

吕静波, 崔凤娟, 王 磊, 等. 不同施氮量对春小麦光合特性及干物质转运的影响[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(8): 58-63.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.08.008

不同施氮量对春小麦光合特性及干物质转运的影响

吕静波¹, 崔凤娟¹, 王 磊², 崔天宇¹, 郭方亮¹, 呼瑞梅¹, 王振国¹, 李 岩¹,
李 默¹, 邓志兰¹, 徐庆全¹, 谢美娟¹, 王海泽¹

(1. 通辽市农牧业科学院, 内蒙古通辽 028015; 2. 通辽市农牧业发展中心, 内蒙古通辽 028000)

摘要: 研究不同施氮量对春小麦光合特性及干物质转运的影响, 为西辽河平原春小麦高产高效栽培提供参考。以哲麦 90、蒙蜀麦 1 号这 2 个春小麦品种为试验材料, 设 4 个施氮量, 依次为 0 kg/hm² (N0)、120 kg/hm² (N1)、150 kg/hm² (N2)、180 kg/hm² (N3), 分析不同施氮量对小麦叶片光合特性的影响, 并研究不同施氮量条件下小麦茎叶干物质转运量、转运效率及其对产量的贡献率, 探索叶片光合特性与茎叶干物质转运量、转运效率及籽粒产量的相关性。结果表明, 随着施氮量的增加, 小麦 SPAD 值、净光合速率、气孔导度、茎叶干物质转运量、转运效率、贡献率、产量等均呈先升后降的变化趋势, 表现为 N1 > N2 > N3 > N0。相关分析表明, 小麦花后各时期的叶片 SPAD 值与籽粒产量均呈显著或极显著正相关; 净光合速率、气孔导度与茎叶干物质转运量、茎转运效率、茎叶贡献率、产量均呈极显著正相关。本试验条件下, 小麦叶片光合特性、茎叶干物质转运量、转运效率、贡献率、产量达到最大值的最佳施氮量为 120 kg/hm²。

关键词: 施氮量; 春小麦; 光合特性; 干物质; 产量; 相关性

中图分类号: S512.1⁺20.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2025)08-0058-06

西辽河平原是我国北方春小麦主要种植区域之一。近年来, 由于栽培措施的改良, 小麦产量得到显著提高, 其中氮肥调控是小麦增产增收的重要栽培措施^[1]。合理施用氮肥可以增加作物产量和资源利用率, 而过量施用氮肥会造成减产, 导致一系列生态环境问题^[2]。施氮量对小麦光合特性和干物质转运的影响一直是小麦产量形成研究的热点问题, 合理施氮对构建小麦群体结构、促进光合作用和干物质积累转运至关重要。王文政等的研究表明, 小麦叶片叶绿素含量和光合参数均随着施氮水平的提高呈单峰曲线的变化趋势^[3]。适宜的施氮量可以延缓冬小麦叶片早衰, 促进营养器官同化物向籽粒转运, 而过量施用氮肥会引起植株营养生长过旺, 造成产量下降^[4]。何雨桔等的研究表

明, 合理的氮肥水平能够有效改善小麦群体冠层结构, 增强光能截获量, 延长籽粒灌浆时间, 从而提高产量^[5]。张金汕等的研究表明, 在一定施氮量范围内, 施氮量的增加提高了小麦茎鞘、叶片干物质的积累及营养器官干物质转运量和转运率^[6]。任开明等的研究表明, 在 0~300 kg/hm² 范围内, 随着施氮量的增加, 小麦生长特性指标得到优化, 有效穗数、穗粒数和干物质积累与转运均得到提高^[7]。张运红等的研究表明, 在 0~240 kg/hm² 范围内, 随施氮量的增加, 小麦叶片 SPAD 值、干物质积累量及产量相关指标总体呈升高的变化趋势^[8]。小麦产量的形成主要来源于花前营养器官贮藏的同化物及花后光合产物的转运^[9]。迄今为止, 不同施氮量条件下, 小麦光合特性、干物质转运对产量的贡献仍缺乏深入研究。本研究比较不同施氮量条件下春小麦的光合特性、干物质转运及其对产量贡献的差异, 分析光合特性和干物质转运、产量的相关性, 旨在为西辽河平原春小麦优质高产高效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2023 年在通辽市农牧科学研究所试验

