

施氮量对不同小麦品种产量及氮素吸收利用的影响

王茂莹¹, 贺明荣², 李玉¹, 董元杰¹

(1.山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018; 2.山东农业大学农学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 为给鲁中山区小麦的栽培选育及氮素利用率的提高提供科学依据, 连续2年选用鲁中山区栽培面积较广的“泰农18号”“临麦4号”和“汶农5号”3个优质小麦品种, 设置0, 120, 240 kg/hm²施氮水平, 采用大田试验, 研究不同小麦品种的产量及氮素利用效率等对施氮量的响应。结果表明, 增施氮肥可以增加小麦叶片光合色素的合成与积累, 促进光合作用, 提高小麦干物质积累及其向籽粒的转运, 有利于小麦群体的构建, 促进产量形成, 3个小麦品种在N120和N240水平下的产量较N0水平分别增加0.67~2.10, 0.97~2.62倍; 随着施氮量的增加, 小麦对氮肥的响应度减小, 氮素吸收、利用效率和氮肥偏生产力、农学效率显著降低。品种差异对小麦生长和产量形成有显著影响。相同施氮量下, 小麦各项指标均表现为“泰农18号”>“临麦4号”>“汶农5号”, “泰农18号”产量最高, 具有更强的氮素吸收和利用能力, 而“汶农5号”对氮素最为敏感, “泰农18号”在N0水平下的产量较“临麦4号”和“汶农5号”分别增加15.83%~26.42%和34.50%~42.43%, 在N120水平下分别增加4.97%~5.05%和12.23%~12.54%, 在N240水平下分别增加4.13%~5.75%和8.49%~11.08%。综上, 在本试验条件下, 鲁中山区小麦最佳施氮量为240 kg/hm², “泰农18号”为最适宜推广小麦品种, “汶农5号”具有较大的增产潜力, 可为小麦品种选育提供科学依据。

关键词: 施氮量; 小麦品种; 产量; 氮素吸收利用; 光合色素; 干物质积累

中图分类号: S143.1; S512.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2020)04-0241-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.04.036

Effects of Nitrogen Application Rate on Yield and Nitrogen Uptake and Utilization of Different Wheat Varieties

WANG Maoying¹, HE Mingrong², LI Yu¹, DONG Yuanjie¹

(1.College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian,

Shandong 271018; 2.College of Agricultural, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018)

Abstract: In order to provide a scientific basis for the cultivation and breeding of wheat and the improvement of nitrogen utilization in central Shandong, “Tainong 18” “Linmai 4” and “Wennong 5” which are three high-quality wheat varieties with a wide cultivation area in central Shandong were selected and three nitrogen levels of 0, 120, 240 kg/hm² were set to study the response of yield and nitrogen utilization of different wheat varieties to nitrogen application rate with field experiment for 2 years. The results showed that the application of nitrogen fertilizer could increase the synthesis and accumulation of photosynthetic pigments in wheat leaves, promote photosynthesis, increase the dry matter accumulation of wheat and its transport to grain, facilitate the construction of wheat population and promote the formation of yield. The yields of three wheat varieties at the N120 and N240 level respectively increased by 0.67~2.10 times and 0.97~2.62 times compared with the N0 level. With the increase of nitrogen application rate, the responsiveness of wheat to nitrogen fertilizer decreased, nitrogen absorption and utilization efficiency, nitrogen fertilizer partial productivity and agronomic efficiency were significantly reduced. Variety differences have significant effects on wheat growth and yield formation. In this study, all indicators of wheat showed “Tainong 18” > “Linmai 4” > “Wennong 5”. “Tainong 18” had the highest yield and better nitrogen absorption and utilization ability. “Wennong 5” was the most sensitive to nitrogen. Compared with “Linmai 4” and “Wennong 5”, the yield of “Tainong 18” increased by 15.83%~26.42% and 34.50%~42.43% respectively under the N0 level, increased by 4.97%~5.05% and 12.23%~12.54% respectively under the N120 level, increased by 4.13%~

收稿日期: 2019-11-22

资助项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0201705); 山东省农业重大应用技术创新项目(SD2019ZZ021); 山东省重大科技创新工程项目(2017CXGC0301)

第一作者: 王茂莹(1995—), 女, 山东莱芜人, 硕士研究生, 主要从事新型肥料研制与应用研究。E-mail: 1664256996@qq.com

通信作者: 董元杰(1977—), 男, 主要从事土壤生态与植物营养研究。E-mail: yuanjiedong@163.com

5.75% and 8.49%~11.08% respectively under the N240 level. In summary, the optimum nitrogen application rate in central Shandong is 240 kg/hm² under the conditions of this experiment, “Tainong 18” is the most suitable wheat variety for promotion, and “Wennon 5” has great potential for increasing yield which can provide a scientific basis for wheat variety selection.

