

小麦抗倒伏研究进展

张志伟, 魏秀华, 于海涛, 宋顺, 张桂珍, 刘亚男, 邢利庆 (潍坊市农业科学院, 山东潍坊 261071)

摘要 小麦倒伏发生后对生产影响极大, 因此小麦抗倒性不仅是育种研究的突出问题, 同时也是栽培研究的热点。造成小麦倒伏的影响因素有多种, 如大风、病虫害、品种、播期、密度、水肥管理、化学调控等, 评价指标也涵盖形态、结构、成分、生理学以及衍生出的数学模型等方面, 部分学者也据此对部分小麦的抗倒性进行了评价。对近年来小麦抗倒性方面的研究进行了系统总结, 并对未来的研究方向提出了建议。

关键词 小麦; 抗倒伏; 影响因素; 指标; 茎秆; 品种; 产量

中图分类号 S512.1 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)19-0021-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.19.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research Progress on Lodging Resistance of Wheat

ZHANG Zhi-wei, WEI Xiu-hua, YU Hai-tao et al (Weifang Academy of Agricultural Sciences, Weifang, Shandong 261071)

Abstract The occurrence of lodging in wheat has a great impact on wheat production, which is not only a prominent problem in breeding, but also a focus of cultivation research. There are many factors that affect lodging of wheat, such as strong wind, diseases and insect pests, variety, sowing date, density, water and fertilizer management, chemical regulation and so on. The evaluation indexes also cover many aspects such as morphology, structure, composition, physiology and derived mathematical models. Some scholars also evaluated the lodging resistance of wheat. This paper summarized the research on wheat lodging resistance in recent years, and suggestions for future research directions were also given.

Key words Wheat; Lodging resistance; Influencing factor; Indicator; Stalk; Variety; Yield

小麦是我国乃至世界上重要的粮食作物, 数千年前已经在我国广泛栽培。小麦倒伏是指拔节后的小麦由于受多种不利条件影响, 整株或成片倒伏在地上。小麦倒伏从时间上可分为早倒伏和晚倒伏。从形式上可分为根倒伏和茎倒伏。研究发现, 小麦倒伏严重时减产可达 40%^[1], 且倒伏后的经济性状表现为“二多一低”, 即空秕粒多、有病粒多、千粒重低。倒伏早的麦田, 每穗粒数也有所下降。小麦倒伏后, 不仅产量降低, 收割不便, 还严重影响籽粒品质。据不完全统计, 我国每年因倒伏造成小麦减产至少 200 万 t^[2], 因此小麦茎秆抗倒性状不单是小麦高产育种中的突出问题, 同时也是栽培研究的热点, 要想实现高产超高产的目标, 就必须培育抗倒性强的品种与采用强秆措施相结合, 从而解决高质量大群体与倒伏之间的矛盾。

1 小麦倒伏影响因素研究

从成因上分析, 小麦倒伏可分为生理倒伏(如由于小麦品种或群体的不合理性而引起的倒伏)和生态倒伏(如由大风、阴雨天气或病虫害不利影响而引起的倒伏)^[3]。小麦品种倒伏除与自身高度、茎秆等特性有关外, 还与气候、土壤、栽培管理措施等密切相关, 如品种选用不当, 抗逆性减弱; 遭遇大风、暴雨等灾害性天气; 播量过大, 群体结构不合理; 肥水运筹不当, 管理被动。

1.1 播种方式 播种时的播期、密度等都可以通过影响小麦的生长发育, 进而影响抗倒伏能力。有研究表明, 适期晚播^[4-5]、差量播种^[6]、合理的播种密度^[7-9]都可以增强抗倒伏

能力。同时邵庆勤等^[10-11]研究也表明随着密度和施肥量加大, 不但不能达到增产效果, 反而增加倒伏风险。杨文平^[12]研究发现相对于传统行距, 适当缩小行距 16.7 cm 可使植株抗倒能力增强。李振丽等^[13]研究发现石麦 18 采用 15 cm 等行距种植, 配合起身拔节期喷施多效唑, 有利于提高小麦茎秆质量, 增加抗倒性能。

