

小麦倒伏原因与防倒抗倒技术研究进展

张明伟¹, 姚义^{1*}, 田洁², 陈京都¹, 唐建鹏¹, 陈明勤³

(1. 扬州市农业技术推广站, 江苏 扬州 225009;

2. 扬州市广陵区农作物技术推广服务中心, 江苏 扬州 225009;

3. 兴化市大邹镇农业服务中心, 江苏 兴化 225763)

摘要:小麦是我国主要的粮食作物, 其在粮食总产中的比重很大, 而倒伏是影响小麦高产、稳产的重要因素之一。归纳了小麦倒伏的类型与标准, 综述了小麦倒伏的危害, 分析了小麦发生倒伏的原因, 并针对性地提出了小麦防倒抗倒技术, 以为小麦抗逆高产栽培提供参考。

关键词:倒伏; 类型; 原因; 防倒抗倒技术

中图分类号: S512.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-755X(2020)04-0071-06

Research Progress on Causes of Lodging and Anti-lodging Techniques in Wheat

ZHANG Ming-wei¹, YAO Yi^{1*}, TIAN Jie², CHEN Jing-du¹, TANG Jian-peng¹, CHEN Ming-qin³

(1. Yangzhou Agricultural Technology Promotion Station, Yangzhou 225009, China;

2. Yangzhou Guangling District Crop Technology Extension Service Centre, Yangzhou 225009, China;

3. Agricultural Service Center of Dazou Town in Xinghua, Xinghua 225763, China)

Abstract: Wheat is the main grain crop in China, and has a large proportion in the total grain output. Lodging is one of the important factors affecting the high and stable production of wheat. This paper summarized the types and standards of wheat lodging, summarized the harm of wheat lodging, analyzed the causes of wheat lodging, and put forward the comprehensive anti-lodging techniques, in order to provide a reference for wheat resistance and high yield cultivation.

Key words: lodging; types; causes; anti-lodging techniques

我国是小麦生产大国, 在世界小麦生产中占有举足轻重的地位。2013年全国小麦单产已突破 $5\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 高产省河南、山东单产已过 $6\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。然而, 随着产量水平的不断提升以及气候因素的影响, 高产与倒伏的矛盾日益突出。小麦倒伏后产量显著降低, 一般减产 $15\%\sim 20\%$, 严重时可减产 50% 以上^[1]。据江苏省《2013年全省夏粮生产总结与秋播技术意见》, 2013年夏收期间出现两次过程性大风暴雨天气, 造成江苏省小麦倒伏面积为 20.8 万公顷左右, 对小麦高产稳产造成严重的影响。小麦倒伏对产量的影响取决于倒伏发生的时期, 小麦开花期倒伏导致减产 $40\%\sim 50\%$, 灌浆期倒伏导致减产 $25\%\sim 35\%$, 乳熟期倒伏导致减产 10% 左右。小麦倒伏后, 由于茎、叶、穗相互重叠, 通风、透光性差, 易腐

收稿日期: 2020-01-15

基金项目: 扬州市“绿扬金凤计划”科研项目

作者简介: 张明伟(1989—), 男, 江苏扬州人, 农艺师, 博士, 主要从事农作物栽培技术与推广。

通信作者: 姚义(1985—), 男, 江苏南通人, 高级农艺师, 博士, 主要从事小麦、水稻高产栽培技术与推广。

烂发霉,从而导致籽粒发芽,色泽暗淡,籽粒瘪瘦,磨粉品质下降,商品性差,小麦品质严重降低,直接影响到优质小麦的生产与加工^[2]。小麦倒伏后田间条件恶化,极易造成白粉病、赤霉病、纹枯病的大发生,这也是引起小麦减产以及品质下降的重要原因之一^[3]。倒伏是阻碍小麦优质高产的主要因素之一,对小麦高产的实现构成了严重威胁^[4],且影响小麦的机械收获,增加收获成本。

