

▪ 作物水肥高效利用 ▪

文章编号: 1672-3317(2023)07-0001-09

## 缩行带状种植和保水剂对滴灌燕麦根系和叶片衰老特性的影响

田露<sup>1,2</sup>, 刘景辉<sup>1\*</sup>, 米俊珍<sup>1</sup>, 赵宝平<sup>1</sup>, 李英浩<sup>1</sup>,  
张胜<sup>1</sup>, 王凤梧<sup>3</sup>, 焦伟红<sup>4</sup>, 徐振朋<sup>3</sup>, 郑成忠<sup>3</sup>

(1.内蒙古农业大学 农学院, 呼和浩特 010019; 2.内蒙古自治区农牧业科学院, 呼和浩特 010031; 3.乌兰察布市农林科学研究所, 内蒙古 集宁 012000; 4.乌兰察布市农牧业生态资源保护中心, 内蒙古 集宁 012000)

**摘要:**【目的】探究建立滴灌燕麦的高效种植方法, 明确其对燕麦根系和叶片部分衰老特性的影响。【方法】于2019—2020年设置主区行距配置等行距20 cm种植(A)、缩行15 cm带状种植(B)、缩行10 cm带状种植(C)3个水平和副区保水剂0(N)和22.5 kg/hm<sup>2</sup>(Y)2个水平的裂区试验, 分析行距和保水剂对燕麦根系、旗叶衰老特征的影响。【结果】①行距、保水剂均能极显著( $p<0.01$ )或显著( $p<0.05$ )影响燕麦根系活力、根系和旗叶SOD、MDA量和可溶性蛋白量; 二者交互作用对各指标的影响在不同生育时期表现不一致, 其中开花期和灌浆期极显著( $p<0.01$ )或显著( $p<0.05$ )影响了根系活力、根系SOD量、旗叶SOD、旗叶MDA量和旗叶可溶性蛋白量, 显著( $p<0.05$ )影响了根系可溶性蛋白量, 对根系MDA量无显著影响。②不论是否施用保水剂, 3种植植行距根系活力、根系和旗叶SOD活性、可溶性蛋白量均表现为处理B>处理A>处理C; 根系和旗叶MDA量则表现为处理C>处理A>处理B。在施用保水剂(Y)的条件下, 与处理A相比, 2019年和2020年不同生育时期处理B显著提高根系活力5.56%~15.27%、根系和旗叶SOD活性4.78%~5.89%和3.98%~10.62%、根系和旗叶可溶性蛋白量15.20%~23.74%和5.89%~15.04%、显著降低根系和旗叶MDA量11.79%~13.86%和6.01%~14.08%; 处理C则在除根系可溶性蛋白量外其余指标表现显著降低, 根系和旗叶MDA量显著提高。在不施用保水剂(N)条件下, 3种植植方式的显著性差异在不同年限和不同生育时期表现不一致。③同种植植行距下, 与不施用保水剂(N)相比, 仅有处理B中施用保水剂(Y)能够在2019—2020年不同生育时期均显著提高根系活力7.52%~15.75%、根系和旗叶SOD活性3.21%~6.47%和7.25%~10.47%、根系和旗叶可溶性蛋白量18.01%~22.47%和4.87%~9.10%, 显著降低根系和旗叶MDA量8.79%~13.96%和7.35%~11.67%, 处理A和处理C在不同年限、不同生育时期各指标显著性差异不一致。④滴灌燕麦栽培中根系和旗叶衰老特征指标与燕麦生物产量和籽粒产量之间均存在显著( $p<0.05$ )的正相关或者负相关。【结论】本研究筛选出滴灌燕麦栽培中, 采用围绕滴灌带缩小行距到15 cm带状种植, 配合施用22.5 kg/hm<sup>2</sup>保水剂的种植方式能够调节燕麦根系和叶片衰老特征, 延缓衰老, 对促进滴灌燕麦生物产量和籽粒产量的形成具有促进作用。

**关键词:** 燕麦; 滴灌; 行距; 保水剂; 保护酶

中图分类号: S631.4

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2022595

OSID:



田露, 刘景辉, 米俊珍, 等. 缩行带状种植和保水剂对滴灌燕麦根系和叶片衰老特性的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(7): 1-9.

TIAN Lu, LIU Jinghui, MI Junzhen, et al. Impact of Planting Spacing and Soil Amendment with Water Absorbent on Root and Leaf Senescence Traits of Drip Irrigated Oat[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(7): 1-9.

### 0 引言

【研究意义】燕麦(*Avena sativa* L.)是世界上继小麦、玉米、水稻、马铃薯、大麦和高粱之后的

第七大栽培作物<sup>[1]</sup>。中国是裸燕麦的发源地, 裸燕麦栽培在我国具有得天独厚的优势。由于燕麦籽粒富含蛋白质、不饱和脂肪酸、 $\beta$ -葡聚糖和膳食纤维, 被世界公认为营养保健谷物<sup>[2]</sup>, 随着人们生活水平的提高, 对保健的需求, 燕麦需求量不断增加<sup>[3]</sup>。内蒙古是我国燕麦第一大产区, 种植面积占全国总面积的35%以上<sup>[4]</sup>, 独特的地理环境和区位优势决定了内蒙古燕麦产量稳定、品质较优, 按照预计消费量和内蒙古燕麦种植面积估算, 内蒙古需生产170万t燕麦, 种植面积73.33万hm<sup>2</sup>才能满足我国

收稿日期: 2022-10-23 修回日期: 2023-03-28 网络出版日期: 2023-05-10

基金项目: 政府间国际科技创新合作重点专项项目(2018YFE0107900); 国家燕麦荞麦产业技术体系项目(CARS-07-B-4); 内蒙古自治区“草原英才”创新团队项目; 全国农业科研杰出人才及其科技创新团队项目

作者简介: 田露(1988-), 女, 助理研究员, 主要从事寒旱区作物栽培生理生态研究。E-mail: tldt\_hi@126.com

通信作者: 刘景辉(1965-), 男, 教授, 主要从事农牧交错区耕作制度与农业生态研究。E-mail: cauljh@163.com

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取CC BY-NC-ND协议

对燕麦食用的需要,但目前生产水平仅为 30 万 t<sup>[5]</sup>。燕麦具有抗旱、耐瘠薄、耐盐碱等特性,也是一种较好的轮作倒茬作物,对内蒙古主栽作物马铃薯、甜菜等都表现“有利效应”<sup>[6]</sup>,燕麦在内蒙古地区农业结构布局中具有重要作用,种植趋势逐渐增大。目前内蒙古地区燕麦旱作种植技术较为成熟,但灌溉栽培中大多采用大水漫灌,生产效率较低,水资源浪费严重,与滴灌相适应的高效栽培方式欠缺,制约着内蒙古地区燕麦优质高效发展,如何实现燕麦滴灌高效栽培是当前亟待解决的问题。

