

李春红,祁静玉,王荣荣,等.滴灌春小麦根系形态特征对氮素胁迫的响应[J].江苏农业科学,2020,48(4):77-84.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.04.012

# 滴灌春小麦根系形态特征对氮素胁迫的响应

李春红,祁静玉,王荣荣,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形态特征对氮肥的响应及其与产量、氮肥利用间的关系,从而为滴灌春小麦高产高效栽培提供理论依据。采用大田试验,研究了 5 个施氮水平(纯氮 0、225、250、275、300 kg/hm<sup>2</sup>)下小麦根系形态特性的差异及其与产量的关系。结果表明,滴灌春小麦根系形态指标中,根长密度、根系体积和根质量随着施氮量的增加呈现先增加后降低的趋势。新春 31 号以 N3(275 kg/hm<sup>2</sup>)开花期根系形态特性表现最优,开花期根干质量密度为 48.3 g/m<sup>3</sup>,根长密度为 3.539 cm/cm<sup>3</sup>;新春 6 号以 N2(250 kg/hm<sup>2</sup>)开花期根系形态特性表现最优,开花期根干质量密度为 49.3 g/m<sup>3</sup>,根长密度为 4.066 cm/cm<sup>3</sup>,根干质量密度、根长密度、根体积较新春 31 号 N3(275 kg/hm<sup>2</sup>)处理分别提高了 2.07%、14.89%、16.69%。根系形态特性与产量相关性研究结果表明,小麦开花期根干质量密度、根体积与产量呈显著正相关。因此,增加小麦根系对低氮的适应性、提高根系生理活性、延缓根系衰老是新疆滴灌春小麦高产高效栽培调控的重要目标。

**关键词:**春小麦;滴灌;根系形态特征;低氮响应

**中图分类号:** S512.107 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)04-0077-08

小麦是新疆重要的粮食作物之一,其生产直接关系到区域粮食安全、经济发展和农民利益。近几年来,麦田滴灌技术因其节水、高效、低耗、增产、省工等优势在新疆麦区迅速得到大面积推广。滴灌春小麦栽培技术通过氮肥随水滴施的方式,提高氮肥农学利用效率,但当地农民为了追求高产,盲目增加氮肥施用量,滴灌春小麦全生育期施氮量一般约 300 kg/hm<sup>2</sup><sup>[1-2]</sup>,甚至滴灌冬小麦全生育期施氮量高达 360 kg/hm<sup>2</sup>,导致氮肥农学利用效率降低<sup>[3]</sup>。大量施用氮肥会导致温室气体排放量的增加、土壤和地下水污染状况加剧、生产成本增加、农民收入减少等一系列后果。因此,在保证作物产量的同时,合理施用氮肥,节约成本,保护生态环境,提高氮肥农学利用效率已成为我国作物高产的关键所在。

根系是植物重要的组成部分,为植物提供了生长必须的养分、水分和能量等物质,其生长状况是影响作物产量高低的关键因素。根系的生长发育不但受遗传因素影响,还受土壤水分和养分等环境

因素的控制,根系的生长发育是在其相互作用下,通过一系列生理生化过程完成的<sup>[4-5]</sup>。根系生长状况的好坏决定作物氮肥农学利用效率的高低。过量施氮条件下,小麦植株体内的氮素积累达到一定程度时,氮肥农学利用效率降低,使地上部分过度生长从而抑制根系发育,最终又反过来影响地上部分生长发育,降低氮肥农学利用效率<sup>[6-7]</sup>;轻度缺氮条件下,作物通过增加根系体积、提高根冠比来提高氮肥农学利用效率<sup>[8-10]</sup>。张定一等研究认为,小麦受到低氮胁迫时,根系的形态特征对作物吸收氮素起到了关键作用<sup>[11]</sup>,且在一定氮素水平范围内,节本稳产高产有利于促进小麦整个生育期内深层土壤的根系分布、根干质量密度和根长密度均明显增加<sup>[12-13]</sup>,根冠比随着施氮水平的降低而逐渐增加<sup>[14-15]</sup>。氮素通过调整根系的形态特征,协调叶片与根系之间的竞争关系,调节根冠比,增源扩库畅流,增加籽粒千粒质量。

滴灌栽培最显著的特征是水肥一体化,即肥料随水运送至作物根系周围,使水肥在土壤中能均匀分布,确保根系高效吸收养分。前人研究发现,在滴灌条件下,当施氮量为 300 kg/hm<sup>2</sup>时,表层根量增加,氮肥农学利用效率最高<sup>[16]</sup>;而氮素亏缺条件下,提高氮肥农学利用效率的同时会降低土壤中的根系数量,从而导致产量下降。目前研究认为,新

收稿日期:2019-01-11

基金项目:国家自然科学基金(编号:31760346)。

作者简介:李春红(1997—),女,新疆阿克苏人,主要从事农田生态环境与作物生理生态研究。E-mail:15700986070@163.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。

疆滴灌春小麦生育期间适宜施氮量为  $300 \text{ kg/hm}^2$  [1-2,16]。因此,本研究在适氮条件下设置不同减氮处理,研究滴灌春小麦根系形态特征变化及其与产量和氮肥农学利用率的相关性,通过不同供氮水平优化春小麦根系分布,为探明滴灌栽培方式下小麦优化氮肥管理,提高氮肥农学利用效率提供理论依据。