收稿日期: 2024-04-15

基金项目: 种业振兴及新品研发项目(编号: 150500243293110000013); 科尔沁沙地生态农业国家民委重点实验室开放基金(编号: MDK2022027)。

作者简介: 吕静波(1992—), 女, 内蒙古赤峰人, 硕士, 助理研究员, 主要从事小麦育种、栽培及新品种示范推广工作。E-mail: 1336541793@qq.com。

通信作者: 王海泽, 硕士, 研究实习员, 主要从事小麦育种、栽培及新品种示范推广工作。E-mail: 2899364208@qq.com。

田(122°37'E,43°43'N)进行,当地属温带大陆性气候,平均海拔 203 m,年平均降水量 370.7 mm,年平均气温 7.29 °C。试验田土壤类型为壤土,含有机质 14.85 g/kg、氮 0.81 g/kg、碱解氮 33.87 mg/kg、有效磷 11.28 mg/kg、速效钾 229.00 mg/kg,pH 值为 8.28。

1.2 试验设计

本试验采取两因素裂区设计,主区为施氮量,设 4 个氮肥水平,依次记为 0 kg/hm² (N0)、120 kg/hm² (N1)、150 kg/hm² (N2)、180 kg/hm² (N3);副区为品种,分别为哲麦 90、蒙蜀麦 1 号;重复 3 次,试验地四周设保护行 4 行以上。氮肥在小麦播种期、拔节期、孕穗期分 3 次施入,施肥比例为 4:3:3。小区面积 20 m²,每小区种植 8 行,行长 10 m,行距 0.25 m。试验采用人工条播,浅埋滴灌方式灌溉,其他与大田管理相同。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 小麦旗叶 SPAD 值 各小区选取开花相近、长势一致的 5 株小麦挂牌标记,分别在花后 0、7、14、21、28 d,于晴天 09:00—11:00 采用 SPAD-502 Plus 叶绿素仪测定旗叶 SPAD 值。

1.3.2 小麦光合特性 各小区选取开花相近、长势一致的 5 株小麦挂牌标记,在开花期、灌浆期,于晴天 09:00—11:00 使用 FS-3080H 植物光合作用测定仪,测定旗叶的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)等。

1.3.3 干物质测定 各处理选取开花相近、长势一致的 5 株小麦挂牌标记,在开花期、成熟期分别取标记植株 20 株,分为叶片、茎秆、籽粒等不同部位,做好标记后装进牛皮纸袋,烘干至恒重并称重。

1.3.4 农艺性状调查和测产 在小麦三叶期前,每个小区内随机选取 2~3 个出苗均匀、长 1 m 的样

段,数其苗数折算单位成万亩/667 m²;成熟期后,在原样点调查有效穗数,随机选取 10 株长势一致的小麦进行室内考种,调查穗粒数、千粒重等,各小区实收测产,并折合成每 1 hm² 产量。

1.3.5 计算方法 器官花前干物质转运量 = 开花期器官干物质积累量 - 收获期相应器官干物质积累量;

花前干物质转运效率 = 器官花前干物质转运量/开花期器官干物质积累量 × 100%;