据统计,我国小麦每年因倒伏造成的产量损失超过20亿千克,这对小麦优质高产构成了严重威胁。因此,关于小麦倒伏原因与防倒抗倒技术的研究一直是小麦生产研究的重点。

1 小麦倒伏的类型与标准

小麦常见的倒伏有茎部倒伏与根部倒伏两种主要类型。茎部倒伏主要是由外界风雨造成茎的弯曲或折断而引起的;根倒伏则是由于根部发育不良而引起的。根倒伏的原因一般为根系发育不良,入土较浅,次生根少且细弱,其倒伏多发生在小麦生长后期^[5]。前人关于小麦倒伏的研究以茎倒伏为主,茎倒伏主要是由于基部第1、2节间过长,茎秆细弱且缺乏韧性,机械组织不发达,上部增重后,茎秆下部弯曲或折断而形成倒伏。生产实践上将小麦倒伏按倒伏的时间划分为两种情况:一是在小麦灌浆期前发生的倒伏,称为“早期倒伏”,过一段时间后小麦一般都能不同程度地恢复直立;二是开始灌浆以后发生的倒伏,称为“晚期倒伏”,由于籽粒已进入灌浆盛期,穗重增加,一般不易恢复直立^[3]。

倒伏程度主要是按茎秆倾斜的角度来划分的,但倒伏角度的划分界限和讲法有所不同,主要有以下两种划分标准:第一类划分标准把倒伏分为倾斜、倒伏及严重倒伏三种,其中,倾斜为植株的倾斜角度 $<15^{\circ}$,倒伏为植株的倾斜角度为 $15^{\circ}\sim 45^{\circ}$,严重倒伏为植株的倾斜角度 $>45^{\circ}$ ^[4]。第二类划分标准依据我国的《农业农村部农作物品种区域试验技术规程》将小麦倒伏划分为五级。Ⅰ级:不倒伏;Ⅱ级:倒伏角度 $\leq 30^{\circ}$;Ⅲ级:倒伏角度为 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ (含 45°);Ⅳ级:倒伏角度为 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ (含 60°);Ⅴ级:倒伏角度 $>60^{\circ}$ ^[6]。

2 小麦倒伏成因

引起小麦倒伏的因素很多,内因主要为品种、生理因素;外因包括气候条件、种植密度、肥水栽培措施以及病虫害等。

2.1 品种的基因型差异

小麦抗倒性的遗传性状决定于品种的形态学、解剖学和生理学性状的抗倒性,是一个复杂的多基因控制的数量性状,其受环境因素的影响,存在超亲分离的可能性。不同品种的小麦抗倒能力存在差异,主要表现在植株的高度、叶片形态、茎秆形态、茎的解剖结构、生理特性等方面。多年来业界培育了一些高产品种,其中部分品种存在植株过高、基部节间较长、茎壁较薄、茎秆弹性差、株型分散、叶片过大和抗病能力差等生理缺陷,致使在生产过程中如果管理不当,这些品种就容易发生倒伏现象^[7]。

1) 植株的形态差异与抗倒性。关于小麦植株的形态特征与抗倒性的关系前人已做了大量的研究,株高作为重要的株型指标,在倒伏研究中一直备受瞩目,植株高度与抗倒力呈极显著负相关。一般株高较高的品种,基部一、二节间较长,抗倒伏能力差,所以降低株高,能起到耐肥和抗倒伏的作用。矮化育种是早期解决抗倒伏问题的重要途径之一。过矮的茎秆虽有利于抗倒伏,但易造成小麦群体下部荫蔽,导致早衰^[8],且生物产量较低,进一步提高产量潜力有限。因此,解决株高和抗倒伏的矛盾将是关键问题之一。

适当的株高、合理的节间配置及粗茎秆是理想的小麦茎秆株型特征^[9]。朱新开等^[10]研究认为株高、基部节间长度与倒伏呈负相关关系,适当缩短基部节间长度,增加基部节间粗度,降低重心高度,有利于提高植株的抗倒能力。田伟^[11]认为在株高较矮的情况下,坚厚的叶鞘及叶片着生部位较低等特征,均有助于增强茎秆的稳固性。

目前,生产上存在不少株高较高的小麦品种,如果其栽培技术应用不当,会造成小麦倒伏,从而导致小麦大幅度减产。因此在生产中宜选用株高适中、基部节间粗壮、韧性强、株型紧凑、抗倒伏能力较好的小麦品种。

2) 品种茎秆解剖结构与抗倒性。小麦基部节间与倒伏有着密切的联系,必须提高小麦品种的茎秆质量,以增强其抗倒性^[12]。小麦茎秆由复杂的多层复合结构组成,因而能表现出优良的力学性能。大量研