Keywords: nitrogen application rate; wheat varieties; yield; nitrogen absorption and utilization; photosynthetic pigments; dry matter accumulation

氮素是作物必需的大量营养元素之一,是限制作物产量和品质的重要因子^[1]。氮肥施用过多或不足均会对土壤及环境造成不利影响^[2-3]。山东省是我国的农业大省,是典型的高投入高产出农业生产类型^[4]。李健敏等^[4]在2018年的研究表明,近年来山东省的施肥状况向良性发展,但仍存在化肥投入量大、施用不合理(尤其是氮肥)等问题。而鲁中山区因地形原因,耕地面积受限且难度较大^[5]。因此,在保护生态环境的同时促进农业生产,提高当地氮肥利用率,有效利用耕地显得更为重要。

品种对小麦产量和氮素吸收利用具有显著影响^[6-8]。姜瑛等^[9]根据产量、氮素积累量及氮素籽粒生产效率等将小麦品种划分为氮素高效型、中效型、低效型和超低效型4种类型;张美微等^[10]连续2季研究了4个氮水平下10个小麦品种的产量和氮肥利用效率表明,品种和施氮量均能显著影响小麦的产量和氮肥利用效率;熊淑萍等^[11]研究表明,不同小麦品种的氮素吸收、分配和利用效率均显著不同。因此,农业生产上应因地制宜,选育适宜的小麦品种,以提高氮肥利用率,获得小麦优质高产。

冬小麦是山东省种植面积最大的粮食作物,发展小麦生产对山东省乃至全国的农业经济发展都具有重要意义。王昌秀等^[12]研究表明,黄淮冬麦区小麦最佳施氮量为210 kg/hm²;王晓婧^[13]研究结果显示,山东省21个主推小麦品种在240 kg/hm²达到最大产量。前人在山东省小麦品种和施氮量方面已有较多研究,但针对区域性适宜品种的最优施氮量的研究尚少见报道。因此,本研究针对鲁中地区,选用鲁中地区栽培面积较广的“泰农18号”“临麦4号”和“汶农5号”3个优质小麦品种,设置0,120,240 kg/hm²3个施氮水平,研究不同小麦品种的干物质积累转运、产量及氮素利用效率等对施氮量的响应,筛选出当地冬小麦的最佳施氮量及氮高效小麦品种,以期鲁中山区小麦高产栽培、品种选育及氮肥利用率的提高提供科学依据,并进一步促进山东省乃至全国农业发展。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2016—2017年和2017—2018年连续2个小麦

麦生长季在山东农业大学资源与环境学院试验站进行。供试土壤类型为棕壤,耕层土壤基本理化性质为:有效氮含量35.70 mg/kg,有效磷含量18.87 mg/kg,速效钾含量111.54 mg/kg,有机质含量13.48 g/kg,pH 7.10,播前0—100 cm土层土壤无机氮含量为200 kg/hm²。供试小麦品种选用鲁中地区栽培面积较广的3个优质小麦品种,分别为“泰农18号”(T18)、“临麦4号”(L4)和“汶农5号”(W5)。供试肥料选用普通尿素、过磷酸钙和氯化钾。

1.2 试验设计

试验设3个施氮水平:0,120,240 kg/hm²,分别记为N0、N120、N240;选用鲁中地区栽培面积较广的3个小麦品种:“泰农18号”(T18)、“临麦4号”(L4)和“汶农5号”(W5),小麦播种量为150 kg/hm²;共9个处理,每个处理设3次重复。小区面积为3 m×8 m。氮肥基追比为1:1,于拔节期追施;磷、钾肥均作基肥一次性施入,施肥量均为105 kg/hm²。其他田间管理与当地高产小麦田间管理一致。2季小麦播种日期分别为2016年10月11日和2017年10月11日,收获日期分别为2017年6月6日和2018年6月6日。

1.3 采样与测定

分别于小麦越冬期、返青期、拔节期、开花期、成熟期采集植株样品进行测定;小麦单株分蘖数、穗粒数、千粒重和干物质积累量采用常规计数和天平称量方法测定;叶片光合色素含量采用乙醇提取法测定;植株氮含量采用凯氏定氮法测定;小麦穗数于田间调查计算;小麦产量于田间实收计产。

于小麦成熟期采集0—20 cm土壤样品,采用碱解扩散法测定土壤有效氮含量。

小麦干物质积累相关计算公式:

营养器官花前贮藏干物质转运量=开花期营养器官干物重-成熟期营养器官干物重

营养器官花前贮藏干物质转运量对籽粒的贡献率=转运量/成熟期籽粒重×100%

花后干物质生产量=成熟期籽粒重-营养器官花前贮藏干物质转运量

花后干物质生产量对籽粒的贡献率=生产量/成熟期籽粒重×100%

氮素吸收利用相关指标计算公式:

氮素利用率(kg/kg)=籽粒产量/土壤供氮量
(0—100 cm 土层土壤无机氮+肥料氮)

氮素吸收效率(%)=地上部氮素积累量/土壤供氮量
(0—100 cm 土层土壤无机氮+肥料氮)×100%

氮素利用效率(kg/kg)=籽粒产量/地上部氮素积累量

氮肥偏生产力(kg/kg)=籽粒产量/施氮量

氮肥农学效率(kg/kg)=(施氮区籽粒产量—对照区籽粒产量)/施氮量

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据处理与作图,采用 SPSS 22 软件进行统计分析,采用邓肯法(Duncan)进行差异显著性检验($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 施氮量对小麦分蘖动态的影响

