

# 水氮后移条件下滴灌量对新农豆 2 号根系生长及产量的影响

梁辉<sup>1</sup> 章建新<sup>1</sup> 薛丽华<sup>2</sup> 贾珂珂<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>新疆农业大学农学院, 830052, 新疆乌鲁木齐; <sup>2</sup>新疆农业科学院粮食作物研究所, 830091, 新疆乌鲁木齐;

<sup>3</sup>新疆维吾尔自治区农业技术推广总站, 830000, 新疆乌鲁木齐)

**摘要** 为明确滴灌量对春大豆根系生长和产量的影响规律, 于 2022、2023 年田间设置 1000 ( $W_1$ )、1400 ( $W_2$ )、1800 ( $W_3$ )、2200 ( $W_4$ )、2600  $m^3/hm^2$  ( $W_5$ ) 5 种灌水处理, 研究滴灌量对新农豆 2 号 0~80 cm 土层根干重、根长、根伤流量及产量的影响。结果表明, 增加滴灌量显著增加 0~80 cm 土层总根干重、总侧根长, 主要是 0~40 cm 土层根干重和侧根长度增加的结果, 显著增加根系伤流量, 最终增加大豆籽粒产量和水分利用效率。以  $W_4$ 、 $W_5$  处理的根系总根干重、侧根总长、伤流量和产量较高, 依次为 65.40~87.30  $g/m^2$ 、2740.78~3089.39  $m/m^2$ 、1.57~1.63  $g/(株 \cdot 12 h)$ 、5894.86~6422.53  $kg/hm^2$ , 水分利用效率约为 1.30  $kg/m^3$ 。在  $R_6$  期,  $W_4$  处理总根干重、总侧根长及伤流量最高, 较  $W_1$  处理分别增加 43.76%、71.72%、65.21%。与  $W_1$  处理相比,  $W_4$  和  $W_5$  处理产量分别增加 43.29% 和 48.53%, 但  $W_4$  和  $W_5$  处理间差异不显著。与  $W_4$  处理相比,  $W_5$  处理水分利用效率降低 4.54%~5.15%, 表明  $W_5$  处理存在明显的灌溉报酬递减效应。本试验条件下, 春大豆适宜的滴灌量为 2200~2600  $m^3/hm^2$ , 可稳定获得产量 5894.86~6422.53  $kg/hm^2$ , 水分利用效率为 1.30  $kg/m^3$  左右。

**关键词** 春大豆; 滴灌量; 根系生长; 水分利用效率; 产量

伊犁河谷区地处半干旱农业区<sup>[1]</sup>, 是新疆大豆主产区之一。大豆高产耗水依靠灌溉满足<sup>[2]</sup>, 由于灌溉水资源的日益匮乏, 采用高效节水技术是大豆生产的必然选择<sup>[3]</sup>。虽然大豆生产上已普遍采用滴灌技术<sup>[4]</sup>, 但仍然存在灌水盲目性大、灌溉定额过高以及产量和水分利用效率较低等突出问题<sup>[5]</sup>。土壤干旱供水不足或土壤积水产生涝害均不利于大豆高产和水分利用效率的提高<sup>[6-7]</sup>。合理灌溉可调控土壤含水量, 实现大豆高产和提高水分利用效率<sup>[8]</sup>。发达的根系能够保证大豆吸收足够的养分及水分<sup>[9]</sup>, 是高产的前提条件。开花结荚期是大豆生长用水的关键期<sup>[10]</sup>, 也是大豆根系和地上部快速增长及花荚形成的关键时期<sup>[11]</sup>。适宜的灌水时期和灌水量可以增加春大豆总根干重、总侧根长和地上部干物质积累量<sup>[12]</sup>, 增加花荚数和百粒数, 最终增加产量<sup>[13]</sup>。出苗至结荚期轻度干旱胁迫可以促进大豆根系生长, 增加根系干重、侧根长和根表面积, 防止大豆徒长, 减少花荚脱落, 增加产量, 而严重干旱胁迫均降低根系的生长, 增加花荚脱落, 降低产量<sup>[14]</sup>。有关水氮后移条件下, 灌水量对大豆根系生长和水分利用效率的影

响规律尚不清楚。本文研究了大豆始荚期灌头水和滴施氮肥条件下, 滴灌量对新农豆 2 号根系生长、产量及水分利用效率的影响, 为大豆节水高产栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

新农豆 2 号由新疆农业大学农学院提供。

### 1.2 试验设计

试验于 2022–2023 年在新疆伊犁州伊宁县农业技术推广中心试验基地 (81°31' E, 43°57' N) 进行。伊犁河谷气候温和湿润, 属于温带大陆性气候, 年均气温 10.4 °C, 年日照时数 2900 h。试验地土壤为砂壤土, 2 年 0~20 cm 土壤有机质含量分别为 18.27 g/kg、15.08 g/kg、碱解氮 99.25 mg/kg、93.44 mg/kg、速效磷 38.7 mg/kg、46.31 mg/kg、速效钾 289.67 mg/kg、222.54 mg/kg、pH 7.92~8.10。播种前 2022 年基施重过磷酸钙 375.00  $kg/hm^2$ , 2023 年基施磷酸二铵 375.00  $kg/hm^2$ 。

