

蔡明浩, 赵杰, 胡梦芸, 等. 干旱和低氮胁迫对冬小麦产量、品质相关性状的影响[J]. 山西农业科学, 2025, 53(2): 113-123.
CAI M H, ZHAO J, HU M Y, et al. Effects of drought and low nitrogen on yield and quality related traits of winter wheat[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(2): 113-123.

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2025.02.14

干旱和低氮胁迫对冬小麦产量、品质相关性状的影响

蔡明浩, 赵杰, 胡梦芸, 孙丽静, 王培楠, 李倩影, 杨菁, 张颖君

(河北省农林科学院 粮油作物研究所/河北省作物遗传育种实验室, 河北 石家庄 050035)

摘要:为探究干旱和低氮胁迫对冬小麦产量和品质相关性状的影响,以510份小麦主栽品种(或优异品系)为材料,正常水肥(对照)、干旱和低氮条件下分别对千粒质量、粒宽、粒长、穗长、小穗数、株高、沉降值和湿面筋含量进行测定分析。结果显示,与正常水肥相比,干旱和低氮条件下小麦千粒质量均显著下降,干旱对千粒质量的影响最大;干旱对小麦粒宽、株高和小穗数影响较大,低氮对小麦株高和穗长影响较大。在干旱、低氮和正常水肥3个条件下,小麦千粒质量与粒宽、粒长的相关性均达到显著水平,粒宽对小麦千粒质量的贡献率大于粒长,粒长与粒宽之间相关性较弱或无相关性;小麦穗长与小穗数相关性较高,而小麦株高与穗长、小穗数之间相关性较低。干旱处理条件下小麦材料的沉降值高于正常水肥条件下,而低氮处理条件下小麦材料沉降值较正常水肥条件下显著降低。对于湿面筋含量,干旱处理条件下的小麦材料最高,正常水肥处理下的次之,低氮处理条件下最低。该研究筛选出多个产量或品质相关性状稳定且突出的品种(系)如德宏福6号、乐土909、山农055849等。综上,干旱和低氮条件下小麦产量性状均受到显著影响;干旱胁迫可以提高小麦品质,而低氮会降低小麦品质。

关键词:小麦;干旱;低氮;产量;品质

中图分类号:S512.1⁺¹ 文献标识码:A 文章编号:1002-2481(2025)02-0113-11

Effects of Drought and Low Nitrogen on Yield and Quality Related Traits of Winter Wheat

CAI Minghao, ZHAO Jie, HU Mengyun, SUN Lijing, WANG Peinan,
LI Qianying, YANG Jing, ZHANG Yingjun

(Institute of Cereal and Oil Crops, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences/Hebei Provincial Laboratory of Crop Genetics and Breeding, Shijiazhuang 050035, China)

Abstract: To investigate the effects of drought and low nitrogen stress on the yield and quality related traits of winter wheat, in this study, 510 wheat varieties(or lines) were used as materials. Under normal water and fertilizer(CK), drought, and low nitrogen conditions, thousand grain weight, grain width, grain length, spike length, spikelet number, plant height, sedimentation value, and wet gluten content were investigated and analyzed. The results showed that compared to normal water and fertilizer the thousand grain weight of wheat significantly decreased under both drought and low nitrogen conditions, with drought having the most significant impact on thousand grain weight. Drought had a significant impact on wheat grain width, plant height, and spikelet number, while low nitrogen had a significant impact on wheat plant height and spike length. Under normal water and fertilizer(CK), drought, and low nitrogen conditions, the correlation between wheat thousand grain weight and grain width and grain length reached a significant level, with grain width contributing more to wheat thousand grain weight than grain length. The correlation between grain length and grain width was weak or non-existent. The correlation between spike length and spikelet number was high, while the correlation between wheat plant height and spike length or spikelet number was low. The sedimentation value of wheat materials under drought treatment conditions was higher than that under

收稿日期:2024-12-18

基金项目:国家重点研发计划(2023YFD1201003);河北省农林科学院科技创新专项(2023KJCXZX-LYS-20);国家自然科学基金联合基金(U22A6009);河北省现代农业产业技术体系(HBCT2023010201)

作者简介:蔡明浩,助理研究员,博士,主要从事小麦分子生物学研究,E-mail:caimh1996@163.com

通信作者:张颖君,研究员,博士,主要从事小麦分子育种研究,E-mail:zhangyingjun1977@163.com

normal water and fertilizer conditions, while the sedimentation value of materials under low nitrogen treatment was significantly reduced. Under drought conditions, the wet gluten content of wheat materials was also the highest, followed by that under normal water and fertilizer treatment, and the wet gluten content was the lowest under low nitrogen conditions. In this study, several varieties(lines) such as Dehongfu 6, Letu 909, and Shannong 055849 exhibiting stable and prominent yield or quality traits were screened out. Overall, wheat yield traits were significantly affected under drought and low nitrogen conditions. Drought stress could improve wheat quality, while low nitrogen could reduce wheat quality.

Keywords: wheat; drought; low nitrogen; yield; quality

小麦是我国主要粮食作物之一,作为主要的商品粮和战略储备粮,在我国粮食安全中占据举足轻重的地位^[1]。河北省是小麦生产大省,也是我国最主要的优质麦产区。然而,小麦在生长发育过程中易受到不良环境因素的影响,如极端天气、干旱以及营养缺乏等^[2-5]。其中,干旱造成的影响最为严重,由于缺乏水分所造成的农作物减产可能超过其他因素导致的减产总和^[6]。1962—2010年,我国冬小麦因干旱造成的潜在产量损失总体呈上升趋势^[7]。一般认为,干旱条件下小麦叶片气孔导度降低,影响CO₂供应,使得小麦株高、穗数等下降^[8],但张伟杨等^[9]研究表明,轻度干旱处理可以显著增加小麦穗粒数和千粒质量,重度干旱则相反。

小麦产量的提高也与氮肥施用密切相关,近年来小麦生产对氮肥的依赖性愈来愈大,但氮肥的过量投入却降低了小麦对氮素的吸收效率,我国小麦的氮素利用率仅为21.2%~35.0%,远低于发达国家水平(40%~60%)^[10]。关于施氮量对小麦产量的影响,多位学者进行了大量的试验,认为籽粒产量与施氮量呈二次曲线关系,即随施氮量的增加,小麦产量表现为先增加再降低的趋势,中间有一个最适宜的施氮量值^[11-13]。GHIMIRE等^[14]研究表明,影响小麦产量构成的因素中,合适的施氮量对小麦穗粒数和千粒质量有显著影响,而对穗数的影响较小。易媛等^[15]研究表明,施用氮肥增加了小麦穗数和穗粒数,降低了粒质量,但穗数和粒数增加的幅度大于粒质量减小的幅度,从而提高了单位面积的籽粒产量。齐学礼等^[16]研究表明,低氮条件下小麦光合作用、产量水平、蛋白质含量、湿面筋含量等指标均比正常氮条件下显著下降。