由图 1 可知,小麦单株分蘖数随生育期的推进先升高后降低,于返青期达到最大值。3 个小麦品种在

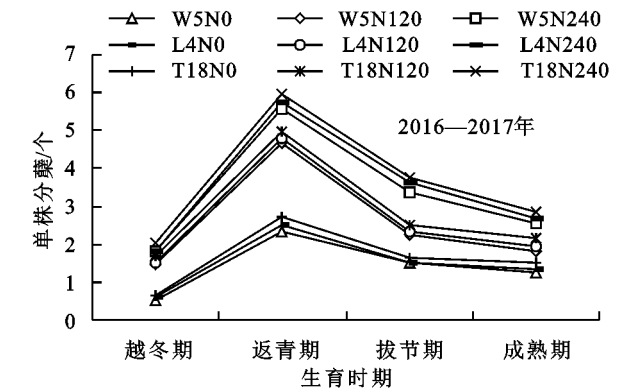


图 1 施氮量对小麦分蘖动态的影响

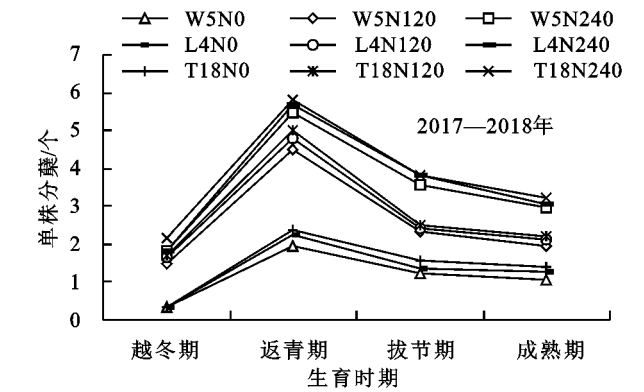
2.2 施氮量对小麦开花期旗叶光合色素含量的影响

由表 1 可知,3 个小麦品种的开花期旗叶光合色素含量均随施氮量的增加而增加,N240 水平下光合色素含量最高。与 N0 水平相比,W5 在 N120 和 N240 水平下的叶绿素 a 含量分别显著增加 20.12%~29.34%和 27.89%~37.19%,L4 分别显著增加 13.44%~21.95%和 20.63%~29.96%,T18 分别显著增加 9.30%~15.97%和 17.89%~28.37%。叶绿素 b 和类胡萝卜素含量的变化趋势与叶绿素 a 一致,但处理间差异不显著。说明增施氮肥有利于小麦叶片光合色素的合成与积累,促进光合作用。其中,W5 的光合色素含量增幅最大,说明 W5 对氮素最为敏感,增施氮肥对 W5 光合作用的促进效果优于 L4 和 T18。

在相同氮水平下,3 个小麦品种的开花期旗叶光合色素含量表现为 T18>L4>W5。T18 在 N0 水平下的叶绿素 a 含量较 L4 和 W5 分别增加 4.97%~6.30%和 13.55%~15.08%,在 N120 水平下分别增加 1.10%~1.14%和 3.19%~3.32%,在 N240 水平

各生育时期的单株分蘖数均随施氮量的增加而显著增加,在 N240 水平下达到最大值。与 N0 水平相比,W5 在 N120 和 N240 水平下的成熟期穗数分别增加 45.52%~80.56%和 104.84%~175.09%,L4 分别增加 43.30%~65.89%和 98.52%~137.29%,T18 分别增加 41.09%~58.14%和 86.84%~131.5%。说明增施氮肥可显著提高小麦分蘖成穗数,有利于小麦群体的构建。其中,W5 的穗数增幅最大,说明增施氮肥对提高 W5 分蘖成穗数的效果优于其他 2 个品种,W5 对氮素最敏感。

施氮量相同时,3 个小麦品种的单株分蘖数表现为 T18>L4>W5。T18 在 N0 水平下的成熟期穗数较 L4 和 W5 分别显著增加 8.53%~12.59%和 22.58%~29.63%,在 N120 水平下分别显著增加 3.46%~10.86%和 13.54%~18.84%,在 N240 水平下分别显著增加 5.88%~5.97%和 9.09%~11.81%。说明施氮量相同时,T18 的分蘖成穗能力最强。



下分别增加 2.60%~4.99%和 4.67%~7.68%。其中,3 个品种小麦的叶绿素 a 含量在 N0 水平下差异显著,在 N120 和 N240 水平差异不显著。叶绿素 b 和类胡萝卜素含量的变化趋势与叶绿素 a 一致。说明施氮量相同时,T18 的光合作用最强,可合成更多的碳水化合物,促进小麦生长。

2.3 施氮量对小麦花前干物质转运及花后干物质生产的影响

由表 2 可知,小麦营养器官花前贮藏的干物质转运量和花后干物质生产量均随施氮量的增加而显著增加。与 N0 水平相比,W5 在 N120 水平和 N240 水平下的花前干物质转运量分别增加 0.59~1.50,0.68~1.71 倍,花后干物质生产量分别增加 1.43~2.66,2.12~3.45 倍;L4 在 N120 水平和 N240 水平下的花前干物质转运量分别增加 0.53~1.48,0.61~1.65 倍,花后干物质生产量分别增加 1.16~2.39,1.71~2.99 倍;T18 在 N120 水平和 N240 水平下的花前干物质转运量分别增加 0.47~1.24,0.56~1.35 倍,花

后干物质生产量分别增加 0.86~1.64,1.36~2.11 倍。说明增施氮肥可以促进小麦营养器官花前贮藏的干物质向籽粒的转运和花后干物质的生产,有利于小麦产量的形成。其中,W5 的干物质转运和生产增幅最大,对氮素最敏感。小麦营养器官花前贮藏的干物质转运量对籽粒的贡献率随施氮量的增加而显著降低,对氮的响应度减小,而花后干物质生产对籽粒的贡献率呈相反的变化趋势,且花后干物质生产的贡献率高于花前干物质转运的贡献率,说明花后生产的干物质是小麦产量的主要来源。