花前干物质转运量对籽粒产量的贡献率 = 干物质转运量/产量 × 100%。

1.4 数据处理

采用 Excel 2021 软件进行数据整理,DPS 20 进行通径分析并计算通径系数。

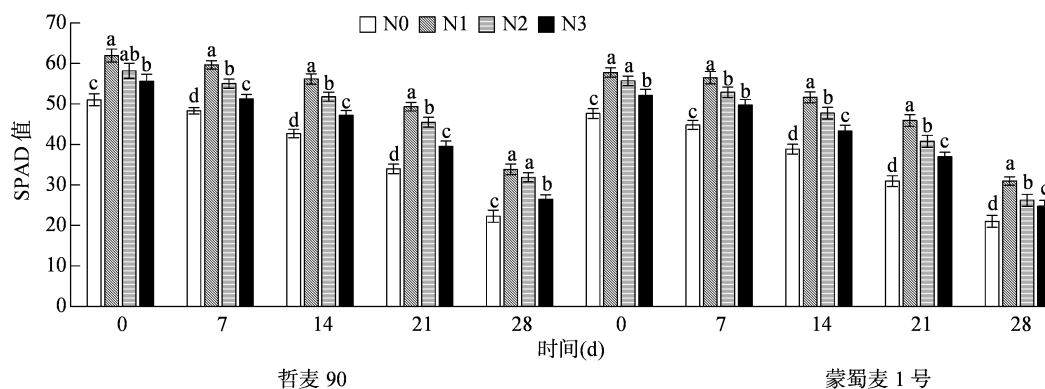
2 结果与分析

2.1 不同施氮量对旗叶 SPAD 值的影响

由图 1 可知,随着生长发育进程的推进,哲麦 90、蒙蜀麦 1 号的旗叶 SPAD 值均呈逐渐下降的变化趋势;随着施氮量的增加,SPAD 值均呈先升后降的变化趋势,具体表现为 N1 > N2 > N3 > N0。与对照(N0)相比,增施氮肥显著提高了旗叶 SPAD 值,SPAD 值在施氮量为 120 kg/hm² 时达到最高。表明,适量施用氮肥可以显著提高春小麦旗叶 SPAD 值,而过量施加氮肥则会抑制 SPAD 值的提高。

2.2 不同施氮量对旗叶净光合速率和气孔导度的影响

由图 2、图 3 可知,随着施氮量的增加,哲麦 90、蒙蜀麦 1 号叶片净光合速率、气孔导度均呈现单峰曲线变化规律,在施氮量为 120 kg/hm² 时达到峰值。在同一施氮水平下,哲麦 90 的叶片净光合速率、气孔导度均高于蒙蜀麦 1 号。与不施氮肥(N0)



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。图 2、图 3 同

图 1 不同施氮量对小麦旗叶 SPAD 值的影响

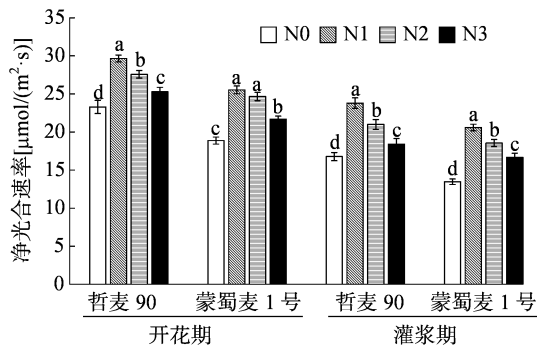


图2 不同施氮量对小麦旗叶净光合速率的影响

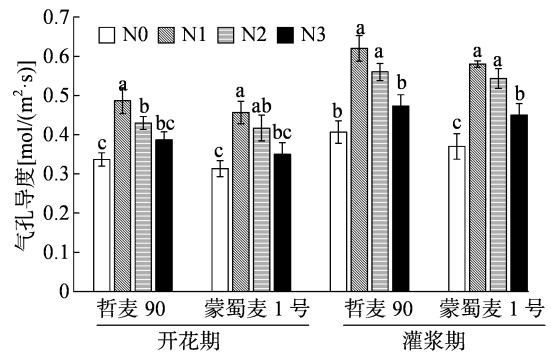


图3 不同施氮量对小麦旗叶气孔导度的影响

相比,增施氮肥显著提高了旗叶净光合速率、气孔导度。结果表明,在一定范围内,增施氮肥可以提高净光合速率和气孔导度,促进光合物质的生产及转运,而过量施用氮肥则起到抑制作用。

