

不同灌溉模式对咸麦 341 产量及品质的影响

姚俭昕, 姚红妮, 魏艳丽, 王彬龙, 蒋会利, 刘忠艳, 张平, 杨凤仙, 李瑞国

(咸阳市农业科学研究院, 陕西 咸阳 712034)

摘要:为探究适宜关中地区冬小麦的灌溉模式, 于 2023 年-2024 年以咸麦 341 为研究材料, 研究不同灌溉模式对冬小麦产量及品质相关性状的影响。设置全生育期不灌溉、越冬期灌溉、拔节期灌溉、越冬期+拔节期灌溉、越冬期+拔节期+灌浆期灌溉共 5 种灌溉模式, 每次灌溉量为 75 mm。结果表明: 不同灌溉模式对穗数、千粒重和产量影响显著, 对穗粒数影响较小, 主要通过影响穗数影响产量, 且产量与灌溉次数成正比; 不同灌溉模式对形成时间和稳定时间影响显著, 对粗蛋白、湿面筋和吸水率影响显著, 且整体上各品质性状间均呈正相关, 选择合理栽培措施可实现同步提升; 全生育期不灌溉品质较好但产量最低, 越冬期灌溉品质较差但产量最高, 拔节期灌溉品质较好产量较高, 越冬期+拔节期灌溉品质较差但产量较高, 越冬期+拔节期+灌浆期灌溉品质较差但产量较高, 结合关中地区生产实际, 拔节期灌溉可以提升产量品质, 具有较好的经济效益。

关键词:小麦; 灌溉模式; 产量; 品质

中图分类号: S512 文献标识码: A 文章编号: 0488-5368(2026)04-0036-06

Effects of Different Irrigation Regimes on Yield and Quality of 'Xianmai 341'

YAO Jianxin, YAO Hongni, WEI Yanli, WANG Binlong, JIANG Huili,

LIU Zhongyan, ZHANG Ping, YANG Fengxian, LI Ruiguo

(Xianyang Research Institute of Agricultural Sciences, Xianyang, Shaanxi 712034, China)

Abstract: Appropriate irrigation regimes are important for improving the yield and quality of winter wheat in the Guanzhong region. A field experiment was conducted during 2023-2024 using 'Xianmai 341' as the experimental material to investigate the effects of different irrigation regimes on yield and quality-related traits of winter wheat. Five irrigation regimes were established: no irrigation throughout the whole growth period, irrigation at the overwintering stage, irrigation at the jointing stage, irrigation at both the overwintering and jointing stages, and irrigation at the overwintering, jointing, and grain-filling stages, with 75 mm applied at each irrigation event. The results showed that the irrigation regimes significantly affected spike number, 1,000-grain weight, and grain yield, but had relatively little effect on grain number per spike. Grain yield was mainly affected through changes in spike number and increased with the number of irrigation. The irrigation regimes also significantly affected development time, stability time, protein content, wet gluten content, and water absorption, and overall these quality traits were positively correlated with one another, indicating that simultaneous improvement in multiple quality traits may be achieved through appropriate cultivation practices. Among the treatments, no irrigation throughout the whole growth period resulted in better quality but the lowest yield; irrigation at the overwintering stage resulted in poorer quality but the highest yield. Irrigation at the jointing stage produced relatively good quality and comparatively high yield, whereas irrigation at the overwintering plus jointing stages and irrigation at the overwintering plus jointing plus grain-filling stages resulted in poorer quality but relatively high yield. Consid-

收稿日期: 2025-04-11 修回日期: 2025-06-23

基金项目: 秦创原咸阳种业创新项目(qcyzycx-nkqn2023-3)。

第一作者简介: 姚俭昕(1993-), 农艺师, 从事小麦遗传育种与高产高效栽培技术研究。

通信作者: 李瑞国。

ering the actual production conditions in the Guanzhong region, irrigation at the jointing stage is the most suitable irrigation regime, as it improves both yield and quality and provides better economic benefits.

