

引用格式:

魏鹏, 邵庆勤, 闫素辉. 不同抗倒类型小麦植株节间性状与抗倒能力的氮肥调控效应[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(6): 622–629.

WEI P, SHAO Q Q, YAN S H. Effects of nitrogen on basal internode traits and lodging resistance of different wheat plant[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(6): 622–629.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



不同抗倒类型小麦植株节间性状与抗倒能力的氮肥调控效应

魏鹏, 邵庆勤, 闫素辉*

(安徽科技学院农学院, 安徽 凤阳 233100)

摘 要: 以抗倒伏小麦品种(生选 6 号、扬麦 18、华成 3366)、易倒伏小麦品种(扬麦 13、扬麦 22、扬麦 24)为材料, 设置施纯氮 180 kg/hm²(N180)、240 kg/hm²(N240)2 个氮素水平, 研究不同小麦品种植株基部节间性状与抗倒伏能力对氮肥调控效应的差异。结果表明: 与 N180 相比, 随着施氮量增加, 易倒伏型小麦品种抗倒伏指数平均降低 35.98%, 抗倒伏型小麦品种抗倒伏指数平均降低 1.12%, 易倒伏型小麦的抗倒能力在不同施氮水平间的差异大于抗倒伏型小麦的; 易倒伏小麦 N240 处理植株基部节间直径、半纤维素含量、纤维素含量、K 素含量与薄壁组织厚度低于 N180 处理的, 5 个参数的降幅分别为 12.60%、16.36%、19.04%、34.59%、27.48%; 抗倒伏小麦 N240 处理植株基部节间直径、半纤维素含量、纤维素含量、K 素含量和薄壁组织厚度较 N180 处理降低, 降幅分别为 5.13%、7.97%、3.74%、26.73%、15.70%; 易倒伏小麦 N240 处理植株基部节间抗折力、针刺力、木质素含量与大维管束面积低于 N180 处理的, 而抗倒伏小麦以上 4 个参数在 2 个施氮水平间无显著差异; 与 N180 处理相比较, 易倒伏小麦品种 N240 处理植株基部节间小维管束数降低, 抗倒伏小麦品种的升高; 与抗倒伏品种相比, 易倒伏品种植株基部节间抗倒伏能力对施氮水平响应敏感。综合以上分析可知, 增施氮肥主要是影响了易倒伏小麦植株的基部节间抗折力、针刺力、木质素含量、大维管束面积及小维管束数, 从而使易倒伏小麦抗倒性降低。

关 键 词: 小麦; 施氮水平; 基部节间性状; 抗倒伏能力

中图分类号: S512.106.2

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2021)06-0622-08

Effects of nitrogen on basal internode traits and lodging resistance of different wheat plant

WEI Peng, SHAO Qingqin, YAN Suhui*

(College of Agronomy, Anhui Science and Technology University, Fengyang, Anhui 233100, China)

Abstract: To explore the regulation effect of internode traits and lodging resistance on nitrogen fertilizer of different types of wheat plants, two types of wheat varieties, the lodging resistance type and the lodging prone type, were used as materials to study the differences of basal internode traits and lodging resistance on the regulatory changes of nitrogen fertilizer with two treatments, pure nitrogen 180 kg/hm²(N180) and 240 kg/hm²(N240). The results showed that the lodging resistance index of lodging prone wheat varieties average decreased by 35.98%, and that of lodging resistance wheat varieties average decreased by 1.12%, for the two nitrogen treatment, 180 kg/hm² and 240 kg/hm² respectively. The difference of lodging resistance of lodging prone wheat was greater than that of lodging resistant wheat at different nitrogen levels. The internode diameter, hemicellulose content, cellulose content, K element content and parenchyma thickness of the plant treated with lodging prone wheat N240 were significantly lower than those treated with N180,

收稿日期: 2020-09-07

修回日期: 2020-11-14

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300408-4); 安徽省自然科学基金项目(1408085QC54)

作者简介: 魏鹏(1995—), 男, 安徽宿州人, 硕士研究生, 主要从事小麦优质高产栽培生理研究, 1324723352@qq.com; *通信作者, 闫素辉, 博士, 教授, 主要从事作物栽培学与耕作学研究, yansh@ahstu.edu.cn