2.3 不同施氮量下茎叶干物质转运量、转运效率及其对产量贡献率的比较

由表 1 可知,随着施氮量的增加,哲麦 90、蒙蜀

麦 1 号的茎叶干物质转运量均呈先升后降的变化趋势,在 N1 处理下达到最大值。茎物质转运量均大于叶,表明小麦茎物质在贮藏和再分配过程起重要作用。茎叶干物质转运效率、贡献率均表现为 N1 > N2 > N3 > N0,且茎的物质转运效率、贡献率均大于叶,可知不施或过量施用氮肥不利于小麦茎叶的干物质转运,进而降低籽粒产量。

表 1 不同施氮量下小麦茎叶干物质转运量、转运效率及其对产量的贡献率

品种	处理	转运量(g/m ²)		转运效率(%)		贡献率(%)	
		茎	叶	茎	叶	茎	叶
哲麦 90	N0	315.0	82.7	30.6	23.0	63.7	16.7
	N1	605.5	164.5	40.1	31.8	75.9	20.6
	N2	484.8	126.0	35.6	27.5	71.2	18.5
	N3	418.3	105.4	34.4	25.8	69.0	17.4
蒙蜀麦 1 号	N0	269.5	73.1	28.0	23.2	57.4	15.5
	N1	495.3	147.0	36.4	31.4	66.9	19.8
	N2	397.3	111.1	32.7	27.5	63.7	17.8
	N3	325.5	89.3	29.7	24.2	61.6	17.0

2.4 不同施氮量对产量及构成因素影响

由表 2 可知,施氮量对哲麦 90、蒙蜀麦 1 号的产量及构成因素有明显调控作用,随施氮量增加,小麦穗数、穗粒数、千粒重、产量均呈单峰曲线变化,在 N1

处理达到峰值,N1 处理与其他处理间差异显著;同一施氮量下,哲麦 90 产量高于蒙蜀麦 1 号产量。与不施氮肥(N0)相比,在施氮量为 120 kg/hm² 时,哲麦 90 产量提升 61.4%、蒙蜀麦 1 号提升 58.2%。

表 2 不同施氮量对小麦产量构成因素及产量的影响

品种	处理	穗数 (万穗/hm ²)	穗粒数 (粒/穗)	千粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)
哲麦 90	N0	618.40 ± 19.14c	30.67 ± 0.47d	34.10 ± 0.47c	4 944.14 ± 51.40d
	N1	769.66 ± 11.34a	38.67 ± 0.47a	37.00 ± 0.42a	7 978.99 ± 89.02a
	N2	720.72 ± 14.42b	34.67 ± 0.94b	35.93 ± 0.34b	6 795.06 ± 82.54b
	N3	689.58 ± 19.14b	33.00 ± 0.82c	34.96 ± 0.45c	6 069.70 ± 82.54c
蒙蜀麦 1 号	N0	607.27 ± 9.44c	29.00 ± 0.82d	33.19 ± 0.63c	4 685.68 ± 96.51d
	N1	709.60 ± 13.71a	36.67 ± 0.47a	35.63 ± 0.59a	7 412.04 ± 82.54a
	N2	669.56 ± 8.32b	33.33 ± 1.25b	34.73 ± 0.26ab	6 228.11 ± 73.63b
	N3	629.52 ± 11.34c	31.67 ± 0.47c	33.82 ± 0.27b	5 285.98 ± 96.51c

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著(P < 0.05)。

2.5 不同灌浆阶段 SPAD 值与籽粒产量的相关性分析

由表 3 可知,在花后各时期,哲麦 90、蒙蜀麦 1 号的叶片 SPAD 值与籽粒产量均呈显著或极显著正相关。

表 3 不同灌浆阶段 SPAD 值与籽粒产量的相关系数

品种	相关系数				
	0 d	7 d	14 d	21 d	28 d
哲麦 90	1.00**	0.99**	1.00**	0.99**	0.97**
蒙蜀麦 1 号	0.96*	0.97**	0.99**	0.98**	0.98**