【研究进展】作物衰老是指其生命功能衰退的变化过程,是作物体内活性氧的代谢紊乱以及酶降解等过程<sup>[7]</sup>,具体表现为生长减缓、活性降低、抗逆能力减弱等<sup>[8]</sup>。在作物衰老过程中,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等保护酶活性随着叶片衰老而下降,同时伴随丙二醛量(MDA)的上升,即膜脂过氧化加强。栽培措施是影响作物衰老特征的重要因素之一,不合理的栽培措施造成叶片早衰,影响作物光合作用<sup>[9]</sup>,鱼欢等<sup>[10]</sup>研究表明不同栽培模式下,POD、CAT能够减轻活性氧对叶片的伤害,通过协同作用来保护叶片延长功能期,进而实现作物产量提高。行距配置是作物栽培过程中的重要措施,郭天财等<sup>[11]</sup>研究表明与行距 20 cm 和 10 cm 相比,行距 15 cm 小麦开花后旗叶中叶绿素降解变慢,抗氧化酶活性增强,叶片衰老减缓;宋伟<sup>[12]</sup>对花生的研究表明适当增大行距能够提高叶片超氧化 SOD、POD、CAT 活性,MDA 量,进而缓解了细胞膜脂过氧化程度,防止叶片过早衰老,对花生荚果产量的形成具有促进作用。栽培过程中肥料的不合理施用也是引起作物衰老的因素之一,合理施肥可以增强叶片中 POD、CAT 活性,清除叶片中的活性氧,从而降低叶片中的 MDA 量,延缓衰老<sup>[13]</sup>,保水剂是近年来兴起的一种被用于提高作物水肥利用效率<sup>[14]</sup>的新型材料,刘辰

宇等<sup>[15]</sup>研究表明施用保水剂能够显著提高胡杨幼苗叶片可溶性蛋白量和可溶性糖量,提高 SOD、POD 活性,降低 MDA 量,进而提高胡杨幼苗的抗氧化能力;陈芳泉等<sup>[16]</sup>研究表明保水剂施用能够提高烟草根系活力,降低烟叶 SOD、POD、CAT 活性,降低丙二醛、脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白量。

【切入点】关于行距配置在滴灌燕麦栽培中的研究报道较少,部分保水剂应用于滴灌燕麦栽培中的研究表明,施用保水剂后滴灌燕麦增产 2.95%~12.14%<sup>[17]</sup>。通过调控栽培措施能够影响作物叶片和根系衰老特征,进而影响其叶片和根系衰老进程,因此,研究作物叶片和根系衰老特征对筛选适宜栽培措施具有十分重要意义,目前未见相关滴灌燕麦栽培中通过行距调整和施用保水剂对其保护酶活性的研究。【拟解决的关键问题】本研究针对内蒙古地区滴灌燕麦栽培欠缺优质高效种植方式的生产现状,围绕滴灌带配置燕麦种植行距,结合施用保水剂,分析燕麦根系和叶片衰老特征的变化,以期建立一种能够延缓燕麦根系、叶片衰老,促进产量形成的滴灌燕麦种植方式,为内蒙古地区燕麦优质高效生产提高理论基础和技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2019—2020 年在内蒙古自治区乌兰察布市农林科学研究所试验地(40.9232°N, 113.1196°E)进行。属中温带大陆性季风气候,多寒干燥,风多雨少,昼夜温差大,年均气温为 4.5 °C,最高气温为 39.7 °C,最低气温-34.4 °C;年降水量 376.1 mm,且多集中在 7—8 月上旬;年均无霜期 131 d。本研究 2019 年和 2020 年试验地非同一地块,二地块均位于乌兰察布农牧业科学院试验地内。试验地土壤基础养分详细情况见表 1。

表 1 试验地土壤基础养分

Table 1 Soil basic nutrients in the experimental field

年份	土壤特性						
	有机质量/(g kg <sup>-1</sup> )	全氮量/(g kg <sup>-1</sup> )	全钾量/(g kg <sup>-1</sup> )	全磷量/(g kg <sup>-1</sup> )	碱解氮量/(mg kg <sup>-1</sup> )	速效钾量/(mg kg <sup>-1</sup> )	速效磷量/(mg kg <sup>-1</sup> )
2019	18.21	0.71	16.31	0.46	111.07	153.01	9.23
2020	17.56	0.68	16.54	0.50	110.89	158.23	9.54

### 1.2 试验材料

燕麦:坝菝 1 号。该品种株高 100 cm 左右,生育期 90 d 左右,中熟品种。稳产性好,适应性强,抗倒伏性强。内蒙古地区主栽品种。

保水剂:农林保水剂(聚丙烯酸钾盐型),选购于任丘市鹏宇化工有限公司。

肥料:N、P、K 复合肥( $\omega(N) : \omega(P_2O_5) :$

$\omega(K_2O) = 15 : 15 : 15$ )。

### 1.3 试验设计

试验采取裂区设计,种植方式为主区,保水剂为副区。种植行距设置 3 个水平:A,对照,行距 20 cm 等行距种植,行距 20 cm,滴灌带间隔 60 cm;B,缩行 15 cm 带状种植,8 行为一带,带宽 1.05 m,带间隔 30 cm,每带铺设 2 根滴灌管,滴灌管间隔

60 cm; C, 缩行 10 cm 带状种植, 12 行为一带, 带宽 1.1 m, 带间隔 30 cm, 每带铺设 2 根滴灌管, 滴灌管间隔 60 cm。保水剂设置 2 个水平: N, 对照, 不施用保水剂; Y, 施用保水剂 22.5 kg/hm<sup>2</sup>。种植示意图见图 1。

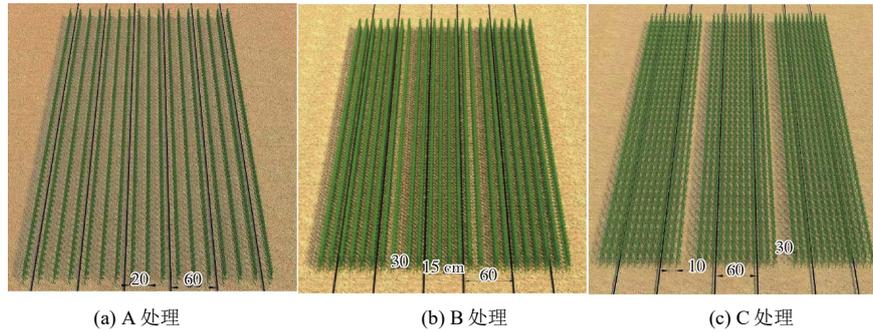


图 1 种植示意图 (单位: cm)