the decline of the 5 parameters were 12.60%, 16.36%, 19.04%, 34.59%, 27.48%; Compared with the N180 treatment, the basal internode diameter, hemicellulose content, cellulose content, K element content and parenchyma thickness of the lodging resistance wheat N240 decreased by 5.13%, 7.97%, 3.74%, 26.73% and 15.70%, respectively. The internode flexural strength, acupuncture power, lignin content and large vascular bundle area of the plant treated with easy lodging wheat N240 were significantly lower than those of N180 treatment, while the above 4 parameters of lodging resistant wheat showed no significant difference between the two nitrogen application levels. Compared with N180 treatment, the number of small vascular bundles at the basal of the plants was significantly reduced, and the number of lodging resistance wheat varieties was significantly increased under N240 treatment. Compared with N180 treatment, the number of small vascular bundles at the basal internode of the lodging prone wheat variety N240 treatment plant decreased significantly, and the lodging resistance type wheat variety significantly increased. Compared with lodging resistant cultivars, lodging prone cultivars were sensitive to N application. It could conclude that increasing nitrogen fertilizer application changed the influence of lodging prone wheat plant basal internode resistance, needling force, lignin content, area of large vascular bundle and number of small vascular bundles, thus reduced lodging resistance of the lodging prone type wheat.

Keywords: wheat; nitrogen application level; basal internode traits; lodging resistance

高产是小麦生产追求的重要目标,而倒伏是制约小麦产量的主要不稳定因素^[1]。研究^[2-3]表明,倒伏一般导致籽粒减产 7%~35%,严重时减产幅度可达 40%。小麦倒伏直接影响小麦籽粒灌浆和营养成分合成,导致小麦产量降低、品质变劣,同时影响机械收获,增加收获成本^[4-5]。沿淮地区是中国重要的小麦生产基地^[6],地处黄淮冬麦区南端,长江中下游麦区北端,属过渡性气候带,旱涝灾害严重^[7],小麦易发生倒伏。施用氮肥是小麦生产上主要的栽培措施之一,也是影响小麦倒伏的重要因素之一。沿淮地区小麦生产上还普遍存在因施氮量过多而导致小麦倒伏的问题^[8];因此,研究小麦群体抗倒性能的影响机制很有必要。

小麦茎秆基部节间形态特征、机械强度、化学成分以及解剖结构与抗倒性密切相关^[9-11]。研究^[12]表明,氮肥是改变茎秆基部节间性状、影响植株抗倒性的重要因子之一,不同氮效率型小麦在形态和生理上具有较大的差异。有学者^[8,11-13]研究了不同小麦品种的氮肥用量、氮肥运筹模式等对小麦产量和品质的影响,但对小麦抗倒性方面进行的研究较少。本试验中,选用了 2 种不同类型的小麦品种,设置 2 个施氮水平,研究不同小麦品种植株基部节间性状与抗倒能力对氮肥响应的差异,旨在为小麦抗倒育种与丰产优质栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2018 年 10 月至 2019 年 9 月在安徽科

技学院科技园进行。以 6 个小麦品种为试验材料,其中,扬麦 13、扬麦 22、扬麦 24 为易倒伏品种,生选 6 号、扬麦 18、华成 3366 为抗倒伏品种。

1.2 试验设计

设置 2 个施氮水平,即 180 kg/hm²(N180)和 240 kg/hm²(N240)。试验地前茬作物为玉米。试验小区面积为 9 m²(3 m×3 m),行距 25 cm,种植密度为 450 万株/hm²。3 次重复。氮、磷、钾肥分别为尿素(N 46%)、过磷酸钙(P₂O₅ 12%)、氯化钾(K₂O 60%)。磷、钾肥全部底施;氮肥中基肥与追肥比为 1:1,追肥在拔节期结合降雨施入。其他田间管理同常规大田生产。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 倒伏状况的调查

倒伏程度以倒伏级别(茎秆与地面夹角)表示,0 级为>75°~90°,1 级为>45°~75°,2 级为>15°~45°,3 级为 0°~15°。开花期调查小麦倒伏情况。在倒伏区域挑选 5 个倒伏均匀的小区域,用量角器多次测量倒伏角度,计算平均值,并测量实际倒伏面积。倒伏指数为倒伏级别与倒伏面积的乘积。

1.3.2 株高、重心高、节间长度、节间直径、节间壁厚的测定

于开花期在田间选取 15 株长势基本一致的单株,用卷尺分别测量其株高、重心高;用剪刀分别剪下其倒二节间,剥除茎鞘,用直尺和游标卡尺测定其节间长度、节间直径、节间壁厚。

1.3.3 机械强度、倒伏指数和抗倒伏指数的测定

于开花期在田间选取 25 株长势基本一致的单株,使用 YDD-1 茎秆强度测定仪(浙江托普仪器有限公司)分别测定其抗折力、针刺力,其中 15 株(每 3 株一起测,测 5 组)用于测抗折力,10 株用于测针刺力。抗倒伏指数为抗折力与重心高的比值。

1.3.4 半纤维素、纤维素及木质素含量的测定

以不同小麦品种的基部第二节间茎秆为研究对象,105 ℃杀青 30 min,80 ℃烘干至恒重,经粉碎机粉碎、过筛(孔径 420~250 μm)。参照张红漫等^[14]的方法,测定半纤维素、纤维素和木质素的含量。

