

刘 瑞,陈佳钰,尚心悦,等. 大麦、小麦茎秆和穗部性状与抗倒性的关系[J/OL]. 大麦与谷类科学,2022,39(3):14-21.https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2022.03.003.

大麦、小麦茎秆和穗部性状与抗倒性的关系

刘 瑞^{1,2},陈佳钰³,尚心悦³,许甫超²,徐 晴²,彭严春²,董国清¹,董 静^{2*},秦丹丹^{2*}

(1. 武汉轻工大学,湖北 武汉 430023;2. 湖北省农业科学院粮食作物研究所,湖北 武汉 430064;3. 西南大学,重庆 400715)

摘要:倒伏是制约大麦和小麦生产的重要因素之一,提高大、小麦的抗倒性对实现其高产优质具有重要意义。本文以 15 个大麦品种(系)和 3 个小麦品种(系)为材料,对参试品种的茎秆特性及穗粒性状进行测量与分析研究。结果表明,所测量性状在参试材料中具有广泛的变异,其中,株高为 77.2~95.2 cm,分蘖角度为 7.4°~15.7°,基部第 2、第 3 节间长度分别为 5.9~10.1 cm 和 9.0~14.1 cm,茎粗为 3.90~4.73 mm,茎壁厚度为 0.43~0.94 mm,抗折力为 69.01~220.43 N,茎秆木质素含量(质量分数)为 17.06%~23.96%,重心高度为 40.4~57.7 cm,穗数为 2~5 个/株,穗粒数为 25~38 粒/穗,穗粒质量为 0.93~2.21 g/穗,千粒质量为 35.91~45.41 g。相关性分析表明,茎壁厚度、抗折力、木质素含量及穗粒数与抗倒指数均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.854、0.968、0.663 和 0.755;重心高度及穗粒质量与抗倒指数分别呈显著和极显著负相关,相关系数分别为 -0.558 和 -0.671。小麦的抗倒伏能力总体优于大麦,这与其茎秆相对较厚、木质素含量相对较高有关。

关键词:大麦;小麦;茎秆;穗部;抗倒性

中图分类号:S512.1;S512.3

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20210115

大麦是世界第 4 大谷类作物,小麦是世界及我国的第 2 大粮食作物。倒伏是制约大麦、小麦优质高产的主要因素之一^[1-2],可引起小麦减产 20%~30%,严重时甚至可达 50%以上^[3],并造成籽粒品质大幅下降。作为籽粒用大麦和小麦品种,高产抗倒是品种选育的一个重要参考指标;作为青贮饲料用大麦,要求在最大限度地提高大麦株高的同时,又能避免倒伏的发生。倒伏特别是早期倒伏,往往导致大、小麦的早衰、瘪熟,并伴随着叶、茎、根类病害的发生与加重,如白粉病、条锈病等,造成产量和品质降低^[4-5]。因此,提高大麦和小麦新品种的抗倒性一直是品种培育工作中的重点目标,鉴定和筛选抗倒伏种质资源,明确抗倒性机制,是培育抗倒

小麦和大麦新品种的基础。

20 世纪 60 年代,以降低农作物株高、半矮化育种为特征的第 1 次“绿色革命”,大大提高了水稻和小麦的抗倒性,使得全球水稻和小麦产量翻了一番^[6]。除株高外,越来越多的性状被发现与作物抗倒性相关。胡昊等研究发现,小麦的抗倒指数与株高、重心高度、基部节间长度、茎秆第 2 节间粗度和壁厚有关^[7]。柴亚茹等研究发现,除茎秆形态外,茎秆机械强度的强弱也是影响小麦抗倒伏能力的重要指标^[8]。还有研究报道,增加小麦茎秆中的木质素含量及维管束数量,可以提高茎秆的韧性,增加茎秆的抗压强度,从而提高抗倒性^[9]。与小麦相比,大麦抗倒的研究相对较少。大麦和小麦属于近缘物种,对二者抗倒性进行研究和比较,更有助于全面了解麦类作物抗倒性机理,为抗倒品种的培育提供理论依据。

本研究选取 15 个大麦和 3 个小麦品种(系),对其茎秆和穗部形态及生理特性进行测定,探讨其与抗倒性的关系,并对大麦和小麦相关性状进行比较和分析,为麦类抗倒种质资源的鉴定和筛选提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及田间种植