Fig.1 Schematic diagram of planting

试验共 6 个处理, 重复 3 次。小区面积 10 m×7.2 m=72 m<sup>2</sup>, 重复之间间距 2 m, 处理之间均间距 1.5 m, 四周保护行各设 2 m。处理 A 小区内种植 37 行, 铺设 13 根滴灌带; 处理 B 小区内种植 40 行, 铺设 10 根滴灌带; 处理 C 小区内种植 60 行, 铺设 10 根滴灌带。

不同处理燕麦播种量均为 150 kg/hm<sup>2</sup>, 采用人工画线按行播种, 处理 A 单行播种量 29.17 g, 处理 B 单行播种量 26.99 g, 处理 C 单行播种量 17.99 g。复合肥施用量 150 kg/hm<sup>2</sup>。保水剂和肥料在播前均匀撒施, 结合旋耕施入, 施入深度 20~25 cm。2019 年播种时间 5 月 8 日, 收获时间 8 月 27 日; 2020 年播种时间 5 月 12 日, 收获时间 8 月 30 日。田间管

理参照当地水浇地燕麦种植进行。

## 1.4 测定指标与方法

### 1.4.1 取样时期和方法

燕麦拔节期、开花期和灌浆期取样, 灌溉前 3 天和后 3 天均不取样。AY、AN 处理在小区内不同的 3 行随机取样, 其中每行分别取 3 株; BY、BN、CY、CN 处理均在每一种植带内部进行取样, 取样分边行、次边行和中间行, 其中每行分别取 3 株。每个小区共计取 9 株, 根系采用根钻取 0~20 cm 根系样品, 叶片取每株旗叶。取样后用冰袋保存带回实验室, 将 9 株样品混合后进行测定。取样时期土壤水分和养分量见表 2。

表 2 试验取样期间土壤水分和养分量

Table 2 Soil moisture and available nutrient content during sampling

指标	处理	2019 年			2020 年			
		拔节期	开花期	灌浆期	拔节期	开花期	灌浆期	
含水率/%	A	N	11.43	13.02	8.62	10.87	12.89	9.63
		Y	12.30	15.44	10.10	13.14	14.35	10.69
	B	N	11.71	13.48	9.20	10.84	13.10	10.03
		Y	13.29	15.65	11.06	13.82	15.00	11.56
	C	N	11.78	13.01	8.72	10.76	12.93	9.53
		Y	12.60	14.88	10.25	13.13	14.38	10.86
碱解氮量/ (mg kg <sup>-1</sup> )	A	N	136.21	122.15	124.04	140.25	126.57	128.55
		Y	143.09	121.85	125.05	148.65	130.91	132.23
	B	N	140.21	123.39	123.16	139.90	128.07	130.63
		Y	149.26	128.91	132.23	151.32	136.48	137.72
	C	N	133.69	115.54	118.90	131.92	119.51	125.52
		Y	142.48	118.60	124.50	142.01	130.31	128.06
速效磷量/ (mg kg <sup>-1</sup> )	A	N	6.57	6.86	6.16	6.39	7.18	6.37
		Y	7.56	7.80	6.68	8.04	8.05	6.93
	B	N	6.24	7.09	6.44	6.32	7.24	6.53
		Y	7.80	8.31	7.45	7.95	8.64	7.71
	C	N	6.20	6.73	5.59	6.39	7.02	6.19
		Y	7.62	7.72	6.35	7.62	7.87	6.65
速效钾量/ (mg kg <sup>-1</sup> )	A	N	121.77	139.57	128.64	126.13	137.86	129.12
		Y	124.13	145.16	136.23	129.81	143.19	136.92
	B	N	122.32	141.70	130.06	122.58	137.92	130.56
		Y	129.47	147.22	144.43	137.09	146.48	144.89
	C	N	122.40	137.71	126.97	123.52	138.82	126.42
		Y	124.27	143.12	134.26	125.71	142.92	137.59

### 1.4.2 根系活力

根系清洗后用 TTC 法测定根系活力<sup>[18]</sup>。

### 1.4.3 根系和叶片保护酶活性

超氧化物歧化酶 (SOD) 用氮蓝四唑 (NBT) 法参照文献[18]、丙二醛 (MDA) 用硫代巴比妥酸比色法、可溶性蛋白用考马斯亮蓝法。

### 1.5 图表制作数据分析

采用 Excel 2019 进行数据整理和绘制图表, 采用 SAS 9.3、SPSS25.0 对试验数据进行统计分析, 采用最小显著差法 (LSD) 检验处理间显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 种植行距和保水剂对燕麦根系活力的影响

表 3 为种植行距和保水剂对燕麦根系活力的影响, 由表 3 可知, 种植行距、保水剂在拔节期、开花期和灌浆期均极显著 ( $p<0.01$ ) 影响根系活力; 除拔节期外, 开花期和灌浆期二者的交互作用极显著 ( $p<0.01$ ) 或显著 ( $p<0.05$ ) 影响了根系活力。不同处理对燕麦根系活力的影响两年间表现一致, 不同生育期间, 各处理燕麦根系活力均表现为开花期>灌浆期>拔节期, 这是由燕麦自身生理特性决定的, 开花期为根系生长最旺盛时期, 根系活力最高。不论是否施用保水剂, 3 种植行距燕麦根系活力均表现为处理 B>处理 A>处理 C, 且在施用保水剂 (Y) 条件下, 与处理 A 相比, 拔节期、开花期、灌浆期 2019 年和 2020 年处理 B 分别显著提高 6.98% 和 5.56%、15.27% 和 11.49%、7.06% 和 8.68%, 处理 C 则在 2019 年和 2020 年开花期、灌浆期显著降低 6.04% 和 4.42%、4.58% 和 4.56%。在不施用保水剂 (N) 情况下, 与处理 A 相比, 拔节期处理 B 与其差异不显著; 开花期、灌浆期, 2019 年和 2020 年处理 B 根系活力分别显著提高 9.21% 和 7.14%、4.74% 和 9.46%, 处理 C 则在 2019 年拔节期、开花期和灌浆期分别显著降低 2.57%、4.84% 和 4.87%, 2020 年灌浆期显著降低 6.91%。同一种植行距下, 拔节期仅有处理 B 下两年均表现为施用保水剂 (Y) 显著高于不施用保水剂 (N); 开花期和灌浆期, 与不施用保水剂 (N) 相比, 施用保水剂 (Y) 根系活力在处理 A 中显著提高 5.57%~9.67%, 处理 B 中显著提高 7.52%~15.75%, 处理 C 中显著提高 5.88%~11.03%, 以处理 B 中表现最优。

