

潮土和黑土上强筋小麦品质和产量的差异

王玉娇^{1,2}, 陈志豪¹, 常旭虹¹, 王德梅¹, 王艳杰¹, 杨玉双¹, 石书兵², 赵广才¹

(1. 中国农业科学院作物科学研究所/农业农村部作物生理生态与栽培重点开放实验室, 北京 100081;

2. 新疆农业大学农学院, 新疆乌鲁木齐 830001)

摘要:为探究强筋小麦对不同类型土壤的适应性及品种间产量和品质的差异,采用盆栽试验,选用3个强筋优质小麦品种藁优2018、师栗02-1和石优20在潮土和黑土环境下种植,比较了两种土壤条件下强筋小麦品种开花期至成熟期的旗叶绿素含量、粒重、植株各器官氮含量的变化趋势,成熟期的单株茎数、产量及其构成因素、籽粒蛋白质及其组分含量和蛋白质产量的差异。结果表明,在两种土壤条件下小麦叶绿素含量从开花期到花后25 d呈先升后降趋势,且均在开花后5 d达最大值;自开花期开始,植株各营养器官的氮素含量均逐渐降低,而籽粒的氮素含量呈先降后升趋势。与潮土相比,黑土条件下小麦叶片持绿时间和籽粒灌浆时间延长,3个品种的籽粒灌浆渐增期持续时间平均延长3.0 d,平均单株茎数、有效穗数和千粒重分别增加10.91%、18.62%和3.85%,无效穗数平均减少1.35%,籽粒非面筋蛋白含量和面筋蛋白含量平均分别提高0.18%和1.48%,蛋白质产量平均提升0.51 g·盆⁻¹。综上所述,本试验条件下,黑土较潮土显著促进小麦分蘖,增加蛋白质含量和产量。

关键词: 强筋小麦; 土壤类型; 灌浆特性; 产量; 蛋白品质

中图分类号:S512.1;S311

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2025)10-1412-10

Differences in the Quality and Yield of Strong-Gluten Wheat on Fluvo-Aquic Soil and Black Soil

WANG Yujiao^{1,2}, CHEN Zhihao¹, CHANG Xuhong¹, WANG Demei¹, WANG Yanjie¹,
YANG Yushuang¹, SHI Shubing², ZHAO Guangcai¹

(1. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Physiology and Ecology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081, China; 2. College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: In order to explore the adaptability of strong-gluten wheat under different soil types and the differences in yield and quality among varieties, the pot experiments were conducted with three strong-gluten wheat varieties Gaoyou 2018, Shiluan 02-1 and Shiyou 20 as materials in fluvo-aquic soil environment and black soil environment. The changes of flag leaf chlorophyll content, grain weight and nitrogen content of various organs of the strong-gluten wheat varieties from flowering stage to maturity stage under fluvo-aquic soil and black soil were compared. The similarities and differences of stem number per plant, yield and its components, grain protein and component content, and protein yield at maturity stage were compared; Since the flowering period began, the nitrogen content of various plant vegetative organs gradually decreased, while the nitrogen content of grains showed a trend of first decreasing and then increasing. The results showed that the chlorophyll content of wheat in the two soils increased first and then decreased from flowering to 25 days after flowering, and reached the maximum at 5 days after flowering. Compared with the fluvo-aquic soil, the leaf staying green

time and grain filling time of wheat were prolonged under the conditions of black soil, and the duration of grain filling gradual increasing period of the three varieties was prolonged by an average of 3.0 days. The stem number per plant, effective spike number and 1 000-grain weight increased by 10.91%, 18.62% and 3.85%, respectively; the number of ineffective spikes decreased by 1.35%; the non-gluten protein content and gluten protein content in grain increased by 0.18% and 1.48%, respectively; and the protein yield increased by 0.51 g · pot⁻¹. In summary, under the conditions of this experiment, black soil significantly promoted wheat tillering, protein content, and increased yield compared with fluvo-aquic soil.

Keywords: Strong-gluten wheat; Soil type; Filling characteristics; Yield; Protein quality

小麦(*Triticum aestivum* L.)为中国主要粮食作物之一,适应性强,种植范围广^[1]。随人民生活水平的提高,饮食类型呈现多样化,对适于制作面包或用于配粉的优质强筋小麦的需求量日益增高^[2]。中国基础地力对粮食产量的贡献率仅 50%左右^[3],气候变化和社会经济发展可能会减少小麦的种植面积^[4],因此在有限的耕地面积上保证其高产至关重要。土壤因成土过程和属性的不同,存在明显的空间变异,在不同类型土壤上,作物的生长发育具有差异性^[5]。探讨在同一自然气候条件下不同类型土壤如何影响优质强筋小麦产量形成和品质性状的稳定性,对开展优质品种与适宜土壤相结合的研究以及绿色、可持续发展具有重要意义。

小麦品质主要由品种本身的遗传特性决定,同时受到气候、土壤、栽培措施等环境条件及品种与环境相互作用的影响^[6,7]。在其他因素相似的情况下,土壤质地是影响小麦蛋白质含量的重要因素^[8]。研究表明,在中壤土上,豫中潮土区属于优质强筋小麦高度适宜区,符合小麦高产和优质环境条件^[9];潮土、褐土条件下强筋小麦籽粒蛋白及组分含量高^[10]。王浩等^[11]研究发现,小麦蛋白质含量、湿面筋含量和沉降值表现为潮土高于砂姜黑土,产量及其构成因素则以砂姜黑土最好,潮土次之。魏鑫等^[12]比较分析得出,在黑土条件下小麦植株性状、籽粒产量和蛋白质产量均优于潮土和红土。小麦产量和品质在不同土壤上的差异可能与土壤肥力有关。因为在不施肥条件下,土壤的基础生产力表现为中壤潮土>砂姜黑土>黄褐土>砂壤潮土,基础地力较高的土壤的养分供应能力较强^[13]。综上可见,相同品种在同一生长环境中,小麦产量和品质主要因土壤本身的属性特点而异。

在不同生态环境中,优质小麦的品质和产量对土壤类型的反应可能会不同,品种间也会存在差异。目前此方面的研究多聚焦于某一区域土壤

质地或土壤肥力对小麦生长、产量和品质的影响,但有关不同类型土壤上强筋小麦生长发育、生理生化、产量和品质差异的研究相对较少。本研究采用盆栽试验,以 3 个强筋小麦品种为材料,在全生育期不施肥条件下,分析了强筋小麦灌浆特性、籽粒产量和蛋白质在黑土和潮土两种土壤上差异,以期对强筋小麦优质高产高效栽培提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