本研究供试材料为 15 个抗倒伏能力不同的大

收稿日期:2021-12-27

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD1000706、2018YFD1000700);国家自然科学基金(31771774);国家大麦青稞产业技术体系(CARS-05);湖北省农业科技创新项目(2016-620-000-001-009)。

作者简介:刘 瑞(1998—),女,硕士研究生,主要从事作物遗传育种研究。E-mail: 2516544310@qq.com。

* 通信作者:董 静(1981—),男,硕士,研究员,主要从事大麦和小麦新品种选育和应用研究,E-mail: dongjingsir061@163.com;秦丹丹(1982—),女,博士,研究员,主要从事大麦和小麦重要农艺性状调控基因挖掘和应用研究,E-mail: hnqdd@163.com。

麦品种及自育高代品系 820265、821003、820991、721072、720189、720234、721130、821114、820182、820213、820231、820330、921087、821114 和华大麦 9 号, 其中中华大麦 9 号品种审定编号为鄂审麦 2009007, 由华中农业大学提供, 为湖北省大麦区试对照品种; 3 个小麦品种及自育高代品系有 810180、810310、漯麦 6010, 其中漯麦 6010 品种审定编号为鄂审麦 2013001, 由河南省漯河市农业科学院提供。

试验于 2020 年 11 月至 2021 年 5 月在湖北省农业科学院粮食作物研究所鄂州试验基地(114°31'E、30°05'N)进行。据多年气象观察记载, 4 月底至 5 月初, 大麦和小麦正处于成熟期或者灌浆后期, 该基地内大风、大雨等恶劣天气发生频率较高, 如 2022 年 4 月 28 日, 基地内局部区域风力达 7~8 级。田间试验小区面积为 6.67 m² (2.67 m×2.5 m), 共 10 行, 播种密度为 16 万株/667 m², 3 个重复, 随机排列, 田间管理按照当地种植和管理习惯进行。

1.2 测定项目与方法

除田间倒伏情况外, 其他性状的测定均在一个长势相对一致的小区进行, 每品种(系)随机取 10 株测量, 取平均值。

株高:用直尺测定从茎秆基部到穗部顶端(不含芒)的距离, 单位为 cm。

分蘖角度:用量角器量取主茎与最外侧分蘖的夹角, 单位为°。

重心高度:采用平衡法测量, 即将主茎(保留穗、叶和鞘)置于一支点上(水平细线), 使茎秆与细线保持 90°夹角, 移动茎秆使其保持平衡, 此时测量支点到茎秆基部的距离, 即为重心高度^[9], 单位为 cm。

基部第 2、第 3 节间长度:基部第 2、第 3 节间长度均指从茎秆上一个节点到下一个节点间的距离, 单位为 cm。

茎粗:将第 3 节间从中部截断, 用游标卡尺测量长轴和短轴外径(不含叶鞘), 取平均值, 即为茎粗, 单位为 mm。

茎壁厚度:测量第 3 节间中部截断的 4 个横切面的秆壁厚度, 取平均值, 即为茎壁厚度, 单位为 mm^[11]。

茎秆抗折力:用 YYD-1A 型机械强度测定仪(浙江托普仪器有限公司, 杭州)测量基部节间茎秆强度^[12]。测量仪 2 个支点距离固定为 5 cm, 将第 3 节间水平放置于 2 个支点上, 节间中点与 2 个支点连线的中点重合, 在节间中点施力使其折断, 力的

大小即为该茎的抗折力, 单位为 N。若节间长度小于 5 cm, 则不测。

抗倒指数:茎秆抗倒指数 = 抗折力 / 重心高度。

木质素含量:参考 Klason 法(GB/T 2677.8—1994《造纸原料酸不溶木素含量的测定》)测定。

田间倒伏记载:记载所有小区每次倒伏发生的时间、面积、程度和倒伏类型。其中, 倒伏面积为倒伏部分面积占小区试验面积的百分比; 倒伏程度为植株倾斜与垂直方向的夹角(0 级, 未倒伏; 1 级, ≤15°; 2 级, >15°~30°; 3 级, >30°~45°; 4 级, >45°~60°; 5 级, >60°); 倒伏类型分为根倒和茎倒; 倒伏时间以月-日表示。

穗部性状考察:人工调查每株穗数、穗粒数, 脱粒后称量穗粒质量和千粒质量。

1.3 数据处理

用 Excel 2010 进行数据处理, 数据统计与分析采用 SPSS 19.0, 用 Duncan 方法进行多重比较($P < 0.05$), 通过 Pearson 方法分析各项目与倒伏指数之间的相关性。