试验设置 1000 ( $W_1$ )、1400 ( $W_2$ )、1800 ( $W_3$ )、2200 ( $W_4$ ) 和 2600  $m^3/hm^2$  ( $W_5$ ) 5

作者简介: 梁辉, 主要从事大豆高产栽培研究, E-mail: 741132601@qq.com

章建新为通信作者, 主要从事作物高产栽培研究, E-mail: zjxin401@126.com

基金项目: 国家自然科学基金 (32160520); 新疆维吾尔自治区重大科技专项课题 (2022A02008-1, 2022A02008-2)

收稿日期: 2024-05-29; 修回日期: 2024-08-07; 网络出版日期: 2025-02-06

个灌溉量处理。田间随机区组排列，小区面积 22.4 m<sup>2</sup> (7.0 m×3.2 m)，3 次重复。4 月 15 日人工点播。等行距 40 cm，株距 8.3 cm。第 3 复叶全展时定苗，定苗后铺设滴灌系统，按“一管两行”将毛管铺设于大豆行中间，滴头间距 16.6 cm，滴头流量 2.5~3.5 L/h，2 年试验每个处理分别灌溉 4 次，2022 年灌溉日期为 6 月 16 日、7 月 2 日、7 月 20 日、8 月 8 日，2023 年灌溉日期为 6 月 19 日、7 月 5 日、7 月 22 日和 8 月 11 日（表 1）。2022 年 6 月 16 日头水灌溉时随水滴入 150 kg/hm<sup>2</sup> 尿素，7 月 20 日追肥 150 kg/hm<sup>2</sup> 尿素，共 300 kg/hm<sup>2</sup> 尿素。2023 年 6 月 19 日头水灌溉随水追肥 150 kg/hm<sup>2</sup>，7 月 22 日追肥 150 kg/hm<sup>2</sup>，共 300 kg/hm<sup>2</sup>（降水量见表 2）。人工锄草 2 次，2022 年 9 月 8–10 日收获。2023 年 9 月 9–11 日收获。

表 1 各处理灌溉时期及滴灌量  
Table 1 Irrigation period and drip irrigation amount of each treatment

处理 Treatment	滴灌次数 Drip irrigation frequency				总滴灌量 Total drip irrigation amount
	1	2	3	4	
W <sub>1</sub>	300	300	250	150	1000
W <sub>2</sub>	300	400	500	200	1400
W <sub>3</sub>	400	500	650	250	1800
W <sub>4</sub>	500	600	700	400	2200
W <sub>5</sub>	600	650	800	550	2600

表 2 2022–2023 年大豆生育期间降水量  
Table 2 Rainfall during soybean growth in 2022–2023

年份 Year	月份 Month					总和 Total
	4	5	6	7	8	
2022	35.92	43.40	37.51	39.60	21.63	178.06
2023	37.20	13.81	17.92	15.51	23.03	107.47

1.3 测定项目与方法

1.3.1 根系形态 分别在始荚期（R<sub>3</sub>）、始粒期（R<sub>5</sub>）、满粒期（R<sub>6</sub>）和成熟初期（R<sub>7</sub>）选取代表性样本取样，采用挖掘法。取土样体积 13 280 cm<sup>3</sup>（长×宽×高，16.6 cm×40.0 cm×20.0 cm），按每 20 cm 分层取根样，至无根层时停止取样，3 次重复。

每层根系放入铁制纱筐内，铺入 100、120、150 目筛网，使用可调节高压水枪进行冲洗，分层挑拣出根系，放入水盆中分次漂洗，将主根与侧根分开。使用根系扫描仪 WinRHIZO-2004a 分别将各土层侧根、根瘤放入 30 cm×40 cm 树脂槽内，进行扫描获得图片。使用数字化分析软件（万深

LA-S 根系分析系统）分析 0~80 cm 土层根系照片（扫描像素 600 bpi），获得根系形态指标。将扫描后的根系在 105 ℃下杀青 30 min，80 ℃烘干至恒重，用万分之一天平称根系干重，并计算总侧根干重（g/m<sup>2</sup>）、根干重密度（g/m<sup>3</sup>）、总侧根长（m/m<sup>2</sup>）和侧根长密度（m/m<sup>3</sup>）。

1.3.2 根伤流 分别在始荚期、始粒期、满粒期和成熟初期选取代表性样本取样（晚 8 点），各小区 2 株，在大豆植株茎秆子叶节处剪断，然后将装有已知重量脱脂棉的塑料管与茎切口处紧密固定在一起，12 h 后取出试管，用万分之一天平称试管重量，以计算根系伤流量。

1.3.3 产量及其构成因素及水分利用效率 各小区选取中间代表性样点 10 m<sup>2</sup>（5.0 m×2.0 m）实收测产，重复 3 次。成熟期每小区连续选取 10 株，测定各处理有效分枝数、分枝荚数、单株荚数、单株粒数和百粒重等。用谷物水分仪测定各测产小区籽粒含水量，然后折合标准含水量（13.0%）产量。