Key words: Wheat; Irrigation Regimes; Yield ; Quality

小麦作为全球最重要的粮食作物之一,作为超过 35% 人口的主食来源,其生产稳定性直接关系到粮食安全与农业可持续发展,随着气候变化加剧、水资源短缺问题日益严峻,农业生产面临灌溉用水效率与作物产量协同提升的双重挑战。因此,探索高效节水灌溉模式已成为现代农业研究的议题之一。

在小麦生育周期中,冬季适量灌水可维持土壤墒情,保障小麦正常生长发育,但不同地区冬季灌水情况存在差异,例如,关中地区冬季灌水后小麦增产 31.25% 左右,但品质有所下降^[1]。在山西晋中冬季灌溉后小麦产量提高 44.85% 左右,蛋白质含量增加 46.89% 左右^[2]。在河南开封冬季灌溉后小麦产量显著提高 25.15% 左右,蛋白质含量略有增加^[3]。而河北地区冬季灌溉后小麦产量反而下降^[4];小麦拔节期灌溉可以明显增加株高,有利于增加冠层温差,促进主茎生长发育^[5],还可以显著促进作物营养生长和根系生长^[6],进一步影响成穗数、穗粒数、千粒重及最终产量^[7];小麦灌浆期则是粒重形成的关键时期^[8-9],此时期增加灌水对穗花发育具有直接的促进作用^[10],多数研究表明此时期灌水可以显著提升产量^[11-12],这可能是由于灌溉处理影响灌浆持续时间,而灌浆持续时间直接影响籽粒形成,进而影响产量及品质^[13],而干旱胁迫会影响最大灌浆速率,影响产量^[14-15]。因此探究不同灌溉模式对小麦产量及品质的影响,对应气候变化和水资源短缺等挑战来提高小麦产量和品质、促进农业可持续发展等具有重要意义。

本研究以陕西省审定灌区小麦品种咸麦 341 为研究材料,通过设置 5 种不同灌溉模式,综合评价不同灌溉模式对小麦产量及品质的影响,研究结果旨在为探究关中地区冬小麦适宜灌溉措施提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 基本情况

试验材料选用咸麦 341,于 2023 年 10 月种植于咸阳市农业科学研究院试验田,试验地土壤类型为垆土,酸碱度为 8.44,0~20 cm 耕层土壤养分含量为:有机质为 14.84 g/kg,铵态氮为 4.03 mg/kg,速效磷为 43.96 mg/kg,速效钾为 304.59 mg/kg。共设置 5 个灌溉处理(T1:全生育期不灌溉;T2:越冬

期灌溉;T3:拔节期灌溉;T4:越冬期+拔节期灌溉;T5:越冬期+拔节期+灌浆期灌溉),以灌溉处理为主要因素,裂区设计,每个处理设三次重复,随机排列,每小区 15 行,行长 4 m,行距 20 cm,小区间隔 50 cm,各灌区间隔 3 m,每次灌溉量 75 mm。播种前氮、磷、钾肥分别按照每平方米 108 kg、180 kg 和每平方米 90 kg 作为基肥一次施入,拔节期追加氮肥每平方米 72 kg,越冬期前化学除草,4 月中下旬至 5 月上旬将杀菌剂、杀虫剂、叶面肥或植物生长调节剂科学混配后一次性喷施,同步防治病虫害。

1.2 调查统计

在各个性状的最佳调查时期对各性状进行测量和统计,包括穗数、穗粒数、千粒重等产量相关性状;水分含量、蛋白质含量、湿面筋含量、形成时间、稳定时间等品质相关性状。

1.2.1 产量相关性状调查 在小麦灌浆期时,使用浙江托普仪器有限公司 TPMS-1 小麦穗数测量仪测定穗数;成熟期时在小区内随机选取 15 穗测量穗粒数;收获后测产并使用浙江托普仪器有限公司 TPKZ-1-G 作物考种分析仪测量千粒重。

1.2.2 品质相关性状调查 使用近红外品质分析仪测量品质相关性状,包括水分含量、蛋白质含量、干湿面筋含量、形成时间、稳定时间等性状。

1.3 数据处理

使用 Excel 软件进行初步数据处理,然后选用 R 语言(Version 4.4.0)进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉模式对产量相关性状的影响

由表 1 和表 2 可知,不同灌溉模式可以显著影响穗数,穗数平均值为 579.92 万个/hm²,变化区间为 488.15~654.90 万个/hm²,T1 处理最低,T5 处理最高,表明穗数与灌溉量成正比;穗粒数平均值为 44.20,变化区间为 38.00~51.25,T2 处理最低,T4 处理最高,表明越冬期灌溉可以增加穗粒数;千粒重平均值为 46.39 g,变化区间为 43.61~48.63 g,T1 处理最高,由于水分胁迫可加速灌浆进程,缩短灌浆周期,使养分更集中的输送到籽粒中,从而提高千粒重;产量易受不同灌溉模式影响,产量平均值为 5 650.15 kg/hm²,变化区间为 3 907.65~7 041.67 kg/hm²,T1 处理最低,T5 处理最高,表明产

