

张 凡,周其军,薛 鑫,等. 种植密度对小麦干物质累积分配与抗倒性能的影响及其与产量形成的关系[J]. 江苏农业科学,2023,51(11):60-67.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.11.008

种植密度对小麦干物质累积分配与抗倒性能的影响及其与产量形成的关系

张 凡,周其军,薛 鑫,韩 勇,宋志均,牛显红,贲 超,杨春玲

(安阳市农业科学院,河南安阳 455000)

摘要:为明确不同种植密度对不同小麦品种干物质累积和抗倒性能的影响及其与产量形成的关系,于2021—2022年以安麦1241和安麦1350为研究对象,设150 kg/hm²(D1)、225 kg/hm²(D2)、300 kg/hm²(D3)、375 kg/hm²(D4)4个种植密度,研究不同种植密度对小麦群体变化、植株形态、干物质累积分配、产量构成及茎秆机械强度、抗倒指数的影响。结果表明,随种植密度的增加,小麦株高、重心高、穗下节间长大体上呈上升趋势,成穗率、SPAD值呈下降趋势,叶面积指数(LAI)先升高后降低,种植密度为300 kg/hm²时达到最大;籽粒产量、穗粒数、千粒质量、容重随种植密度的增加而降低,有效穗数随种植密度的增加而增加,粒容量随种植密度的增加先升高后降低,安麦1241在种植密度300 kg/hm²时达到最大,安麦1350在种植密度为225 kg/hm²时达到最大;随种植密度的增加,小麦营养器官和生殖器官干物质累积量、花前干物质转运量、转运效率及对籽粒贡献率均呈降低趋势;花后干物质累积量表现为先升高后降低(安麦1241)或逐渐降低趋势(安麦1350),分别在种植密度为225、150 kg/hm²时达到最大;小麦茎秆强度、抗倒指数随种植密度的增加而降低。相关性分析表明,干物质累积量与穗粒数、千粒质量呈显著或极显著正相关关系,与有效穗数呈极显著负相关关系;株高、重心高、穗下节间长与有效穗呈极显著正相关关系,与穗粒数呈显著负相关关系;茎秆强度、抗倒指数与有效穗呈极显著负相关关系,与产量为正相关关系。由此可见,在本研究中,随种植密度的增加,2个小麦品种均表现出干物质累积量降低、茎秆抗倒性能降低、产量下降的特点。因此,本试验中的2个小麦品种在该区域种植时,播种密度为150 kg/hm²较适宜。

关键词:种植密度;小麦;干物质累积分配;抗倒性能;产量

中图分类号:S512.104 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)11-0060-08

小麦为世界主要粮食作物之一,黄淮海区作为我国第一大小麦产区,其小麦生产水平对保障国家粮食安全具有重要意义^[1]。种植密度是影响小麦抗倒伏性和产量形成的重要栽培措施^[2],适当提高种植密度对小麦增产具有正向效应^[3],但密度过大时不仅不利于产量增加^[4-5],而且增加了作物倒伏率及倒伏程度^[6-8]。阚茗溪等研究认为,适度密植可提高作物重心高度,降低茎秆机械强度,并通过提高穗数增加产量^[2]。南镇武等研究发现,晚播条件下,种植密度增加会降低冬小麦穗粒数和抗倒性

能^[8]。卢杰等在雨养农业区的研究也得到了相似结果,并指出小麦分蘖力与产量等性状以及品种及试点区域有关^[7]。由此可见,不同小麦品种的适播密度不同,且与土壤状况、气候特点、播种时间等因素有关。

干物质是产量形成的基础,干物质在各器官的分配比例与产量高低密切相关,且花后干物质累积量对小麦籽粒产量的形成极为重要^[9-10],提高光合同化物的转运率及其在籽粒中的分配比例是提高小麦产量的关键^[11-12]。吕广德等研究发现,小麦花后干物质累积量对产量的贡献率为54.78%~56.92%,与产量呈正相关关系^[13]。郝瑞焯等研究认为,宽幅条播下,小麦植株各阶段干物质累积量随种植密度的增加先升高后降低,播种密度为480万株/hm²时达到最大^[14]。小麦倒伏是制约产量形成的关键因素,茎秆强度是影响植株抗倒性的关键因素^[15],苏亚蕊等研究认为,茎秆强度越大,小麦的抗倒伏能力越强,株高、重心高度越大,小麦的抗倒

收稿日期:2022-07-14

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项(编号:CARS-03);河南省重点研发与推广专项(编号:212102110293);安阳市重点研发与推广专项(编号:2022C01NY025)。

作者简介:张 凡(1991—),女,河南安阳人,硕士,助理研究员,主要从事小麦育种及品种评价工作。E-mail:aynkzyf@126.com。

通信作者:杨春玲,研究员,主要从事小麦新品种选育及栽培技术研究。E-mail:874666957@qq.com。

伏能力越弱^[16]。生产中,人们为了追求高产,种植密度不断加大,导致茎秆支撑能力变弱^[6],抗倒伏性下降。此外,不同小麦品种的抗倒伏性也不尽相同。因此,本研究探讨了黄淮麦区不同种植密度下不同小麦品种对小麦干物质累积、抗倒性能的影响及其与产量形成的关系,以期明确不同小麦品种的适宜种植密度,为寻找不同小麦品种适宜的高产栽培模式提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2021—2022 年在安阳市农业科学院安阳县柏庄镇试验基地(114°21'E、36°12'N,海拔 100 m)进行。土质为黏壤,基本理化性状:pH 值 8.07,有机质含量 24.05 g/kg,全氮含量 1.54 g/kg,铵态氮含量 4.55 mg/kg,硝态氮含量 7.11 mg/kg,速效磷含量 19.53 mg/kg,速效钾含量 175.44 mg/kg。前茬玉米秸秆掩青处理。