究结果表明,茎秆中维管束数目多、面积大是增强小麦抗倒伏的关键因素之一。王健等^[13]认为小麦茎秆维管束数量越多且导管壁越厚,厚壁组织细胞层数越多且木质化程度越高,就越能增强小麦茎秆的抗折力和抗倒伏能力。魏凤珍等^[14]认为抗倒性好的小麦茎秆机械组织发达、细胞壁厚、木质化程度高、导管壁厚、维管束鞘厚度大、导管内径小。王勇等^[15]研究表明秆壁薄、髓腔大是劣质小麦茎秆,其抗倒性差;优质小麦茎秆的秆壁厚、髓腔大小适中。

3)品种茎秆理化特性与抗倒性。小麦茎秆是倒伏的直接承受对象,茎秆的理化特性与倒伏有密切联系^[5,16]。郭翠花等^[17]认为小麦茎秆干质量、外径、壁厚与力学指标弯折力、抗弯刚度和弯曲强度均呈正相关关系。韩清瑞^[18]认为小麦品种抗倒能力首先取决于基部节间单位长度的干物重,其次在于基部节间的长短和植株株高。李扬汉^[19]提出小麦植株茎秆硅含量占茎干重的2.3%~4.6%,硅含量高可增强茎秆的硬度、坚韧性和弹性。Tripathi等^[20]研究认为木质素含量高的小麦品种抗倒性强。Crook和Ennos^[21]研究表明不同小麦品种间茎秆纤维素含量有显著差异,纤维素含量最高的品种最抗倒伏。

2.2 气候条件

除品种特性外,气候因素对小麦倒伏的影响也不容忽视。小麦倒伏往往是在降雨同时伴有大风天气下发生的。小麦抽穗后大雨淋湿土壤,减弱了土壤对根系的固着力,大风作用于茎秆使其弯曲或折断,甚至拔起。而在生育后期,随着籽粒灌浆充实,小麦植株地上部负荷逐渐加重,如遇上大雨大风天气易造成倒伏。如果越冬期气温偏高,会造成小麦群体较大,个体发育弱;如果春季气温偏高,会导致小麦生育期提前,拔节速度快,基部节间过长,茎秆机械组织不发达,这些因素都是小麦倒伏的隐患^[22]。此外,阴天多,光照不足也会导致小麦植株无效分蘖增多,茎秆拉长,基部节间细弱,根系较浅,抗倒伏能力降低。

2.3 栽培因素

生产中田间栽培管理措施不当也极易造成小麦倒伏。如整地质量差、播种过早、播种密度过大、肥水管理不当等都会使小麦发生倒伏,导致减产。

1)种植密度。种植密度是决定个体生长发育是否健壮及群体结构是否合理的关键因素之一,也是调节植株性状,影响植株抗倒性能的重要栽培措施之一。较低密度可提高单株分蘖数、节根的发生和茎秆质量,构建合理的群体结构,从而有利于防倒伏;反之密度越大,小麦发生倒伏的时期越早,倒伏程度就越严重。李金才等^[4]研究指出小麦株高和茎秆基部节间长度随播种密度的增大而增加,且增加速率为第2节间>第1节间。国内外大量研究表明,小麦种植密度引起抗倒性能的变化,主要是由于茎秆质量的改变。随着种植密度的增加,小麦的茎粗、秆壁厚度、节间充实度、大维管束和小维管束数目均有所下降,从而导致小麦茎秆机械强度下降^[23]。李豪圣等^[24]认为随着种植密度的增加,小麦秆壁厚度、茎粗和抗折力均有下降趋势。樊高琼等^[25]认为种植密度增加时,小麦节间充实度和茎秆机械强度急剧下降。陈晓光等^[26]认为高密度处理的小麦植株,其C/N显著降低,易倒伏。魏凤珍等^[14]和李金才等^[4]认为播种密度越大,小麦茎秆基部节间转运的贮藏物质越多,转运时间越早,严重削弱了植株的抗倒性能。

