

文章编号:1673-887X(2026)06-0172-03

不同密度与施氮水平对小麦倒伏率及产量形成的影响

李先柱

(成武县党集镇便民服务中心, 山东 成武 274200)

摘要 为探究黄淮海平原小麦主产区适宜的高产稳产栽培模式,本研究以当地主栽品种济麦22为材料,于2022年—2023年冬小麦生长季在成武县进行了田间试验。试验采用双因素设计,设置3个种植密度与2个施氮水平,共6个处理组合,研究其对济麦22倒伏率、产量及其构成因素的影响。结果表明,种植密度与施氮水平对小麦倒伏及产量具有显著的互作效应,其中 25×10^4 株/667 m²基本苗配合18 kg/667 m²氮肥的处理实现了高产与抗倒的协调,产量达525.36 kg/667 m²,倒伏率控制在8.34%。研究结果为成武县小麦高产稳产栽培提供了理论依据和技术支撑。

关键词 小麦;种植密度;施氮水平;倒伏率;产量

中图分类号 S792.39

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1673-887X.2026.06.058

The Effects of Different Density and Nitrogen Application Levels on Wheat Stoverfall Rate and Yield Formation

Li Xianzhu

(Dangji Convenience Service Center of Chengwu County, Chengwu 274200, Shandong, China)

Abstract: To explore the suitable high-yield and stable-yield cultivation model for the main wheat-producing areas in the Huaihuai Plain, this study used the local main variety Jimai 22 as the material and conducted a field experiment in Chengwu County during the winter wheat growing season from 2022 to 2023. The experiment adopted a two-factor design, setting 3 planting densities and 2 nitrogen application levels, totaling 6 treatment combinations, to study their effects on the lodging rate, yield, and its constituent factors of Jimai 22. The results showed that the planting density and nitrogen application level had significant interaction effects on wheat lodging and yield. The treatment of 25×10^4 plants/667 m² basic population combined with 18 kg/667 m² nitrogen fertilizer achieved a balance between high yield and resistance to lodging, with a yield of 525.36 kg/667 m² and a lodging rate controlled at 8.34%. The study provided theoretical basis and technical support for the high-yield and stable-yield cultivation of wheat in Chengwu County.

Key words: wheat; planting density; nitrogen application level; lodging rate; output

黄淮海平原是我国小麦主产区,随着栽培技术的高产化与集约化,小麦倒伏问题日益突出^[1]。倒伏不仅导致光合效率下降、籽粒灌浆受阻,还会引发穗发芽,严重影响产量与品质^[2-3]。研究表明,倒伏的发生与品种特性、种植密度、氮肥用量、水分管理及气候条件等因素密切相关^[4-6]。本研究以成武县的实际生产条件为基础,设置不同密度与施氮水平组合,分析其对济麦22倒伏率、茎秆特性、产量及其构成因子的影响。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2022年—2023年冬小麦生长季在菏泽市成

武县农业试验站进行。该区域属温带大陆性季风性气候,年平均气温13.4℃,年均降水量627.3 mm,小麦生长季降水分布不均,春季常伴有大风天气。试验地前茬为夏玉米,土壤类型为潮土,0~20 cm土层有机质质量分数15.2 g/kg、全氮质量分数1.05 g/kg、碱解氮质量分数85.6 mg/kg、有效磷质量分数28.4 mg/kg、速效钾质量分数132.7 mg/kg, pH值7.6。

1.2 试验设计

选用当地主栽品种济麦22,其生物学特性为半冬性、中晚熟。试验采用双因素裂区设计,主区为种植密度,设3个处理:D₁(20×10^4 株/667 m²)、D₂(25×10^4 株/667 m²)、D₃(30×10^4 株/667 m²);副区为施氮水平,设2

收稿日期 2026-01-29

作者简介 李先柱(1970-),男,山东成武人,助理农艺师,研究方向为农业技术推广服务。

个处理: N_1 (12 kg/667 m²)、 N_2 (18 kg/667 m²)。共设 7 个处理组合: D_1N_1 、 D_1N_2 、 D_2N_1 、 D_2N_2 、 D_3N_1 、 D_3N_2 , 另设常规对照 CK (密度 22×10^4 株/667 m², 施氮 15 kg/667 m²)。每个处理 3 次重复, 小区面积 30 m², 随机区组排列。