1.2 试验设计与田间管理

以安麦 1241 和安麦 1350 为试验材料,设置 4 个密度处理,播种量分别为 150 kg/hm² (D1)、225 kg/hm² (D2)、300 kg/hm² (D3) 和 375 kg/hm² (D4),小区面积 13.5 m² (9 m × 1.5 m)。随机区组设计,重复 3 次。

2021 年 10 月 20 日播种,精密机播,行距 20 cm,底墒充足,2022 年 6 月 9 日收获。播种前施基肥小麦专用复合肥(N、P₂O₅、K₂O 质量分数分别为 17%、20%、5%) 750 kg/hm²,返青-拔节期结合灌水施追肥尿素(N 质量分数 46%) 600 kg/hm²,灌浆期进行浇水。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 群体动态 在每小区内选取 1 m 双行的代表性样株,于苗期调查小麦基本苗数,拔节期前调查小麦最高分蘖数,成熟期调查小麦有效穗数,计算分蘖力和成穗率。分蘖力 = 最高分蘖数/基本苗;成穗率 = 有效穗数/最高分蘖数 × 100%。

1.3.2 植株形态 株高及穗下节间长:用米尺测量小麦茎秆基部到顶端(不含芒)的距离,为株高。同时测量穗下节间长度。

重心高度:将小麦完整单茎水平放置在固定支点上,使其保持平衡的点为重心,茎秆基部到重心的距离称为重心高^[2,17]。

基部第二节间粗:用游标卡尺测量植株基部第

二节间的茎粗。

旗叶长宽:用米尺测量旗叶的长和最宽处的宽度。

叶绿素含量(SPAD 值):分别于小麦拔节期、孕穗期、开花期、灌浆期,用浙江托普仪器有限公司生产的 TYS-B 型 SPAD 叶绿素测定仪测定叶绿素含量。每个小区选取 10 株样株,分别在上部、中部和下部选取叶片,测定每张叶 3 个不同位置的 SPAD 值,取平均数。

叶面积指数(LAI):分别于小麦拔节期、孕穗期、开花期、灌浆期,采用烘干称重法^[18]测定叶面积指数(LAI)。

1.3.3 茎秆机械强度及抗倒指数 于小麦乳熟期,用浙江托普仪器有限公司生产的 YYD-1 型便携式茎秆强度仪,参照肖世和等测定茎秆强度的方法^[19],测定每个小区小麦的茎秆机械强度。

茎秆抗倒指数(N/m) = 茎秆机械强度/植株重心高度^[2]。

1.3.4 干物质累积量与转运指标计算

分别于小麦拔节期、孕穗期取代表性植株 10 株。在小麦开花期,对同一天开花且长势相近的植株进行挂牌标记,然后分别于开花期、灌浆期、成熟期取花期一致的代表性植株 10 株。每次取样时将根挖出,清洗掉泥土,按根、茎、叶、穗分样,于 105 °C 烘箱中杀青 30 min,然后调至 80 °C 烘干至恒质量,称质量,计算干物质累积量。

参照王月福等的方法^[20-21]计算花前干物质转运量、花前干物质转运效率、花前干物质对籽粒贡献率、花后干物质同化量和花后干物质对籽粒贡献率等指标。

1.4 数据处理与分析

用 Excel 2019 和 SPSS 17.0 软件进行数据统计分析,用 Origin 2015 作图,用 LSD 法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 种植密度对小麦产量形成的影响

2.1.1 不同种植密度条件下不同小麦品种群体动态 由表 1 可知,不同种植密度条件下不同小麦品种群体数量在全生育期内呈先升高后降低趋势,最高分蘖数和有效穗数均随种植密度的增加而增加。不同密度处理间有效穗数差异不显著,分蘖力随种植密度的增加先升高后降低,在 D2 处理时达到最

大值,2 个品种表现一致。安麦 1241 在 D2 处理时分蘖力较 D4 处理提高 73.3%,安麦 1350 在 D2 处理时分蘖力较 D4 处理提高 40.6%,D1、D2 处理分蘖力与 D3、D4 处理差异显著。安麦 1241 和安麦 1350 的成穗率随种植密度的增加而降低,D4 处理较 D1 处理分别降低 11.3%、22.3%,处理间差异不显著。

表 1 不同密度处理小麦群体变化

品种	处理	基本苗 (万株/hm ²)	最高分蘖数 (万个/hm ²)	有效穗数 (万个/hm ²)	分蘖力	成穗率 (%)
安麦 1241	D1	356.8	1 790.9a	690.3a	4.9a	40.8a
	D2	371.9	1 921.0a	717.1a	5.2a	39.2a
	D3	593.6	1 970.9a	745.4a	3.3b	37.9a
	D4	713.7	2 114.3a	760.4a	3.0b	36.2a
安麦 1350	D1	393.5	1 674.2b	740.4a	4.4a	44.3a
	D2	515.3	2 094.5ab	770.4a	4.5a	38.5a
	D3	653.7	2 137.8ab	787.0a	3.3b	37.4a
	D4	757.0	2 364.2a	813.7a	3.2b	34.4a