## 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 ( $44^{\circ}20'N, 88^{\circ}3'E$ ) 进行。土壤为沙壤土,  $0 \sim 40 \text{ cm}$  土层有机质含量为  $28.4 \text{ g/kg}$ , 全氮含量为  $1.3 \text{ g/kg}$ , 碱解氮含量为  $71.3 \text{ mg/kg}$ , 速效磷含量为  $15.2 \text{ mg/kg}$ , 速效钾含量为  $159 \text{ mg/kg}$ , 土壤容重为  $1.31 \text{ g/cm}^3$ , pH 值为 7.5。

试验采用裂区设计,主区为氮素处理,副区为品种处理。施氮量设 5 个水平:  $N0$  ( $0 \text{ kg/hm}^2$ , 对照)、 $N1$  (生育期追施纯氮  $225 \text{ kg/hm}^2$ , 下同)、 $N2$  ( $250 \text{ kg/hm}^2$ )、 $N3$  ( $2775 \text{ kg/hm}^2$ )、 $N4$  ( $300 \text{ kg/hm}^2$ ), 品种为新春 31 号和新春 6 号。3 次重复, 小区面积为  $3 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ , 各小区之间埋置  $100 \text{ cm}$  深的防渗膜, 防止肥料外移, 试验地总面积为  $360 \text{ m}^2$ 。宽窄行种植, 行距  $12.5 \text{ cm} + 20.0 \text{ cm} + 12.5 \text{ cm} + 15.0 \text{ cm}$ , 播量  $345 \text{ kg/hm}^2$ 。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两叶一心期、分蘖期各分别滴水 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, 分别在两叶一心期和分蘖期各施 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  $P_2O_5$   $120 \text{ kg/hm}^2$ 、 $K_2O$   $36 \text{ kg/hm}^2$  和氮肥的 20% 做基肥, 剩余的 80% 氮肥随水滴施。

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  $20 \text{ cm}$  的宽行。滴灌系统采用北京绿源公司生产的  $\Phi 15$  内镶式滴灌带, 设计滴头流量  $2.7 \text{ L/h}$ , 水表精确控制每次灌溉量, 全生育期灌水  $6000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , 整个生育期灌水为 8 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

分别于拔节期、开花期、灌浆期和成熟期用根钻采集小麦根系, 土钻内径  $5.5 \text{ cm}$ 、高度  $20 \text{ cm}$ 。考虑到滴灌带的放置, 每个处理采集 5 个点, 其中, 2 点在种植上, 3 点在行间 (图 1)。采集深度为  $80 \text{ cm}$ , 每  $20 \text{ cm}$  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,  $-20^{\circ}\text{C}$  保存, 用于根系形态特征的测定。

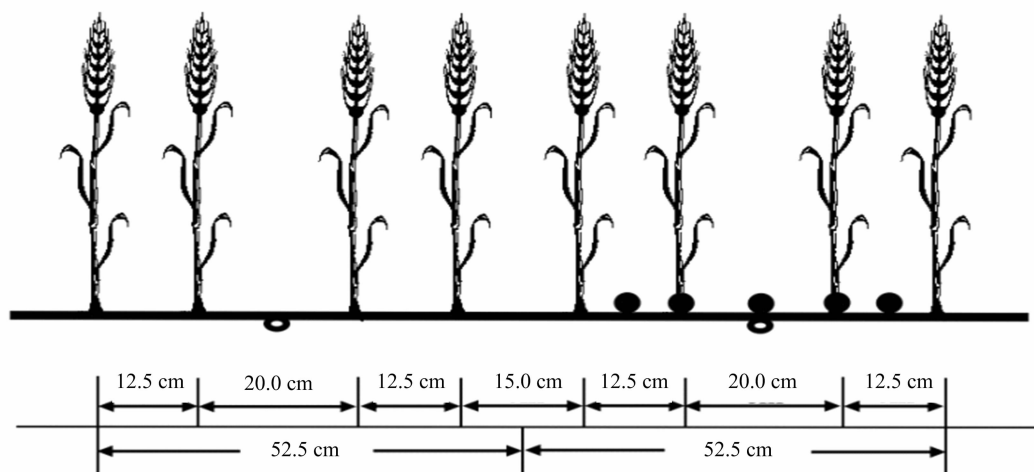


图1 根系采样田间示意

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 根系形态参数的测定 分别在拔节期、扬花期、灌浆期、成熟期将取回的根样摆放于盛满水的透明玻璃盒中, 利用根系专用扫描仪 (Epson V500, USA) 扫描成黑白对照的 TIF 图像文件。扫描好的

TIF 文件用图像分析软件 (Win RHIZO, Canada) 进行解读, 即得到小麦根系的根长、根体积、根直径等相关参数, 计算根长密度 [17]: 根长密度 ( $RLD$ ) ( $\text{cm}/\text{cm}^3$ ) = 根长 ( $\text{cm}$ ) / 根钻体积 ( $\text{cm}^3$ )。

于上述时期将根系于  $105^{\circ}\text{C}$  烘箱杀青  $30 \text{ min}$ ,

于 75 ℃ 烘干至恒量并称量。计算根干质量密度和根冠比<sup>[18]</sup>：

根干质量密度( $RWD$ ) ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) = 根干质量( $\text{g}$ )/根钻体积( $\text{m}^3$ )；