试验于 2016 年 10 月—2017 年 6 月在中国农业科学院作物科学研究所中圃场网室进行。供试材料为强筋冬小麦品种藁优 2018、师栾 02-1 和石优 20。供试土壤为取自北京的潮土和黑龙江的黑土,其中潮土的基础养分中有机质、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾含量分别为 18.5 g · kg⁻¹、0.8 g · kg⁻¹、66.0 mg · kg⁻¹、9.7 mg · kg⁻¹ 和 102.0 mg · kg⁻¹,黑土分别为 58.7 g · kg⁻¹、3.3 g · kg⁻¹、276.9 mg · kg⁻¹、38.1 mg · kg⁻¹ 和 228.0 mg · kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验为盆栽试验(自然光照条件下),花盆内直径 0.25 m,高 0.20 m。供试土壤混匀装盆,每盆 7.5 kg,每个品种每种土壤下播种 12 盆。小麦播种后,在幼苗长至三片真叶时,每盆定苗 8 株,越冬期间统一覆膜。全生育期不施肥,生育期间及时观察土壤墒情,随时补水,保证水分供应充足(维持盆中土壤相对含水量 75%左右)。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 旗叶叶绿素含量的测定

从开花期开始每盆取 3 株的旗叶,每 5 d 取样 1 次。旗叶剪碎后,称取 0.2 g,用 95%乙醇提取叶绿素,用德国耶拿分析仪器股份公司的 SPECORD 200 紫外-可见分光光度计分别测定 649 nm、665 nm 处的吸光度并计算叶绿素浓度,换

算成单位鲜重的叶绿素含量(mg · g⁻¹FW)^[14,15]。

1.3.2 籽粒灌浆参数的测定

开花后每隔 7 d 取 5 个植株,取整穗进行人工剥粒计数,105 °C 杀青 30 min,75 °C 烘至恒重,数据用于计算灌浆速率^[16,17],之后磨粉用于定氮。以开花后天数(*t*)为自变量,千粒重(*y*)为因变量,用 Logistic 方程 $y = A / (1 + Be^{-kt})$ 对籽粒增重过程进行拟合。

1.3.3 产量及其构成因素的测定

成熟期每处理收获 3 盆,籽粒称重。同时,每盆随机选取 5 株小麦,室内考种测定单株茎数、有效穗数、无效穗数、穗粒数和千粒重。

1.3.4 植株氮素和籽粒蛋白质组分含量的测定

开花期取样分为茎+叶鞘、叶、穗轴+颖壳,开花期后每 7 d 取一次整株样,并将其分为茎+叶鞘、叶、颖壳+穗轴和籽粒,各处理每次 3 盆(为 3 次重复),每盆取 5 株。样品粉碎后使用济南海能仪器股份有限公司的 K9860 全自动凯氏定氮仪,通过凯氏定氮法测定其氮素含量^[18]。采用连续震荡法依次提取成熟期籽粒里的清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白含量^[19]。籽粒粗蛋白质含量用氮素含量乘以 5.7 计算获得。蛋白质产量为籽粒产量和籽粒蛋白质含量的乘积。

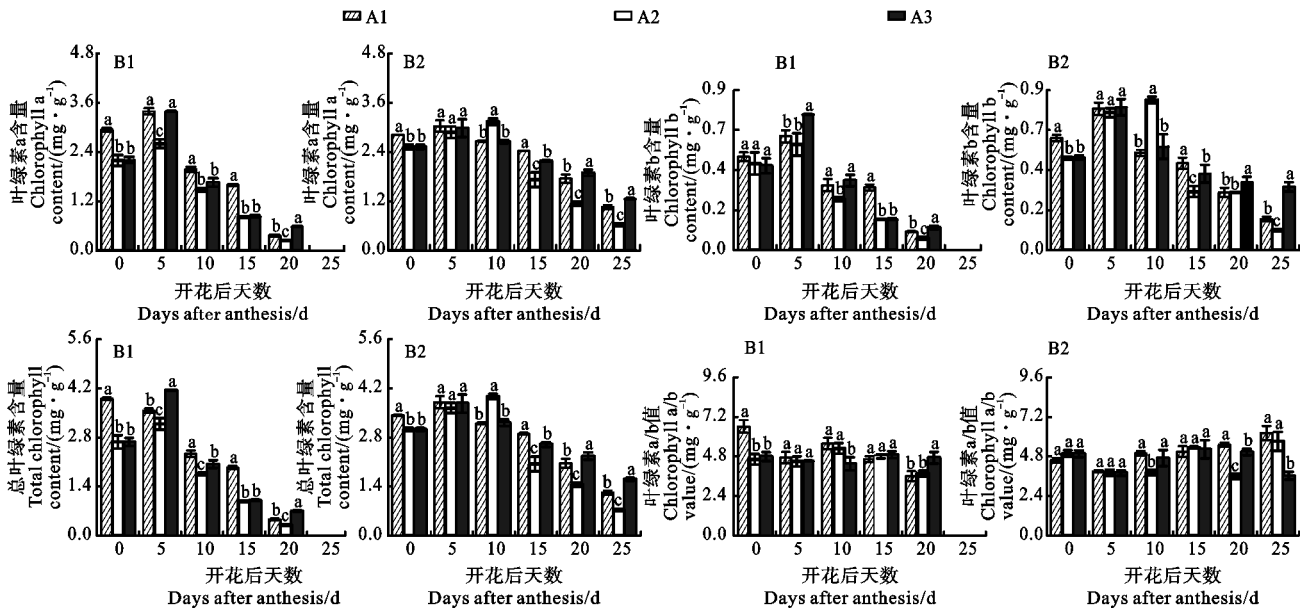
1.4 数据处理

试验数据使用 Excel 2016 整理,采用 Origin 2021 作图,使用 DPS 统计分析软件进行差异性检验和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 土壤类型对小麦开花后旗叶叶绿素含量的影响

强筋小麦开花后的旗叶叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量均呈先升后降的趋势(图 1)。在潮土条件下,3 个品种的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量均在花后 5 d 最高;花后 0、10 和 15 d,藁优 2018 的叶绿素 a 含量、总叶绿素含量和叶绿素 a/b 值均显著高于师栗 02-1 和石优 20;花后 20 d,叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量均表现为石优 20>藁优 2018>师栗 02-1,品种间差异显著。在黑土条件下,藁优 2018 和石优 20 的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量在花后 5 d 均最高,师栗 02-1 的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量在花后 10 d 达最高;藁优 2018 的叶绿素 a 含量在花后 0 d 显著高于师栗 02-1 和石优 20;花后 10 d,叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量表现为师栗 02-1 显著高于藁优 2018 和石优 20,藁优 2018