植株氮素营养状况与小麦品质的关系,尤其是与小麦籽粒蛋白质含量的关系,早已引起人们的重视。研究认为,与氮肥对小麦产量的影响类似,氮肥对籽粒蛋白的影响也近似于一条二次曲线,在一定范围内施氮有利于籽粒蛋白质含量的提

高,超过一定限度后再增加施氮量蛋白质含量增加不显著,甚至降低^[17]。增加氮肥施用可以提高蛋白质含量,但同时也会造成蛋白质成分的变化。过量施用氮肥会引起籽粒醇溶蛋白和非蛋白氮含量的增加,甚至导致小麦品质劣化。土壤水分对小麦籽粒的蛋白质含量等品质特性也有显著影响^[18]。国内外的大量研究表明,随着灌溉水量的增加淀粉合成增多,淀粉总量的稀释作用导致蛋白质含量下降。干旱条件下籽粒蛋白质含量通常有所增加^[19]。另外,干旱对小麦品质影响的试验结果表明,干旱对蛋白质合成有负面影响,但籽粒蛋白质含量和湿面筋含量却均高于灌水处理,其中,蛋白质含量提高0.1%~1.0%,湿面筋含量提高0.9%~3.9%。

目前,河北省小麦生产中面临着2个主要问题,一是河北省是典型的资源型缺水省份,地下水超采严重,由于小麦生长跨越冬春缺水季节,抗旱节水尤为重要;二是农户为提高小麦产量过量施用化肥,造成土壤结构破坏和严重的农业面源污染。因此,研究干旱和控肥对小麦产量、品质相关性状的影响具有十分重要的意义。

本研究以正常灌溉、正常施肥条件为对照,设置干旱和低氮2个处理,通过调查黄淮麦区主栽小麦品种的千粒质量、粒长、粒宽、株高、穗长、小穗数、湿面筋含量、沉降值等指标的变化情况,明确干旱、低氮胁迫条件对小麦产量和品质相关性状的影响,并且筛选在干旱、低氮条件下产量和品质指标稳定的种质,以期为培育高产、稳产、优质小麦品种提供宝贵的亲本材料。

1 材料和方法

1.1 试验材料

通过对2120份小麦材料进行系谱、表型数据分析,筛选出510份有代表性的小麦品种或优异品系作为试验材料。试验材料主要为黄淮麦区主栽品种,具有丰富的产量、品质性状变异,由河北省农林科学院粮油作物研究所生物技术室保存。

1.2 试验方法

试验于 2020—2021 年在小麦生长季设置 3 个处理:正常水肥(21W,对照),参照河北省中南部小麦主产区水肥管理,足墒播种,小麦拔节期、灌浆期各灌溉 1 次,灌水量每次为 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,施纯氮 $180 \text{ kg}/\text{hm}^2$;干旱处理(21D,全生育期不浇水),足墒播种,施纯氮 $180 \text{ kg}/\text{hm}^2$;低氮处理(21N,施纯氮 $90 \text{ kg}/\text{hm}^2$),为常年低氮地块,足墒播种,小麦拔节期、灌浆期各灌溉 1 次,灌水量每次为 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。3 m 行长,行距 30 cm,株距 3 cm,随机区组设计,3 次重复,四周设置保护行,病虫害防治同普通田间管理。

1.3 测定项目及方法

每个材料随机选取大于 200 粒种子,利用万深(<http://www.wseen.com/>)SC-G 型自动考种分析系统对小麦千粒质量、粒宽、粒长数据进行调查。每个材料取 10 株测量株高、穗长和小穗数,取平均值。小麦面粉沉降值测定采用 GB/T 21119—2007(小麦 沉降指数测定法 Zeleny 试验)方法,湿面

筋含量的测定依照 GB/T 5506.2—2008(小麦和小麦粉 面筋含量 第 2 部分:仪器法测定湿面筋)。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2019、SPSS v26、Origin 2021 软件进行处理,计算最大值、最小值、平均值、变异系数等。运用 SPSS v26、Origin 2021 软件进行相关性分析、显著性分析和箱形图绘制。

2 结果与分析

2.1 不同处理对小麦籽粒性状的影响

千粒质量是小麦产量三要素之一。图 1、表 1 结果显示,在正常水肥条件下小麦千粒质量变幅为 $36.98 \sim 64.53 \text{ g}$,平均值为 51.21 g ;干旱处理条件下千粒质量变幅为 $34.04 \sim 59.70 \text{ g}$,平均值为 46.16 g ;低氮条件下千粒质量变幅为 $31.74 \sim 64.58 \text{ g}$,平均值为 50.86 g 。可见,正常水肥条件下小麦千粒质量最高,低氮条件下次之,干旱对小麦千粒质量影响最大,3 个处理间小麦千粒质量达到显著差异水平($P < 0.05$)。

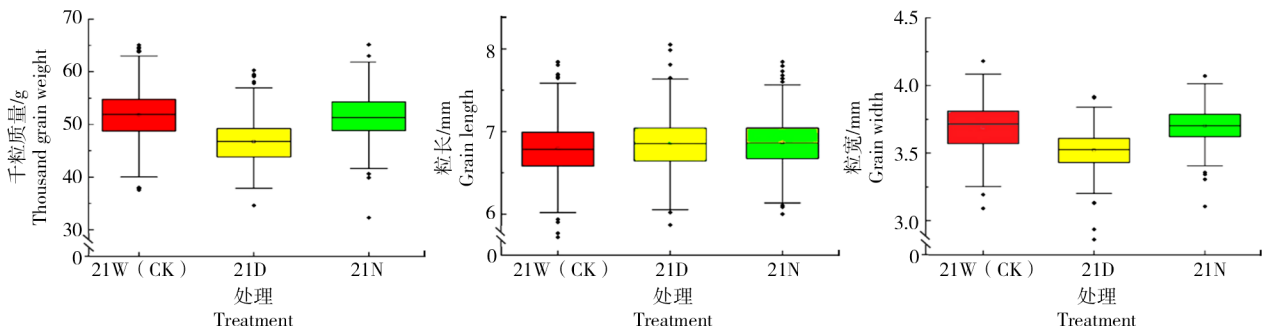


图 1 不同处理下小麦千粒质量、粒长和粒宽箱体

Fig.1 Box-plot of wheat thousand grain weight, grain length, and grain width under different treatments

表 1 不同处理下小麦千粒质量、粒长和粒宽显著性分析

Tab.1 Significance analysis of thousand grain weight, grain length, and grain width of wheat under different treatments

处理 Treatment	千粒质量/g Thousand grain weight	粒长/mm Grain length	粒宽/mm Grain width
21W(CK)	51.21a	6.79b	3.69a
21D	46.16c	6.86a	3.52b
21N	50.86b	6.86a	3.70a

注:表中同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。表 2、5 同。

Note: The lowercase letters in the table were significant differences at the 0.05 level. The same as Tab.2 and Tab.5.

