

严银花,祁静玉,罗雪梅,等.不同供氮水平下滴灌春小麦根系生理特性的变化[J].江苏农业科学,2020,48(1):89-96.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.01.016

不同供氮水平下滴灌春小麦根系生理特性的变化

严银花,祁静玉,罗雪梅,李彦旬,蒋桂英

(石河子大学农学院,新疆石河子 832000)

摘要:为探明滴灌春小麦根系生理特征对氮肥的响应及其与产量、氮肥利用间的关系,从而为滴灌小麦高产高效栽培提供理论依据,采用大田试验,研究了 5 个施纯氮 N1 (300 kg/hm²)、N2 (275 kg/hm²)、N3 (250 kg/hm²)、N4 (225 kg/hm²)、N5 (0 kg/hm²,对照) 水平下小麦根系生理特性的差异及其与产量的关系。结果表明,不同供氮水平下新春 31 号 N2 处理(275 kg/hm²),新春 6 号 N3 处理(250 kg/hm²) 根系生理特性表现最佳,且新春 6 号根系生理特征表现较好,其开花期根系 POD 活性、GS 活性、NS 活性和拔节期根系活力比新春 31 号分别提高了 0.22%、6.15%、16.12%、8.08%,而新春 31 号开花期根系 MDA 含量较新春 6 号提高了 6.94%。新春 31 号施氮量(275 kg/hm²) 和新春 6 号施氮量(250 kg/hm²) 虽不是最高却在一定程度上获得了较高的氮肥农学利用效率。对根系生理特性与产量进一步分析表明,供氮量由 225 kg/hm² 增加至 275 kg/hm² 时,籽粒产量和氮肥农学利用效率皆会随供氮量的增加有所提高,然而,当供氮量是 300 kg/hm² 时,产量和氮肥农学利用效率并没有明显的提升。因此,综合小麦根系的生理指标和产量关系得出最适氮肥施用量为 250~275 kg/hm²,可达到高产与节肥目的,这一模式也体现了滴灌技术节肥高产的优越性。

关键词:供氮水平;滴灌;春小麦;根系生理特征;产量

中图分类号: S512.1⁺20.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)01-0089-08

氮是作物生长发育所必需的元素,在提高作物产量和改良品质方面充当着极为重要的角色,作物生产中氮肥的用量占肥料施用总量的 60% 左右,我国氮肥利用率仅有 30%~40%,而世界平均水平达到了 40%~60%,氮肥利用效率低,造成生产成本增加和环境污染的问题^[1-3]。2008 年以来,麦田滴灌技术因其节水、增产、省工等优势在新疆麦区得到迅速推广,滴灌小麦种植使得氮肥随水滴施,利用效率提升,但在栽培中仍然秉承着多施用肥料可得高产的观念,滴灌春小麦生育期施氮量一般在 300 kg/hm² 左右^[4-5],甚至滴灌冬小麦生育期施氮量高达 360 kg/hm²^[6],远高于长江中下游麦区的 230 kg/hm²^[7]。因而合理的氮肥供给有利于产量和利用率同步提高。

根系会影响氮素的吸收能力,其吸收能力是小麦氮代谢的基础,直接关系到地上部分氮素的同

化、运转以及氨基酸和蛋白质等的合成,小麦对氮素的吸收和利用作用与根系有较大的关联^[8]。KAUR 等的研究结果表明,硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶的活性与小麦氮素利用效率有着极为紧密的关联^[9]。王小纯等研究认为,氮高效基因型小麦会由于较高的谷氨酰胺合成酶(GS)活性进而促进植株对氮素的吸收作用与同化作用以及整个氮代谢过程,使得氮素利用效率获得提升,且吸氮作用强的水稻体现为根系抗氧化本领强^[10-11]。田中伟认为如今的小麦品种根系活力要强于以前的品种,同时根系有关酶活性有明显的提高,而丙二醛(MDA)含量明显降低,表明改进的品种提高了根系抗氧化能力,减缓了根系衰老的速度^[12]。因此,可通过改良品种或栽培措施等方法来减慢根系衰老、提高根系生理活性进而提高小麦的产量^[13-14]。

优良的根系生理活性是氮高效运用的关键因素,氮素供给程度对根系氮素吸收利用形成间接或直接的作用^[15]。熊淑萍探究发现正常的供氮水平与适当降低供氮量相比,小麦根系活力、根系生物量、氮肥利用效率均会有所提高;增加供氮量,根系活力和产量均显著升高,而根冠比和氮肥生理利用率降低^[16]。氮素亏缺影响冬小麦根系发育,不同阶

收稿日期:2019-01-10

基金项目:国家自然科学基金(编号:31760346)。

作者简介:严银花(1996—),女,甘肃武威人,主要从事作物生理生态研究。E-mail:1761858004@qq.com。

通信作者:蒋桂英,博士,教授,主要从事农田生态环境与作物生理生态研究。E-mail:jgy67@126.com。

段氮素亏缺根系活力和产量明显减小^[17]。目前,关于不同施氮量对滴灌小麦地上部生长发育^[18-19]、根系形态^[17,19]和根系活力^[20]的影响已有较多报道,但鲜见低氮胁迫下滴灌小麦根系氮代谢关键酶活性和根系抗氧化能力变化的研究,且很少有研究综合考虑小麦根系的生理特征与生物产量和氮肥利用率之间的关系。本研究通过选出 2 种不同的春小麦品种,在不同供氮水平下,分析滴灌春小麦根系氮代谢相关酶活性、根系抗氧化特性和根系活力的变化及其对氮肥的响应程度,以期为探明低氮栽培下增加春小麦产量和高效栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于 2017 年在石河子大学农学院试验站(地理坐标为 44°20'N,88°3'E)进行。土壤为沙壤土,0~40 cm 土层有机质含量 28.4 g/kg,全氮含量 1.3 g/kg,碱解氮含量 71.3 mg/kg,速效磷含量 15.2 mg/kg,速效钾含量 159 mg/kg,土壤容重 1.31 g/cm³、pH 值 7.5。

