

网络出版时间:2025-01-13

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1359.S.20250113.0958.024

迟播对小麦生长发育的影响及耐迟播小麦研究进展

黎文龙¹, 黄欣怡¹, 高健祁¹, 胡天宇¹, 褚毅泽¹, 高德荣², 刘大同², 熊飞¹

(1. 扬州大学生物科学与技术学院, 江苏扬州 225009;

2. 江苏里下河地区农业科学研究所/农业农村部长江中下游小麦生物学与遗传育种重点实验室, 江苏扬州 225007)

摘要:近年来,由于全球气候变暖、前茬作物收获期推迟以及极端天气影响等一系列问题,小麦播种推迟,生长期缩短,严重影响小麦的高产稳产和国家粮食安全。迟播已经成为中国长江中下游麦区乃至黄淮海区小麦产量和品质提升的主要限制因素。本文总结了迟播对小麦生长发育的影响以及耐迟播小麦的选育概况,并认为未来主要应从生理和遗传机制、遗传改良和栽培技术三个方面开展耐迟播小麦研究,以解决小麦迟播减产问题。

关键词:小麦;迟播;生长发育;耐迟播;品种选育

中图分类号:S512.1;S311

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2025)08-1136-10

Effect of Late Sowing on the Growth and Development of Wheat and Research Progress of Late Sowing Resistant Wheat

LI Wenlong¹, HUANG Xinyi¹, GAO Jianqi¹, HU Tianyu¹, CHU Yize¹,
GAO Derong², LIU Datong², XIONG Fei¹

(1. College of Biological Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu, 225009, China; 2. Institute of Agricultural Sciences for Lixiahe region in Jiangsu/Key Laboratory of Wheat Biology and Genetic Improvement for Lower& Middle Yangtze Valley, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangzhou, Jiangsu, 225007, China)

Abstract: In recent years, due to a series of issues such as global warming, delayed harvest of previous crops, and extreme weather conditions, wheat planting has been postponed and the growth period has been shortened, seriously affecting the high and stable yield of wheat and national food security. Late sowing has become the main limiting factor for wheat yield and quality improvement in the middle and lower reaches of the Yangtze River and even the Huang-Huai wheat region in China. This article summarizes the effect of late sowing on the growth and development of wheat, as well as the breeding of late sowing tolerant wheat. It is believed that in the future, research on late sowing tolerant wheat should mainly be carried out from the three aspects: physiological and genetic mechanisms, genetic improvement, and supporting cultivation techniques for late sowing wheat, in order to solve the problem of wheat late sowing and yield reduction.

Keywords: Wheat; Late sowing; Growth and development; Late sowing tolerance; Variety breeding

茬口矛盾是世界上两季(多季)轮作区普遍存在的问题^[1-2]。长江中下游麦区是中国第二大麦区和最大的稻麦轮作区,稻茬小麦面积占全国此

类小麦总面积的80%以上^[2],稻麦茬口紧张的问题长期突出。自20世纪90年代以来,由于该麦区偏晚熟粳稻的大面积推广,加上近年机械化高

收稿日期:2024-06-27

修回日期:2024-09-06

基金项目:国家自然科学基金项目(31700163;31971810;32071999)

第一作者 E-mail:754850135@qq.com(黎文龙)

通讯作者 E-mail:feixiong@yzu.edu.cn(熊飞);ldt@wheat.org.cn(刘大同)

产栽培技术的发展应用、水稻种植模式的轻简化、机械化机插和直播技术的推广,水稻的收获时间逐年推迟,小麦播期也被迫延后^[3-4]。小麦播种期常遇阴雨,使土壤积水、黏度变大和适耕性变差,导致耕作困难。同时,由于全球气候变暖、土地流转速度加快和规模种植配套设施的限制等一系列问题,小麦迟播面积和程度不断加大^[5-7]。以江苏淮南麦区为例,近年来该地区稻茬小麦播期由适宜播期(10月25日至11月5日)推迟至11月下旬,甚至12月,小麦迟播面积比例接近60%^[2]。随着近年来雨带北移和极端天气频发,中国北方降雨呈增多趋势。2021年夏秋季节,中国北方降水较常年偏多3~7倍,农田积水严重,前茬作物玉米、花生等生育期推迟,农机收获困难,无法及时腾茬;由于农田土壤水分饱和,不适宜耕作整地,小麦播期大范围推迟。小麦迟播已成为全国性的生产问题。

迟播主要造成小麦冬前生长期缩短,干物质积累不足,难以形成壮苗越冬,生长发育进程受阻,无法形成高产群体;迟播还导致灌浆时间不足,严重影响小麦产量^[6-7]。王龙俊等研究表明,小麦每迟播5 d,单产将减少7%~10%^[8]。此外,小麦迟播后开花期有一定推迟,使在灌浆期遭受高温胁迫的风险增加,易发生“高温逼熟”现象^[3],显著降低籽粒产量。迟播还会对小麦籽粒的营养品质以及加工品质产生影响^[9]。因此,迟播已经成为当前限制小麦高产优质的主要问题,受到广泛关注和重视^[10-11]。

国内外关于迟播对小麦形态、生理、产量及品质影响的报道较多^[12-14]。在耐迟播品种选育方面,江苏里下河农业科学研究所小麦遗传育种团队创新提出了耐迟播育种策略和方法,并育成一批耐迟播高产品种推广应用,有效缓解了稻麦茬口矛盾,实现稻麦周年高产^[2]。但目前针对迟播影响小麦生长发育及耐迟播机制的理论研究不多,同时关于耐迟播小麦短生长期高产的理论研究也鲜有报道。本文对迟播影响小麦生长发育、产量品质以及耐迟播相关研究等问题进行综述,同时对今后应当开展的研究方向进行展望,以期对迟播小麦的高产稳产栽培提供理论依据和参考。

1 迟播对小麦生长发育的影响

1.1 迟播对小麦根系的影响

根系是小麦重要的营养器官。迟播影响小麦

的冬前生长,导致根系生长受阻、发育不全,次生根数随播期推迟而减少,影响小麦冬前营养吸收^[15-16]。早期研究已证明,迟播小麦的根系在整个生育期都比适期播种的小麦少,并保持了早期形成的长度差异,但根重在次年3月和6月之间与适播小麦趋于一致^[17]。小麦根系活力也作为一种重要的生理指标,直接影响着小麦的生长发育及产量。在越冬期,小麦的根系活力随播期推迟呈先升后降趋势,且在降低后的水平低于适期播种小麦^[18]。有研究认为,迟播小麦由于前期地上部分与根系发育不全,无法快速完成营养生长,从而减少穗数;迟播还导致小麦在灌浆后期仍具有较高的根系活力,营养生殖与生殖生长的养分分配产生矛盾,使迟播小麦的成熟性变差,最终影响了产量^[19]。