注:同一品种同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。表 2 至表 7 同。

2.1.2 不同种植密度条件下不同小麦品种植株形态 由图 1 可知,不同种植密度条件下,小麦株高随种植密度的增加呈上升趋势,安麦 1241 在各生育时期处理间株高差异不显著;安麦 1350 在孕穗期、开花期 D4 处理显著高于 D1 处理,分别增加了 4.1%、5.4%,D2、D3 与 D1 处理间差异不显著。随生育进程的推进,SPAD 值大体呈上升趋势,但随种植密度的增加而下降,至灌浆期时,安麦 1241 D4 处理 SPAD 值较 D1、D2、D3 分别降低 6.5%、5.7%、3.0%,D4 与 D1、D2 处理间差异显著,D4 与 D3 处理间差异不显著;安麦 1350 灌浆期时各处理 SPAD 值分别为 55.2、55.1、54.1、53.8,处理间差异不显著。随种植密度增大,叶面积指数(LAI)表现为先增加后降低的变化趋势,D3 处理时达到最大值,2 个品种表现一致。在灌浆期时,安麦 1241 的 D3 处理叶面积指数较 D1、D2、D4 处理分别增大 88.7%、63.9%、26.6%,D3 处理与 D1、D2 处理间差异均显

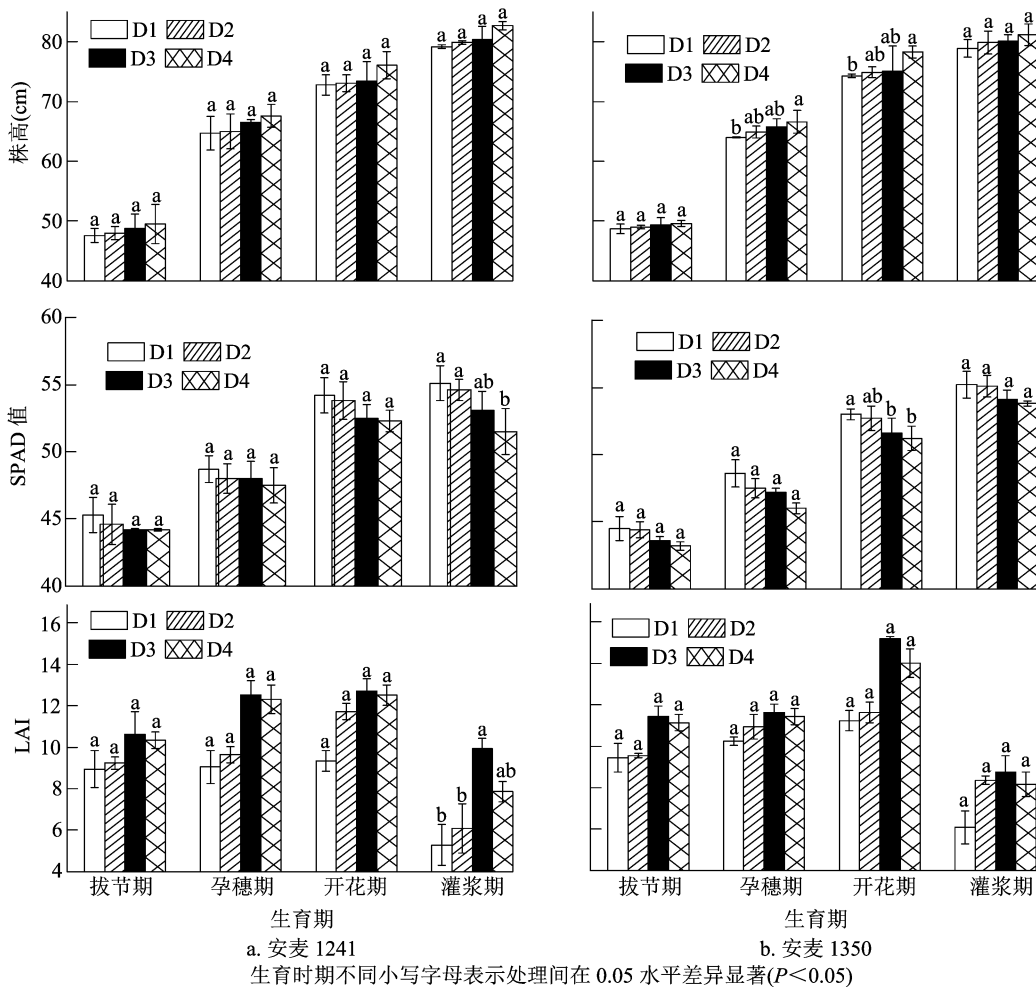


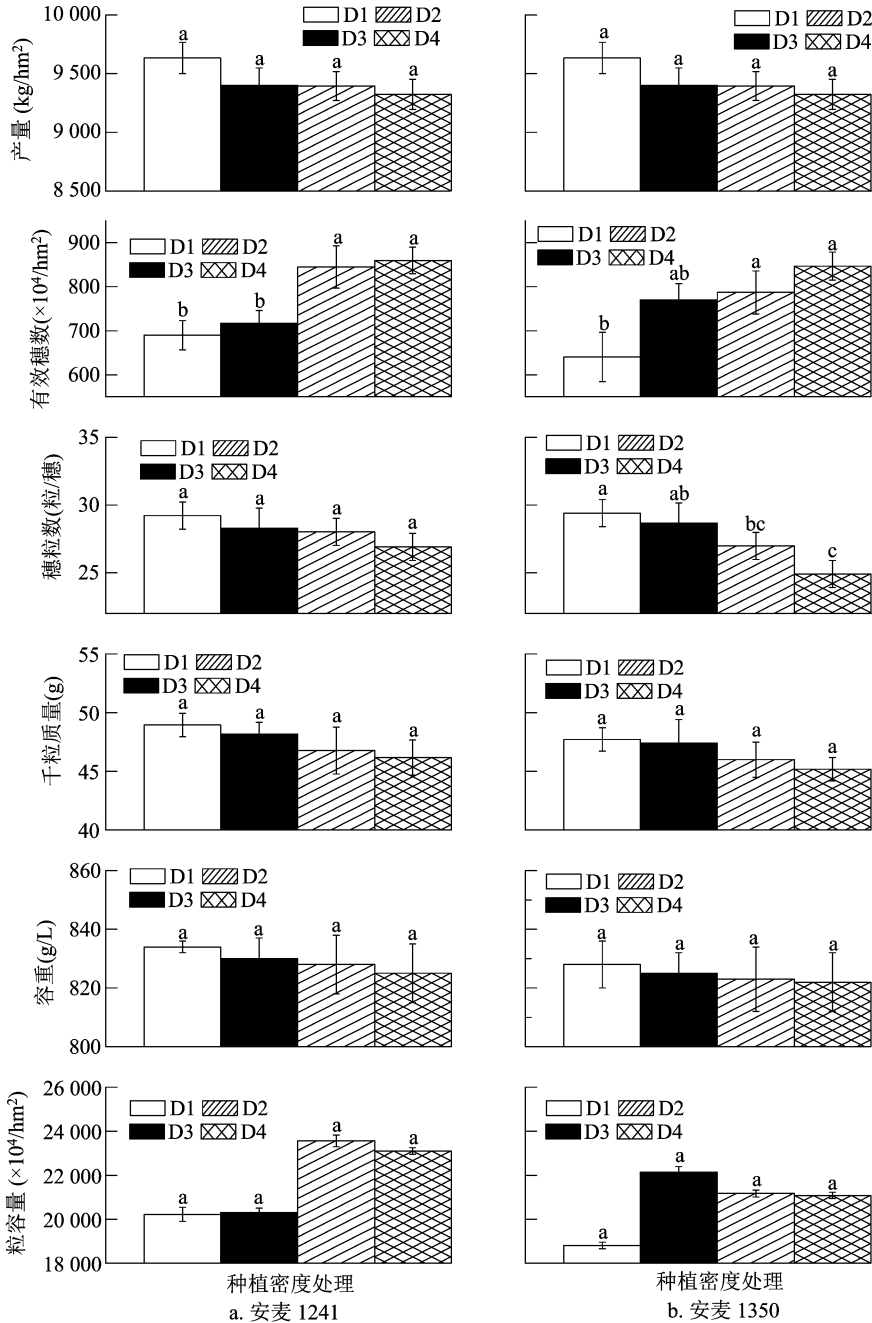
图 1 不同种植密度下小麦植株形态变化

著;安麦 1350 的 D3 处理叶面积指数较 D1、D2、D4 分别增大 44.3%、4.8%、7.3%,差异不显著。由表 2 可知,随种植密度的增加,孕穗期倒二叶长宽和开花期旗叶长宽增加,但处理间差异均不显著。

2.1.3 不同种植密度条件下不同小麦品种产量与产量构成及其相关因子 由图 2 可知,不同种植密度下安麦 1241 和安麦 1350 的产量随密度增加而降低,D1 处理产量最高,分别为 9 633.33、9 996.30 kg/hm²,D4 处理较 D1 处理分别降低了 3.2%、2.7%,但差异不显著。小麦有效穗数随种植