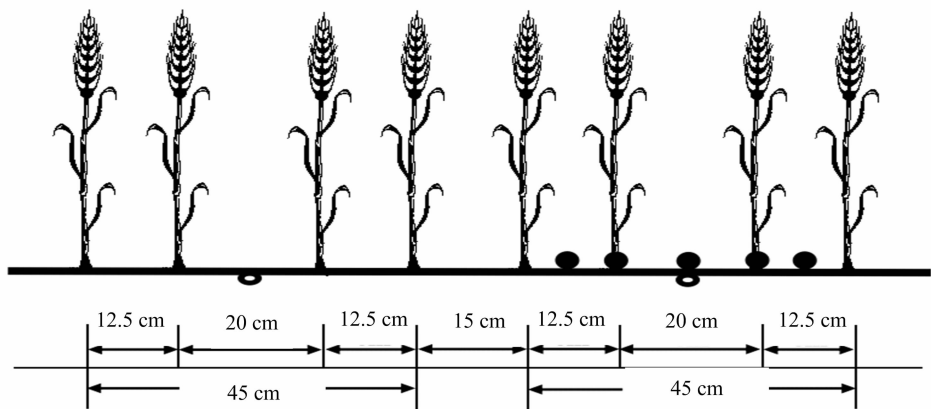
试验采用裂区设计,主区为氮素处理,副区为品种处理。生育期追施氮量(纯氮)设 5 个水平:N1(300 kg/hm²)、N2(275 kg/hm²)、N3(250 kg/hm²)、N4(225 kg/hm²)、N5(0 kg/hm²,对照),品种为春小麦新春 31 号和新春 6 号。3 次重复,小区面积为 12 m²(3 m×4 m),各小区之间埋置 100 cm 深的防渗膜,防止肥料外移,试验地总面积 360 m²。宽窄

行种植,行距 12.5 cm+20 cm+12.5 cm+15 cm,播量 345 kg/hm²。其中,生育期间灌水、施肥的时间和比例均按以下要求进行。不同处理整个生育期的灌水比例分别为 2 叶 1 心期、分蘖期各滴水 10%,拔节期(5 叶龄,6 叶龄)各 15% 和 20%,孕穗期 20%,抽穗扬花期 10%,乳熟初期灌水 10%,乳熟末期灌水 5%;施肥采取分次追肥,分别在 2 叶 1 心期和分蘖期各施 10%,拔节期(5 叶龄,6 叶龄)各施 20%,孕穗期施 20%,抽穗扬花期施 15%,乳熟期施 5%。各处理均施 P₂O₅ 120 kg/hm²、K₂O 36 kg/hm² 和纯氮的 20% 做基肥,剩余的 80% 纯氮随水滴施。

滴灌带配置采用“一管四行”,即每条滴灌带灌溉 4 行小麦,滴灌带放置在 20 cm 的宽行。滴灌管系北京绿源公司生产的内径 15 mm 内镶式滴灌带,设计滴头流量 2.7 L/h,水表精确控制每次灌溉量,全生育期灌水 6 000 m³/hm²,整个生育期灌水为 9 次,施肥 7 次,其他各项管理与大田生产相同。

1.2 供试根系采集及预处理

分别于拔节、开花、灌浆和成熟期用根钻采集小麦根系,土钻内径 5.5 cm、高度 20 cm。考虑到滴灌带的放置,每个处理采集 5 个点,其中,2 个点在种植行上,3 个点在行间(图 1),采集深度为 80 cm,每 20 cm 为 1 个土层,按不同土层清洗根系,去杂后用冰袋保存迅速带回实验室,迅速放入液氮中速冻,于 -40 ℃ 冰箱保存,用于根系酶活性或活力的测定。



●:滴灌带;●:取样点
图1 根系采样田间示意

1.3 测定项目与方法

1.3.1 根系氮代谢酶活性的测定 分别于拔节、开花、灌浆和成熟期测定根系硝酸还原酶(NR)和谷

氨酰胺合成酶(GS)活性,采用 Rajasekhar 等的方法^[21]测定 NR 活性,采用 Zhang 等的方法^[22]测定 GS 活性。

1.3.2 根系抗氧化特性的测定 分别于拔节、开花、灌浆和成熟期取根系样品于液氮中速冻保存,用于 MDA 含量和超氧化物歧化酶(POD)活性的测定。按 Tan 等描述的方法^[23]测定根系 MDA 含量和 POD 活性。

1.3.3 根系活力的测定 分别于拔节、开花、灌浆和成熟期从各处理根尖处取 5 cm,采用改良 TTC 还原法^[23]测定根系活力。

1.3.4 产量和氮素利用效率测定 于成熟期取 1 m² 样段,人工收割,人工脱粒,自然晒干后称质量,实收计产。并取 20 个麦株测定千粒质量,晾晒至籽粒含水量为 14% 时测定籽粒产量。