A1、A2 和 A3 分别代表藁优 2018、师栗 02-1 和石优 20;B1 和 B2 分别代表潮土和黑土;图 2~图 6 和表 1~表 4 相同。同一时期图柱上不同的小写字母表示不同品种间在 0.05 水平差异显著。图 3 同。图中各品种 B1 条件下花后 25 d 的旗叶已发黄干枯,未测定叶绿素含量。

A1, A2 and A3 represent the three wheat varieties of Gaoyou 2018, Shiluan 02-1, and Shiyou 20, respectively; The same in Fig. 1—Fig. 6 and table 1—table 4. B1 and B2 represent fluvo-aquic soil and black soil, respectively. Different lowercase letters above the columns at same stages indicate significant difference among different varieties at 0.05 level. The same in figure 3. In the figure, the chlorophyll content of B1 was not measured and absent for yellowed leaves.

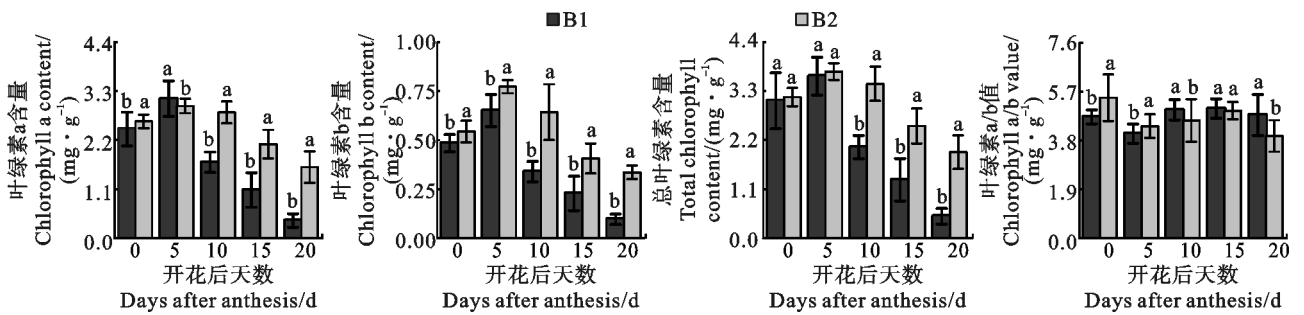
图 1 两种土壤下不同强筋小麦品种开花后旗叶叶绿素含量的变化差异

Fig. 1 Change differences of chlorophyll content in flag leaves of the different strong-gluten wheat varieties after anthesis under the two types of soils

和石优 20 的叶绿素 a/b 值均显著高于师栾 02-1; 花后 15 d, 叶绿素 a 含量表现为藁优 2018>石优 20>师栾 02-1; 花后 20 d 和 25 d, 叶绿素 a 和总叶绿素含量表现为石优 20>藁优 2018>师栾 02-1; 花后 25 d, 叶绿素 b 含量表现为石优 20>藁优 2018>师栾 02-1; 花后 25 d, 藁优 2018 和师栾 02-1 的叶绿素 a/b 值均显著高于石优 20。总体来看, 黑土条件下强筋小麦品种叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量的变化幅度相对潮土较小, 表现较为稳定, 有利于光合作用。

进一步比较发现, 两种土壤下小麦开花后旗叶叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量平均值均在花后 5 d 达到最大值, 之后逐渐下降(图 2)。在

黑土条件下, 花后 0、10、15 和 20 d, 小麦旗叶的叶绿素 a 平均含量均显著高于潮土, 花后 5 d 的旗叶叶绿素 a 平均含量显著低于潮土。小麦花后旗叶的叶绿素 b 平均含量均表现为潮土显著低于黑土。旗叶总叶绿素平均含量在花后 10、15 和 20 d 均表现为黑土高于潮土。两种土壤间小麦旗叶叶绿素 a/b 值在花后不同时期表现不同, 黑土的叶绿素 a/b 值在花后 0 和 5 d 均高于潮土, 在花后 10 和 20 d 均低于潮土。这表明, 潮土条件下强筋小麦旗叶叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总含量在花后 10 d 至 20 d 均低于黑土, 进一步说明在黑土下小麦的叶绿素含量会保持较高水平, 有利于光合作用。



图柱上不同的小写字母表示同一时期不同土壤间在 0.05 水平差异显著。图 4 同。

Different lowercase letters above the columns indicate significant differences between two types of soils at the same stages at 0.05 level. The same in figure 4.

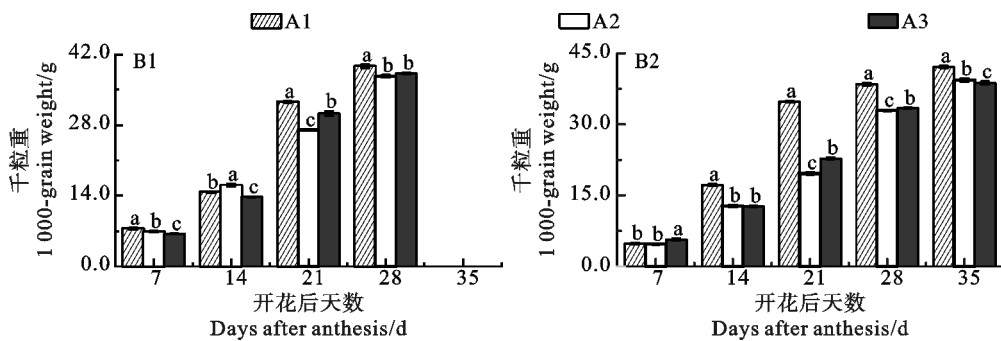
图 2 两种土壤间强筋小麦花后旗叶叶绿素含量的差异

Fig. 2 Difference of chlorophyll content in the flag leaves of the strong-gluten wheat after anthesis between the two types of soils