根冠比( $R/S$ ) = 根干质量/对应地上部干质量。

1.3.2 产量测定 于成熟期取 1  $\text{m}^2$  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 株小麦测定千粒质量,晾晒至籽粒含水量为 14% 时测定籽粒产量<sup>[19]</sup>。

#### 1.4 数据处理

方差分析(ANOVA)、相关分析使用 SPSS 19.0 软件,邓肯氏新复极差检验法(DMRT)在 0.05、0.01 水平下检验差异,Origin Pro 8.5 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 根长密度(RLD)的变化

不同供氮水平下滴灌春小麦的根长密度随着生育进程的推进呈现先增加后降低的趋势,开花期达到最大值(图 2)。在开花期内,新春 31 号不同施氮条件下的根长密度分别占各自总根长密度的 33.87% (N0)、37.96% (N1)、38.46% (N2)、38.01% (N3)、39.44% (N4),新春 6 号不同施氮条件下的根长密度分别占各自总根长密度的 34.10% (N0)、40.24% (N1)、40.19% (N2)、40.53% (N3)、36.91% (N4),根长密度在开花期之前呈上升趋势,随后逐渐下降。

表土层(0~20 cm)的根长密度占全根长密度的较大部分,深土层(60~80 cm)仅占极小的一部分。在整个生育期内,新春 31 号 0~20 cm 土层 N0、N1、N2、N3、N4 处理下的根长密度分别为 3.788、3.910、4.097、4.488、4.990  $\text{cm}/\text{cm}^3$ , 20~40 cm 土层 N0、N1、N2、N3、N4 处理下的根长密度分别为 1.988、2.671、2.809、2.898、2.921  $\text{cm}/\text{cm}^3$ , 40~60 cm 土层 N0、N1、N2、N3、N4 处理下的根长密度分别为 1.205、1.475、2.159、1.819、1.194  $\text{cm}/\text{cm}^3$ , 60~80 cm 土层 N0、N1、N2、N3、N4 处理下的根长密度分别为 0.669、0.755、0.773、0.758、0.250  $\text{cm}/\text{cm}^3$ 。各处理下根长密度最大的土层位于表土层(0~20 cm),比亚表土层(20~40 cm)、中土层(40~60 cm)、深土层(60~80 cm)分别高了 37.55%、63.09%、84.94%。在整个生育期内,新春 6 号 0~20 cm 土层 N0、N1、N2、N3、N4 处理下的根长密度分别为 3.282、3.582、4.034、4.147、4.795  $\text{cm}/\text{cm}^3$ ,

20~40 cm 土层 N0、N1、N2、N3、N4 处理下的根长密度分别为 2.186、2.331、2.471、2.486、2.624  $\text{cm}/\text{cm}^3$ , 40~60 cm 土层 N0、N1、N2、N3、N4 处理下的根长密度分别为 1.280、1.392、1.927、1.464、0.922  $\text{cm}/\text{cm}^3$ , 60~80 cm 土层 N0、N1、N2、N3、N4 处理下的根长密度分别为 0.613、0.696、0.729、0.708、0.513  $\text{cm}/\text{cm}^3$ 。各处理下根长密度最大的土层位于表土层(0~20 cm),比亚表土层(20~40 cm)、中土层(40~60 cm)、深土层(60~80 cm)分别高了 39.03%、64.80%、83.57%。随着施氮量的减少,表土层(0~20 cm)和亚表土层(20~40 cm)的根长密度降低,中土层(40~60 cm)和深土层(60~80 cm)先升高后降低。说明一定程度的氮素胁迫导致小麦根系向土壤深处延伸,吸取土壤下层养分来满足自身生长的需求,而高氮条件会使小麦浅根化分布。

不同供氮水平下新春 31 号的平均根长密度表现为 N3 > N4 > N2 > N1 > N0, N3(275  $\text{kg}/\text{hm}^2$ )处理下的平均根长密度在开花期达到最高值,为 3.541  $\text{cm}/\text{cm}^3$ ,分别比 N4、N2、N1、N0 高 0.4%、16.99%、27.3%、77.83%。不同供氮水平下新春 6 号的平均根长密度表现为 N2 > N3 > N4 > N1 > N0, N2(250  $\text{kg}/\text{hm}^2$ )处理下的平均根长密度在开花期达到最高值,为 4.066  $\text{cm}/\text{cm}^3$ ,分别比 N3、N4、N1、N0 高 1.16%、2.21%、14.79%、86.17%。新春 6 号 N2(250  $\text{kg}/\text{hm}^2$ )处理在开花期表现较好,根长密度较新春 31 号 N3(275  $\text{kg}/\text{hm}^2$ )处理提高了 14.89%。

### 2.2 根体积(RV)的变化

不同供氮水平下滴灌春小麦的根体积随着生育进程的推进呈现先增加后降低的趋势,开花期达到最大值。在开花期内,新春 31 号不同施氮条件下的根体积分别占各自总根体积的 33.03% (N0)、35.71% (N1)、33.24% (N2)、33.94% (N3)、33.30% (N4),开花期后根质量逐渐下降,各处理 0~20 cm 是根系体积最大层,其根系体积比 20~40、40~60、60~80 cm 分别高 57.46%、92.91%、97.71%。在开花期内,新春 6 号不同施氮条件下的根体积分别占各自总根体积的 33.82% (N0)、33.41% (N1)、33.01% (N2)、39.72% (N3)、35.54% (N4),开花期后根质量逐渐下降,各处理 0~20 cm 是根系体积最大层,其根系体积比 20~40、40~60、60~80 cm 分别高 58.72%、95.37%、98.16%。不同供氮水平下新春 31 号的平均根体积呈现出 N3 > N4 > N2 > N1 > N0 的趋势,开花期 N3

