

土壤耕作方式对夏玉米抗茎倒伏能力的影响

贾桂平 边大红 蔡丽君 杜 雄 牛海峰 崔彦宏

(河北农业大学 农学院 作物形态解剖研究室 河北省作物生长调控室 河北 保定 071001)

摘要: 针对河北省高产夏玉米倒伏问题, 选用不同抗倒性品种 XY335、XD20 和 JD28, 设置旋耕直播、免耕直播、旋耕直播 + 培土和免耕直播 + 培土 4 个处理, 并分析了不同耕作措施下玉米茎秆形态特征、机械强度和产量变化。结果表明, 旋耕处理能明显降低株高、穗位、重心和基部节间长粗比, 显著增强茎秆抗拉力和基部节间机械强度, 倒伏率最低, 但穗粒数较少, 粒质量与产量较低; 免耕直播处理 JD28、XY335 和 XD20 的倒伏率分别为 0、11.2%、10.6%, 抗倒伏能力仅次于旋耕, 穗粒数、粒质量及产量最高; 拔节期培土明显增加株高、穗位、重心和基部节间长粗比, 降低茎秆抗拉力和基部节间机械强度, 其中, 免耕直播 + 培土下 XY335 和 XD20 的倒伏率分别为 89.6% 和 82.2%。

关键词: 土壤耕作方式; 农艺性状; 力学性状; 倒伏率; 产量

中图分类号: S156 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2013)04-0163-06

Soil Tillage Methods on Stalk Lodging Resistance of Summer Maize

JIA Gui-ping, BIAN Da-hong, CAI Li-jun, DU Xiong, NIU Hai-feng, CUI Yan-hong

(College of Agronomy, Agricultural University of Hebei, Crop Morphology Anatomy Laboratory,

Key Laboratory of Crop Growth Regulation of Hebei Province, Baoding 071001, China)

Abstract: Recent studies have shown that stem lodging has reduced maize yields in Hebei Province, mainly under high-yielding conditions. In this paper, the effects of tillages management with No Tillage, No Tillage + Ridging, Rotary Tillage and Rotary Tillage + Ridging were studied on morphological characteristics, mechanical characteristics of stem and yield characters using three lodging resistance maize varieties, Xianyu 335 (Low resistance), Xundan 20 (Low resistance) and Jingdan 28 (High resistance). The results showed that Rotary Tillage had lower plant height, ear height and high center of gravity, smaller ratio of internode length/diameter of the 4th and 5th under ear, better stretching resistance of stem and internodes mechanical strength of the 4th and 5th under ear. Therefore, Rotary Tillage had the lowest lodging rate. Ridging at elongation stage was opposite on morphological characteristics and mechanical characteristics of stem, and the lodging rate of Xianyu 335 and Xundan 20 were 89.6% and 82.2%. It is found that the lodging rate of Jingdan 28, Xianyu 335 and Xundan 20 were 0, 11.2% and 10.6% under No Tillage, the lodging resistance were second to Rotary Tillage. However, the 100-grain weight, kernels per spike and yield were higher than Rotary Tillage.

Key words: Soil tillage methods; Plant morphology; Stalk mechanics; Lodging rate; Yield

大量研究表明, 增加群体密度已成为当前世界和中国玉米 (*Zea mays* L.) 单产提高的主要途径, 然而群体密度增大往往茎秆倒伏风险加大^[1-2]。据调查, 每年由玉米倒伏引起的产量损失为 5% ~ 25%, 甚至更高^[3]。玉米倒伏一般分为根倒、茎倒和茎折。据研究, 玉米倒伏的 30% ~ 60% 为茎倒

伏^[4]。玉米倒伏后叶片在空间的正常分布秩序被打乱, 冠层结构遭到破坏, 叶片光合速率锐减, 严重制约了光合产物的形成; 同时, 水分和养分的茎秆输导系统受到破坏, 影响光合产物向果穗的运输, 最终导致产量和品质大幅下降, 甚至绝收; 而且, 倒伏的发生极大影响了作物收割难度^[5-6]。玉米从拔节至