施氮量相同时,3 个小麦品种的花前干物质转运量和花后干物质生产量均表现为 T18>L4>W5,且品种间差异显著。T18 在 N0 水平下的花前干物质转运量较 L4 和 W5 分别增加 13.71%~22.98%和 29.81%~39.78%,花后干物质生产量分别增加 17.99%~29.66%和 39.43%~44.89%;在 N120 水平下的花前干物质转运量较 L4 和 W5 分别增加 9.65%~11.01%和 20.22%~25.34%,花后干物质生产量分别增加 0.95%~1.60%和 4.47%~6.74%;在 N240 水平下的花前干物质转运量较 L4 和 W5 分别增加9.11%~10.53%和 20.93%~21.30%,花后干物质生产量分别增加 1.03%~2.87%和 1.29%~5.52%。说明施氮量相同时,T18 的花前干物质转运能力和花后干物

质生产能力最强,对产量形成贡献最大。

表 1 施氮量对小麦开花期旗叶光合色素含量的影响
单位:mg/g FW

年份	品种	氮水平	叶绿素 a 含量	叶绿素 b 含量	类胡萝卜素 含量
2016—2017	W5	N0	5.02f	2.34d	0.60b
		N120	6.03cd	2.62bcd	0.68ab
		N240	6.42abc	3.06ab	0.71ab
	L4	N0	5.43e	2.43cd	0.66ab
		N120	6.16bc	2.71bcd	0.64ab
		N240	6.55ab	3.10ab	0.70ab
	T18	N0	5.70d	2.46cd	0.66ab
		N120	6.23b	2.86abc	0.71ab
		N240	6.72a	3.18a	0.81a
	W5	N0	4.84e	2.21d	0.56c
		N120	6.26cd	2.81cd	0.71b
		N240	6.64b	3.27ab	0.82ab
2017—2018	L4	N0	5.24d	2.31d	0.62bc
		N120	6.39c	2.92bcd	0.73b
		N240	6.81ab	3.32ab	0.83ab
	T18	N0	5.57d	2.34d	0.64bc
		N120	6.46bc	3.16abc	0.76b
		N240	7.15a	3.42a	0.91a

注:表中数字后不同小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$)。下同。

表 2 施氮量对小麦花前干物质转运及花后干物质生产的影响

年份	品种	氮水平	花前干物质转运量/ (kg·hm ⁻²)	花前转运 贡献率/%	花后干物质生产量/ (kg·hm ⁻²)	花后生产 贡献率/%
2016—2017	W5	N0	1913.74h	51.23a	1821.57h	48.77f
		N120	3047.65e	40.78c	4425.61e	59.22cd
		N240	3208.77de	36.10e	5680.44c	63.90a
	L4	N0	2184.79g	50.37a	2152.67g	49.63f
		N120	3341.18d	41.81c	4649.33e	58.19d
		N240	3510.68c	37.60d	5826.98b	62.40b
	T18	N0	2484.26f	49.45a	2539.84f	50.55f
		N120	3663.75b	43.68b	4723.74d	56.32e
		N240	3880.39a	39.30cd	5994.15a	60.70c
	W5	N0	1205.52i	48.05a	1303.59g	51.95e
		N120	3012.38f	38.68cd	4776.12d	61.32bc
		N240	3267.57e	36.01e	5806.84b	63.99a
2017—2018	L4	N0	1370.24h	48.47a	1456.71f	51.53e
		N120	3401.24d	40.76c	4942.72d	59.24c
		N240	3632.72c	38.42d	5821.48b	61.58b
	T18	N0	1685.08g	47.15a	1888.76e	52.85e
		N120	3775.59b	43.07b	4989.68c	56.93d
		N240	3963.59a	40.26c	5881.54a	59.74c

2.4 施氮量对小麦产量及其构成因素的影响

由表 3 可知,3 个小麦品种的产量均随施氮量的增加而显著增加,N240 水平下产量达到最大值。与 N0 水平相比,W5 在 N120 和 N240 水平下的产量分别增加

1.00~2.10,1.38~2.62 倍,L4 在 N120 和 N240 水平下的产量分别增加 0.84~1.95,1.15~2.34 倍,T18 在 N120 和 N240 水平下的产量分别增加 0.67~1.45,0.97~1.75 倍。小麦穗数、穗粒数变化趋势与产量一致,且

差异显著;千粒重随施氮量的增加先增加后减少。说明增施氮肥有利于小麦产量构成因素的形成,从而显著提高小麦产量。其中,W5 的产量增幅最大,说明增施氮肥对提高 W5 产量的效果优于其他 2 个品种,W5 对氮素最敏感。

在相同氮水平下,3 个小麦品种的产量及其构成因

素均表现为 T18>L4>W5,其中,产量和穗数在处理间差异显著。T18 在 N0 水平下的产量较 L4 和 W5 分别增加 15.83%~26.42%和 34.50%~42.43%,在 N120 水平下分别增加 4.97%~5.05%和 12.23%~12.54%,在 N240 水平下分别增加 4.13%~5.75%和 8.49%~11.08%。说明施氮量相同时,T18 更易获得高产。