2.2 土壤类型对强筋小麦籽粒灌浆特性的影响

在两种土壤下, 小麦粒重随着灌浆的进程逐渐升高(图 3)。在不同品种间, 小麦粒重增长差异显著。在潮土下, 花后 7、21 和 28 d, 藁优 2018 的粒重均显著高于师栾 02-1 和石优 20; 花后 14 d, 粒重表现为师栾 02-1>藁优 2018>石优 20; 石优 20 的粒重在花后 7 和 14 d 均显著低于藁优 2018 和师栾 02-1, 花后 28 d 与师栾 02-1 差异不

显著。在黑土下, 藁优 2018 在花后 14、21、28 和 35 d 均显著高于师栾 02-1 和石优 20; 石优 20 的粒重在花后 7 d 显著高于藁优 2018 和师栾 02-1; 花后 21 和 28 d, 粒重表现为藁优 2018>石优 20>师栾 02-1, 差异均显著; 花后 35 d, 粒重表现为藁优 2018>师栾 02-1>石优 20。以上结果说明, 与潮土相比, 黑土条件下藁优 2018、师栾 02-1、石优 20 的粒重增加较多。



B1 条件下小麦在花后 28 d 已收获。
Wheat has been harvested on the 28th day after anthesis under B1 (fluvo-aquic soil).

图 3 两种土壤下不同强筋小麦品种花后千粒重的差异

Fig. 3 Differences of 1 000-grain weight among different strong-gluten wheat varieties after anthesis under the two types of soils

通过进一步比较,小麦粒重在开花后 7、14、21 和 28 d 均表现为潮土显著高于黑土,千粒重平均分别增加 1.89、0.98、4.25 和 3.59 g。但在花后 35 d,黑土的千粒重显著高于潮土,增幅 3.85%。这说明,潮土有利于强筋小麦灌浆前中期的籽粒增重,而黑土则会加快灌浆后期的籽粒物质填充。

通过 Logistics 方程对小麦灌浆过程进行拟合,不同处理的决定系数 R^2 均高于 0.99,说明该方程对小麦籽粒灌浆的拟合性较好(表 1)。黑土下藁优 2018、师栾 02-1 和石优 20 的籽粒灌浆渐增期持续时间(T_1)均大于潮土,三个品种平均延长 3.0 d。师栾 02-1 和石优 20 的灌浆快增期持续时间(T_2)、缓增期持续时间(T_3)、整个灌浆持续时间(T)及最大灌浆速率出现时间(T_{max})均表现为黑土大于潮土,黑土的前三个参数平均值较潮土分别延长 2.9、3.6 和 9.5 d;师栾 02-1 和

石优 20 的平均灌浆速率(V_{mean})和最大灌浆速率(V_{max})表现为潮土>黑土。黑土下藁优 2018 的 T_1 较潮土延长 3.0 d, T_2 、 T_3 、 T 和 T_{max} 较潮土分别缩短 3.5、4.3、4.8 和 1.2 d, V_{mean} 和 V_{max} 均高于潮土,且藁优 2018 在黑土下的 V_{max} 高于其他处理。

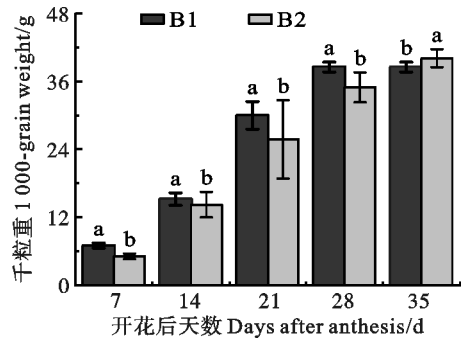


图 4 两种土壤间强筋小麦花后的千粒重差异
Fig. 4 Differences of 1 000-grain weight of strong-gluten wheat after anthesis between the two types of soils

表 1 不同处理下小麦籽粒的灌浆参数

Table 1 Grain filling parameters of wheat grains under different treatments

处理 Treatment	A1		A2		A3	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2
方程 Equation	$y=44.33/(1+23.72e^{-0.19x})$	$y=41.40/(1+51.28e^{-0.26x})$	$y=48.15/(1+15.39e^{-0.14x})$	$y=47.24/(1+20.47e^{-0.13x})$	$y=43.22/(1+28.97e^{-0.20x})$	$y=43.24/(1+18.96e^{-0.15x})$
R^2	0.992	0.996	0.999	0.993	0.993	1.000
T_1/d	2.566	5.566	3.566	6.566	4.566	7.566
T_2/d	13.608	10.124	18.391	19.667	13.422	17.922
T_3/d	16.954	12.613	22.912	24.501	16.722	22.327
T/d	33.128	28.303	44.870	50.734	34.710	47.815
T_{max}/d	16.370	15.146	19.100	22.559	17.167	20.036
$V_{mean}/$ ($mg \cdot grain^{-1} \cdot d^{-1}$)	1.105	1.261	0.940	0.830	1.065	0.843
$V_{max}/$ ($mg \cdot grain^{-1} \cdot d^{-1}$)	2.143	2.691	1.723	1.581	2.119	1.588

T_1 : 灌浆渐增期持续时间; T_2 : 灌浆快增期持续时间; T_3 : 灌浆缓增期持续时间; T : 灌浆持续时间; T_{max} : 最大灌浆速率出现时间; V_{mean} : 平均灌浆速率; V_{max} : 最大灌浆速率。

T_1 : Duration of the gradual increasing phase of filling; T_2 : Duration of the fast increasing phase of filling; T_3 : Duration of the slow increasing phase of filling; T : Duration of filling; T_{max} : Occurrence time of the maximum filling rate; V_{mean} : Average filling rate; V_{max} : Maximum filling rate.

2.3 土壤类型对强筋小麦茎蘖数和产量及产量构成因素的影响

土壤类型对不同小麦品种单株茎数、产量及其构成因素的影响不同(表 2)。黑土的单株茎数、有效穗数和千粒重较潮土平均分别增加 10.91%、18.62% 和 3.85%, 穗粒数、无效穗数平均减少 11.92% 和 1.35%, 产量平均增加 11.48%。在潮

土下,藁优 2018 的单株茎数、无效穗数和穗粒数均显著高于黑土;师栾 02-1 在潮土下的单株茎数、有效穗数和无效穗数均低于黑土,差异未达显著水平,而千粒重显著高于黑土,穗粒数显著低于黑土;石优 20 在潮土下的穗粒数显著高于黑土,总茎数、有效穗数、无效穗数和千粒重均显著低于黑土。藁优 2018B1 的平均产量最低,石优 20B2

的平均产量最高。在黑土下藁优 2018 和石优 20 均较潮土显著增产,其中藁优 2018 主要归因于有效穗数和千粒重的增加,石优 20 主要归因于有效穗数的增加;而师栾 02-1 在黑土上的产量较潮土