收稿日期: 2013-05-10

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题项目 (2011BAD16B08)

作者简介: 贾桂平 (1984-), 男, 河北鸡泽人, 在读硕士, 主要从事作物高产优质生态生理研究。

通讯作者: 崔彦宏 (1962-), 男, 河北安平人, 教授, 博士生导师, 主要从事农学、作物栽培学教学工作和作物高产优质理论与技术研究工作。

灌浆乳熟期间,均可能遭受大风和降雨袭击而发生倒伏,倒伏发生越早,减产幅度越大^[7]。因此,对玉米茎秆强度及相关农艺性状变化规律进行系统研究,增强茎秆抗倒能力是现实玉米生产必须解决的关键问题。

土壤耕作是农业生产中的一项重要措施,以不同的外部机械力形式作用于土壤并从本质上改变土壤的物理化学性状,调节土壤的水、肥、气、热等因子,达到提高作物产量的目的^[8]。目前,土壤耕作方式在作物节水、节肥、实现高产栽培途径中成为研究热点。本试验把土壤耕作方式与玉米抗茎倒能力紧密结合在一起,通过考察植株农艺性状、茎秆力学特征、田间倒伏率和产量变化,系统研究土壤耕作方式对高产夏玉米抗倒伏能力的影响,为我国夏玉米高产、稳产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于 2011—2012 年在河北农业大学深州试验站进行。深州市位处河北省中南部平原区,年平均气温 12.8℃,年降水量 500 mm。供试土壤为壤土 0~20 cm 土层养分状况为:碱解氮 93.24 mg/kg、速效磷 14.8 mg/kg、速效钾 55.7 mg/kg、全氮 1.30 g/kg、有机质 19.24 g/kg。

试验采用裂区设计,耕作方式为主区,设 4 个水平:分别是免耕直播(No Tillage,简称 NT)、免耕直播+培土(No Tillage + Ridging,简称 NTR)、旋耕直播(Rotary Tillage,简称 RT)和旋耕直播+培土(Rotary Tillage + Ridging,简称 RTR),品种为副区,分别为先玉 335(简称 XY335)、浚单 20(简称 XD20)和京单 28(简称 JD28)。小区面积 100 m²,3 次重复,种植密度 7.5 万株/hm²,60 cm 等行距播种。播种时间分别为 2011 年 6 月 17 日和 2012 年 6 月 19 日,玉米拔节期培土,培土高度 8~10 cm。施肥管理按常规高产田进行,施尿素 925 kg/hm²,KCl 375 kg/hm²,ZnSO₄ 15 kg/hm²,其中,尿素 3/10 做基肥,1/2 于大喇叭口期追施,1/5 在吐丝期追施,KCl 和 ZnSO₄ 全用于基施。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 植株形态指标 用钢卷尺测定株高(cm)、穗位高(cm)和玉米节间的长度(cm),游标卡尺测定节间直径(mm)。重心高度测定方法:将植株沿地表砍断,用食指支撑茎秆,使其保持平衡,平衡时手指所在位置距离茎秆基部的距离为重心高度。测定时期分别为大喇叭口期(V10)、吐丝期(R1)、吐

丝 15 d(R2)、吐丝 30 d(R4)和吐丝 45 d(R5)。

1.2.2 茎秆力学指标 于大喇叭口期、吐丝期、吐丝 15 d、吐丝 30 d 和收获期分别测定茎秆抗拉力、茎秆抗折力、茎秆硬度。具体方法如下:

茎秆抗拉力:据植株地上部 70 cm 处系上 100 cm 的细绳,绳子另一端连接 FGJ-10 型数显测力仪的传感器,将植株水平拉至与地面成 45° 夹角,此时显示的数据即茎秆的抗拉力。