1.2 水肥管理 水肥是小麦生长发育的物质基础, 大量研究表明, 水肥调控能够改变植株的形态结构。魏凤珍等^[14]研究表明, 随施氮水平和基肥比例的增加植株基部节间长度增加, 粗度减小。王成雨等^[15]研究发现降低氮肥用量的同时降低种植密度, 可在增强植株抗倒伏能力的同时获得高产。周洁等^[16]研究表明施氮量 180~225 kg/hm²、基追比 5:5 可作为淮北平原小麦的抗倒、丰产与稳产的氮肥运筹模式。张黛静等^[17]研究表明增施有机肥后小麦灌浆中后期的茎秆重心高度降低, 茎秆鲜重、基部第二节间粗度和厚度增加, 抗折力增强。吕添等^[18]研究发现 5 叶期追肥可以兼顾高产和抗倒伏。另有研究发现, 破口期施用劲丰^[19]、小麦拔节期喷施抗倒剂^[20]、破口期使用微量元素肥^[21]也都可以增强小麦的抗倒伏能力。灌水方面, 赵国英等^[22]研究发现藁优 2018 在拔节期和扬花期灌 2 次水, 同时施 K₂O 150 kg/hm² 有利于实现茎秆抗倒和小麦高产; 刘仲秋等^[23]研究表明宽幅精播后于拔节期灌溉 60 m³ 水可以显著增强冬小麦的抗倒伏能力。

1.3 化学调控 化学调控是指应用植物生长调节物质, 调节作物生长发育, 使其朝着人们预期的方向发生变化的技术。邵庆勤等^[24]研究发现倒五叶期喷施多效唑对小麦抗倒伏能力提升效果最佳; 王成雨等^[25]研究认为多效唑与矮壮素配合施用处理可显著提高大田小麦的抗倒指数、长势均匀度和产量; 陈开平等^[26]研究发现年前喷施多效唑加年后喷

基金项目 国家现代农业产业技术体系(CARS-03-04B); 潍坊市农业科学院自选课题(2019nky-01)。

作者简介 张志伟(1986—), 男, 山东青州人, 助理研究员, 硕士, 从事小麦栽培与育种研究。

收稿日期 2021-01-25

施矮壮丰对控制基部节间效果最好,增产效果最佳;姚海坡等^[27]研究发现起身后喷施多效唑和缩节胺可明显降低株高、增加基部茎秆抗折力。邵云等^[28-29]研究认为多效唑、烯效·甲哌鎗和多唑·甲哌鎗等可显著增加抗倒伏能力和产量;李华伟等^[30]研究表明壮丰安、烯效唑、多唑·甲哌鎗等都可降低基部节间长度,增加粗度和成熟度;但李均乾等^[31]在研究中也发现拔节前期喷施多效唑、烯效唑虽然对基部节间伸长有一定抑制作用,最终却使总粒数减少。

1.4 品种特性 由于普通小麦是异源六倍体,基因组庞大且复杂,因此遗传物质十分多样,特别是随着20世纪60年代“绿色革命”基因 *Rht1*、*Rht2* 和 *Rht8* 的开发和利用,一系列矮秆和半矮秆小麦品种被育成和推广^[32]。李杏普等^[33]研究认为, *Rht1* 半矮秆基因在小麦育种中利用价值较大。姚金保等^[34-35]研究认为,抗倒指数与株高、穗下节间长、基部第1、2节间长呈极显著负相关,株高较低、茎秆重心高度下降、基部节间短粗的小麦品种倒伏指数较小。杨霞等^[36]研究认为,茎秆外径大、茎秆壁厚、维管束数目多,单位面积大维管束适中和纤维素含量高的小黑麦是一个很好的抗倒资源。吴懿鑫等^[37]研究认为,在保证植株抗倒的前提下,高、中秆品种较矮秆品种有更大的生产潜力,这也与闵东红等^[38]研究得出“矮中选高”和“高中选矮”有利于提高产量的观点一致,但赖尚科等^[39]在研究中也发现高产品种的倒伏风险显著高于中低产品种。

2 抗倒伏指标研究

2.1 直接指标 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形态、结构、成分、生理学指标。如蒲定福等^[40]提出了小麦根倒伏的“品种倒伏系数”概念,认为茎秆机械强度和根量与品种抗倒性关系最为密切。董琦等^[41-42]研究认为基部节间的健壮程度与小麦抗倒伏相关性从大到小依次为第2节间>第1节间>第3节间,对茎秆倒伏指数的影响从大到小依次为基部节间壁厚>基部节间长度>节间内径大小。安呈峰等^[43-44]研究认为小麦茎秆的组织结构、抗折力和株高显示了小麦的抗倒伏能力,但熊淑萍等^[45]却认为株高不是影响倒伏的主要因素,对抗倒性起主要作用是茎秆中各种内含物之间的相互影响。此外,陈晓光等^[46]认为茎秆木质素含量可作为小麦品种抗倒伏性评价的一个重要指标,洪建超等^[47]认为穗干重是评价茎秆机械强度的可靠指标,徐磊等^[48]认为基部节间的茎秆鲜、干密度是评价小麦品种抗倒性的可行指标。