水分利用效率（WUE）（kg/m<sup>3</sup>）=籽粒产量/总耗水量，灌水利用效率（kg/m<sup>3</sup>）=籽粒产量/总灌水量，总耗水量（m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>）=总滴灌量+土壤贮水消耗量+降水量，土壤贮水消耗量（m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>）=播种时 0~100 cm 土层含水量–收获后 0~100 cm 土层含水量。

1.4 数据处理

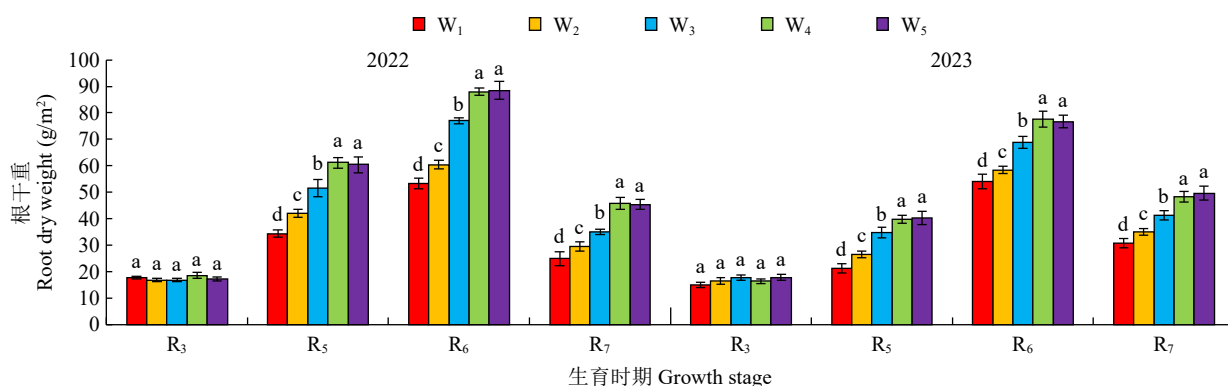
使用 Excel 2021 整理数据和绘图；用 SPSS 19.0 统计分析。

2 结果与分析

2.1 滴灌量对大豆根系总干重及根干重密度的影响

2022–2023 年各处理变化趋势一致，根系总干重在 R<sub>3</sub> 期后迅速增长，R<sub>6</sub> 期后缓慢降低（图 1），处理间根系总干重差异显著，2022 年 R<sub>6</sub> 期 W<sub>4</sub>、W<sub>5</sub> 之间差异不显著，但显著大于其他处理，W<sub>4</sub>、W<sub>5</sub> 处理分别较 W<sub>3</sub> 增加 22.61% 和 22.94%。2023 年根系总干重与 2022 年表现一致，W<sub>4</sub>、W<sub>5</sub> 处理分别较 W<sub>3</sub> 处理增加 25.47% 和 26.31%。随着滴灌量增加根系总干重不断增加。