1.2 迟播对小麦地上部分的影响

迟播使小麦整个生育期缩短,加快发育进程^[20-22]。随着播期的推迟,小麦的冠层空间减小,叶倾角加大,冬前叶龄和春季叶龄减少,适播小麦的越冬期叶龄一般为4~5叶,而迟播小麦的越冬期叶龄仅有2叶左右^[16]。也有研究表明,适期播种的小麦冬前叶片5~7片,而迟播小麦仅1~4片^[20]。迟播后小麦株高降低,茎秆粗度和节间数减少^[20,23];叶位空间占用度下降,最终株型由长三角形向短三角形转变,呈塔型结构^[24],说明迟播对小麦早期株型的构建具有负面影响。有研究结果显示,随着播期的推迟,在灌浆中期,小麦叶面积指数呈先增后降的趋势,同时在全生育期叶片中的叶绿素含量也呈先增后减的趋势^[25]。拔节至开花期是小麦节间生长和株高的决定时期,而迟播会使该时期的持续时间缩短,最终导致小麦的茎秆质量变差,降低生物量,不利于小麦形成高产基础^[26]。以上研究表明,迟播对于小麦地上部分干物质的积累以及形态的构建都具有不利影响。

1.3 迟播对小麦分蘖的影响

冬小麦的产量构成要素中,穗数由分蘖能力、抗逆能力和有效分蘖数决定^[27]。迟播使小麦的有效积温不足,导致越冬分蘖减少或无越冬分蘖。而在次年春季气温回升后,迟播小麦生长迅速,在该时期的分蘖发生量甚至高于适播小麦,且最高分蘖数可接近适播小麦,但产生的分蘖以中小分蘖居多,缺少自身根系,最终只有部分较大的分蘖可以成穗,因而导致迟播小麦的成穗率低^[20]。研

究表明,分蘖率受到播种时间的影响,随播期的推迟而降低^[28]。蒋会利也认为,小麦的单株分蘖数、春季成穗率会随播期的推迟而降低,主要是因为迟播小麦出苗初期的气温较低,不利于小麦植株的生长^[29]。Sattar 等研究发现,印度中恒河平原地区 11 月 25 日后播种时小麦的有效分蘖数减少,可能是由于高温胁迫导致分蘖成活率降低,在经历过高温胁迫的年份,小麦的有效分蘖数相较于未经历高温胁迫的年份会有明显下降^[30]。综合来看,迟播会显著减少小麦分蘖数量、成穗率和群体数量,最终导致产量降低。

2 迟播小麦对光温等资源的响应

2.1 光照

光合有效辐射为植物的生长和发育提供了能量基础,植物的光合产物和生物量与冠层所截获的光合有效辐射量密切相关。小麦迟播后生育期缩短,可利用的光能资源减少,导致光能生产效率下降,这是造成生物量和产量下降的主要原因,且播期越晚,降低越多^[31]。研究表明,在小麦的整个生育期中,光合有效辐射量与叶面积指数的变化相同,呈先增后减的趋势,并且随着播期的推迟,光合有效辐射量呈减小趋势,叶面积指数与光合有效辐射量呈极显著正相关^[32]。随着播种时间的推迟,冬小麦的光能利用率则呈先增后减的趋势,光能的截获量呈下降趋势^[33]。研究结果显示,迟播显著增强了灌浆后期小麦旗叶的最大光化学效率,提升了捕获的电子向电子传递链传递的效率,同时增加了用于电子传递的量子产额。此外,迟播还显著降低了用于热耗散的量子比率。这些变化表明,在迟播小麦的旗叶中,更大比例的能量被引导进入电子传递过程,从而提高了光化学反应的能量利用效率^[34]。

2.2 温度

迟播后冬小麦有效积温不足,难以形成高产基础^[3,35]。迟播小麦在生育前期易受到低温胁迫,表现为出苗迟缓、幼苗质量差和生物量低^[29,36]。研究结果显示,孕穗期小麦受到冷害后,产量可能下降 30%~50%^[37]。与此同时,迟播增加了小麦灌浆期遭遇高温胁迫的风险^[38]。高温胁迫会降低小麦植株总叶绿素含量,引起叶绿体结构和功能的紊乱,从而影响光合作用^[34]。迟播小麦在开花、灌浆阶段遭受的高温胁迫也称“终端热胁迫”^[39-40],会对籽粒数量和灌浆产生负

面影响,还会影响籽粒大小,较高的呼吸速率会影响面粉质量^[41-42]。此外,孕穗期的连续高温也会引起小麦减产^[43]。

2.3 水分

迟播小麦在遇到连续阴雨引起的渍水胁迫时,开花时间会更易延后^[44]。而拔节期和花后渍水则会导致小麦籽粒产量、穗粒数、千粒重、花后干物质积累量和乳熟期叶面积指数下降^[45]。黄土高原地区的迟播小麦在冬季休眠至开花前的耗水量增大,使得土壤贮水量降低,导致开花至成熟期的水分总利用率下降,可能是限制产量的主要因素^[46]。有研究认为,迟播小麦早期生长阶段(拔节前)消耗的土壤水量非常低,但拔节期之后消耗的土壤水量急剧增加,这种变化与迟播小麦的根系生长规律十分相似。迟播小麦在拔节前根系比正常播种小麦短,而在拔节后其根系生长速度远高于正常播种的小麦,最终导致耗水量和水分利用效率增加^[47]。此外,随着播期的推迟,籽粒产量和水分利用效率均显著降低。而播种至成熟期的降雨量与籽粒水分利用效率和生物量水分利用效率均呈显著负相关^[48]。

2.4 氮素

播期影响小麦氮素的吸收和积累^[49]。有研究认为,小麦对氮素的吸收和利用效率与产量均呈显著正相关,同时随着播期的推迟而下降^[50]。与适期播种小麦相比,迟播小麦的开花期各器官、成熟期穗部及单茎的氮素积累量均有所降低。其中在 150 万、225 万和 300 万株·hm⁻² 三个种植密度下,迟播小麦开花期单茎氮素积累量分别降低 6.66%、3.41% 和 2.89%,成熟期则分别降低 0.63%、1.25% 和 2.98%^[51]。张金宝等研究发现,由于生育期缩短,迟播小麦成熟期的籽粒含氮量与全株氮素积累量均下降,氮素收获指数、氮素利用效率等均降低^[52]。但也有研究提出迟播总体上降低了小麦氮素吸收利用效率,虽然小麦的氮素利用效率有所提高,但并不能完全弥补氮素吸收效率的下降^[53]。朱元刚等也得出类似结论,其认为迟播降低了小麦氮素吸收效率,但提高了氮素利用效率,二者互补维持了植株整体的氮素利用率。氮素吸收效率的降低主要是由于地上部氮素积累量的下降造成的,其原因是迟播减少了小麦的次生根数,从而降低了植株对土壤氮的吸收量。此外,迟播显著降低了小麦花前营养器官中的氮素转运量和花后氮素积累量,但也显著提