氮肥农学利用效率 = (施氮处理小麦产量 - 不施氮处理小麦产量) / 施氮量^[24]。

1.4 数据处理

使用 SPSS 19.0 软件进行相关分析,方差分析(ANOVA)采用邓肯氏新复极差检验法(DMRT),0.05 水平下检验差异。Sigma Plot 12.5 作图。

2 结果与分析

2.1 根系氮代谢酶活性的变化

2.1.1 根系 NR 活性的变化

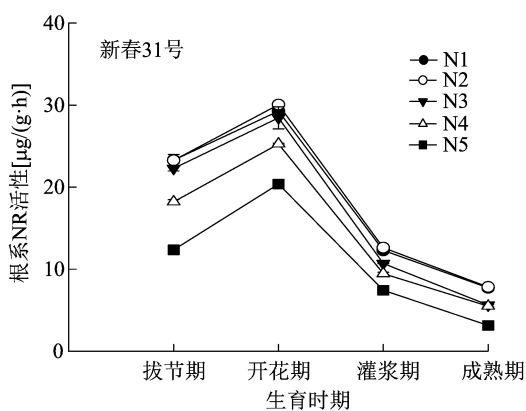
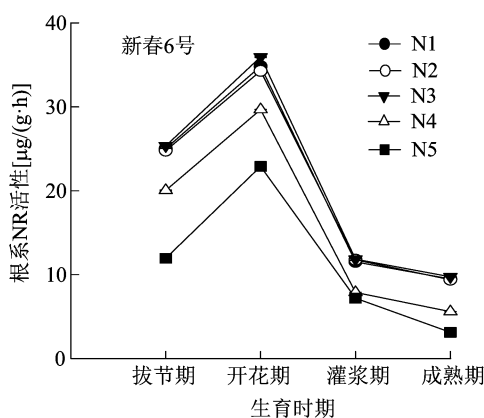


图2 不同供氮水平下滴灌春小麦根系NR活性的变化

2.1.2 根系 GS 活性的变化 由图 3 可见,小麦根系 GS 活性的变动与 NR 活性的变化趋势一致,随生育时期推动呈先增加后减少的变化,开花期达到最大值,且 2 个春小麦品种均呈现出对照最低。不同供氮水平下新春 31 号根系 GS 活性与 NR 活性变化趋势相同,在开花期 N2 处理 GS 活性比 N5 处理、N4 处理、N3 处理、N1 处理分别高 27.13%、11.75%、7.06%、3.55%,且 N2 处理与 N1 处理之间无显著差异,与 N3 处理、N4 处理、N5 处理之间有

系 NR 活性随着生育时期推进呈先增加后减少的趋势,开花期达到最大值,且 2 个春小麦品种均表现为对照最低。不同供氮水平下新春 31 号根系 NR 活性表现为 N2 处理最高,N1 处理次之,其次分别是 N3 处理、N4 处理和 N5 处理,在开花期 N2 处理根系 NR 比 N5 处理、N4 处理、N3 处理、N1 处理分别高 40.8%、17.24%、7.62%、0.65%,且 N2 处理与 N1 处理之间无显著差别,但与 N3 处理、N4 处理、N5 处理之间有显著差别($P < 0.05$)。新春 6 号根系 NR 活性表现为 N3 处理 > N1 处理 > N2 处理 > N4 处理 > N5 处理,在开花期 N5 处理、N4 处理、N2 处理、N1 处理下 NR 分别比 N3 处理高 48.68%、20.18%、0.66%、0.70%,且 N3 处理与 N1 处理、N2 处理之间无显著差别,与 N4 处理、N5 处理之间达到显著差异($P < 0.05$)。在施氮量 250 ~ 300 kg/hm² 区间内增加氮肥的用量对 NR 活性影响不明显,且开花期新春 6 号 N3 处理根系 NR 活性比新春 31 号 N2 处理高 16.12%。表明恰当地减施氮肥对于提高小麦生育中后期根系 NR 活性有积极作用,从而能够在小麦籽粒蛋白的合成和积累过程中起到主要作用,进而增加小麦的产量。



显著差异($P < 0.05$)。根系 GS 活性与产量的关系是 $y = -121\,089x^2 + 157\,614x - 44\,148$, $r^2 = 0.99^*$ 。新春 6 号的根系 GS 活性呈现为 N3 处理 > N1 处理 > N2 处理 > N4 处理 > N5 处理,在开花期 GS 活性 N3 处理比 N5 处理、N4 处理、N2 处理、N1 处理分别高 35.3%、14.26%、2.09%、8.01%,且 N3 处理与 N1 处理、N2 处理之间差别不显著,与 N4 处理、N5 处理之间有显著差异($P < 0.05$)。根系 GS 活性与产量的关系是 $y = -45\,797x^2 + 69\,647x - 18\,953$,