表 2 不同密度处理小麦叶片长宽变化 cm

品种	处理	孕穗期		开花期	
		倒二叶长	倒二叶宽	旗叶长	旗叶宽
安麦 1241	D1	25.5a	1.4a	19.6a	1.7a
	D2	25.7a	1.4a	20.2a	1.7a
	D3	26.2a	1.5a	20.8a	1.8a
	D4	26.2a	1.5a	21.7a	1.8a
安麦 1350	D1	24.7a	1.4a	19.3a	1.7a
	D2	25.6a	1.5a	19.4a	1.7a
	D3	26.6a	1.5a	20.0a	1.7a
	D4	26.6a	1.6a	20.1a	1.7a



不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著(P<0.05)

图2 不同种植密度下产量与产量构成及其相关因子

密度的增加而增加,穗粒数和千粒质量随种植密度的增加而降低。安麦 1241 的 D3 处理与 D4 处理有效穗数差异不显著,但较 D1、D2 显著增加,安麦 1350 的 D3、D4 处理与 D2 处理差异不显著,但较 D1 处理显著增加。安麦 1241 处理间穗粒数差异不显著;安麦 1350 的穗粒数表现为 D1 处理显著大于 D3、D4 处理,与 D2 处理差异不显著,D2 处理显著大于 D4 处理,与 D3 处理差异不显著,D3、D4 处理较 D1 处理分别降低了 8.2%、15.2%。安麦 1241 和安麦 1350 处理间千粒质量差异均不显著,但 D4 处理较 D1 处理分别降低了 5.7%、5.3%。容重随种植密度的增加呈降低趋势,粒容量表现为随种植密度的增加先升高后降低,安麦 1241 在 D3 处理达到最大,D1 处理最小,D3 处理较 D1 处理增加 16.5%;安麦 1350 在 D2 处理达到最大,D1 处理最小,D2 处理较 D1 处理增加 17.7%。