高了花前氮素转运效率^[54]。

3 迟播对小麦的产量及品质的影响

3.1 迟播对小麦产量的影响

迟播对小麦的综合影响最终体现为产量的降低,并且降低程度与推迟播种的时间有直接关系。研究结果显示,相对于适宜播种日期,每提前或延迟播种 1 d,粮食作物产量就会下降 $0.97\% \pm 0.22\%$ ^[55]。播种日期推迟 23 d 后,粮食作物产量在高降雨量地区减少 23% 左右,而在低降雨量地区降低了 36%^[56]。有研究认为,与 11 月播种相比,在 12 月底播种时小麦产量降低 30%~40%^[57];在次年 1 月播种时产量相比 11 月播种减少了 62%^[58]。

3.2 迟播对小麦产量构成要素的影响

在小麦的产量构成要素中,穗数对产量的贡献较大,而穗粒数和千粒重对产量的贡献则相对较小^[46]。分蘖数是小麦穗数的形成基础^[59]。迟播后小麦冬前积温少,冬前分蘖减少或不分蘖,春季分蘖成穗率降低,因此小麦有效穗数相比适期播种明显减少^[20,22],成为迟播减产的主要原因^[60]。有研究认为,适当迟播能增加弱春性品种的可育小穗数和穗粒数,增强旗叶在高温胁迫下的光合能力,提高了粒重,可部分弥补因穗数下降而带来的产量损失^[34,61]。师学珍等研究得出,迟播缩短了小麦幼穗分化的持续时间。对于春性小麦品种,随着播期的推迟,其单棱期与二棱期的持续时间均缩短。而由于单棱期的持续时间是决定小麦穗长的关键时期,因此迟播小麦的穗长也随播期推迟而逐渐减小^[62]。信志红等研究发现,随着播期的推迟,小麦结实小穗数和不孕小穗数呈极显著减少趋势,小穗总数下降趋势明显,使小麦不能形成大穗^[2,60-63]。灌浆进程是小麦籽粒产量形成的重要因素。随播期的推迟,小麦籽粒灌浆速率下降,灌浆持续时间、快增期持续时间和缓增期持续时间明显减少,使粒重降低^[64]。此外,迟播增加了¹³C 标记的同化物向穗部的分配,特别是在穗部的小花和占据同一小穗上远端位置的小花。因此,迟播后小麦粒数的增加以顶端最多,其次是基部和中部,同时各部分弱勢粒数也大幅增加^[54]。

3.3 迟播对小麦营养品质的影响

播期对谷物营养品质参数有显著影响。迟播易造成小麦灌浆期遭受高温胁迫^[2,3]。高温胁迫

会显著降低迟播小麦籽粒产量和直链淀粉含量,增加支链淀粉和蛋白质含量^[53]。然而,由于迟播造成籽粒数的增加和氮素吸收的减少,不同穗位的籽粒蛋白质含量都有所下降,其中以穗基部籽粒的下降幅度最大^[35,54,65]。有研究认为,迟播降低了小麦籽粒淀粉的膨胀势和溶解度,增加了支链淀粉平均链长,提高了淀粉粒晶体结构、抗性淀粉及 A 型淀粉粒的含量^[66]。此外,在迟播条件下,与小麦淀粉生物合成酶相关的 10 个关键基因 *AGPS1*、*AGPL1*、*BEI*、*BEIb*、*GBSSI*、*ISA1*、*PUL*、*SSI*、*SSIIa* 和 *SSIIIa* 的表达显著上调或下调,导致表观直链淀粉含量降低^[67]。

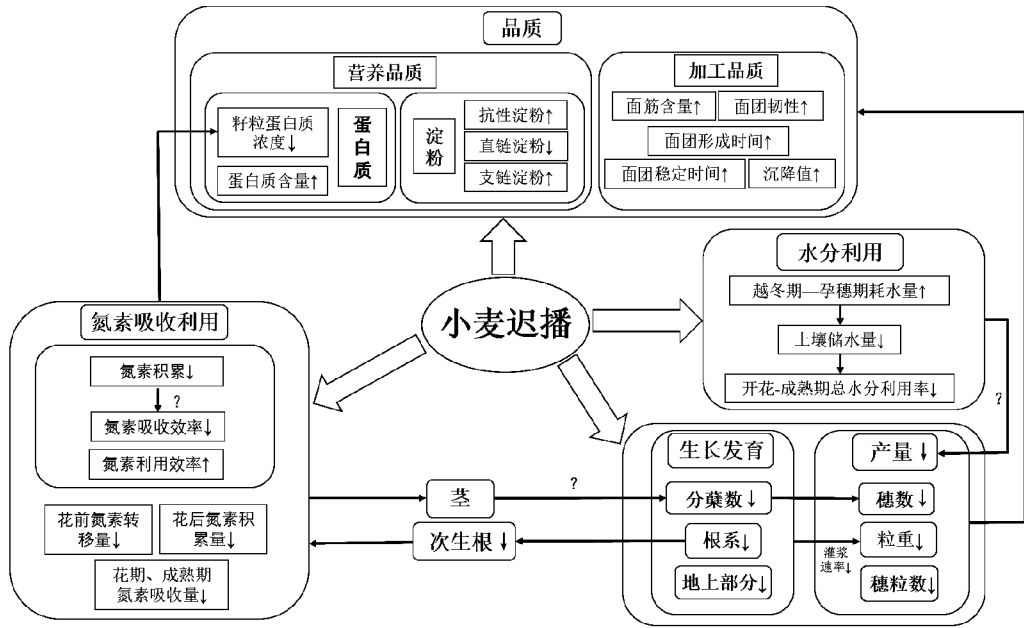
3.4 迟播对小麦加工品质的影响

迟播对谷物加工品质参数也有显著影响。前人对此已经进行了大量研究,但结果不完全一致。有研究认为,随着播期的推迟,小麦的容重、湿面筋含量、沉降值和硬度均呈上升趋势^[35,68],但面筋含量并不会随着灌浆期温度一直上升,而是达到临界温度(约 30 °C)后开始下降^[69]。还有研究提出,随着播期的推迟,湿面筋含量呈下降趋势,面团稳定时间呈上升趋势,而小麦的面团韧性则随播期的推迟而增加^[70-71]。部分学者认为,迟播有利于改善中筋小麦和强筋小麦的加工品质,播期推迟后,小麦的面团形成时间、面团稳定时间与沉降值也显著增加^[50,72]。