2.2 改良指标 在改良评价指标上, Berry 等^[49]提出用推力装置测量小麦茎秆倒伏过程中产生的最大示数表示抗倒伏能力的方法。王勇等^[50]提出用倒伏指数法测定植株的抗倒能力。胡卫国等^[51]认为用改良的倒伏指数法即用茎秆基部弹性替换第二节机械强度计算倒伏指数,在灌浆中期准确度更高。李召锋等^[52]认为加权隶属函数法对滴灌条件下小麦品种抗倒伏性综合评价具有较好的应用价值。冯素伟等^[53]还自制了作物抗倒伏强度电子测定仪用于小麦单茎和群体

抗倒强度的测定;刘水利等^[54]也设计了小麦持风力测验仪,利用风洞提供风源,测试不同品种穗、旗叶和上部茎段持风力的差异来研究小麦的抗风倒能力。

3 抗倒品种筛选

在实际生产中,部分学者也依据相关抗倒指标对部分品种的抗倒伏能力进行了一定研究。如张明伟等^[44]研究认为近几年育成的扬麦品种抗倒性显著增强;邵庆勤等^[55]研究认为淮北地区抗倒伏能力较好的半冬性品种有矮抗58和济麦22,弱春性品种有偃展4110等;柴亚茹等^[56]研究认为新春22号是新疆较为理想的春小麦倒伏育种亲本;崔正勇等^[57]研究认为鲁原502不仅产量水平高,而且在抗倒伏方面具有较大优势;谢家琦等^[58]研究认为江淮平原兼顾高产和抗倒的小麦品种为烟农19和周麦22;董秀春等^[59]研究出适合鲁西南地区肥力中上的水浇地块种植的高产抗倒小麦品种为济麦22、济南17、山农28和太麦1918;于洋等^[60]研究认为山东省抗倒性较好的小麦品种有良星66;冯素伟等^[61]研究认为河南省抗倒性较好的小麦品种有矮抗58、周麦22、周麦18等。此外,王丹等^[62]研究认为与抗倒能力密切相关的性状不止一种,在抗倒品种选育上,重点是培育其中的某一种或者某几种性状更有利于抗倒即可;谢家琦等^[63]研究认为不同穗型的小麦品种只要群体适宜,都有一定的抗倒伏能力且获得高产。

4 讨论

近年来,随着小麦品种增多和产量增加导致的小麦倒伏问题越来越受到专家学者们的重视,对倒伏作用机理的研究也逐步深入,其研究内容涵盖了小麦的形态、结构、生理、基因等方面,但由于小麦倒伏是受内在品种特性和外在栽培、环境等因素综合影响的结果,单一或某几个方面的研究尚不能完全解释和解决小麦倒伏问题,如前期抗倒能力较强的小麦可能因后期早熟而造成抗倒能力大幅下降,部分小麦品种虽然茎秆抗折力较强但根系抗倒伏能力较弱等,因此针对不同小麦品种在不同地区、不同时期所反映出的综合抗倒能力和应对措施等还有待于进一步研究。

结合前人研究结果,从生产角度分析,认为未来小麦抗倒伏研究可以从以下几个方面进行考虑:一是进一步完善抗倒指标评价体系,如进一步开发和利用现代数学模型、新型试验仪器等,进而更加精确地筛选出适宜本地种植的抗倒品种和抗倒材料;二是对本地种植面积较大、产量较高的主栽品种,可以有针对性地进行栽培管理和化学调控等防倒技术措施方面的研究;三是进一步利用现代分子育种手段,将强秆基因与高产基因相结合,从而解决部分矮秆品种抗倒但不高产和部分高秆品种高产但不抗倒的矛盾。

参考文献

- [1] EASSON D L, WHITE E M, PICKLES V S J. The effects of weather, seed rate and cultivar on lodging and yield in winter wheat[J]. The journal of agricultural science, 1993, 121(2): 145-156.
- [2] 刘和平,程敦公,吴斌,等. 黄淮海区小麦倒伏的原因及对策浅析[J]. 山东农业科学, 2012, 44(2): 55-56.
- [3] 程春峰,姜汝胜. 淮城区小麦倒伏原因分析与抗倒栽培技术探讨[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(8): 85-86.

