

王维领,赵凌天,刘畅,等.迟播下不同施氮量和基本苗处理对小麦产量形成的影响[J].江苏农业科学,2022,50(23):89-95.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.23.013

迟播下不同施氮量和基本苗处理对小麦产量形成的影响

王维领,赵凌天,刘畅,赵灿,李国辉,许轲,霍中洋

(扬州大学农学院/江苏省作物栽培生理重点实验室/江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心,江苏扬州 225009)

摘要:以不同筋型小麦品种为供试材料,探究迟播条件下施氮量和基本苗处理对小麦群体质量及产量的影响,筛选适宜江苏淮南迟播小麦高产栽培的施氮量和基本苗组合。结果表明,基本苗和施氮量及其互作对迟播小麦产量及其构成因素有极显著影响。随基本苗数量的增加,宁麦 13、农麦 88 产量呈先增后减的趋势;随施氮量的增加,宁麦 13 产量呈先增后减的趋势,农麦 88 则呈递增趋势。基本苗和施氮量主要通过影响穗数、穗粒数而影响迟播小麦产量,对千粒质量的影响较小。宁麦 13、农麦 88 这 2 个品种 2 年平均产量最高的处理组合分别为 M3N3(基本苗 375 万株/hm²,施氮量 270 kg/hm²)、M2N4(基本苗 300 万株/hm²,施氮量 315 kg/hm²),产量分别达 7 905.8 088 kg/hm²。

关键词:小麦;迟播;施氮量;基本苗;群体质量;产量

中图分类号:S512.104 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)23-0089-07

近年来由于江苏省水稻机械化与轻简化栽培技术的普及、迟熟水稻品种的推广,水稻腾茬日期明显后移,导致小麦无法如期播种^[1]。江苏省小麦

秋播期间经常遭遇的连日阴雨天气也是引起小麦迟播的重要因素^[1]。迟播引起小麦冬前生长积温不足,影响壮苗的形成,不利于高产稳产^[2]。此外,迟播增加了小麦生育中后期植株遭遇生物(病虫害)和非生物(高温、渍水等)胁迫的风险,严重威胁小麦的安全生产^[3]。据统计,2013—2018 年间,江苏省迟播小麦的种植面积始终维持在 50% 左右^[4]。迟播已成为制约江苏省小麦稳产高产的重要因素。因此,探索迟播小麦高产高效的栽培措施,对保障江苏小麦生产安全具有重要意义。

建立合理的群体结构,充分利用温、光、水、气、肥等环境资源,协调穗数、穗粒数、千粒质量均衡发

收稿日期:2022-07-11

基金项目:江苏省重点研发计划(编号:BE2020319、BE2019377、BE2021361);江苏现代农业产业关键技术创新计划[编号:CX(21)2001];江苏省高校优势学科建设工程资助项目。

作者简介:王维领(1988—),男,山东成武人,博士,主要研究方向为小麦高产栽培,E-mail:weilingw@163.com;共同第一作者:赵凌天(1998—),男,江苏南京人,硕士,主要研究方向为小麦高产栽培,E-mail:1120785640@qq.com。

通信作者:霍中洋,博士,教授,主要研究方向小麦高产高效优质栽培。E-mail:huozyl69@163.com。

[33]项洪涛,李琬,郑殿峰,等.幼苗期淹水胁迫及喷施烯效唑对小豆生理和产量的影响[J].作物学报,2021,47(3):494-506.

[34]李颖.外源 6-BA 对淹水胁迫下花生生理特性及产量品质的影响[D].泰安:山东农业大学,2020:32-35.

[35]高洪波,郭世荣.外源 γ -氨基丁酸对营养液低氧胁迫下网纹甜瓜幼苗抗氧化酶活性和活性氧含量的影响[J].植物生理与分子生物学报,2004,30(6):651-659.

[36]项洪涛,李琬,何宁,等.外源脱落酸缓解小豆幼苗水分胁迫效应研究[J].西南农业学报,2022,35(1):74-80.

[37]任佰朝,张吉旺,李霞,等.大田淹水对夏玉米叶片衰老特性的影响[J].应用生态学报,2014,25(4):1022-1028.

[38]王诗雅,郑殿峰,冯乃杰,等.植物生长调节剂 S3307 对苗期淹水胁迫下大豆生理特性和显微结构的影响[J].作物学报,2021,47(10):1988-2000.

[39]里程辉,于辉,刘志,等.淹水胁迫下不同中间砧对苹果岳冠叶片和根系抗氧化酶和非酶类抗氧化物活性的影响[J].江

苏农业科学,2021,49(3):121-125.