量与灌溉次数成正比。由图 1 可知,产量与穗数呈显著正相关、与千粒重显著负相关,穗数与千粒重显著负相关。

表 1 产量相关性状描述性统计

描述统计	穗数 /hm ²	穗粒数	千粒重 /g	产量 (kg/hm ²)
平均值	579.92	44.20	46.39	5 650.15
标准差	285.39	3.47	1.40	0.95
最小值	488.15	38.00	43.61	3 907.65
最大值	654.90	51.25	48.63	7 041.67
标准误差 r	73.69	0.90	0.36	0.25

注: SN: 穗数; GS: 穗粒数; TGW: 千粒重; Y: 产量,

下同。

表 2 不同灌溉模式下产量相关性状比较

处理	穗数 /hm ²	穗粒数	千粒重 /g	产量 (kg/hm ²)
T1	520.20c	43.38ab	48.35a	4 833.34c
T2	577.05b	40.33b	46.65ab	5 750.23b
T3	574.40b	43.75ab	45.32b	5 725.44b
T4	595.32ab	48.17a	45.45b	5 841.67b
T5	632.63a	45.38a	46.16b	6 075.04a

注: 同列数据后不同小写字母代表性状间差异显著 ($P < 0.05$)。

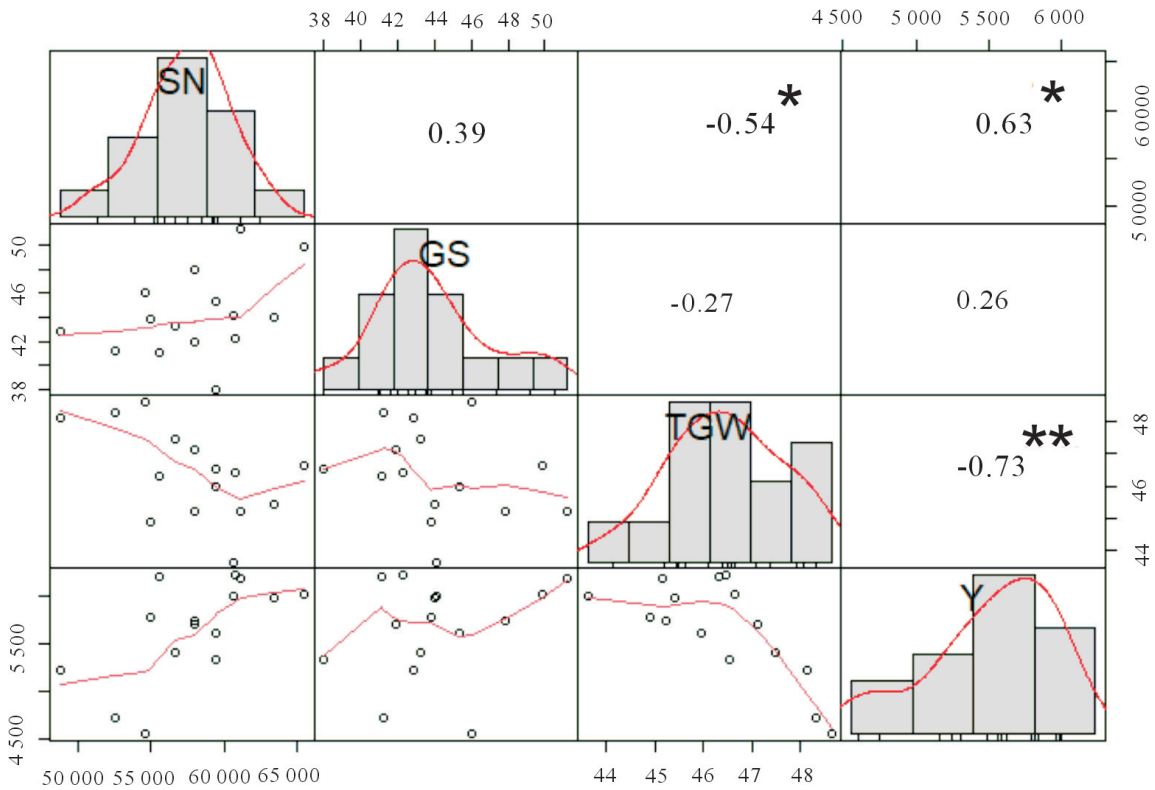


图 1 产量相关性状间相关性分析

2.2 不同灌溉模式对品质相关性状的影响

由表 3 和表 4 可知,蛋白质含量平均值为 11.94%,变化区间为 11.24%~12.47%, T1 与 T3 处理下无显著差异,均显著高于其他处理,表明适度水分胁迫可以显著提升蛋白质含量;湿面筋含量平均值为 26.70%,变化区间为 25.15%~28.13%, T1 与 T3 处理下无显著差异,均显著高于其他处理,表明水分胁迫可以显著提升湿面筋含量;吸水率平均值为 62.43%,变化区间为 61.02%~63.99%, T1、