表 3 施氮量对小麦产量及其构成因素的影响

年份	品种	氮水平	产量/ (kg·hm ⁻²)	穗数/ (万穗·hm ⁻²)	单穗粒数/ 粒	千粒重/ g
2016—2017	W5	N0	3735.31i	425.78i	23.00f	42.18b
		N120	7473.26f	467.67f	36.40d	43.90ab
		N240	8889.21c	509.11c	40.50abc	43.80ab
	L4	N0	4337.46h	439.67h	24.71ef	42.66b
		N120	7990.51e	478.89e	37.75cd	44.20ab
		N240	9337.66b	515.33b	41.11ab	43.30ab
	T18	N0	5024.10g	453.89g	26.86e	42.71b
		N120	8387.49d	490.35d	38.29bcd	44.40a
		N240	9874.54a	523.89a	42.89a	43.10ab
	W5	N0	2509.11i	360.17i	17.14g	40.15b
		N120	7788.50f	479.17f	36.89e	44.05a
		N240	9074.41c	512.83c	40.64bc	43.61ab
2017—2018	L4	N0	2826.95h	369.67h	18.71g	40.84b
		N120	8343.96e	487.50e	38.57de	44.36a
		N240	9454.20b	520.33b	41.83b	43.21ab
	T18	N0	3573.84g	384.83g	22.44f	41.35b
		N120	8765.27d	498.17d	39.14cd	44.94a
		N240	9845.13a	530.17a	43.39a	43.43ab

2.5 施氮量对小麦氮素吸收利用的影响

由表 4 可知,小麦的氮素利用率、氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥偏生产力及氮肥农学利用效率均随施氮量的增加而显著降低。与 N120 水平相比,W5 在 N240 水平下的氮素利用率、氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥偏生产力和氮肥农学利用效率分别降低 13.49%~15.28%,9.61%~10.60%,4.30%~5.23%,40.53%~41.74%和 31.08%~38.72%,L4 分别降低 15.02%~17.57%,10.80%~12.81%,5.48%~6.76%,41.57%~43.35%和 31.57%~39.95%,T18 分别降低 16.39%~18.29%,11.03%~13.14%,3.42%~6.00%,42.93%~43.84%和 32.36%~39.60%。说明增施氮肥降低了小麦吸收氮素并转化为籽粒的能力。其中,W5 的降幅最低,说明增施氮肥更有利于 W5 对氮素的吸收利用,W5 对氮素最敏感。

施氮量相同时,3 个小麦品种的氮素利用率、氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥偏生产力均表现为 T18>L4>W5,且品种间差异显著。其中,T18 在 N120 水平下的氮素利用率较 L4 和 W5 分别增加 5.06%~7.49%和 12.53%~14.95%,在 N240 水平下分别增加 4.14%~5.75%和 8.54%~11.09%。氮

素吸收效率、氮素利用效率和氮肥偏生产力变化趋势与氮素利用率一致。说明施氮量相同时,T18 对氮素的吸收利用能力最强。氮肥农学利用效率则表现为 W5>L4>T18,表明 W5 对氮素敏感,具有较大的增产潜力。

2.6 施氮量对成熟期土壤有效氮含量的影响

由图 2 可知,3 个小麦品种的成熟期土壤有效氮含量均随施氮量的增加而显著增加。与 N0 水平相比,W5 在 N120 和 N240 水平下的有效氮含量分别增加 18.28%~20.86%和 42.47%~47.33%,L4 分别增加 14.13%~20.58%和 36.96%~45.71%,T18 分别增加 16.57%~21.21%和 37.71%~42.76%。与播前土壤有效氮含量相比,N0 水平下的成熟期土壤有效氮含量连续 2 年降低,N120 水平下基本持平,N240 水平下连续升高。说明增施氮肥可增加土壤中的氮养分,提高土壤供氮能力,满足小麦对氮素的需求。

在相同氮水平下,3 个小麦品种的有效氮含量表现为 T18<L4<W5。T18 在 N0 水平下的有效氮含量较 L4 和 W5 分别降低 4.89%~5.67%和 5.91%~9.23%,在 N120 水平下分别降低 2.86%~5.16%和 7.27%~8.95%,在 N240 水平下分别降低 4.37%~

7.59%和 9.06%~12.06%。说明施氮量相同时,T18 长势最优,具有更强的氮素吸收利用能力。

表 4 施氮量对小麦氮素吸收利用的影响

年份	品种	氮水平	氮素利用率/ (kg·kg ⁻¹)	氮素吸收 效率/%	氮素利用效率/ (kg·kg ⁻¹)	氮肥偏生产力/ (kg·kg ⁻¹)	氮肥农学利用效率/ (kg·kg ⁻¹)
2016—2017	W5	N120	23.35c	61.27c	38.12c	62.28c	31.15a
		N240	20.20f	55.38f	36.48e	37.04f	21.47d
	L4	N120	24.97b	63.23b	39.49b	66.59b	30.44b
		N240	21.22e	56.40e	36.82e	38.91e	20.83e
	T18	N120	26.84a	66.25a	40.51a	69.90a	28.03c
		N240	22.44d	58.94d	38.08d	39.89d	18.96f
2017—2018	W5	N120	24.34c	62.95c	38.66b	64.90c	46.69a
		N240	20.62f	56.28f	36.64e	37.81f	28.61d
	L4	N120	26.07b	65.89b	39.57ab	69.53b	45.98b
		N240	21.49d	57.45e	37.40d	39.39e	27.61e
	T18	N120	27.39a	68.85a	39.78a	73.04a	43.26c
		N240	22.38c	59.80d	38.42c	41.02d	26.13f