### 2.2 种植行距和保水剂对燕麦根系衰老特征的影响

表 4 为种植行距和保水剂对燕麦根系衰老特征的影响, 由表 4 可知, 种植行距、保水剂均极显著 ( $p<0.01$ ) 影响了根系 SOD 活性、MDA 量和可溶性蛋白量; 种植行距和保水剂交互作用极显著

( $p<0.01$ ) 或显著 ( $p<0.05$ ) 影响了根系 SOD 活性, 显著 ( $p<0.05$ ) 影响了可溶性蛋白量, 对 MDA 量无显著影响。各处理对燕麦根系 SOD 活性、MDA 量和可溶性蛋白量的影响在 2019 年和 2020 年表现一致, 各处理根系 SOD 活性和可溶性蛋白量均表现为开花期>灌浆期, MDA 量则表现为开花期<灌浆期。

表 3 种植行距和保水剂对燕麦根系活力的影响

Table 3 Effects of row spacing and super absorbent

年份	处理		生育时期			
	种植行距	保水剂	拔节期	开花期	灌浆期	
2019	A	N	41.89±1.71b	65.22±1.92c	63.15±0.78c	
		Y	43.86±1.32b	71.52±1.10b	66.67±1.17b	
	B	N	43.58±0.85b	71.22±2.18b	66.15±0.81b	
		Y	46.92±1.64a	82.44±1.62a	71.38±1.87a	
	C	N	40.84±1.53c	62.06±1.68d	60.08±0.55d	
		Y	42.26±1.45bc	67.2±1.60c	63.61±0.85c	
	F 值	a		8.82**	113.12**	213.71**
		b		9.49*	123.79**	223.70**
		a×b		0.61NS	7.53**	4.31*
2020	A	N	44.42±1.21cd	70.05±1.59d	69.29±1.38c	
		Y	47.04±0.90b	76.73±1.08b	75.04±1.48b	
	B	N	45.99±1.57c	75.05±1.79bc	75.84±1.59b	
		Y	49.65±1.72a	85.54±2.16a	81.55±0.98a	
	C	N	42.87±1.56d	68.24±0.63d	64.50±1.63d	
		Y	44.15±1.03d	73.33±1.21c	71.62±1.69c	
	F 值	a		17.73**	87**	889.19**
		b		18.18**	148.64**	887.71**
		a×b		1.37NS	6.93*	4.98*

注: 表中同一年份不同处理不同字母表示差异显著 ( $p<0.05$ ), 后面数字表示数据标准偏差。\*\*代表在 0.01 水平极显著, \*代表在 0.05 水平显著, NS 代表不显著。a 和 b 代表种植方式和保水剂。下同。

分析根系 SOD 活性变化可知, 不论是否施用保水剂, 3 种植行距燕麦根系 SOD 活性均表现为处理 B>处理 A>处理 C。在施用保水剂 (Y) 条件下, 与处理 A 相比, 2019 年和 2020 年开花期、灌浆期处理 B 根系 SOD 活性分别显著提高 5.04% 和 5.30%、4.78% 和 5.89%, 处理 C 在 2019 年和 2020 年分别显著降低 6.04% 和 4.42%、4.41% 和 2.51%。在不施用保水剂 (N) 条件下, 与处理 A 相比, 2019 年和 2020 年开花期、灌浆期处理 B 根系 SOD 活性分别显著提高 5.76% 和 6.71%、5.53% 和 6.34%, 处理 C 不同年份、不同生育时期表现不一致。同一种植行距下, 与不施用保水剂 (N) 相比, 施用保水剂 (Y) 处理 A 显著提高 3.95%~6.04%, 处理 B 中显著提高 3.21%~6.47%, 处理 C 除 2019 年开花期外, 显著提高 2.48%~6.14%, 说明保水剂施用后有利于增强根系细胞超氧自由基清除能力, 能够延缓燕麦根系衰老。

表 4 种植行距和保水剂对燕麦根系衰老特征的影响

Table 4 Effects of row spacing and super absorbent polymer on root senescence characteristics of oat

年份	处理		SOD 活性/(U (g min) <sup>-1</sup> )		MDA 量/(nmol g <sup>-1</sup> )		可溶性蛋白量/(mg g <sup>-1</sup> )	
	种植行距	保水剂	开花期	灌浆期	开花期	灌浆期	开花期	灌浆期
2019	A	N	265.23±2.48c	162.99±3.56c	4.42±0.39b	7.50±0.42a	11.49±0.26b	8.16±0.36b
		Y	280.47±4.47b	169.43±3.03b	4.30±0.17b	6.71±0.22b	12.28±0.38b	8.38±0.20b
	B	N	278.60±3.96b	172.00±1.98b	4.32±0.08b	6.44±0.17b	12.16±0.85b	8.79±0.38b
		Y	296.64±3.44a	177.53±2.46a	3.72±0.42c	5.88±0.25c	14.71±1.12a	10.37±0.60a
	C	N	261.00±2.87c	155.92±2.47d	5.35±0.42a	7.57±0.08a	10.43±0.55c	7.14±0.41c
		Y	267.48±5.17c	161.94±3.41c	4.53±0.23b	7.31±0.32a	11.68±1.31b	7.52±1.28b
F 值	a		319.82**	198.21**	14.52**	34.10**	12.79**	16.87**
	b		301.50**	85.07**	13.48**	16.97**	15.34**	8.28*
	a×b		20.83**	5.16*	2.20NS	1.37NS	6.82*	6.82*
2020	A	N	286.10±3.64c	169.75±4.43cd	4.71±0.16a	6.50±0.21b	13.67±1.03b	8.79±0.13b
		Y	303.39±4.13b	178.65±4.50b	3.90±0.10b	5.80±0.50c	15.50±0.91b	9.51±0.42b
	B	N	303.58±4.76b	180.51±3.43b	3.89±0.39b	5.75±0.16c	15.54±1.41b	9.41±0.20b
		Y	319.48±4.32a	189.17±1.63a	3.36±0.19c	5.11±0.21d	17.86±1.22a	11.52±0.90a
	C	N	273.59±2.90d	165.61±4.85d	4.76±0.31a	7.36±0.36a	13.63±1.17b	7.69±0.38c
		Y	290.38±3.93c	174.17±2.08c	4.41±0.31a	6.62±0.22b	14.61±1.12b	8.50±0.84bc
F 值	a		385.13**	52.64**	18.32**	34.69**	10.79**	27.19**
	b		365.03**	50.55**	17.81**	20.45**	12.57**	21.28**
	a×b		20.22**	5.11*	0.99NS	0.04NS	5.16*	6.95*