显著减产,因为其千粒重和穗粒数显著减少。总体来说,黑土有利于增加强筋小麦的有效穗数和千粒重,进而提高产量,但不同品种的反应存在一定的差异。

表 2 不同处理下小麦的产量及其构成因素

Table 2 Yield and its components of wheat under different treatments

处理 Treatment	单株茎数 Stem number per plant	单株有效穗数 Effectivespike number per plant	单株无效穗数 Invalid spike number per plant	千粒重 1 000-grain weight/g	穗粒数 Grain number per spike	产量 Grain yield/ (g · pot ⁻¹)
A1B1	3.61a	1.65c	1.96a	39.64b	30.29c	13.24f
A1B2	3.21b	1.86b	1.35b	42.13a	26.75d	14.57e
A2B1	2.86c	1.86b	1.00cd	37.71e	33.09b	18.49b
A2B2	3.14bc	2.00b	1.15bcd	39.37bc	29.88c	17.23c
A3B1	2.25d	1.38d	0.87d	38.25de	39.05a	15.81d
A3B2	3.43ab	2.15a	1.28bc	38.73cd	33.59b	21.20a
F 值 F value						
A	16.52**	7.47*	25.70**	166.19**	322.94**	120.91**
B	17.96**	84.25**	0.05 ^{ns}	158.27**	258.65**	48.45**
A×B	29.47**	24.68**	15.67**	22.50**	7.65**	54.81**

A: 品种; B: 土壤。同列数值后的不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平差异显著。*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$; ns: $P > 0.05$ 。表 4 和表 5 同。

A: Variety; B: Soil. Different lowercase letters after the values in the same columns indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$; ns: $P > 0.05$. The same in tables 4 and 5.

2.4 土壤类型对强筋小麦开花后不同器官氮素含量的影响

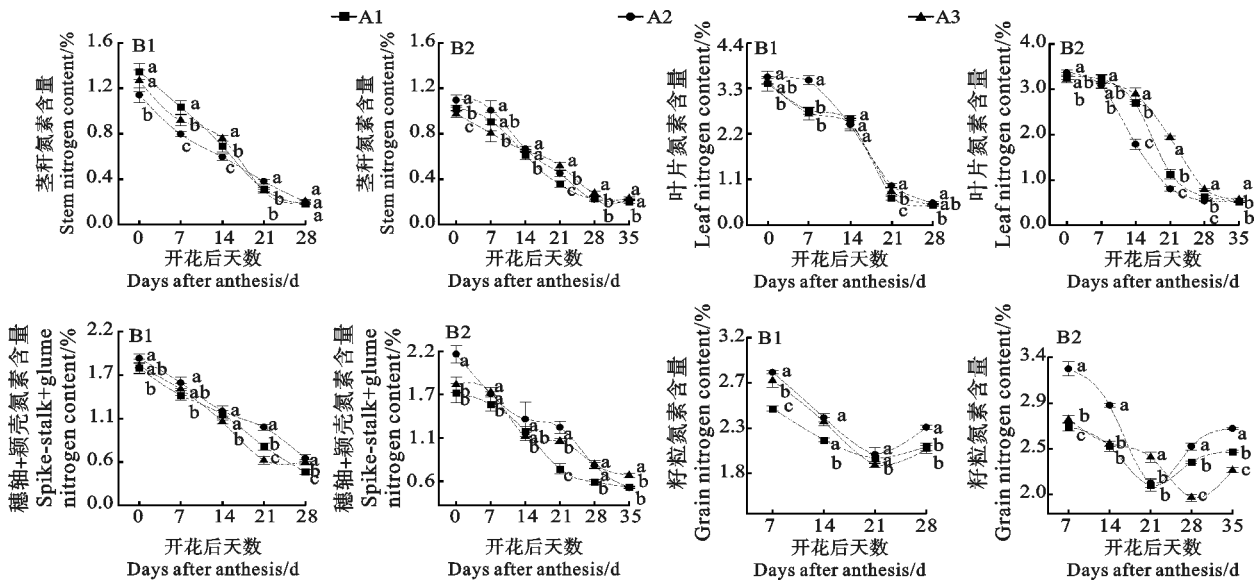
不同类型土壤条件下,从开花期至成熟期,小麦茎秆、叶片、穗轴+颖壳和籽粒的氮素含量变化范围分别为 0.19%~1.35%、0.29%~3.67%、0.42%~2.16%和 1.88%~3.31%(图 5)。自开花期开始,两种类型土壤下小麦茎秆、叶片、穗轴+颖壳的氮素含量均呈逐渐降低的趋势,籽粒氮素含量呈先降后升的趋势。藁优 2018 和师栾 02-1 的籽粒氮素含量最低值在潮土和黑土下均出现在花后 21 d,石优 20 在潮土和黑土下分别在花后 21 和 28 d 降到最低值。除潮土下的茎秆氮素含量外,师栾 02-1 各部位的氮素含量均高于其他两个品种,其中黑土下花后 7 d 穗轴+颖壳以及花后 7、14、28 和 35 d 的籽粒氮素含量显著均高于藁优 2018 和石优 20。

花后 0 和 14 d,黑土的茎秆和叶片的平均氮素含量均显著低于潮土;黑土的茎秆氮素含量在花后 21 和 28 d 显著高于潮土;黑土的叶片氮素含量在花后 7、21 和 28 d 显著高于潮土;穗轴+颖壳的氮素含量在花后 0~28 d 均表现为黑土显

著高于潮土;黑土的籽粒氮素含量在花后 7~28 d 均显著高于潮土。这说明黑土条件下,小麦叶片等营养器官能够在灌浆中后期保持较高的氮素含量,有助于器官功能期的延长;籽粒氮素含量也较高,有利于品质改善。

2.5 土壤类型对强筋小麦籽粒蛋白组分含量及蛋白质产量的影响

小麦籽粒总蛋白含量变化范围为 10.29%~14.26%(表 3)。在黑土下,藁优 2018 的谷蛋白含量和谷醇比均显著高于潮土,醇溶蛋白含量显著低于潮土;师栾 02-1 的球蛋白、醇蛋白、谷蛋白、非面筋蛋白、面筋蛋白和总蛋白含量均表现为黑土显著高于潮土;石优 20 的籽粒蛋白组分含量在黑土下均显著高于潮土。总体上来说,黑土条件下强筋小麦的籽粒营养品质优于潮土。小麦籽粒蛋白质及其组分产量在品种间及土壤类型间也均存在差异(表 4)。藁优 2018 在黑土下,谷蛋白产量显著高于潮土;师栾 02-1 的总蛋白质、醇溶蛋白质和谷蛋白质产量均表现为黑土显著高于潮土;石优 20 在黑土下的籽粒蛋白质产量均显著高于潮土。