2)氮肥用量及运筹。大量研究认为小麦倒伏的外因主要是过量的氮素营养,氮肥是调控群体,调节株型,改变小麦茎秆性状,影响抗倒性的重要因子。关于氮肥调控对小麦植株性状的影响前人已做了大量的研究,研究表明增加施氮量,或多施拔节前追肥,会使小麦群体竞争加剧,株高增加,基部节间拉长,上部叶片重叠,基部光截获量减少,从而导致小麦茎秆细弱,机械强度下降,抗倒性能差^[27]。赵立尚等^[3]认为通过氮肥控制基部1~3节间的伸长,但不影响穗下节间生长的情况下,可增加秆壁厚,起到抗倒的效果。杨世民等^[28]认为适当减少氮肥用量,能够增加小麦基部节间木质素含量,从而提高茎秆的抗倒性能。陈晓光等^[29]研究表明过高的施氮量降低了茎秆PAL、TAL、CAD和4CL酶的活性,从而导致小麦茎秆木质素含量、抗折力和抗倒伏指数降低。魏凤珍等^[14]指出合理的氮肥用量可以增加小麦茎秆中单糖和多糖的含量,尤其是多糖含量的增加,能加强纤维素及半纤维素的形成,促使茎秆壁厚、弹性强。

在高产条件下,降低株高,增强茎秆机械强度,提高茎秆质量是茎秆抗倒伏的关键因素,只有这样才能达到高产与抗倒伏两目标同步实现^[4]。采用合理的施氮水平和基肥追肥比例,可以显著改善小麦茎秆形态指标、细胞壁化学成分和机械强度,从而为小麦高产抗倒打下良好的基础。

3)水分。水分在小麦生产中具有极其重要的作用。不合理的水分管理也是引起小麦倒伏的栽培因素之一。北方地区在小麦的生育后期易遭遇干旱天气,通常会采取人工灌溉,但往往不注意时间和方法,常常因漫灌时水量较大、时间较长导致田间土壤松软,遇微风即引起小麦倒伏。灌浆中后期采用喷灌,不但加重穗部重量,且有力的喷水极易把小麦喷倒^[30]。经调查,北方大部分倒伏的麦田,在刮大风之前浇过水,甚至有的田块在刮大风时仍在浇水,从而引起倒伏^[22]。

4)病虫害害。病虫害害的发生,也会导致小麦的倒伏。如金针虫可以咬断小麦的基部节间;花黑麦草、看麦娘、节节麦等杂草分蘖能力很强,茎秆细弱,籽粒多,极易倒伏,其倒伏也会迫使小麦倒伏;病害方面小麦纹枯病和根腐病,主要危害植株根部、茎基部和叶鞘,造成组织坏死,根部无支撑力,茎秆无弹性和韧性,小麦的抗倒伏能力也随之下降^[2]。

3 小麦防倒抗倒技术

1)选择抗倒品种。不同小麦品种的抗倒伏性能差异很大,应根据麦田肥力和产量水平选择适合本地生长、茎秆粗壮、植株较矮、分蘖能力强、耐肥性和抗倒伏性能较强的小麦品种,从而防止恶劣天气条件下小麦倒伏造成的降质和减产。前人提出在兼顾抗倒性和产量的前提下,株高一般以80~90 cm为宜,在我国长江中下游地区,株高保持在85 cm左右较适宜,而旱地高产小麦株高以不超过95 cm为宜^[31]。在选择适宜株高的同时,根系发达、茎秆柔韧而粗壮,也是小麦抗倒品种重要的选择依据。

2)适期播种,合理设置种植密度。适期播种和合理设置种植密度是培育壮苗的关键栽培措施之一。前人研究结果认为地力较差和播期较晚的田块,播量宜适当增加;地力较好及播期较早的田块小麦分蘖能力强,播量要适当减少。小麦生产中应采用合理的播种密度,建立合理的群体结构,培育健壮的个体,增加基部节间干物质的积累,是实现壮秆大穗,建立小麦高产抗倒群体的基础和前提^[5]。

3)中耕镇压。冬春对群体大、出现旺长的麦田,应进行中耕松土,切断一部分次生根,从而抑制其对肥水的吸收,达到控旺转壮,促根深扎,增强抗倒伏的目标。冬或早春对生长偏旺的麦田进行镇压,延缓其生长,以达到培育壮苗的目的。镇压具有近控远促效应,镇压次数不宜过多,一般1~2次即可。注意不能在有霜冻或露水时镇压。此外镇压也不能过重,以免损伤麦苗,造成减产^[7]。