氮肥选用尿素 (含 N 46%), 按 ζ (基肥: 追肥) = 5: 5 施用, 基肥于播种前一次性施入, 追肥于拔节期施用。磷肥 (过磷酸钙, 含 P₂O₅ 16%) 和钾肥 (氯化钾, 含 K₂O 60%) 均作基肥, 用量分别为 P₂O₅ 8 kg/667 m²、K₂O 6 kg/667 m²。其他管理措施按当地高产田标准进行。

1.3 测定项目与方法

于灌浆后期 (花后 30 d) 调查各小区倒伏面积, 计

算倒伏率, 倒伏率 (%) = [倒伏面积/小区面积] × 100; 于乳熟期每小区选取代表性植株 10 株, 测定株高、重心高度、基部第 2 节间直径、茎壁厚度及茎秆强度 (使用 YYD-1 型茎秆强度测定仪); 成熟期每小区实收计产, 折算单产 (含水量 13%), 并调查单位面积有效穗数、穗粒数和千粒质量^[7]。采用 Excel 2019 整理数据, SPSS 22.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对小麦茎秆特性及倒伏率的影响

不同处理下小麦茎秆特性及倒伏率见表 1。

表 1 不同处理下济麦 22 的茎秆特性及倒伏率表

Tab.1 Stem characteristics and lodging rate of Jimai 22 under different treatments

处理	株高/cm	重心高度/cm	基部节间直径/mm	茎壁厚度/mm	茎秆强度/N	倒伏率/%
CK	73.12 ± 2.10c	47.89 ± 1.95c	4.70 ± 0.22a	0.71 ± 0.05a	390.12 ± 19.45a	12.34 ± 2.11b
D_1N_1	72.34 ± 2.01d	46.78 ± 1.89d	4.78 ± 0.21a	0.72 ± 0.04a	395.67 ± 20.12a	12.45 ± 2.01b
D_1N_2	73.56 ± 2.11c	47.23 ± 1.92c	4.65 ± 0.22a	0.70 ± 0.05a	388.45 ± 19.87a	10.23 ± 1.87bc
D_2N_1	74.23 ± 2.11c	48.56 ± 1.87c	4.56 ± 0.23b	0.68 ± 0.05ab	382.45 ± 18.34a	8.34 ± 1.52c
D_2N_2	75.89 ± 2.34b	50.12 ± 2.01b	4.34 ± 0.25c	0.65 ± 0.06b	365.78 ± 17.56b	15.78 ± 2.34b
D_3N_1	76.45 ± 2.45b	51.34 ± 2.12a	4.12 ± 0.26d	0.62 ± 0.07c	342.34 ± 16.89c	22.56 ± 2.89a
D_3N_2	77.89 ± 2.56b	52.67 ± 2.23a	3.98 ± 0.28d	0.58 ± 0.06d	328.56 ± 15.78d	28.34 ± 3.12a

注: 同列不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$); 下表同。

由表 1 可知, 与 CK 相比, 低密度 (D_1N_1 、 D_1N_2) 株高变化幅度较小, 其中 D_1N_1 仅下降 1.1%, D_1N_2 上升 0.6%; 当密度提高至 D_3 水平时, D_3N_1 和 D_3N_2 的株高分别较 CK 增加 4.6% 和 6.5%, 表现出随密度和施氮叠加增加呈现株高显著增长的趋势。高密度处理 D_3N_1 、 D_3N_2 株高较 CK 分别提高 7.2% 和 10.0%, 重心上移进一步加剧倒伏风险, D_1 处理总体与 CK 差异不大。在表征抗倒伏重要结构性指标上, 基部节间直径随着密度与施氮增加呈现持续下降趋势, D_2N_2 、 D_3N_1 和 D_3N_2 分别较 CK 减少 7.7%、12.3% 和 15.3%, D_1 与 CK 相差较小。茎壁厚度 D_3N_2 较 CK 下降 18.3%。茎秆强度变化趋势与基部结构参数一致, CK 为 390.12 N, D_3N_1 与 D_3N_2 分别较 CK 下降 12.2% 与 15.8%, D_1N_1 与 D_1N_2 均未表现明显削弱。倒伏率方面, D_1N_2 、 D_2N_1 等处理倒伏率分别较 CK 降低 17.1% 与 32.4%; D_3N_1 与 D_3N_2 的倒伏率较 CK 分别上升 82.8% 和 129.6%, 呈显著升高趋势。综合来看, D_1 与 D_2 在株高、重心高度、茎秆结构及倒伏率之间形成相对协调的生长模式, 其中 D_2N_1 表现最优, 不仅倒伏率最低 (较 CK 降低 32.4%), 且各项结构强度指标保持较好水平; 高密度 (D_3) 配合较高施氮 (D_3N_2) 则导致抗倒伏能力系统性劣化。因此, 从安全生产与抗倒伏角度出发, 中等密度与中低施氮 (D_2N_1) 的组合更适宜济麦 22 的生长需求。