2.2 种植密度对小麦干物质累积分配的影响

2.2.1 不同种植密度条件下不同小麦品种干物质

累积量 由表 3 可以看出,随生育进程推进,小麦营养器官干物质累积量为先升高后降低的趋势,安麦 1241 的 D1 处理在开花期达到最大值,D2、D3、D4 处理在灌浆期达到最大值;安麦 1350 不同密度处理下均在开花期达到最大值。由此可见,在一定程度上,种植密度的增加推迟了营养器官干物质累积峰值的到来。不同品种间生殖器官干物质累积量随生育进程推进逐渐增加,根冠比呈降低趋势。随种植密度的增加,小麦不同生育时期单株营养器官与生殖器官的干物质累积量均呈降低趋势,安麦 1241 在拔节期和孕穗期 D1 干物质累积量较 D4 处理分别增加 80.4%、70.5%,达显著性差异,D2 处理与 D3 处理之间差异不显著;安麦 1350 除了表现出上述特征外,在灌浆期也呈现出差异,表现为 D1 处理干物质累积量显著大于 D3、D4 处理,与 D2 处理差异不显著,D3 处理与 D4 处理间差异不显著。拔节期、开花期、灌浆期和成熟期的根冠比随种植密度的增加呈降低趋势,孕穗期趋势相反。

表 3 不同种植密度下小麦单株营养器官与生殖器官干物质累积量及根冠比

品种	处理	拔节期		孕穗期		开花期			灌浆期			成熟期		
		营养器官干物质累积量 (g/株)	根冠比	营养器官干物质累积量 (g/株)	根冠比	营养器官干物质累积量 (g/株)	生殖器官干物质累积量 (g/株)	根冠比	营养器官干物质累积量 (g/株)	生殖器官干物质累积量 (g/株)	根冠比	营养器官干物质累积量 (g/株)	生殖器官干物质累积量 (g/株)	根冠比
安麦 1241	D1	2.85a	0.186a	3.70a	0.097b	6.02a	1.08a	0.097a	5.14a	2.07a	0.049a	3.77a	3.55a	0.042a
	D2	2.02b	0.177a	2.80ab	0.125a	3.93a	0.68a	0.095a	4.36a	2.04a	0.046a	3.54a	3.29a	0.037ab
	D3	1.58b	0.155ab	2.68ab	0.128a	3.11a	0.52a	0.087a	4.11a	1.72a	0.039a	2.98a	3.02a	0.035ab
	D4	1.58b	0.120b	2.17b	0.130a	2.92a	0.49a	0.084a	3.35a	1.57a	0.034a	2.85a	2.79a	0.032b
安麦 1350	D1	2.59a	0.167a	3.34a	0.110a	5.66a	0.97a	0.106a	4.41a	1.95a	0.042a	3.36a	3.35a	0.041a
	D2	2.55a	0.162a	2.64ab	0.118a	3.88a	0.62a	0.096a	3.86ab	1.90a	0.037ab	3.24a	3.18a	0.034b
	D3	1.59b	0.160a	2.35ab	0.136a	3.58a	0.47a	0.091a	3.44bc	1.30b	0.036ab	3.13a	2.93a	0.033bc
	D4	1.59b	0.126a	1.90b	0.143a	3.15a	0.47a	0.089a	2.78c	1.04b	0.033b	3.04a	2.66a	0.029c

2.2.2 不同种植密度条件下不同小麦品种干物质

转运量 由表 4 可知,花前干物质转运量、转运效率及对籽粒贡献率整体均随种植密度的增加而降低,安麦 1241 的 D1 处理转运量较 D4 处理增加 14.8%,转运效率增加了 15.90 个百分点,且差异显著;安麦 1350 的 D1 处理转运量较 D4 处理增加 5.2%,转运效率增加了 10.76 个百分点。安麦 1241 花后干物质积累量随种植密度的增加呈先升高后降低趋势,D2 处理时达到最大值,安麦 1350 花后干物质积累量逐渐降低;安麦 1241 的花后干物质对籽粒贡献率在 D3 处理时最大,安麦 1350 在 D4 处理时最大,但处理间差异不显著。由此可见,种植密

表 4 种植密度对小麦干物质累积与转运的影响

品种	处理	花前干物质			花后干物质	
		转运量 (kg/hm ²)	转运效率 (%)	对籽粒贡献率 (%)	积累量 (kg/hm ²)	对籽粒贡献率 (%)
安麦 1241	D1	2 773.51a	25.96a	28.79a	6 859.83a	71.21a
	D2	2 703.74a	19.67ab	27.34a	7 183.87a	72.66a
	D3	2 667.30a	13.08ab	27.33a	7 093.64a	72.67a
	D4	2 416.45a	10.06b	27.71a	6 304.27a	72.29a
安麦 1350	D1	2 359.71a	22.58a	23.61a	7 636.59a	76.39a
	D2	2 322.65a	16.77a	23.49a	7 565.01a	76.51a
	D3	2 262.10a	12.62a	23.22a	7 481.11a	76.78a
	D4	2 242.93a	11.82a	23.07a	7 479.29a	76.93a

