 **	1		
第 2 节间干质量	-0.438 6 **	0.665 7 **	1	
第 2 节间机械强度	-0.355 8 **	0.654 3 **	0.505 3 **	1
倒伏指数	0.714 0 **	-0.633 6 **	-0.259 5	-0.585 1 **

注：“**”表示在 0.01 水平上差异极显著。

灌浆初期倒伏指数略有下降,籽粒灌浆末期至乳熟期达到峰值,成熟期抗倒性有所增强,倒伏指数与花后天数之间的关系符合一元三次曲线方程^[11]。陈晓光等持相同的观点^[12-14]。但王丹等研究认为,花后随着茎秆物质转运、重心高度上移,倒伏指数整体呈升高趋势,成熟期倒伏指数最大,倒伏风险最高^[15-16]。本研究结果表明,不同基因型品种花后抗倒性变化规律不完全相同。新春 6、11 号的变化趋势与冯素伟等的研究结果^[11]一致,而新春 17、26 号则呈不同的变化趋势。两者的区别在于前者成熟期茎秆抗倒性有所恢复,而后者持续恶化,这可能是由于供试材料的遗传构成差异造成的。新春 6、11、17、26 号的亲本组合分别为中 7906/新春 2 号、新春 2 号/86-1、新春 6 号/NS64、新春 9 号/新春 6 号,新春 6、11 号具有 1 个共同的亲本——新春 2 号,新春 17、26 号也具有一个共同的亲本——新春 6 号。另外,在遗传结构上新春 6、11 号是新春 2 号的第 1 代衍生品种,新春 17、26 号是第 2 代衍生品种。但衍生后代获得的骨干亲本的遗传区段存在差异,对其不同衍生世代品种的遗传贡献率不同^[17-18]。这可能是造成不同基因型品种花后倒伏指数变化不同的内在因素。

开花期后植物以生殖生长为主,营养生长为辅,营养器官仍在生长。王勇等研究表明,小麦茎秆机械强度从开花期逐渐增加,乳熟期达到峰值,成熟期又降低,呈先上升后下降的变化趋势^[19]。本研究表明,灌浆早期茎秆机械强度达到峰值,峰值出现的时间提前,这与前人的研究结果^[12,20]不同。王丹等研究表明,开花期基本节间壁厚及干质量为最大值,此后持续降低^[15,20]。而徐磊等持有不同的观点,认为小麦花后节间茎秆干密度呈先上升后下降的变化趋势,灌浆中期达到最大值,且不同品种最高值出现的时间不同^[10]。本试验的研究结果与后者相同,与前者不同。笔者认为造成这种差异的原因除了试验材料的差异外,灌溉方式的不同是造成这种结果的重要原因。滴管技术使作物的生长环境发生变化,水肥耦合不仅提高了小麦产量,也影响着籽粒灌浆性^[21]、植株重心高度^[22]、干物质的积累与转运^[23],形成了不同于漫灌的花后抗倒性变化规律。滴灌对小麦抗倒性的影响还有待于进一步研究。

参考文献:

[1]刘唐兴,官春云,雷冬阳. 作物抗倒伏的评价方法研究进展[J]. 中国农学通报,2007,23(5):203-206.
[2]姚金保,马鸿翔,姚国才,等. 小麦抗倒性研究进展[J]. 植物遗传资源学报,2013,14(2):208-213.
[3]王荣栋. 小麦滴灌栽培[M]. 北京:中国农业出版社,2012:6-9.
[4]熊 乐,马富裕,樊 华,等. 冬灌与化学调控互作对滴灌春小麦抗倒伏能力和产量的影响[J]. 麦类作物学报,2012,32(5):

932-936.
[5]樊高琼,李金刚,王秀芳,等. 氮肥和种植密度对带状种植小麦抗倒能力的影响及边际效应[J]. 作物学报,2012,38(7):1307-1317.
[6]王 勇,李晴祺,李朝恒,等. 小麦品种茎秆的质量及解剖学研究[J]. 作物学报,1998,24(4):452-459.
[7]冯素伟,李 淦,胡铁柱,等. 不同小麦品种茎秆抗倒性的研究[J]. 麦类作物学报,2012,32(6):1055-1059.
[8]肖世和,张秀英,闫长生,等. 小麦茎秆强度的鉴定方法研究[J]. 中国农业科学,2002,35(1):7-11.
[9]董 琦,王爱萍,梁素明,等. 小麦基部节间形态结构特征与抗倒性的研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2003,23(3):188-190.
[10]徐 磊,王大伟,时荣盛,等. 小麦基部节间茎秆密度与抗倒性关系的研究[J]. 麦类作物学报,2009,29(4):673-679.
[11]冯素伟,李小军,丁位华,等. 不同小麦品种花后植株抗倒性变化规律[J]. 麦类作物学报,2015,35(3):334-338.
[12]陈晓光,史春余,尹燕樾,等. 小麦茎秆木质素代谢及其与抗倒性的关系[J]. 作物学报,2011,37(9):1616-1622.
[13]陈晓光,王振林,鹏佃亮,等. 种植密度与喷施多效唑对冬小麦抗倒伏能力和产量的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(6):1465-1470.
[14]卢昆丽,尹燕樾,王振林,等. 施氮期对小麦茎秆木质素合成的影响及其抗倒伏生理机制[J]. 作物学报,2014,40(9):1686-1694.
[15]王 丹,丁位华,冯素伟,等. 不同小麦品种茎秆特性及其与抗倒性的关系[J]. 应用生态学报,2016,27(5):1496-1502.
[16]王 勇,李晴祺. 小麦品种抗倒性评价方法的研究[J]. 华北农学报,1995,10(3):84-88.
[17]肖永贵,路亚明,闻伟镔,等. 小麦骨干亲本京 411 及衍生品种苗期根部性状遗传[J]. 中国农业科学,2014,47(15):2916-2926.
[18]肖永贵,殷贵鸿,李慧慧,等. 小麦骨干亲本“周 8425B”及其衍生品种的遗传解析和抗条锈病基因定位[J]. 中国农业科学,2011,44(19):3919-3929.
[19]王 勇,李朝恒,李安飞,等. 小麦品种茎秆质量的初步研究[J]. 麦类作物学报,1997,17(3):28-31.
[20]李金才,尹 钧,魏凤珍. 播种密度对冬小麦茎秆形态特征和抗倒指数的影响[J]. 作物学报,2005,31(5):662-666.
[21]杨 茹,马富裕,何海兵,等. 滴管春小麦的籽粒灌浆特性[J]. 麦类作物学报,2012,32(4):743-746.
[22]蒋桂英,魏建军,刘 萍,等. 滴管春小麦生长发育与水分利用效率的研究[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(6):50-54,73.
[23]廖 江,马富裕,樊 华,等. 密度调控下滴管春小麦干物质积累及转运特征的分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2012,30(5):567-571.