注: *、** 分别在 0.05、0.01 水平上相关。表 4 同。

逐步回归分析不同施氮量条件下哲麦 90 花后

0、7、14、21、28 d 叶片 SPAD 值(X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5)与籽粒产量(X_6)的关系,多元逐步回归方程如下:

$$X_6 = -876.843492 + 18.921407584X_1 + 8.379631300X_2, r^2 = 0.99904.$$

该方程表明,花后 0 d,叶片 SPAD 值对籽粒产量影响最大。

进一步对哲麦 90 籽粒产量与各时期叶片 SPAD 值进行途径分析(图 4),小麦旗叶花后 0 d,SPAD 值与籽粒产量直接途径系数最大,达 2.8883。结果表明,小麦旗叶花后 0 d,SPAD 值对哲麦 90 籽粒产量影响最大,此结果与逐步回归分析一致。

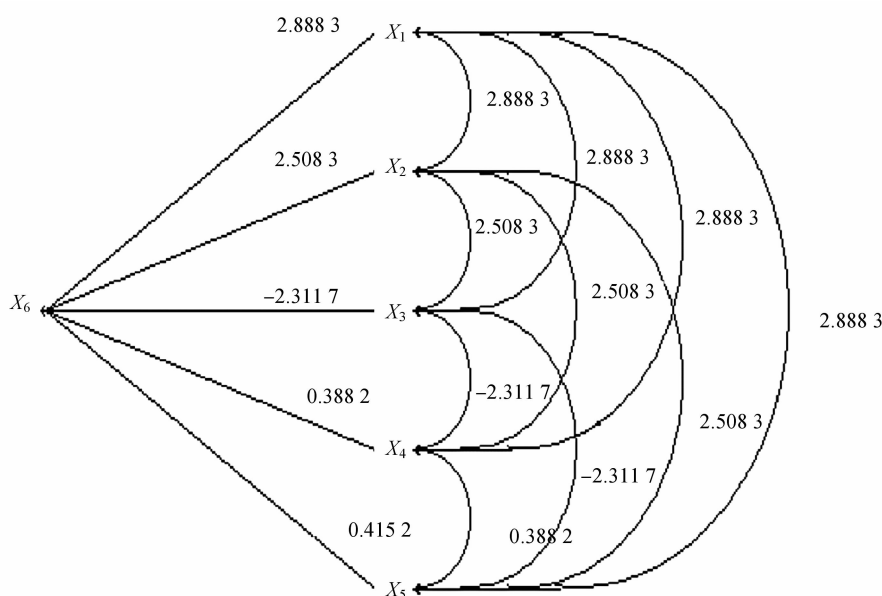


图 4 哲麦 90 籽粒产量与花后各时期叶片 SPAD 值的途径分析

逐步回归分析不同施氮量条件下蒙蜀麦 1 号花后 0、7、14、21、28 d 叶片 SPAD 值(X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5)与籽粒产量(X_6)的关系,多元逐步回归方程如下:

$$X_6 = 246.4071677 - 36.05308250X_1 + 49.92494637X_3, r^2 = 0.99990.$$

该方程表明,在本试验条件下,花后 14 d 叶片 SPAD 值对籽粒产量影响最大。

进一步对蒙蜀麦 1 号籽粒产量与各时期叶片 SPAD 值进行途径分析(图 5),结果表明,小麦旗叶花后 14 d,SPAD 值与籽粒产量直接途径系数最大,达 2.7082。说明在本试验条件下,小麦旗叶花后 14 d SPAD 值对蒙蜀麦 1 号籽粒产量影响最大,此结果与逐步回归分析一致。

2.6 小麦旗叶光合特性与转运及产量的相关性分析

由表 4 可知,除了开花期、灌浆期的旗叶净光

合速率与叶的干物质转运效率的相关性不显著外, P_n 与茎叶转运量、茎转运效率、茎叶贡献率均极显著相关。2 个时期下,旗叶气孔导度与茎叶干物质转运量、转运率及对籽粒的贡献率均呈极显著正相关。