分析根系 MDA 量可知, 不论是否施用保水剂, 3 种植行距根系 MDA 量均表现为处理 C>处理 A>处理 B。施用保水剂(Y)条件下, 与处理 A 相比, 2019 年和 2020 年开花期、灌浆期, 处理 B 根系 MDA 量分别显著降低 13.49%和 13.86%、12.38%和 11.79%, 处理 C 则在 2020 年开花期显著提高 13.17%、灌浆期 2019 年和 2020 年分别显著提高 9.00%和 14.26%。在不施用保水剂(N)条件下, 除 2019 年开花期外, 处理 B 根系 MDA 量均显著低于处理 A 和处理 C, 处理 A 和处理 C 在两年不同生育时期显著差异表现不一致。与处理 A 相比, 处理 B 根系 MDA 量 2020 年开花期显著降低 17.42%、灌浆期两年分别显著降低 14.09%和 11.54%; 处理 C 不同年份、不同生育时期表现不一致。同种植行距下, 与不施用保水剂(N)相比, 开花期和灌浆期, 施用保水剂(Y)仅在处理 B 中显著降低 8.79%~13.96%。

分析根系可溶性蛋白量可知, 不论是否施用保水剂, 3 种植行距燕麦根系可溶性蛋白量均表现为处理 B>处理 A>处理 C。施用保水剂条件(Y)下, 与处理 A 相比, 2019 年和 2020 年开花期、灌浆期, 处理 B 根系可溶性蛋白量分别显著提高 19.76%和 15.20%、23.74%和 21.14%, 处理 C 根系可溶性蛋白量表现差异不显著; 不施用保水剂(N)情况下, 与处理 A 相比, 处理 B 根系可溶性蛋白量 2019、2020 年各生育时期均表现差异不显著, 处理 C 除 2020 年开花期下降不显著外, 根系可溶性蛋白量在

其他生育期均表现显著降低。同种植行距下, 与不施用保水剂(N)相比, 开花期和灌浆期, 施用保水剂(Y)根系可溶性蛋白量仅在处理 B 中显著提高 14.93%~22.47%。

### 2.3 种植行距和保水剂对燕麦旗叶衰老特征的影响

表 5 为种植行距和保水剂对燕麦旗叶衰老特征的影响, 由表 5 可知, 种植行距、保水剂均极显著 ( $p<0.01$ ) 影响了旗叶 SOD 活性、MDA 量和可溶性蛋白量; 种植行距和保水剂交互作用极显著 ( $p<0.01$ ) 或显著 ( $p<0.05$ ) 影响了旗叶 SOD 活性、MDA 量和可溶性蛋白量。各处理对燕麦旗叶 SOD 活性、MDA 量和可溶性蛋白量的影响在 2019 年和 2020 年表现一致, 各处理旗叶 SOD 活性和可溶性蛋白量均表现为开花期>灌浆期, MDA 量则表现为开花期<灌浆期。

分析燕麦旗叶 SOD 活性可知, 不论是否施用保水剂, 3 种植行距旗叶 SOD 活性均表现为处理 B>处理 A>处理 C。施用保水剂(Y)条件下, 与处理 A 相比, 2019 年和 2020 年开花期、灌浆期处理 B 旗叶 SOD 活性显著提高 3.98%和 4.61%、10.62%和 8.91%, 处理 C 旗叶 SOD 活性分别降低 4.63%和 4.29%、15.00%和 10.13%; 不施用保水剂(N)条件下, 与处理 A 相比, 2019 年和 2020 年开花期、灌浆期处理 B 旗叶 SOD 活性显著提高 2.42%和 3.92%、8.76%和 7.74%, 处理 C 旗叶 SOD 活性则在两年灌浆期显著降低 10.24%和 6.88%。与不施用保水剂(N)相比, 开花期和灌浆期, 施用保水剂(Y)旗

叶 SOD 活性在处理 A 中显著提高 6.39%~9.75%，处理 B 中显著提高 7.25%~10.47%，可见在该 2 种方式下，施用保水剂有利于增强燕麦开花后旗叶细胞的超氧自由基清除能力，能够延缓开花后燕麦旗叶衰老，而在处理 C 中则没有体现。

分析燕麦旗叶 MDA 量可知，不论是否施用保水剂，3 种种植行距旗叶 MDA 量均表现为处理 C>处理 A>处理 B。在施用保水剂 (Y) 条件下，与处理 A 相比，2019 年和 2020 年开花期、灌浆期处理 B 旗叶 MDA 量显著降低 6.01%和 10.26%、14.08%和 11.97%，处理 C 则旗叶 MDA 量两年灌浆期分别显著提高 14.87%和 13.24%。不施用保水剂 (N) 条件下，与处理 A 相比，处理 B 在两年灌浆期显著降低 9.58%和 7.90%，处理 C 则在两年在灌浆期分别显著提高 7.18%和 11.71%。同种种植行距下，与不施用保水剂 (N) 相比，开花期和灌浆期，

施用保水剂 (Y) 旗叶 MDA 量仅在处理 B 中显著降低 7.35%~11.67%。

分析旗叶可溶性蛋白量可知，不论是否施用保水剂，3 种种植行距旗叶可溶性蛋白均表现为处理 B>处理 A>处理 C。施用保水剂 (Y) 条件下，与处理 A 相比，2019 年和 2020 年开花期、灌浆期处理 B 旗叶可溶性蛋白量显著提高 5.89%和 6.09%、13.89%和 15.04%，处理 C 旗叶可溶性蛋白量则在 2019 年和 2020 年灌浆期显著降低 8.41%和 8.18%。不施用保水剂 (N) 情况下，与处理 A 相比，除 2020 年开花期外，处理 B 旗叶可溶性蛋白量在两年分别显著降低 3.19%~13.58%，处理 C 旗叶可溶性蛋白量则在 2019 年和 2020 年灌浆期显著降低 8.48%和 8.43%。同种种植行距下，与不施用保水剂 (N) 相比，开花期和灌浆期，施用保水剂 (Y) 旗叶可溶性蛋白量仅在处理 B 中显著降低 4.87%~9.10%。

表 5 种植行距和保水剂对燕麦旗叶衰老特征的影响

Table 5 Effects of row spacing and super absorbent polymer on flag leaf senescence characteristics of oat

