

任三学,赵花荣,周广胜,等. 郑麦 98 对播种期变化的响应. 应用气象学报,2023,34(3):362-372.
DOI: 10.11898/1001-7313.20230309

郑麦 98 对播种期变化的响应

任三学¹⁾²⁾ 赵花荣¹⁾²⁾ 周广胜^{1)2)3)*} 齐月⁴⁾ 田晓丽²⁾ 耿金剑¹⁾²⁾

¹⁾(中国气象科学研究院,北京 100081)

²⁾(河北固城农业气象国家野外科学观测研究站,保定 072656)

³⁾(南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心,南京 210044)

⁴⁾(中国气象局兰州干旱气象研究所/甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室/
中国气象局干旱气候变化与减灾重点实验室,兰州 730020)

摘 要

播种期调整被广泛用于作物适应气候变化,但播种期调整对作物生长发育过程的影响仍需探讨。基于 2017—2022 年华北平原北部冬小麦郑麦 98 的播种期调整大田试验资料,分析播种期变化对郑麦 98 的生长发育、产量形成和品质影响。结果表明:播种期推迟使郑麦 98 的生长季缩短、有效穗数和籽粒产量减少,9 月 30 日—10 月 30 日播种期的籽粒产量减少率达 $569.71 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot (10 \text{ d})^{-1}$,但对穗粒数、穗粒重无显著影响。播种期推迟还影响郑麦 98 成熟期地上干物质分配,茎秆随播种期推迟呈减少趋势,为 $2.44\% \cdot (10 \text{ d})^{-1}$;而穗部呈增加趋势,为 $2.44\% \cdot (10 \text{ d})^{-1}$ 。播种期变化对郑麦 98 的叶片光合特性和籽粒品质影响不显著。研究结果可为华北平原北部冬小麦播种期调整提供依据。

关键词: 郑麦 98; 播种期; 发育期; 产量; 品质

引 言

气候变化已对全球粮食安全产生显著影响。粮食关乎国计民生,确保粮食安全对中国具有重要现实意义。小麦是我国第二大粮食作物,占粮食总产量的 22.5%,占总消费量的 25%,其中冬小麦产量占全国小麦总产量的 95%,其产量波动严重影响中国粮食安全^[1-7]。全球气候变化呈现显著的区域性和季节性差异,对农业生产影响的正负效应具有异质性。中国北方秋季增暖和冬暖特征明显,冬小麦种植界限呈北移西扩趋势、播种期呈推迟趋势,并影响越冬期安全及种植区的气候生态环境等^[8-12]。

气候变化对农业影响广泛^[13-17],包括不同地域的农业生产布局、品种更新换代、种植制度和方式以及作物发育进程、生长周期、产量和品质,农作物病

虫害和农业气象灾害及次生灾害等^[18-26]。作物播种期调整已被广泛用于作物适应气候变化的生产实践,但关于播种期调整对作物生长发育、产量和品质等的影响研究仍较少^[27-33]。为了揭示气候变暖背景下播种期调整对冬小麦生长发育与产量及品质的影响,本研究基于 2017—2022 年河北固城农业气象国家野外科学观测研究站冬小麦郑麦 98 分期播种的大田试验资料,分析播种期调整对郑麦 98 生长发育、产量形成及籽粒品质等影响,以为华北地区冬小麦生产应对气候变化提供科学依据。

1 试验地点与方法

1.1 试验地点和气象条件

河北固城农业气象国家野外科学观测研究站(简称固城站)位于华北平原北部高产农业生态区,

2022-11-11 收到,2023-02-21 收到再改稿。

资助项目:国家自然科学基金项目(42141007,42071402),中国气象局创新发展专项(CXFZ2022J051),中国气象局农业气象保障与应用技术开放研究基金项目(AMF202007)

* 通信作者,邮箱:zhougs@cma.gov.cn

地势平坦、土层深厚,土壤类型为砂壤土。该站地处暖温带大陆性季风气候区,年平均气温为 12.2℃,年降水量为 490.3 mm,雨热同季,但降水分配不均,70%以上的降水集中在夏季,冬季雨雪稀少。冬小麦主要生长季(10月—次年5月)内降水量约占年降水量的 20%。农业种植实行冬小麦-夏玉米一年两熟连续轮作制。大田生产实行作物秸秆粉碎还田和农业机械化及浅耕免耕措施,生产管理采用雨养农业和补充灌溉相结合的方式。

2017—2022年冬小麦主要生长季(10月—次年5月)的年度温度条件差异不大,平均气温为 6.0~7.3℃,平均最高气温为 13.6~14.5℃,平均最低气温为 -0.7~1.2℃,日较差为 13.3~15.0℃,日照时数为 2057.8~2185.8 h;降水量差异较大,2017—2018年生长季降水量为 190.2 mm,2020—2021年生长季降水量为 83.5 mm。

1.2 试验设计与观测方法

1.2.1 试验设计

冬小麦供试品种为郑麦 98,是半冬性、晚熟品种。2017—2022年共开展 5 个生长季的大田试验观测,秋季 9 月 30 日—10 月 30 日间隔 10 d 设置 4 期播种,次年 6 月中旬收获,以当地冬小麦正常播种期为对照,4 个播种期分别为早播 10 d(S1)、晚播 10 d(S2)、晚播 20 d(S3)和对照(CK),对应播种期为 9 月 30 日、10 月 20 日、10 月 30 日和 10 月 10 日,各播种期设 4 个重复,试验田小区采用标准拉丁方分布。小区面积为 20 m²(5 m×4 m)。采用人工开沟播种,南北行向,行距为 25 cm,播种量为 22.5 g·m⁻²。施用底肥为磷酸二胺(N,P₂O₅和 K₂O 的含量分别为 18%,46%和 0,总养分不低于 64.0%)

60 g·m⁻²,返青-拔节期追肥为多肽尿素(氮含量不低于 46%,聚天冬氨酸不低于 0.05%)75 g·m⁻²。根据当地农田管理,生长季灌水 5 次(每次充足灌水,生长发育不受干旱胁迫),分别是出苗水、越冬水、返青-拔节水、孕穗-抽穗水、开花-灌浆水。生产管理采用喷雾农药防治病虫害,人工除草。