粒长、粒宽是衡量小麦粒型的重要指标,本研

究同时对小麦粒长和粒宽进行了调查。从图 1、表 1 可以看出,正常水肥处理条件下,小麦粒长变幅为 $5.72 \sim 7.84 \text{ mm}$,平均值为 6.79 mm ;干旱处理下粒长变幅为 $5.87 \sim 8.05 \text{ mm}$,平均值为 6.86 mm ;低氮处理下粒长变幅为 $6.00 \sim 7.84 \text{ mm}$,平均值为 6.86 mm 。干旱和低氮条件下小麦粒长无显著差异,但均显著高于正常水肥条件($P < 0.05$)。小麦粒宽在正常水肥条件下变幅为 $3.09 \sim 4.18 \text{ mm}$,平均值为 3.69 mm ;干旱条件下变幅为 $2.86 \sim 3.92 \text{ mm}$,平均值为 3.52 mm ;低氮处理下变幅为 $3.11 \sim 4.07 \text{ mm}$,平均值为 3.70 mm 。正常水肥处理与低氮处理下小麦粒宽间差异不显著,但均显著高于干旱处理($P < 0.05$)。

2.2 不同处理对小麦株高、穗长和小穗数的影响

从表2、图2可以看出,在正常水肥处理下株高变幅为57.2~117.8 cm,平均值为75.34 cm;干旱处理下株高变幅为53.6~101.6 cm,平均值为71.77 cm;低氮处理下株高变幅为56.2~97.6 cm,平均值为73.08 cm。3个处理间小麦株高差异显著($P<0.05$),正常水肥处理下最高,低氮处理下次之,干旱处理下最低。在正常水肥和干旱处理下,小麦穗长无显著差异;正常水肥处理下小麦穗长变幅为5.2~11.6 cm,平均值为8.34 cm;干旱处理条件下穗长变幅为6.0~11.8 cm,平均值为8.28 cm;低氮处理下穗长低于正常水肥和干旱处理,变幅为4.7~11.2 cm,平均值为7.97 cm,达显著差异

($P<0.05$)。但在低氮处理下小穗数却显著高于正常水肥和干旱处理($P<0.05$),低氮处理下小穗数平均值为18.77个,正常水肥处理下平均值为17.93个,干旱处理下为17.70个,正常水肥和干旱处理间差异不显著。

表2 不同处理下小麦株高、穗长和小穗数显著性分析
Tab.2 Significance analysis of plant height, spike length, and spikelet number of wheat under different treatments

处理 Treatment	株高/cm Plant height	穗长/cm Spike length	小穗数/个 Spikelet number
21W(CK)	75.34a	8.34a	17.93b
21D	71.77c	8.28a	17.70b
21N	73.08b	7.97b	18.77a

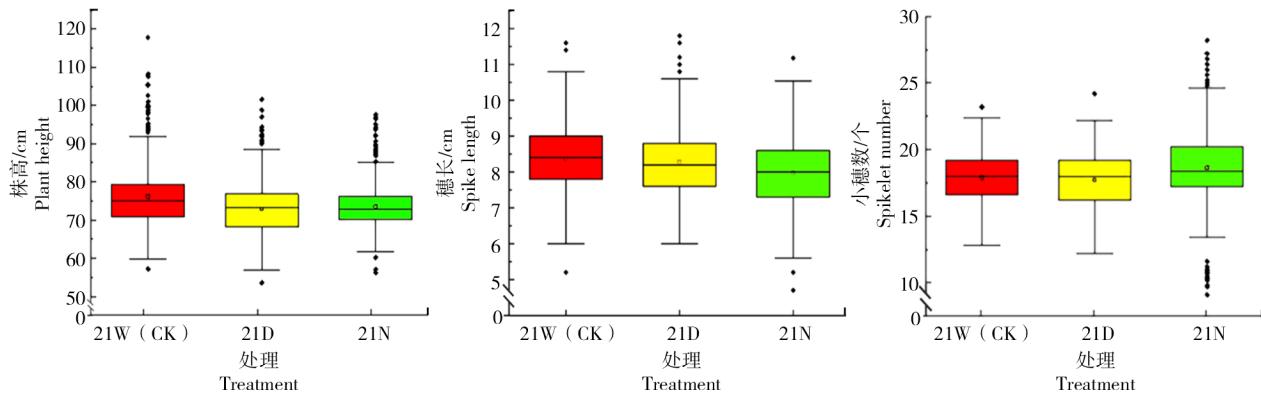


图2 不同处理条件下小麦株高、穗长和小穗数箱体

Fig.2 Box-plot of wheat plant height, spike length, and spikelet number under different treatments

2.3 不同处理下产量指标间相关性分析

对不同处理下各产量性状间的相关性进行分析,结果显示(表3),不论在正常水肥、干旱还是低氮处理下,小麦千粒质量与粒宽的相关性都较高,相关系数分别为0.655、0.831和0.805。并且,干旱

和低氮条件下千粒质量与粒宽的相关性高于正常水肥条件。小麦千粒质量与粒长的相关性中等,在3个处理环境下相关系数为0.511~0.567。小麦粒长与粒宽之间相关性很低。

表3 不同处理下小麦千粒质量、粒长和粒宽间的相关性

Tab.3 Correlation among thousand grain weight, grain length, and grain width of wheat under different treatments

性状 Trait	21W(CK)		21D		21N	
	千粒质量 Thousand grain weight	粒长 Grain length	千粒质量 Thousand grain weight	粒长 Grain length	千粒质量 Thousand grain weight	粒长 Grain length
粒长 Grain length	0.551	1.000	0.511	1.000	0.567	1.000
粒宽 Grain width	0.655	0.422	0.831	0.119	0.805	0.148

对小麦穗长、小穗数和株高间的相关性进行了分析,结果显示(表4),小麦穗长与小穗数间的相关性较高,在正常水肥和干旱处理下相关系数分别为0.678和0.682,但在低氮条件下相关系数

较低。在3个环境下,株高与穗长间的相关系数均较低,小穗数与株高间相关系数也较低,在正常水肥和低氮条件下呈现弱的负相关。

表 4 不同处理下小麦穗长、小穗数和株高间的相关性

Tab.4 Correlation among spike length, spikelet number, and plant height of wheat under different treatments

性状 Trait	21W(CK)		21D		21N	
	穗长 Spike length	小穗数 Spikelet number	穗长 Spike length	小穗数 Spikelet number	穗长 Spike length	小穗数 Spikelet number
小穗数 Spikelet number	0.678	1	0.682	1	0.247	1.000
株高 Plant height	0.109	-0.061 5	0.083	0.035 8	0.024	-0.054