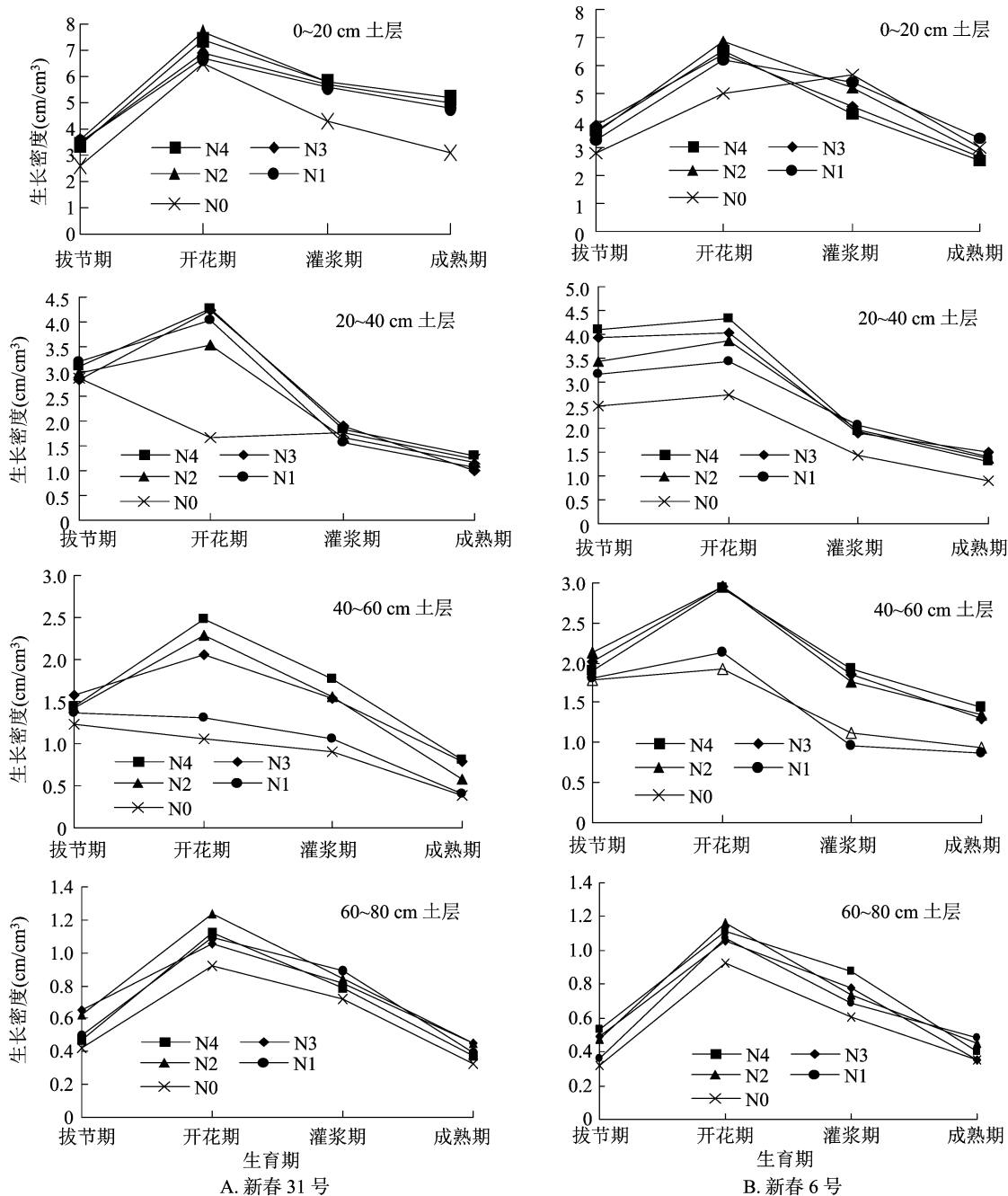


图2 不同供氮水平下滴灌春小麦不同土层根根密度的变化

( $275 \text{ kg/hm}^2$ ) 处理下的平均根系体积比 N0、N1、N2、N4 处理分别高 36.66%、15.09%、8.7%、0.06%。新春 31 号根系体积在 20~40 cm 的土层时开花期变化较大,新春 6 号根系体积在 0~20 cm 的土层时开花期变化较大。新春 6 号平均根系体积为  $N2 > N3 > N4 > N1 > N0$ ,开花期 N2( $250 \text{ kg/hm}^2$ ) 分别比 N0、N1、N3、N4 高 34.53%、21.71%、3.34%、3.84%。新春 6 号 N2( $250 \text{ kg/hm}^2$ ) 处理在开花期表现较好,根系体积较新春 31 号 N3( $275 \text{ kg/hm}^2$ ) 处理提高了 16.69%。

### 2.3 根干质量密度(RWD)的变化

2 个品种不同供氮水平下滴灌春小麦根干质量密度变化趋势一致,自拔节期逐渐增加,至开花期达最大(表 1)。在开花期内,新春 31 号不同施氮条件下的根质量密度分别占各自总根干质量密度的 31.52% (N0)、35.28% (N1)、35.57% (N2)、35.26% (N3)、36.03% (N4),新春 6 号开花期 5 个供氮水平下的根干质量密度分别占各自总根干质量密度的 31.91% (N0)、31.86% (N1)、32.74% (N2)、33.65% (N3)、34.75% (N4)。其中,新春 31