1.3.5 N 素和 K 素含量的测定

取小麦基部第二节间茎秆,用电子天平称取 0.200 0 g,加入 5 mL 浓硫酸浸泡 1 h 后进行消煮(250 ℃煮 1.0 h 后加入适量双氧水催化,再 350 ℃煮 1.5 h),得到其消煮液。分别用分光光度计和火焰光度法测定 N、K 素含量。

1.3.6 茎秆解剖结构的观察

参照 KAACK 等^[15]的方法测定茎秆解剖结构。每个处理在 3 个重复小区中挑选出 8 株生长基本一致的小麦单茎,用剪刀在基部第二节间中部截取长约 3~4 cm 的小段,将样本固定在广口瓶内的固定液(无水乙醇与冰醋酸溶液体积比为 3:1)中,10 h

后将固定液倒掉,换成 70%的乙醇,保存。将样本切成薄片并转移至培养皿,挑出厚薄均匀的切片,用 1%的番红染色后,在光学显微镜(Olympus, BX53 REC, 日本)下观察,统计维管束数;通过 OPTPro 显微图像软件分析维管束大小、机械组织厚度和薄壁组织厚度。

$$S=\pi ab/4。$$

式中: S 示维管束面积; a、b 分别为纵、横方向的最大直径。

1.4 数据分析与处理

采用 Excel 2003 和 DPS 5.0 进行统计分析;采用 LSD 法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同处理小麦品种的倒伏情况

易倒伏品种在 N180 处理下均未出现倒伏现象,倒伏指数均为 0,但在 N240 处理下易倒伏品种均发生了不同程度的倒伏现象,扬麦 13、扬麦 22、扬麦 24 倒伏指数分别为 18.9、11.05 和 5.6;抗倒伏品种在 N180、N240 处理下均未发生倒伏。

2.2 不同处理小麦品种的形态特征比较

从表 1 可以看出,易倒伏品种的重心高、节间直径、节间壁厚在不同氮水平下呈极显著差异,节

表 1 不同处理小麦植株的形态特征

Table 1 Morphological characteristics of wheat plants under different treatments

品种类型	品种	施氮水平	株高/cm	重心高/cm	节间长/cm	节间直径/mm	节间壁厚/mm
易倒伏品种	扬麦 13	N180	(82.22±0.29)c	(42.03±0.39)c	(8.03±0.11)c	(4.67±0.12)a	(0.74±0.02)b
		N240	(85.12±1.06)b	(43.90±0.26)b	(8.02±0.13)c	(4.08±0.10)b	(0.80±0.01)a
	扬麦 22	N180	(78.67±1.81)d	(38.88±0.65)e	(9.17±0.21)a	(3.77±0.06)c	(0.60±0.03)c
		N240	(81.23±0.95)c	(43.80±0.57)b	(9.15±0.31)a	(3.54±0.26)cd	(0.73±0.03)b
	扬麦 24	N180	(87.25±0.63)ab	(40.32±0.24)d	(8.72±0.21)b	(4.09±0.17)b	(0.76±0.02)b
		N240	(89.55±0.48)a	(44.95±0.28)a	(9.47±0.34)a	(3.31±0.11)d	(0.63±0.03)c
	F	V	56.64**	36.60**	55.76**	53.17**	26.53**
		N	1.02	235.68**	5.90*	70.14**	201.99**
抗倒伏品种	生选 6	N180	(77.95±0.51)c	(37.58±0.23)b	(7.88±0.09)d	(4.15±0.05)b	(0.80±0.01)b
		N240	(77.75±0.20)c	(39.00±0.26)a	(8.12±0.15)c	(3.91±0.07)c	(0.84±0.02)b
	扬麦 18	N180	(83.98±0.58)a	(38.65±0.31)a	(7.08±0.15)e	(3.59±0.08)d	(0.79±0.02)b
		N240	(79.32±0.89)b	(38.63±0.64)b	(8.23±0.18)c	(3.48±0.07)e	(0.72±0.02)c
	华成 3366	N180	(82.58±0.89)b	(33.48±0.63)c	(8.67±0.18)a	(4.28±0.03)a	(0.52±0.03)d
		N240	(86.10±1.52)a	(37.20±0.51)b	(8.47±0.18)b	(4.00±0.08)c	(1.06±0.06)a
	F	V	43.09**	63.44**	125.66**	203.59**	4.09*
		N	0.60	32.45**	69.66**	65.33**	84.99**

同列不同小写字母表示同类品种差异显著($P<0.05$); “*”示在 0.05 水平差异显著; “**”示在 0.01 水平差异显著; “N”示施氮水平; “V”示品种。