- [4] 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.
- [5] 阙茗溪,钊太峰,郭风法,等. 适期晚播对不同密度冬小麦产量和茎秆抗倒性能的调控效应[J]. 中国农学通报,2019,35(32):1-6.
- [6] 王树林,王国平,王燕,等. 麦棉套作模式下差量播种对小麦抗倒性能及产量的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2017,37(12):837-840,848.
- [7] 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.
- [8] 刘慧婷,李瑞奇,王红光,等. 密度和施氮量对强筋小麦冀优2018产量和抗倒性的影响[J]. 麦类作物学报,2017,37(12):1619-1626.
- [9] 张明伟,马泉,丁锦峰,等. 密度与肥料运筹对迟播小麦产量和茎秆抗倒能力的影响[J]. 麦类作物学报,2018,38(5):584-592.
- [10] 邵庆勤,周琴,王笑,等. 种植密度对不同小麦品种茎秆形态特征、化学成分及抗倒性能的影响[J]. 南京农业大学学报,2018,41(5):808-816.
- [11] 朱正斌,沈雪林,夏肄锋,等. 播量和肥料运筹对强筋小麦镇麦12号产量及抗倒性的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(2):64-69.
- [12] 杨文平. 行距和密度对冬小麦冠层结构、微环境及碳氮代谢的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2008:26.
- [13] 李振丽,程瑞婷,李瑞奇,等. 行距配置和化控对冬小麦茎秆质量和抗倒性能的影响[J]. 麦类作物学报,2013,33(3):507-513.
- [14] 魏凤珍,李金才,王成雨,等. 氮肥运筹模式对小麦茎秆抗倒性能的影响[J]. 作物学报,2008,34(6):1080-1085.
- [15] 王成雨,代兴龙,石玉华,等. 氮肥水平和种植密度对冬小麦茎秆抗倒性能的影响[J]. 作物学报,2012,38(1):121-128.
- [16] 周浩,王旭,朱玉磊,等. 氮肥运筹模式对小麦茎秆抗倒性能与产量的影响[J]. 麦类作物学报,2019,39(8):979-987.
- [17] 张黛静,张艳艳,王艳杰,等. 耕作方式和有机肥对灌浆中后期小麦茎秆抗倒特性的影响[J]. 麦类作物学报,2017,37(3):396-402.
- [18] 吕添,王红光,李东晓,等. 不同春生叶龄期追氮对冬小麦产量形成和抗倒性能的影响[J]. 麦类作物学报,2018,38(7):825-833.
- [19] 夏敏,季林章,姜兴余. 不同生化调节剂对小麦抗倒性的影响[J]. 现代农业科技,2019(23):116,118.
- [20] 唐进,吉剑,袁伯根. 小麦拔节期喷施“金球”牌抗倒剂应用效果试验[J]. 安徽农学通报,2012,18(23):58.
- [21] 杨文飞,潘德众,朱云林,等. “劲丰谷德”对小麦抗倒性和产量的影响[J]. 长江大学学报(自科版),2015,12(15):1-3,47.
- [22] 赵国英,王红光,李东晓,等. 灌水次数和施钾量对冬小麦茎秆形态特征和抗倒性的影响[J]. 麦类作物学报,2017,37(6):759-768.
- [23] 刘仲秋,卞城月,刘馨惠,等. 种植模式及灌水频次对冬小麦抗倒性的影响[J]. 排灌机械工程学报,2015,33(4):338-345.
- [24] 邵庆勤,周琴,王笑,等. 不同小麦品种物质积累转运与抗倒性差异及其对多效唑的响应[J]. 核农学报,2018,32(12):2438-2447.
- [25] 王成雨,李静,张一,等. 化控剂对冬小麦茎秆抗倒性能、植株整齐度及产量的影响[J]. 中国农业气象,2015,36(2):170-177.
- [26] 陈开平,耿辉辉,蒋晴,等. 矮壮素与多效唑对小麦的田间效应[J]. 大麦与谷类科学,2016,33(4):53-55.
- [27] 姚海坡,董志强,吕丽华,等. 不同植物生长调节剂对冬小麦茎秆特性和产量的影响[J]. 华北农学报,2015,30(S1):152-156.
- [28] 邵云,张黛静,冯荣成,等. 3种化学调控剂对西农979抗倒伏性的影响[J]. 西北农业学报,2011,20(4):53-57.
- [29] 孙宗民,孙建强,李雪山. 矮丰在小麦上应用效果试验[J]. 安徽农学通报,2012,18(17):74-75.
- [30] 李华伟,陈欢,赵竹,等. 作物生长调节剂对小麦抗倒性及产量的影响[J]. 中国农学通报,2015,31(3):67-73.
- [31] 李均乾,徐辰峰,吴燕. 不同生化调节剂对小麦抗倒性影响试验总结[J]. 农业开发与装备,2018(8):106-108.
- [32] WORLAND T, SNAPE J W. Genetic basis of worldwide wheat varietal improvement[M]//BONJEAN A P, ANGUW W J. The world wheat book: A history of wheat breeding. Paris:Lavoisier Publishing,2001:61-67.