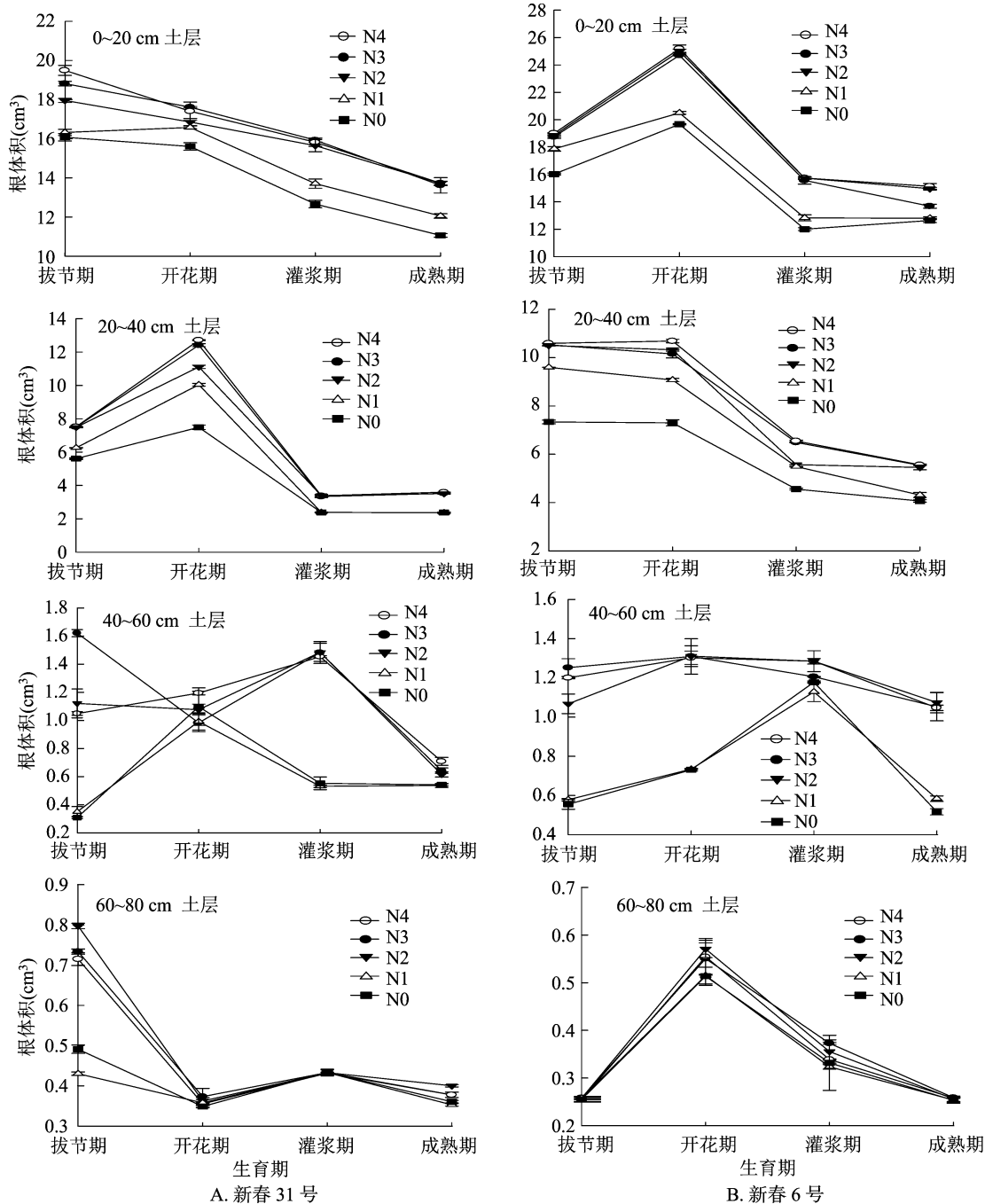


图3 不同供氮水平下滴灌春小麦不同土层根体积的变化

号 N3 根干质量密度表现最佳,比 N0、N1、N2、N4 高 60.47%、24.81%、9.77%、0.4%。新春 6 号 N2 根干质量密度表现最好,比 N0、N1、N3、N4 高 53.11%、21.73%、0.61%、0.82%。2 个品种均表现 300 kg/hm<sup>2</sup> 并没有显著促进根系生长,开花期新春 6 号 N3 处理根干质量密度比新春 31 号 N2 处理高 2.07%。不同供氮水平下新春 31 号和新春 6 号 N1 和 N4 的根冠比表现较好,新春 31 号 N1 (250 kg/hm<sup>2</sup>) 与 N4 的根冠比相似,比 N0、N2、N3

分别高 27.19%、15.08%、7.01%,新春 6 号 N1 (250 kg/hm<sup>2</sup>) 与 N3 和 N4 的根冠比相似,比 N0、N2 分别高 20.16%、7.58%。