T3 和 T5 处理下无显著差异,均显著高于其余处理;形成时间平均值为 3.06 min,变化区间为 2.31~4.37 min, T1 处理下最大, T4 处理下最小,与灌溉量成反比;稳定时间平均值为 6.03 min,变化区间为 4.73~8.63 min,与灌溉量成反比。由图 2 可知,整体上各灌溉模式间差异较小,且各性状间均正相关,表明品质性状受不同灌溉模式影响较小,且各性状间可能受共同环境因子调控。

表 3 品质相关性状描述性统计

描述统计	粗蛋白/%	湿面筋/%	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min
平均值	11.94	26.70	62.43	3.06	6.03
标准差	0.31	0.84	0.90	0.58	1.15
最小值	11.24	25.15	61.02	2.31	4.73
最大值	12.47	28.13	63.99	4.37	8.63
标准误差	0.08	0.22	0.23	0.15	0.30

注: P:粗蛋白;WG:湿面筋;WA:吸水率;DT:形成时间;ST:稳定时间,下同。

表 4 不同灌溉量下品质相关性状比较

处理	粗蛋白/%	湿面筋/%	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min
T1	12.35a	27.72a	63.14a	3.65a	7.32a
T2	11.78b	26.36b	61.75b	3.29abc	5.66bc
T3	12.09ab	27.34a	63.25a	3.47ab	6.89ab
T4	11.80b	25.98b	61.66b	2.54c	4.94c
T5	11.70b	26.11b	62.34ab	2.75bc	5.35c