综上所述,关于迟播对小麦生长发育、产量品质的影响以及迟播小麦对光温等资源的响应已有一定研究并取得重要结论,但同时也存在许多空白需要进一步探讨,现总结如图 1 所示。

4 耐迟播小麦品种选育概况

在农业生产中,一般通过增加播种密度或调整肥水运筹模式等栽培手段应对迟播减产问题,能在一定程度上减少迟播对小麦产量的不利影响,降低产量损失^[7,35]。但此类调控方法也存在着一定的弊端。如,随着种植密度的增加,植株对资源(光照、水分、营养)的过度竞争会导致其生物量增长有限,分蘖死亡率和倒伏的风险也均提高^[73-74]。同时,过度施用氮肥会损害土壤健康并污染环境^[75]。在小麦迟播已成为新常态的大背景下,培育耐迟播品种,提高小麦对播期的适应性,从而实现“适播高产,迟播稳产”,是解决迟播问题的最重要途径^[2]。



↑: 活性或含量升高; ↓: 活性或含量降低; ?: 研究空白。

↑: Increased activity or content; ↓: Reduced activity or content; ? : Research gap.

图 1 迟播对小麦生长发育、产量及品质的影响

Fig. 1 Effects of late sowing on growth, development, yield and quality of wheat

4.1 耐迟播小麦品种选育概况

研究发现,一些小麦材料本身具有耐受迟播的生理特性,最终产量受到迟播的负面影响较小。据此,江苏里下河地区农业科学研究所最先提出“两端快速发育”的耐迟播品种育种策略,并成功培育出扬麦 16、扬麦 23、扬麦 25、扬麦 39 等品种,这些品种在迟播条件下仍能高产^[38]。朱冬梅等在长江中下游地区验证了扬麦 23、扬麦 25 等品种耐迟播突出的特性^[73]。其中,扬麦 25 在盐城市大丰区 2019 年 12 月 5 日实地播种后,次年 5 月 31 日由专家测产,实收产量达到 9 589.5 kg · hm⁻²。该品种在极端迟播情况下仍能形成较多穗数且穗型较大,表现出良好的长势和产量结构,同时易于种植并能够获得高产,树立了迟播高产的典范。此外,小麦品种皖科 06290、宿 553、周麦 27、许科 1 号等在淮北地区^[76-77],扬麦 18、镇麦 9 号、宁麦 14、镇麦 168 在江苏淮南麦区^[78],轮选 103、石麦 18、济麦 22 等在黄淮海地区也表现出耐迟播特性^[79]。上述小麦品种在迟播条件下均能获得较高产量。

4.2 耐迟播小麦品种的生长发育特性

培育耐迟播小麦品种需要从形态、生理和遗传上研究耐受迟播品种的特点,并在育种工作中

针对这些性状进行选择。以扬麦 16、扬麦 23 和扬麦 25 等品种为例,它们具有以下生理特点:出苗快、积温需求少、分蘖强、穗数多、生育前期干物质积累量大、后期灌浆快、速率高、完成早和群体结构协调等^[36,76,80-81]。迟播后小麦出苗推迟,冬前分蘖减少,有效穗数降低^[36]。而较高的种子活性与分蘖能力可一定程度抵消迟播的不利影响^[82]。还有研究者认为,耐迟播的小麦品种具有抗寒性强、越冬生长量较大、叶面积指数及干物质积累量大,花前生物量积累大、氮储存能力强^[83],开花快、成熟慢^[84]、灌浆启动早、峰值速率高、持续时间长、灌浆期籽粒内源激素含量水平高等特性,能够形成较高的籽粒产量^[53,85-87]。同时,迟播会导致小麦生育进程推迟,在生育后期(灌浆期)常遭受高温胁迫,影响籽粒灌浆,引起减产。在高温胁迫下对于膜稳定性指数、冠层温降和总叶绿素含量较高的小麦,其产量下降较少^[88]。因此,在气候变暖和极端高温天气增多的情况下^[89],小麦品种的耐高温特性也应作为一个重要性状,以缓解迟播小麦在终端热胁迫下遭受的高温逼熟^[41,90]。

5 展望

由于耐迟播是一个复杂的性状综合表现,研

究技术难度大且缺少可供借鉴的成熟理论。目前关于耐迟播小麦品种前期快速生长和高生物量形成机制尚不明确,缺乏准确鉴定和科学评价耐迟播性状的指标和方法,无法快速评价和选择育种材料,制约了遗传改良的进度,同时为研发配套栽培技术带来了困难,成为解决迟播减产问题的瓶颈。今后可围绕以下三个方面开展相关研究工作。

(1) 小麦耐迟播的生理和遗传机制解析

耐迟播小麦品种具有生育前期生长迅速、分蘖强,后期灌浆启动早、灌浆速率高等特性,对其背后的生理生化与遗传机制解析十分迫切。通过解析迟播条件下小麦生长发育关键时期特定部位如叶片、分蘖、根系、穗等器官的细胞结构、生理生化特征,并从基因层面揭示形成耐迟播特性的生理和遗传分子机制,挖掘关键基因(位点),开发育种实用的分子标记,可为耐迟播小麦的品种选育和栽培技术研发提供理论依据和材料方法。

(2) 耐迟播小麦遗传改良

针对已育成的耐迟播高产品种通过前期快速生长获得较大生物量以形成高产基础,后期快速灌浆可弥补灌浆期缩短劣势的特性,可加强前期发苗性、根系、分蘖、叶龄与积温关联选择,兼顾耐低温、耐渍等表型选择,辅以幼穗分化进程鉴定等方法;后期加强对光合效率、灌浆速率等选择。采用分子标记辅助选择、高通量表型筛选相结合,加快耐迟播特性突出的种质创制和新品种培育。并将耐迟播、耐高温统一到短生长期高产的综合表现中进行考虑,重视灌浆期耐高温特性的选择。

(3) 迟播配套栽培技术研发

在迟播条件下,在选择种植的耐迟播高产品种的同时,也可辅以类似药剂拌种提高种子活性等手段保证幼苗的生长,争取在越冬前尽可能形成较大生长量,构建适宜的群体结构。在生长中期则需要针对返青分蘖大量生长做好准备,通过精确的肥水调控促进次生根的发育以及壮蘖大蘖的发生,提高成穗率。在生长后期则需要注意环境温度防止高温逼熟,加强灌浆期的管理以保证籽粒质量。在降雨较多的地区尤其需要注意病虫害防治。通过在全生育期的综合调控,减少化肥、农药投入,节省成本,兼顾生态效益,集成标准化、规模化的小麦耐迟播配套生产技术。