茎秆抗折力:将植株中下部剥去叶鞘,分别以茎秆基部第 4、5 中部为支点,距支点 40 cm 处用 FGJ-10 型数显测力仪垂直下拉,直至支点处被折断,此时显示的力即为茎秆抗折力。

茎秆硬度:用 NK-2 型茎秆硬度仪探针分别垂直插入茎秆基部第 4、5 节间的中部,硬度仪上显示的峰值即为玉米茎秆节间的硬度。

1.2.3 田间倒伏率调查 在田间分别对倒伏的小区倒伏程度进行调查,记录茎折、茎倒伏和根倒伏(与地面的夹角 < 30°)的株数并测定折断的高度和节位。

1.2.4 产量及产量构成 玉米成熟时,各处理收获 3 行(每行 4 m),称所有果穗总鲜质量,待种子风干后计产量(实际产量),按平均鲜穗质量从所收果穗中随机选取 10 穗,测定穗粒数和百粒质量,计算理论产量。

1.3 数据分析

采用 SPSS 和 Microsoft Excel 2003 进行数据分析,用 Duncan 新复极差法进行显著性测验。

2 结果与分析

2.1 土壤耕作方式对玉米倒伏率的影响

田间倒伏率能够客观、真实的反应出相同栽培条件下玉米植株抗倒伏能力的强弱。由表 1 可以看出,品种间抗倒伏能力差异显著,JD28 抗倒能力最强,各处理下均未出现倒伏,XY335 和 XD20 抗倒伏能力较弱,田间平均倒伏率均为 25.2%。土壤耕作方式对玉米植株倒伏率有显著影响,表现为 RT <

表 1 不同土壤耕作方式下的田间倒伏率

Tab. 1 Lodging rates of maize at different soil tillage methods

处理 Treatments	倒伏率/% Lodging rate		
	XY335	XD20	JD28
旋耕直播 RT	0.0	0.0	0.0
免耕直播 NT	11.2	10.6	0.0
旋耕直播+培土 RTR	0.0	8.1	0.0
免耕直播+培土 NTR	89.6	82.2	0.0
均值 Mean	25.2	25.2	0.0

RTR < NT < NTR ,其中 ,XY335 和 XD20 在 NTR 处理下倒伏率分别为 89.6% 和 82.2% 。由此可知 ,玉米播前旋耕能够增强玉米抗倒伏性 ,降低田间倒伏率 ,拔节期培土加大了玉米倒伏风险。

2.2 土壤耕作方式对玉米株高、穗位和重心高的影响

由表 2 可知 ,玉米株高、穗位高和重心高存在明显的品种间差异 ,XY335 株高和重心高分别为 313.4 ,

106 cm ,较 XD20 和 JD28 高 38.1 5.6 cm 和 68.2 , 12.4 cm; XD20 穗位最高 ,分别较 XY335、JD28 高 20.2 43.7 cm。不同耕作方式间比较 ,三品种株高、穗位和重心高均表现出 NTR > NT > RTR > RT 趋势 ,且 NTR、NT 与 RTR、RT 间差异达到显著水平。由此可见 ,玉米播前旋耕可以有效降低株高、穗位和重心高度 ,从而增强植株抗倒伏性; 拔节期培土 ,株高、穗位和重心高度有增加趋势 ,玉米倒伏风险加大。

表 2 土壤耕作方式对玉米株高、穗位高和重心高的影响

Tab.2 Effect of soil tillage methods on height and ear height and height of gravity of maize