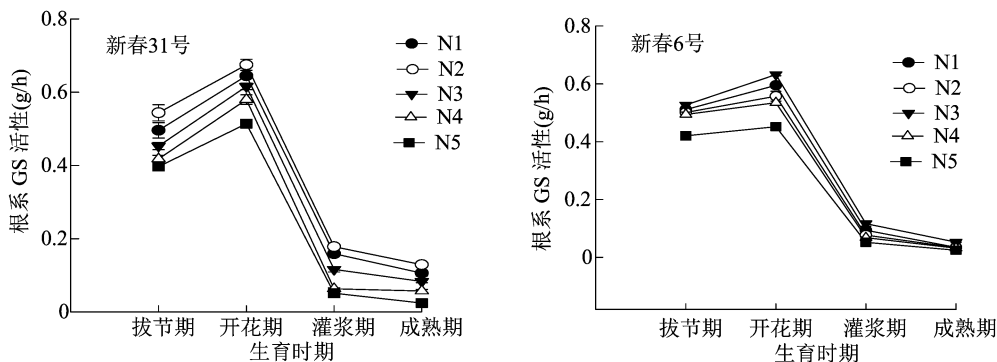


图3 不同供氮水平下滴灌春小麦根系GS活性的变化

$r^2 = 0.98^*$ 。表明在施氮量 $250 \sim 300 \text{ kg/hm}^2$ 下, 增施氮肥对 GS 活性影响不明显, 且开花期新春 6 号 N3 处理下根系的 GS 活性比新春 31 号在 N2 处理下高 6.15%。

2.2 根系抗氧化特性的变化

2.2.1 根系 POD 活性的变化 由图 4 可知, 小麦根系的 POD 活性随着生育期推进呈先增加后逐渐下降的趋势, 2 个春小麦品种均在开花期达到峰值, 且 N5 处理(对照)明显低于其他处理。不同供氮水平下新春 31 号 POD 活性表现为 N2 处理 > N1 处理 > N3 处理 > N4 处理 > N5 处理, 开花期 N2 处理 POD 活性比 N5 处理、N4 处理、N3 处理、N1 处理分别高 31.83%、13.81%、8.52%、0.58%, 且 N2 处理与 N1 处理之间无显著差异, 与 N3 处理、N4 处理、N5

处理之间有显著差异 ($P < 0.05$)。新春 31 号根系 POD 活性与产量的关系是 $y = -1.3399x^2 + 471x - 34221$, $r^2 = 0.99^*$ 。新春 6 号 POD 活性为 N3 处理 > N1 处理 > N2 处理 > N4 处理 > N5 处理, 开花期 N3 处理比 N5 处理、N4 处理、N2 处理、N1 处理 POD 活性分别低 22.96%、10.49%、1.41%、2.13%, 且 N3 处理与 N1 处理、N2 处理之间差别不显著, 与 N4 处理、N5 处理之间差异显著 ($P < 0.05$)。新春 6 号根系 POD 活性与产量的关系是 $y = -1.334x^2 + 496.79x - 38894$, $r^2 = 0.96^*$ 。表明在施氮量 $250 \sim 300 \text{ kg/hm}^2$ 下, 增加氮肥用量对 POD 活性影响不明显, 且开花期新春 6 号 N3 处理根系 POD 活性比新春 31 号 N2 处理高 0.22%。证明适当地减氮减慢了根系的衰老。

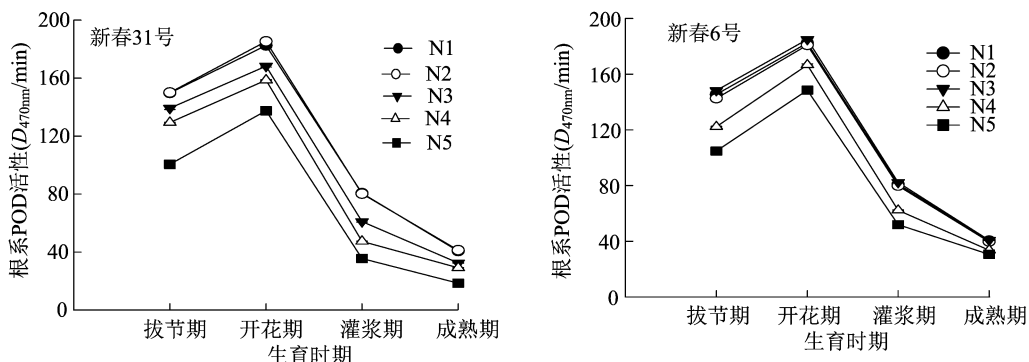


图4 不同供氮水平下滴灌春小麦根系 POD 活性的变化

2.2.2 根系 MDA 含量的变化 由图 5 可见, 小麦根系 MDA 含量在拔节期至开花期增长平缓, 开花后快速增长, 到成熟期达到最大, 且随着施氮量的增多, MDA 含量并没呈规律性的变化, 新春 31 号 N2 处理和新春 6 号 N3 处理 MDA 含量明显低于其他处理。不同供氮水平下新春 31 号根系 MDA 含量表现为 N5 处理最高, N4 处理次之, 其次分别是 N3

处理和 N1 处理, N2 处理 MDA 含量最低, 比 N5 处理、N4 处理、N3 处理、N1 处理分别低 16.80%、2.11%、1.21%、1.67%, N2 处理与 N1 处理之间无显著差异, 与 N3 处理、N4 处理、N5 处理之间有显著差异 ($P < 0.05$)。新春 31 号根系 MDA 含量与产量的关系是 $y = -1393.9x^2 + 8711.5x - 6198.6$, $r^2 = 0.99^{**}$ 。新春 6 号根系 MDA 含量 N5 处理比其他