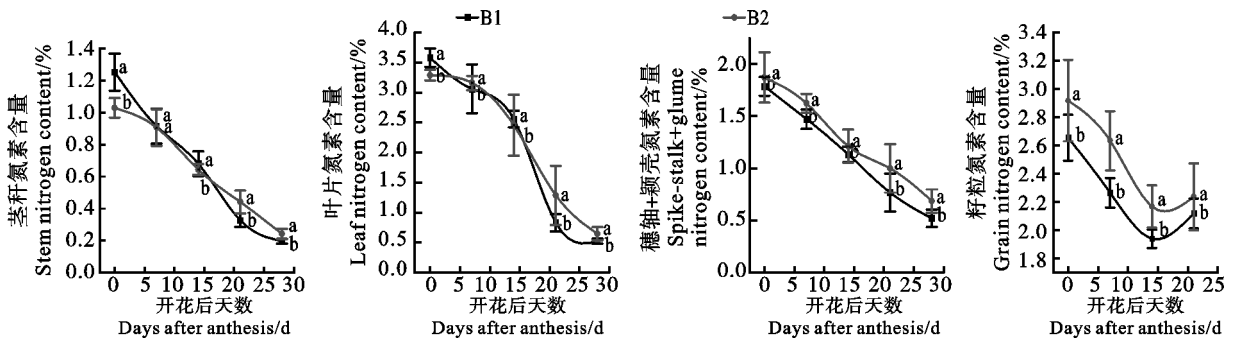


同列的不同小写字母表示同一时期不同品种间在 0.05 水平差异显著。

Different lowercase letters below indicate significant differences among different varieties at the same stages at 0.05 level.

图 5 两种土壤下不同强筋小麦品种花后各器官氮素含量的变化差异

Fig. 5 Change differences of nitrogen content in each organ of strong-gluten wheat after anthesis under two types of soils



同列的不同小写字母表示同一时期不同品种间在 0.05 水平差异显著。

Different lowercase letters below indicate significant differences among different soils at the same stages at 0.05 level.

图 6 两种土壤间小麦各器官的氮素含量差异

Fig. 6 Differences of nitrogen content in different organs of wheat under the two types of soils

表 3 土壤类型及品种间的籽粒蛋白质组分含量变化

Table 4 Changes of grain protein component content among soil types and varieties

处理 Treatment	蛋白含量 Protein content/%							谷醇比 Glu/Gli
	清蛋白 Albumins	球蛋白 Globulins	醇溶蛋白 Globulins	谷蛋白 Glutenins	非面筋蛋白质 Non-gluten protein	面筋蛋白质 Gluten protein	总蛋白质 Total protein	
A1B1	2.34ab	1.34d	3.45b	4.27d	3.68b	7.72c	11.41c	1.24c
A1B2	2.22b	1.37cd	3.06c	4.83c	3.60b	7.89c	11.49c	1.58b
A2B1	2.31ab	1.48bc	2.86c	5.24b	3.79b	8.10c	11.89c	1.83a
A2B2	2.45a	1.64a	3.95a	6.22a	4.09a	10.17a	14.26a	1.58b
A3B1	2.02c	1.35d	2.32d	4.60c	3.37c	6.92d	10.29d	1.98a
A3B2	2.22b	1.49b	3.85a	5.26b	3.71b	9.11b	12.82b	1.37c
F 值 F value								
A	17.31**	15.29**	4.30*	67.58**	18.55**	35.14**	34.42**	0.45**
B	3.98 ^{ns}	13.52**	69.93**	75.18**	10.97**	113.12**	86.42**	0.41**
A×B	6.81*	1.88	42.22**	2.27 ^{ns}	6.05 ^{ns}	22.21**	19.59**	35.85**

表 4 不同处理间小麦籽粒蛋白质产量的差异

Table 4 Difference of grain protein yield of wheat among different treatments		g · pot ⁻¹			
处理 Treatment	总蛋白质 Total protein	清蛋白 Albumin	球蛋白 Globulin	醇溶蛋白 Gliadin	谷蛋白 Glutenin
A1B1	1.51d	0.31c	0.18d	0.46d	0.57d
A1B2	1.67d	0.32c	0.20cd	0.45d	0.70c
A2B1	2.20c	0.43b	0.27b	0.53c	0.97b
A2B2	2.46b	0.42b	0.28b	0.68b	1.07a
A3B1	1.63d	0.32c	0.21c	0.37e	0.73c
A3B2	2.72a	0.47a	0.32a	0.82a	1.12a
F 值 F value					
A	121.01**	69.73**	85.26**	43.06**	135.02**
B	154.37**	47.51**	56.38**	174.85**	111.23**
A×B	52.69**	40.27**	24.63**	81.56**	20.52**

3 讨论

3.1 土壤类型对强筋小麦开花后旗叶叶绿素含量的影响

小麦植株的光合能力与叶绿素含量有关。研究表明,小麦花后旗叶的 SPAD 值总体呈现先升高后迅速降低的趋势,并且在花后 5 d 达到最大值^[20]。本研究结果与其一致,其中叶绿素 b 含量主要受黑土的影响。开花后叶绿素含量下降的越慢,旗叶功能期越长,能持久地进行光合作用,保持充分的灌浆时间^[21]。在本研究中,供试的两种土壤在养分上差异较大,黑土的有机质、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾含量分别是潮土的 2.17、3.13、3.20、2.93 和 1.24 倍。在两种土壤条件下,同一小麦品种的生育期相差 1 周,可能与土壤基础地力有关。在黑土条件下,由于土壤供给的养分充足,小麦叶绿素含量显著高于潮土,植株旗叶能够保持较长时间的绿色,有助于延长光合作用时间和积累更多的有机物,从而增加产量。

3.2 土壤类型对强筋小麦籽粒灌浆特性和产量的影响

小麦灌浆特性与供试土壤养分有效性及养分配比有关^[22]。肥沃的土壤可延缓植株衰老,延迟小麦的最大灌浆速率出现时间,增加灌浆持续时间,尤其是快增持续时间延长,有利于增加粒重^[23]。本研究用 Logistic 方程对不同处理籽粒灌浆速率的拟合结果也反映了品种间的差异,总体上黑土条件下小麦籽粒最大灌浆速率出现时间推迟,灌浆的持续时间延长。