4)科学平衡施肥。适当降低氮肥用量,减少基肥用量,追肥时期根据苗情适当后移,既可以降低基部节间长度,增加基部节间粗度和机械强度,降低茎倒伏的风险^[7],又可增加穗下节间长度,为小麦建立良好的株型^[3,14]。扬州大学小麦研究所对不同专用型小麦研究后提出,施肥量与肥料运筹应与产量目标和品种的专业性一致,同时要根据田块土壤肥力确定合理的施氮量和基肥追肥比例,科学配施磷肥、钾肥,能调节小麦营养平衡,防止倒伏。“磷肥发根、钾肥壮秆”,施磷肥可使小麦根系发达,施钾肥能促使小麦茎秆纤维素和木质素的合成,从而增加小麦茎秆机械组织的厚度和韧性,使小麦茎秆坚韧,富有弹性,以增强其抗倒伏能力。

5)适时化控。有倒伏风险的麦田施用生长调节剂、矮化剂,这对防止小麦倒伏具有一定的效果。在小麦的不同生育时期应当根据苗情状况选择合适的生长调节剂进行调控。矮壮素、多效唑、稀效唑、甲基托布津等,均有防倒防病作用。矮壮素和矮健素用于抑制小麦徒长,效果良好。七叶期施用PP₃₃₃可缩短植株基部节间长度,促进基部健壮,提高植株的抗倒伏能力。方大法^[30]研究指出在小麦返青至起身期用20%的壮丰安450~600 mL·hm⁻²兑水375~450 kg·hm⁻²喷施,或在小麦起身至拔节初期,用600~900 g·hm⁻²多效唑兑水300~375 kg·hm⁻²,均匀喷洒,均能抑制旺长,使植株底部节间缩短,降低株高,增强抗倒能力。

6)科学管水。根据小麦生长发育的需水规律,科学用水可促成肥料分解和运输,并提高抗倒能力。苗期适度干旱,利于根系生长;返青至拔节期干旱,利于控制分蘖发生,起到蹲苗蹲节的作用;抽穗后,除满足正常生长所需水分外,北方地区应控制浇水,注意浇水的水量、时间和方法^[32];生育后期要坚持“无风抢浇、有风停浇”的原则,浇水前注意天气,选择无风天气,还要把握好水量,确保水要及时下渗,地面没有积水^[7]。而南方地区小麦生育后期雨水较多,不需要灌水,保持三沟通畅,降雨后要及时排干。

7)倒伏后的补救。对已经发生倒伏的麦田,可以喷洒磷酸二氢钾 $2.25 \sim 3.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,或16%的草木灰浸提液 $750 \sim 900 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,以促进小麦生长和灌浆。也有学者提出可以捆扶倒伏麦株,每50~100株捆在一起,扶其直立,减少霉烂,利于通风透光,在一定程度上可以挽回部分损失^[22]。但此补救方式在田间实际操作时易踩断或折断茎秆,碰落籽粒,往往会对小麦造成二次损害^[33]。

4 结 语

1)小麦品种选育与抗倒伏。品种是取得高产的基础,从小麦品种演变可以看出,产量潜力越来越高,小麦品种的抗倒能力也越来越强。近年来选育的高产品种往往能够较好地协调高产与抗倒伏的矛盾,该类抗倒伏品种的株高一般稳定在80~90 cm,上部叶片紧凑,茎叶夹角小,群体田间透光率较高,基部第一、二节间长度较短,基部节间秆壁较厚,单位长度干重、木质素纤维素及硅含量较高。

2)小麦高产施肥与抗倒伏。施肥是小麦获得高产的重要措施,尤其是施氮肥。在选用高产品种的基础上,如何协调好高产施肥与抗倒伏是一项重要的研究课题,为此许多学者进行了探索和研究。本文认为在高肥条件下通过适度减少氮肥用量,适度后移氮肥能够控制前期群体生长过旺,增加后期的干物质积累量,从而达到提高籽粒产量的目的;同时氮肥合理后移能够有效地提升茎秆质量,增加抗倒性能。长江中下游地区以施氮量 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、氮肥运筹5:1:2:2为最好条件,能够有效降低株高和基部节间长度,增加基部节间壁厚、充实度、木质素、纤维素和硅含量,提高糖氮比,从而有效地缓解高产与倒伏之间的矛盾。

3)小麦化控与抗倒伏。在小麦生长期发生旺长时,通过喷施矮壮素控制株高,尤其控制基部节间伸长,可有效预防倒伏。化控是小麦高产措施,更是防倒应变措施,但小麦大面积生产一般不提倡化控,若化控时期、化控药剂用量掌握不准,不但不能起到预防倒伏的目的,还极易造成药害,影响小麦产量。

参考文献:

- [1] Stamp P, Kiel C. Root morphology of maize and its relationship to root lodging[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2008, 168(2): 113 - 118
- [2] 祝召杰,殷修刚,郭文慧. 对淮北区小麦倒伏的思考[J]. 现代农业科技, 2009(8): 166 - 167
- [3] 赵立尚,李栋业,蔡春荣,等. 试验地小麦倒伏的危害、原因及防止对策[J]. 农业科技通讯, 2009(5): 128, 179
- [4] 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
- [5] 刘和平,程敦公,吴娥,等. 黄淮麦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
- [6] 中华人民共和国农业农村部. 农作物品种(小麦)区域试验技术规程: NY/T 1301—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007
- [7] 张小卫. 浅析小麦倒伏的原因及预防措施[J]. 小麦研究, 2011(2): 7 - 9
- [8] 姚瑞亮,朱文祥. 小麦形态性状与倒伏的相关分析[J]. 广西农业大学学报, 1998(S1): 16 - 18
- [9] 李朴芳,程正国,赵鸿,等. 旱地小麦理想株型研究进展[J]. 生态学报, 2011, 31(9): 2631 - 2640
- [10] 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
- [11] 田伟. 10个超高产小麦品种株型结构分析[J]. 河南农业科学, 2011, 40(8): 67 - 71
- [12] 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(4): 452 - 458
- [13] 王健,朱锦懋,林青青,等. 小麦茎秆结构和细胞壁化学成分对抗压强度的影响[J]. 科学通报, 2006, 51(6): 679 - 685
- [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(3): 28 - 31
- [16] 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
- [17] 郭翠花,高志强,苗果园. 不同产量水平下小麦倒伏与茎秆力学特性的关系[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 151 - 155
- [18] 韩清瑞. 冬小麦基部节间的形态结构与倒伏关系[J]. 北京农业科学, 1990(3): 10 - 13
- [19] 李扬汉. 禾本科作物的形态与解剖[M]. 上海: 上海科技出版社, 1979: 203 - 294
- [20] Tripathi S C, Sayre K D, Kaul J N, et al. Growth and morphology of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) culms and their association with lodging: effects of genotypes, N levels and ethephon[J]. Field Crops Res., 2003, 84(3): 271 - 290

- [21] Crook M J, Ennos A R. The effect of nitrogen and growth regulators on stem and root characteristics associated with lodging in two cultivars of winter wheat[J]. Journal of Experimental Botany, 1995, 46: 931 - 938
- [22] 王茜. 小麦倒伏的原因及预防措施[J]. 北京农业, 2008(9): 21 - 23
- [23] 陈晓光, 王振林, 彭佃亮, 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
- [24] 李豪圣, 刘建军, 程敦公, 等. 密度和氮肥对济麦 20 基部茎秆形态结构的影响[J]. 山东农业科学, 2007(4): 59 - 61
- [25] 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
- [26] 陈晓光, 石玉华, 王成雨, 等. 氮肥和多效唑对小麦茎秆木质素合成的影响及其与抗倒伏性的关系[J]. 中国农业科学, 2011, 44(17): 3529 - 3536
- [27] 李国强, 汤亮, 张文宇, 等. 施氮量对不同株型小麦品种叶型垂直分布特征的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(1): 127 - 137
- [28] 杨世民, 谢力, 郑顺林, 等. 氮肥水平和栽插密度对杂交稻茎秆理化特性与抗倒伏性的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(1): 93 - 103
- [29] 陈晓光, 史春余, 尹燕桦, 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
- [30] 方大法. 小麦倒伏原因浅析及预防对策[J]. 安徽农学通报, 2004, 10(2): 30 - 42
- [31] 宋生, 黄清忠, 侯东升. 小麦防倒伏高产栽培技术的分析[J]. 农业与技术, 2012, 32(3): 33
- [32] 赵荣杰. 浅谈小麦倒伏原因及对策[J]. 河南农业, 2012, 21(11): 25
- [33] 杨文飞, 文廷刚, 孙爱侠, 等. 新型增产抗倒营养剂“劲丰谷德”对小麦抗倒性和产量的影响[J]. 金陵科技学院学报, 2019(4): 65 - 68

(责任编辑: 谭彩霞)

声 明

1. 本刊已许可相关合作单位以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文, 相关著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。

2. 本刊已加入“中国知网”学术期刊优先数字出版平台。

作者向本刊提交文章发表的行为视为同意我刊上述声明。

本刊编辑部