各处理根干重密度随着生育进程的推进呈现先升后降的趋势。2 年各处理同一生育时期的各土层根干重密度均表现为 0~20 cm>20~40 cm>



不同小写字母表示处理间在  $P < 0.05$  水平差异显著，下同。

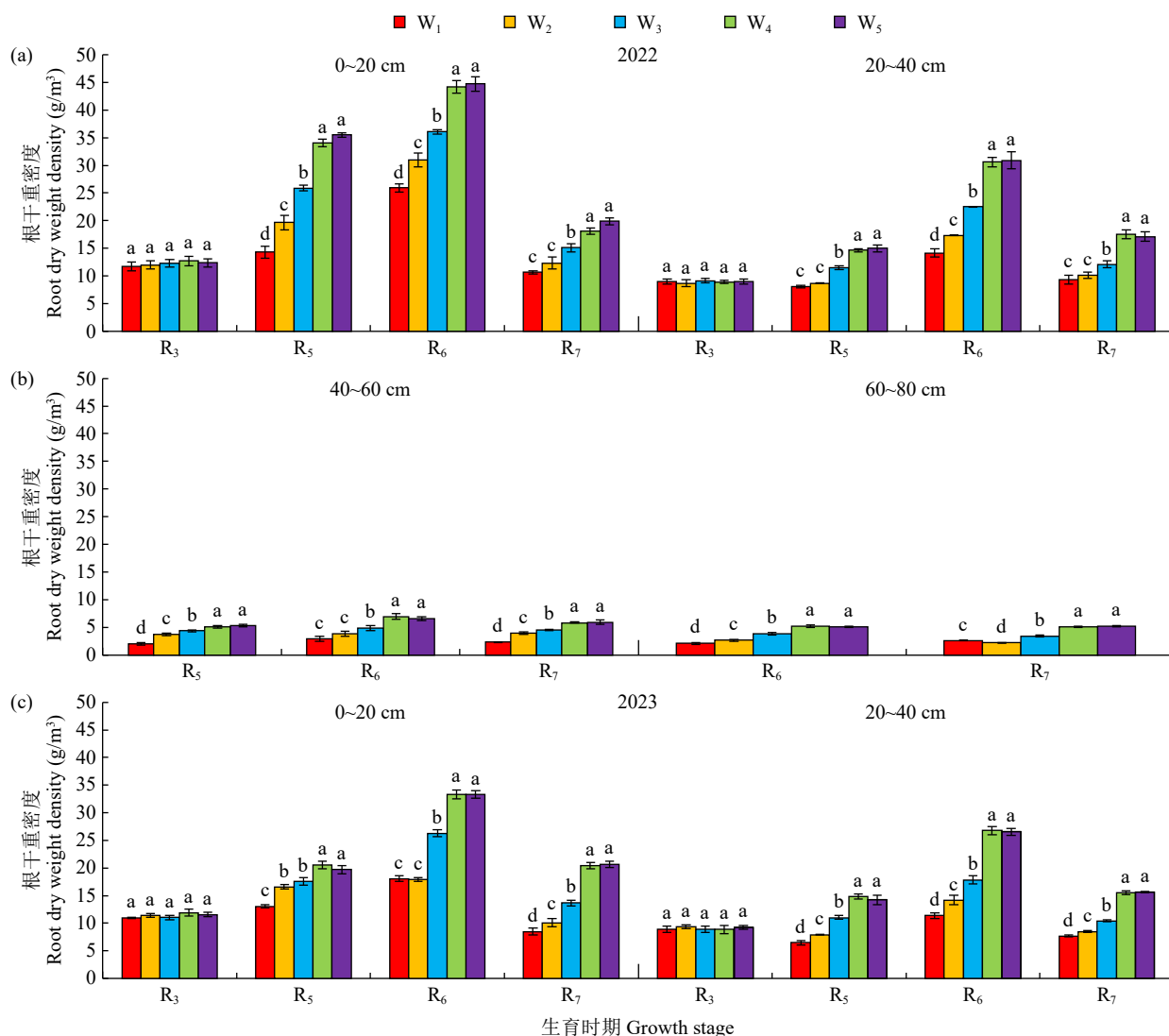
Different lowercase letters indicate significant differences between treatments at  $P < 0.05$  level, the same below.

图 1 滴灌量对根系总干重的影响

Fig.1 Influence of drip irrigation amount on total root dry weight

40~60 cm > 60~80 cm (图 2)。除 R<sub>3</sub> 期外，2022 年各土层根干重密度 W<sub>4</sub>、W<sub>5</sub> 处理之间差异不显著，较其他处理间差异显著。R<sub>6</sub> 期 W<sub>4</sub> 和 W<sub>5</sub> 处理 0~20 cm 土层总干重密度较 W<sub>3</sub> 处理分别增加

18.41%、19.34%，20~40 cm 土层分别增加 26.45%、27.19%；40~60 cm 土层分别增加 29.91%、26.09%。2023 年根系干重密度与 2022 年表现一致。R<sub>6</sub> 期 W<sub>4</sub>、W<sub>5</sub> 处理 0~20 cm 土层根系干重密度较 W<sub>3</sub> 处



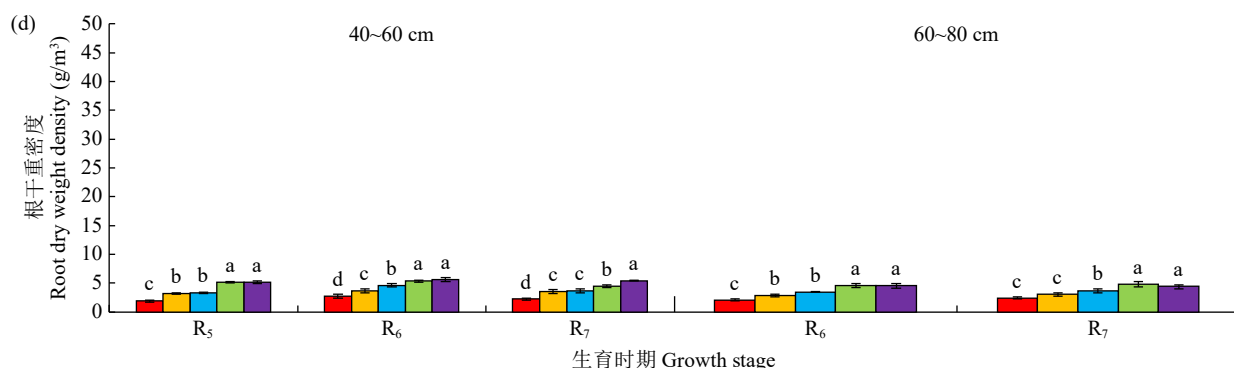


图 2 滴灌量对根干重密度的影响

Fig.2 Influence of drip irrigation amount on dry weight density of root

理分别增加 21.05%、21.03%，20~40 cm 土层分别增加 33.37%、32.78%，40~60 cm 土层分别增加 13.46%、17.30%。增加滴灌量显著增加根系总干重密度，主要是 0~20 cm 和 20~40 cm 土层干重密度增加的结果。