品种 Hybrids	处理 Treatments	株高/cm Plant height	穗位/cm Ear height	重心高/cm High center of gravity
XY335	RT	300.2 ± 3.6b	117.5 ± 2.2b	102.0 ± 1.6b
	NT	322.5 ± 3.2a	132.7 ± 0.9a	107.1 ± 0.7a
	RTR	306.5 ± 1.9b	121.0 ± 2.1b	106.6 ± 0.6a
	NTR	324.2 ± 6.1a	133.0 ± 1.9a	108.3 ± 0.5a
	均值 Mean	313.4	126.1	106.0
XD20	RT	270.7 ± 1.5b	143.2 ± 0.8b	95.8 ± 1.9c
	NT	282.7 ± 0.9a	148.5 ± 1.7a	102.2 ± 0.7ab
	RTR	269.6 ± 1.8b	141.2 ± 1.1b	99.3 ± 0.9bc
	NTR	278.2 ± 1.4a	152.2 ± 1.4a	104.2 ± 0.8a
	均值 Mean	275.3	146.3	100.4
JD28	RT	230.0 ± 5.7b	98.5 ± 1.0c	90.2 ± 1.1c
	NT	256.8 ± 2.2a	103.7 ± 0.9ab	95.2 ± 0.6a
	RTR	234.8 ± 1.5b	101.0 ± 1.5c	92.6 ± 0.5b
	NTR	259.2 ± 0.8a	107.2 ± 1.3a	96.4 ± 0.5a
	均值 Mean	245.2	102.6	93.6

注: 表中的数据为平均值 ± 标准误。同一列中不同的字母表示在 0.05 水平上差异显著 表 3 ~ 5 同。
Note: Data in the table are mean ± SE. The different letters in same column mean the values were differed significantly at P=0.05 level . The same as Tab.3 -5.

2.3 土壤耕作方式对第 4 5 节间形态特征的影响

玉米基部第 4 5 节间形态特征受品种与土壤耕作方式影响显著(表 3) 。从品种来看 ,XY335 基部节间最长 ,分别较 XD20 和 JD28 长 1.01 2.35 cm

和 1.22 2.32 cm。玉米播前旋耕明显缩短基部第 4 5 节间长度 ,增加节间粗度; 拔节期培土导致植株基部 4 5 节间变长、变细 ,茎倒伏风险增大。

节间长粗比是节间长度与粗度的比值 ,能更深

表 3 土壤耕作方式对第 4 5 节间形态特征的影响

Tab.3 Effect of soil tillage methods on morphological characteristics between 4th internode and 5th internode

品种 Hybrids	处理 Treatments	第 4 节间 4th internode			第 5 节间 5th internode		
		长/cm Length	粗/mm Diameter	比值 Ratio	长/cm Length	粗/mm Diameter	比值 Ratio
XY335	RT	12.93b	20.74a	6.23c	14.78b	20.27a	7.29b
	NT	13.03b	20.42b	6.38b	15.03b	20.49a	7.34b
	RTR	14.08a	20.20b	6.97a	16.98a	19.09b	8.89a
	NTR	14.18a	20.37b	6.96a	17.18a	19.31b	8.89a
	均值 Mean	13.56	20.43	6.63	15.99	19.79	8.10
XD20	RT	11.43c	20.84a	5.48c	12.75c	21.77a	5.86b
	NT	12.45b	20.63a	5.64c	13.15b	21.81a	6.03b
	RTR	12.85ab	20.11b	6.39a	14.25a	20.11b	7.09a
	NTR	13.38a	19.63c	6.82a	14.40a	20.14b	7.15a
	均值 Mean	12.53	20.30	6.08	13.64	20.96	6.53
JD28	RT	11.68c	21.56a	5.41c	12.78b	21.36a	5.98c
	NT	11.93c	21.56a	5.53b	12.98b	21.33a	6.08c
	RTR	12.63b	20.49b	6.26a	14.40a	21.02b	6.85b
	NTR	13.10a	20.72b	6.32a	14.50a	20.09c	7.22a
	均值 Mean	12.34	21.09	5.88	13.67	20.95	6.53

入地反应节间长、粗与茎秆抗倒伏性能之间的关系。由表 3 可知,XY335 基部第 4 节间长粗比较 XD20、JD28 分别大 0.5、0.7,第 5 节间均大 1.6。三品种长粗比对土壤耕作方式反应趋势一致,即播前旋耕使节间长粗比明显减小,拔节期培土增大了长粗比。