1.2.2 观测方法

依据《农业气象观测规范(上卷)》^[34]有关标准,开展试验期间冬小麦发育期观测;关键发育期的生长状况及地上干(鲜)生物量测定,包括分离叶(绿叶、黄叶)、叶鞘、茎秆、穗等干(鲜)物重,密度,分蘖状况等;关键发育期测定植株高度(0.1 cm);开花 10 d 后开始(间隔 5 d)剪穗测定籽粒灌浆速率;成熟期收取 1 m²地上全株样本进行小穗数、不孕小穗数、穗粒数、穗粒重、千粒重、茎秆重、籽粒重、有效穗数、无效穗数等产量要素测定。对正常晾晒风干籽粒进行氨基酸、脂肪酸、蛋白质、脂肪、淀粉等品质测定(由青岛科创质量检测有限公司分析测定)。

冬小麦关键发育期利用 Licor-6400 测定叶片光合作用日变化特征(北京时 06:00—18:00 间隔 2 h 测定 1 次)。

每旬逢 3 日、8 日人工取土测定 0~50 cm 土层每间隔 10 cm 的土壤重量含水率,监测土壤水分变化和适宜程度。

2 结果与分析

2.1 发育期对播种期变化的响应

由 2017—2022 年冬小麦分期播种试验关键发育期平均特征(表 1)可以看到,郑麦 98 的 4 个播种

表 1 2017—2022 年郑麦 98 分期播种试验关键发育期特征
Table 1 Characteristics of key growth periods of winter wheat Tanmai 98 under different sowing date experiments from 2017 to 2022

发育期及发育阶段	CK	S1	S2	S3
出苗期	10-18	10-05	10-29	11-11
分蘖期	11-12	10-27		
拔节期	次年 04-04	次年 04-04	次年 04-06	次年 04-10
孕穗期	次年 04-19	次年 04-18	次年 04-19	次年 04-22
抽穗期	次年 04-28	次年 04-27	次年 04-28	次年 04-30
开花期	次年 05-05	次年 05-06	次年 05-06	次年 05-08
成熟期	次年 06-13	次年 06-13	次年 06-13	次年 06-15
生长季/d	246	256	236	228
越冬前幼苗期/d	45	58	34	21
营养生长期(返青后苗期)/d	48	48	49	52
生殖生长期(孕穗-成熟)/d	55	56	55	54
籽粒灌浆期(开花-成熟)/d	39	38	38	38

期越冬停止生长前随播种期推迟发育期递次延后,发育历期延长,S1处理5 d出苗,CK对照8 d出苗,S2处理9 d出苗,S3处理11 d出苗;S2冬前无分蘖,S3冬前未达到三叶和分蘖,停止生长期和返青期基本一致。春季返青后,起身-成熟期间的发育期与CK相比,S1和S2发育期相同或提前(推迟)1~2 d,S3可能因补偿性生长发育,推迟2~6 d,尤其拔节期推迟6 d。S3因播种太迟,冬前单茎独苗或为一根针苗情,麦苗嫩弱,越冬期地上部几乎完全干枯,返青后麦苗补偿性生长,发育进程滞后,开花期5月8日,较S1,S2和CK推迟2~3 d。生长季因播种期调整变化从早播一晚播的256 d至228 d,递次缩短10 d至8 d,与播种期处理间隔基本一致。播种期调整导致越冬前幼苗生长期缩短,返青后苗

期(返青-孕穗)S3因播种晚春季麦苗补偿性生长时间延长。孕穗-成熟、籽粒形成灌浆期(开花-成熟)的生殖生长期处理间无显著差异。

2.2 籽粒灌浆和产量构成要素对播种期变化的响应

2.2.1 分期播种的籽粒灌浆变化特征

由2017—2022年郑麦98分期播种的籽粒灌浆特征(表2和图1a)可以看到,S1,S2和CK的籽粒灌浆特征相近,而S3与S1,S2和CK存在差异。S3因开花延后影响灌浆结束日期推迟2~4 d;灌浆峰值前籽粒快速膨大期11 d,缩短3~4 d,峰值后籽粒库容充实期灌浆速率减小,籽粒充实程度不足,开花后35 d和40 d的籽粒千粒重较其他3个播种期的平均值低,分别减少1.877 g和1.284 g,收获期千粒重较其他播种期平均值偏小5.22%。

表2 2017—2022年郑麦98分期播种试验的籽粒灌浆特征
Table 2 Grain filling characteristics of winter wheat Tanmai 98 under different sowing date experiments from 2017 to 2022

处理	开花普期	灌浆开始测定日期	灌浆结束日期	灌浆持续天数/d	灌浆峰值日期	灌浆速率峰值/(g·(5 d) ⁻¹)	平均灌浆速率/(g·(5 d) ⁻¹)
CK	05-05	05-15	06-13	29	05-30	11.560	6.577
S1	05-06	05-16	06-14	29	05-30	11.080	6.479
S2	05-06	05-16	06-15	30	05-30	11.020	6.688
S3	05-08	05-18	06-17	30	05-29	11.390	6.349

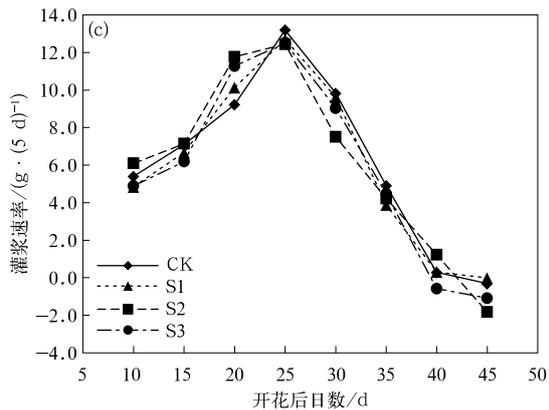
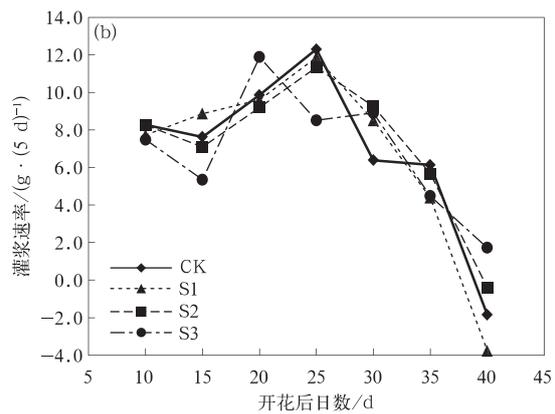
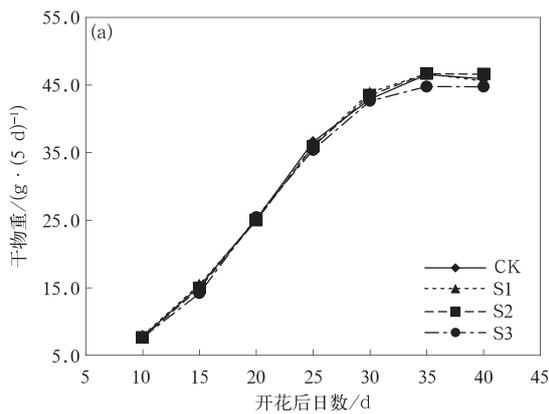