## 2.2 滴灌量对总侧根长及侧根长密度的影响

2022-2023 年各处理变化趋势一致，根系总侧

根长在 R<sub>3</sub> 期后迅速增长，R<sub>6</sub> 期缓慢降低（图 3），不同处理间根系总侧根长差异显著。2022 年 R<sub>6</sub> 期表现为 W<sub>4</sub>、W<sub>5</sub> 处理之间差异不显著，较其他处理间差异显著。2023 年总侧根长与 2022 年表现一致。2023 年 W<sub>4</sub>、W<sub>5</sub> 处理最大侧根总长分别较 W<sub>3</sub> 处理增加 13.13%、15.09%。滴灌量增加总侧根长也不断增加。

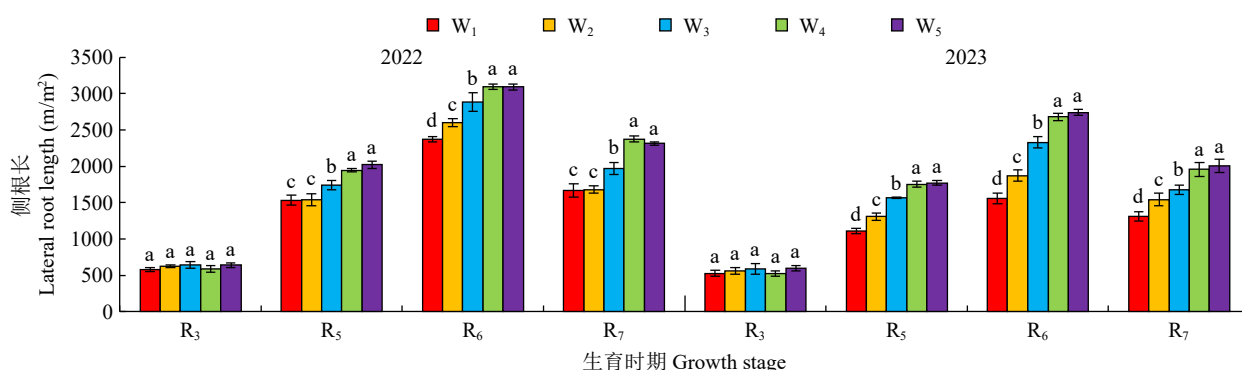
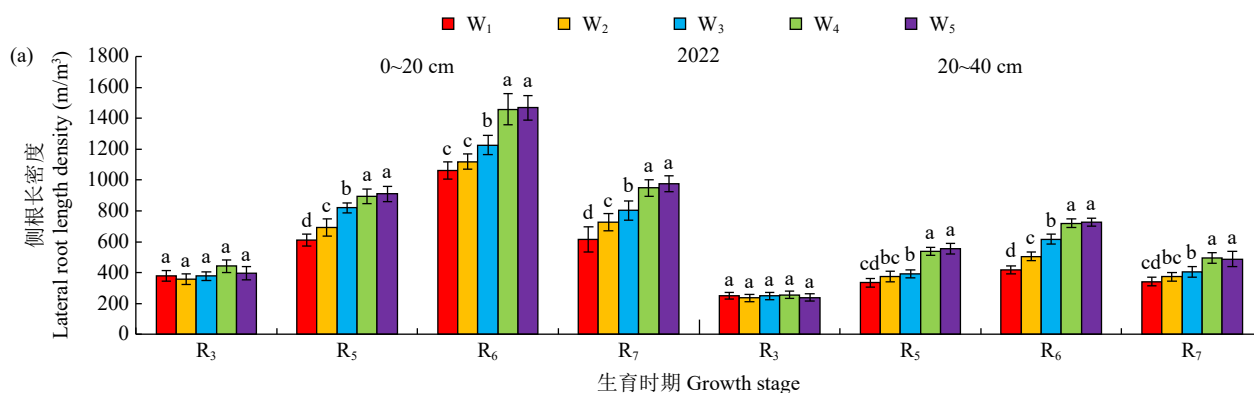


图 3 滴灌量对总侧根长的影响

Fig.3 Influence of drip irrigation amount on total lateral root length

各处理侧根长密度随着生育进程的后移呈现先升后降的变化趋势。各处理的同一生育时期的侧根长密度均表现为 0~20 cm > 20~40 cm > 40~60 cm > 60~80 cm（图 4）。2022 年 R<sub>6</sub> 期各土层侧根长

密度表现为 W<sub>4</sub>、W<sub>5</sub> 处理之间差异不显著，较其他处理间差异显著，W<sub>4</sub>、W<sub>5</sub> 处理 0~20 cm 土层侧根长密度较 W<sub>3</sub> 处理分别增加 15.85%、16.49%，20~40 cm 土层分别增加 14.38%、15.27%；40~60 cm