#### 2.4 根系形态特征与籽粒产量的关系

两品种不同供氮水平下滴灌春小麦的籽粒产量与 *RLD*、*RV*、*RWD* 和 *R/S* 密切联系。其中,新春 31 号的籽粒产量与 *RLD*、*RV*、*RWD* 呈显著正相关,与 *R/S* 呈极显著正相关;新春 6 号的籽粒产量与 *RLD* 和 *R/S* 极显著正相关,与 *RV* 和 *RWD* 显著正相

表 1 不同施氮量处理下滴灌春小麦不同土层根干质量密度的变化

处理		根干质量密度(g/m <sup>3</sup> )				平均根冠比
		拔节期	开花期	灌浆期	成熟期	
31 号	N4	24.7 ± 0.64a	48.1 ± 1.36a	31.4 ± 1.17a	29.3 ± 0.56a	0.289a
	N3	24.8 ± 0.55a	48.3 ± 1.61a	32.8 ± 1.40a	31.1 ± 0.64a	0.271b
	N2	22.1 ± 0.36b	44.0 ± 1.12b	29.6 ± 0.39a	28.0 ± 0.90a	0.252c
	N1	21.3 ± 0.37b	38.7 ± 1.60c	25.2 ± 0.34b	24.5 ± 0.50b	0.290a
	N0	20.0 ± 0.62b	30.1 ± 1.08d	23.1 ± 0.26c	22.3 ± 0.26c	0.228d
6 号	N4	25.6 ± 0.95a	48.9 ± 1.22a	33.6 ± 1.35ab	32.6 ± 0.61a	0.296a
	N3	26.3 ± 0.89a	49.0 ± 1.37a	35.7 ± 1.46a	34.6 ± 0.68a	0.297a
	N2	27.7 ± 1.24a	49.3 ± 1.15a	37.6 ± 1.17a	36.0 ± 0.49a	0.277b
	N1	24.1 ± 0.79b	40.5 ± 1.17b	32.0 ± 0.68ab	30.5 ± 0.13b	0.298a
	N0	21.1 ± 0.84c	32.2 ± 0.80c	25.0 ± 0.13b	22.6 ± 0.64c	0.248c

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

表 2 滴灌春小麦根系形态指标与籽粒产量的关系

品种	根系形态指标	与产量的关系	相关系数
31 号	RLD	$y = -1\ 090x^2 + 7\ 066.7x - 4\ 284.9$	$r^2 = 0.99^*$
	RV	$y = -525.92x^2 + 8\ 240.9x - 25\ 120$	$r^2 = 0.99^*$
	RWD	$y = -8.309\ 8x^2 + 738.31x - 9\ 222.2$	$r^2 = 0.98^*$
	R/S	$y = -0.003\ 4x^2 + 0.004\ 4x + 0.290\ 8$	$r^2 = 0.99^{**}$
6 号	RLD	$y = -81.311x^2 + 1\ 424.1x + 2\ 917$	$r^2 = 0.97^{**}$
	RV	$y = -448.64x^2 + 8\ 156.9x - 29\ 668$	$r^2 = 0.91^*$
	RWD	$y = -7.020\ 1x^2 + 669.98x - 8\ 652.8$	$r^2 = 0.95^*$
	R/S	$y = -0.005\ 5x^2 + 0.021\ 1x + 0.280\ 4$	$r^2 = 0.99^{**}$

注: \*、\*\* 分别表示显著( $P < 0.05$ )、极显著( $P < 0.01$ )相关。

关。在作物生长发育过程中,通过合理的施用氮肥来改善根系形态指标,可以显著提高作物的籽粒产量,开花期是对氮肥最敏感的时期。因此,在小麦开花期合理的施用氮肥是保证滴灌春小麦高产稳产的关键。

3 讨论与结论

氮素是植物生长最重要的营养元素,与植物生长发育密切联系,植物通过调节其根系构型来调控氮素的吸收和利用效率<sup>[20]</sup>。合理施用氮肥,在提高作物产量、增加经济效益的同时,提高了氮素利用率<sup>[21]</sup>。张微微等研究发现,增施氮肥可以促进小麦根系生长,使其生长更为旺盛,但仅仅会使靠近施肥部位的根质量增加,即根质量在表土层(0 ~ 20 cm)分布比例增加<sup>[22-23]</sup>。本研究也有相同结论。结果显示,新春 31 号和新春 6 号各处理下 0 ~ 20 cm 的根长密度和根体积明显高于 20 ~ 80 cm,且随着深度的不断增加,土壤中根长密度和根体积皆降低。在不同供氮水平处理下,0 ~ 40 cm 土层的根体积和根长密度与施氮量呈正相关,随施氮量的增加而增大,但 40 ~ 80 cm 土层的根长密度和根系体

积则显现出先增大后减小的趋势。这表明在一定的施氮范围内,氮素胁迫可以促进根系生长,有利于根系向深层土壤伸进;过高的施氮量不利于小麦根系向深层土壤伸长和生长,使得小麦扎根过浅,不利于小麦对深层土壤营养元素的吸取,且氮素利用率降低,易倒伏;当施用氮肥不足时难以满足小麦生长发育所需的营养元素,使其无法达到高产。因此,适当的氮素胁迫既满足了表土层根系的生长,又间接促进了小麦根系向深土层的蔓延,提高了抗倒伏性的同时达到高产。