2.4 不同处理对小麦沉降值和湿面筋含量的影响

沉降值是反映小麦蛋白质含量和质量的综合指标,能够反映出小麦面粉的吸水能力。由表 5、图 3 可知,正常水肥条件下小麦材料沉降值最小为 11 mL,最大为 39.2 mL,平均值为 21.80 mL;干旱处理的材料沉降值最小值为 12 mL,最大值为 40 mL,平均值为 24.31 mL;低氮处理的材料沉降值最小为 10 mL,最大为 30 mL,平均值为 17.24 mL。可以看出,干旱处理条件下小麦材料沉降值显著提高,而低氮处理的材料沉降值显著降低($P < 0.05$)。

由表 5、图 3 可知,正常水肥处理下湿面筋含量最小为 21.11%,最大为 44.32%,平均值为 31.54%;干旱处理下小麦材料湿面筋含量最小值为 24.17%,

最大值为 51.63%,平均值为 36.79%;低氮处理下湿面筋含量最小为 10.30%,最大为 32.63%,平均值为 22.03%。可以看出,正常水肥处理下小麦材料湿面筋含量显著低于干旱处理,二者均显著高于低氮处理($P < 0.05$)。

表 5 不同处理下小麦品质相关性状显著性分析

Tab.5 Significance analysis of quality-related traits of wheat under different treatments

处理 Treatment	沉降值/mL Sedimentation value	湿面筋含量/% Wet gluten content
21W(CK)	21.80b	31.54b
21D	24.31a	36.79a
21N	17.24c	22.03c

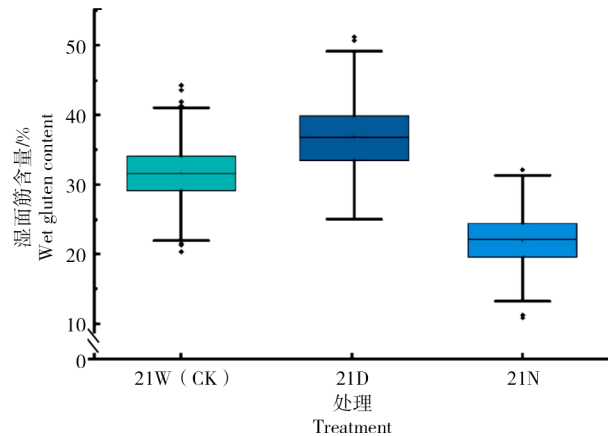
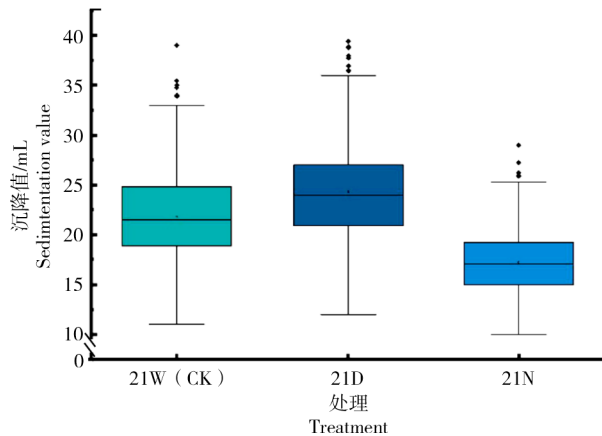


图 3 不同处理条件下小麦沉降值和湿面筋含量箱体

Fig.3 Box-plot of wheat sedimentation value and wet gluten content under different treatments

2.5 优异种质材料筛选

表 6—8 分别列出了在正常水肥、干旱和低氮条件下各指标排列前 20 名的品种名称。同时,也筛选出同时在 3 个处理下均列前 20 名的品种(表 9),显示这些品种在 3 个处理下具有较好的适应性和稳定性,为育种家选择亲本材料也提供了有力的数据支撑。从表 9 可以看出,在正常水肥、干旱、低氮 3 个条件下,洛早 9 号、平安 9 号、山农 8355 和中麦 349 均有较高的千粒质量;乐土 909、石家庄

8 号、泰优麦 2 号、中科高 8 号、中麦 349、中麦 875 和周 9811 均具有较高的粒长;德宏福 6 号、囤丰 801、嘉丰 80 号、洛早 9 号、山农 8355 和泰优麦 2 号均具有较高的粒宽;白齐麦、丰抗 13、捷麦 19、京麦 15 号、农大 5363、双丰收、运早 102、长 6878 和中国春均具有较高的株高;冀麦 U80、新麦 18、新麦 26 号、中麦 349 和中优 9507 均具有较高的沉淀值;河农 7069、荷麦 06-77 和小偃 6 均具有较高的湿面筋含量。

表6 正常水肥条件下各指标前20名品种
Tab.6 List of the top 20 varieties under normal water and fertilizer conditions for each indicator

排名 Ranking	千粒质量/g		粒长/mm		粒宽/mm		穗长/cm		小穗数/个		株高/cm		沉降值/mL		湿面筋含量/%	
	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data
1	洛旱9号	64.53	中科高8号	7.84	德宏福6号	4.18	泰山28	11.6	冀麦6号	29.2	早选10号	117.8	济麦44	38.5	隆麦28	34.6
2	盈满208	64.09	中麦349	7.84	山农8355	4.08	冀麦U68	11.4	衡7228	23.2	双丰收	108.2	丰抗15	34.0	早选10号	34.4
3	泰山23号	63.85	中麦875	7.81	泰山23号	4.06	临早6号	10.8	洲元9369	23.2	白齐麦	107.6	中麦349	34.0	小偃6号	33.9
4	鲁研213	63.44	中优9507	7.69	泰优麦2号	4.05	鲁星麦9号	10.6	乐土909	22.4	中国春	105.4	冀优9415	33.0	运早102	33.8
5	德宏福6号	63.35	泰优麦2号	7.68	洛旱9号	4.03	乐土909	10.6	邯农1812	22.4	长6878	102.6	中优9507	33.0	科农2009	33.4
6	中麦349	63.21	皖981	7.66	山农411603	4.03	同耕1号	10.6	石U11-349	22.2	长4640	101.0	泰山27号	32.5	冀优5766	32.8
7	泰山5366	62.42	西农2208	7.65	乐土909	4.03	临麦4号	10.2	同耕1号	21.8	中优9507	100.2	冀麦6号	31.5	兰考矮早8	32.7
8	中优9507	62.13	金禾15-310	7.58	固丰801	4.00	济南35037	10.2	百农160	21.8	丰抗13	99.8	洲元9369	31.3	宁丰518	32.6
9	乐土909	61.61	周9811	7.58	邢麦10号	4.00	衡5835	10.2	荷麦06-77	21.8	中麦349	99.8	冀麦U80	30.7	丰源2017	32.4
10	泰优麦2号	61.51	农大5363	7.57	小偃60	3.99	淄麦12号	10.2	冀麦U68	21.6	豫麦47	99.6	科农2009	30.1	荷麦06-77	32.4
11	石4366	61.49	乐土909	7.54	登海51306	3.99	浚麦K8号	10.2	偃高21	21.6	捷麦19	98.8	科源026	30.0	河农7069	32.1
12	山农8355	61.40	利育18	7.52	嘉丰80号	3.99	长6878	10.2	石麦16	21.6	运早102	98.2	宁丰518	29.9	洲元9369	31.9
13	中麦578	61.19	泰山5366	7.49	存麦8号	3.98	龙麦2号	10.1	缘麦1号	21.6	许科718	98.2	新麦28	29.8	山农055849	31.8
14	冀优5766	60.87	西农979	7.48	山农N4283	3.98	廊研3611	10.0	舜麦1718	21.6	沧麦6055	98.0	山农055849	29.8	丰抗15	31.8
15	邯农1412	60.61	石家庄8号	7.48	濮兴03044	3.97	载优29	10.0	淄麦12号	21.4	晋麦92号	97.8	冀优5766	29.5	景阳670	31.8
16	石新549	60.35	衡科6021	7.48	郑农17号	3.97	红地95	9.9	冀麦511	21.4	晋麦47	96.6	冀7369	29.5	泰优麦2号	31.7
17	兰考矮早8	59.94	徐麦0031	7.46	山农20	3.97	偃高21	9.9	利育18	21.4	农大5363	95.2	新麦26号	29.4	鑫麦807	31.6
18	平安9号	59.65	豫农416	7.45	天民298	3.97	冀麦511	9.9	长6878	21.2	中麦816	95.2	新麦18	29.3	师荣08-2	31.4
19	嘉丰80号	59.19	豫安208	7.45	邯农1412	3.96	石麦16	9.8	保麦10号	21.2	京麦15号	94.6	运早618	29.3	富麦2008	31.4
20	济宁16号	59.16	洛旱9号	7.43	临远8号	3.96	科1201	9.8	衡科6021	21.2	运早805	94.4	冀优2018	28.9	中优9507	31.3