[40]贾伯颖,吴晓蕾,冀鑫鑫,等. γ -氨基丁酸对番茄嫁接苗耐盐性的生理调控效应[J].植物营养与肥料学报,2021,27(1):122-134.

[41]任佰朝,张吉旺,李霞,等.大田淹水对夏玉米养分吸收与转运的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(2):298-308.

[42]郭欣欣,李晓锋,朱红芳,等.淹水胁迫对不结球白菜根系生长与呼吸酶活性的影响[J].西北植物学报,2015,35(4):793-800.

[43]王群,赵向阳,刘东尧,等.淹水弱光复合胁迫对夏玉米根形态结构、生理特性和产量的影响[J].中国农业科学,2020,53(17):3479-3495.

[44]甄博,周新国,陆红飞,等.冬小麦不同生育期受涝对其生长和产量的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(10):46-50.

[45]任佰朝,张吉旺,李霞,等.淹水胁迫对夏玉米籽粒灌浆特性和品质的影响[J].中国农业科学,2013,46(21):4435-4445.

展,是实现小麦高产高效生产的关键途径^[5]。控制施氮量和基本苗数量是调控小麦群体的有效手段^[6]。前人围绕施氮量和基本苗处理,对小麦群体生长以及产量的影响开展了大量的研究^[7-9]。但这些研究主要以适播小麦为对象,对迟播条件下不同施氮量和基本苗处理对小麦群体生长及产量影响的研究较为缺乏。本研究在迟播条件下,通过设置不同施氮量和基本苗的处理组合,研究其对不同筋型小麦品种茎蘖动态、叶面积指数、干物质积累等群体质量指标、产量及其构成因素的影响,筛选出适宜江苏省迟播小麦高产栽培的施氮量和基本苗组合,以期为江苏省小麦高产稳产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于 2019—2021 年在江苏省泰州市姜堰区汉土农场进行。试验田为潴育型水稻土,质地为黏性,前茬作物为水稻。2019—2020 年 0~20 cm 耕层土壤含有机质 31.76 g/kg、全氮 1.98 g/kg、速效钾 166.31 mg/kg、速效磷 63.02 mg/kg,播种前土壤相对含水量为 72.26 %;2020—2021 年 0~20 cm 耕层土壤含有机质 31.73 g/kg、全氮 1.94 g/kg、速效钾 165.72 mg/kg、速效磷 62.90 mg/kg,播种前土壤相对含水量 79.66 %。

1.2 试验设计

供试材料为强筋小麦品种农麦 88 和弱筋小麦品种宁麦 13。2019—2020 年试验于 2019 年 11 月 20 日播种,2020—2021 年试验于 2020 年 12 月 1 日播种。设计品种、基本苗、施氮量 3 因素试验。田间布局采用裂区设计,品种为主区,施氮量为副区,基本苗为裂区。其中,施氮量水平分别为 0(N1)、225(N2)、270(N3)、315(N4) kg/hm²;基本苗分别为 225(M1)、300(M2)、375(M3) 万株/hm²,每品种共构成 12 个组合处理(表 1)。每个处理田间重复 3 次。播种方式为人工开沟划行条播,行距 25 cm,小区面积为 12 m²。氮肥运筹方式为基肥:分蘖肥:拔节肥:孕穗肥=5:1:2:2。基肥在播种前施用,分蘖肥于 4 叶期施用,拔节肥于倒 3 叶出生期施用,孕穗肥于倒 1 叶出生期施用,磷钾肥各 112.5 kg/hm²,随基肥于播种前一次性施用。于 2 叶 1 心期进行定苗。其他栽培管理措施同高产田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 产量及其构成因素

于成熟期每小区普查

表 1 基本苗和施氮量处理组合

处理	基本苗 (万株/hm ²)	施氮量 (kg/hm ²)
M1N1	225	0
M1N2	225	225
M1N3	225	270
M1N4	225	315
M2N1	300	0
M2N2	300	225
M2N3	300	270
M2N4	300	315
M3N1	375	0
M3N2	375	225
M3N3	375	270
M3N4	375	315

穗数,连续取 50 穗统计穗粒数。每小区于成熟期收获 1 m² 脱粒后称质量,并从中随机取 3 组称千粒质量;使用 FOSS-370 型近红外谷物分析仪测定籽粒水分含量,按照 13% 标准水分进行质量折算得实际产量和千粒质量。