注:同列数据后不同小写字母代表性状间差异显著($P<0.05$)。

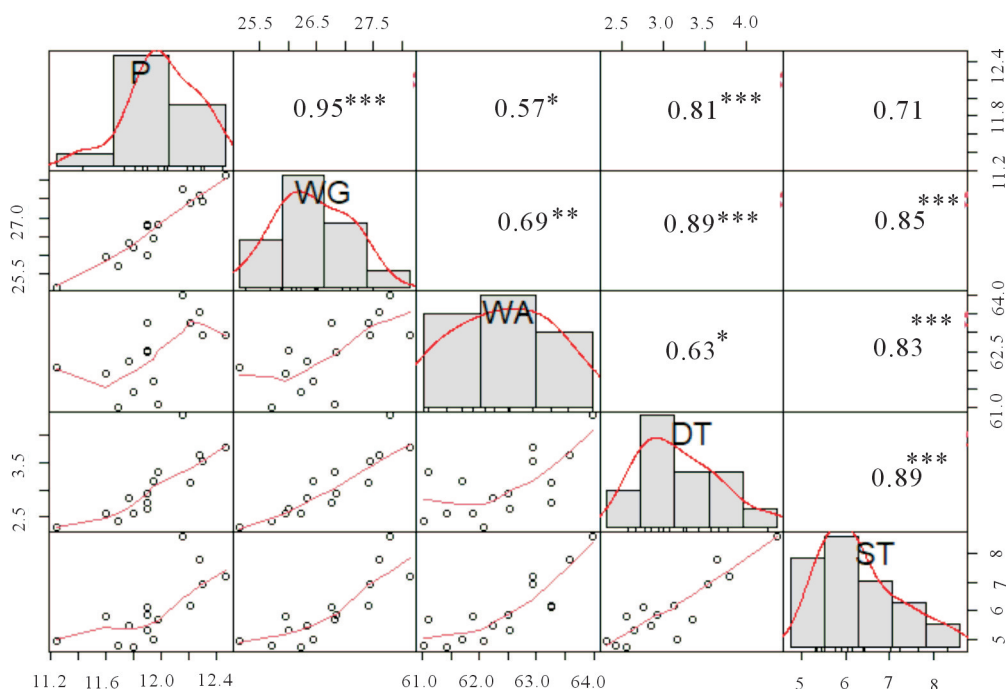


图 2 品质相关性状间相关性分析

3 结论

在产量方面,灌溉模式主要通过影响穗数和千粒重影响产量,且灌溉次数与穗数和产量正相关,与千粒重负相关;在品质方面,粗蛋白、湿面筋和吸水率受灌溉模式影响较小,但各品质性状间整体上呈正相关,说明选择合理灌溉模式可实现多个品质性状同步提升;因此,结合关中地区生产实际,拔节期灌溉不仅可以提高产量提升品质,还可有效缓解本区域水资源压力,并获得较好的经济效益。

4 讨论

4.1 不同灌溉模式对产量相关性状的影响

本研究发现 T1 处理穗数及产量最低,但千粒重最高,说明在极端水分胁迫下,冬小麦会通过减少分蘖降低总需水量,并将有限资源集中于籽粒中;T2 和 T3 处理的产量及三要素均无显著差异,这可能是由于冬季灌溉能通过增加土壤热容量缓解冻害风险,而拔节期灌溉则直接满足穗数形成需求,两者在关键阶段的水分补偿作用可能相互抵消,最终产量相关性状表现趋同;T4 处理穗粒数最

高,而 T5 处理穗数和产量最高,这说明在不同灌溉模式下,产量主要受穗数影响。由于各地区的气候条件、土壤特性与小麦种植品种均存在差异,产量三要素与产量关系有所不同,多数研究结果表明穗数与产量显著正相关^[21-24],本研究亦表明两者正相关,咸麦 341 是由洛麦 21 与中麦 895 选育而来,其中,洛麦 21 的大分蘖成穗比例对产量的贡献最大^[25],而中麦 895 作为陕西省高产创建主要品种,灌溉次数少于三次时水分利用率较高,稳产性强^[26],咸麦 341 产量形成及表现上与双亲接近。多数研究表明小麦产量与灌溉次数呈抛物线关系^[16-20],而本研究发现小麦产量随灌溉次数增加而增加,可能由于咸麦 341 水分利用率较高,产量潜力较大,具体原因有待进一步研究分析。

4.2 不同灌溉模式对品质相关性状的影响

本研究发现全生育期不灌溉时冬小麦品质最好,这是由于小麦籽粒的蛋白质合成依赖氮素积累,而淀粉合成依赖光合产物,因此在干旱条件下,植株倾向于将更多光合产物分配到蛋白质合成中,以提高籽粒品质。前人研究表明小麦品质极易受灌溉模式影响^[27],例如有研究表明,小麦生育后期灌溉会显著降低小麦蛋白质含量^[28-29]、湿面筋含量、沉降值^[30],受到水分胁迫则可以增加小麦蛋白质含量^[31],而且强筋小麦生产中一般不提倡生育后期灌溉^[32]。但也有研究认为小麦生育后期适当灌水可以提高赖氨酸含量、沉淀值和干湿面筋含量^[33-34]。本研究发现各品质性状整体表现为随灌溉次数增加而下降,但 T3 与 T1 处理的品质相关性状间无显著差异,表明咸麦 341 在拔节期灌溉品质较好,这可能是由于其根系结构或生理调节机制使其能够在拔节期单次灌溉条件下有效吸收水分并维持籽粒灌浆所需的水分平衡,从而保障蛋白质、淀粉等品质性状的稳定,具体机制有待进一步研究。

4.3 不同灌溉模式经济效益差别

各灌溉模式经济效益差异主要体现在收入和浇地费用上,由于关中地区地处黄河流域下游,属暖温带半湿润半干旱季风气候,年平均温度 9~13℃,年均降雨量 500~800 mm,属典型少雨缺水型区域^[35],浇地成本偏高,因此,综合关中地区气候特征、田间投入成本及收入来看,拔节期灌溉可显著提升区域水资源利用效率并降低灌溉成本,且可获得较好的经济效益。

参 考 文 献:

[1] 张睿,侯宇,李凤艳,等.喷灌对秦岭北麓旱地小麦产

量及品质的效应[J].麦类作物学报,2017,37(6):815-819.