2.4 土壤耕作方式对第 4、5 节间力学特征的影响

由表 4 可以看出,土壤耕作方式对 3 个玉米品种基部第 4、5 节间力学特征影响显著。吐丝期至吐丝 30 d,三品种基部第 4、5 节间硬度值和抗折力均

表现为 RT > NT > RTR > NTR,其中,RT、NT 硬度值与 RTR、NTR 差异达到显著水平,各处理间抗折力差异也达到显著水平。三品种间基部第 4、5 节间力学特征也存在显著差异,吐丝期 XY335 第 4、5 节间硬度值分别较 XD20 和 JD28 高 3.95%、1.99% 和 13.57%、9.95%,吐丝 30 d 高 5.52%、1.67% 和 9.12%、13.5%;基部 4、5 节间抗折力以 JD28 最高,XY335 次之,XD20 最小,JD28 分别较 XY335 和 XD20 大 28.3%、36.7% 和 42.8%、40.3%。

表 4 土壤耕作方式对第 4、5 节间力学特征的影响

Tab. 4 Effect of soil tillage methods on mechanical characteristics between 4th internode and 5th internode

品种 Hybrids	处理 Treatments	硬度/N Stem hardness				抗折力/N Fracture resistance	
		吐丝 Silking		吐丝 30 Silking 30		吐丝 30 Silking 30	
		第 4 节间 4th internode	第 5 节间 5th internode	第 4 节间 4th internode	第 5 节间 5th internode	第 4 节间 4th internode	第 5 节间 5th internode
XY335	RT	101.7a	95.6a	92.3a	84.9a	14.1a	11.5a
	NT	95.9b	87.3b	85.6b	80.3b	12.2b	9.2b
	RTR	87.3c	78.2c	79.6c	73.5c	11.6b	7.9c
	NTR	89.6c	80.5c	75.7d	72.7c	9.8c	6.5d
	平均 Mean	93.6	85.4	83.3	77.9	11.9	8.8
XD20	RT	98.6a	93.2a	85.2a	82.1a	10.7a	9.9a
	NT	93.9b	85.6b	82.9b	76.9b	9.5b	8.5b
	RTR	84.1c	78.5c	74.2b	73.6c	9.2bc	7.9c
	NTR	82.9c	77.6c	72.4b	73.4c	8.7c	7.1d
	平均 Mean	89.9	83.7	78.7	76.5	9.5	8.3
JD28	RT	88.9a	83.2a	85.0a	73.6a	18.0a	15.7a
	NT	82.9b	78.9b	81.0b	69.2b	17.5a	14.8b
	RTR	69.7c	72.4c	76.9c	63.1c	15.8b	13.1c
	NTR	67.3c	72.9c	74.9c	63.2c	15.1c	12.2d
	平均 Mean	80.9	76.9	75.7	67.3	16.6	13.9

2.5 土壤耕作方式下玉米植株抗拉力的影响

由图 1 可知,随生育进程推进,玉米植株抗拉力呈单峰曲线变化。吐丝 15 d 以前,植株抗拉力呈逐渐增大趋势,吐丝 15 d 达到最大值,之后呈逐渐降低趋势。从大口期到成熟期,3 个供试品种间植株

抗拉力差异显著,XY335 最大,JD28 次之,XD20 最小;处理间植株抗拉力均表现为 RT > RTR > NT > NTR,且差异均达到显著水平。结果表明,RT 能增强植株抗拉力,提高玉米抗倒伏性能;拔节期培土使玉米植株抗拉力降低,倒伏风险加大。