潮土具有较好的供肥性和保肥性,有利于小麦产量形成^[24]。高土壤肥力会促进小麦高产^[25,26]。

本研究中,与潮土相比,黑土条件下藁优 2018 的有效穗数和千粒重增加;师栾 02-1 和石优 20 的单株茎数、有效穗数和千粒重均增加,但穗粒数减少。在潮土条件下,穗粒数和千粒重是影响石优 20 产量的关键因素,穗数和千粒重是影响藁优 2018 产量的关键因素,穗数和穗粒数是影响师栾 02-1 产量的关键。因此,不同品种在不同土壤条件下产量有差异,藁优 2018 和石优 20 产量在黑土条件下较高,师栾 02-1 产量在潮土条件下较高,但黑土条件下小麦平均产量高于潮土。

3.3 土壤类型对强筋小麦植株氮素含量、籽粒蛋白含量和蛋白质产量的影响

较高的土壤养分能够持续为小麦提供充足养分,满足小麦生长发育期间对养分的需求及提高氮素在小麦植株中的积累^[27]。有研究认为,高肥力土壤里的微生物量氮随小麦生育期的推进而逐渐增加,可促进小麦生长和氮素吸收^[28]。黑土条件下籽粒蛋白质产量提高^[29],小麦产量和蛋白质含量与土壤养分含量呈正相关^[30]。黑土条件下小麦成熟期推迟可能意味着小麦有更多的时间积累干物质和蛋白质。在本研究中,小麦植株氮素吸收主要来源于土壤和空气中的 NO₂,因此较潮土条件而言,黑土具有更高的土壤供氮能力,在延长了小麦植株高氮素含量持续时间的同时,提高籽粒蛋白质含量和籽粒蛋白质产量。在实际农业生产中,生育期延迟可能会导致小麦关键生长阶段与不利气候条件(如低温或干旱)相遇,进而降低产量,因此需根据具体情况采取相应的管理措施。

4 结论

本研究中,虽供试小麦材料都是强筋品种,但

品种间产量形成具有差异。其中,藁优 2018 的最大灌浆速率和千粒重最大,产量却最低;石优 20 的产量最高,总蛋白质含量低于师栾 02-1。黑土条件作为一种肥沃的土壤类型,对小麦品种生长产生有利影响。具体来说,黑土条件能够提高藁优 2018 的有效穗数,增强其生长早期的植株密度,从而为其后续的高产打下坚实基础。对于师栾 02-1,黑土提供的丰富营养特别是氮素,有助于籽粒蛋白质的合成和积累,使得该品种在黑土条件下能够实现更高的蛋白质含量。石优 20 在黑土条件下也表现出产量,这可能与黑土良好的水分保持能力和养分供应有关。综上所述,黑土条件能够满足这三个强筋小麦品种在生长过程中的关键需求,促进其分蘖及蛋白质含量和产量增加。潮土的自然肥力不如黑土,但通过调整栽培措施可改善其土壤结构和肥力,进而提高作物的产量和品质。

参考文献:

- [1]赵广才,常旭虹,王德梅,等.小麦生产概况及其发展[J].作物杂志,2018(4):1.
ZHAO G C, CHANG X H, WANG D M, *et al.* General situation and development of wheat production [J]. *Crops*, 2018 (4):1.
- [2]路辉丽,彭星星,尹豪,等.河南省小麦生产现状及优质小麦发展对策研究[J].粮油食品科技,2024,32(1):185.
LU H L, PENG X X, YIN H, *et al.* Research on the current situation of wheat production and development strategies for high quality wheat in Henan Province [J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2024, 32(1):185.
- [3]李官沫,张文菊,曲潇琳,等.旱作种植条件下基础地力贡献率演变特征及影响因素分析[J].中国农业科学,2021,54(19):4132.
LI G M, ZHANG W J, QU X L, *et al.* Evolution characteristics and influencing factors on inherent soil productivity across dryland [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(19):4132.
- [4]GUO X, ZHANG P Y, YUE Y J. Prediction of global wheat cultivation distribution under climate change and socioeconomic development [J]. *Science of the Total Environment*, 2024, 919:170481.
- [5]姜玉琴,谢先进,黄达.耕地质量对耕地生产力的影响[J].中国农学通报,2022,38(3):75.
JIANG Y Q, XIE X J, HUANG D. Influence of cultivated land quality on cultivated land productivity [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022, 38(3):75.
- [6]ROZBICKI J, CEGLIŃSKA A, GOZDOWSKI D, *et al.* Influence of the cultivar, environment and management on the grain yield and bread-making quality in winter wheat [J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 61:126.
- [7]BILGIN O, GUZMÁN C, BAŞER I, *et al.* Evaluation of grain yield and quality traits of bread wheat genotypes cultivated in northwest Turkey [J]. *Crop Science*, 2016, 56(1):73.
- [8]杨阳,熊淑萍,刘娟,等.土壤质地对强筋型小麦郑麦 366 氮代谢及氮利用效率的影响[J].麦类作物学报,2013,33(3):466.
YANG Y, XIONG S P, LIU J, *et al.* Effects of soil texture on nitrogen metabolism and nitrogen efficiency of strong-gluten wheat cultivar Zhengmai 366 [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(3):466.
- [9]陈建玲,程小龙.豫中潮土区土壤质地对强筋小麦产量、品质及耐冻性的影响[J].山西农业科学,2021,49(8):932.
CHEN J L, CHENG X L. Effects of fluvo-aquic soil textures on yield, quality and freezing tolerance of strong gluten wheat in central Henan [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2021, 49(8):932.
- [10]化党领,刘方,介晓磊.土壤类型与不同筋力小麦产量和品质的关联性[J].麦类作物学报,2011,31(2):286.
HUA D L, LIU F, JIE X L. Association between different soil ecotype with yield, quality of three wheat varieties with different gluten content [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2011, 31(2):286.
- [11]王浩,马艳明,宁堂原,等.不同土壤类型对优质小麦品质及产量的影响[J].石河子大学学报(自然科学版),2006,24(1):75.
WANG H, MA Y M, NING T Y, *et al.* Effect on quality traits and grain yield of the high-quality wheat in different types of soils [J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2006, 24(1):75.
- [12]魏鑫,常旭虹,王德梅,等.不同类型土壤对小麦籽粒产量和蛋白质含量的影响[J].麦类作物学报,2019,39(12):1497.
WEI X, CHANG X H, WANG D M, *et al.* Effect of different types of soil on wheat grain yield and protein content [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2019, 39(12):1497.
- [13]黄晓婷,赵亚丽,杨艳,等.不同土壤类型冬小麦-夏玉米轮作施肥效应[J].中国农业科学,2016,49(16):3140.
HUANG X T, ZHAO Y L, YANG Y, *et al.* Effects of fertilization on winter wheat-summer maize rotation system in different soil types [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(16):3140.
- [14]薛香,吴玉娥.小麦叶片叶绿素含量测定及其与 SPAD 值的关系[J].湖北农业科学,2010,49(11):2701.
XUE X, WU Y E. Chlorophyll content determination and its relationship with SPAD value in wheat [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2010, 49(11):2701.
- [15]张梅芳,黄敬尧,李中蔚,等.测墒微喷灌溉对小麦花后旗叶生理特性及产量的影响[J].安徽农业大学学报,2022,49(5):687.
ZHANG M F, HUANG J Y, LI Z W, *et al.* Effects of micro-sprinkling with supplemental irrigation based on measuring soil moisture on the physiological characteristics of flag leaf after anthesis and yield in wheat [J]. *Journal of Anhui Ag-*