图1 郑麦98分期播种试验籽粒(1000粒)灌浆变化
(a)2017—2022年年平均籽粒干物质累积,
(b)2019—2020年籽粒灌浆速率,
(c)2021—2022年籽粒灌浆速率

Fig. 1 Variation of grain(1000 seeds) filling of winter wheat Tanmai 98 staged sowing date experiment
(a)annual grain dry matter accumulation during 2017—2022,(b)grain filling rate during 2019—2020,
(c)grain filling rate during 2021—2022

不同年份气象条件影响不同,播种期变化对籽粒灌浆过程的影响也不同。由表 3 和图 1b 可见, S1, S2 和 CK 差异较小, 而 S3 播种期因成熟期出现“贪青晚熟”, 进入收获期植株青干逼熟, 籽粒灌浆被迫终止, 灌浆峰值日比 CK 提前 6 d, 收获籽粒千粒重较 CK 偏低 3.355 g。2022 年 5 月初—6 月上旬冬小麦进入开花-籽粒形成、灌浆期, 天气晴热, 日照时间和光合有效辐射充分, 有利于冬小麦开花授粉

和籽粒灌浆成熟。表 3 和图 1c 中 4 个播种期籽粒灌浆速率变化特征比较相近, 但 S3 成熟期因干热天气影响表现为干热逼熟, 其灌浆结束日期比 CK 提前 2 d, 持续日数较 CK 缩短 3 d, 较 S1 的灌浆结束日期提前 6 d, 持续日数缩短 6 d; 但因其田间穗数偏少, 水分、养分供给相对集中, 其平均灌浆速率比 S1, S2 和 CK 略高。成熟期收获籽粒: CK 千粒重 51.778 g, 其他 3 个播种期差异较小, 为 50.435~50.596 g。

表 3 2019—2020 年和 2021—2022 年郑麦 98 分期播种试验的籽粒灌浆特征

Table 3 Grain filling characteristics of winter wheat Tanmai 98 under different sowing date experiments during 2019—2020 and 2021—2022

年份	处理	开花普期	灌浆开始测定日期	灌浆结束日期	灌浆持续日数/d	灌浆峰值日期	灌浆速率峰值/ $(g \cdot (5 d)^{-1})$	平均灌浆速率/ $(g \cdot (5 d)^{-1})$
2019—2020	CK	05-05	05-15	06-13	29	05-30	12.301	6.961
	S1	05-06	05-16	06-13	28	05-29	11.866	6.743
	S2	05-05	05-15	06-14	30	05-30	11.328	7.200
	S3	05-06	05-16			05-24	11.879	6.905
2021—2022	CK	05-03	05-13	06-14	32	05-28	13.198	6.204
	S1	05-04	05-14	06-18	35	05-29	12.702	6.020
	S2	05-04	05-14	06-15	32	05-28	12.620	6.175
	S3	05-04	05-14	06-12	29	05-29	12.580	6.829

2.2.2 收获期地上干物质分配率

由郑麦 98 分期播种试验收获期地上干物质分配率(表 4)可知, 播种期调整使得郑麦 98 收获期籽粒、茎秆、穗轴和颖壳及穗部的分配率随播种期推迟均呈线性变化, 播种期推迟茎秆重分配率递减为 $2.44\% \cdot (10 d)^{-1}$, 而穗部分配率递增为 $2.44\% \cdot$

$(10 d)^{-1}$, 特别是播种期间籽粒重分配率差异明显: S1 不足 50%, 比 CK 偏低 1.71%, S2, S3 及 CK 均在 50% 以上, S2, S3 分别比 CK 提高 2.59% 和 2.99%。因此, 气候变暖背景下, 北方冬麦区生长季气温升高, 有效积温增加, 越冬休眠期缩短, 冬小麦推迟播种改变植株地上干物质分配关系。

表 4 2017—2022 年郑麦 98 分期播种试验收获期地上干物质分配率(单位:%)

Table 4 Above-ground dry matter distribution rate during the harvest period of winter wheat Tanmai 98 under different sowing date experiments from 2017 to 2022(unit:%)

处理	茎秆	颖壳和穗轴	籽粒	穗部
CK	36.52	12.70	50.78	63.48
S1	38.61	12.33	49.07	61.39
S2	33.04	13.59	53.37	66.96
S3	31.64	14.60	53.77	68.36

2.2.3 产量构成要素

播种期调整对郑麦 98 产量构成要素的影响并不一致。由成熟期 $1 m^2$ 地上全株样本测产结果(表 5)可见, 有效穗数是决定产量高低的关键要素, 播种期推迟分蘖减少, 成穗数降低, 有效穗数随播种期推迟减少, 如 S2, S3 分别比 CK 减少 4.03% 和 17.18%。

由于 2017—2018 年冬小麦返青后出现倒春寒和降雪, 导致冬小麦发生冻害, 尤其是播种期推迟 20 d 的 S3 处理麦苗受冻害影响较严重, 2017—2018 年冬小麦的有效穗数和籽粒重均约为 2018—2022 年年平均值的 25%。2018—2022 年各处理间的冬小麦有效穗数和籽粒重差异不显著, 反映穗结构的小

穗数、不孕小穗数及穗粒数、穗粒重差异也不显著。对于千粒重,CK最大,为48.385 g, S1, S2与CK接近,为48.043~48.048 g, S3为45.647 g,较CK偏低5.66%。成熟期收获籽粒重随播种期推迟减小,理论产量随播种期推迟10 d的递减率为569.71 kg·hm⁻², S1, S2和CK籽粒重近8500 kg·hm⁻²以