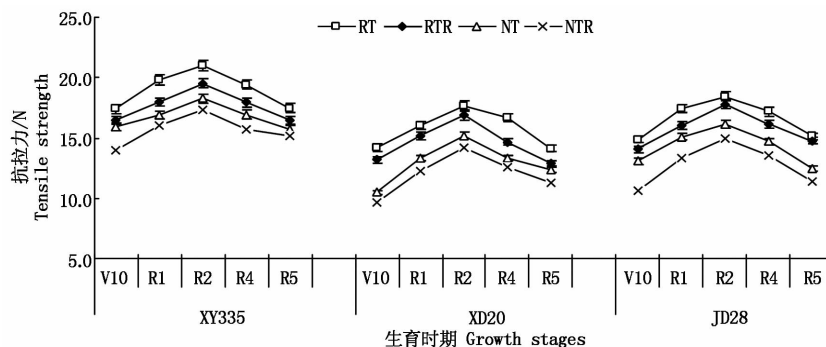


图 1 土壤耕作方式对玉米植株抗拉力的影响

Fig. 1 Effect of soil tillage methods on bending resistance of maize

2.6 土壤耕作方式对穗部性状及产量的影响

由表 5 可以看出,品种间产量及穗部性状差异显著,JD28 秃尖短、穗粒数多、粒质量大,产量最高;

XY335 秃尖较长、穗粒数较少、粒质量低,最终产量最低;XD20 秃尖较短、穗粒数较多、粒质量较低,产量居中。不同耕作方式间比较,免耕处理果穗较长、

穗粒数和粒质量较高,最终产量较高;旋耕和拔节期培土处理使果穗明显变短、穗粒数减少、粒质量降低,最终产量降低。

各处理 2011 年和 2012 年产量及穗部性状变化

基本一致,但 2012 年较 2011 年 XY335、XD20 和 JD28 穗粒数分别降低 13.8%、8.0%、16.3%,百粒质量增加 11.7%、16.8%、23.4%,最终产量增加 7.2%、10.0%、10.3%,差异均达到显著水平。

表 5 土壤耕作方式对穗部性状及产量的影响

Tab. 5 Soil tillage methods on summer maize ear traits and yield

年份 Years	品种 Hybrids	处理 Treatments	穗粗/cm Ear diameter	穗长/cm Ear length	秃尖/cm Bald	行数/行 Grains per spike	百粒质量/粒 100-seed weight	产量/(kg/hm ²) Yield
2011	XY335	RT	5.0a	17.0bc	1.8ab	15.6b	28.2c	9 592.8c
		NT	5.0a	18.2a	2.2a	16.4ab	31.9ab	10 966.3a
		RTR	5.0a	16.4c	1.1b	16.8ab	30.8b	9 325.5c
		NTR	4.9a	17.7ab	1.8ab	17.2a	32.3a	10 089.5b
	XD20	RT	5.1a	15.1bc	0.4ab	15.6ab	29.6b	10 232.9b
		NT	5.1a	15.5ab	0.8a	15.2b	32.2ab	10 533.0a
		RTR	5.1a	14.9c	0.2b	16.0ab	31.3ab	9 545.3c
		NTR	5.0a	15.8a	0.6ab	16.8a	33.5a	10 390.3ab
	JD28	RT	4.9a	18.6ab	0.7b	12.4b	34.2b	10 217.8c
		NT	4.9a	19.3a	1.4a	12.0b	36.5ab	11 359.5a
		RTR	4.9a	18.4b	1.0ab	13.2ab	35.4ab	9 839.3d
		NTR	4.8a	19.0ab	1.3a	14.0a	37.3a	10 827.0b
2012	XY335	RT	5.1a	15.7b	3.3ab	16.3ab	23.5b	10 163.3bc
		NT	5.1a	17.1a	3.6a	16.6ab	24.1b	11 555.4a
		RTR	5.0a	16.1b	2.8c	15.9b	25.3a	10 043.7c
		NTR	5.1a	16.1b	2.9bc	16.7a	26.2a	11 085.9b
	XD20	RT	5.3a	15.1b	1.3a	15.5b	28.4b	11 366.1b
		NT	5.3a	15.6a	1.5a	16.6a	29.1ab	11 925.3a
		RTR	5.2b	15.1b	0.6b	15.8b	29.0ab	10 679.7c
		NTR	5.3a	15.1b	1.3a	15.9ab	30.1a	10 789.1c
	JD28	RT	4.9b	17.1b	1.3b	12.5b	31.0c	11 513.2b
		NT	5.1a	17.8a	2.2a	13.1a	32.6ab	11 926.4a
		RTR	4.9b	17.3b	0.6c	12.6b	31.9bc	11 297.0c
		NTR	5.1a	17.9a	1.1b	13.5a	33.4a	11 852.2ab