表7 干旱条件下各指标前20名品种
 Tab.7 List of the top 20 varieties under drought condition for each indicator

排名 Ranking	千粒质量/g Thousand grain weight		粒长/mm Grain length		粒宽/mm Grain width		穗长/cm Spike length		小穗数/个 Spikelet number		株高/cm Plant height		沉降值/mL Sedimentation value		湿面筋含量/% Wet gluten content	
	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data
1	石家庄8号	59.70	中科高8号	8.05	山农8355	3.92	衡7228	11.6	丰德存麦1号	24.2	双丰收	101.6	济麦44	41.0	河农7069	33.5
2	泰优麦2号	58.90	中麦875	7.99	泰优麦2号	3.91	衡10S29-2	11.2	双丰收	24.0	白齐麦	98.8	冀优9415	41.0	冀麦479	33.2
3	洛早9号	58.65	泰优麦2号	7.81	河农4198	3.84	华麦8号	11.0	衡10S29-2	23.0	豫麦47	97.0	中优9507	41.0	石新549	31.8
4	京麦15号	58.54	石家庄8号	7.65	德宏福6号	3.84	双丰收	10.8	景阳670	22.2	运早102	94.4	中麦349	40.5	石家庄10号	31.7
5	丰抗15	57.53	利育18	7.63	青农9号	3.84	东麦15号	10.8	邯麦13	21.8	石家庄8号	93.8	周麦26	39.0	临Y7287	31.4
6	冀优5766	57.25	中优9507	7.63	登海51306	3.82	邯麦4号	10.8	皖981	21.8	小偃6	93.8	新麦18	38.0	皖农306	31.3
7	山农8355	56.39	京麦15号	7.61	荷麦06-77	3.82	齐麦5号	10.6	华麦8号	21.6	中国春	93.4	冀优2018	37.8	景阳670	31.3
8	中麦349	56.26	农大5363	7.58	固丰801	3.81	济麦4号	10.6	荷麦06-77	21.6	河农4198	92.4	冀优5766	37.6	衡优18	30.9
9	先麦8号	55.43	郑麦101	7.58	小偃60	3.81	皖农306	10.4	石15-6327	21.6	长6878	92.2	新麦26号	37.6	中麦415	30.7
10	平安9号	55.39	中麦349	7.55	洛早9号	3.81	洛麦23	10.4	泊麦7号	21.4	农大5363	91.8	济麦4号	37.5	荷麦06-77	30.5
11	冀麦21	55.34	山农055849	7.53	嘉丰80号	3.80	淮麦29	10.4	山农27	21.4	京麦15号	91.8	丰抗15	37.0	尧麦18	30.3
12	河丰801	54.80	周9811	7.53	山农27	3.80	西农979	10.4	泰山23号	21.4	晋麦79号	91.0	泛麦9号	36.0	小偃6号	30.2
13	THW09-1	54.73	红地95	7.52	粮圣101	3.80	邯麦13	10.2	漯麦9号	21.2	中麦349	90.8	新麦19号	35.5	汶农14号	30.2
14	河农4198	54.73	乐土909	7.52	固麦3638	3.80	豫农416	10.2	新麦19号	21.2	中优206	90.4	山农055849	34.8	新麦28	30.2
15	嘉丰80号	54.51	郑麦110	7.51	浚麦K8号	3.78	丰川6号	10.2	京麦15号	21.2	丰抗13	90.0	冀麦U80	34.7	山农055849	30.0
16	石新549	54.50	鲁原890	7.48	京麦15号	3.78	新麦26号	10.0	冀师1107	21.2	衡科6021	90.0	济麦20号	34.0	邯6172	29.9
17	青农9号	54.25	石B08-5341	7.48	德优06-1	3.78	龙麦808	10.0	廊研3611	21.2	京花9号	88.4	冀麦6号	33.8	金禾13-294	29.8
18	德宏福6号	54.23	金禾15-310	7.47	邯农1812	3.77	乐土909	10.0	石优17	21.0	运早618	88.4	济宁16号	33.5	科农2009	29.7
19	邯农1412	54.15	衡5366	7.46	石家庄8号	3.77	石优17	9.8	京冬17	21.0	许科718	87.2	石13-6650	33.4	中优9507	29.4
20	中麦875	54.12	豫安208	7.46	鑫麦296	3.76	临麦4号	9.8	秋乐2122	21.0	捷麦19	87.0	衡S13-5022	33.3	农大5363	29.4

表8 低氮条件下各指标前20名品种
Tab.8 List of the top 20 varieties under low nitrogen condition for each indicator