2 结果与分析

2.1 茎秆基部节间形态特征

由表 1 可以看出, 参试材料的株高分布在 77.2~95.2 cm, 平均值为 87.9 cm, 各品种(系)间差异具有统计学意义($P < 0.05$)。相比于其他品种(系), 株高较高且由高到低顺序排列的是: 720189>820330> 华大麦 9 号 >721130>820213>720234。分蘖角度范围为 7.4°~15.7°, 平均值为 9.8°。基部第 2 节间长度范围为 5.9~10.1 cm, 平均值为 8.2 cm; 基部第 3 节间长度范围为 9.0~14.1 cm, 平均值为 10.8 cm。茎粗范围为 3.90~4.73 mm, 平均值为 4.19 mm, 品种间差异较小。茎壁厚度范围为 0.43~0.94 mm, 平均值为 0.58 mm; 小麦品种(系) 810180、810310 和漯麦 6010 之间差异无统计学意义, 但与其他大麦品种(系)之间差异具有统计学意义; 小麦品种(系)的茎壁厚度远大于大麦品种(系)。

2.2 茎秆理化特征

因为大部分供试材料的第 2 节间长度较短, 达不到抗折力测定的长度需求, 因此本研究只对第 3 节间抗折力进行了测定。表 2 显示, 供试材料的抗

折力为 69.01 ~ 220.43 N, 平均值为 114.89 N, 其中有 6 个品种(系)抗折力表现良好, 由大到小顺序为 810310 > 漂麦 6010 > 820991 > 810180 > 720189 > 华大麦 9 号; 相比于大麦, 小麦品种(系)表现更好。茎秆木质素含量为 17.06% ~ 23.96%, 平均值为 19.83%; 木质素含量均超过 20% 且由高到低的前 7 个品种(系)为

810180 > 720189 > 华大麦 9 号 > 漂麦 6010 > 810310 > 821003 > 820213; 小麦品种(系)第 3 节间茎秆内的木质素含量总体高于大麦品种(系)。重心高度为 40.4 ~ 57.7 cm, 平均值为 50.1 cm; 小麦品种(系) 810180、810310 和漂麦 6010 的重心高度低于大麦品种(系)。

表 1 茎秆基部节间形态特征

品种(系)	株高 /cm	分蘖角度 /°	第 2 节间长度 /cm	第 3 节间长度 /cm	茎粗 /mm	茎壁厚度 /mm
820265	89.7 bed	9.1 bed	7.3 d	9.0 f	4.30 abc	0.52 bc
821003	80.8 gh	7.4 d	9.3 abc	9.6 ef	3.98 bc	0.52 bc
820991	83.2 fg	7.8 d	8.5 bed	9.8 def	4.39 abc	0.56 bc
721072	89.3 bede	10.5 bed	7.8 cd	9.7 def	4.73 a	0.43 c
720189	95.2 a	7.7 d	10.1 a	11.6 bc	3.90 c	0.45 c
720234	90.7 abcd	9.9 bed	8.8 abcd	14.1 a	4.29 abc	0.52 bc
721130	91.9 abc	9.0 bed	8.1 bed	11.9 b	3.99 bc	0.55 bc
821114	88.8 bede	10.6 bed	7.4 d	10.8 bede	4.19 abc	0.65 b
华大麦 9 号	92.5 abc	9.3 bed	9.4 ab	11.8 b	4.60 ab	0.55 bc
820182	89.7 bed	10.1 bed	8.6 bed	10.8 bede	4.27 abc	0.52 bc
820213	91.2 abcd	11.5 bc	8.6 bed	10.2 bedef	4.20 abc	0.47 c
820231	88.1 cde	15.7 a	7.7 d	11.3 bede	4.19 abc	0.64 b
820330	93.9 ab	8.5 cd	8.3 bed	11.6 bc	4.33 abc	0.47 c
921087	77.2 h	8.7 cd	7.4 d	10.1 cdef	3.97 bc	0.43 c
821115	84.6 efg	7.5 d	8.1 bed	10.0 cdef	4.05 bc	0.49 c
810180	80.7 gh	9.9 bed	8.7 abcd	11.4 bed	3.93 c	0.86 a
810310	89.2 bede	12.4 b	5.9 e	10.7 bedef	3.90 c	0.94 a
漂麦 6010	86.2 def	11.5 bc	7.8 cd	10.8 bede	4.27 abc	0.88 a