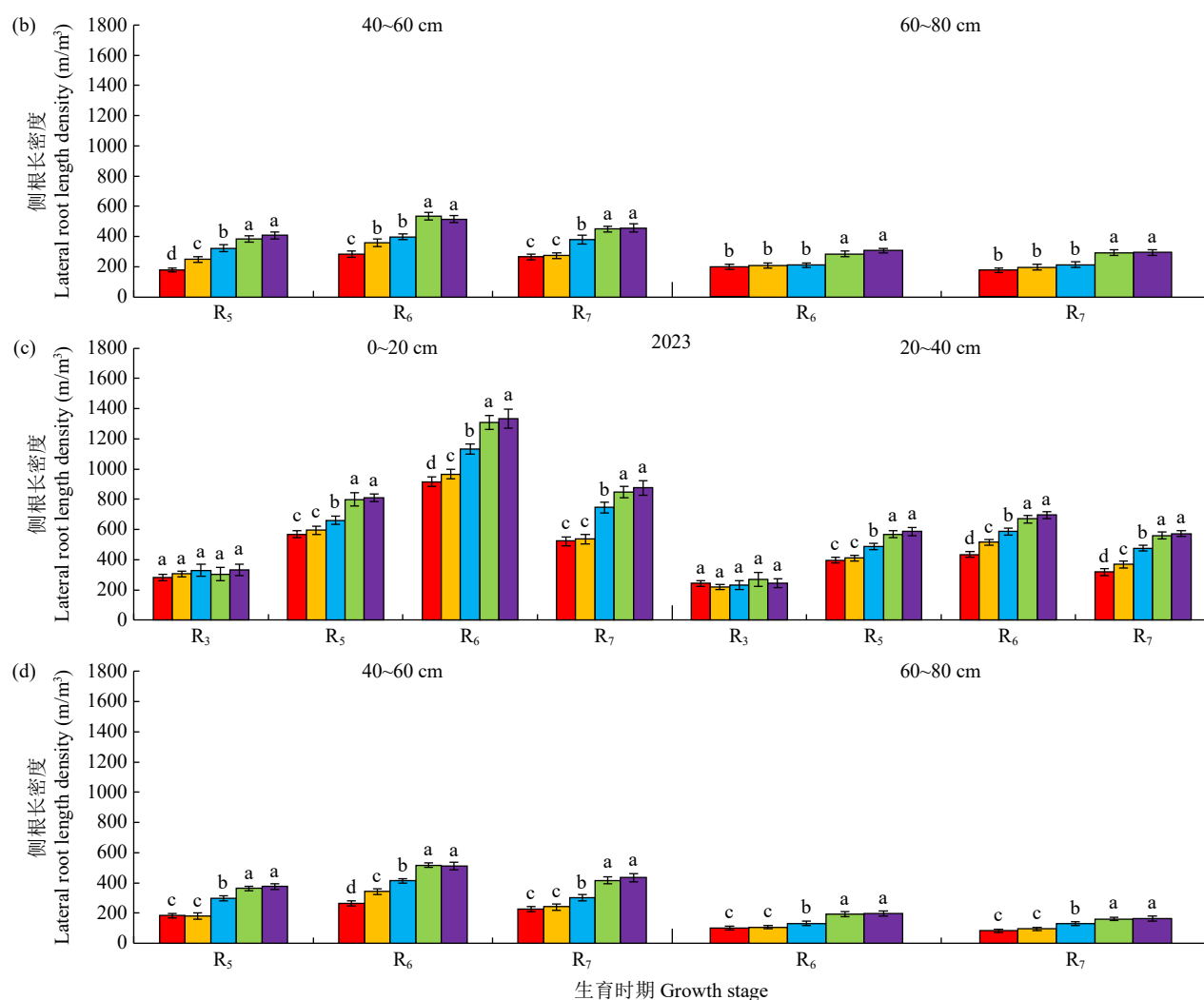


图 4 滴灌量对侧根长密度的影响

Fig.4 Influence of drip irrigation amount on lateral root length density

土层分别增加 25.42%、22.70%。2023 年侧根长密度与 2022 年表现一致，R<sub>6</sub> 期 W<sub>4</sub>、W<sub>5</sub> 处理 0~20 cm 土层侧根长密度较 W<sub>3</sub> 处理分别增加 13.37%、14.92%，20~40 cm 土层分别增加 12.42%、15.81%，40~60 cm 土层分别增加 20.17%、19.26%。