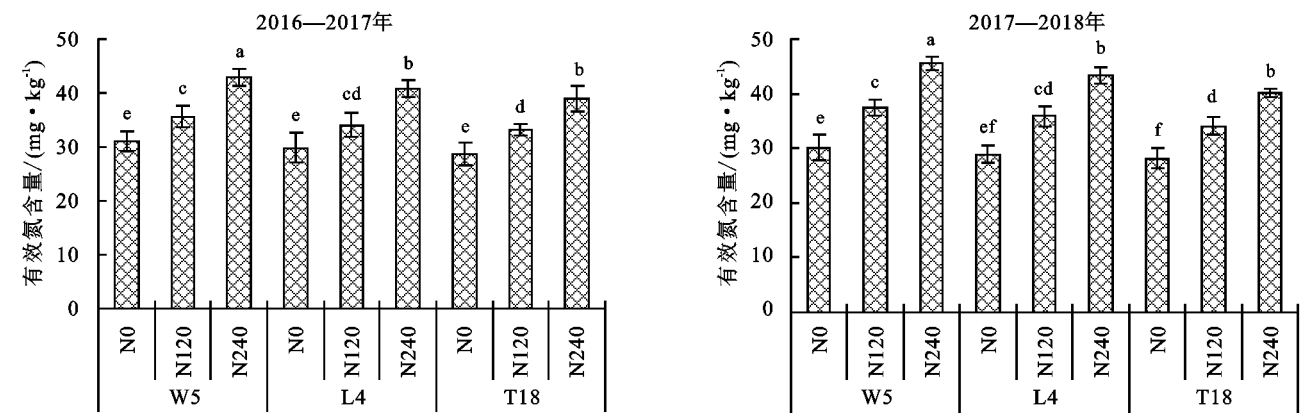


图 2 施氮量对成熟期土壤有效氮含量的影响

3 讨论

3.1 施氮量对小麦开花期旗叶光合色素含量的影响

氮素是构成叶绿体的主要成分^[14],因此,研究施氮量对作物光合作用的影响具有重要意义。叶片中的光合色素含量可直接影响叶片的光合作用,是反映作物光合能力的重要指标^[15]。而小麦旗叶对小麦生长发育后期籽粒产量的形成具有决定性作用,且光合色素含量于小麦开花期达到最大值。郭天财等^[14]、李廷亮等^[16]研究表明,增施氮肥有利于叶片叶绿素的合成,改善作物的光合性能;王贺正等^[17]研究结果显示,在 0~240 kg/hm²范围内增施氮肥可以维持小麦叶片较高的净光合速率;张元帅等^[18]研究表明,增施氮肥使小麦叶片对光的捕获能力增强,提高旗叶叶绿素含量。本研究结果表明,在 0~240 kg/hm²施氮范围内,3 个小麦品种的开花期旗叶叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量均随施氮量的增加而增加,且叶绿素 a 含量在处理间差异达显著水平,与前人研究结果一致。说明增施氮肥可以促进小麦叶片光合色素的合成与积累,增加叶片对光的吸收和捕获能力,促进光合作用,提高光合速率。

3.2 施氮量对小麦干物质积累与转运的影响

小麦干物质生产和积累是其产量形成的基础,花前贮藏的干物质在花后向籽粒的转运和花后干物质生产显著影响小麦产量^[19-20]。李廷亮等^[16]、李朝苏等^[21]研究结果显示,一定范围内增施氮肥可增强小麦的光合能力,增加小麦干物质的积累和转运;胡卫丽等^[22]研究表明,增施氮肥可以调节小麦干物质在各器官中的分配,促进源库关系平衡。本研究结果显示,在 0~240 kg/hm²范围内增施氮肥可以促进小麦营养器官花前贮藏的干物质向籽粒的转运和花后干物质的生产,有利于小麦产量的形成,且花后干物质生产是小麦产量的主要来源,与前人研究结果一致。这可能是由于增施氮肥促进小麦生长,使小麦光合作用加强,从而增加小麦光合产物的积累,并调节其在大麦体内的转运与分配,有利于小麦产量的形成。

3.3 施氮量对小麦产量及其构成因素的影响

小麦产量的形成是穗数、穗粒数和千粒重共同作用的结果。丁锦峰等^[23]研究表明,合理增加氮肥施用量有利于小麦群体的构建,促进产量构成因素的形成,以实现小麦高产;张定一等^[24]认为,小麦穗数、穗粒数和产量均随施氮量的增加而显著增加,千粒重随

之降低,其中,穗数是影响小麦产量的首要因素。本研究结果表明,增施氮肥使小麦分蘖增加,成穗率提高,有利于小麦群体的构建,促进穗数和穗粒数的形成,从而显著提高小麦产量,这与前人研究结果一致。而小麦千粒重则随施氮量的增加表现为先增加后减少,一定程度上阻碍了小麦产量的提高。这可能是由于增施氮肥显著增加了小麦穗数,从而减少了碳、氮在单个籽粒的积累,导致小麦粒重有所降低。本研究中,240 kg/hm²施氮条件下小麦产量最高。