- [33] 李杏普,庞春明,蒋春志,等. 矮秆基因对春小麦植株生长发育的影响及对子粒产量的间接作用[J]. 华北农学报,1998,13(4):1-7.
- [34] 姚金保,任丽娟,张平平,等. 小麦品种茎秆抗倒特性分析[J]. 江苏农业科学,2011,39(2):140-142.
- [35] 冯素伟,姜小琴,胡铁柱,等. 不同小麦品种茎秆显微结构与抗倒强度关系研究[J]. 中国农学通报,2012,28(36):57-62.
- [36] 杨霞,王红娟,徐文静,等. 不同抗倒性小麦品种的茎秆结构及其化学成分和力学特性分析[J]. 河南农业大学学报,2012,46(4):370-373.
- [37] 吴懿鑫. 不同株高域抗倒性小麦品种茎秆差异研究[D]. 郑州:河南农业大学,2017:1.
- [38] 闵东红,王辉,孟超敏,等. 不同株高小麦品种抗倒伏性与其亚性状及产量相关性研究[J]. 麦类作物学报,2001,21(4):76-79.
- [39] 赖尚科,刘晓飞,王卫军,等. 淮北麦区不同产量水平小麦主要农艺性状及其抗倒性的基因型差异[J]. 江西农业学报,2020,32(4):14-22.
- [40] 蒲定福,周俊儒,李邦发,等. 根倒伏小麦抗倒性评价方法研究[J]. 西北农业学报,2000,9(1):58-61.
- [41] 董琦,王爱萍,梁素明. 小麦基部茎节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):188-191.
- [42] 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.
- [43] 安呈峰,王延训,毕建杰,等. 高产小麦生育后期影响茎秆生长的生理因素与抗倒性的关系[J]. 山东农业科学,2008,40(7):1-4,8.
- [44] 张明伟,王慧,董召娣,等. 扬麦系列品种植株抗倒性能的演变及与茎秆性状的关系[J]. 麦类作物学报,2016,36(9):1199-1208.
- [45] 熊淑萍,吴懿鑫,王小纯,等. 不同株高和抗倒性小麦品种茎秆中几种内含物的差异[J]. 麦类作物学报,2017,37(9):1187-1194.
- [46] 陈晓光,史春余,尹燕萍,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.
- [47] 洪建超,华瑛. 影响小麦的形态因素与茎倒建模研究[J]. 自动化与仪器仪表,2014(12):9-12.
- [48] 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.
- [49] BERRY P M, SPINK J, STERLING M, et al. Methods for rapidly measuring the lodging resistance of wheat cultivars[J]. Journal of agronomy and crop science,2003,189(6):390-401.
- [50] 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.
- [51] 胡卫国,张玉娥,曹延杰,等. 改良倒伏指数法鉴定小麦品种抗倒性初步研究[J]. 麦类作物学报,2018,38(8):906-913.
- [52] 李召锋,杨茂深,周英,等. 滴灌春小麦蜡熟期抗倒性综合评价[J]. 分子植物育种,2017,15(8):3199-3209.
- [53] 冯素伟,姜小琴,丁位华,等. 基于一种新方法的小麦茎秆抗倒性研究[J]. 华北农学报,2015,30(3):69-72.
- [54] 刘水利,宋瑜龙,高峰岗. 小麦茎秆典型弯曲形态模型致倒力分析[J]. 西北农业学报,2018,27(12):1789-1794.
- [55] 邵庆勤,李文阳,闫素辉,等. 不同小麦品种的抗倒伏能力研究[J]. 安徽农业科学,2013,41(28):11301-11303.
- [56] 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.
- [57] 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.
- [58] 谢家琦,李金才,魏凤珍,等. 江淮平原小麦主栽品种茎秆抗倒性能分析[J]. 中国农学通报,2009,25(3):108-111.
- [59] 董秀春,卢家文,黄玲,等. 鲁西南不同小麦品种的抗倒性与产量差异研究[J]. 中国农学报,2019,35(11):36-39.
- [60] 于洋,高爽,王光禄,等. 三个小麦主推品种的抗倒性能分析[J]. 安徽农业科学,2015,43(22):33-35,39.
- [61] 冯素伟,李小军,丁位华,等. 不同小麦品种开花后植株抗倒性变化规律[J]. 麦类作物学报,2015,35(3):334-338.
- [62] 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.
- [63] 谢家琦,李金才,魏凤珍. 不同穗型冬小麦品种茎秆抗倒性能分析[J]. 安徽农业科学,2009,37(5):1948-1949,1975.