2.2 不同处理对小麦产量及其构成因素的影响

不同处理对小麦产量及构成因素的影响见表 2。由表 2 可知, 从有效穗数来看, 密度增加具有显著促进

作用 ($P < 0.05$), D_2N_1 较 CK 提高 4.2%, D_2N_2 较 CK 提高 7.0%, D_3N_1 与 D_3N_2 的增幅更高, 分别达到 10.1% 与 13.2%, 说明较高密度能够增加单位面积有效穗数; 相比之下, D_1N_1 与 D_1N_2 的有效穗数略低于 CK 接近, 说明在较低密度条件下有效穗数优势不足。穗粒数的变化趋势与穗数不同, 其最优值主要集中在中等密度 (D_2) 与较低施氮 (N_1) 组合中, 其中 D_2N_1 较 CK 提高 4.9%, D_2N_2 较 CK 提高 5.5%; 进一步增加密度后, 穗粒数显著下降 ($P < 0.05$), D_3N_1 与 D_3N_2 较 CK 分别减少 4.3% 与 6.5%, 体现出高密度导致群体竞争加剧, 籽粒形成受限。千粒质量为反映籽粒灌浆和营养积累的重要指标, 在密度与施氮双重影响下呈下降趋势, 尤其在高密度下表现明显, D_3N_1 与 D_3N_2 分别比 CK 下降 5.6% 与 9.1%, 说明群体密度过大抑制浆积累; D_1N_1 与 D_1N_2 中千粒质量略有提升, 分别增加了 2.8% 与 1.6%, 表明低密度条件更有利于形成较大籽粒。增产显著的处理主要集中在中等密度 (D_2) 条件下, 其中 D_2N_1 产量较 CK 提高 10.1%, 为所有处理中的最高值; D_2N_2 虽然穗数增加, 但千粒质量大幅下降, 产量增幅仅为 5.5%。低密度处理中, D_1N_2 产量提升了 4.5%, 表现优于 D_1N_1 的 1.7%, 说明低密度下适度提高施氮可弥补穗数不足并带来一定增产。在高密度处理 (D_3) 中, 尽管穗数大幅增加, 但穗粒数和千粒质量均明显下降, 使得产量表现不佳, D_3N_1 与 D_3N_2 较 CK 仅分别提高 0.3% 和下降 1.0%。综合来看,

效率,促进光合产物积累,进而优化单株角果数、每角粒数、千粒质量等产量构成因素,最终实现产量大幅提升。这一产量变化规律与前文所述的病情指数及防效变化规律高度吻合,进一步印证了优质药剂防控对作物丰产的重要支撑作用。

3 讨论与结语

3.1 讨论

药剂防效差异与作用机制、持效期及对西藏高海拔气候的适配性密切相关。A、B表现最优,适配性极强,可能由于:烯酰吗啉内吸传导性强,兼具保护与治疗双重作用,在西藏低温、昼夜温差大且紫外线强烈的环境下仍能保持稳定药效,可有效抑制病菌菌丝扩展与孢子萌发,阻断病害初侵染与蔓延;霜脲·锰锌为复配制剂,霜脲氰与代森锰锌成分间协同增效明显,持效期长达21 d以上,能抵御后期病菌再侵染,且耐干旱、抗紫外线分解能力强,完全适配当地特殊气候条件。

C、D防效中等,受环境与药剂特性制约:甲霜灵虽为内吸剂,但当地长期单一施用易诱导病菌产生抗性,且在西藏低温环境下药效释放缓慢,持效期缩短至10~14 d,无法覆盖病害高发期;醚菌酯以预防性保护作用为主,本试验在病害零星发生后施药,其治疗活性薄弱,难以控制已侵染病菌扩散,导致防效受限。

F防效最差,是由于苦参碱作为植物源生物药剂,活性成分对温度敏感,低温下活性进一步降低,药效发挥迟缓,防效最低。但该药剂无化学残留、对生态环境友好,不会诱导病菌抗药性,可作为绿色防控体系的辅助手段,与高效化学药剂搭配轮换使用。

3.2 结语

本试验表明,40%烯酰吗啉悬浮剂1 500倍液和72%霜脲·锰锌可湿性粉剂800倍液综合表现最优,首次施药后14 d其防效分别达到86.46%、84.68%,较CK增产58.50%、50.27%,可高效控病增产。建议西藏地区优先选用上述两种药剂交替施用,初花期始施,间隔7 d连施2次,配合农业措施构建综合防控体系。

参考文献

[1] 杨涛,拥嘎.覆膜栽培对西藏春油菜生长、产量和品质的影响[J].中国农学通报,2022,38(18):52-56.