3.4 施氮量对小麦氮素吸收利用的影响

氮素吸收、利用效率可反映作物吸收氮素并转化为籽粒的能力,而氮肥偏生产力和氮肥农学效率是施肥增产效果的综合体现。前人^[25-27]研究表明,小麦氮素表观利用率、氮肥农学利用效率和氮肥偏生产力等均随施氮量的增加而降低。本研究结果显示,小麦的氮素利用率、氮素吸收效率、氮素利用效率、氮肥偏生产力及氮肥农学利用效率均随施氮量的增加而显著降低,说明增施氮肥降低了小麦吸收氮素并转化为籽粒的能力,施氮量增加,小麦产量对氮肥的响应度减小,增产效果减小,与前人研究结果一致。这可能是由于施氮量高造成小麦对氮的奢侈吸收和消耗,使小麦体内储存的氮素增多,降低了氮素向籽粒的转运。充足的土壤养分供应是获得小麦高产的重要保障,而土壤有效氮含量的变化也可反映小麦对氮素的吸收、利用情况。杨江波等^[28]研究认为,施氮能够增加土壤中的有效养分,促进橙树对养分的吸收;窦晓静等^[29]、邱淑芬等^[30]研究结果显示,耕层土壤中的氮含量与施氮量成正比。本研究结果表明,增施氮肥可提高土壤有效氮含量,增强土壤供氮能力,满足小麦对氮素的需求,促进小麦对养分的吸收,有利于小麦产量的形成。

3.5 小麦品种差异对其产量及氮素吸收利用的影响

于振文等^[31]研究认为,不同小麦品种对氮肥的响应度不同;前人^[6-11]研究表明,品种对小麦产量和氮素吸收利用有显著影响。本研究结果显示,施氮量相同时,小麦各项指标在 3 个品种间均存在显著性差异,表现为“泰农 18 号”>“临麦 4 号”>“汶农 5 号”。“泰农 18 号”具有更强的氮素吸收和利用能力,从而促进小麦生长,使小麦光合能力加强,增加光合色素和干物质的合成与积累,有利于小麦产量的形成。而“汶农 5 号”小麦的各项指标随施氮量的增加增幅最大,具有较大的增产潜力。

4 结论

增施氮肥可以增加小麦叶片光合色素的合成与积累,促进光合作用,从而提高小麦的干物质积累及其向籽粒的转运;有利于小麦群体的构建,提高穗数、穗粒数,促进产量形成;随着施氮量的增加,小麦对氮肥的响应度减小,氮素吸收、利用效率和氮肥偏生产力、农学效

率显著降低。本研究中,240 kg/hm²为最佳施氮量。

施氮量相同时,品种差异对小麦生长及产量有显著影响。本研究中,小麦单株分蘖数、光合色素含量、干物质积累与转运量、产量、氮素吸收与利用效率均表现为“泰农 18 号”>“临麦 4 号”>“汶农 5 号”,“泰农 18 号”具有更强的氮素吸收、利用能力,而“汶农 5 号”对氮素最为敏感,具有较大的增产潜力,可为鲁中地区小麦选育栽培提供依据。

参考文献:

- [1] Roxana S, Victor O S, Gustavo A S. Benchmarking nitrogen utilisation efficiency in wheat for Mediterranean and non-Mediterranean European regions[J]. Field Crops Research, 2019, 241: 107573.
- [2] Lidiya M, Orest F, Valeriy P, et al. Nitrogen balance of crop production in Ukraine[J]. Journal of Environmental Management, 2019, 246: 860-867.
- [3] Lassaletta L, Billen G, Garnier J, et al. Nitrogen use in the global food system: Past trends and future trajectories of agronomic performance, pollution, trade, and dietary demand [J]. Environmental Research Letters, 2016, 11(9): 095007.
- [4] 李健敏, 赵庚星, 李涛, 等. 山东省小麦施肥特征与评价[J]. 中国农业科学, 2018, 51(12): 2322-2335.
- [5] 杜腾飞. 山东省耕地功能时空格局与分区研究[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2019.
- [6] Barraclough P B, Howarth J R, Jones J, et al. Nitrogen efficiency of wheat: Genotypic and environmental variation and prospects for improvement[J]. European Journal of Agronomy, 2010, 33(1): 1-11.
- [7] Büchi L, Charles R, Schneider D, et al. Performance of eleven winter wheat varieties in a long term experiment on mineral nitrogen and organic fertilisation[J]. Field Crops Research, 2016, 191: 111-122.
- [8] 李瑞珂, 汪洋, 安志超, 等. 不同产量类型小麦品种的干物质和氮素积累转运特征[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(11): 1359-1364.
- [9] 姜瑛, 戚秀秀, 李祥剑, 等. 不同小麦品种的氮素利用特性研究[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(6): 702-708.
- [10] 张美微, 谢旭东, 王晨阳, 等. 不同生态条件下品种和施氮量对冬小麦产量及氮肥利用效率的影响[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(10): 1362-1368.
- [11] 熊淑萍, 张娟娟, 杨阳, 等. 不同冬小麦品种在 3 种质地土壤中氮代谢特征及利用效率分析[J]. 植物生态学报, 2013, 37(7): 601-610.
- [12] 王昌秀, 吴复学, 石玉, 等. 测墒补灌条件下施氮量对小麦叶绿素荧光特性及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(8): 1072-1077.
- [13] 王晓婧. 不同小麦品种氮素吸收利用特性和品质差异分析[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2017.
- [14] 郭天财, 冯伟, 赵会杰, 等. 两种穗型冬小麦品种旗叶光合特性及氮素调控效应[J]. 作物学报, 2004, 30(2):