注: 同列数据后不同小写字母表示品种(系)间差异具有统计学意义($P < 0.05$)。表 2 同。

表 2 茎秆基部节间理化特征

品种(系)	抗折力 /N	木质素含量 /%	重心高度 /cm
820265	79.87 ef	18.41 g	49.3 bed
821003	85.72 ef	20.29 cd	49.2 bed
820991	161.73 bc	18.33 g	50.6 abc
721072	106.02 cdef	18.86 fg	57.7 a
720189	142.14 bede	21.84 b	56.5 ab
720234	87.64 ef	18.94 efg	49.4 bed
721130	106.87 cdef	18.82 fg	52.4 abc
821114	94.48 def	19.11 efg	51.0 abc
华大麦 9 号	127.20 bedef	21.68 b	53.5 abc
820182	96.96 def	18.82 fg	53.0 abc
820213	109.84 cdef	20.29 cd	50.2 bc

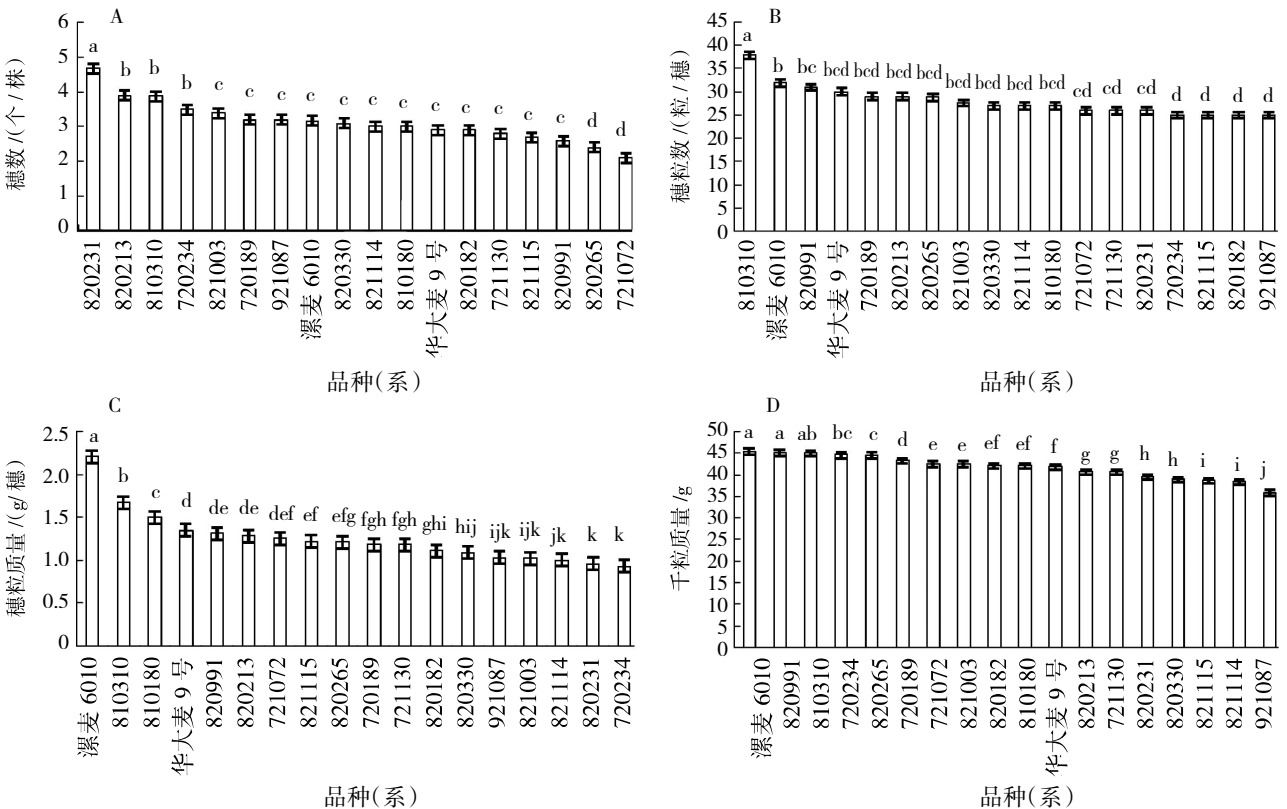
(续表)