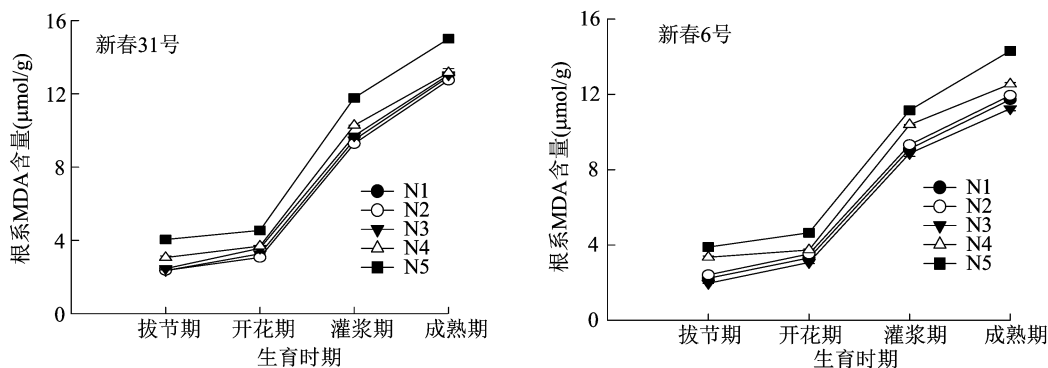


图5 不同供氮水平下滴灌春小麦根系 MDA 含量的变化

处理高, N3 处理 MDA 含量最低, N3 处理在开花期分别比 N5 处理、N4 处理、N2 处理、N1 处理低 32.12%、10.66%、0.98%、1.46%, 且 N3 处理与 N1 处理、N2 处理之间差异不显著, 与 N4 处理、N5 处理之间有显著差异 ($P < 0.05$)。新春 6 号根系 MDA 含量与产量的关系是 $y = -70.82x^2 - 492.66x + 9800.2$, $r^2 = 0.96^{**}$ 。说明施氮量在 250 ~ 300 kg/hm² 下, 增加氮肥用量会降低小麦根系 MDA 含量, 且开花期新春 6 号 N3 处理根系 MDA 含量比新春 31 号 N2 处理低 6.94%。

2.3 根系活力的变化

由图 6 可见, 2 个春小麦品种的根系活力在不同的供氮情况下变化情况相同, 拔节期时最大, 至开花期开始缓慢下降, 之后迅速下降, 且随着供氮量的增多, 根系活力逐步升高。不同供氮水平下新春 31 号根系活力表现为 N2 处理最强, 其次分别是 N1 处理、N3 处理、N4 处理, N5 处理最弱, 拔节期

N2 处理比 N1 处理高 0.37%, N2 处理与 N1 处理之间无显著差异, 比 N5 处理、N4 处理、N3 处理分别高 56.34%、8.98%、7.03%, 与 N3 处理、N4 处理、N5 处理之间有显著差异 ($P < 0.05$)。根系活力与产量的关系是 $y = 15.286x + 2503.5$, $r^2 = 0.95^{**}$ 。新春 6 号根系活力表现为 N3 处理最强, 其次是 N2 处理, N1 处理比 N4 处理高, N5 处理最低, 拔节期 N3 处理比 N5 处理、N4 处理、N2 处理、N1 处理分别高 52.41%、8.67%、0.47%、0.72%, 且 N3 处理与 N1 处理、N2 处理之间在各个时期差别不明显, 与 N4 处理和 N5 处理之间在各时期有显著差异 ($P < 0.05$)。根系活力与产量的关系是 $y = 14.873x + 2388.7$, $r^2 = 0.96^{**}$ 。说明在各种供氮水平下, 2 个品种小麦根系活力均以新春 6 号高于新春 31 号。拔节期新春 6 号 N3 处理根系活力比新春 31 号 N2 处理高 8.08%。

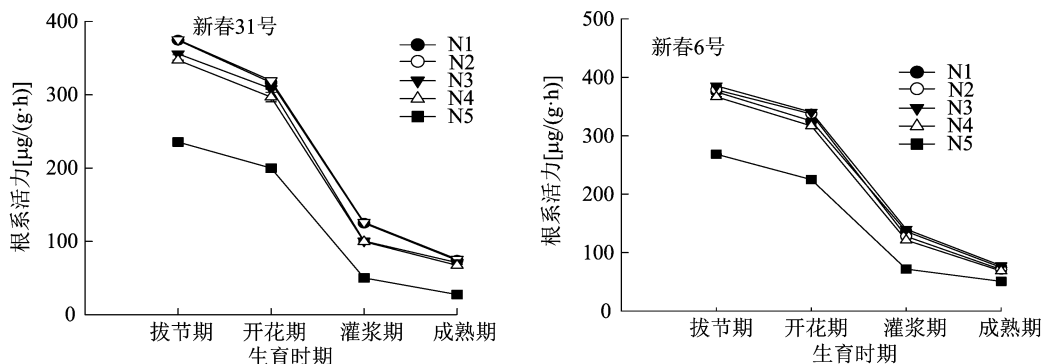


图6 不同供氮水平下滴灌春小麦根系活力的变化

2.4 产量和氮素利用率的变化

由表 1 可知, 2 个小麦品种均是 N1 处理施氮量最大, 氮肥农学利用效率却较 N2 处理和 N3 处理低, 说明较高的施氮量既浪费肥料, 还对产量造成

负面影响。同时表明, 2 个品种施氮量过高 (N1) 时, 虽然也可获得较高产量但导致较低的氮素利用率, 新春 31 号 N2 处理和新春 6 号 N3 处理施氮量虽不是最高却在一定程度上获得了较高的氮肥农