1.3.2 茎蘖动态 于分蘖期、拔节期、开花期、成熟期在每小区取 2 行连续统计 1 m 长小麦单茎数量,计算茎蘖动态、茎蘖成穗率。

1.3.3 叶面积指数 于分蘖期、拔节期、抽穗期、乳熟期在每小区连续取样 30 株,测定植株叶面积指数。

1.3.4 干物质积累动态 将植株样品于 105 ℃ 杀青 1 h,80 ℃ 烘干至恒质量后称质量,测定干物质积累量。

1.4 数据处理与统计分析

用 Microsoft Excel 2019、Origin 2018 软件进行数据处理和统计分析。由于 2019—2020 年和 2020—2021 年处理间变化趋势基本一致,本试验中群体茎蘖动态、干物质积累量以及叶面积指数等数据为 2 年平均值。

2 结果与分析

2.1 基本苗和施氮量对迟播小麦产量的影响

由表 2 可知,迟播条件下宁麦 13、农麦 88 的产量范围分别在 2 422~8 061、2 440~8 144 kg/hm²;宁麦 13 的平均产量为 6 355 kg/hm²,农麦 88 的平均产量为 6 348 kg/hm²,无明显差异。2019—2020 年 2 个品种的产量均高于 2020—2021 年,平均高出 5.49%,这主要与 2020—2021 年的播期较迟有关。

表 2 基本苗和施氮量组合对迟播小麦产量及其构成因素的影响

年份	品种	处理	穗数 (万穗/hm ²)	穗粒数 (粒/穗)	千粒质量 (g)	产量 (kg/hm ²)
2019—2020	宁麦 13	M1N1	279.8	33.76	39.15	3 255
		M1N2	405.9	44.45	43.26	7 245
		M1N3	425.2	43.55	42.80	7 369
		M1N4	442.1	41.76	41.35	7 116
		M2N1	357.6	32.53	38.56	4 080
		M2N2	426.6	43.91	42.98	7 526
		M2N3	453.9	43.06	42.38	7 855
		M2N4	472.2	41.47	41.03	7 430
		M3N1	412.0	19.56	38.24	2 717
		M3N2	450.2	43.14	42.66	7 773
		M3N3	476.7	42.74	42.17	8 061
		M3N4	485.9	40.82	40.76	7 660
	农麦 88	M1N1	214.2	37.19	42.18	2 965
		M1N2	369.5	46.47	42.80	7 475
		M1N3	393.6	45.22	41.66	7 595
		M1N4	445.7	44.87	41.32	7 878
		M2N1	331.3	24.15	40.98	2 893
		M2N2	381.2	44.42	43.12	7 351
		M2N3	446.5	44.07	42.45	7 955
		M2N4	486.2	42.71	42.02	8 314
2020—2021	宁麦 13	M1N1	273.2	31.89	38.84	3 030
		M1N2	399.6	43.13	43.02	6 901
		M1N3	418.9	42.47	42.46	7 064
		M1N4	435.2	41.67	41.04	6 759
		M2N1	351.0	30.79	38.42	3 754
		M2N2	419.9	42.65	42.76	7 251
		M2N3	447.9	41.96	42.18	7 534
		M2N4	465.0	41.16	40.67	7 143
		M3N1	406.8	18.04	38.16	2 422
		M3N2	451.6	41.63	42.06	7 446
		M3N3	469.2	41.23	41.99	7 750
		M3N4	479.1	40.83	40.44	7 381
	农麦 88	M1N1	208.8	35.64	42.01	2 765
		M1N2	363.6	44.98	42.51	7 132
		M1N3	388.1	43.55	41.42	7 236
		M1N4	439.7	43.26	40.74	7 520
		M2N1	324.1	22.95	40.65	2 598
		M2N2	375.2	42.57	42.73	6 851
		M2N3	439.6	42.43	42.18	7 613
		M2N4	480.1	41.58	41.70	7 862

表 2(续)

年份	品种	处理	穗数 (万穗/hm ²)	穗粒数 (粒/穗)	千粒质量 (g)	产量 (kg/hm ²)
		M3N1	375.7	20.24	37.91	2 440
		M3N2	389.0	40.83	42.83	6 753
		M3N3	456.4	40.15	42.27	7 382
		M3N4	487.6	39.48	42.50	7 780
	方差分析	V	**	ns	ns	ns
		M	**	**	**	**
		N	**	**	**	**
		V × M	**	**	ns	ns
		V × N	**	*	**	**
		M × N	**	**	**	**
		V × M × N	**	**	**	**