度影响干物质转运量及转运效率,进而影响籽粒产量的形成。

2.2.3 不同种植密度条件下不同小麦品种成熟期干物质分配 由表 5 可知,随种植密度增加,成熟期小麦根、茎鞘、穗的干物质分配量整体呈降低趋势,安麦 1241 以茎鞘和穗部的降低比例最大,D4 处理较 D1 处理分别降低了 26.5%、22.7%,达显著性差

异。安麦 1350 以根部和叶片降低比例最大,D4 处理较 D1 处理分别降低了 36.4%、17.5%。从干物质分配比例来看,安麦 1241 在 D3 处理时,穗部干物质分配比例最大;安麦 1350 在 D4 处理时穗部干物质分配比例最大,这可能是因为种植密度增加,造成了小麦生育后期营养器官的早衰,从而提高了穗部的干物质分配比例。

表 5 不同种植密度对成熟期小麦干物质分配的影响

品种	处理	根		茎鞘		叶		穗	
		分配量(g/株)	比例(%)	分配量(g/株)	比例(%)	分配量(g/株)	比例(%)	分配量(g/株)	比例(%)
安麦 1241	D1	0.29a	3.98a	3.02a	41.20a	0.39a	5.38a	3.61a	49.35a
	D2	0.27a	3.92a	2.93a	42.91a	0.37a	5.44a	3.26ab	47.75a
	D3	0.25a	4.10a	2.33b	38.85a	0.32a	5.36a	3.09bc	51.54a
	D4	0.26a	4.65a	2.22b	39.31a	0.37a	6.51a	2.79c	49.53a
安麦 1350	D1	0.33a	4.98a	2.94a	43.72a	0.40a	5.92a	3.05a	45.37a
	D2	0.32a	4.94a	2.82a	43.99a	0.39a	6.15a	2.89a	44.97a
	D3	0.22a	3.63a	2.66a	43.93a	0.35a	5.82a	2.83a	46.64a
	D4	0.21a	3.74a	2.45a	43.03a	0.33a	5.74a	2.71a	47.56a

2.3 种植密度对小麦抗倒性能的影响

2.3.1 不同种植密度条件下不同小麦品种重心高、穗下节间长、基部第二节间粗 由表 6 可知,小麦重心高随种植密度的增加而升高,安麦 1241 的 D4 处理较 D3、D2、D1 处理分别提高 4.38%、6.59%、9.69%,且差异显著,D3 处理较 D2、D1 处理分别提高 2.12%、5.08%,与 D2 处理差异不显著,与 D1 处理差异显著,D1 处理与 D2 处理间差异不显著;安麦 1350 的重心高 D4 处理较 D3、D2、D1 处理分别提高 4.7%、8.3%、9.1%,与 D1、D2 处理间差异显著,与 D3 处理间差异不显著。随种植密度的增加,安麦 1241 和安麦 1350 的穗下节间长均逐渐增加,D4 处理较 D1 处理分别增加 4.10%、7.48%,安麦 1241 不同密度处理间差异不显著,安麦 1350 的 D4 处理显著大于 D1 处理。随种植密度的增加,基部第二节间粗表现为降低趋势,不同处理间差异不显著,品种间表现一致。

2.3.2 不同种植密度条件下不同小麦品种茎秆特性及抗倒伏性 由表 7 可知,随种植密度的增加,小麦茎秆强度和抗倒指数均呈降低趋势。安麦 1241 的 D4 处理茎秆强度和抗倒指数较 D1 处理分别降低 41.7%、49.2%,D3 处理茎秆强度和抗倒指数较 D1 处理分别降低 33.3%、39.0%,均达到显著性差异,D2、D3、D4 处理间差异性不显著;安麦 1350 表现与之相同。方差分析表明,品种单因素对茎秆强度和抗倒指数的影响不显著,种植密度对茎秆强度

表 6 种植密度对小麦重心高、穗下节间长、基部第二节间粗的影响

品种	密度	重心高(cm)	穗下节间长(cm)	基部第二节间粗(mm)
安麦 1241	D1	41.3c	24.4a	4.6a
	D2	42.5bc	24.9a	4.6a
	D3	43.4b	25.2a	4.3a
	D4	45.3a	25.4a	3.8a
安麦 1350	D1	40.7b	25.4b	4.7a
	D2	41.0b	25.8ab	4.2a
	D3	42.4ab	26.1ab	4.2a
	D4	44.4a	27.3a	4.0a

表 7 种植密度对小麦茎秆特性和抗倒伏性的影响

品种	密度	茎秆强度(N)	抗倒指数(N/m)
安麦 1241	D1	2.4a	5.9a
	D2	1.9ab	4.4ab
	D3	1.6b	3.6b
	D4	1.4b	3.0b
安麦 1350	D1	2.5a	6.0a
	D2	2.0b	4.8b
	D3	1.9b	4.4b
	D4	1.7b	3.9b
F 值	品种	3.15	4.40
	密度	12.56**	16.70**
	品种×密度	0.55	0.43

注:**表示在 0.01 水平下差异极显著。

与抗倒指数的影响均达到极显著水平,品种与密度互作对茎秆强度和抗倒指数的影响均不显著。

2.4 不同种植密度条件下小麦干物质累积量、茎秆抗倒性能与产量形成的关系

相关性分析(表 8)表明,小麦干物质累积量与穗粒数呈显著正相关关系,与千粒重、容重呈极显著正相关关系,与有效穗数呈极显著负相关关系;株高、重心高、穗下节间长均与有效穗数呈极显著正相关关系,与穗粒数呈显著负相关关系;基部第二节间粗与有效穗数呈极显著负相关关系,与粒容