年份	处理		超氧化物歧化酶活性 (SOD) / (U (g min) <sup>-1</sup> )		丙二醛 (MDA) / (nmol g <sup>-1</sup> )		可溶性蛋白/(mg g <sup>-1</sup> )	
	种植行距	保水剂	开花期	灌浆期	开花期	灌浆期	开花期	灌浆期
2019	A	N	534.99±5.40c	313.56±4.55c	19.43±0.45b	55.24±1.42b	67.52±1.76cd	40.34±2.31cd
		Y	571.62±7.46b	338.48±4.20b	19.08±0.21b	51.35±1.55c	71.89±1.10bc	43.24±2.02bc
	B	N	547.94±7.06b	341.04±4.86b	19.35±0.41b	49.94±1.88c	71.58±1.33b	45.14±2.49b
		Y	594.35±6.56a	374.43±3.37a	17.93±0.19c	44.12±1.49d	75.07±0.69a	49.25±1.03a
	C	N	531.91±6.22c	281.46±4.28d	20.66±0.10a	59.20±2.04a	65.88±2.50d	37.22±1.24e
		Y	539.96±7.11c	287.69±5.09d	19.05±0.42b	58.98±2.06a	67.67±1.99bcd	37.60±1.27de
F 值	a		1 343.31**	2 006.73**	53.89**	121.54**	91.10**	308.87**
	b		1 087.77**	517.55**	140.99**	27.48**	65.69**	58.55**
	a>b		135.48**	71.97**	16.83**	6.77*	13.64**	16.61**
2020	A	N	590.55±7.34c	377.45±5.17c	15.29±0.03ab	42.72±1.24c	73.18±1.86cd	43.11±2.06c
		Y	648.10±8.32b	401.56±5.48b	14.17±0.31b	40.61±2.24cd	75.17±1.19b	46.15±2.23b
	B	N	613.69±7.57b	406.66±5.32b	14.34±0.34b	39.34±2.02d	75.52±1.75bc	48.97±2.71b
		Y	667.96±7.45a	436.13±4.56a	12.72±1.07c	35.75±2.32e	79.75±1.39a	53.09±1.67a
	C	N	585.42±6.50c	351.48±8.69d	15.39±0.04a	47.72±1.58a	70.56±2.47d	39.48±2.00c
		Y	592.60±6.28c	360.88±10.15d	14.95±0.10b	45.99±2.40ab	72.97±2.60cd	42.37±1.30c
F 值	a		4 334.07**	833.51**	19.06**	53.97**	19.42**	105.28**
	b		2 722.78**	259.08**	22.30**	11.39**	16.50**	31.36**
	a>b		716.73**	21.71**	6.31*	5.60*	6.59*	12.56**

#### 2.4 滴灌燕麦根系、旗叶衰老特征与产量的相关性分析

由表 6 可知，2019 年和 2020 年燕麦根系和旗叶各衰老特征指标与燕麦籽粒产量和生物产量均表现极显著 ( $p<0.01$ ) 的正相关性或负相关性，其中与燕麦生物产量和籽粒产量相关性最大的为燕麦根系活力。可见通过不同栽培措施调控燕麦根系和旗叶的衰老特征，延缓衰老，提高根系活力对燕麦生物产量和籽粒产量的形成具有积极的促进作用。

表 6 燕麦根系和旗叶衰老特征与产量之间的相关性

Table 6 Correlation between senescence characteristics of oat root and flag leaf with yield

指标	2019 年		2020 年	
	生物产量	籽粒产量	生物产量	籽粒产量
根系活力	0.954**	0.954**	0.957**	0.905**
根系超氧化物歧化酶	0.912**	0.905**	0.903**	0.866**
根系丙二醛	-0.884**	-0.863**	-0.951**	-0.905**
根系可溶性蛋白	0.814**	0.830**	0.875**	0.920**
旗叶超氧化物歧化酶	0.937**	0.936**	0.944**	0.905**
旗叶丙二醛	-0.893**	-0.900**	-0.902**	-0.865**
旗叶可溶性蛋白	0.896**	0.896**	0.899**	0.846**

注 \*\*代表在 0.01 水平极显著相关。

### 3 讨论

对于大多数的农作物而言, 作物根系、旗叶的衰老对产量的形成起到抑制作用, 一定程度上造成产量损失<sup>[18]</sup>, 研究表明能够表征根系、叶片衰老特征的指标包括 MDA 量、CAT 活性、SOD 活性以及可溶性蛋白量等, 其变化能够指征叶片和根系衰老速度、代谢活动强弱等<sup>[19]</sup>。

关于种植行距和群体分布调整对根系、叶片生理特性影响的研究表明不同作物布局能够对作物根系、叶片的生理特性产生影响, 但在不同作物上表现不一致, 其中郭天财等<sup>[11]</sup>研究表明在相同种植密度下, 与种植行距 20 cm 相比, 小麦 15 cm 行距种植后开花期后旗叶 MDA 量下降, CAT 活性增强, 功能叶衰老减慢, 但缩小到 10 cm 时则表现出 CAT 活性降低, MDA 量升高, 加速了旗叶的衰老, 这与本研究结果相似, 但何建宁<sup>[21]</sup>研究表明在同种植播密度下, 小麦行距由 25 cm 和 30 cm 缩小到 20 cm 时, 旗叶和根系细胞超氧阴离子自由基的清除能力下降, 导致了旗叶和根系的早衰, 宋伟<sup>[12]</sup>研究表明适宜扩大行距有利于植物体内 SOD、POD、CAT 酶活性的提高, 对维持活性氧代谢平衡具有促进作用, 同时能够降低 MDA 量, 延缓植物早衰, 这与本研究结果不一致, 这可能与种植条件、播种方式等条件相关。关于保水剂对根系、叶片衰老特性的影响, 前人研究结果不尽一致, 其中部分研究表明施用适量的保水剂能够降低植物细胞质膜透性、可溶性糖量以及 MDA 量, 并提高根系活力<sup>[12,22]</sup>, 其通过调节土壤水分状况, 能够促进作物叶片中 SOD、POD 活性和 CAT 酶进行协同作用, 保障作物自由基水平维持稳定<sup>[23]</sup>, 同时施用保水剂有利于促进小麦旗叶可溶性蛋白质量的提高, 同时控制丙二醛量, 延缓小麦旗叶衰老<sup>[24]</sup>, 也有部分研究表明保水剂对作物生理特性的影响受施用量的影响, 施用量过大时, 直接影响根系生长, 降低根系活力, 影响根系生理机能, 导致 MDA 量升高<sup>[25]</sup>。本研究中, 3 种种植行距中施用保水剂对燕麦根系、旗叶衰老特征的影响结果与前人基本一致, 表现为同种植行距下施用保水剂能够提高根系活力; 提高开花期和灌浆期根系和旗叶 SOD 活性、可溶性蛋白量, 降低 MDA 量, 但提高的程度在 3 种种植行距间存在差异, 整体以行距缩小为 15 cm (处理 B) 下表现最优。

本研究中, 在滴灌燕麦栽培中, 通过围绕滴灌带适宜调整行距, 能够调节滴灌燕麦开花后根系、旗叶衰老特征, 对提高超氧化物歧化酶活性, 减轻细胞膜结构损伤有积极作用, 提高根系和旗叶代谢