注:V 表示品种,M 表示基本苗,N 表示施氮量,ns 表示不显著,*、** 分别表示差异达到显著、极显著水平。表 3 至表 5 同。

基本苗对迟播下 2 个品种的产量及其构成因素有极显著影响(表 2)。宁麦 13 和农麦 88 均在 M2 处理下产量最高,其次为 M3 处理。随着基本苗的增加,宁麦 13 和农麦 88 的穗数呈升高的趋势,而穗粒数呈降低的趋势。2 个品种的基本苗处理间穗数变化幅度在 5.47% ~ 22.04%,穗粒数变化幅度在 5.83% ~ 18.99%。2 个品种在不同基本苗处理下的千粒质量变化幅度较小(低于 1.66%)。以上结果说明,基本苗处理主要通过影响穗数、穗粒数而影响迟播小麦产量。此外,宁麦 13、农麦 88 在 M2 处理下的产量分别较 M1 处理 2 年平均增加 7.87%、1.71%,而 M3 较 M2 分别下降 2.59%、2.1%(表 2)。由此可见,宁麦 13 对基本苗处理的响应程度较农麦 88 更高,即宁麦 13 的产量更易受到基本苗数量的影响。

施氮量对迟播下 2 个品种的产量及构成因素均存在极显著影响(表 2)。不同氮肥处理下,宁麦 13 的产量变化在 2 年间有所不同。2019—2020 年,随着施氮量的增加,宁麦 13 的产量呈逐渐升高的趋势;而在 2020—2021 年呈先升高后降低的趋势,在 N3 处理下产量最高。农麦 88 的产量随施氮量的增加呈逐渐升高的趋势,N4 处理较 N2、N3 处理平均增产 4.41% ~ 11.21%。随着施氮量的增加,2 个品种的穗数均呈增加趋势,而穗粒数和千粒质量呈先增加后降低的趋势,2 个品种的最高穗粒数和千粒质量均出现在 N2 处理。不同施氮处理间除 N1 处理外,各施氮处理的穗数、穗粒数、千粒质量的变化幅度分别为 5.09% ~ 25.21%、1.60% ~ 5.66%、

0.96%~4.67%,说明氮肥主要通过穗数影响迟播小麦产量,其次是穗粒数。与 N1 处理相比,N2、N3、N4 处理下宁麦 13、农麦 88 的产量增幅分别在 126.0%~137.2%、161.6%~191.0%,可见农麦 88 产量对氮肥的响应程度可能高于宁麦 13。随第 2 年播期推迟,宁麦 13 产量对于施氮量的响应度下降,不同施氮处理间无明显差异;而农麦 88 随播期推迟依旧保持对施氮量的响应,各处理间差异明显,亦说明农麦 88 对氮肥的响应要高于宁麦 13。

基本苗和施氮量互作对迟播下 2 个品种的产量及其构成因素有极显著影响(表 2)。宁麦 13 在 M3N3 处理下产量最高,其次为 M2N3,均达 7 500 kg/hm² 以上。农麦 88 在 M2N4 处理下产量最高,其次为 M3N4 处理,均达 7 700 kg/hm² 以上。品种、基本苗、施氮量对产量及其构成因素同样有极显著的互作效应,农麦 88 在 M2N4 处理下所获产量为所有处理中的最高产量。

2.2 基本苗和施氮量对迟播小麦群体茎蘖动态的影响

由表 3 可知,整个生育期内小麦群体茎蘖数呈先升高后下降的规律,于拔节期达到顶峰。宁麦 13 平均高峰苗数、成熟期茎蘖数、茎蘖成穗率分别比农麦 88 高 1.16%、6.27%、4.83 百分点,说明宁麦 13 在迟播下可能较农麦 88 具有较高的分蘖能力和分蘖成穗率。

迟播下基本苗和施氮量对 2 个品种各时期茎蘖数和茎蘖成穗率均有极显著影响。在相同施氮量条件下,2 个品种各时期茎蘖数均随基本苗数量的增加而显著增加。除农麦 88 的茎蘖成穗率在 N4 处理下随基本苗数量的增加呈先增后减的趋势外,在相同施氮量条件下 2 个品种的茎蘖成穗率均随基本苗数量的增加呈下降趋势。在相同基本苗数量下,各时期茎蘖数均随施氮量的增加而明显增加,但茎蘖成穗率呈下降趋势。进一步分析发现,宁麦 13 在 M3 处理下的高峰苗数量分别较 M2、M1 增长 13.58%、37.41%,农麦 88 在 M3 处理下高峰苗数量分别较 M2、M1 增长 12.73%、22.67%;宁麦 13 在 N2、N3、N4 处理下的高峰苗数量较 N1 增长 24.28%~46.55%,农麦 88 在 N2、N3、N4 处理下高峰苗数量较 N1 增长 32.37%~51.24%,这表示,迟播下宁麦 13 的茎蘖数更易受基本苗的调控,而农麦 88 的茎蘖数更易受施氮量的调控。