上,而S3因播种过晚,理论产量仅为7625.4 kg·hm⁻²,较CK减少14.68%。收获指数(收获籽粒重与地上干物质总重之比)随播种期推迟而提高, S2, S3和CK的收获指数均大于0.5000,而S1低于0.5000,为0.4878。因此, 粳麦98播种期推迟10 d未对产量造成显著影响,但推迟20 d则会导致减产。

表5 2017—2022年粳麦98分期播种试验平均产量要素
Table 5 Average yield components of winter wheat Tanmai 98 under different sowing date experiments from 2017 to 2022

处理	有效穗数	小穗数	不孕小穗数	穗粒数	穗粒重/g	籽粒重/g	千粒重/g	收获指数	理论产量/(kg·hm ⁻²)
CK	541.4	16.9	0.8	47.7	2.285	893.7	48.385	0.5055	8937.2
S1	581.8	17.8	1.0	49.1	2.344	937.1	48.043	0.4878	9371.3
S2	519.6	16.0	0.8	45.6	2.171	847.7	48.048	0.5299	8477.8
S3	448.4	15.6	0.7	45.8	2.091	762.5	45.647	0.5381	7625.4

2.3 叶片光合特性对播种期的响应

2018—2022年测定粳麦98分期播种植株拔节期、抽雄期、乳熟期的叶片光合特性在各播种期无明显差异(2017年分期播种试验未统计)(表6)。拔节期叶片净光合速率差异较小,随播种期推迟呈增大趋势,播种期推迟10 d增大0.935 μmol·m⁻²·s⁻¹, S1比CK偏小0.506 μmol·m⁻²·s⁻¹, S3比CK增大1.916 μmol·m⁻²·s⁻¹。对抽穗期叶片净光合速率, S1和S3较低, CK和S2较高,但差值小。乳熟期各播种期的叶片净光合速率相近。不同发育期的净光合速率平均值为18.043~19.150 μmol·m⁻²

·s⁻¹。不同播种期的蒸腾速率在拔节期差异较小,其中S1最小,为3.799 mol·m⁻²·s⁻¹, S2最大,为4.724 mol·m⁻²·s⁻¹;在抽雄期和乳熟期,蒸腾速率分别为6.228~6.788 mol·m⁻²·s⁻¹和8.871~9.275 mol·m⁻²·s⁻¹。

不同发育期叶片水分利用效率各播种期间差异小,拔节期为4.119~4.440 μmol·mmol⁻¹,抽穗期为2.866~3.096 μmol·mmol⁻¹,乳熟期均接近2.0 μmol·mmol⁻¹,不同发育期的叶片水分利用效率平均值为3.002~3.170 μmol·mmol⁻¹。

表6 2018—2022年粳麦98分期播种试验的叶片平均光合特性
Table 6 Average leaf photosynthetic characteristics of winter wheat Tanmai 98 under different sowing date experiments from 2018 to 2022

处理	净光合速率/(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)				蒸腾速率/(mol·m ⁻² ·s ⁻¹)				水分利用效率/(μmol·mmol ⁻¹)			
	拔节期	抽穗期	乳熟期	平均	拔节期	抽穗期	乳熟期	平均	拔节期	抽穗期	乳熟期	平均
CK	17.372	20.287	17.602	18.420	4.068	6.569	9.189	6.608	4.271	3.088	1.916	3.092
S1	16.866	19.282	17.982	18.043	3.799	6.228	9.110	6.379	4.440	3.096	1.974	3.170
S2	19.458	20.473	17.519	19.150	4.724	6.788	8.871	6.794	4.119	3.016	1.975	3.037
S3	19.288	18.826	17.908	18.674	4.582	6.570	9.275	6.809	4.210	2.866	1.931	3.002

2.4 籽粒品质对播种期的响应

由粳麦98分期播种试验籽粒品质(表7)可见,播种期变化对冬小麦籽粒氨基酸及蛋白质、脂肪、淀粉的影响不明显。只有非必需谷氨酸标准差为1.29, S1谷氨酸最高,为37.34 g·kg⁻¹, S2谷氨酸

最低,为34.27 g·kg⁻¹,二者相差3.07 g·kg⁻¹,其他氨基酸、蛋白质、脂肪、淀粉等指标的标准差均小于1.0,与大田增温试验结果一致^[22]。

由表7可见,粳麦98表征籽粒品质的指标在各播种期间的差值均较小,冬小麦必需氨基酸(总量)与播

种期呈线性关系,播种期推迟 10 d 下降 $0.386 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。表 7 的脂肪含量在各播种期略有差异,S2 最大,为 $1.23 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$,S1,S3 和 CK 分别为 $1.18 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ 、 $1.20 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ 和 $1.20 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ 。不同播种期的蛋白质和淀粉含量均相近,分别为 $13.0 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ 和 $55.0 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ 左右。

表 7 2017—2021 年郑麦 98 分期播种试验籽粒品质

指标	CK	S1	S2	S3	标准差	
苏氨酸/(g · kg ⁻¹)	3.18	3.21	3.13	3.04	0.08	
缬氨酸/(g · kg ⁻¹)	4.79	4.93	4.74	4.70	0.10	
蛋氨酸/(g · kg ⁻¹)	1.46	1.35	1.30	1.28	0.08	
异亮氨酸/(g · kg ⁻¹)	4.11	4.30	4.11	4.11	0.09	必需
亮氨酸/(g · kg ⁻¹)	7.56	7.68	7.50	7.37	0.13	
苯丙氨酸/(g · kg ⁻¹)	5.29	5.44	5.27	5.26	0.09	
赖氨酸/(g · kg ⁻¹)	3.79	4.04	4.09	3.92	0.14	
合计/(g · kg ⁻¹)	30.19	30.95	30.14	29.68	0.53	
组氨酸/(g · kg ⁻¹)	4.66	3.90	4.71	4.90	0.44	半必需
精氨酸/(g · kg ⁻¹)	5.18	4.95	4.98	4.84	0.14	
合计/(g · kg ⁻¹)	9.84	8.85	9.69	9.74	0.46	
天冬氨酸/(g · kg ⁻¹)	10.80	10.68	10.70	9.88	0.43	非必需
谷氨酸/(g · kg ⁻¹)	36.04	37.34	34.27	35.28	1.29	
胱氨酸/(g · kg ⁻¹)	3.55	3.62	3.43	2.90	0.33	
丝氨酸/(g · kg ⁻¹)	4.62	5.02	4.60	4.59	0.21	
甘氨酸/(g · kg ⁻¹)	4.72	4.80	4.81	4.65	0.08	
丙氨酸/(g · kg ⁻¹)	4.01	3.95	3.90	3.77	0.10	
脯氨酸/(g · kg ⁻¹)	14.73	14.81	14.48	15.26	0.32	
酪氨酸/(g · kg ⁻¹)	2.37	2.30	2.07	2.14	0.14	
蛋白质/(g · (100 g) ⁻¹)	13.08	13.03	12.43	12.95	0.30	
脂肪/(g · (100 g) ⁻¹)	1.20	1.18	1.23	1.20	0.02	
淀粉/(g · (100 g) ⁻¹)	54.95	55.03	55.73	55.63	0.40	