前人研究发现,氮素胁迫条件下生育中后期较强的氮素吸收能力,是小麦缺氮条件下群体物质生产能力增强、生育性状改善、氮效率增强、籽粒产量增加的重要生理基础<sup>[24]</sup>。氮素胁迫在一定程度上增加了小麦根系的干物质量,有研究显示小麦根系干质量大、生理活性强是其植株氮素积累增加的重要原因<sup>[25]</sup>。但是当氮素胁迫超过一定程度时,植物在提高氮素利用效率的同时会降低根质量密度<sup>[26]</sup>。本研究结果显示,不同供氮水平下滴灌春小麦根质量密度随着施氮量的增加呈现先升高后降低的趋势,与前人研究结果相同。当新春 31 号施氮量达到

275 kg/hm<sup>2</sup> (N3)、新春 6 号施氮量达到 250 kg/hm<sup>2</sup> (N2) 时,根干质量密度表现最佳。N4 (300 kg/hm<sup>2</sup>) 处理会使小麦根系处于一个过高的养分环境中,使小麦根系生物量积累下降,最终使根系生长缓慢,根冠比降低,产量下降。当土壤中的氮素含量严重缺乏时,则小麦根系就难以吸收氮肥(如 N5 处理,0 kg/hm<sup>2</sup>),影响根系的呼吸作用从而加速小麦根系的衰亡,最终使得根干质量密度降低。而小麦根系对氮肥的吸收利用取决于根质量和单位根系吸收面积,且强大的根质量密度可以满足地上部分生长发育对营养元素的需求<sup>[27]</sup>,从而达到高产。因此,根干质量密度是衡量氮肥吸收利用效率的指标,根干质量密度的高低反映了氮肥吸收利用效率的强弱,是一种客观反映根系生命活动的生理指标。

合理的根冠比有利于维持地上部分和地下部分的协调生长,从而协调氮素在植物各功能器官的分配<sup>[27]</sup>。研究发现,根冠比能够反映出不同环境条件对根系与地上部分生长的影响<sup>[28]</sup>,在水分或养分不足等逆境胁迫下,小麦根冠比较高<sup>[29]</sup>。张绪成等认为,小麦能够通过调节根冠比来实现对逆境的适应且氮素对植物根冠比具有显著的调控作用,氮胁迫条件会导致地上部分生长受阻,使根冠比增大<sup>[15]</sup>。本研究结果显示,在不同氮素条件下,新春 31 号和新春 6 号施氮量达到 225 kg/hm<sup>2</sup> (N1) 时根冠比最高。氮素由根系从土壤中吸收从而促进叶片生长,因此,在一定范围内,土壤缺氮对地上部分生长的影响大于对根部的影响,使得土壤缺氮时根冠比增大。此外,在氮胁迫条件下还会减少叶片中蛋白质的合成,糖分积累过多,从而增加了叶片对根系的糖分供应,促进根系生长,根冠比增加<sup>[30]</sup>。但在植株的生育后期,根冠比过大成为限制植株对氮素合理利用的重要因素,不利于氮效率的提高。因此,合理的根冠比充分协调了根部与地上部分的竞争关系,使其在氮素利用上找到平衡点,提高氮素利用效率,从而达到高产。

不同氮素处理下,新春 31 号和新春 6 号施氮量分别为 275、250 kg/hm<sup>2</sup> 时,氮肥农学利用效率最高。究其原因在于其合理的根冠比、较高的根长密度、根体积和根干质量密度,使得小麦拥有较大根系总吸收面积和根系活跃吸收面积。在实际生产过程中,生育后期根冠比过大会限制植株对氮素的合理利用,不利于氮效率的提高。较高的根体积、

根长密度和根干质量密度作为氮高效的前提,可提升小麦根系对氮素的吸收能力。较高的氮素转运、合理的根冠比是氮高效的关键,增加了其对氮素的农学利用效率,从而获得高产。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Asseng S, Ritchie J T, Smucker A J, et al. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat[J]. Plant and Soil, 1998, 201(2):265-273.
- [6] 陈哲,伊霞,陈范骏,等. 玉米根系对局部氮磷供应响应的基因型差异[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(1):83-90.
- [7] 吴雅薇,李强,豆攀,等. 低氮胁迫对不同耐低氮玉米品种苗期伤流液性状及根系活力的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(2):278-288.
- [8] Forde B, Lorenzo H. The nutritional control of root development[J]. Plant and Soil, 2001, 232(1/2):51-68.
- [9] 李法计,徐学欣,肖永贵,等. 不同氮素处理对中麦 175 和京冬 17 产量相关性状和氮素利用效率的影响[J]. 作物学报,2016,42(12):1853-1863.
- [10] 魏海燕,张洪程,张胜飞,等. 不同氮利用效率水稻基因型的根系形态与生理指标的研究[J]. 作物学报,2008,34(3):429-436.
- [11] 张定一,张永清,杨武德,等. 不同基因型小麦对低氮胁迫的生物学响应[J]. 小麦研究,2006,32(1):1-9.
- [12] Forde B G, Walch-Liu P. Nitrate and glutamate as environmental cues for behavioural responses in plant roots[J]. Plant Cell and Environment, 2009, 32(6):682-693.
- [13] 王永华,王玉杰,冯伟,等. 两种气候年型下不同栽培模式对冬小麦根系时空分布及产量的影响[J]. 中国农业科学,2012,45(14):2826-2837.
- [14] 邱喜阳,王晨阳,王彦丽,等. 施氮量对冬小麦根系生长分布及产量的影响[J]. 西北农业学报,2012,21(1):53-58.
- [15] 张绪成,郭天文,谭雪莲,等. 氮素水平对小麦根-冠生长及水分利用效率的影响[J]. 西北农业学报,2008,17(3):97-102.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Böhm W. Methods of studying root system[M]. Berlin: Springer Verlag, 1979.