在目前全球气候变暖,暖冬、倒春寒和极端高温、降水等天气频繁发生,小麦播种时间普遍推迟,生育期被迫缩短的背景下,亟需加快建立以良

种、良法、良机、良田、良技等要素深度融合的迟播应对策略。通过培育耐迟播品种和扩大推广应用,提高生产上耐迟播品种覆盖率,加强配套栽培措施的研究和新技术、新模式研发应用,以不断提高小麦单产水平,确保总产高而稳定,保障国家粮食安全。

参考文献:

- [1] SHAH T, LATIF S, KHAN H, *et al.* Ascorbic acid priming enhances seed germination and seedling growth of winter wheat under low temperature due to late sowing in Pakistan [J]. *Agronomy*, 2019, 9(11): 757.
- [2] 高德荣, 王慧, 刘巧, 等. 迟播早熟高产小麦新品种的培育 [J]. 中国农业科学, 2019, 52(14): 2379.
GAO D R, WANG H, LIU Q, *et al.* Breeding of new wheat varieties with early maturity and high yield under late sowing [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(14): 2379.
- [3] 张明伟, 姚义, 唐建鹏, 等. 长江中下游稻茬晚播小麦高产限制因素及栽培技术研究进展 [J]. 金陵科技学院学报, 2020, 36(1): 60.
ZHANG M W, YAO Y, TANG J P, *et al.* Research progress on limiting factors and cultivation techniques of high-yielding in late-sowing wheat following rice in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. *Journal of Jinling Institute of Technology*, 2020, 36(1): 60.
- [4] 姜兴权, 初江. 水稻育插秧机械化技术的发展研究 [J]. 农机使用与维修, 2011(5): 34.
JIANG X Q, CHU J. Research on the development of mechanization technology of rice breeding and transplanting [J]. *Agricultural Machinery Using & Maintenance*, 2011(5): 34.
- [5] 谢旭东, 周国勤, 吴国强, 等. 稻茬晚播小麦生育特性及配套高产高效栽培技术 [J]. 湖北农业科学, 2019, 58(7): 16.
XIE X D, ZHOU G Q, WU G Q, *et al.* Characteristics and cultivation techniques for high yield and high efficiency of late-sown wheat under rice stubble [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2019, 58(7): 16.
- [6] 赵莉, 何贤芳, 都斌斌, 等. 播期和品种对沿淮晚播稻茬小麦产量和产值的影响 [J]. 麦类作物学报, 2021, 41(5): 614.
ZHAO L, HE X F, DU B B, *et al.* Effects of sowing date and variety on yield and output value of late sown wheat after rice in the region along Huaihe River [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2021, 41(5): 614.
- [7] 杜同庆, 李振宏, 徐鹏. 淮北地区种植密度与肥料对稻茬晚播小麦生长特性的影响 [J]. 大麦与谷类科学, 2022, 39(2): 14.
DU T Q, LI Z H, XU P. Effects of planting density and nitrogen fertilizer application rate on late-sown wheat after rice on wheat growth characteristics in Huaihei Area [J]. *Barley and Cereal Sciences*, 2022, 39(2): 14.
- [8] 王龙俊, 陈维新, 郭文善, 等. 晚茬小麦高产栽培技术途径 [J]. 江苏农业研究, 1999, 20(2): 45.
WANG L J, CHEN W X, GUO W S, *et al.* High yielding cultivation approaches in late-sown wheat [J]. *Jiangsu Agricultural Research*, 1999, 20(2): 45.

- [9]李筠,王龙,任立凯,等.播期、密度和氮肥运筹对冬小麦连麦2号产量与品质的调控[J].麦类作物学报,2010,30(2):303.
LI J,WANG L,REN L K,*et al.* Effect of sowing date,density and nitrogen management on grain yield and quality of winter wheat Lianmai 2 [J]. *Journal of Triticeae Crops*,2010,30(2):303.
- [10]周羊梅,顾正中,王安邦.江淮地区不同类型晚播稻茬小麦产量形成特点[J].江西农业学报,2012,24(5):21.
ZHOU Y M,GU Z Z,WANG A B. Characteristics of yield formation of late-sown wheat after rice in HuaiBei Area of Jiangsu Province [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*,2012,24(5):21.
- [11]邵文奇,董青君,董玉兵,等.药剂拌种对沿淮地区迟播小麦壮苗效应及产量的影响[J].中国农学通报,2024,40(6):22.
SHAO W Q,DONG Q J,DONG Y B,*et al.* Effect of chemical seed dressing on seedling strength and yield of late-sowing wheat in Huaihe River Region [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*,2024,40(6):22.
- [12]REZAIE B,HOSSEINPANAH F,SIOSEMARDEH A,*et al.* Shifting the sowing date of winter wheat as a strategy for adaptation to climate change in a Mediterranean-type environment [J]. *International Journal of Plant Production*,2022,16(4):595.
- [13]WEN P,WEI Q,ZHENG L,*et al.* Adaptability of wheat to future climate change:Effects of sowing date and sowing rate on wheat yield in three wheat production regions in the North China Plain [J]. *Science of the Total Environment*,2023,901:165906.
- [14]GROENEVELD M,GRUNWALD D,PIEPHO H P,*et al.* Crop rotation and sowing date effects on yield of winter wheat [J]. *The Journal of Agricultural Science*,2024,162:139.
- [15]任文斌,谢三刚,王倩,等.种植密度对小麦晋麦84产量及单株农艺性状的影响[J].湖北农业科学,2017,56(2):218.
REN W B,XIE S G,WANG Q,*et al.* Effects of planting density on yield and per plant agronomic traits of winter cultivar Jinmai 84 [J]. *Hubei Agricultural Sciences*,2017,56(2):218.
- [16]赵凯,黄玲,冯维营,等.播期和播量对冬小麦生长发育和产量的影响[J].中国农学通报,2023,39(32):1.
ZHAO K,HUANG L,FENG W Y,*et al.* Effects of different sowing dates and seeding rates on the growth and yield of winter wheat [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*,2023,39(32):1.
- [17]BARRACLOUGH P B,LEIGH R A. The growth and activity of winter wheat roots in the field: The effect of sowing date and soil type on root growth of high-yielding crops [J]. *The Journal of Agricultural Science*,1984,103(1):59.
- [18]王玉玲,李新华,乔红,等.不同播期下小麦品种百农207越冬期生理生化特性[J].海南师范大学学报(自然科学版),2021,34(3):308.
WANG Y L,LI X H,QIAO H,*et al.* Physiological and biochemical characteristics of new wheat cultivar bainong 207 in the overwintering period under different sowing date [J]. *Journal of Hainan Normal University (Natural Science)*,2021,34(3):308.
- [19]刘相阳,任广喜,石岩.不同播期对冬小麦根系生长发育及产量的影响[C].中国可再生能源科技发展大会论文集,2010:1406-1409.
LIU X Y,REN G X,SHI Y. Effects of different sowing date on the root development and yield in dryland wheat [C]. Conference on China Technological Development of Renewable Energy Source,2010:1406-1409.
- [20]郭传贵,崔晓云,刘琼霞,等.黄淮麦区晚播小麦生长特点及高产配套栽培技术[J].安徽农业科学,2001,29(3):304.
GUO C G,CUI X Y,LIU Q X,*et al.* The growth characters and high-yielding cultivation techniques of late sowing wheat in Huanghuai Region [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*,2001,29(3):304.
- [21]胡曙望,陈焕淦,郑燕,等.淮北地区晚播麦的生育特性研究及配套栽培技术[J].耕作与栽培,2014,34(3):27.
HU S Y,CHEN H G,ZHENG Y,*et al.* Growth characteristics and supplementary cultivation techniques of late sowing wheat in HuaiBei Area [J]. *Tillage and Cultivation*,2014,34(3):27.
- [22]任丽娜.晚播小麦生育特点及高产栽培技术[J].农业技术与装备,2018(3):61.
REN L N. Fertility characteristics of late sowing wheat and high yield cultivation techniques [J]. *Agricultural Technology & Equipment*,2018(3):61.
- [23]SIAL M A,ARAIN M A,KHANZADA S,*et al.* Yield and quality parameters of wheat genotypes as affected by sowing dates and high temperature stress [J]. *Pakistan Journal of Botany*,2005,37(3):575.
- [24]张晓萍,杨慎骄,张笑培,等.不同播期冬小麦株型构建及其生育特征[J].应用生态学报,2013,24(4):919.
ZHANG X P,YANG S J,ZHANG X P,*et al.* Shoot type morphology and growth characteristics of winter wheat sown at different dates [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*,2013,24(4):919.
- [25]张向前,杜世州,曹承富,等.播期和密度对淮北地区皖麦52群体质量、叶绿素荧光及产量的影响[J].麦类作物学报,2014,34(3):399.
ZHANG X Q,DU S Z,CAO C F,*et al.* Effect of sowing date and planting density on population quality, chlorophyll fluorescence and yield of wanmai 52 in HuaiBei Area [J]. *Journal of Triticeae Crops*,2014,34(3):399.
- [26]刘翠莲,王颖,刘秀梅,等.晚播小麦生育特点及配套栽培技术[J].大麦与谷类科学,2017,34(6):46.
LIU C L,WANG Y,LIU X M,*et al.* Growth characteristics and supporting cultivation techniques of late sown wheat [J]. *Barley and Cereal Sciences*,2017,34(6):46.
- [27]朱昭进.安徽沿淮地区小麦高产品种(系)特征特性研究[D].合肥:安徽农业大学,2011.
ZHU Z J. Study on characteristics of high-yield wheat varieties(lines) along Huaihe River in Anhui Province [D]. Hefei:Anhui Agricultural University,2011.
- [28]KLEPECKAS M,JANUŠKAITIENĖ I,VAGUSEVIČIENĖ I,*et al.* Effects of different sowing time to phenology and yield of winter wheat [J]. *Agricultural and Food Science*,2020,29