3 播种期调整减缓气候变化对农业生产的影响

以变暖为主要特征的气候变化对农业影响在全球分布不均,有研究认为气候变化对作物产量的影响多以减产为主^[35-42]。但在实际生产中,不同农业生态区的响应具有异质性,可能归因于气候变化和作物品种更替、播种期调整、施肥、灌溉等农业管理的复合影响效应。研究认为,气候变暖很大程度上改变植物的物候期,进而改变作物发育期长短,最终影响产量^[43]。根据 2017—2022 年大田分期播种试验,郑麦 98 早播—晚播的生长季为 256 d 至 228 d,递次缩短 10 d 至 8 d,与播种期处理间隔 10 d 基本一致。播种期适当推迟对越冬期和返青后的生长发育时段影响并不明显。气候变暖背景下,北方冬小麦生长季缩短主要由冬小麦播种期推迟引起越冬前幼

苗生长期缩短所致。郑麦 98 播种期推迟 10 d 未对产量造成显著影响,但推迟 20 d 则会导致减产,该结论支持近年华北平原为适应气候变暖推行冬小麦播种期为 10 月 1—15 日的措施。

气候变化严重影响农业生产,探索或采取积极有效的措施适应气候变化是确保农业稳产高产的关键。研究发现,基于品种更新换代、播种期调整、施肥和灌溉等农业措施减缓气候变暖对农作物物候、产量等影响的效应明显^[44-49]。未来北美增温造成小麦生长季极端高温出现概率显著增加,导致气候变暖对小麦产量的负面影响逐渐超过育种优势^[50]。目前,气候变暖对冬小麦籽粒品质的影响结果仍不一致,如小麦生长季增温将致籽粒蛋白质含量增加,淀粉和脂肪含量减少^[51-53],但也有研究发现增温降低小麦籽粒蛋白质含量,而对淀粉含量影响不大^[54],而大田增温试验表明气候变化可能不会引起中国北方冬小麦籽粒品质下降^[22]。

生产实践中采取措施以减缓气候变化对农业生产的负面效应,调整播种期是应对气候变化的有效措施。气候变暖的非对称性使中国北方地区秋暖、冬暖特征明显,北方冬麦区生产实践中适当推迟播种期,避免麦苗冬前旺长,以防备可能出现的冻(冷)害。气候变暖,尤其秋暖和冬暖不仅导致北方冬小麦播种期推迟,而且适宜播种期的界限延宽,实际生产中播种期已经比较宽泛,麦苗越冬前是否达到壮苗对安全越冬和产量的影响明显减弱。分期播种试验结果显示,播种期变化对冬小麦返青后生长发育、产量形成及籽粒品质的影响不显著。冬小麦推迟播种改变植株地上干物质分配关系,成熟期秸秆分配率降低,穗部分配率提高,灌浆成熟期诱导干物质向穗部输送、转运,尤其是籽粒干物质累积,可以提高收获指数。

4 结 论

通过 2017—2022 年郑麦 98 分期播种试验分析不同播种期对郑麦 98 生长发育、产量形成及籽粒品质等影响,主要结论如下:

1) 郑麦 98 的穗粒数、穗粒重在各播种期无明显差异。S1, S2 和 CK 千粒重差异小,为 48.043~48.385 g, S3 为 45.647 g,较 CK 偏低 5.66%。表明郑麦 98 播种期推迟 10 d 未对产量造成显著影响,但推迟 20 d 则会导致减产。该结论支持近年华北平原为适应气候变暖推行冬小麦播种期为 10 月 1—15 日的措施。

2) 播种期调整影响开花后地上干物质在器官间的分配关系,成熟期地上干物质分配率随播种期推迟,茎秆重递减,穗部递增,尤其对籽粒分配率, S1 不足 50%, S2, S3 和 CK 均在 50% 以上, S2 和 S3 分别比 CK 提高 2.59% 和 2.99%。收获指数随播种期推迟而提高, S1 收获指数低于 0.5000, 而 S2, S3 和 CK 均大于 0.5000。

3) 郑麦 98 播种期调整植株叶片光合特性在各播种期间无明显差异。不同发育期叶片净光合速率的平均值为 18.043~19.150 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 叶片水分利用效率的平均值为 3.002~3.170 $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ 。

4) 播种期推迟对郑麦 98 收获籽粒品质的影响

亦不明显。必需氨基酸(总量)与播种期早晚调整呈线性关系,播种期推迟 10 d 下降 0.386 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 而脂肪含量略有差异,蛋白质、淀粉含量基本相近。