品种(系)	抗折力 /N	木质素含量 /%	重心高度 /cm
820231	69.01 f	17.06 h	50.4 abc
820330	88.26 ef	19.11 efg	49.2 bcd
921087	76.25 ef	19.84 cde	49.3 bcd
821115	84.38 ef	19.51 def	49.5 bcd
810180	154.73 bcd	23.96 a	42.6 de
810310	220.43 a	20.62 c	48.0 cd
漂麦 6010	176.48 ab	21.47 b	40.4 e

2.3 穗部及产量性状

由图 1 可知,大部分供试材料的单株穗数为 3 个/株,穗数范围为 2~5 个/株,平均值为 3 个/株,品种(系)间差异具显著性。穗粒数范围为 25~38 粒/穗,平均值为 28 粒/穗,品种(系)间差异不明显。穗粒质量范围为 0.93~2.21 g/穗,平均值为 1.25 g/穗;千粒质量范围为 35.91~45.41 g,平均值

为 41.85 g。穗粒质量和千粒质量在品种间的差异较大,穗粒质量表现较好的品种(系)及排序为漂麦 6010>810310>810180> 华大麦 9 号>820991;千粒质量表现较好的品种(系)及排序为漂麦 6010>820991>810310>720234>820265。其中,漂麦 6010、820991 和 810310 穗粒质量和千粒质量均表现良好。



A.穗数;B.穗粒数;C.穗粒质量;D.千粒质量。不同小写字母表示品种(系)间差异有统计学意义(P<0.05)

图 1 穗部性状及产量

2.4 相关性分析

对上述茎秆和穗部性状进行相关性分析(表 3)发现,茎秆基部节间的各性状间相关性均不显著。木质素含量与抗折力呈极显著正相关,而木质素含量和抗折力与重心高度均呈负相关,但相关性不显著。此

外,抗折力还与茎壁厚度呈极显著正相关,而重心高度与株高和茎壁厚度分别呈显著正相关和极显著负相关,与其他性状间无显著相关。在穗部与产量性状的比较中,穗粒数与穗粒质量和千粒质量分别呈极显著和显著正相关;穗粒质量与千粒质量呈显著正相

表3 相关性分析

项目	株高	分蘖角度	第2节间长度	第3节间长度	茎粗	茎壁厚度	抗折力	重心高度	木质素含量	穗数	穗粒数	穗粒质量	千粒质量
株高	1												
分蘖角度	0.158	1											
第2节间长度	0.185	-0.442	1										
第3节间长度	0.428	0.178	0.309	1									
茎粗	0.304	0.069	0.072	-0.039	1								
茎壁厚度	-0.180	0.461	-0.443	0.097	-0.291	1							
抗折力	0.108	0.181	-0.201	0.101	-0.234	0.763**	1						
重心高度	0.476*	-0.219	0.289	-0.013	0.332	-0.698**	-0.340	1					
木质素含量	-0.146	-0.195	0.337	0.138	-0.321	0.422	0.647**	-0.371	1				
穗数	0.077	0.666**	-0.100	0.450	-0.297	0.275	0.074	-0.180	-0.143	1			
穗粒数	0.084	0.109	-0.302	-0.200	-0.124	0.586*	0.795**	-0.281	0.319	0.123	1		
穗粒质量	-0.069	0.180	-0.231	-0.133	0.007	0.708**	0.804**	0.395	0.528*	-0.112	0.693**	1	
千粒质量	0.202	-0.006	0.088	0.062	0.185	0.388	0.529*	-0.150	0.174	-0.092	0.590*	0.508*	1
抗倒指数	-0.029	0.230	-0.249	0.086	-0.260	0.854**	0.968**	-0.558*	0.663**	0.091	0.755**	-0.671**	0.396

注: * 和 ** 分别表示差异有统计学意义($P < 0.05$)、高度统计学意义($P < 0.01$)。

关。本研究还发现,穗数与分蘖角度呈极显著正相关;穗粒数与茎壁厚度和抗折力分别呈显著和极显著正相关;穗粒质量与茎壁厚度、抗折力均呈极显著正相关,与木质素含量呈显著正相关;千粒质量与抗折力呈显著正相关。茎壁厚度、抗折力、木质素含量、穗粒数与抗倒指数均呈极显著正相关,而重心高度和穗粒质量与抗倒指数分别呈显著和极显著负相关。