- (4):346.
- [29]蒋会利. 播期密度对不同小麦品种群体茎数及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(6):72.
JIANG H L. Effect of sowing date and density on stem number and yield of different wheat variety [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2012, 21(6):72.
- [30]SATTAR A, NANDA G, SINGH G, *et al.* Responses of phenology, yield attributes, and yield of wheat varieties under different sowing times in Indo-Gangetic Plains [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14:1224334.
- [31]陈天晔, 袁嘉琦, 刘艳阳, 等. 江淮下游不同播期对稻-麦周年作物产量、品质及温光资源利用的影响[J]. 作物学报, 2020, 46(10):1566.
CHEN T Y, YUAN J Q, LIU Y Y, *et al.* Effects of different sowing dates on crop yield, quality, and annual light-temperature resources utilization for rice-wheat double cropping system in the lower reaches of the Yangtze-Huaihe Rivers Valley [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2020, 46(10):1566.
- [32]陈素英, 张喜英, 毛任钊, 等. 播期和播量对冬小麦冠层光合有效辐射和产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(4):681.
CHEN S Y, ZHANG X Y, MAO R Z, *et al.* Effect of sowing date and rate on canopy intercepted photo-synthetically active radiation and yield of winter wheat [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(4):681.
- [33]王欣, 王才. 不同播期和播种量对冬小麦生长特征和产量的影响[J]. 作物杂志, 2021(6):182.
WANG X, WANG C. Effects of different sowing dates and seeding rates on the growth characteristics and yield of winter wheat [J]. *Crops*, 2021(6):182.
- [34]费立伟, 初金鹏, 郑飞娜, 等. 迟播对冬小麦灌浆后期高温胁迫下旗叶光合能力和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(1):84.
FEI L W, CHU J P, ZHENG F N, *et al.* Effect of delayed sowing on flag leaf photosynthetic capacity and grain yield of wheat under heat stress at late grain-filling stage [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2020, 40(1):84.
- [35]王慧, 刘大同, 朱冬梅, 等. 氮肥调控对稻茬晚播小麦产量、品质及氮素利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(7):874.
WANG H, LIU D T, ZHU D M, *et al.* Effects of nitrogen regulation on yield, quality and nitrogen use of late-sowing wheat after rice stubble [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2023, 43(7):874.
- [36]王慧, 朱冬梅, 王君婵, 等. 扬麦 16 耐迟播早熟特性研究[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(12):1664.
WANG H, ZHU D M, WANG J C, *et al.* Study on the early maturing characteristics of Yangmai 16 under late planting [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2016, 36(12):1664.
- [37]ZHANG X, ZHENG Y, WANG C, *et al.* Spatial distribution and temporal variation of the winter wheat late frost disaster in Henan, China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2011, 25(2):249.
- [38]高德荣, 张晓, 康建鹏, 等. 长江中下游麦区小麦迟播的不利影响及育种对策[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(2):282.
GAO D R, ZHANG X, KANG J P, *et al.* Negative effects of late sowing on wheat production in middle and lower reaches of Yangtze River valley and breeding strategies [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2014, 34(2):282.
- [39]PANDEY G C, MAMRUTHA H M, TIWARI R, *et al.* Physiological traits associated with heat tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2015, 21(1):93.
- [40]SURYAVANSHI P, BUTTAR G S. Mitigating terminal heat stress in wheat [J]. *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*, 2016, 7(1):142.
- [41]HARRIS J A, HOBBS R J, HIGGS E, *et al.* Ecological restoration and global climate change [J]. *Restoration Ecology*, 2006, 14(2):170.
- [42]ABHINANDAN K, SKORI L, STANIC M, *et al.* Abiotic stress signaling in wheat - an inclusive overview of hormonal interactions during abiotic stress responses in wheat [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9:734.
- [43]ALGHABARI F, IHSAN M Z, KHALIQ A, *et al.* Gibberellin-sensitive *Rht* alleles confer tolerance to heat and drought stresses in wheat at booting stage [J]. *Journal of Cereal Science*, 2016, 70:72.
- [44]DE SAN CELEDONIO R P, ABELEDO L G, BRIHET J M, *et al.* Waterlogging affects leaf and tillering dynamics in wheat and barley [J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2016, 202(5):409.
- [45]蒋文月, 葛雨洋, 李亦辰, 等. 拔节期和花后渍水对不同品种小麦产量及相关农艺性状的影响[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(5):622.
JIANG W Y, GE Y Y, LI Y C, *et al.* Effects of waterlogging at stem-elongation and post-anthesis stages on grain yield and related agronomic traits of different wheat cultivars [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2024, 44(5):622.
- [46]REN A X, SUN M, WANG P R, *et al.* Optimization of sowing date and seeding rate for high winter wheat yield based on pre-winter plant development and soil water usage in the Loess Plateau, China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18(1):36.
- [47]WANG S, NIU Y, SHANG L, *et al.* Supplemental irrigation at the jointing stage of late sown winter wheat for increased production and water use efficiency [J]. *Field Crops Research*, 2023, 302:109069.
- [8]BULUT S, ÇAĞLAR Ö, ÖZTÜRK A. Effects of sowing dates and seeding rates on nitrogen and water use efficiency of facultative wheat [J]. *Gesunde Pflanzen*, 2022, 74(2):291.
- [49]LI W, QIAO Y Q, DU S Z, *et al.* Analysis on absorption, utilization and transfer efficiency of nitrogen in high-yield wheat cultivars at different sowing dates [J]. *Agricultural Science & Technology*, 2016, 17(7):1600.
- [50]朱兴敏. 播期与基本苗对淮北迟播小麦产量、氮素吸收利用及品质的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2020:12-13.
ZHU X M. Sowing date and basic seedlings for late-sown wheat yield and nitrogen uptake and utilization in Huaibei and the impact of quality [D]. Yangzhou: Yangzhou University