排名 Ranking	千粒质量/g		粒长/mm		粒宽/mm		穗长/cm		小穗数/个		株高/cm		沉降值/mL		湿面筋含量/%	
	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data	品种 Variety	数值 Data
1	洛旱9号	64.58	中科高8号	7.84	花培6号	4.07	中麦415	11.2	郑农46	28.2	早选10号	126.0	新麦18	40.0	豫麦47	34.8
2	京麦15号	62.44	中麦875	7.79	山农8355	4.01	双丰收	10.5	冀麦418	28.2	双丰收	116.6	中麦349	34.3	沂麦1号	31.9
3	豫麦66号	61.26	京麦15号	7.73	洛旱9号	4.01	载优29	10.4	陕垦224	27.2	中国春	108.5	新麦19号	32.5	邢麦6号	30.9
4	石家庄8号	60.90	乐土909	7.68	嘉丰80号	3.99	冀7369	10.4	冀麦U80	26.8	白齐麦	104.4	冀优8901	31.3	丰源2017	30.6
5	郑麦9023	59.36	中麦349	7.64	京麦15号	3.96	晋麦79号	10.3	师农02-1	26.4	长6878	99.2	京花9号	31.3	山农29	30.6
6	黄生麦98	59.00	石家庄8号	7.64	山农20	3.96	济宁16号	10.2	载优29	26.0	丰抗13	99.2	新麦26号	31.0	济麦60	30.4
7	花培6号	58.94	黄生麦98	7.60	科农199	3.95	冀麦U68	10.2	金禾9123	26.0	京麦15号	98.8	福穗1号	31.0	运早102	29.7
8	丰抗15	58.85	郑麦101	7.56	洛麦23	3.94	齐麦5号	10.2	济麦21	26.0	沧麦6055	98.4	丰源2017	30.0	河农7069	29.6
9	乐土909	58.76	泰优麦2号	7.55	泰优麦2号	3.94	邯麦13	10.1	保麦10号	25.6	农大5363	98.0	中优9507	30.0	新麦20	28.9
10	山农8355	58.68	郑麦110	7.53	豫麦66号	3.94	洛旱2号	10.0	民兴379	25.4	晋麦79号	97.0	临Y7287	29.5	莱农0453	28.8
11	平安9号	58.61	郑麦9023	7.52	邢麦10号	3.93	小偃54	10.0	邢麦6号	25.2	捷麦19	96.0	泰山27号	29.0	优农麦887	28.7
12	中麦349	58.45	石B08-5341	7.51	河农4198	3.93	安2326	10.0	冀麦585	25.2	皖981	96.0	郑麦101	28.9	淮麦29	28.7
13	冀麦21	58.27	周9811	7.50	陕253	3.92	荷麦06-77	10.0	科农9204	25.0	晋麦92号	94.0	中育10号	28.5	衡5229	28.4
14	众麦998	58.23	衡科6021	7.48	德安福6号	3.92	冀优5766	10.0	沧麦028	24.8	运早102	93.4	济宁16号	28.3	陕253	28.1
15	亿麦6号	58.14	淄麦28	7.48	荷麦06-77	3.92	山农25	9.9	冀麦U75	24.8	运早805	92.4	冀麦U80	28.0	汶农14号	28.0
16	粮圣103	57.94	鲁研213	7.45	山农411603	3.92	长4738	9.9	存麦12	24.8	京花9号	92.2	新良2号	27.9	周麦26	28.0
17	长4640	57.91	济宁16号	7.45	乐土909	3.92	鲁研213	9.8	利育18	24.6	石家庄10号	91.6	景阳670	27.8	荷麦06-77	27.8
18	陶麦3638	57.79	周麦16	7.45	华育116	3.92	石12-6260	9.8	石06-6136	24.4	衡优18	91.4	石U11-349	27.5	小偃6号	27.8
19	金丰7183	57.74	豫麦66号	7.43	中麦415	3.92	邢麦10号	9.8	岱麦4493	24.4	运早618	91.2	师农02-1	27.3	农大5363	27.8
20	民兴379	57.68	京冬17	7.41	陶丰801	3.91	锦麦811	9.8	众麦998	24.2	晋麦85号	91.0	锦麦811	27.3	郑麦101	27.8

表 9 在 3 个处理下各指标前 20 名品种

Tab.9 List of the top 20 varieties under three treatments for each indicator

性状 Trait	品种 Varieties
千粒质量 Thousand grain weight	洛早 9 号、平安 9 号、山农 8355、中麦 349
粒长 Grain length	乐土 909、石家庄 8 号、泰优麦 2 号、中科高 8 号、中麦 349、中麦 875、周 9811
粒宽 Grain width	德宏福 6 号、围丰 801、嘉丰 80 号、洛早 9 号、山农 8355、泰优麦 2 号
株高 Plant height	白齐麦、丰抗 13、捷麦 19、京麦 15 号、农大 5363、双丰收、运早 102、长 6878、中国春
沉降值 Sedimentation	冀麦 U80、新麦 18、新麦 26 号、中麦 349、中优 9507
湿面筋含量 Wet gluten content	河农 7069、荷麦 06-77、小偃 6 号

在 3 个处理下,有些品种具有多个优良性状,如德宏福 6 号、嘉丰 80 号、洛早 9 号、山农 8355 具有较高的千粒质量和粒宽;石家庄 8 号具有较高的千粒质量和粒长;泰优麦 2 号具有较高的千粒质量、粒长和粒宽;京麦 15 号具有较高的千粒质量、粒长、粒宽和株高;乐土 909 具有较高的千粒质量、粒长、粒宽和穗长;双丰收具有较高的穗长和株高;运早 102 具有较高的株高和湿面筋含量;丰抗 15、冀优 5766 具有较高的千粒质量和沉降值;荷麦 06-77 具有较高的粒宽、小穗数和湿面筋含量;中麦 349 具有较高的千粒质量、粒长、株高和沉降值;农大 5363 具有较高的粒长、株高和湿面筋含量;山农 055849 具有较高的沉降值和湿面筋含量;中优 9507 具有较高的粒长、沉降值和湿面筋含量。可以看出,如果想提高后代的产量性状,德宏福 6 号、嘉丰 80 号、洛早 9 号、山农 8355、石家庄 8 号、泰优麦 2 号、京麦 15 号、乐土 909、丰抗 15、冀优 5766 可以做为亲本材料;山农 055849 和中优 9507 可以用于品质育种的亲本材料;而丰抗 15、冀优 5766、荷麦 06-77、中麦 349 可以用于协调改良小麦的产量和品质指标。

3 结论与讨论

水分和氮素是植物生长发育所必需的,其对小麦产量的影响十分显著。干旱和低氮处理都会影响小麦植株的光合作用,导致干物质积累降低,造成产量下降。张伟杨等^[9]研究表明,轻度干旱显著增加了小麦穗粒数和千粒质量,重度干旱则会显著降低穗粒数、千粒质量、产量及收获指数。周秋峰等^[20]研究表明,中度以上的干旱胁迫会导致更多的氮、磷等元素损失,同时抑制小麦植株对氮素等营养素的吸收和分配,造成产量下降。袁蕊等^[8]的研究结果显示,干旱会降低小麦的千粒质量、穗长、小穗数和株高,进而降低小麦产量,且干旱对