2.5 田间倒伏情况

总体来看,本季生长条件下,试验田块的倒伏

现象不如往年严重。根据田间记载(表4),在供试的18个材料中,有6个品种(系)发生了1级倒伏,2个品种(系)发生了2级倒伏,且全为茎倒伏,倒伏面积在5%~20%,其他10个材料未发生倒伏。结合上文各品种(系)性状间的差异发现,821003、820182、820213、921087和821115茎壁厚度较小,821003、821114、820182、921087和821115抗折力小,820991、721130、821114和820182木质素含量低且重心高度较高。

表4 田间倒伏情况

品种(系)	倒伏面积/%	倒伏分级	倒伏类型
820991	5	1	茎倒
721130	5	1	茎倒
821114	5	1	茎倒
820182	5	1	茎倒
820213	5	1	茎倒
821003	10	1	茎倒
921087	15	2	茎倒
821115	20	2	茎倒

注:表中仅列出发生倒伏的品种(系),其余品种(系)均未发生倒伏现象。倒伏分级(以植株倾斜与垂直方向夹角表示):1级为<15°;2级为≥15°~30°。

3 讨论与结论

麦类作物的抗倒性与诸多性状相关,其中,茎秆支撑着整个植株的质量,它的形态和理化特征与抗倒性关系密切。抗倒指数是茎秆机械强度和重心高度的比值,可以在很大程度上反映作物的抗倒潜力,抗倒指数越大,则抗倒伏能力越强。姚金保等研究表明,粗壮的基部节间和根部横截面积较大的品种抗倒性较强^[3]。Han等研究发现,茎秆抗折力与木质素含量、茎壁厚度呈显著正相关^[4]。白弈雄等研究表明,茎秆强度大、茎秆重、茎秆壁厚是青稞植株固持能力强、抗倒性优异的原因^[5]。与前人研究结果类似,本试验对不同品种(系)的大麦和小麦材料茎秆特性进行分析也发现,基部第3节间茎壁厚度与抗折力呈极显著正相关,且茎壁厚度和抗折力都与抗倒指数呈极显著正相关。作物茎秆茎壁厚度由机械组织层数、机械组织厚度、维管束数目、维管束面积等多个因素决定^[6],小麦茎秆第2节间的机械组织细胞层数和厚度与抗倒指数呈显著正相关,而小维

管束数目与抗倒指数呈极显著负相关,大维管束数目对小麦抗倒伏则无明显影响^[7]。为了进一步探讨参试材料茎壁厚度与抗倒性的关系,还应该对茎秆进行解剖,从结构上解析壁厚与抗倒性的关系,并阐明大麦和小麦相关性状的异同及其与抗倒性的关系。

关于木质素含量与植物抗倒性的关系已有很多报道,通常认为,作为细胞壁的主要组成成分之一,木质素主要通过增强植物体的机械强度和韧性来提高植株抗倒能力^[7]。本试验发现,木质素含量与茎秆抗折力呈极显著正相关。王凯等的研究也表明,青稞茎秆木质素含量和茎秆抗折力与田间抗倒性显著相关^[8]。

除了机械强度,重心高度是抗倒指数的一个负向决定性因子。本研究表明,重心高度与株高呈显著正相关,与茎壁厚度呈极显著负相关,而茎壁厚度与抗倒指数呈显著正相关。多数研究认为,株高是抗倒性的一个重要评价指标^[9],但是,本研究表明,虽然重心高度和株高呈显著正相关,但株高与抗倒指数无显著相关,而且分蘖角度、第2和第3

节间长度、茎粗等与抗折力和抗倒指数都无显著相关。这可能是由于重心高度由茎秆质量和穗部质量共同决定,茎秆质量由茎秆长度(株高)和密度共同决定,而且后者可能贡献更大。徐磊等也提出基部节间的茎秆鲜、干密度可作为评价小麦品种抗倒性的重要指标^[20]。因此,在未来的工作中,茎秆密度也应作为抗倒伏材料筛选的一个重要的考察指标。