基本苗和施氮量对各时期茎蘖数及茎蘖成穗

率均有显著或极显著互作效应,品种、基本苗、施氮量对各时期茎蘖数有极显著互作效应,对茎蘖成穗率无显著互作效应(表 3)。宁麦 13、农麦 88 各时期群体茎蘖数均在 M3N4 处理下最高。以上数据表明,高基本苗和施氮量有利于迟播小麦获得较多的穗数。

表 3 基本苗和施氮量组合对迟播小麦茎蘖动态及茎蘖成穗率的影响

品种	处理	茎蘖数(万/hm ²)				茎蘖成穗率(%)
		分蘖期	拔节期	抽穗期	成熟期	
宁麦 13	M1N1	435.3	695.3	287.4	274.6	39.49
	M1N2	500.0	793.7	427.1	400.1	50.41
	M1N3	525.1	878.6	435.2	420.8	47.90
	M1N4	570.3	964.3	448.9	436.6	45.28
	M2N1	479.4	750.8	364.8	352.6	46.96
	M2N2	606.6	1 026.0	436.4	420.9	41.03
	M2N3	640.7	1 070.0	460.6	448.4	41.90
	M2N4	683.8	1 184.0	475.7	466.5	39.40
	M3N1	578.3	919.2	423.7	407.6	44.35
	M3N2	655.6	1 120.0	465.8	452.2	40.39
	M3N3	704.6	1 221.0	485.4	470.5	39.52
	M3N4	808.2	1 318.0	546.6	480.3	36.45
农麦 88	M1N1	423.4	666.5	239.1	209.4	31.41
	M1N2	552.3	889.9	383.6	364.6	40.97
	M1N3	562.6	924.6	399.7	388.8	42.25
	M1N4	637.5	1 080.0	455.8	440.9	40.81
	M2N1	448.5	711.1	349.5	324.0	45.57
	M2N2	600.5	1 007.0	384.2	375.1	37.24
	M2N3	632.5	1 050.0	451.3	440.9	41.99
	M2N4	666.3	1 107.0	481.4	480.4	43.38
	M3N1	545.2	880.4	392.3	376.6	42.78
	M3N2	703.9	1 092.0	412.5	389.0	35.62
	M3N3	752.9	1 168.0	471.4	456.6	39.08
	M3N4	789.6	1 228.0	498.0	488.0	39.73
方差分析	V	**	**	**	**	ns
	M	**	**	**	**	**
	N	**	**	**	**	*
	V×M	**	**	**	**	**
	V×N	**	*	**	**	**
	M×N	**	**	**	**	**
	V×M×N	**	**	**	**	ns

2.3 基本苗和施氮量对迟播小麦群体干物质积累的影响

由表 4 可知,2 个品种间的群体干物质积累量有极显著的差异。农麦 88 各处理平均成熟期群体干物质积累量为 13 802 kg/hm²,高出宁麦 13

(12 680 kg/hm²) 8.85%,说明在相同栽培条件下农麦 88 的群体可能要大于宁麦 13。

表 4 基本苗和施氮量组合对迟播小麦群体干物质积累量的影响

品种	处理	群体干物质积累量(kg/hm ²)			
		分蘖期	拔节期	抽穗期	成熟期
宁麦 13	M1N1	302.1	1 731	3 359	5 651
	M1N2	471.0	2 543	7 799	12 058
	M1N3	504.2	4 150	10 549	14 887
	M1N4	597.4	3 261	8 382	14 048
	M2N1	328.8	1 840	4 126	7 360
	M2N2	512.3	3 349	8 909	12 999
	M2N3	571.3	4 325	10 750	15 207
	M2N4	632.0	3 813	9 092	14 623
	M3N1	390.5	2 006	5 027	8 496
	M3N2	549.7	3 488	9 040	14 785
	M3N3	599.8	4 380	11 106	16 170
	M3N4	640.0	4 228	9 847	15 881
农麦 88	M1N1	315.2	1 613	3 494	7 486
	M1N2	378.5	3 199	7 308	12 589
	M1N3	414.6	3 547	907	14 800
	M1N4	455.6	4 350	11 567	17 070
	M2N1	347.7	2 755	4 034	8 590
	M2N2	406.1	3 320	7 943	13 242
	M2N3	459.5	3 693	10 579	16 678
	M2N4	568.1	5 041	13 379	18 393
	M3N1	388.1	3 457	4 228	8 313
	M3N2	492.9	3 582	8 142	12 743
	M3N3	548.3	4 342	11 150	16 597
	M3N4	766.4	5 294	14 000	19 124
方差分析	V	**	**	**	**
	M	**	**	**	**
	N	**	**	**	**
	V×M	**	**	**	**
	V×N	**	**	**	**
	M×N	**	**	**	**
	V×M×N	**	**	**	**