穗粒数的影响极显著,对单位面积穗数的影响达到显著水平,对千粒质量影响不显著。杨莉等^[21]研究认为,干旱胁迫对小麦籽粒千粒质量、面积、周长和粒长等影响显著。本研究中,干旱处理为小麦全生育期不灌水,属于重度干旱。结果表明,干旱处理对小麦千粒质量影响较为明显,在 3 个处理中干旱处理条件下小麦千粒质量最低。同时,干旱处理对小麦粒宽影响较大,对粒长影响不明显,即干旱处理比正常水肥条件下小麦籽粒略显细长。干旱处理降低了小麦材料的千粒质量、小穗数和株高,与袁蕊等^[8]、张伟杨等^[9]的结论一致;而干旱对千粒质量、粒宽有显著影响,对粒长的影响不显著,这与袁蕊等^[8]的结论存在差异。

郝代成等^[22]研究表明,施氮量对小麦穗粒数和千粒质量有显著影响,对穗数影响较小。张微微^[23]的研究表明,籽粒小麦产量随施氮量的减少而减少,穗数同样随施氮量下降而减少,但前期减氮可以增加千粒质量。常银莲^[24]研究表明,氮肥施用量减少 9.09% 和 18.18% 对小麦产量影响不显著,但随着施氮量进一步降低,穗粒数和千粒质量都随之下降。李红梅^[25]研究也得出类似的结论,施氮量减少 20% 可导致小麦穗粒数减少,但千粒质量有所增加,最终对小麦籽粒产量影响不显著。汤小庆^[26]研究表明,随着施氮量减少,小麦籽粒产量、穗数和千粒质量显著降低,但穗粒数无显著差异。于海涛等^[27]研究不同施氮水平(120、180、240、300 kg/hm²)对小麦产量的影响,结果显示,试验的 3 个小麦品种的产量随着施氮量的增加均表现为先升高后降低的变化趋势。本研究表明,在减氮量达 50% 的低氮处理下,千粒质量和株高显著降低,但小穗数增加,穗粒分布更为紧密,并且低氮条件对穗长的影响高于干旱条件对其的影响,而干旱处理对千粒质量和粒宽的影响较低氮处理更为明显。

本研究对小麦各产量相关性状间的相关性进行了分析,结果表明,小麦千粒质量与粒长、粒宽的相关性均达到显著水平,但与粒宽的相关性要强于与粒长的相关性,也就是说小麦粒宽对千粒质量的贡献率更大,而粒长与粒宽之间相关性较弱或无相关关系,这与前人研究一致。有学者认为,小麦的穗长与株高有一定的相关性,株高大的易产生大穗,但本研究结果显示,小麦穗长与株高间相关性很低。小麦穗长与小穗数间呈显著正相关,即大穗型的小麦品种一般小穗数较多。小穗数与株高间无相关性或略呈弱负相关。

梁太波^[28]研究认为,在相同施氮水平下,随着土壤含水量的升高,小麦蛋白质含量、沉降值、面团弹性和拉伸面积减小,面团形成时间、稳定时间缩短,表明小麦加工品质随着土壤含水量的增加而降低,后期适度干旱可以提高小麦籽粒蛋白质和湿面筋含量。马瑞琦等^[29]研究表明,小麦的沉淀值和湿面筋含量会随着施氮量的增加而增加。马东辉^[30]试验结果表明,小麦蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值、面团弹性、拉伸面积随着施氮量的增加而增大。张秀等^[31]研究显示,适当增施氮肥有利于小麦品质的提高,但氮肥施用过量不利于小麦品质的改善。本研究结果表明,在干旱条件下,小麦的沉降值和湿面筋含量均比正常水肥条件下有显著提高,而低氮处理则导致小麦沉降值和湿面筋含量降低,说明干旱条件在一定程度上可以提高小麦品质,而低氮条件则对品质有负面影响,这与前人的研究基本一致。本研究结果为阐明干旱和低氮条件对小麦产量和品质的影响提供了宝贵的数据支撑,在多环境下筛选到的产量或品质性状稳定且较突出的材料可以为育种家组配亲本提供参考。

参考文献:

- [1] 郑建敏,罗江陶,李式昭,等. 2008—2016年四川省小麦区试品种品质分析[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(4): 513-519.
ZHENG J M, LUO J T, LI S Z, et al. Quality of wheat varieties in regional test in Sichuan Province from 2008 to 2016[J]. Journal of Triticeae Crops, 2017, 37(4): 513-519.
- [2] YANG W B, YIN Y P, LI Y, et al. Interactions between polyamines and ethylene during grain filling in wheat grown under water deficit conditions[J]. Plant Growth Regulation, 2014, 72(2): 189-201.
- [3] SHAO H B, CHU L Y, ABDUL JALEEL C, et al. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants - biotechnologically and sustainably improving agriculture and the environment in arid regions of the globe[J]. Critical Reviews in Biotechnology, 2009, 29(2): 131-151.
- [4] 杨桂霞,赵广才,许轲,等. 灌水及化控对不同粒色小麦籽粒灌浆及叶绿素含量的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(4): 152-157.
YANG G X, ZHAO G C, XU K, et al. Effects of irrigation and chemical control on grain filling and chlorophyll content in wheat with different grain colors[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2010, 25(4): 152-157.
- [5] YANG J C, ZHANG J H, YE Y X, et al. Involvement of abscisic acid and ethylene in the responses of rice grains to water stress during filling[J]. Plant, Cell & Environment, 2004, 27(8): 1055-1064.
- [6] 王可玢,许春辉,赵福洪,等. 水分胁迫对小麦旗叶某些体内叶绿素a荧光参数的影响[J]. 生物物理学报, 1997, 13(2): 273-278.
WANG K B, XU C H, ZHAO F H, et al. The effects of water stress on some *in vivo* chlorophyll a fluorescence parameters of wheat flag leaves[J]. Acta Biophysica Sinica, 1997, 13(2): 273-278.
- [7] 曹阳,杨婕,熊伟,等. 1962—2010年潜在干旱对中国冬小麦产量影响的模拟分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(7): 128-139.
CAO Y, YANG J, XIONG W, et al. Simulation of winter wheat yield influenced by potential drought in China during 1962-2010[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(7): 128-139.
- [8] 袁蕊,李萍,胡晓雪,等. 干旱胁迫对小麦生理特性及产量的影响[J]. 山西农业科学, 2016, 44(10): 1446-1449, 1466.
YUAN R, LI P, HU X X, et al. Effects of drought stress on physiological characteristics and yield of wheat[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2016, 44(10): 1446-1449, 1466.
- [9] 张伟杨,钱希昉,李银银,等. 土壤干旱对小麦生理性状和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(4): 491-500.
ZHANG W Y, QIAN X Y, LI Y Y, et al. Effect of soil drought on the physiological traits and grain yield of wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2016, 36(4): 491-500.
- [10] 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.
- [11] 郭天财,冯伟,赵会杰,等. 两种穗型冬小麦品种旗叶光合特性及氮素调控效应[J]. 作物学报, 2004, 30(2): 115-121.
GUO T C, FENG W, ZHAO H J, et al. Photosynthetic characteristics of flag leaves and nitrogen effects in two winter wheat cultivars with different spike type[J]. Acta Agronomica Sinica, 2004, 30(2): 115-121.
- [12] 裴雪霞,王秀斌,何萍,等. 氮肥后移对土壤氮素供应和冬小麦氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 9-15.
PEI X X, WANG X B, HE P, et al. Effect of postponing N application on soil N supply, plant N uptake and utilization in winter wheat[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2009, 15(1): 9-15.