参 考 文 献

- [1] 杨明智,裴源生,李旭东. 中国粮食自给率研究——粮食、谷物和口粮自给率分析. 自然资源学报, 2019, 34(4): 881-889.
Yang M Z, Pei Y S, Li X D. Study on grain self-sufficiency rate in China: An analysis of grain, cereal grain and edible grain. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(4): 881-889.
- [2] 田展,刘纪远,曹明奎. 气候变化对中国黄淮海农业区小麦生产影响模拟研究. 自然资源学报, 2006, 21(4): 598-607.
Tian Z, Liu J Y, Cao M K. Simulation of the impact of climate change on Chinese wheat production in Huang-Huai-Hai Plain. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(4): 598-607.
- [3] 王纯枝,霍治国,郭安红,等. 中国北方冬小麦蚜虫气候风险评估. 应用气象学报, 2021, 32(2): 160-174.
Wang C Z, Huo Z G, Guo A H, et al. Climatic risk assessment of winter wheat aphids in northern China. *J Appl Meteor Sci*, 2021, 32(2): 160-174.
- [4] 陈晓琳,谭晓悦,李露凝,等. 北方冬小麦主产区的高产与稳产关联性及其影响因素. 自然资源学报, 2022, 37(1): 263-276.
Chen X L, Tan X Y, Li L N, et al. The association between high-yield and stable-yield characteristics of winter wheat and its influencing factors in the main producing areas in northern China. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(1): 263-276.
- [5] 尚莹,霍治国,张蕾,等. 土壤相对湿度对冬小麦干热风灾害发生的影响. 应用气象学报, 2019, 30(5): 598-607.
Shang Y, Huo Z G, Zhang L, et al. The influence of soil relative moisture on dry-hot wind disaster of winter wheat. *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(5): 598-607.
- [6] 王培娟,马玉平,霍治国,等. 土壤水分对冬小麦叶片光合速率影响模型构建. 应用气象学报, 2020, 31(3): 267-279.
Wang P J, Ma Y P, Huo Z G, et al. Construction of the model for soil moisture effects on leaf photosynthesis rate of winter wheat. *J Appl Meteor Sci*, 2020, 31(3): 267-279.
- [7] 王纯枝,霍治国,张蕾,等. 北方地区小麦蚜虫气象适宜度预报模型构建. 应用气象学报, 2020, 31(3): 280-289.
Wang C Z, Huo Z G, Zhang L, et al. Construction of forecasting model of meteorological suitability for wheat aphids in the northern China. *J Appl Meteor Sci*, 2020, 31(3): 280-289.
- [8] 陈峪,任国玉,王凌,等. 近 56 年我国暖冬气候事件变化. 应用气象学报, 2009, 20(5): 539-545.
Chen Y, Ren G Y, Wang L, et al. Temporal change of warm winter events over the last 56 years in China. *J Appl Meteor Sci*, 2009, 20(5): 539-545.
- [9] 黄嘉佑,胡永云. 中国冬季气温变化的趋向性研究. 气象学报,

- 2006, 64(5): 614-621.
- Huang J Y, Hu Y Y. Trends of winter temperatures in China. *Acta Meteor Sinica*, 2006, 64(5): 614-621.
- [10] 李克南, 杨晓光, 慕臣英, 等. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响Ⅷ——气候变化对中国冬小麦冬春性品种种植界限的影响. *中国农业科学*, 2013, 46(8): 1583-1594.
- Li K N, Yang X G, Mu C Y, et al. The possible effects of global warming on cropping systems in China Ⅷ—The effects of climate change on planting boundaries of different winter-spring varieties of winter wheat in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(8): 1583-1594.
- [11] 孟繁圆, 冯利平, 张丰瑶, 等. 北部冬麦区冬小麦越冬冻害时空变化特征. *作物学报*, 2019, 45(10): 1576-1585.
- Meng F Y, Feng L P, Zhang F Y, et al. Temporal and spatial variations of winter wheat freezing injury in northern winter wheat region. *Acta Agronomica Sinica*, 2019, 45(10): 1576-1585.
- [12] 宋艳玲, 周广胜, 郭建平, 等. 北方冬小麦冬季冻害及播期延迟应对. *应用气象学报*, 2022, 33(4): 454-465.
- Song Y L, Zhou G S, Guo J P, et al. Freezing injury of winter wheat in northern China and delaying sowing date to adapt. *J Appl Meteor Sci*, 2022, 33(4): 454-465.
- [13] 周广胜, 郭建平, 霍治国, 等. 中国农业应对气候变化. 北京: 气象出版社, 2014.
- Zhou G S, Guo J P, Huo Z G, et al. China's Agriculture Responds to Climate Change. Beijing: China Meteorological Press, 2014.
- [14] 郭建平, 等. 气候变化对农业气候资源有效性的影响评估. 北京: 气象出版社, 2016.
- Guo J P, et al. Assessment of the Impact of Climate Change on the Availability of Agricultural Climate Resources. Beijing: China Meteorological Press, 2016.
- [15] 钱凤魁, 王文涛, 刘燕华. 农业领域应对气候变化的适应措施与对策. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(5): 19-24.
- Qian F K, Wang W T, Liu Y H. Research of adaptive countermeasures of addressing climate change in agriculture field. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(5): 19-24.
- [16] 徐玲玲, 吕厚荃, 方利. 气候变化对黄淮海地区夏玉米气候适宜度的影响. *资源科学*, 2014, 36(4): 782-787.
- Xu L L, Lv H Q, Fang L. Effect of climate change on the climate suitability of summer maize on the Huang-Huai-Hai Plain. *Resources Science*, 2014, 36(4): 782-787.
- [17] 居焯, 许吟隆, 熊伟. 气候变化对我国农业的影响. *环境保护*, 2007(6A): 71-73.
- Ju H, Xu Y L, Xiong W. The impact of climate change on agriculture in China. *Environ Protection*, 2007(6A): 71-73.
- [18] 周新保. 河南小麦品种更新及发展. *种子世界*, 2005(5): 5-7.
- Zhou X B. Renewal and development of wheat varieties in Henan. *Seed World*, 2005(5): 5-7.
- [19] 云雅如, 方修琦, 王丽岩, 等. 我国作物种植界线对气候变暖的适应性响应. *作物杂志*, 2007(3): 20-23.
- Yun Y R, Fang X Q, Wang L Y, et al. Adaptive response of crop boundaries to climate warming in China. *Crops*, 2007(3): 20-23.
- [20] 徐朝霞, 苏海报, 江晓东, 等. 气候变暖对冬小麦生长发育、产量和品质的影响. *中国农学通报*, 2020, 36(25): 101-105.
- Xu Z X, Su H B, Jiang X D, et al. Climate warming: Effects on the growth, yield and quality of winter wheat. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(25): 101-105.
- [21] 谢立勇, 李悦, 徐玉秀, 等. 气候变化对农业生产与粮食安全影响的新认知. *气候变化研究进展*, 2014, 10(4): 235-239.
- Xie L Y, Li Y, Xu Y X, et al. Updated understanding on the impacts of climate change on food production and food security. *Climate Change Research*, 2014, 10(4): 235-239.
- [22] 谭凯炎, 周广胜, 任三等, 等. 气候变化可能不会引起我国北方冬小麦营养品质下降. *气候变化研究进展*, 2019, 15(3): 282-289.
- Tan K Y, Zhou G S, Ren S X, et al. Climate change will probably not cause the decline of winter wheat nutritional quality in northern China. *Climate Change Research*, 2019, 15(3): 282-289.
- [23] 魏思成, 李凯伟, 张继权, 等. 黄淮海地区春花生旱涝灾害危险性评估. *应用气象学报*, 2021, 32(5): 629-640.
- Wei S C, Li K W, Zhang J Q, et al. Hazard assessment of peanut drought and flood disasters in Huang-Huai-Hai Region. *J Appl Meteor Sci*, 2021, 32(5): 629-640.
- [24] 宋艳玲. 全球干旱指数研究进展. *应用气象学报*, 2022, 33(5): 513-526.
- Song Y L. Global research progress of drought indices. *J Appl Meteor Sci*, 2022, 33(5): 513-526.
- [25] 霍治国, 张海燕, 李春晖, 等. 中国玉米高温热害研究进展. *应用气象学报*, 2023, 34(1): 1-14.
- Huo Z G, Zhang H Y, Li C H, et al. Review on high temperature heat damage of maize in China. *J Appl Meteor Sci*, 2023, 34(1): 1-14.
- [26] 王培娟, 唐俊贤, 金志凤, 等. 中国茶树春霜冻害研究进展. *应用气象学报*, 2021, 32(2): 129-145.
- Wang P J, Tang J X, Jin Z F, et al. Review on spring frost disaster for tea plant in China. *J Appl Meteor Sci*, 2021, 32(2): 129-145.
- [27] 齐永青, 孙宏勇, 沈彦俊. 太行山山前平原近 50 年气候变暖特征及其对冬小麦-夏玉米作物系统的影响. *中国生态农业学报*, 2011, 19(5): 1048-1053.
- Qi Y Q, Sun H Y, Shen Y J. Characteristics and effects of climate warming on winter wheat/summer maize cropping system in recent 50 years in the piedmont of Mount Taihang. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(5): 1048-