间长在不同氮水平下呈显著差异；抗倒伏品种的重心高、节间长、节间直径、节间壁厚在不同氮水平下呈极显著性差异。与 N180 处理相比较，N240 处理下易倒伏品种的重心高显著升高，抗倒伏品种的重心高升高或降低；易倒伏品种的节间直径明显降低，降低幅度分别为 12.63%、6.10%、19.07%，平均降低幅度为 12.60%，抗倒伏品种的节间直径显著降低，降低幅度分别为 5.78%、3.06%、6.54%，平均降低幅度为 5.13%。易倒伏品种的降低幅度高于抗倒伏品种的降低幅度。

2.3 不同处理小麦品种的机械强度比较

从表 2 可以看出，易倒伏品种的抗折力、针刺力在不同氮水平下存在极显著差异；抗倒伏品种的抗折力、针刺力在不同氮水平下差异不显著。相较

于 N180 水平，易倒伏品种在 N240 下的抗折力、针刺力降低，抗倒伏品种的抗折力、针刺力略有升高。易倒伏品种在 N240 下的抗倒伏指数均明显降低，平均降低幅度为 35.98%；3 个抗倒伏品种平均降低幅度为 1.12%，其中扬麦 18 的抗倒伏指数略有升高(升高幅度 4.78%)，其他 2 个品种的倒伏指数有所降低。就不同抗倒性能品种而言，在机械强度上，增加施氮量，会使易倒伏品种的机械强度显著降低，抗倒伏品种的机械强度变化不显著。从抗倒性能上来看，增加施氮量对抗倒性品种的抗倒能力影响不大，甚至可以增强部分品种(扬麦 18)的抗倒能力，但增加施氮量会大幅度降低易倒伏品种的抗倒能力。

表 2 不同处理小麦植株基部节间的机械强度

Table 2 Mechanical strength of base internodes of wheat plants treated with different treatments					
品种类型	品种	施氮水平	抗折力/N	针刺力/N	抗倒伏指数/%
易倒伏品种	扬麦 13	N180	(11.64±1.71)ab	(17.18±1.62)a	27.72
		N240	(9.85±0.76)bc	(12.66±1.45)bc	22.44
	扬麦 22	N180	(13.61±1.58)a	(13.24±1.07)ab	35.06
		N240	(8.83±0.26)bc	(8.36±1.56)d	20.21
	扬麦 24	N180	(14.08±1.32)a	(10.92±1.84)bcd	34.97
		N240	(7.47±0.75)c	(8.46±0.72)cd	18.70
	<i>F</i>	V	0.09	7.18**	
		N	18.90**	11.08**	
抗倒伏品种	生选 6	N180	12.07±0.93	10.32±0.85	32.14
		N240	12.08±0.35	11.62±0.75	30.97
	扬麦 18	N180	12.68±0.64	10.92±0.65	32.86
		N240	13.31±2.68	11.98±1.27	34.43
	华成 3366	N180	13.43±1.76	9.66±1.49	40.11
		N240	14.26±2.41	11.86±0.61	38.31
	<i>F</i>	V	1.23	0.22	
		N	0.27	0.55	

同类品种同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)；“***”示在 0.01 水平差异显著；“N”示施氮水平；“V”示品种。

2.4 不同处理小麦品种的化学成分比较

2.4.1 结构性碳水化合物的比较

从表 3 可以看出，易倒伏品种的半纤维素含量、纤维素含量和木质素含量在不同氮水平下差异极显著；抗倒伏品种的半纤维素含量、纤维素含量在不同氮水平下差异极显著，木质素含量差异不显著。与 N180 处理相比，除华成 3366 外，其他 5 个小麦品种 N240 处理下的半纤维素含量、纤维素

含量降低，易倒伏品种木质素含量显著降低，抗倒伏品种木质素含量无显著差异；易倒伏品种半纤维素含量、纤维素含量、木质素含量指标平均降低 16.36%、19.04%和 34.10%，抗倒伏品种 3 个指标平均降低幅度为 7.97%、3.74%和 0.47%。由此可见，增加施氮量会显著降低茎秆基部节间结构性碳水化合物含量，易倒伏品种的降低幅度高于抗倒伏品种的。