增加滴灌量显著增加总侧根长度密度，主要是 0~20 cm、20~40 cm 土层侧根长密度增加的结果。

### 2.3 滴灌量对根系伤流量的影响

由图 5 可知，随着生育进程的推进，各处理根伤流量呈现单峰变化趋势，R<sub>5</sub> 期后开始降低。

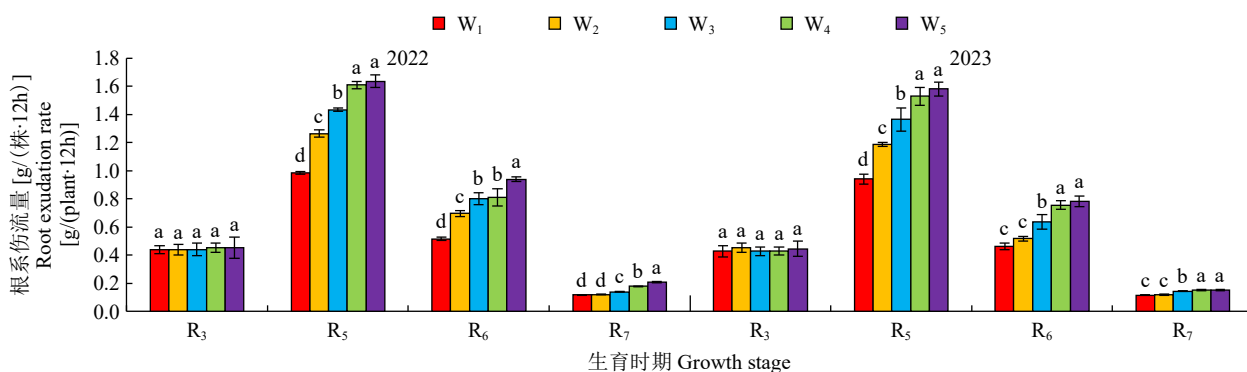


图 5 滴灌量对根伤流量的影响

Fig.5 Influence of drip irrigation amount on root exudation flux

2022、2023 年 R<sub>5</sub> 期根系伤流量 W<sub>4</sub>、W<sub>5</sub> 处理之间差异不显著，较其他处理间差异显著。2022 年 W<sub>4</sub>、W<sub>5</sub> 处理根伤流量较 W<sub>3</sub> 处理分别增加 10.94%、12.42%。2023 年 W<sub>4</sub> 和 W<sub>5</sub> 处理根伤流量分别较 W<sub>3</sub> 增加 10.71% 和 13.61%。增加滴灌量可以显著增加根伤流量，W<sub>4</sub> 和 W<sub>5</sub> 处理根伤流量较高。

2.4 滴灌量对产量及水分利用效率的影响

不同处理间单株粒数、百粒重和产量差异均

达显著水平，收获株数处理间差异不显著（表 3）。2022 年单株粒数、百粒重和产量均表现为 W<sub>5</sub> 和 W<sub>4</sub> 处理显著高于其他处理。W<sub>5</sub>、W<sub>4</sub> 处理产量分别较 W<sub>3</sub> 增加 5.33%、9.28%。2023 年单株粒数、百粒重和产量与 2022 年表现相近，W<sub>5</sub> 和 W<sub>4</sub> 处理显著高于其他处理。W<sub>5</sub>、W<sub>4</sub> 处理产量分别较 W<sub>3</sub> 增加 9.02%、12.89%。增加灌水量产量增加主要是单株粒数和百粒重增加的结果。W<sub>5</sub>、W<sub>4</sub> 处理的

表 3 滴灌量对产量及其构成因素的影响  
Table 3 The impact of drip irrigation amount on yield and its components

年份 Year	处理 Treatment	收获株数 Number of harvested plants (×10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	单株荚数 Number of pods per plant	单株粒数 Number of grains per plant	百粒重 100-grain weight (g)	产量 Yield (kg/hm <sup>2</sup> )
2022	W <sub>1</sub>	26.11a	41.46c	85.53c	18.55b	4070.26d
	W <sub>2</sub>	25.87a	42.10c	94.07c	18.57b	4350.97c
	W <sub>3</sub>	26.76a	47.13b	108.00b	18.73b	5596.61b
	W <sub>4</sub>	26.51a	51.43a	112.96a	19.67a	5894.86ab
	W <sub>5</sub>	26.52a	52.73a	121.96a	19.86a	6115.92a
2023	W <sub>1</sub>	25.55a	52.23b	95.51b	18.39c	4374.84d
	W <sub>2</sub>	25.31a	56.53b	103.67b	18.93bc	4767.42c
	W <sub>3</sub>	25.65a	63.13a	110.37a	19.49b	5689.02b
	W <sub>4</sub>	25.34a	65.96a	112.31a	22.44a	6202.14a
	W <sub>5</sub>	25.66a	65.53a	110.15a	22.75a	6422.53a

不同小写字母表示 0.05 水平差异显著，下同。  
The different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level, the same below.

产量较高，均在 6000 kg/hm<sup>2</sup> 左右。

随着滴灌量的增大，大豆田间总耗水量显著增加（表 4）。2022 年总耗水量 W<sub>5</sub>、W<sub>4</sub> 处理分别较 W<sub>3</sub> 处理增加 5.96%、15.42%；土壤贮水消耗量显著降低，W<sub>5</sub>、W<sub>4</sub> 处理分别较 W<sub>3</sub> 处理降低 23.81%、

24.19%。2023 年总耗水量与 2022 年表现相近，W<sub>5</sub>、W<sub>4</sub> 处理分别较 W<sub>3</sub> 处理增加 6.81%、17.01%；土壤贮水消耗量显著降低，W<sub>5</sub>、W<sub>4</sub> 处理分别较 W<sub>3</sub> 处理降低 7.85%、8.82%。处理间水分利用效率差异显著。综合产量和水分利用效率，适宜滴灌

表 4 滴灌量对春大豆水分利用效率的影响  
Table 4 The impact of drip irrigation amount on the water use efficiency of spring soybean