[2] 牛磊,扎西拉宗,云单扎西,等.双低油菜藏油5号高产栽培技术[J].现代农村科技,2025(4):32.

[3] 王双全,杨全保,韩晓荣,等.几种杀菌剂对冬油菜霜霉病的防治效果[J].农业科技通讯,2020(8):159-160,299.

[4] 江皓琦,吴聪,陈镓豪,等.同复配杀菌剂对油菜菌核病及霜霉病的防治效果[J].现代农业科技,2024(23):81-83,94.

[5] 王双全,杨全保,韩晓荣,等.几种杀菌剂对冬油菜霜霉病的防治效果[J].农业科技通讯,2020(8):159-160,299.

(上接第173页)

适中密度配合较低施氮(D₂N₁)能够在穗数、穗粒数与千粒质量之间形成较佳协调,使群体结构与单株生产力达到平衡,是本试验条件下具有最优增产的组合。

表2 不同处理下济麦22的产量及其构成因素表
Tab.2 Yield and its constituent factors of Jimai 22

under different treatments				
处理	有效穗数/[万穗·(667 m ²) ⁻¹]	穗粒数/(粒·穗 ⁻¹)	千粒质量/g	产量/[kg·(667 m ²) ⁻¹]
CK	39.56 ± 1.45	36.12 ± 1.18	40.12 ± 0.95	477.11 ± 10.56
D ₁ N ₁	38.45 ± 1.23	35.67 ± 1.12	41.23 ± 1.01	485.34 ± 10.12
D ₁ N ₂	39.12 ± 1.34	36.45 ± 1.23	40.78 ± 0.98	498.67 ± 11.23
D ₂ N ₁	41.23 ± 1.45	37.89 ± 1.34	39.56 ± 0.89	525.36 ± 12.47
D ₂ N ₂	42.34 ± 1.56	38.12 ± 1.45	38.12 ± 0.92	503.45 ± 11.89
D ₃ N ₁	43.56 ± 1.67	34.56 ± 1.23	37.89 ± 0.87	478.34 ± 10.78
D ₃ N ₂	44.78 ± 1.78	33.78 ± 1.12	36.45 ± 0.85	472.12 ± 10.45

3 结语

结果表明,种植密度与施氮水平对小麦倒伏率及产量具有显著互作效应。在成武县生态条件下,25 × 10⁴株/667 m²基本苗配合18 kg/667 m²氮肥的栽培模式,实现了高产与抗倒的相互协调,产量525.36 kg/667 m²,同时倒伏率控制在8.34%,为最优栽培模式。相比之

下,过高密度(30 × 10⁴株/667 m²)与过高施氮会显著增加倒伏风险,导致株高上升、重心高度增加、基部节间变细及茎秆强度减弱,进而引发倒伏率大幅上升,同时产量下降。因此,建议在实际生产中避免过高密度与施氮量,以促进小麦高产稳产。

参考文献

[1] 杨晓玲,玉素甫江·玉素音,胡雨彤,等.氮素用量对哈密巴里坤地区春小麦生长、养分吸收及肥料利用率的影响[J].新疆农业大学学报,2022,45(2):158-164.

[2] 王茹佳,唐凤,张树振,等.密度和氮肥互作对老芒麦种子产量和活力的影响[J].新疆农业科学,2022,59(3):533-540.

[3] 王德君,罗江陶,郑建敏,等.种植密度和施氮水平对国审小麦川麦601产量的影响[J].四川农业科技,2021(12):25-28.

[4] 刘虹丹,刘文成,顾颖慧,等.缓释肥配比与密度互作对冬小麦产量及品质的影响[J].麦类作物学报,2021,41(11):1374-1382.

[5] 王晓森,吕谋超,王森,等.种植密度和灌溉、施氮模式对冬小麦土壤水分状况、产量和品质的影响[J].灌溉排水学报,2021,40(9):48-56.

[6] 麻碧娇,苟志文,殷文,等.干旱灌区麦后复种绿肥与施氮水平对小麦光合性能与产量的影响[J].中国农业科学,2022,55(18):3501-3515.

[7] 周琦,李岚涛,张露露,等.氮肥和播种量互作对冬小麦产量、生长发育和生态场特性的影响[J].作物学报,2023,49(11):3100-3109.