- 1053.
- [28] 白帆,杨晓光,刘志娟,等.气候变化背景下播期对东北三省春玉米产量的影响.中国生态农业学报,2020,28(4):480-491.
Bai F, Yang X G, Liu Z J, et al. Effects of sowing dates on grain yield of spring maize in the three-province of the North-east China under climate change. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(4): 480-491.
- [29] 张娟,马丰刚,蒋明洋,等.播期对夏玉米生长发育、籽粒灌浆特性和产量的影响.山东农业科学,2016,48(8):38-41.
Zhang J, Ma F G, Jiang M Y, et al. Effects of sowing date on growth, kernel filling and yield of summer maize. *Shandong Agriculture Sciences*, 2016, 48(8): 38-41.
- [30] 铃太峰,董秀春,张秀,等.播期对冬小麦干物质积累、分配与产量的影响.山东农业科学,2019,51(3):24-28;35.
Qian T F, Dong X C, Zhang X, et al. Effect of sowing date on dry matter accumulation, distribution and yield of winter wheat. *Shandong Agriculture Sciences*, 2019, 51(3): 24-28; 35.
- [31] 刘战东,肖俊夫,南纪琴,等.播期对夏玉米生育期、形态指标及产量的影响.西北农业学报,2010,19(6):91-94.
Liu Z D, Xiao J F, Nan J Q, et al. Effect of sowing date on growth stages, morphological index and yield of summer maize. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2010, 19(6): 91-94.
- [32] 张宁,杜雄,江东岭,等.播期对夏玉米生长发育及产量影响的研究.河北农业大学学报,2009,32(5):7-11.
Zhang N, Du X, Jiang D L, et al. Effect of sowing date on growth and yield of summer corn (*Zea mays*, L). *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2009, 32(5): 7-11.
- [33] 李令伟,崔丽娜,杨连俊,等.不同播期对夏玉米产量及产量构成的影响.安徽农业科学,2013,41(18):7786-7787.
Li L W, Cui L N, Yang L J, et al. Effects of different sowing dates on grain yield and its components of summer maize. *J Anhui Agri Sci*, 2013, 41(18): 7786-7787.
- [34] 国家气象局.农业气象观测规范(上卷).北京:气象出版社,1993.
China Meteorological Administration. Code for Agricultural Meteorological Observation (Volume 1). Beijing: China Meteorological Press, 1993.
- [35] 郭建平.气候变化对中国农业生产的影响研究进展.应用气象学报,2015,26(1):1-11.
Guo J P. Advances in impacts of climate change on agricultural production in China. *J Appl Meteor Sci*, 2015, 26(1): 1-11.
- [36] Zhu G X, Liu Z J, Qiao S L, et al. How could observed sowing dates contribute to maize potential yield under climate change in Northeast China based on APSIM model. *European Journal of Agronomy*, 2022, 136: 126511.
- [37] 付雪丽,张惠,贾继增,等.冬小麦-夏玉米“双晚”种植模式的产量形成及资源效率研究.作物学报,2009,35(9):1708-1714.
Fu X L, Zhang H, Jia J Z, et al. Yield performance and resources use efficiency of winter wheat and summer maize in double late-cropping system. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(9): 1708-1714.
- [38] 王方.科学告诉你气候变化关乎收成.中国科学报,2018-01-17.
Wang F. Science Tells You that Climate Change is About Harvests. *Chinese Science News*, 2018-01-17.
- [39] 覃志豪,唐华俊,李文娟,等.气候变化对农业和粮食生产影响的研究进展与发展方向.中国农业资源与区划,2013,34(5):1-7.
Qin Z H, Tang H J, Li W J, et al. Progress and direction in studying the impacts of climate change on agriculture and grain production in China. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Region Planning*, 2013, 34(5): 1-7.
- [40] 陈群,于欢,侯雯嘉,等.气候变暖对黄淮海地区冬小麦生育进程与产量的影响.麦类作物学报,2014,34(10):1363-1372.
Chen Q, Yu H, Hou W J, et al. Impacts of climate warming on growth development process and yield of winter wheat in Huang-Huai-Hai Region of China. *Journal of Triticeae Crops*, 2014, 34(10): 1363-1372.
- [41] 陈源源.气候变化对中国粮食生产的影响.中国农学通报,2021,37(12):51-57.
Chen Y Y. The impact of climate change on China's grain production. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2021, 37(12): 51-57.
- [42] 任三学,赵花荣,齐月,等.气候变化背景下麦田沟金针虫爆发性发生为害.应用气象学报,2020,31(5):620-630.
Ren S X, Zhao H R, Qi Y, et al. The outbreak and damage of the *pleonomus canaliculatus* in wheat field under the background of climate change. *J Appl Meteor Sci*, 2020, 31(5): 620-630.
- [43] Zhang L L, Zhang Z, Zhang J, et al. Response of rice phenology to climate warming weakened across China during 1981-2018: Did climatic or anthropogenic factors play a role?. *Environmental Research Letters*, 2022, 17(6): 064029.
- [44] Muleke A, Harrison M, Voil P D, et al. Earlier crop flowering caused by global warming alleviated by irrigation. *Environmental Research Letters*, 2022, 17(4): 044032.
- [45] Tao F L, Zhang L L, Zhang Z, et al. Climate warming outweighed agricultural managements in affecting wheat phenology across China during 1981-2018. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2022, 316(1): 108865.
- [46] 肖登攀,陶福禄.过去30年气候变化对华北平原冬小麦物候的影响研究.中国生态农业学报,2012,20(11):1539-1545.
Xiao D P, Tao F L. Impact of climate change in 1981-2009 on winter wheat phenology in the North China Plain. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(11): 1539-1545.
- [47] 尚艳,赵鸿,柴守玺.气候变化与品种更新对黄土高原半干旱