量呈显著负相关关系,与穗粒数、千粒质量、容重呈显著正相关关系;茎秆强度、抗倒指数均与有效穗数呈极显著负相关关系,与粒容量分别呈极显著、显著负相关关系。干物质累积量、穗下节间长、基部第二节间粗、茎秆强度、抗倒指数均与产量呈正相关关系,株高、重心高均与产量呈负相关关系,但均未达到显著性水平。

表 8 小麦干物质累积量、茎秆抗倒性能与产量的相关性

项目	相关系数					
	产量	有效穗数	穗粒数	千粒质量	容重	粒容量
干物质累积量	0.255	-0.884 **	0.803 *	0.947 **	0.852 **	-0.656
株高	-0.593	0.851 **	-0.713 *	-0.688	-0.540	0.686
重心高	-0.691	0.848 **	-0.792 *	-0.704	-0.458	0.613
穗下节间长	0.336	0.505 **	-0.819 *	-0.859 **	-0.897 **	0.098
基部第二节间粗	0.308	-0.901 **	0.767 *	0.813 *	0.745 *	-0.721 *
茎秆强度	0.695	-0.938 **	0.693	0.692	0.540	-0.835 **
抗倒指数	0.696	-0.925 **	0.692	0.701	0.548	-0.815 *

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。

3 讨论与结论

3.1 小麦种植密度与产量形成

有效穗数、穗粒数和千粒质量是构成小麦产量的三因素,它们之间既紧密相联又互相约束,只有协调好三者之间的关系,小麦才能获得高产^[22-23]。在实际生产中小麦产量不仅与品种有关,也受到栽培措施的影响。以往的研究表明,有效穗数随种植密度的增加而增加,穗粒数和千粒质量随种植密度的增加而降低^[24-26],这与本研究得出的结果一致。南镇武等研究认为,随种植密度的增加,小麦产量先升高后降低^[8],而本研究中,小麦籽粒产量随种植密度的增加而逐渐降低。究其原因,前者的研究中设置的种植密度为 225 万株基本苗/hm²,小于本研究中由播量不同而形成的基本苗数,此外,也可能与品种自身特性有关。

3.2 小麦种植密度与干物质累积

干物质是产量形成的物质来源^[27],小麦产量的形成主要来自于植株开花后光合作用所形成的同化物,以及开花前营养器官积累干物质的再分配^[28-29]。在本研究中,随种植密度的增加,小麦不同生育时期营养器官和生殖器官的干物质累积量均呈降低趋势,这与王长年等在高肥力条件下研究认为的随种植密度的增大,小麦干物质累积量先增加后降低不同^[30]。究其原因,后者的研究中,种

植密度为 60 万~360 万株基本苗/hm²,低于本研究中 350 万~715 万株/hm² 和 390 万~760 万株/hm² 的基本苗数,因此形成的群体结构和作物空间布局不同,较高的种植密度会影响群体的通风透光性和叶片的光合性能,这一点在本研究中得出的叶片 SPAD 值随密度的增加而降低一结论中也得到印证。在本研究中,花前干物质转运量及转运效率随种植密度的增加而降低,这与孙加威等的研究结果^[31]较一致。

3.3 小麦种植密度与抗倒性能及产量形成

小麦倒伏是生产上影响产量形成的重要因子,株高、重心高、节间韧性是影响抗倒性能的关键指标,株高、重心高越低,茎秆越充实,植株的抗倒能力越强^[32-34]。本研究中,随种植密度的增加,小麦株高、重心高、穗下节间长大体上均呈上升趋势,基部第二节间粗度大体呈下降趋势,茎秆强度和抗倒指数均降低。这与周洁等的研究结果^[35]一致。相关性分析表明,株高、重心高、穗下节间长与有效穗数呈极显著正相关关系,与穗粒数呈显著负相关关系;茎秆强度、抗倒指数与有效穗数呈极显著负相关关系,与产量呈正相关关系。这与王成雨等的研究结果^[36]较一致。由此可见,在本研究中,针对安麦 1241 和安麦 1350 这 2 个品种,种植密度不宜过大,以 150 kg/hm² 的播量较为适宜。在生产中种植时应通过构建合理群体,提高分蘖力和成穗率,通过

提高干物质累积量、转运率和抗倒性能实现高产稳产。

参考文献:

- [1]郭瑞,李正玲,张煜,等. 30a来河南省不同类型小麦品种产量和农艺性状演变规律[J]. 河南农业科学,2018,47(4):15-20.
- [2]阎茗溪,铃太峰,郭风法,等. 适期晚播对不同密度冬小麦产量和茎秆抗倒性能的调控效应[J]. 中国农学通报,2019,35(32):1-6.
- [3]梁翠丽,田向东,海江波,等. 播种密度与播种方式对小麦不同穗位结实特性及产量的影响[J]. 西北农业学报,2021,30(6):796-806.
- [4]刘萍,郭文善,徐月明,等. 种植密度对中、弱筋小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报,2006,26(5):117-121.
- [5]孔令英,赵俊晔,于振文,等. 宽幅播种条件下种植密度对小麦群体结构和光能利用率的影响[J]. 麦类作物学报,2020,40(7):850-856.
- [6]邵庆勤,周琴,王笑,等. 种植密度对不同小麦品种茎秆形态特征、化学成分及抗倒性能的影响[J]. 南京农业大学学报,2018,41(5):808-816.
- [7]卢杰,董连生,常成,等. 种植密度对不同小麦品种产量构成及抗倒伏性的影响[J]. 麦类作物学报,2021,41(1):81-87.
- [8]南镇武,刘灵艳,高英波,等. 不同密度对适期晚播冬小麦产量形成与茎秆抗倒性能的影响[J]. 山东农业科学,2022,54(3):28-34.
- [9]张珊,邵宇航,石祖梁,等. 施镁对花后高温胁迫下小麦干物质积累转运和籽粒灌浆的影响[J]. 麦类作物学报,2017,37(7):963-969.
- [10]孙允超,彭科研,冯盛焯,等. 宽幅精播中行距与幅宽对小麦干物质积累与分配的影响[J]. 作物杂志,2022(5):130-134.
- [11]李哲,姜洋益,代梦雪,等. 外源海藻糖对高温胁迫小麦干物质积累和籽粒灌浆的影响[J]. 麦类作物学报,2022,42(5):614-622.
- [12]马瑞琦,王德梅,陶志强,等. 不同筋型小麦干物质和氮素积累对追施氮量的响应[J]. 植物营养与肥料学报,2022,28(4):622-631.
- [13]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.
- [14]郝瑞焯,孙敏,任爱霞,等. 宽幅条播冬小麦水分利用与干物质积累、品质的关系及播种密度的调控研究[J]. 作物杂志,2022(2):119-126.
- [15]Berry P M, Berry S T. Understanding the genetic control of lodging-associated plant characters in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Euphytica,2015,205(3):671-689.
- [16]苏亚蕊,孙少光,刘浩婷,等. 不同小麦品种(系)抗倒伏性状多样性分析[J]. 麦类作物学报,2021,41(10):1238-1246.
- [17]魏凤珍,李金才,王成雨,等. 氮肥运筹模式对小麦茎秆抗倒性能的影响[J]. 作物学报,2008,34(6):1080-1085.
- [18]薛志伟,杨春玲. 秸秆还田条件下氮肥用量对冬小麦生长发育及产量的影响[J]. 作物研究,2021,35(3):200-204.
- [19]肖世和,张秀英,闫长生,等. 小麦茎秆强度的鉴定方法研究[J]. 中国农业科学,2002,35(1):7-11.
- [20]王月福,于振文,李尚霞,等. 氮素营养水平对小麦开花后碳素同化、运转和产量的影响[J]. 麦类作物学报,2002,22(2):55-59.
- [21]张金汕,贾永红,李鹏,等. 立体匀播和密度对冬小麦光合、干物质积累分配及产量的影响[J]. 麦类作物学报,2021,41(4):438-447.
- [22]淮贺举,陆洲,秦向阳,等. 种植密度对小麦产量和群体质量影响的研究进展[J]. 中国农学通报,2013,29(9):1-4.
- [23]李豪圣,宋健民,刘爱峰,等. 播期和种植密度对超高产小麦‘济麦22’产量及其构成因素的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(5):243-248.
- [24]张永强,陈传信,方辉,等. 弱光下种植密度对冬小麦冠层温湿度及籽粒灌浆的影响[J]. 中国农业气象,2019,40(5):301-307.
- [25]刘芳亮,任益锋,王卫东,等. 播期和密度对冬小麦普冰151籽粒灌浆特性及产量的影响[J]. 山东农业科学,2017,49(6):41-47.
- [26]王潭刚,孙婷,王冀川,等. 播期和密度对滴灌冬小麦群体结构与抗倒特性的影响[J]. 浙江农业学报,2021,33(2):193-202.
- [27]叶优良,王玲敏,黄玉芳,等. 施氮对小麦干物质累积和转运的影响[J]. 麦类作物学报,2012,32(3):488-493.
- [28]王林林,陈炜,徐莹,等. 氮素营养对小麦干物质积累与转运的影响[J]. 西北农业学报,2013,22(10):85-89.
- [29]吕广德,殷夏伟,王超,等. 不同播种量对小麦泰科麦33干物质积累转运、旗叶光合特性及产量构成的影响[J]. 江苏农业学报,2021,37(1):16-28.
- [30]王长年,吴朵业,夏新宇,等. 高肥条件下密度对济南17号小麦群体质量和产量的影响[J]. 江苏农业科学,2002,30(1):18-19.
- [31]孙加威,李浩,阎洪,等. 耕作方式和播种量对稻茬小麦产量及形态建成的影响[J]. 四川农业大学学报,2022,40(1):28-35.
- [32]崔正勇,李鹏,高国强,等. 不同小麦品种茎秆抗倒特性及产量差异研究[J]. 山东农业科学,2019,51(5):34-37.
- [33]闵东红,王辉,孟超敏,等. 不同株高小麦品种抗倒伏性与其亚性状及产量相关性研究[J]. 麦类作物学报,2001,21(4):76-79.
- [34]赵玉花. 播期对山东冬小麦产量和抗倒性能的影响[J]. 农业工程技术,2018,38(5):19-20.
- [35]周洁,王旭,朱玉磊,等. 氮肥运筹模式对小麦茎秆抗倒性能与产量的影响[J]. 麦类作物学报,2019,39(8):979-987.
- [36]王成雨,代兴龙,石玉华,等. 氮肥水平和种植密度对冬小麦茎秆抗倒性能的影响[J]. 作物学报,2012,38(1):121-128.