水平, 尤其在灌浆期表现更为明显, 说明能够延缓燕麦开花后根系和旗叶的衰老, 对后期灌浆和籽粒的形成具有促进作用, 但过度缩小行距则会抑制旗叶细胞超氧阴离子自由基清除能力, 导致根系和旗叶早衰, 分析认为, 适宜缩小行距可为滴灌燕麦种植提供一个相对通风透光的环境, 燕麦群体结构布置合理, 减缓了个体之间对光照资源、水资源、养分资源等的竞争, 从而使根系、叶片保持较高的生理活性, 在进入后期衰老过程中, 细胞内较高的生理活性使得一系列抗氧化系统活性增强, 使得 MDA 量下降, 削弱膜脂过氧化作用, 最终实现了延缓燕麦根系、旗叶衰老。同时在适宜行距调整后配施保水剂, 综合发挥保水剂对土壤条件的改善作用, 进而对延缓滴灌燕麦根系、旗叶衰老, 提高代谢水平的效果更加明显。

### 4 结论

与滴灌燕麦等行距 20 cm 种植相比, 采用围绕滴灌带缩小行距到 15 cm 带状种植, 配合施用 22.5 kg/hm<sup>2</sup> 保水剂的种植方式, 燕麦根系活力提高 5.56%~15.27%、根系和旗叶 SOD 活性提高 4.78%~5.89% 和 3.98%~10.62%、根系和旗叶可溶性蛋白量提高 15.20%~23.74% 和 5.89%~15.04%, 根系和旗叶 MDA 量降低 11.79%~13.86% 和 6.01%~14.08%, 起到了延缓根系和旗叶衰老作用, 对促进滴灌燕麦生物产量和籽粒产量的形成具有促进作用, 能够作为滴灌燕麦栽培中一种高效的种植模式。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献:

- [1] 任长忠, 胡跃高. 中国燕麦学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [2] STEWART D, MCDUGALL G. Oat agriculture, cultivation and breeding targets: Implications for human nutrition and health[J]. *British Journal of Nutrition*, 2014, 112(S2): S50-S57.
- [3] 苏日娜. 中国燕麦产业发展研究: 以内蒙古为例[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.  
SU Rina. Study on the development of oat industry in China: Evidence of Inner Mongolia[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2013.
- [4] 任长忠, 胡新中. 中国燕麦产业“十二五”发展报告[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2016.  
REN Changzhong, HU Xinzong. China oat & buckwheat industry R&D report[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2016.
- [5] 刘亚钊, 王明利, 蒋年华. 中国草产品贸易格局和发展趋势分析[J]. *草业科学*, 2018, 35(11): 2 765-2 772.  
LIU Yazhao, WANG Mingli, JIANG Nianhua. Analysis of trade patterns and development trends of Chinese grass products[J]. *Pratacultural Science*, 2018, 35(11): 2 765-2 772.
- [6] 姚兆磊, 张继宗, 杜玉琼, 等. 华北寒旱区作物轮作的生产效应[J].

- 作物学报, 2020, 46(12): 1 923-1 932.
- YAO Zhaolei, ZHANG Jizong, DU Yuqiong, et al. Productivity evaluation of crop rotation in cold and arid region of Northern China[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2020, 46(12): 1 923-1 932.
- [7] LIU L, LI H X, ZENG H L, et al. Exogenous jasmonic acid and cytokinin antagonistically regulate rice flag leaf senescence by mediating chlorophyll degradation, membrane deterioration, and senescence-associated genes expression[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2016, 35(2): 366-376.
- [8] 李娜. 不同施肥水平下糜子叶片衰老和活性氧代谢研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- LI Na. Under different fertilization broomcorn millet leaf senescence and activated oxygen metabolism studies[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2014.
- [9] 王洋, 齐晓宁, 刘胜群, 等. 宽窄行种植方式对生育后期玉米叶片衰老的影响[J]. *土壤与作物*, 2016, 5(4): 211-214.
- WANG Yang, QI Xiaoning, LIU Shengqun, et al. Effects of wide-narrow row planting pattern on leaf senescence during seed filling in maize[J]. *Soils and Crops*, 2016, 5(4): 211-214.
- [10] 鱼欢, 冯佰利, 邓文明, 等. 施氮量和栽培模式对旱地冬小麦旗叶衰老及其活性氧代谢的影响[J]. *西北植物学报*, 2007, 27(10): 2 065-2 071.
- YU Huan, FENG Baili, DENG Wenming, et al. Winter wheat flag leaf aging and reactive oxygen species metabolism under different nitrogen and cultivation modes in dryland[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(10): 2 065-2 071.
- [11] 郭天财, 刘胜波, 冯伟, 等. 不同种植行距的大穗型小麦品种‘兰考矮早八’中几种与旗叶衰老有关的生理指标变化[J]. *植物生理学报*, 2008, 44(1): 33-36.
- GUO Tiancai, LIU Shengbo, FENG Wei, et al. Changes in several physiological indices related to senescence in flag leaves of heavy-ear wheat ‘lankao aizao8’ with different row spacing[J]. *Plant Physiology Journal*, 2008, 44(1): 33-36.
- [12] 宋伟. 种植方式对花生产量和品质的影响及其生理生态基础研究[D]. 青岛: 青岛农业大学, 2011.
- SONG Wei. Effects of different planting patterns on the yield and quality of peanut and its physiological and ecological basis[D]. Qingdao: Qingdao Agricultural University, 2011.
- [13] 朱爱民, 张玉霞, 王显国, 等. 不同施氮水平对羊草抗衰老能力的影响[J]. *草原与草坪*, 2019, 39(2): 39-46.
- ZHU Aimin, ZHANG Yuxia, WANG Xianguo, et al. Effects of applying nitrogen fertilizer on leaf senescence characteristics of *Leymus chinensis* in sandy land[J]. *Grassland and Turf*, 2019, 39(2): 39-46.
- [14] LIU Y, ZHU Y F, WANG Y S, et al. Synthesis and application of eco-friendly superabsorbent composites based on xanthan gum and semi-coke[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 179: 230-238.
- [15] 刘辰宇, 马蕊, 罗文静, 等. 保水剂用量对胡杨幼苗生长、光合特性和抗逆生理的影响[J]. *北京林业大学学报*, 2022, 44(3): 36-44.
- LIU Chenyu, MA Rui, LUO Wenjing, et al. Effects of super absorbent polymer dosage on growth, photosynthetic characteristics and stress-resistance physiology of *Populus euphratica* seedlings[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2022, 44(3): 36-44.
- [16] 陈芳泉, 邵惠芳, 崔登科, 等. 保水剂对烟草生理特性的影响[J]. *中国农业科技导报*, 2017, 19(1): 51-57.
- CHEN Fangquan, SHAO Huifang, CUI Dengke, et al. Effect of water retaining agent on physiological characteristics of tobacco[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2017, 19(1): 51-57.
- [17] 吴娜, 赵宝平, 曾昭海, 等. 两种灌溉方式下保水剂用量对裸燕麦产量和品质的影响[J]. *作物学报*, 2009, 35(8): 1 552-1 557.
- WU Na, ZHAO Baoping, ZENG Zhaohai, et al. Effects of super absorbent polymer application rate on yield and quality of naked oat (*Avenua nuda* L.) in two irrigation systems[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(8): 1 552-1 557.
- [18] 潘瑞焱. 植物生理学[M]. 6版. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [19] LI J P, XU X X, LIN G, et al. Micro-irrigation improves grain yield and resource use efficiency by co-locating the roots and N-fertilizer distribution of winter wheat in the North China Plain[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 643: 367-377.
- [20] 王亚琴, 张康健, 黄江康. 植物衰老的分子基础与调控[J]. *西北植物学报*, 2003, 23(1): 182-189.
- WANG Yaqin, ZHANG Kangjian, HUANG Jiangkang. Molecular basis and regulation of plant senescence[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(1): 182-189.
- [21] 何建宁. 不同耕作方式麦田土壤特性与小麦宽幅播种节水生理基础研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- HE Jianning. Study on the soil characteristics of wheat field under various tillage practices and the physiological basis of water saving in wide-range sowing of wheat[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2020.
- [22] 田娜, 张蕾, 江海东. 保水剂对垂盆草建植和生理代谢的影响[J]. *草业科学*, 2009, 26(2): 120-123.
- TIAN Na, ZHANG Lei, JIANG Haidong. Effect of water-retaining agent on the growth and physiological metabolism of *Sedum sarmentosum*[J]. *Pratacultural Science*, 2009, 26(2): 120-123.
- [23] 罗维康. 保水剂对甘蔗生长与产量的影响[J]. *亚热带农业研究*, 2005, 1(1): 27-29.
- LUO Weikang. Effect of water retainer on sugarcane growth and yield[J]. *Subtropical Agriculture Research*, 2005, 1(1): 27-29.
- [24] 张宇君, 尚以顺, 王普昶, 等. 干旱胁迫下保水剂对盘江白刺花幼苗生长和生理特性的影响[J]. *草业学报*, 2020, 29(7): 90-98.
- ZHANG Yujun, SHANG Yishun, WANG Puchang, et al. Effects of super absorbent polymers on growth and physiological characteristics of *Sophora davidii* vs. *Panjiang* seedlings under drought stress[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(7): 90-98.
- [25] 王依惠, 张叶子, 王亚菲, 等. 凹凸棒石保水剂对小麦旗叶光合特性及衰老的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2020(4): 202-207.
- WANG Yihui, ZHANG Yezi, WANG Yafei, et al. Effects of atapulgitic water retaining agent on photosynthesis and senescence of flag leaves in wheat[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2020(4): 202-207.