表 1 不同供氮水平下滴灌春小麦产量和氮肥农学利用率的变化

品种	处理	千粒质量 (g)	籽粒产量 (kg/hm ²)	氮肥农学利用效率 (kg/kg)
新春 31 号	N1	46.80 ± 0.48b	7 831.6 ± 326.10ab	0.23b
	N2	47.23 ± 1.07a	8 259.3 ± 16.34a	0.27a
	N3	46.99 ± 0.06ab	8 037.8 ± 110.42a	0.25ab
	N4	46.39 ± 0.75b	7 572.4 ± 69.87b	0.20b
	N5	44.47 ± 0.46c	6 040.0 ± 203.46c	0.00c
新春 6 号	N1	48.93 ± 1.37ab	7 839.5 ± 49.73b	0.20b
	N2	49.19 ± 0.19a	8 126.8 ± 135.05a	0.23a
	N3	49.00 ± 1.28a	8 270.9 ± 18.97a	0.25a
	N4	48.86 ± 0.77ab	7 736.5 ± 21.14b	0.19b
	N5	47.86 ± 0.42c	6 240.6 ± 67.31c	0.00c

学利用效率。

3 讨论与结论

根系的生理特性对高效吸收和有效利用氮素影响较大,低氮条件下较好的生理活性是氮素被高效吸收利用的重要条件^[25]。施氮量在一定范围内与根系生长呈正相关,施肥过多或过少都会影响根系生长,进而影响地上部的生长^[24]。氮代谢过程中 NR 和 GS 是 2 种重要的酶,其活性在一定水平上反映了植株的营养状况和氮素转运^[26]。本研究发现,不同供氮条件下的新春 31 号和新春 6 号根系中 NR 活性有所差别。新春 31 号根系 NR 活性表现为 N2 处理最高,N1 处理次之,其次分别是 N3 处理、N4 处理、N5 处理,新春 6 号根系 NR 活性呈现为 N3 处理最高,N1 处理次之,其次分别是 N2 处理、N4 处理、N5 处理,可看出供氮量在 N2 处理(275 kg/hm²)基础上增多,反而使小麦根系中硝酸还原酶的活性有一定程度的降低。2 个品种小麦在全部生育期内 NR 活性变化是先增后减,开花期时达到峰值,之后逐渐降低,说明小麦根系中硝酸还原酶的活性反映着小麦衰老的进程,适当增加氮肥施用量,在生长发育过程中能一定程度地延缓小麦根系衰老的发生。本研究发现,不同供氮条件下的新春 31 号和新春 6 号,在各生育期,硝酸还原酶活性和谷氨酰胺酶活性的变化趋势大致相同,在生育进程中均是先增后减的趋势,各处理的峰值皆出现在开花期,且峰值最低均为 N5 处理(对照)。在施氮量 0 ~ 250 kg/hm² 下,小麦根系 NR 和 GS 活性随施氮量增加而有所增强。在低氮处理下小麦根系 NR、GS 活性均明显降低,且开花期新春 6 号 N3 处理(250 kg/hm²)根系 NS 和 GS 活性比新春 31 号 N2

处理(275 kg/hm²)分别高 16.12% 和 6.15%。证明低氮处理下小麦根系 NR、GS 的活性均降低,耐低氮品种的降幅小于不耐低氮品种,即新春 6 号植株体内氮素代谢较旺盛,根系吸收利用氮素的能力较强,低氮胁迫下植株的 NR 和 GS 活性低于供氮正常的植株,随氮素营养水平的提高,NR 和 GS 活性增强,这与前人的研究结果^[27]一致。在施氮量 250 ~ 300 kg/hm² 下,增加氮素对 NR 和 GS 活性没有明显影响,意味着小麦根系 NR、GS 的活性并没有随着供氮水平的增加而增加,新春 6 号施氮量 250 kg/hm²,新春 31 号施氮量 275 kg/hm²,滴灌小麦开花期根系 NR 和 GS 活性表现为最高。2 个小麦品种在统一的供氮条件下,根系的 NR 和 GS 活性存在差别,说明小麦品种不同时,在不同供氮处理下的适应能力也会不同,也说明品种和小麦的生长有所联系。有研究表明,适宜的氮素供应可减轻活性氧对植物根系细胞质膜的伤害,增强根系的抗氧化功能,延缓衰老^[28]。本研究发现,随着生育期的变化,新春 31 号和新春 6 号 2 个小麦品种根系中 POD 活性不断上升,到开花期出现单峰的最高值,开花期之后,根系 POD 活性开始下降,且在开花期新春 31 号 N2 处理(275 kg/hm²),新春 6 号 N3 处理(250 kg/hm²)的根系 POD 活性最大,在施氮量 250 ~ 300 kg/hm² 下,增加氮肥用量对 POD 活性影响不明显,POD 活性并不会随着施氮量的减少而明显下降,可能由于小麦生育后期,根系中起到保护作用的过氧化物酶不断产生,从而减缓了根系的衰老速度。但随着有害氧化物的持续增加,过氧化物保护酶活性也开始降低。小麦根系 MDA 含量在拔节期至开花期增长平缓,开花后迅速增加,到成熟期达到最大值,在施氮量 250 ~ 300 kg/hm² 下,增施