焦卫平,李同花,任先顺,等. 不同缓释肥料对再生稻生长及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(4):84-88.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.04.013

# 不同缓释肥料对再生稻生长及产量的影响

焦卫平<sup>1,2</sup>, 李同花<sup>1,2</sup>, 任先顺<sup>3</sup>, 王子浩<sup>1,2</sup>

[1. 中化农业(临沂)研发中心有限公司,山东临沂 276024; 2. 中化化肥有限公司临沂农业研发中心,山东临沂 2760141;

3. 中化化肥有限公司,北京 100031]

**摘要:**通过设置不同缓释肥配方的小区试验,探讨施用缓释肥料在减少再生稻施肥次数的应用效果。结果表明,通过施用不同配比及类型的缓控释肥,与 TCK 相比,头季和再生季株高无明显差异,分蘖数略有提高,表明减少施肥次数并未影响水稻的生长。与 TCK 相比,缓释肥配方 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 处理产量均有一定提高,头季稻产量分别提高了 14.7%、16.7%、23.5%、17.5%,再生季产量分别提高了 6.3%、5.8%、7.4%、8.1%,两季水稻产量增幅在 10.8%~16.1% 之间,表明缓释氮和速效氮肥的合理配施可满足再生稻不同生育期对养分的需求,施用缓控释肥可减少再生稻施肥次数。综合头季和再生季水稻产量及缓释肥料成本,优选 T<sub>3</sub> 配方,即基肥施用脲醛型缓释氮肥,穗肥施用聚氨基酯包膜型缓释氮肥。

**关键词:**再生稻;缓控释肥;干物质量;产量

**中图分类号:** S511.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)04-0084-05

再生稻是在水稻收获第一季后利用头季腋芽再次种植收获的一季水稻<sup>[1]</sup>,具有省种、省工、经济效益高等特点<sup>[2-3]</sup>。在种植一季稻热量有余而种植

双季稻热量又不足的地区及双季稻区只种一季中稻的稻田发展再生稻,是提高复种指数、增加稻田单位面积稻谷产量和经济收入的有效措施之一<sup>[4]</sup>。

近年来,我国再生稻种植面积不断提高,如湖北省是我国再生稻发展的优势区域,全省再生稻面积从 2013 年的 2.98 万 hm<sup>2</sup> 增至 2017 年的 15.33 万 hm<sup>2</sup>,应用前景非常好<sup>[5-7]</sup>。

目前,对再生稻的养分需求规律、施肥时期<sup>[8]</sup>、氮肥运筹<sup>[9-11]</sup>等均有较为深入的研究,但是多数研究忽略了再生稻种植过程中农户的施肥需求问题。

收稿日期:2019-01-17

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFD0301302)。

作者简介:焦卫平(1982—),男,山东临沂人,硕士,中级工程师,主要从事新型肥料及其工艺研究(缓控释肥料方向)。E-mail: jiaoweiping@sinochem.com。

通信作者:李同花,硕士,主要从事缓控释肥应用研究。E-mail: lith6677@163.com。

[19] Wang C Y, Liu W X, Li Q X, et al. Effects of different irrigation and nitrogen regimes on root growth and its correlation with above-ground plant parts in high-yielding wheat under field conditions [J]. Field Crops Research, 2014, 165: 138-149.

[20] 张秀,朱文美,代兴龙,等. 施氮量对强筋小麦产量、氮素利用率和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(8): 963-969.

[21] 董文辉,韩云岗. 氮肥定位减量对小麦产量及经济效益的影响[J]. 种子科技, 2018, 36(10): 117-118.

[22] 张微微. 减量施氮对小麦产量和氮素吸收利用的影响及生理基础[D]. 南京:南京农业大学, 2013.

[23] Gan Y T, Campbell C A, Janzen H H, et al. Nitrogen accumulation in plant tissues and roots and N mineralization under oilseeds, pulses, and spring wheat [J]. Plant and Soil, 2010, 332(1/2): 451-461.

[24] 李淑文,文宏达,周彦珍,等. 不同氮效率小麦品种氮素吸收和物质生产特性[J]. 中国农业科学, 2006, 39(10): 1992-2000.

[25] 韩胜芳,李淑文,吴立强,等. 不同小麦品种氮效率与氮吸收对氮素供应的响应及生理机制[J]. 应用生态学报, 2007(4): 807-812.

[26] 张伟,李鲁华,吕新. 不同灌水量对滴灌春小麦根系时空分布、水分利用率及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2016, 25(3): 361-371.

[27] 王艳哲,刘秀位,孙宏勇,等. 水氮调控对冬小麦根冠比和水分利用效率的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(3): 282-289.

[28] Ma S C, Li F M, Xu B C, et al. Effect of lowering the root/shoot ratio by pruning roots on water use efficiency and grain yield of winter wheat [J]. Field Crops Research, 2010, 115(2): 158-164.

[29] 段舜山,谷文祥,张大勇,等. 半干旱地区小麦群体的根系特征与抗旱性的关系[J]. 应用生态学报, 1997(2): 134-138.

[30] 姜丽娜,齐冰玉,徐光武,等. 水氮对根箱种植冬小麦根系生长及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(14): 42-45.