本研究中,供试材料的倒伏情况记载是在完全开放的环境中进行的,虽然更符合大麦和小麦的客观生长条件以及大田生产实际,但是受生长季节内的天气及收获时间等因素影响较大。比如,本试验主要在湖北省农业科学院鄂州基地开展,经多年观察,所选田块处于倒伏频发地块,但是2020—2021年度各供试材料的田间倒伏并不严重。这一方面可能是由于所选材料多为高代品系(华大麦9号和漯麦6010除外),已经过多年的筛选和鉴定,抗倒性较好;另一方面可能是由于生长周期内大风等恶劣天气的发生频率、强度、时期等的影响与往年不同。因此,为了获得更具参考价值的信息,在倒伏研究中,应该选择抗倒性具有显著差异的材料进行比较。同时,建议茎秆形态和理化特征等性状的测定要在室内可控条件下进行,倒伏性则要通过多年多点田间试验进行鉴定。此外,在成熟期发现部分大麦供试材料茎秆折断,且多数为穗下节折断,但是上述茎秆折断的原因以及与抗倒性的关系还有待进一步研究和明确。

大麦和小麦为近缘物种,二者在很多性状上具有相似性,如穗发芽、抗病性、品质等。本研究对大麦和小麦的茎秆倒伏等相关性状进行比较发现,总体来看,小麦的抗倒伏能力普遍强于大麦。与大麦相比,小麦的茎秆壁相对较厚,木质素含量较高,这可能促使小麦茎秆韧性增强,从而抗倒性更强。在此后研究中,还应进一步增加供试材料数量,对大麦和小麦相关性状进行比较分析。

大、小麦的产量由单位面积穗数、穗粒数和千粒质量共同决定,而穗粒质量是由千粒质量和穗粒数共同决定的。本研究中,各品种(系)单位面积穗数和穗粒数之间差异不显著,穗粒质量和千粒质量是导致产量差异的主要原因。相关性分析表明,穗粒数和穗粒质量分别与抗倒指数呈极显著正相关和极显著负相关,对抗倒性有一定的影响。

综上所述,多个性状与抗倒伏能力相关,抗倒伏强的品种(系)可能具有多种相关性状的优良组

合。前人的研究表明,不同小麦品种抗倒的机理也不同,如矮抗58抗倒性强的原因是株高和重心高度低,而基部节间粗度和茎秆壁厚是周麦22抗倒的主要原因^[7]。本研究中,发生田间倒伏的大麦材料多数茎壁厚度较小、抗折力小、木质素含量低,这可能是导致其发生倒伏的主要原因;未倒伏3个小麦材料的茎壁厚、抗折力大、木质素含量相对较高。在供试材料中,华大麦9号的茎壁厚、抗折力大、木质素含量高,720189的重心高度低、茎秆抗折力大、木质素含量高,均具有较高的抗倒潜力,可以作为抗倒伏育种的重要亲本资源。

致谢

感谢湖北工业大学谢益民教授及其团队对本次研究提供的支持。

参考文献:

- [1] 邓贺明,胡亚敏,冯家春,等. 小麦倒伏对产量因素的影响及补救方法探讨[J]. 安徽农业科学,2003,31(3):424-425.
- [2] 朱新开,王祥菊,郭凯泉,等. 小麦倒伏的茎秆特征及对产量与品质的影响[J]. 麦类作物学报,2006,26(1):87-92.
- [3] 刘慧婷,李瑞奇,王红光,等. 密度和施氮量对强筋小麦藁优2018产量和抗倒性的影响[J]. 麦类作物学报,2017,37(12):1619-1626.
- [4] 范士琴. 倒伏对冬小麦病害发生情况及产量的影响分析[J]. 乡村科技,2018(26):86-87.
- [5] 黄迎光,郑以宏,袁永胜,等. 倒伏时期和倒伏程度对小麦产量的影响[J]. 山东农业科学,2014,46(6):51-53,58.
- [6] SASAKI A,ASHIKARI M,UEGUCHI-TANAKA M,et al. A mutant gibberellin-synthesis gene in rice[J]. Nature,2002,416(6882):701-702.
- [7] 胡 昊,李莎莎,华 慧,等. 不同小麦品种主茎茎秆形态结构特征及其与倒伏的关系[J]. 麦类作物学报,2017,37(10):1343-1348.
- [8] 柴亚茹,李召锋,刘新玲,等. 新疆春小麦品种资源抗倒性评价[J]. 麦类作物学报,2017,37(1):73-79.
- [9] 卢昆丽,尹燕桦,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.
- [10] 李华英,代兴龙,张 宇,等. 播期对冬小麦产量和抗倒性能的影响[J]. 麦类作物学报,2015,35(3):357-363.
- [11] 崔正勇,李 鹏,高国强,等. 不同小麦品种茎秆抗倒特性及产量差异研究[J]. 山东农业科学,2019,51(5):34-37.
- [12] 张平平,马鸿翔,姚金保,等. 生理调节剂劲丰对小麦抗倒性和产量结构的影响[J]. 麦类作物学报,2011(2):155-159.