氮肥明显使得根系 MDA 含量下降,且开花期新春 6 号 N3 处理根系 MDA 含量比新春 31 号 N2 处理低 6.94%,表明新春 6 号的根系抗氧化能力更强,根系衰老速度减缓。有研究发现,在一定范围内恰当地施用氮肥能促进根系生长,减缓后期根系生长的速率,进一步提高根系活力^[19]。张玉秋等研究发现施用适量的氮肥能促进玉米根系生长,从而促进地上部的生长发育,推迟玉米衰老^[29]。本试验发现,小麦的根系活力会由于氮素的施用量减少而降低,而适量地增加氮素供给可以增强根系活力。在施氮量 0 ~ 250 kg/hm² 下,随着施氮量的增加滴灌春小麦根系活力逐渐升高,在施氮量 250 ~ 300 kg/hm² 下,增加氮肥施用量对根系活力作用不明显,说明小麦根系活力并不会随着供氮水平的提高而增强,新春 6 号施氮量是 250 kg/hm²,新春 31 号施氮量是 275 kg/hm² 时,滴灌小麦拔节期根系活力最高。2 个小麦品种在较高氮素处理下的根系吸收能力有所差异,新春 6 号的根系活力是新春 31 号的 1.12 倍。拔节期新春 6 号 N3 处理(250 kg/hm²)根系活力比新春 31 号 N2 处理(275 kg/hm²)高 8.08%。说明氮素较多会提高新春 6 号的根系活力,但并不能增加新春 31 号的根系活力,即不同小麦品种间的根系吸收能力存在一定差异。同时说明过高的氮素供应对小麦的根系生长并没有明显的促进作用,反而浪费了资源。因此,在农业生产中应根据不同品种小麦对氮素的不同适应性,合理进行肥料的调控,提高小麦根系活力,使小麦对养分的吸收能力有所提高。

在我国小麦生产过程中氮肥施用过量然而增产效应不显著、较低的氮肥利用率及环境污染等问题仍未改善。因而,在确保小麦产量稳定的基础上,减少氮肥的施用有重要的实践意义。熊淑萍的研究结果表明,与广泛的施氮处理相比,恰当降低氮的供给量,小麦根系生物量、根系活力、氮肥生理利用效率升高;增加供氮量,根系活力和产量均显著升高,而根冠比和氮肥生理利用率降低^[16]。本研究得出,通过施氮可以增加小麦的产量,改善其品质,而不同品种的小麦对不同水平氮肥的表现存在差别。新春 31 号施氮量是 275 kg/hm² 时增产效果最好,而新春 6 号施氮量以 250 kg/hm² 增产效果最好。有研究表明当小麦的施氮量在 225 ~ 260 kg/hm² 时小麦比较容易获得高产,当施氮量高于或低于最适施氮量时均会影响小麦的产量^[30]。

有研究总结出施氮量在 0 ~ 300 kg/hm² 下,施氮量增加产量会逐渐提高^[31]。本研究 2 个小麦品种均是 N1 处理供氮最多,而氮素利用率却比 N2 处理和 N3 处理低,表明较高的施氮量既浪费肥料,还对产量造成负面影响。同时表明,2 个品种施氮量过高(N1)时,虽然也可获得较高产量但导致较低的氮素利用率,新春 31 号施氮量 275 kg/hm² 和新春 6 号施氮量 250 kg/hm² 虽不是最高,却在一定程度上获得了较高的氮素利用率。氮素严重不足(0 kg/hm²)时会使根系生长受到抑制,根系活力下降,根系衰亡提前,从而对养分的吸收造成影响,导致产量降低。

本研究中不同施氮量下,新春 31 号施氮量达到 275 kg/hm²、新春 6 号施氮量达到 250 kg/hm² 时根系生理特性表现最佳。进一步对滴灌春小麦根系生理特征指标与产量进行相关分析,研究表明 NR、GS 的活性和根系活力越强,产量越高,与上述三者不同的是产量随 MDA 含量的升高并非提高,反而有所降低。供氮量由 225 kg/hm² 增加至 275 kg/hm² 时,籽粒产量和氮肥农学利用效率皆会随供氮量的增加有所提高,然而,当供氮量为 300 kg/hm² 时,产量和氮肥农学利用效率并没有明显提升。因此,在考虑到生产成本问题和生态效益的情况下,将氮肥用量从 300 kg/hm² 减少至 250 ~ 275 kg/hm² 将更有利于新春 31 号和新春 6 号的高效生产,也更稳产、安全。新春 31 号和新春 6 号产量的提高,主要与在小麦生长期间提供了适量的氮肥有关。综合小麦根系的生理指标和产量关系得出最适氮肥施用量在 250 ~ 275 kg/hm²,可达到高产与节肥目的,这一模式也体现了滴灌技术节肥高产的优越性。

参考文献:

- [1] Chen X, Cui Z, Zhang F S, et al. Producing more grain with lower environmental costs[J]. Nature, 2014, 514(7523): 486 - 489.
- [2] Hawkesford M J. Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production[J]. Journal of Cereal Science, 2014, 59: 276 - 283.
- [3] 王敬国, 林 杉, 李保国. 氮循环与中国农业氮管理[J]. 中国农业科学, 2016, 49(3): 503 - 517.
- [4] 刘 其, 刁 明, 王江丽, 等. 施氮对滴灌春小麦干物质、氮素积累和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(4): 722 - 726.
- [5] 冉 辉, 蒋桂英, 徐红军, 等. 灌溉频率和施氮量对滴灌春小麦干物质积累及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(3): 379 - 386.