- [2] 禹静涛,赵晨,双丽,等.灌水对强筋小麦籽粒产量及营养品质的影响[J].麦类作物学报,2020,40(12):1514-1523.
- [3] 陈雨露,康娟,王家瑞,等.灌水与施磷对小麦氮素积累运转及水分利用效率的影响[J].麦类作物学报,2019,39(9):1095-1104.
- [4] 张冲,侯大山,张振卫,等.小麦新品种石农 086 不同节水灌溉模式试验初报[J].农业科技通讯,2018(11):93.
- [5] 高振贤,史占良,韩然,等.不同灌水模式对小麦产量、形态和生理特性的影响[J].麦类作物学报,2019,39(10):1234-1240.
- [6] 张喜英.华北典型区域农田耗水与节水灌溉研究[J].中国生态农业学报,2018,26(10):1454-1464.
- [7] 刘志良,李晓爽,曹彩云,等.春灌一水时间对冬小麦灌浆特性和水分利用效率的影响[J].中国生态农业学报,2021,29(8):1296-1304.
- [8] 栗丽,洪坚平,王宏庭,等.水氮处理对冬小麦生长、产量和水氮利用效率的影响[J].应用生态学报,2013,24(5):1367-1373.
- [9] 寇雯萍.不同生育期灌水和施氮对河西地区春小麦生长和水氮利用的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [10] 刘冲,贾永红,张金汕,等.播种方式和灌水量对春小麦干物质和产量的影响[J].麦类作物学报,2019,39(6):728-737.
- [11] 曹连升,赵凤娟,高正,等.不同灌溉模式对小麦节水品种的影响分析[J].基层农技推广,2019,7(10):17-19.
- [12] 姚宁,宋利兵,刘健,等.不同生长阶段水分胁迫对旱区冬小麦生长发育和产量的影响[J].中国农业科学,2015,48(12):2379-2389.
- [13] 魏艳丽,王彬龙,李瑞国,等.咸阳地区灌溉模式对小麦籽粒灌浆特性的影响[J].安徽农学通报,2018,24(17):28-30.
- [14] 姚素梅,康跃虎,刘海军,等.喷灌和地面灌溉条件下冬小麦的生长过程差异分析[J].干旱地区农业研究,2005(5):143-147.
- [15] 宋霄君,张敏,李秉昌,等.干旱胁迫对小麦营养器官物质转运和籽粒灌浆特性的影响[J].中国农学通报,2016,32(15):25-31.
- [16] 马俊永,李科江,曹彩云,等.河北低平原春季不同灌溉量对小麦产量的影响趋势研究[J].河北农业科学,2008(3):13-15.
- [17] 曹彩云,党红凯,郑春莲,等.不同灌溉模式下小麦荧光特征及品种抗旱性研究[J].麦类作物学报,2017,37(11):1434-1444.
- [18] 李莎莎,马耕,刘卫星,等.大田长期水氮处理对土壤氮素及小麦籽粒淀粉糊化特性的影响[J].作物