表 3 不同处理小麦植株基部节间的结构性碳水化合物含量

Table 3 The content of structural carbohydrates in the base internodes of wheat plants under different treatments					%
品种类型	品种	施氮水平	半纤维素含量	纤维素含量	木质素含量
易倒伏品种	扬麦 13	N180	(46.27±0.61)a	(59.02±0.71)a	(9.21±0.64)a
		N240	(39.97±1.22)b	(44.78±1.13)c	(5.92±0.16)d
	扬麦 22	N180	(32.65±0.73)c	(37.10±0.92)d	(8.37±0.45)b
		N240	(30.21±1.32)c	(35.02±0.22)e	(4.74±0.16)e
	扬麦 24	N180	(39.84±0.83)b	(51.21±1.18)b	(7.15±0.22)c
		N240	(28.67±0.44)d	(37.18±0.59)d	(5.49±0.33)d
	<i>F</i>	V	186.42**	361.50**	37.44**
		N	165.45**	442.23**	75.16**
抗倒伏品种	生选 6	N180	(36.56±0.88)c	(46.51±1.15)d	8.19±0.22
		N240	(30.32±1.26)d	(42.05±0.22)e	8.06±0.02
	扬麦 18	N180	(50.31±0.34)a	(57.46±1.04)a	8.48±0.50
		N240	(41.88±0.66)b	(49.18±1.00)c	8.49±0.16
	华成 3366	N180	(31.79±0.99)d	(46.38±0.29)d	7.90±0.40
		N240	(34.94±0.76)c	(52.31±0.53)b	7.83±0.24
	<i>F</i>	V	267.40**	135.16**	4.32*
		N	55.03**	25.49**	0.13

同类品种同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$); “*”示在 0.05 水平差异显著; “**”示在 0.01 水平差异显著; “N”示施氮水平; “V”示品种。

2.4.2 N 素、K 素含量的比较

从表 4 可以看出, 易倒伏品种的 K 素含量在不同氮水平下呈显著性差异, N 素含量差异性不显著; 抗倒伏品种的 N 素含量、K 素含量在不同氮水平下差异极显著。与 N180 处理相比较, N240 处理下不

表 4 不同处理小麦植株基部节间 N 素含量和 K 素含量

Table 4 The content of N and K in the base internodes of wheat plants under different treatments					%
品种类型	品种	施氮水平	N 素含量	K 素含量	
易倒伏品种	扬麦 13	N180	(5.87±0.43)a	(13.87±4.36)b	
		N240	(5.41±0.29)ab	(10.28±1.12)c	
	扬麦 22	N180	(6.23±1.06)a	(20.46±1.88)a	
		N240	(6.04±0.56)a	(10.52±0.01)c	
	扬麦 24	N180	(5.56±0.38)ab	(19.66±0.45)a	
		N240	(4.95±0.69)b	(13.90±1.77)b	
	<i>F</i>	V	1.71	4.73*	
		N	1.15	4.03*	
抗倒伏品种	生选 6	N180	(4.81±1.08)ab	(28.67±1.12)a	
		N240	(2.82±0.75)c	(20.64±0.22)c	
	扬麦 18	N180	(5.56±0.37)a	(24.79±3.72)b	
		N240	(2.82±0.50)c	(18.75±0.05)c	
	华成 3366	N180	(5.53±0.57)a	(20.14±3.49)c	
		N240	(3.96±0.34)b	(14.54±0.94)d	
	<i>F</i>	V	4.93	13.30**	
		N	43.58**	31.55**	

同类品种同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$); “*”示在 0.05 水平差异显著; “**”示在 0.01 水平差异显著; “N”示施氮水平; “V”示品种。

同小麦品种 N 素含量均有所降低, 易倒伏品种平均降低幅度为 7.29%, 抗倒伏品种平均降低幅度为 39.80%; K 素含量显著降低, 易倒伏品种平均降低幅度为 34.59%, 抗倒伏品种平均降低幅度为 26.73%。增加氮肥施用量会使茎秆基部节间 N 素含量、K 素含量降低, 在 N 素含量上易倒伏品种的降低幅度低于抗倒伏品种, 在 K 素含量上易倒伏品种的降低幅度明显高于抗倒伏品种。

2.5 解剖结构的比较

从表 5 可以看出, 易倒伏品种的大维管束数、小维管束数、大维管束面积、小维管束面积和薄壁组织厚度在不同氮水平下差异极显著; 抗倒伏品种的大维管束数、薄壁组织厚度在不同氮水平下差异极显著, 小维管束数在不同氮水平下差异显著。相较于 N180 处理, 不同小麦品种在 N240 处理下的大维管束数降低, 其中易倒伏品种平均降低幅度为 6.38%, 抗倒伏品种平均降低幅度为 9.94%; 易倒伏品种在 N240 处理下的小维管束数降低, 抗倒伏品种的小维管束数升高; N240 处理下的大维管束面积降低, 易倒伏品种平均降低幅度为 15.96%, 抗倒伏品种平均降低幅度为 3.81%; N240 处理下的薄壁组织厚度显著降低, 易倒伏品种平均降低幅度为 27.48%, 抗倒伏品种平均降低幅度为 15.70%。增加氮肥施用量会降低大维管束数、大维管束面积和薄

壁组织厚度，易倒伏品种的大维管束数降低程度低于抗倒伏品种的，易倒伏品种的大维管束面积和薄壁组织厚度的降低程度显著高于抗倒伏品种的；增加氮肥施用量，会减少易倒伏品种的小维管束数，但会使抗倒伏品种的小维管束数增加。