基本苗对迟播条件下 2 个品种各时期群体干物质积累量均有极显著影响(表 4)。2 个品种各时期群体的干物质积累量整体上随基本苗数量的增加而提高。宁麦 13 的成熟期群体干物质积累量在 M2、M3 处理下较 M1 分别提高 7.60%、18.63%,而农麦 88 在 M2、M3 下成熟期干物质积累量较 M1 分别提高 9.5 %、9.30%。可见,当基本苗由 M1 增加至 M2 时,农麦 88 的成熟期群体干物质积累量增幅高于宁麦 13;当继续增加至 M3 时,农麦 88 成熟期

干物质积累量仅有微小变化,而宁麦 13 仍有大幅增长。施氮量对迟播下 2 个品种各时期群体干物质积累量均有极显著影响。在相同基本苗数量下,分蘖期的干物质积累量随施氮量的增加明显提高,拔节期、抽穗期、成熟期群体干物质积累量随施氮量的增加呈先增后减的趋势。宁麦 13 的成熟期干物质积累量在 N3、N4 处理下较 N2 分别增加 11.83%、16.12%,农麦 88 成熟期干物质积累量在 N3、N4 处理下较 N2 分别增加 24.61%、41.50%。由此可见,农麦 88 的群体干物质积累量对于施氮量的响应可能高于宁麦 13。

基本苗和施氮量对各时期干物质积累量的影响存在极显著的互作效应(表 4)。宁麦 13、农麦 88 各时期干物质积累量最高的处理组合分别为 M3N3、M3N4。以上数据表明,高基本苗是迟播小麦获得较高群体生物量的基础,而不同品种取得高生物量的最佳施氮量存在差异。

2.4 基本苗和施氮量对迟播小麦叶面积指数的影响

由表 5 可知,小麦分蘖期至抽穗期的叶面积指数呈增加趋势,抽穗期至成熟期叶面积指数则出现一定的衰减。宁麦 13 抽穗期叶面积指数平均为 5.14,较农麦 88 高 3.84%;叶面积衰减率为 0.051 LAI/d,较农麦 88 低 12.24%。由此可见,宁麦 13 最大叶面积指数较农麦 88 高,且花后叶片衰老更慢。

基本苗、施氮量对迟播小麦叶面积指数、叶面积衰减率有极显著影响(表 5)。在相同施氮量水平下,2 个品种各时期的叶面积指数随基本苗数量的增加而增加,叶面积衰减率则呈降低趋势;在相同基本苗数量下,各时期叶面积指数随施氮量的增加呈增加趋势,叶面积衰减率呈降低趋势。基本苗和施氮量间互作对分蘖期、拔节期、抽穗期叶面积指数有显著或极显著影响,对花后 20 d 叶面积指数和叶面积衰减率无显著影响(表 5)。宁麦 13、农麦 88 各时期最大叶面积指数、花后叶面积衰减率均出现在 M3N4 处理组合,说明高基本苗和施氮量的处理组合有利于迟播小麦取得较高的叶面积且有效延缓生育后期叶片的衰老。

3 讨论

姚金保等研究发现,基本苗和施氮量及其互作对适播小麦产量及其构成因素均有极显著的影

表 5 基本苗和施氮量组合对迟播小麦叶面积指数的影响

品种	处理	叶面积指数				叶面积 衰减率 (LAI/d)
		分蘖期	拔节期	抽穗期	花后 20 d	
宁麦 13	M1N1	0.51	1.30	3.69	2.07	0.081
	M1N2	0.65	2.99	4.77	3.40	0.068
	M1N3	0.67	3.78	5.13	4.18	0.048
	M1N4	0.74	4.20	5.59	4.82	0.039
	M2N1	0.56	1.45	3.91	2.46	0.072
	M2N2	0.65	3.37	5.09	4.19	0.045
	M2N3	0.84	4.06	5.67	4.82	0.042
	M2N4	0.93	4.51	6.06	5.34	0.036
	M3N1	0.63	1.53	4.24	3.03	0.061
	M3N2	0.87	3.86	5.24	4.40	0.042
	M3N3	0.89	4.27	5.78	4.98	0.040
	M3N4	1.30	4.85	6.49	5.84	0.033
农麦 88	M1N1	0.57	1.32	3.60	2.11	0.075
	M1N2	0.90	3.30	4.47	3.18	0.065
	M1N3	0.95	3.78	4.80	3.64	0.058
	M1N4	1.18	3.91	5.33	4.36	0.049
	M2N1	0.66	2.57	3.86	2.52	0.067
	M2N2	0.98	3.86	4.86	3.65	0.060
	M2N3	1.23	4.50	5.23	4.07	0.058
	M2N4	1.28	5.79	5.81	4.85	0.048
	M3N1	0.78	3.42	4.02	2.84	0.059
	M3N2	1.01	4.05	5.33	4.25	0.054
	M3N3	1.11	4.28	5.88	4.83	0.053
	M3N4	1.22	4.72	6.20	5.28	0.046
方差分析	V	**	**	*	*	ns
	M	**	**	**	**	**
	N	**	**	**	**	**
	V × M	**	**	ns	*	ns
	V × N	**	**	ns	**	**
	M × N	**	**	**	ns	ns
	V × M × N	**	**	**	**	ns