3 讨论与结论

茎倒伏发生与玉米植株农艺性状、茎秆机械强度等有密不可分的关系^[9-18]。国内外学者从不同方面研究了玉米的抗茎倒伏能力:一方面,玉米植株倒伏性与穗下节间平均长度、株高和穗位呈正相关,与茎粗呈负相关;基部节间长粗比对植株的抗倒伏能力影响较大,长粗比越小,植株抗茎折能力越强;通过降低株高,增加茎粗可有效提高植株抗倒能力^[10,14]。另一方面,玉米茎倒伏发生与茎秆机械强度关系密切,孙世贤等^[7]认为拉力值能较真实地反映出植株在田间生长状态下的抗倒伏能力,综合体现茎秆强度和根系发达程度,值越大,植株抗倒伏能力就越强;茎秆穿刺强度与倒伏性呈极显著负相关^[17]。本研究从茎秆农艺性状、力学特征分析土壤耕作方式对玉米植株抗茎倒伏能力的影响。结果表明,旋耕处理能明显降低株高、穗位、重心和基部节

间长粗比,茎秆抗拉力和基部节间机械强度明显增大,倒伏率较低;拔节期培土增加株高、穗位、重心和基部节间长粗比,茎秆抗拉力和基部节间机械强度降低,倒伏发生率高。

本研究还发现,XY335 基部节间长粗比较大,硬度和植株抗拉力较大,但株高和重心较高,基部节间抗折力较小,田间平均倒伏率为 25.2%;JD28 基部节间硬度、长粗比较小,但株高、穗位和重心较低,抗折力较大,未发生茎倒伏。因此,不能单纯地依靠某一指标来衡量作物抗倒伏能力,而应多指标因子进行结合评价。前人研究玉米抗茎倒能力测定部位多为茎基部 1~3 节间^[14],本研究发现,河北省中南部平原玉米茎折部位多发生在地上部 4~5 节间,这与勾玲等^[6]研究相一致。

土壤是作物生长发育的载体,作物生长发育所需要的水、肥、气、热等生活因子与土壤性状密切相关。各项土壤耕作技术措施都是通过改善作物生长

的土壤性状而对作物生长发育发生作用,而且对作物的调控效应存在于其整个生长发育阶段^[19-20]。本研究结果表明,夏玉米播前旋耕能明显提高植株抗茎倒伏能力,但产量较低,穗部性状表现较差。免耕直播处理夏玉米植株抗茎倒伏能力虽不及旋耕处理,但产量最高,穗部性状良好,这与冯延江^[19]研究结果一致,但与邱红波等结论相反^[21];同时,夏玉米免耕直播在河北省小麦、玉米一年两熟农作区采用,能够争取农时,提高光热资源利用率,是目前夏玉米普遍采用的耕种方式。拔节期培土植株抗倒伏能力降低,产量也较低,这与宋日等^[22]研究结果一致。推测这可能与拔节期培土促进玉米功能性生根数量增加、节间变细变长、单位体积干物质变小有关。而且,由于是垄间起土,表土层结构受到破坏,土壤对植株整体固持能力下降,肥水损失严重,导致粒质量和产量降低。

参考文献:

- [1] Tollenaar M, Lee E A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize [J]. *Field Crops Res* 2002, 88: 161 - 169.
- [2] 勾玲, 黄建军, 赵明, 等. 群体密度对玉米茎秆抗倒力学和农艺性状的影响 [J]. *作物学报* 2007, 33 (10): 1688 - 1695.
- [3] Norberg O S, Mason S C, Lowry S R. Ethephon influence on harvestable yield, grain quality, and lodging of corn [J]. *Agron J* 1988, 80: 768 - 772.
- [4] 孙世贤, 戴俊英, 顾慰连, 等. 氮、磷、钾对玉米倒伏及其产量的影响 [J]. *中国农业科学* 1989, 22 (3): 28 - 33.
- [5] Stam P P. Seeding traits of maize as indicators of root lodging [J]. *Agronomie* 1992, 12 (2): 157 - 162.
- [6] 勾玲, 赵明, 黄建军, 等. 玉米茎秆弯曲性能与抗倒能力的研究 [J]. *作物学报* 2008, 34 (4): 653 - 661.
- [7] 孙世贤, 戴俊英, 顾慰连. 密度对于倒伏及产量的影响 [J]. *沈阳农业大学学报* 1989, 20 (4): 413 - 416.
- [8] 许迪. 夏玉米耕作方式对耕层土壤特性时间变异性的影响 [J]. *水土保持学报* 2000, 14 (1): 64 - 70.
- [9] 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.
- [10] 张忠旭, 陈温福, 杨振宇, 等. 抗倒伏能力与茎秆物理性状的关系及其对产量的影响 [J]. *沈阳农业大学学报* 1999, 30 (2): 81 - 85.
- [11] 马均, 马文波, 田彦华, 等. 重穗型水稻植株抗倒伏能力的研究 [J]. *作物学报* 2004, 30 (2): 143 - 148.
- [12] 丰光, 景希强, 黄长玲, 等. 夏玉米抗倒性与茎秆穿刺力和拉力关系的初步研究 [J]. *玉米科学* 2010, 18 (6): 19 - 23.
- [13] 程富丽, 杜雄, 刘梦星, 等. 玉米倒伏及其对产量的影响 [J]. *玉米科学* 2011, 19 (1): 105 - 108.
- [14] Anderson B, White D G. Evaluation of methods for identification of corn genotype with stalk rot and lodging resistance [J]. *Plant Dis* 1994, 78: 590 - 593.
- [15] 孙贵臣, 任元, 马晓磊, 等. 不同种植密度对青贮玉米生物产量及主要农艺性状的影响 [J]. *山西农业科学* 2013, 41 (2): 146 - 148.
- [16] 丰光, 景希强, 李妍妍, 等. 玉米茎秆性状与倒伏性的相关和通径分析 [J]. *华北农学报* 2010, 25 (增刊): 72 - 74.
- [17] 刘仲发, 勾玲, 赵明, 等. 遮荫对玉米茎秆形态特征、穿刺强度及抗倒伏能力的影响 [J]. *华北农学报* 2011, 26 (4): 91 - 96.
- [18] 刘魏魏, 赵会杰, 李红旗, 等. 密度、种植方式对夏玉米茎秆抗倒伏能力的影响 [J]. *河南农业科学* 2011, 40 (8): 75 - 78.
- [19] 冯延江. 免耕覆盖对玉米生长发育及产量的影响 [J]. *黑龙江农业科学* 2008 (3): 32 - 33.
- [20] 张海林, 陈阜, 秦耀东, 等. 覆盖免耕夏玉米耗水特性的研究 [J]. *农业工程学报* 2002, 18 (2): 36 - 39.
- [21] 邱红波, 向腾兵, 龙友华, 等. 免耕栽培对玉米根系性状及其产量的影响 [J]. *贵州农业科学* 2011, 39 (9): 55 - 57.
- [22] 宋日, 吴春胜, 岳杨. 培土对玉米节根特征的影响 [J]. *东北师范大学学报: 自然科学版* 2008, 40 (4): 132 - 135.