3 讨论

3.1 不同施氮量对小麦叶片光合特性的影响

氮素是植物叶绿素的主要成分,氮肥调控可以提高春小麦的光合能力,提升叶片光合效率和延长光合持续时间是获得高产的关键。杜盼等的研究表明,小麦叶片 SPAD 值可以直接反映植株氮素营养水平,与叶片光合能力呈显著正相关^[10]。张运红等的研究表明,增施氮肥可以显著提高小麦叶片 SPAD 值,增强光合能力,进而有助于干物质的积累和籽粒产量的增加^[11]。随着施氮水平的增加,小麦

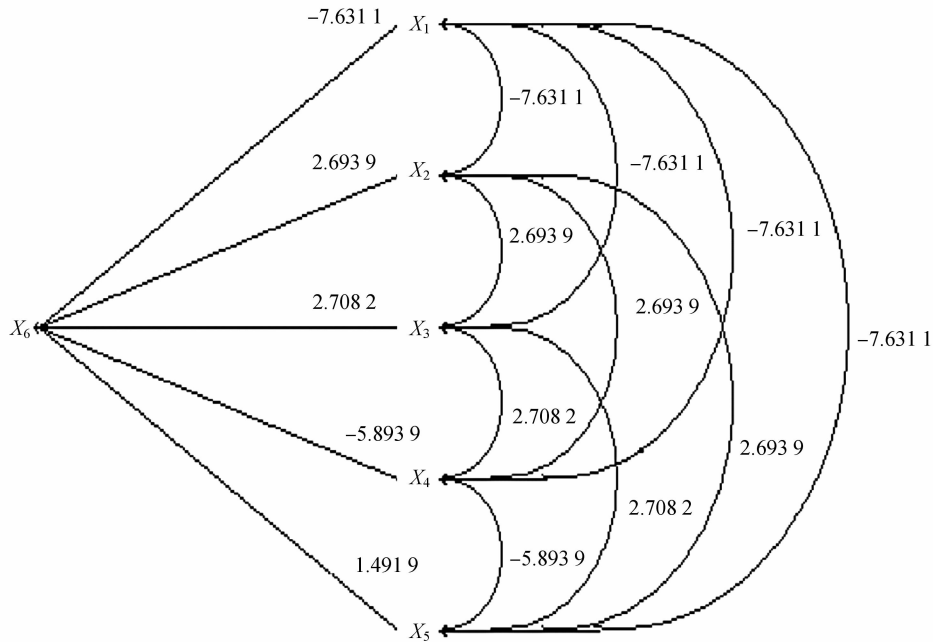


图5 蒙蜀麦 1 号籽粒产量与花后各时期叶片 SPAD 值的通径分析

表 4 小麦旗叶光合特性与转运及产量的相关分析

指标	时期	转运量(g/m^2)		转运效率(%)		贡献率(%)		产量
		茎	叶	茎	叶	茎	叶	
净光合速率 P_n	开花期	0.94 **	0.89 **	0.96 **	0.23	0.97 **	0.89 **	0.90 **
	灌浆期	0.98 **	0.96 **	0.97 **	0.29	0.94 **	0.96 **	0.96 **
气孔导度 G_s	开花期	0.97 **	0.98 **	0.96 **	0.97 **	0.85 **	0.97 **	0.99 **
	灌浆期	0.93 **	0.95 **	0.91 **	0.94 **	0.81 **	0.95 **	0.97 **

叶片光合速率显著增加,在灌浆后期叶片 SPAD 值与千粒重、单株产量呈显著或极显著正相关^[12-13]。孟自力等研究表明,不同施氮量对小麦 SPAD 值、光合特性、光合有效辐射及产量等影响显著^[14]。本研究表明,在 0~180 kg/hm^2 氮肥水平下,随着施氮量的增加,小麦 SPAD 值、叶片净光合速率、气孔导度均呈现单峰曲线变化趋势,在 120 kg/hm^2 时达到最大值,花后各时期叶片 SPAD 值与籽粒产量均呈显著或极显著正相关。说明在一定范围内,适当增施氮肥可以延缓叶片衰老,延长光合作用时间,提高小麦光合能力,促进光合产物合成与转运,对作物生长发育起重要作用。