- ricultural University, 2022, 49(5): 687.
- [16]江晓东,陈惠玲,姜琳琳,等.弱光条件下散射辐射比例增加对冬小麦籽粒灌浆进程的影响[J].中国农业气象,2017,38(12):753.
JIANG X D, CHEN H L, JIANG L L, *et al.* Effect of increasing diffuse radiation fraction under low light condition on the grain-filling process of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2017, 38(12):753.
- [17]HE J N, SHI Y, ZHAO J Y, *et al.* Strip rotary tillage with subsoiling increases winter wheat yield by alleviating leaf senescence and increasing grain filling [J]. *The Crop Journal*, 2020, 8(2):327.
- [18]王玉娇,常旭虹,王德梅,等.播种方式对不同品种小麦产量和品质的影响[J].作物杂志,2023(1):122.
WANG Y J, CHANG X H, WANG D M, *et al.* Effects of sowing methods on yield and quality of different varieties of wheat [J]. *Crops*, 2023(1):122.
- [19]王玉娇,曹祺,常旭虹,等.不同土壤条件下化学调控对小麦产量和品质的影响[J].作物杂志,2021(2):96.
WANG Y J, CAO Q, CHANG X H, *et al.* Effects of chemical regulation on wheat yield and quality under different soil conditions [J]. *Crops*, 2021(2):96.
- [20]柏军兵,王艳杰,王德梅,等.强筋小麦产量和品质对不同土壤条件及施氮水平的响应[J].作物杂志,2022(1):167.
BAI J B, WANG Y J, WANG D M, *et al.* Response of yield and quality of strong gluten wheat to different soil conditions and nitrogen levels [J]. *Crops*, 2022(1):167.
- [21]张秋英,李发东,刘孟雨.冬小麦叶片叶绿素含量及光合速率变化规律的研究[J].中国生态农业学报,2005,13(3):95.
ZHANG Q Y, LI F D, LIU M Y. Changing laws of chlorophyll content and photosynthetic rate in winter wheat leaves [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(3):95.
- [22]赵玉霞,李娜,周芳,等.氮硫配施对冬小麦籽粒灌浆特性及产量的影响[J].应用生态学报,2014,25(5):1366.
ZHAO Y X, LI N, ZHOU F, *et al.* Effects of N and S application on grain filling characteristics and yield of winter wheat [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(5):1366.
- [23]张晶晶,石玉,于振文,等.不同土壤肥力麦田小麦干物质生产和产量的差异[J].麦类作物学报,2021,41(12):1541.
ZHANG J J, SHI Y, YU Z W, *et al.* Differences in dry matter production and yield of wheat in wheat fields with different soil fertility [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2021, 41(12):1541.
- [24]徐霞,赵亚南,黄玉芳,等.不同地力水平下的小麦施肥效应[J].中国农业科学,2018,51(21):4076.
XU X, ZHAO Y N, HUANG Y F, *et al.* Fertilization effect of wheat under different soil fertilities [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(21):4076.
- [25]刘卫星,王家瑞,王晨阳,等.施氮量对不同土壤肥力条件下冬小麦光合特性和产量的影响[J].麦类作物学报,2021,41(5):604.
LIU W X, WANG J R, WANG C Y, *et al.* Effect of nitrogen application rates on photosynthetic characteristics and yield of winter wheat under different soil fertility conditions [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2021, 41(5):604.
- [26]张水清,黄绍敏,姜翼来,等.华北潮土区不同肥力水平土壤基础地力研究[J].中国农学通报,2016,32(20):97.
ZHANG S Q, HUANG S M, LOU Y L, *et al.* Basic soil productivity study on different fertility levels in fluvo-aquic soil region, North China [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(20):97.
- [27]张振,石玉,于振文,等.不同产量水平麦田植株氮素转运和籽粒氮素积累的差异[J].中国农业科学,2024,57(13):2539.
ZHANG Z, SHI Y, YU Z W, *et al.* The differences of plant nitrogen transport and grain nitrogen accumulation in different yield levels of wheat field [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2024, 57(13):2539.
- [28]李俊杰,邹洪琴,许发辉,等.土壤微生物量氮对小麦各生育期氮素形态的调控[J].植物营养与肥料学报,2021,27(8):1321.
LI J J, ZOU H Q, XU F H, *et al.* Regulation of soil microbial biomass nitrogen on nitrogen forms in different growth stages of wheat [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2021, 27(8):1321.
- [29]朱英杰,刘富启,张燕,等.不同土壤条件下氮肥处理对小麦产量及品质的影响[J].作物杂志,2020(3):184.
ZHU Y J, LIU F Q, ZHANG Y, *et al.* Effect of nitrogen treatment on wheat yield and quality in different soil conditions [J]. *Crops*, 2020(3):184.
- [30]刘哲文,郭丹丹,常旭虹,等.小麦产量和品质对不同类型土壤和施氮处理的响应[J].麦类作物学报,2022,42(5):623.
LIU Z W, GUO D D, CHANG X H, *et al.* Responses of yield and quality of wheat to different soil types and nitrogen treatments [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2022, 42(5):623.