响^[10]。本研究在迟播条件下同样发现,基本苗和施氮量及其互作对小麦产量的形成有极显著的调控效应,这与祝庆等在晚播条件下的研究结果^[11-12]一致。以上研究说明,无论是在适播还是迟播条件下,基本苗和施氮量始终是调控小麦产量形成的重要因素,探寻适宜的基本苗和施氮量组合,对小麦取得高产至关重要。

姚金保等以中筋小麦品种宁麦 24 为材料在适播条件下研究发现,取得最高产量的适宜基本苗、施氮量组合为 240 万株/hm²、180 kg/hm²^[10]。谷秋

荣等研究表明,适播条件下强筋小麦豫麦 24 在基本苗为 225 万株/hm² 和施氮量为 225 kg/hm² 的处理组合下产量较高^[13]。本研究发现,宁麦 13、农麦 88 分别在 M3N3 (基本苗 375 万株/hm², 施氮量 270 kg/hm²)、M2N4 (基本苗 300 万株/hm², 施氮量 315 kg/hm²) 的处理组合下产量最高,该结果较前人在适播条件下获得高产的基本苗数量和施氮量均明显增加。杜同庆等在江苏淮北的试验同样发现,基本苗数量 (525 万株/hm²) 和施氮量 (270 kg/hm²) 最大的处理组合产量表现最好^[12]。由此可见,迟播小麦需要增加基本苗和施氮量才能保证相对较高的产量。此外,迟播条件下弱筋小麦宁麦 13 取得高产所需的基本苗数量明显高于强筋小麦农麦 88,而所需的施氮量则有所降低。迟播条件下,2 个品种取得高产所需基本苗存在差别可能主要与株型差异有关。宁麦 13 株型较为紧凑,在一定的空间里可以容纳更多的植株数量^[13];而农麦 88 株型较为松散,可容纳基本苗的上限较低^[14]。曹承富等研究发现,强筋小麦品种的需氮量要高于中筋小麦品种^[15]。这可能是本研究中宁麦 13 取得高产的施氮量低于农麦 88 的原因。以上分析也在一定程度上解释了为何宁麦 13 对基本苗处理的响应程度高于农麦 88,而对氮肥的响应程度低于农麦 88。

小麦产量是多个性状共同作用的结果,产量的提升依赖于产量构成因素 (穗数、穗粒数、千粒质量) 的协调发展^[16-17]。本研究发现,迟播条件下,基本苗和施氮量主要通过影响穗数而影响产量,其次为穗粒数,对千粒质量影响较小。小麦迟播减产的重要原因主要有,茎蘖数不足引起穗数减少和穗分化进程缩短引起穗粒数降低^[18]。增加基本苗数量从根本上解决了迟播条件下茎蘖数不足的情况。增施氮肥不仅有利于分蘖的发生,还能够促进穗的生长发育,在一定程度上改善了迟播条件下茎蘖数不足和穗部发育不良的状况^[19]。但朱宇航等的研究表明,迟播条件下过多增加基本苗数量和氮肥用量,也难实现高产高效的生产目标^[20-21]。改善群体质量是调控作物产量的关键途径。花后光合同化物积累量是衡量作物群体质量的核心指标^[5]。然而,本研究发现,宁麦 13、农麦 88 取得最高产的处理组合 M3N4、M2N4 并没有取得最高的抽穗一成熟干物质积累量。吕广德等研究发现,小麦花前干物质转运量对产量的贡献率为 43.10% ~ 45.22%,花