表 5 不同处理小麦植株基部节间的解剖结构

Table 5 Anatomical structure in the basal internodes of wheat plants under different treatments								
品种类型	品种	施氮水平	维管束数量		维管束面积/mm ²		薄壁组织	机械组织
			大维管束	小维管束	大维管束	小维管束	厚度/mm	厚度/mm
易倒伏品种	扬麦 13	N180	35.33b	20.44a	0.270 0b	0.076 9a	1.358 3b	0.205 9bc
		N240	31.78c	20.11a	0.231 5c	0.059 1b	1.130 0c	0.202 5bc
	扬麦 22	N180	33.78bc	19.67ab	0.208 6cd	0.069 6ab	1.653 5a	0.167 6d
		N240	32.89c	15.44c	0.205 1d	0.067 9ab	0.866 1d	0.177 1cd
	扬麦 24	N180	38.00a	18.67b	0.319 3a	0.069 2ab	1.337 0b	0.240 9a
		N240	35.56b	16.33c	0.217 3cd	0.056 2b	1.096 1c	0.215 4ab
	F	V	14.19**	22.41**	24.27**	0.79	0.53	12.33**
		N	15.10**	35.15**	37.44**	5.84**	138.32**	0.49
抗倒伏品种	生选 6	N180	34.78b	19.67c	0.228 5bc	0.058 6ab	1.020 1c	0.203 5ab
		N240	32.78c	20.11c	0.220 9bc	0.072 0a	1.015 4c	0.183 7bc
	扬麦 18	N180	41.11a	25.11b	0.208 9c	0.064 0ab	1.509 1a	0.210 3a
		N240	35.11b	27.67a	0.207 9c	0.068 3ab	1.057 0c	0.211 9a
	华成 3366	N180	36.33b	19.89c	0.261 3a	0.073 2a	1.527 0a	0.179 8c
		N240	32.89c	20.67c	0.241 4ab	0.054 5b	1.272 2b	0.211 0a
	F	V	32.32**	97.47**	14.12**	0.04	44.50**	3.45*
		N	66.72**	5.1*	2.03	0.01	44.61**	0.80

同类品种同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)；“*”示在 0.05 水平差异显著；“**”示在 0.01 水平差异显著；“N”示施氮水平；“V”示品种。

3 结论与讨论

施用氮肥是影响小麦倒伏状况和产量的主要栽培措施之一。不同的小麦品种对氮肥的适应性不同，不同的施氮量在小麦各生长阶段发挥的作用也不同^[16]。有研究^[17-18]表明，抗倒伏指数可以较准确地衡量小麦抗倒伏能力的大小。邵庆勤等^[17]研究表明，小麦株高、重心高、节间长度、小维管束数以及机械组织厚度与抗倒伏指数呈显著相关；王成雨等^[19]研究表明，节间直径、节间壁厚和机械强度与抗倒伏指数呈极显著正相关；王丹等^[20]研究表明开花期机械强度与纤维素含量、木质素含量呈显著正相关。说明这些指标是影响小麦抗倒伏能力大小的重要因素。氮肥的施用是提高小麦产量的重要措施，但施用过多不但降低了氮肥的利用效率，而且也增大了倒伏发生的可能性^[21-22]。有研究^[23]表明，增加施氮量会降低小麦抗倒伏指数。本研究结果表明，随着施氮量的增加，抗倒伏型小麦品种的抗倒伏指数平均降低了 1.12%，而易倒伏型小麦品种抗倒伏指数平均降低了 35.98%，说明增加施氮量会降低小麦抗倒伏能力，且不同抗倒性能的小麦品种其抗倒能力对氮肥的响应程度存在一定差异；与抗倒

伏品种相比，易倒伏品种植株基部节间抗倒能力对施氮水平响应敏感。

小麦基部节间的形态指标、机械强度、化学成分和解剖结构与小麦的抗倒伏能力关系密切^[24-27]。在形态特征上，王成雨等^[19]研究表明，增加施氮量会显著降低节间直径和厚度。本研究结果表明，N240 处理易倒伏品种和抗倒伏品种植株节间直径均显著低于 N180 处理的，易倒伏品种的降低幅度明显高于抗倒伏品种的降低幅度。从机械强度上来看，张明伟等^[28]认为茎秆机械强度随着氮肥施用量的增加而降低。本研究结果表明，N240 处理易倒伏品种植株基部节间抗折力、针刺力显著低于 N180 处理的，抗倒伏品种的抗折力、针刺力在 2 个氮水平下无显著差异。在化学成分上，陈晓光等^[27]研究表明，增加施氮量会显著降低茎秆木质素含量。本研究结果表明，增加氮肥量会显著降低易倒伏品种茎秆木质素含量，但对抗倒伏品种作用效果不显著。从解剖结构上来看，本研究中，易倒伏品种 N240 处理的大、小维管束数和大维管束面积相较于 N180 处理的均降低，而抗倒伏品种 N240 处理的小维管束数相较于 N180 处理的升高，抗倒伏品种的大维管束面积在 2 个氮水平下无显著差异。有