- 雨养农业区冬小麦的影响. 干旱地区农业研究, 2017, 35(5): 66-72.
- Shang Y, Zhao H, Chai S X. Effects of climate change and cultivars change on winter wheat in semi-arid region of loess plateau in Northwest China. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2017, 35(5): 66-72.
- [48] 孙倩, 黄耀, 姬兴杰, 等. 气候变化背景下河南省冬小麦品种更新特征. 气候变化研究进展, 2014, 10(4): 282-288.
- Sun Q, Huang Y, Ji X J, et al. Characteristic of winter wheat cultivar shift in Henan Province under climate change. *Climate Change Research*, 2014, 10(4): 282-288.
- [49] 初征, 郭建平. 未来气候变化对东北玉米品种布局的影响. 应用气象学报, 2018, 29(2): 165-176.
- Chu Z, Guo J P. Effects of climatic change on maize varieties distribution in the future of Northeast China. *J Appl Meteor Sci*, 2018, 29(2): 165-176.
- [50] Zhang T Y, He Y, DePauw R, et al. Climate change may outpace current wheat breeding yield improvements in North America. *Nature Communications*, 2022, 13: 5591.
- [51] Tester R F, Morrison W R, Ellis R H, et al. Effects of elevated growth temperature and carbon dioxide levels on some physicochemical properties of wheat starch. *Journal of Cereal Science*, 1995, 22(1): 63-71.
- [52] 苗建利, 王晨阳, 郭天财, 等. 高温与干旱互动对两种筋力小麦品种籽粒淀粉及其组分含量的影响. 麦类作物学报, 2008, 28(2): 254-259.
- Miao J L, Wang C Y, Guo T C, et al. Effects of post-anthesis interactions of high temperature and drought stresses on content and drought stresses on content and composition of grain starch in two wheat cultivars with different gluten strength. *Journal of Triticeae Crops*, 2008, 28(2): 254-259.
- [53] Xiao G J, Zhang Q, Zhang F J, et al. Warming influences the yield and water use efficiency of winter wheat in the semiarid regions of Northwest China. *Field Crops Research*, 2016, 199: 129-135.
- [54] 田云录, 陈金, 邓艾兴, 等. 非对称性增温对冬小麦籽粒淀粉和蛋白质含量及其组分的影响. 作物学报, 2011, 37(2): 302-308.
- Tian Y L, Chen J, Deng A X, et al. Effects of asymmetric warming on contents and components of starch and protein in grains of winter wheat under FATI facility. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(2): 302-308.

Response of Winter Wheat Tanmai 98 to Sowing Date Adjustments

Ren Sanxue¹⁾²⁾ Zhao Huarong¹⁾²⁾ Zhou Guangsheng¹⁾²⁾³⁾ Qi Yue⁴⁾ Tian Xiaoli²⁾ Geng Jinjian¹⁾²⁾

¹⁾ (Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

²⁾ (Hebei Gucheng Agricultural Meteorology National Observation and Research Station, Baoding 072656)

³⁾ (Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

⁴⁾ (Institute of Arid Meteorology of CMA/Gansu Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster/Key Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou 730020)

Abstract

Sowing date adjustments have been widely used for crop adaptation to climate change, but its impact on crop growth and development is still unclear. Based on field sowing date adjustment experiment of winter wheat Tanmai 98 in the northern part of North China Plain from 2017 to 2022, the responses of growth and development, yield formation and quality of Tanmai 98 are analyzed. The results show that delaying sowing date has no significant effect on the growth stage of overwintering stage and regreening stage of winter wheat. The total growth period is 256 days and 228 days for early sowing and late sowing based on the field experiment, and shortening 10 days to 8 days in turn, which is basically consistent with the interval of 10 d during sowing period. The shortening of whole growth period is mainly caused by the shortening of seedling growth period before overwintering. Late sowing date reduces effective panicles number and grain yield of Tanmai 98. The decrease rate of grain yield is $569.71 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot (10 \text{ d})^{-1}$ during the sowing date from 30 September to 30 October, but few significant effects are found on grain number and weight per spike. The delay of sowing date also affects the aboveground dry matter distribution of Tanmai 98 during maturity stage. The stem weight decreases with the delay of sowing date by $2.44\% \cdot (10 \text{ d})^{-1}$, but the spike of wheat increases by $2.44\% \cdot (10 \text{ d})^{-1}$. The harvest index increases with the delay of sowing date. The harvest index of S2, S3 and CK are all higher than 0.5000, while the harvest index of S1 is 0.4878. There is no significant effect on leaf photosynthetic characteristics and grain quality of Tanmai 98 by sowing date adjustments. Therefore, under the background of climate change, the winter wheat sowing date should be postponed in the northern part of the North China Plain from 1 October to 15 October. At the same time, the planting amount should be increased in steps, and basic seedlings should be increased, so as to offset the adverse effects of late sowing of wheat seedlings with fewer tillers and fewer panicle number, ensuring high yield. However, very late sowing date would still lead to yield reduction. The results provide information for the decision-making of winter wheat to climate change adaptation in the northern part of the North China Plain.

Key words: winter wheat Tanmai 98; sowing date; growth period; yield; quality