- sity. 2020;12-13.
- [51] 屈会娟, 李金才, 沈学善, 等. 密度和播期对周麦 18 干物质和氮素积累与转运的影响[C]. 2008 年全国小麦栽培科学学术研讨会, 2008;176-182.
QU H J, LI J C, SHEN X S, *et al.* Effects of sowing densities and sowing dates on accumulation and translocation of dry matter and nitrogen of Zhoumai 18 [C]. 2008 National Symposium on Wheat Cultivation Science, 2008;176-182.
- [52] 张金宝, 秦霞, 孙佩贤, 等. 黄淮麦区种植密度对晚播冬小麦花后氮素代谢和利用率的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(12): 112.
Zhang J B, Qin X, Sun P X, *et al.* Effects of plant density on nitrogen metabolism and nitrogen use efficiency of late sown winter wheat in Yellow and Huai Valley in China [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2010, 38(12): 112.
- [53] ALIGNAN M, ROCHE J, BOUNIOLS A, *et al.* Effects of genotype and sowing date on phytostanol-phytosterol content and agronomic traits in wheat under organic agriculture [J]. *Food Chemistry*, 2009, 117(2): 219.
- [54] 朱元刚, 初金鹏, 张秀, 等. 不同播期冬小麦氮素出籽效率与氮素利用及转运的相关性[J]. 应用生态学报, 2019, 30(4): 1151.
ZHU Y G, CHU J P, ZHANG X, *et al.* Correlation between nitrogen fruiting efficiency and nitrogen utilization and remobilization in winter wheat at different sowing dates [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(4): 1151.
- [55] LIU K Z, ZHANG C X, GUAN B B, *et al.* The effect of different sowing dates on dry matter and nitrogen dynamics for winter wheat; an experimental simulation study [J]. *PeerJ*, 2021(9): e11700.
- [56] FLOWERS M, PETERSON C J, PETRIE S, *et al.* Planting date and seeding rate effects on the yield of winter and spring wheat varieties—results from the 2005-2006 cropping year, 2007.
- [57] POONAM S N, KV S, D L, *et al.* High temperature effect on grain growth in wheat cultivars: An evaluation of responses [J]. *Indian Journal of Plant Physiology*, 2006, 11(3): 239.
- [58] THAPA S, GHIMIRE A, ADHIKARI J, *et al.* Impacts of sowing and climatic conditions on wheat yield in Nepal [J]. *Malaysian Journal of Halal Research*, 2020, 3(1): 38.
- [59] 杨林, 邵慧, 吴青霞, 等. 小麦分蘖数和单株穗数 QTL 定位及上位性分析[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(5): 876.
YANG L, SHAO H, WU Q X, *et al.* QTLs mapping and epistasis analysis for the number of tillers and spike number per plant in wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(5): 876.
- [60] 吴金芝, 黄明, 王志敏, 等. 极端晚播对小麦籽粒产量、氮素吸收利用和籽粒蛋白质含量的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(1): 190.
WU J Z, HUANG M, WANG Z M, *et al.* Effects of extremely-late sowing on the grain yield, nitrogen uptake and utilization, and grain protein content in winter wheat [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(1): 190.
- [61] 白露, 李乐, 连延浩, 等. 播期对不同基因型小麦生育期、产量和品质性状的影响[J]. 生态学杂志, 2021, 40(10): 3135.
BAI L, LI L, LIAN Y H, *et al.* Effects of sowing date on growth period, yield, and quality-related traits of different genotypic wheat varieties [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, 40(10): 3135.
- [62] 师学珍, 李万昌, 杨相甫. 播期对小麦幼穗分化进程及穗部性状的影响[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(15): 3497.
SHI X Z, LI W C, YANG X P. Effects of sowing date on differentiation process and spike characteristics of wheat [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2013, 52(15): 3497.
- [63] 信志红, 郭建平, 谭凯炎. 典型高温年分期播种冬小麦生育及产量性状差异性分析[J]. 中国农业气象, 2018, 39(9): 601.
XIN Z H, GUO J P, TAN K Y. Differences in growth and yield traits for winter wheat under different sowing dates in typical high temperature year [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2018, 39(9): 601.
- [64] 安霞, 张海军, 蒋方山, 等. 播期播量对不同穗型冬小麦群体及子粒产量的影响[J]. 作物杂志, 2018(5): 135.
AN X, ZHANG H J, JIANG F S, *et al.* Effects of different sowing dates and sowing densities on the population structure and yield of two spike type winter wheats [J]. *Crops*, 2018(5): 135.
- [65] ROY D, VASHISTH A, KRISHNAN P, *et al.* Delayed sowing and its ramifications: Biophysical, yield and quality analysis of wheat cultivars in the northwest Indo-Gangetic Plains [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2024, 104(11): 6831.
- [66] ZANG Y, YAO H, RAN L, *et al.* Physicochemical properties of wheat starch under different sowing dates [J]. *Starch-Stärke*, 2022, 74(7-8): 2100290.
- [67] HUANG X M, ZHOU X, LIU X Q, *et al.* Structural and physicochemical effects on the starch quality of the high-quality wheat genotype caused by delayed sowing [J]. *Frontiers in Nutrition*, 2024, 11: 1389745.
- [68] 范金平, 陆成彬, 吴建中, 等. 不同晚播条件对‘扬麦 20’产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(8): 1.
FAN J P, LU C B, WU J Z, *et al.* Effect of delayed sowing dates on yield and quality traits of wheat cultivar ‘Yangmai 20’ [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 33(8): 1.
- [69] FOIS S, SCHLICHTING L, MARCHYLO B, *et al.* Environmental conditions affect *Semolina* quality in durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum L.) cultivars with different gluten strength and gluten protein composition [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2011, 91(14): 2664.
- [70] 刘芳亮, 张保军, 张正茂, 等. 播期和密度对普冰 151 小麦籽粒产量与品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(6): 1.
LIU F L, ZHANG B J, ZHANG Z M, *et al.* Effect of sowing date and planting density on grain yield and quality of winter wheat Pubing 151 [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2016, 34(6): 1.
- [71] BONFIL D J, ABBO S, SVORAY T. Sowing date and wheat quality as determined by gluten index [J]. *Crop Science*, 2015, 55(5): 2294.