研究^[9,29]显示,增强小麦茎秆维管束数、维管束面积能够提高小麦的抗倒能力。也有研究^[30]表明,维管束面积与抗倒伏能力关系较小。本研究结果表明,小维管束数和大维管束面积是影响小麦倒伏的重要因素。

综上所述,在氮肥调控下,不同类型小麦在植株基部形态特征、机械强度、化学成分、解剖结构等方面均存在差异,说明茎秆抗倒伏能力大小是由植株基部节间形态特征、机械强度、化学成分以及解剖结构协同作用的^[17,28,31]。与抗倒伏品种相比,易倒伏品种植株基部节间抗倒能力对施氮水平响应敏感。通过品种类型与施氮水平间参数的比较,增施氮肥主要是通过影响易倒伏小麦植株基部节间抗折力、针刺力、木质素含量、大维管束面积及小维管束数,从而使易倒伏小麦抗倒性降低。

参考文献:

- [1] 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.
LAI S K, LIU X F, WANG W J, et al. Genotype differences in main agronomic traits and lodging-resistance of wheat under different yield levels in Huaibei zone[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2020, 32(4): 14–22.
- [2] 雷巍, 任政委. 小麦倒伏的原因及预防对策[J]. 种业导刊, 2015(2): 25–26.
LEI W, REN Z W. Causes of wheat lodging and preventive measures[J]. Journal of Seed Industry Guide, 2015(2): 25–26.
- [3] 崔巍峰. 预防小麦倒伏的关键技术措施[J]. 种子科技, 2017, 35(9): 72–73.
CUI W F. Key technical measures to prevent wheat lodging[J]. Seed Science & Technology, 2017, 35(9): 72–73.
- [4] 杨文平, 胡喜巧, 王小龙, 等. 行距配置对冬小麦茎秆形态生理及产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(8): 104–110.
YANG W P, HU X Q, WANG X L, et al. Effects of row spacing on stem morphological physiology and yield of winter wheat[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2016, 44(8): 104–110.
- [5] 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.
FENG S W, LI G, HU T Z, et al. Study on the stem lodging resistance of different wheat varieties[J]. Journal of Triticeae Crops, 2012, 32(6): 1055–1059.
- [6] 张爱民, 马晓群, 杨太明, 等. 安徽省旱涝灾害及其对农作物产量影响[J]. 应用气象学报, 2007, 18(5): 619–626.
ZHANG A M, MA X Q, YANG T M, et al. The influence of drought and waterlogging disasters on crop yields in Anhui Province[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2007, 18(5): 619–626.
- [7] 汪建来, 赵莉, 何贤芳. 安徽省沿淮地区小麦生产SWOT分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(22): 13309–13310.
WANG J L, ZHAO L, HE X F. SWOT analysis on wheat production in the Huai river region in Anhui Province[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(22): 13309–13310.
- [8] 周洁, 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.
ZHOU J, WANG X, ZHU Y L, et al. Effects of nitrogen fertilizer management on stem lodging resistance and yield of wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2019, 39(8): 979–987.
- [9] 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 Research, 2003, 84(3): 271–290.
- [10] 孟令志, 买春艳, 于立强, 等. 黄淮冬麦区部分小麦品种(系)抗倒伏相关性状分析[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(7): 888–895.
MENG L Z, MAI C Y, YU L Q, et al. Analysis of lodging-associated traits on some wheat cultivars and breeding lines in the Yellow-Huai River valley winter wheat zone[J]. Journal of Triticeae Crops, 2016, 36(7): 888–895.
- [11] 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.
LI J C, YIN J, WEI F Z. Effects of planting density on characters of culm and culm lodging resistant index in winter wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(5): 662–666.
- [12] 裴雪霞, 王姣爱, 党建友, 等. 小麦氮素吸收利用的基因型差异研究[J]. 中国土壤与肥料, 2007(2): 38–42.
PEI X X, WANG J A, DANG J Y, et al. Studies on differences of nitrogen absorption and utilization in different genotypes of winter wheat[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2007(2): 38–42.
- [13] 郭瑞, 黄晓高, 温明星, 等. 追氮量和种植密度对春性强筋小麦镇麦12号籽粒产量和品质的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(8): 1834–1839.
GUO R, HUANG X G, WEN M X, et al. Effect of the nitrogen topdressing and plant density on grain yield and quality of spring strong gluten wheat cultivar Zhenmai 12[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, 34(8): 1834–1839.
- [14] 张红漫, 郑荣平, 陈敬文, 等. NREL法测定木质纤维素原料组分的含量[J]. 分析试验室, 2010, 29(11): 15–18.
ZHANG H M, ZHENG R P, CHEN J W, et al. Investigation on the determination of lignocellulosics components by NREL method[J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2010, 29(11): 15–18.