- [13] 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.
- [14] HAN L L,JIANG C G,ZHANG W,et al. Morphological characterization and transcriptome analysis of new dwarf and narrow-leaf (*dnl2*) mutant in maize[J]. International Journal of Molecular Science,2022,23(2):795.
- [15] 白羿雄,姚晓华,姚有华,等. 青稞抗倒伏性状的基因型差异[J]. 中国农业科学,2019,52(2):228–238.
- [16] 潘 婷,胡文静,李东升,等. 小麦茎秆实心底对茎秆强度的影响及相关性状 QTL 分析[J]. 作物学报,2017,43(1):9–18.
- [17] JONES L,ENNOS A R,TURNER S R. Cloning and characterization of *irregular xylem4 (irx4)*: a severely lignin-deficient mutant of *Arabidopsis*[J]. The Plant Journal,2001,26(2):205–216.
- [18] 王 凯,赵小红,姚晓华,等. 茎秆特性和木质素合成与青稞抗倒伏关系[J]. 作物学报,2019,45(4):621–627.
- [19] 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.
- [20] 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.

Correlations Between Lodging Resistance and the Stem and Spike Characteristics of Barley and Wheat

LIU Rui, CHEN Jia-yu, SHANG Xin-yue, XU Fu-chao, XU Qing, PENG Yan-chun, DONG Guo-qing, DONG Jing, QIN Dan-dan

(1. Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; 2. Institute of Food Crops, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China; 3. Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Lodging is one of the restricting factors for the production of barley and wheat. It is important to enhance lodging resistance in wheat and barley in order to achieve a high yield and high grain quality. In this paper, 15 barley varieties (lines) and 3 wheat varieties (lines) were investigated regarding their stem characteristics and grain traits. The results showed that the measured traits varied considerably among the tested varieties (lines) which had the variation ranges of 77.2 ~ 95.2 cm for plant height, 7.4 ° ~ 15.7 ° for tillering angle, 5.9 ~ 10.1 cm and 9.0 ~ 14.1 cm for the lengths of 2nd and 3rd internodes, respectively, 3.90 ~ 4.73 mm for stem diameter, 0.43 ~ 0.94 mm for stem wall thickness, 69.01 ~ 220.43 N for stem breaking resistance, 17.06% ~ 23.96% for lignin content, 40.4 ~ 57.7 cm for the height of gravity center, 2 ~ 5 for panicle number per plant, 25 ~ 38 for grain number per panicle, 0.93 ~ 2.21 g for grain weight per panicle, and 35.91 ~ 45.41 g for thousand grain weight. The correlation analysis showed that stem wall thickness, breaking resistance, lignin content, and grain number per spike all had a significantly positive correlation with lodging resistance index, having the correlation coefficients of 0.854, 0.968, 0.663 and 0.755, respectively. On the other hand, the height of gravity center and grain weight per panicle had negative correlations with lodging resistance index at a significant and a very significant level, respectively, with the correlation coefficients of -0.558 and -0.671, respectively. Overall, wheat has stronger lodging resistance than barley since the former has thicker stems and a higher lignin content than the latter.

Key Words: Barley; Wheat; Stem; Spike; Lodging resistance

本刊常用计量单位符号简介

为执行国务院发布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》的规定,根据中华人民共和国国家标准(GB3100~3102—1993)《量和单位》,现将本刊常用的计量单位符号介绍如下,希广大作者遵照执行。

时间:日(天)—d;表格中(月/日)应用(月-日),如2/30应用02-30;时—h;分—min;秒—s。质量:吨—t;公斤(千克)—kg;克—g;毫克—mg;微克— μg ;纳克—ng。体积:升—L;毫升—mL;微升— μL 。浓度:克分子浓度(M)废用,改为摩尔/升(mol/L);当量浓度(N)废用,换算成相应的 mol/L;ppm 换算为相应的 mg/kg、 $\mu\text{L/L}$ 、 $\mu\text{mol/mol}$ 等。面积:亩—667 m²,万亩换算为万 hm² 等。