## Impact of Planting Spacing and Soil Amendment with Water Absorbent on Root and Leaf Senescence Traits of Drip Irrigated Oat

TIAN Lu<sup>1,2</sup>, LIU Jinghui<sup>1\*</sup>, MI Junzhen<sup>1</sup>, ZHAO Baoping<sup>1</sup>, LI Yinghao<sup>1</sup>, ZHANG Sheng<sup>1</sup>,  
WANG Fengwu<sup>3</sup>, JIAO Weihong<sup>4</sup>, XU Zhenpeng<sup>3</sup>, ZHENG Chengzhong<sup>3</sup>

(1. Agronomy College, Inner Mongolia Agriculture University, Hohhot 010019, China; 2. Inner Mongolia Academy of Agricultural & Animal Husbandry Science, Hohhot 010031, China; 3. Agriculture and Forestry Sciences of Ulanqab, Jining 012000, China; 4. Agricultural and Animal Husbandry Ecological Resources Protection Center of Ulanqab, Jining 012000, China)

**Abstract:** 【Objective】 Roots and leaves are highly influenced by a multitude of biotic and abiotic factors. Taking oat under drip irrigation as an example, this study delves into the response of its root and leaf traits to planting density and soil amendment with water absorbent polymer. 【Method】 The field experiment was conducted in 2019—2020 with intra-row planting spacing being 20 cm, and the inter-row planting spacing being 20 cm (A), 15 cm (B) and 10 cm (C), respectively. In each treatment there were two soil amendments by applying 0 and 22.5 kg/hm<sup>2</sup> of a water absorbent polymer. Senescence traits of the roots and flag leaves in each treatment were measured. 【Result】 ①Both row spacing and soil amendment affected root activity, SOD and MDA content, and soluble protein content in the roots and leaves significantly with  $P<0.01$  or  $P<0.05$ . The combined effect of row spacing and soil amendments on root and leaf traits varied with growth stage. In the flowering and filling stages, the combined effect of planting spacing and soil amendment was significant with  $P<0.01$  or  $P<0.05$  on SOD content in roots and leaves, MDA content in root and soluble protein in the roots the leaves, but insignificant on MDA content in the roots. ②Regardless of soil amendment, the impact of row spacing on root activity, SOD activity in the roots and leaves and soluble protein in the roots and leaves was ranked in the order of B>A>C, while the impact on MDA content in the roots and leaves was in the order of C>A>B. Combined with soil amendment, reducing row spacing from 20 cm to 15 cm increased root activity, SOD activity in the roots and leaves, soluble protein content in the roots and leaves by 5.56%~15.27%, 4.78%~5.89%, 3.98%~10.62%, 5.20%~23.74% and 5.89%~15.04% respectively, while reducing MDA content in the roots and leaves by 11.79%~13.86% and 6.01%~14.08%, respectively. Reducing the row spacing further to 10 cm significantly reduced the above traits, except the soluble protein content, which did not show significant changes, and MDA content in the roots and leaves, which showed a significant increase. Without soil amendment, the impact of row spacing on root and leaf traits varied with growth stage and year. ③When row spacing was 20 cm, compared with no amendment, amending the soil increased SOD activity and soluble protein content in the roots and leaves by 7.52%~15.75%, 3.21%~6.47%, 7.25%~10.47%, 18.01%~22.47% and 4.87%~9.10%, respectively, while reducing MDA content in the roots and leaves by 8.79%~13.96% and 7.35%~11.67%, respectively. In contrast, the effect of soil amendment on the above traits varied when the row spacing was 10 cm. ④The senescence traits of roots and leaves were correlated with biomass and grain yield of the oat, both at significant levels. 【Conclusion】 Reducing the row spacing from 20 cm to 15 cm, combined with soil amendment by applying 22.5 kg/hm<sup>2</sup> of the water-absorbent polymer, is effective in reducing senescence of roots and leaves of the drip-irrigated oat and consequently promoting its biological yield and grain yield.

**Key words:** oat; drip irrigation; row spacing; super absorbent polymer; senescence characteristic

责任编辑: 赵宇龙