- [6] 梁玉超, 张永强, 石书兵, 等. 施氮量对滴灌冬小麦茎部特征及其抗倒伏性的影响[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(11): 1467 – 1472.
- [7] Tian Z W, Jing Q, Dai T B, et al. Effects of genetic improvements on grain yield and agronomic traits of winter wheat in the Yangtze River Basin of China[J]. Field Crops Res, 2011, 124: 417 – 425.
- [8] Raun W R, Jonnson G V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production[J]. Agronomy Journal, 1999, 91(3): 357 – 363.
- [9] Gurpreet, Bavita A, Bains N S, et al. Nitrogen nutrition, its assimilation and remobilization in diverse wheat genotypes [J]. International Journal of Agriculture & Biology, 2015, 17(3): 531 – 538.
- [10] 王小纯, 王晓航, 熊淑萍, 等. 不同供氮水平下小麦品种的氮效率差异及其氮代谢特征[J]. 中国农业科学, 2015, 48(13): 2569 – 2579.
- [11] 刘宝玉, 徐家宽, 王余龙, 等. 不同生育时期氮素供应水平对杂交水稻根系生长及其活力的影响[J]. 作物学报, 1997, 23(6): 699 – 706.
- [12] 田中伟, 樊永惠, 殷美, 等. 长江中下游小麦品种根系改良特征及其与产量的关系[J]. 作物学报, 2015, 41(4): 613 – 622.
- [13] Tan W N, Liu J P, Dai T B, et al. Alterations in photosynthesis and antioxidant enzyme activity in winter wheat subjected to post-anthesis water – logging[J]. Photosynthetica, 2008, 46: 21 – 27.
- [14] Sgherri C, Quartacci M F, Navari – Izzo F. Early production of activated oxygen species in root apoplast of wheat following copper excess[J]. Plant Physiol, 2007, 164: 1152 – 1160.
- [15] Baligar V C, Fageria N K, He Z L. Nutrient use efficiency in plants [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2001, 32(7/8): 921 – 950.
- [16] 熊淑萍, 吴克远, 王小纯, 等. 不同氮效率基因型小麦根系吸收特性与氮素利用差异的分析[J]. 中国农业科学, 2016, 49(12): 2267 – 2279.
- [17] 薛丽华, 赵连佳, 陈兴武, 等. 不同水氮运筹对滴灌冬小麦根系生长、水分利用及产量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(9): 21 – 31.
- [18] 雷钧杰, 张永强, 赛力汗·赛, 等. 施氮量对滴灌冬小麦干物质积累、分配与转运的影响[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(8): 1078 – 1086.
- [19] 张伟, 李鲁华, 吕新. 不同施氮量对滴灌春小麦根系时空分布、氮素利用率及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2016, 25(2): 195 – 202.
- [20] 王秀波, 上官周平. 干旱胁迫下氮素对不同基因型小麦根系活力和生长的调控[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(6): 820 – 827.
- [21] Rajasekhar V K, Mohr H. Appearance of nitrite in cotyledons of mustard (*Sinapis alba* L.) seedling as affected by nitrate, phytochrome and photooxidative damage of plastids [J]. Planta, 1986, 168: 369 – 376.
- [22] Zhang C F, Peng S B, Bennett J. Glutamine synthetase and its isoforms in rice spikelets and rachis during grain development [J]. Journal of Plant Physiology, 2000, 156: 230 – 233.
- [23] 宋欣欣, 贺德先. 小麦生育后期主茎和分蘖次生根对籽粒产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(2): 281 – 285.
- [24] 陈娟, 马忠明, 吕晓东, 等. 水氮互作对固定道垄作栽培春小麦根系生长及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1511 – 1520.
- [25] 樊剑波, 沈其荣, 谭炯壮, 等. 不同氮效率水稻品种根系生理生态指标的差异[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3052 – 3058.
- [26] 易媛, 董召娣, 朱新开, 等. 减氮对半冬性中筋小麦产量、NUE 及氮代谢关键酶活性的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(2): 365 – 374.
- [27] 王月福, 姜东, 于振文, 等. 氮素水平对小麦籽粒产量和蛋白质含量的影响及其生理基础[J]. 中国农业科学, 2003, 36(5): 513 – 520.
- [28] 李絮花, 杨守祥, 于振文, 等. 有机肥对小麦根系生长及根系衰老进程的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005(4): 467 – 472.
- [29] 张玉秋. 不同氮肥处理对玉米根系主要生理特性及产量的影响[D]. 吉林: 吉林农业大学, 2012.
- [30] 熊又升, 袁家富, 郝福新, 等. 氮肥用量对不同小麦品种产量和品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2009, 28(6): 697 – 700.
- [31] 赵广财, 常旭红, 刘利华, 等. 施氮量对不同强筋小麦产量和加工品质的影响[J]. 作物学报, 2006, (5): 723 – 727.