- [72]张耀辉,宋建荣,岳维云,等. 陇南雨养旱区播期与密度对冬小麦产量与品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(6):74.
ZHANG Y H, SONG J R, YUE W Y, *et al.* Effects of sowing date and planting density on yield and quality of winter wheat in rained dryland areas of Longnan [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2011, 29(6):74.
- [73]POSTMA J A, HECHT V L, HIKOSAKA K, *et al.* Dividing the pie: A quantitative review on plant density responses [J]. *Plant, Cell & Environment*, 2021, 44(4):1072.
- [74]李华英. 种植密度和播期对冬小麦籽粒产量和抗倒性能的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
LI H Y. Effects of planting density and sowing date on grain yield and lodging resistance of winter wheat [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2015.
- [75]MONDAL S, KUMAR R, MISHRA J S, *et al.* Grain nitrogen content and productivity of rice and maize under variable doses of fertilizer nitrogen [J]. *Heliyon*, 2023, 9(6):e17321.
- [76]朱冬梅,王慧,高致富,等. 不同小麦品种耐晚播特性研究[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(11):54.
ZHU D M, WANG H, GAO Z F, *et al.* Study on late sowing resistance characteristics of different wheat cultivars [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2021, 49(11):54.
- [77]乔玉强,曹承富,杜世州,等. 淮北地区晚播小麦产量构成分析及抗晚播品种筛选研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(15):17.
QIAO Y Q, CAO C F, DU S Z, *et al.* Study on yield components and screening of varieties resistance to late-sowing in Huaibei Area [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(15):17.
- [78]李东升,戎全虎,温明星,等. 江苏淮南麦区主栽小麦品种耐迟播特性研究[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(5):996.
LI D S, RONG Q H, WEN M X, *et al.* Study on the characters of resistance to late planting of major wheat varieties in Huainan wheat area of Jiangsu Province [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(5):996.
- [79]李雪梅,王树林,王燕,等. 适宜粮棉轮作的耐晚播小麦品种筛选[J]. 天津农业科学, 2018, 24(1):47.
LI X M, WANG S L, WANG Y, *et al.* Selection of wheat variety resistant to late sowing and suitable for cotton-wheat-maize rotation system [J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2018, 24(1):47.
- [80]朱冬梅,王慧,刘大同,等. 小麦籽粒灌浆与脱水特性[J]. 中国农业科学, 2019, 52(23):4251.
ZHU D M, WANG H, LIU D T, *et al.* Characteristics of grain filling and dehydration in wheat [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(23):4251.
- [81]刘大同,蒋正宁,张晓,等. 小麦不同灌浆速率品种籽粒淀粉合成与积累研究[J]. 植物生理学报, 2021, 57(3):711.
LIU D T, JIANG Z N, ZHANG X, *et al.* Studies on starch biosynthesis and accumulation in wheat varieties with different grain-filling rates [J]. *Plant Physiology Journal*, 2021, 57(3):711.
- [82]尚毅,朱靖环,华为,等. 南方冬麦区小麦耐迟播高分蘖资源的鉴定与筛选[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(4):494.
SHANG Y, ZHU J H, HUA W, *et al.* Identification and selection of wheat germplasm with high tillering ability under late sowing for southern winter wheat zone [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2015, 35(4):494.
- [83]王慧,朱冬梅,陆成彬,等. 不同小麦品种群体结构和产量形成对迟播的响应[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2019, 40(6):40.
WANG H, ZHU D M, LU C B, *et al.* Response of population structure and grain yield to late sowing in wheat [J]. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 2019, 40(6):40.
- [84]UPADHYAYA N, BHANDARI K. Assessment of different genotypes of wheat under late sowing condition [J]. *Heliyon*, 2022, 8(1):e08726.
- [85]FICHT A, BRUCH A, RAJCAN I, *et al.* Evaluation of the impact of photoperiod and light intensity on decreasing days to maturity in winter wheat [J]. *Crop Science*, 2023, 63(2):812.
- [86]KOSAKIVSKA I V, VASYUK V A, VOYTENKO L V, *et al.* Changes in hormonal status of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and spelt wheat (*Triticum spelta* L.) after heat stress and in recovery period [J]. *Cereal Research Communications*, 2022, 50(4):821.
- [87]刘大同,王慧,朱冬梅,等. “灌浆快、成熟早”小麦的颖果生理和解剖学研究[C]. 2018 全国植物生物学大会论文集, 2018:1.
LIU D T, WANG H, ZHU D M, *et al.* Research on the physiology and anatomy of caryopsis in wheat with fast grain filling and early maturation [C]. 2018 National Conference on Plant Biology Proceedings, 2018:63.
- [88]SHAMBHOO P, AJIT T, NAVNESH K, BANDANA J, *et al.* Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for heat tolerance at filling stage [J]. *International Research Journal of Natural and Applied Sciences*, 2016, 3(1):137.
- [89]尹朝静. 气候变化对中国水稻生产的影响研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2017.
YIN Z J. Study on the climate change impact on Chinese rice production [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017.
- [90]DUBEY R, PATHAK H, SINGH S, *et al.* Impact of sowing dates on terminal heat tolerance of different wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars [J]. *National Academy Science Letters*, 2019, 42(6):445.