后干物质积累量对产量的贡献率为 54.78% ~ 56.92%^[22]。可见,小麦花前贮藏的干物质对产量形成亦有重要的贡献。进一步分析发现,宁麦 13、农麦 88 取得最高产的处理组合 M3N4、M2N4 均具有较高的拔节期和抽穗期干物质积累量。以上研究指示,迟播条件下花前干物质对产量的贡献量比适播条件下可能有所提高。这可能与迟播条件下小麦灌浆期缩短且易遭受高温、渍水等非生物逆境胁迫^[18,23-24],从而引起花后干物质积累量的比重降低有关。

综上所述,迟播条件下弱筋小麦品种宁麦 13 在基本苗为 375 万株/hm²、施氮量为 270 kg/hm² 的处理组合下可形成高产群体,而农麦 88 在基本苗为 300 万株/hm²、施氮量为 315 kg/hm² 的处理下可形成高产群体。

参考文献:

- [1] 咸云宇,王维领,赵凌天,等. 缓释氮肥配施尿素对迟播小麦产量形成及氮素利用的影响[J]. 麦类作物学报,2022,42(9): 1117-1129.
- [2] 乔玉强,曹承富,杜世州,等. 氮肥运筹和播种密度对晚播小麦群体总茎数及产量的影响[J]. 华北农学报,2014,29(2):204-207.
- [3] 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):279-283.
- [4] 李鹏飞. 江苏小麦播期现状分析及对策建议[J]. 中国种业,2019(3):68-69.
- [5] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海:上海科学技术出版社,2000.
- [6] 訾 妍,丁锦峰,黄正金,等. 扬糯麦 1 号 8 000 kg/hm² 以上高产群体质量指标[J]. 作物学报,2015,41(5):797-805.
- [7] 胡文静,程顺和,程晓明,等. 栽培措施对弱筋小麦品种扬麦 20 产量、品质和氮肥农学利用率的影响[J]. 江苏农业学报,2018,34(3):487-492.
- [8] 刘慧婷,李瑞奇,王红光,等. 密度和施氮量对强筋小麦藁优 2018 产量和抗倒性的影响[J]. 麦类作物学报,2017,37(12): 1619-1626.
- [9] 谷秋荣,张营武,熊淑萍,等. 不同密度条件下强筋小麦的冠层特征与产量效应[J]. 河南农业科学,2010,39(9):42-45.
- [10] 姚金保,马鸿翔,张平平,等. 种植密度和施氮量对小麦宁麦 24 籽粒产量和品质的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(15): 41-44.
- [11] 祝 庆. 密度和氮肥互作对稻茬晚播小麦产量和品质的影响[D]. 南京:南京农业大学,2019.
- [12] 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):14-20.
- [13] 钱存鸣,杨学明,姚国才,等. 优质高产小麦新品种宁麦 13 的选育与应用[J]. 江苏农业科学,2006,34(5):36-37.
- [14] 肖 群,刘 义,贾瑞宇,等. 强筋小麦农麦 88 的选育、特征特性及栽培要点[J]. 浙江农业科学,2019,60(4):546-547.
- [15] 曹承富,孔令聪,汪建来,等. 施氮量对强筋和中筋小麦产量和品质及养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥科学报,2005,11(1):46-50.
- [16] 元 振,赵广才,常旭虹,等. 小麦产量与农艺性状的相关分析和通径分析[J]. 作物杂志,2016(3):45-50.
- [17] 季诗域,王旭东,石思博,等. 稻秆还田与化肥配施对稻茬麦田土壤肥力和小麦产量的影响[J]. 江苏农业学报,2020,36(5): 1181-1188.
- [18] 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):54-58.
- [19] 王 飞,徐梦彬,周娜娜,等. 不同氮肥运筹对晚播小麦农艺性状、产量及品质的影响[J]. 山东农业科学,2018,50(12):59-63.
- [20] 朱宇航. 迟播条件下播期和密度对江苏沿江麦区小麦产量形成与品质的影响[D]. 扬州:扬州大学,2020.
- [21] 江东国,黄正来,张文静,等. 晚播条件下施氮量对稻茬小麦氮素吸收及产量的影响[J]. 麦类作物学报,2019,39(10): 1211-1221.
- [22] 吕广德,王瑞霞,牟秋焕,等. 玉米小麦周年氮肥运筹对砂浆黑土区小麦干物质及氮素积累分配和产量的影响[J]. 麦类作物学报,2020,40(8):972-980.
- [23] 费立伟,代兴龙,张 秀,等. 花后高温胁迫下晚播对冬小麦灌浆特性和粒质量的影响[J]. 植物生理学报,2020,56(3): 479-488.
- [24] 周友根,沙安勤,蒋小忠,等. 晚播小麦中后期人工模拟渍水与补救措施试验研究[J]. 中国农技推广,2013,29(6):22-25.