- [13] 王小纯,熊淑萍,马新明,等.不同形态氮素对专用型小麦花后氮代谢关键酶活性及籽粒蛋白质含量的影响[J].生态学报,2005,25(4):802-807.
WANG X C, XIONG S P, MA X M, et al. Effects of different nitrogen forms on key enzyme activity involved in nitrogen metabolism and grain protein content in speciality wheat cultivars [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(4): 802-807.
- [14] GHIMIRE D, DAS S, MUELLER N D, et al. Effects of cultivars and nitrogen management on wheat grain yield and protein[J]. Agronomy Journal, 2021, 113(5): 4348-4368.
- [15] 易媛,董召娣,张明伟,等.减氮对半冬性中筋小麦产量、NUE及氮代谢关键酶活性的影响[J].核农学报,2015,29(2):365-374.
YI Y, DONG Z D, ZHANG M W, et al. Effects of reduction nitrogen on grain yield, NUE and enzymes activities related to nitrogen metabolism in semi-winter medium-gluten wheat[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(2): 365-374.
- [16] 齐学礼,马杰,赵明忠,等.低氮胁迫对不同氮效率小麦品种氮积累、代谢和产量、品质的影响[J].河南农业科学,2024,53(4):30-36.
QI X L, MA J, ZHAO M Z, et al. Effects of low nitrogen stress on nitrogen accumulation, metabolism, yield and quality of wheat varieties with different nitrogen efficiency[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2024, 53(4): 30-36.
- [17] 代新俊.氮肥运筹方式对冬小麦植株氮代谢及产量品质的影响[D].太原:山西农业大学,2019.
DAI X J. Effects of nitrogen application on nitrogen accumulation and grain yield and quality of winter wheat[D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2019.
- [18] 张美微.不同蛋白质含量小麦品质特性对氮肥的响应及其生理机制[D].郑州:河南农业大学,2015.
ZHANG M W. Response of wheat grain quality with different protein content to nitrogen fertilizer levels and its physiological mechanism[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2015.
- [19] 郭树峰.不同时期干旱胁迫对冬小麦籽粒品质的影响及氮肥调控[D].南京:南京农业大学,2015.
GUO S F. Effects of drought during different growth periods and nitrogen rates on grain quality of winter wheat[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015.
- [20] 周秋峰,黄长志,王保林.干旱胁迫对小麦生长发育及产量形成的影响[J].农业科技通讯,2011(9):129-133.
ZHOU Q F, HUANG C Z, WANG B L. The impact of drought stress on the growth, development, and yield formation of wheat[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2011(9): 129-133.
- [21] 杨莉,桑萌育,丁志强,等.干旱胁迫对小麦籽粒相关性状的影响[J].山西农业科学,2023,51(6):620-627.
YANG L, SANG M Y, DING Z Q, et al. Effects of drought stress on grain related traits in common wheat[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2023, 51(6): 620-627.
- [22] 郝代成,高国华,朱云集,等.施氮量对超高产冬小麦花后光合特性及产量的影响[J].麦类作物学报,2010,30(2):346-352.
HAO D C, GAO G H, ZHU Y J, et al. Effects of nitrogen application rate on photosynthesis characteristics after anthesis and high grain yield of winter wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2010, 30(2): 346-352.
- [23] 张微微.减氮施氮对小麦产量和氮素吸收利用的影响及生理基础[D].南京:南京农业大学,2013.
ZHANG W W. Effects of reducing nitrogen application on grain yield and nitrogen utilization and its physiological basis in wheat[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013.
- [24] 常银莲.减氮施氮对小麦产量和品质的影响[J].农业工程技术,2022,42(5):11-12.
CHANG Y L. The effect of reducing nitrogen application on wheat yield and quality[J]. Agricultural Engineering Technology, 2022, 42(5): 11-12.
- [25] 李红梅.减氮分期施氮对小麦产量和氮素利用效率的影响[D].泰安:山东农业大学,2018.
LI H M. Effect of nitrogen reduction and application by stages on yield and nitrogen use efficiency in wheat[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2018.
- [26] 汤小庆.减氮对弱筋小麦产量、品质、效益和生理特性的影响[D].扬州:扬州大学,2021.
TANG X Q. Effects of nitrogen reduction on yield, quality, benefit and physiological characteristics of weak gluten wheat [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2021.
- [27] 于海涛,刘亚男,代兴龙,等.施氮水平与种植密度互作对鲁东小麦病虫害发生、产量与氮素利用率的影响[J].山西农业科学,2023,51(12):1370-1378.
YU H T, LIU Y N, DAI X L, et al. Effects of interaction between nitrogen rate and planting density on pest and disease occurrence, yield, and nitrogen use efficiency of winter in east Shandong[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2023, 51(12): 1370-1378.
- [28] 梁太波.土壤质地与供氮水平对小麦产量和品质的影响及其生理基础[D].泰安:山东农业大学,2008.
LIANG T B. Effects of soil texture and nitrogen rates on yield and quality and the physiological basis of wheat[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2008.
- [29] 马瑞琦,王德梅,陶志强,等.施氮量对北部冬麦区种植弱筋小麦产量与品质的影响[J].作物杂志,2023(1):163-169.
MA R Q, WANG D M, TAO Z Q, et al. Effects of nitrogen application rate on yield and quality of weak gluten wheat in northern winter wheat region[J]. Crops, 2023(1): 163-169.
- [30] 马东辉.施氮量和花后土壤含水量对强筋小麦产量和品质形成的影响[D].青岛:青岛农业大学,2007.
MA D H. Effects of postanthesis soil water status and nitrogen on yield and quality formation in strong gluten wheat[D]. Qingdao: Qingdao Agricultural University, 2007.
- [31] 张秀,朱文美,代兴龙,等.施氮量对强筋小麦产量、氮素利用率和品质的影响[J].麦类作物学报,2018,38(8):963-969.
ZHANG X, ZHU W M, DAI X L, et al. Effect of nitrogen application rate on grain yield, nitrogen use efficiency and grain quality of strong gluten wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2018, 38(8): 963-969.