3.2 不同施氮量对小麦干物质积累和转运的影响

干物质积累与转运是小麦产量形成的基础,而氮素是影响作物干物质积累和转运的重要因素,所以合理的氮素水平是小麦高产的关键因素之一。刘哲文等的研究表明,氮肥施用对扬麦 15 成熟期干物质影响较大,随着追氮比例的增加,小麦茎秆、叶

片干物质增加^[15]。有研究表明,施氮量的增加显著提高了小麦群体干物质及花前花后干物质转运量的增加^[16-18]。王壮志等的研究表明,在一定范围内,增施氮肥有利于植株干物质的积累与转运,但过量施用氮肥就会有一定的抑制作用^[19]。张学顺等的研究表明,随着施氮量的增加,滴灌春小麦干物质的积累潜力及最大积累速率呈先增后降的趋势,且快速积累时间逐渐减少^[20]。文廷刚等的研究表明,随施氮量、灌溉次数的增加,小麦干物质积累量、转运量、转运效率及花后干物质贡献率也随之增加,并在 270 kg/hm^2 氮肥水平下效果最佳^[21]。本研究表明,随着施氮量的增加,小麦茎叶干物质转运量、转运效率、贡献率均呈先升后降的变化趋势,在施氮量为 120 kg/hm^2 时达到最大值,小麦茎干物质转运量均大于叶片。本研究结果与前人研究基本相似。由此说明,适量增加施氮量可提高小麦叶片的光合生产能力,促进营养器官形成,提高光合产物的积累,促进营养器官贮存的光合产物向籽粒的转运。

3.3 不同施氮量对小麦产量及构成因素的影响

小麦的产量及产量构成受生态环境条件和栽培措施等多种因素共同影响。朱倩等的研究表明,随着施氮量的增加,中麦 578、轮选 49 的穗数、穗粒数呈上升趋势,而千粒重呈下降趋势^[22]。赵凯男等的研究表明,在整个生育期不灌溉的情况下,施氮量对旱地小麦产量及其构成要素具有显著的调控作用,随着氮素水平的增加,小麦产量、穗数、穗粒数均呈单峰曲线的变化规律^[23]。王显等有研究表明,在同一播种量条件下,随着施氮量的增加,冬小麦的有效穗数、每穗实粒数、产量均呈增加规律^[24]。葛君等研究认为,随施氮量的增加,籽粒产量表现为先升后降的单峰变化规律,施氮量对小麦籽粒产量的影响显著^[25]。本研究结果表明,随着施氮量的增加,小麦穗数、穗粒数、千粒重、产量均呈单峰曲线的变化规律,在施氮量为 120 kg/hm² 时达到峰值。与不施氮肥相比,在施氮量为 120 kg/hm² 时,哲麦 90 产量提升 61.4%、蒙蜀麦 1 号提升 58.2%。这可能是由于氮元素是酶、叶绿素的重要组成部分,能促进叶绿素含量的提高,同时氮又能促进小麦营养器官的生长和有效分蘖的增加,从而促进其产量的提高。

4 结论

综上所述,在一定范围内,增施氮肥可以延缓叶片早衰,增加茎叶干物质的转运量、转运效率及对籽粒的贡献率。本试验条件下,2 个春小麦品种的旗叶 SPAD 值、净光合速率、气孔导度、茎叶干物质转运量、转运效率、贡献率、产量达最大值的最佳施氮量为 120 kg/hm²。

参考文献:

- [1] 李传梁,于振文,张娟,等. 测墒补灌条件下施氮量对小麦开花后 ¹³C 同化物积累量和水氮利用效率的影响[J]. 应用生态学报,2023,34(1):92-98.
- [2] 王爽,李茵,任学军,等. 减量施氮对冀东地区春小麦氮肥利用及产量的影响[J]. 山东农业科学,2023,55(5):115-121.
- [3] 王文政,李亚静,张敏,等. 施氮量对强筋小麦光合、产量、蛋白质含量和加工品质的影响[J]. 麦类作物学报,2024,44(4):462-471.
- [4] 刘卫星,王家瑞,王晨阳,等. 施氮量对不同土壤肥力条件下冬小麦光合特性和产量的影响[J]. 麦类作物学报,2021,41(5):604-612.
- [5] 何雨桔,刘琼,王焜,等. 施氮量对不同株叶型小麦旗叶光合及籽粒灌浆特性的影响[J]. 四川农业大学学报,2022,40(5):707-713.
- [6] 张金汕,贾永红,孙鹏,等. 匀播和施氮量对冬小麦群体、光合及干物质积累的影响[J]. 中国农业大学学报,2021,26(7):12-24.
- [7] 任开明,王森,杨文俊,等. 施氮对稻茬弱筋小麦生长特性、品质与产量的影响[J]. 浙江农业学报,2023,35(4):769-779.
- [8] 张运红,孙克刚,杜君,等. 施氮水平对不同基因型优质小麦干物质积累、产量及氮素吸收利用的影响[J]. 河南农业科学,2017,46(4):10-16.
- [9] 王文迪,刘志萍,巴图,等. 种植密度对春大麦物质积累与转运的影响[J]. 麦类作物学报,2022,42(3):352-360.
- [10] 杜盼,张娟娟,郭伟,等. 施氮对不同肥力土壤小麦氮营养和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2019,25(2):176-186.
- [11] 张运红,杜君,和爱玲,等. 施氮对不同基因型小麦品种光合特性和产量的影响[J]. 河南农业科学,2016,45(11):19-24.
- [12] 杨斌,闫雪,温宏伟,等. 不同水分条件下小麦持绿表型性状评价及其与产量相关性研究[J]. 作物杂志,2020(4):45-52.
- [13] 毛祥敏,钟雯雯,王兴亚,等. 种植方式与施氮量对小麦光合特性及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(3):56-60.
- [14] 孟自力,王和洲,闫向泉,等. 施氮量对小麦商麦 156 光合特性、冠层光截获及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(23):76-79.
- [15] 刘哲文,郭丹丹,常旭虹,等. 追氮对弱筋小麦干物质、氮素积累及产量的影响[J]. 麦类作物学报,2023,43(8):1029-1038.
- [16] 李欣欣,石祖梁,王久臣,等. 施氮量和种植密度对稻茬晚播小麦干物质积累及光合特性的影响[J]. 华北农学报,2020,35(5):140-148.
- [17] 马尚宇,王艳艳,刘雅男,等. 播期、播量和施氮量对小麦干物质积累、转运和分配及产量的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文),2020,28(3):375-385.
- [18] 陈琛,刘家俊,邓垚,等. 氮肥运筹对强筋小麦镇麦 18 产量及干物质生产的影响[J]. 江苏农业学报,2023,39(2):368-376.
- [19] 王壮志,杨蕊,李秀,等. 施氮量对江汉平原中低产田小麦产量及氮素吸收利用的影响[J]. 核农学报,2023,37(1):159-168.
- [20] 张学顺,朱云,张妮,等. 不同施氮量对滴灌春小麦生长及氮素吸收规律研究[J]. 新疆农业科学,2014,51(11):1976-1983.
- [21] 文廷刚,贾艳艳,顾大路,等. 氮水运筹对苏北平原稻茬麦干物质积累、产量和氮肥利用的影响[J]. 麦类作物学报,2023,43(3):321-331.
- [22] 朱倩,孟自力,倪雪峰,等. 施氮量对不同筋型小麦光合特性、品质及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(3):131-137.
- [23] 赵凯男,吴金芝,黄明,等. 返青后补灌与氮肥用量对旱地小麦产量及水氮利用效率的影响[J]. 中国农业科学,2023,56(17):3383-3398.
- [24] 王显,杨大柳,王安,等. 播种量与施氮量对小麦产量及赤霉病发生的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(10):117-120.
- [25] 葛君,姜晓君. 施氮量对小麦旗叶光合特性、SPAD 值、籽粒产量及碳氮代谢的影响[J]. 天津农业科学,2019,25(3):1-4.