- 115-121.
- [15] 宋晓.不同施氮水平对两种穗型冬小麦品种氮素吸收利用和产量的影响[D].郑州:河南农业大学,2007.
- [16] 李廷亮,谢英荷,洪坚平,等.施氮量对晋南旱地冬小麦光合特性、产量及氮素利用的影响[J].作物学报,2013,39(4):704-711.
- [17] 王贺正,张均,吴金芝,等.不同氮素水平对小麦旗叶生理特性和产量的影响[J].草业学报,2013,22(4):69-75.
- [18] 张元帅,冯伟,张海艳,等.遮阴和施氮对冬小麦旗叶光合特性及产量的影响[J].中国生态农业学报,2016,24(9):1177-1184.
- [19] Arduini I, Masoni A, Ercoli L, et al. Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate[J].European Journal of Agronomy,2006,25(4):309-318.
- [20] 谢迎新,刘超,朱云集,等.氮、硫配施对冬小麦氮素利用效率及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(1):64-71.
- [21] 李朝苏,汤永禄,吴春,等.施氮量对四川盆地小麦生长及灌浆的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(4):873-883.
- [22] 胡卫丽,王永华,李刘霞,等.氮密调控对两种穗型冬小麦品种茎秆干物质积累与转运的影响[J].麦类作物学报,2014,34(6):808-815.
- [23] 丁锦峰,乐韬,李福建,等.耕作方式和施氮量对稻茬小麦产量构成和群体质量的影响[J].中国农学通报,2019,35(5):93-99.
- [24] 张定一,党建友,王姣爱,等.施氮量对不同品质类型小麦产量、品质和旗叶光合作用的调节效应[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):535-542.
- [25] 吴培金,闫素辉,张从宇,等.应用¹⁵N分析施氮量对弱筋小麦氮素吸收利用与产量的影响[J].中国土壤与肥料,2019(4):121-126.
- [26] 宁东峰,李志杰,孙文彦,等.限水灌溉下施氮量对冬小麦产量、氮素利用及氮平衡的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(6):1312-1318.
- [27] 张娜,仵妮平,徐文修,等.不同施氮水平对滴灌冬小麦干物质生产及产量的影响[J].中国农学通报,2015,31(33):21-26.
- [28] 杨江波,张绩,李俊杰,等.三峡重庆库区施氮水平对塔罗科血橙树体养分、产量品质及土壤理化性质的影响[J].中国农业科学,2019,52(5):893-908.
- [29] 窦晓静,张彦红,耿庆龙,等.施氮量对春小麦生长及土壤养分积累的影响[J].新疆农业科学,2017,54(7):1191-1199.
- [30] 邱淑芬,朱荣松,李勇,等.不同施肥处理对小麦产量及土壤养分的影响[J].江西农业学报,2013,25(4):72-75.
- [31] 于振文,潘庆民,姜东,等.9 000 kg/公顷小麦施氮量与生理特性分析[J].作物学报,2003,29(1):37-43.
- (上接第240页)
- [5] 关维刚.旱地不同覆盖方式下土壤氮素矿化特性研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [6] Zhong Y Q W, Shangguan Z P. Water consumption characteristics and water use efficiency of winter wheat under long-term nitrogen fertilization regimes in North-west China[J].PLoS One,2014,9(6):e98850.
- [7] 李芳林,郝明德,杨晓,等.黄土旱塬施肥对土壤水分和冬小麦产量的影响[J].麦类作物学报,2010,30(1):154-157.
- [8] 魏孝荣,郝明德,张春霞.旱地长期施肥对土壤水分的影响[J].水土保持研究,2003,10(1):95-97.
- [9] 巨兆强,刘小京.干旱盐碱区耕作方式改变对土壤性状和作物产量的影响[J].河北农业科学,2012,16(7):6-10.
- [10] 李波,张凌一,魏新光,等.滴灌施肥条件下不同施氮模式对玉米生长和产量的影响[J].中国农村水利水电,2017(2):14-18.
- [11] 王兵.黄土高原旱地农田长期施肥条件下水碳氮耦合及水分生态效应[D].陕西 杨凌:中国科学院水利部水土保持研究所(中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心),2008.
- [12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [13] 吴得峰,崔全红,王军尚.黄土旱塬施氮模式对春玉米产量和水肥利用效率的影响[J].西部大开发(土地开发工程研究),2017,2(11):47-54.
- [14] 郭胜利,吴金水,郝明德,等.长期施肥对NO₃⁻-N深层积累和土壤剖面中水分分布的影响[J].应用生态学报,2003,14(1):75-78.
- [15] 高洪军,朱平,彭畅,等.不同施肥方式对东北春玉米农田土壤水热特征的影响[J].水土保持学报,2015,29(4):195-200.
- [16] 韩云良,胡迎春,张宁宁,等.覆膜时期和方式对黄土高原春玉米耗水特性和产量的影响[J].西北农业学报,2018,27(3):362-371.
- [17] 张国强,王克如,肖春华,等.滴灌量对新疆高产春玉米产量和水分利用效率的影响研究[J].玉米科学,2015,23(4):117-123.
- [18] 刘芬,王小英,赵业婷,等.渭北旱塬土壤养分时空变异与养分平衡研究[J].农业机械学报,2015,46(2):110-119.
- [19] 朱兆良,金继运.保障我国粮食安全的肥料问题[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.
- [20] 宋娜,王凤新,杨晨飞,等.水氮耦合对膜下滴灌马铃薯产量、品质及水分利用的影响[J].农业工程学报,2013,29(13):98-105.
- [21] 张建军,樊廷录,党翼,等.覆膜时期与施氮量对旱地玉米土壤耗水特征及产量的影响[J].水土保持学报,2018,32(6):72-78.