- 学报,2018,44(7):1 067-1 076.
- [19] 王德梅,于振文.灌溉量和灌溉时期对小麦耗水特性和产量的影响[J].应用生态学报,2008(9):1 965-1 970.
- [20] 孙景生,康绍忠.我国水资源利用现状与节水灌溉发展对策[J].农业工程学报,2000(2):1-5.
- [21] 邵敏敏,赵凯,徐兴科,等.不同灌溉施肥方式对小麦群体及产量的影响[J].安徽农业科学,2019,47(10):35-37.
- [22] 吴永成,张永平,周顺利,等.不同灌水条件下冬小麦的产量、水分利用与氮素利用特点[J].生态环境,2008,17(5):2 082-2 085.
- [23] 杨洪强,顾晶晶,田文仲,等.不同灌水处理对小麦产量和籽粒品质的影响[J].江苏农业科学,2022,50(19):74-78.
- [24] 杨永安,马志琪,侯海鹏,等.节水灌溉对小麦产量及水肥利用效率的影响试验研究[J].天津农林科技,2021(1):15-17.
- [25] 张学品,冯伟森,余四平,等.播期对洛麦 21 生长发育的影响[J].江西农业学报,2010,22(2):4-7.
- [26] 张勇,阎俊,肖永贵,等.中麦 895 高产稳产优质特性遗传解析[J].中国农业科学,2021,54(15):3 158-3 167.
- [27] 杨晓婉,朱志明,马自清,等.小麦品质影响因子研究进展[J].耕作与栽培,2019(5):30-38.
- [28] Singh N K, Shepherd K W. Linkage mapping of genes controlling endosperm storage proteins in wheat [J]. Theoretical & Applied Genetics, 1988, 75 (4): 628-641.
- [29] Barber J S. Factors influencing the grain yield and quality in irrigated wheat [J]. J Agric Sci, 1987, 109 (1): 19-26.
- [30] 许振柱,于振文,王东,等.灌溉条件对小麦籽粒蛋白质组分积累及其品质的影响[J].作物学报,2003(5):682-687.
- [31] Ozturk A, Aydin F. Effect of Water Stress at Various Growth Stages on Some Quality Characteristics of Winter Wheat [J]. Journal of Agronomy & Crop Science, 2010, 190(2): 93-99.
- [32] 王育红,姚宇卿,吕军杰,等.水分调控对强筋小麦产量和品质影响[J].干旱地区农业研究,2006(6):25-28.
- [33] 毛凤梧,赵会杰,徐立新,等.水肥运筹对小麦品质形成的调控效应[J].河南农业大学学报,2001(1):13-15.
- [34] 王月福,陈建华,曲健磊,等.土壤水分对小麦籽粒品质和产量的影响[J].莱阳农学院学报,2002(1):7-9.
- [35] 贾琼,宋孝玉,宋淑红,等.基于 LMDI-SD 耦合模型的关中地区水资源承载力动态预测与调控[J].干旱区研究,2023,40(12):1 918-1 930.
-
- (上接第 27 页)
- [8] A M, B S P, R E. Yield performance and agronomic characteristics of several candidate hybrid maize varieties on uncultivated land [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023, 1 230 (1): 126-133.
- [9] 李永德,孙学保,芦娟,等.武威市不同青贮玉米品种主要农艺性状及产量构成性状研究 [J]. 天津农业科学, 2023, 29(9): 25-31.
- [10] 郝春艳,郑志明,孙振仓,等. 2022 年博兴县夏播玉米品种比较试验 [J]. 现代园艺, 2023, 46 (17): 71-74.
- [11] 侯兆武,门洪文,孙其国,等. 2022 年济南市玉米品种比较试验 [J]. 农业科技通讯, 2023(5): 37-41.
- [12] 尚大朋,邢旭飞,尚晓丽. 许昌市夏玉米品种农艺性状及产量探究 [J]. 河南农业, 2023(13): 49-50.
- [13] 拓云,段玉燊,刘媛君,等. 延安市不同玉米品种试验研究 [J]. 现代农业科技, 2023(6): 42-45+49.
- [14] 童成昊,周文章,莫本田,等. 喀斯特地区不同青贮玉米品种的综合评价 [J]. 草业科学, 2023, 40 (2): 482-490.
- [15] 倪磊,由光全,杨彦鹏,等. 生地湾农场 12 个玉米品种对比试验 [J]. 农业科技与信息, 2022(24): 22-25.
- [16] 朱丽丽,张业猛,李万才,等. 39 个我国不同生态区培育的青贮玉米品种在青海高原适应性研究 [J]. 草业学报, 2023, 32 (4): 68-78.
- [17] Santos D F W, Bequiman S R L, Maciel C L, et al. Agronomic Performance of Corn Cultivars in Low-Altitude in the Cerrado-Amazon Ecotone [J]. Annual Research & Review in Biology, 2020, 35(12): 126-133.
- [18] Maciel C L, Santos D F W, Peluzio M J, et al. Agronomic Performance of Corn Cultivars as a Function of Phosphorus Use [J]. Annual Research & Review in Biology, 2020, 35(12): 99-108.
- [19] YD C S, MS L. Comparative study on the growth and yield of Sabah corn cultivars planted on 25% dairy farm effluent compost and 75% Silabukan soil [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2022, 2 314(1): 1-10.
- [20] NRGene Delivers to Global Researchers Multiple Maize Genomes Toward the First Maize Pangenome; Assembly of multiple varieties of maize to assist the efficient breeding of more productive varieties, gene editing, and the discovery of key agronomical traits [J]. M2 Presswire, 2018(1): 1-5.