- [15] KAACK K, SCHWARZ K U, BRANDER P E. Variation in morphology, anatomy and chemistry of stems of *Miscanthus* genotypes differing in mechanical properties[J]. Industrial Crops and Products, 2003, 17(2): 131–142.
- [16] 安霞, 张海军, 蒋方山, 等. 氮肥用量对不同品种小麦群体动态及产量的影响[J]. 中国种业, 2015(12): 65–67.
AN X, ZHANG H J, JIANG F S, et al. Effects of nitrogen fertilizer amount on population dynamics and yield of different wheat varieties[J]. China Seed Industry, 2015(12): 65–67.
- [17] 邵庆勤, 周琴, 王笑, 等. 不同小麦品种茎秆形态特征和解剖结构对多效唑的响应差异[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(8): 995–1003.
SHAO Q Q, ZHOU Q, WANG X, et al. Morphological and anatomical characteristics of wheat varieties and its response to paclobutrazol[J]. Journal of Triticeae Crops, 2018, 38(8): 995–1003.
- [18] 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.
LIU H T, LI R Q, WANG H G, et al. Effect of planting density and nitrogen fertilization rate on lodging resistance and grain yield of strong gluten wheat Gaoyou 2018[J]. Journal of Triticeae Crops, 2017, 37(12): 1619–1626.
- [19] 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.
WANG C Y, DAI X L, SHI Y H, et al. Effects of nitrogen application rate and plant density on lodging resistance in winter wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(1): 121–128.
- [20] 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.
WANG D, DING W H, FENG S W, et al. Stem characteristics of different wheat varieties and its relationship with lodging-resistance[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(5): 1496–1502.
- [21] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915–924.
ZHANG F S, WANG J Q, ZHANG W F, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement[J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5): 915–924.
- [22] 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.
WEI F Z, LI J C, WANG C Y, et al. Effects of nitrogenous fertilizer application model on culm lodging resistance in winter wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(6): 1080–1085.
- [23] 梁玉超, 张永强, 石书兵, 等. 施氮量对滴灌冬小麦茎部特征及其抗倒伏性的影响[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(11): 1467–1472.
LIANG Y C, ZHANG Y Q, SHI S B, et al. Effect of nitrogen fertilizer rate on stem morphology characteristics and lodging resistance in winter wheat with drip irrigation[J]. Journal of Triticeae Crops, 2017, 37(11): 1467–1472.
- [24] 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.
CHEN X G, SHI C Y, YIN Y P, et al. Relationship between lignin metabolism and lodging resistance in wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(9): 1616–1622.
- [25] 雷小龙, 刘利, 刘波, 等. 杂交水稻 F 优 498 机械化种植的茎秆理化性状与抗倒伏性[J]. 中国水稻科学, 2014, 28(6): 612–620.
LEI X L, LIU L, LIU B, et al. Physical and chemical characteristics and lodging resistance of culm of indica hybrid rice F You 498 under mechanical planting[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2014, 28(6): 612–620.
- [26] STERLING M, BAKER C J, BERRY P M, et al. An experimental investigation of the lodging of wheat[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2003, 119(3/4): 149–165.
- [27] 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.
CHEN X G, SHI Y H, WANG C Y, et al. Effects of nitrogen and PP₃₃₃ application on the lignin synthesis of stem in relation to lodging resistance of wheat[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(17): 3529–3536.
- [28] 张明伟, 易媛, 董召娣, 等. 氮肥对扬麦 20 茎秆性状和抗倒性能的影响[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(9): 1260–1266.
ZHANG M W, YI Y, DONG Z D, et al. Effects of nitrogen on internode traits and lodging resistance of wheat variety Yangmai 20[J]. Journal of Triticeae Crops, 2014, 34(9): 1260–1266.
- [29] 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.
HU H, LI S S, HUA H, et al. Research on stalk morphological structure characteristics and its relationship between with the lodging of different wheat varieties[J]. Journal of Triticeae Crops, 2017, 37(10): 1343–1348.
- [30] ESPINDULA M C, ROCHA V S, GROSSI J A S, et al. Use of growth retardants in wheat[J]. Planta Daninha, 2009, 27(2): 379–387.
- [31] ZHANG Y, XU W G, WANG H W, et al. Progress in improving stem lodging resistance of Chinese wheat cultivars[J]. Euphytica, 2016, 212(2): 275–286.

责任编辑: 毛友纯

英文编辑: 柳 正