年份 Year	处理 Treatment	降水量 Precipitation (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	滴灌量 Drip irrigation amount (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	贮水消耗量 Water storage consumption (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	总耗水量 Total water consumption (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	WUE (kg/m <sup>3</sup> )
2022	W <sub>1</sub>	1780.60	1000	1045.99a	3826.59d	1.06c
	W <sub>2</sub>	1780.60	1400	791.10b	3971.78d	1.09c
	W <sub>3</sub>	1780.60	1800	626.05c	4206.73c	1.33a
	W <sub>4</sub>	1780.60	2200	476.97d	4457.65b	1.32a
	W <sub>5</sub>	1780.60	2600	474.60d	4855.28a	1.26b
2023	W <sub>1</sub>	1074.70	1000	1574.59a	3649.34e	1.19b
	W <sub>2</sub>	1074.70	1400	1458.14b	3932.89d	1.21b
	W <sub>3</sub>	1074.70	1800	1393.31b	4268.06c	1.33a
	W <sub>4</sub>	1074.70	2200	1283.92c	4558.67b	1.36a
	W <sub>5</sub>	1074.70	2600	1270.45c	4945.15a	1.29a

量为 2200~2600 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 产量可达 6000 kg/hm<sup>2</sup> 左右, 其水分利用效率约为 1.30 kg/m<sup>3</sup>。

### 3 讨论

在大豆生育期间, 保持田间适宜的土壤含水量, 是实现大豆高产和提高水分利用效率的重要措施之一。土壤水分不足显著抑制大豆根系生长, 降低根系干重和侧根长度, 进而降低籽粒产量<sup>[15]</sup>。干旱胁迫抑制大豆生长, 进而影响地上部生长和花荚形成, 最终导致产量降低。大豆可以通过调节根系形态及生理变化适应干旱胁迫环境条件<sup>[16]</sup>。开花结荚期是大豆根系快速生长的时期, 轻度和中度的土壤水分亏缺可以促进根系下扎, 增强对深土层贮水的吸收能力<sup>[10,17]</sup>。春大豆在始荚期开始灌头水和施氮肥, 增加根系干重、侧根总长和根系表面积和产量<sup>[18-20]</sup>。本研究结果表明, 在大豆始荚期灌头水和施氮肥, 增加滴灌量, 能显著增加 0~80 cm 土层根系总干重和侧根长, 增加根伤流量, 最终增加产量和提高水分利用效率, 与前人<sup>[18-20]</sup>研究结果一致。

始荚期滴水头和施氮肥, 有利于大豆生育前期充分利用土壤储水, 促进根系生长和深扎的同时, 还有利于防止地上部茎叶徒长, 减少倒伏和落花落荚的风险。王聪等研究表明<sup>[19]</sup>, 伊犁地区使用中熟品种新大豆 27 号, 在始荚期滴灌头水和施氮肥, 最大灌溉总量为 2775 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 降水量为 177.1 mm 时, 可获得 6082.6 kg/hm<sup>2</sup> 产量。李春燕等<sup>[20]</sup>两年研究表明, 生育期内降水量 181.2 和 132.2 mm, 总滴灌量分别为 2175 和 2550 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 时, 产量可分别达到 6082.6 和 5388.3 kg/hm<sup>2</sup>。本研究表明, 总灌溉量为 2200~2600 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 2 年均获得 6000 kg/hm<sup>2</sup> 左右的产量。这与前人研究<sup>[19-20]</sup>结果一致。石河子市膜下滴灌条件下<sup>[21]</sup>采用吉育 86 品种, 生育期内滴水 13 次, 总滴灌量 7744.5 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (含降水量), 获得最大产量 6200 kg/hm<sup>2</sup>, 本试验结果较石河子结果不同。这可能与石河子气候条件不同, 大豆生育期间降水量减少及吉育 86 是晚熟品种, 导致生育期延长等有关。本试验期间, 2022 和 2023 年大豆生育期间的总降水量分别为 178.06 和 107.47 mm, 2023 年总降水量较 2022 年减少 39.64%, W<sub>5</sub> 处理滴灌量较 W<sub>4</sub> 增加 18.18%, 产量仅增加 3.55%, 在 2 年相

同滴灌量条件下, 产量却没有显著增加, 说明过量的灌溉水降低增产效果。

### 4 结论

在始荚期灌头水和施氮肥条件下, 增加滴灌量, 显著增加根系总干重、侧根长和根系伤流量, 最终提高产量及水分利用效率。综合考虑产量和水分利用效率, 在本试验条件下, 大豆生育期间滴水 4 次, 总滴灌量 2200 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 或 2600 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 可稳定获得约 6000 kg/hm<sup>2</sup> 的产量, 水分利用效率为 1.3 kg/m<sup>3</sup> 左右。

#### 参考文献

- [1] 姚俊强. 新疆空中水资源和地表水资源变化特征研究. 干旱区研究, 2024, 41(2): 181-190.
- [2] 胡雅琪, 吴文勇. 中国农业非常规水资源灌溉现状与发展策略. 中国工程科学, 2018, 20(5): 69-76.
- [3] 王振南. 节水灌溉技术在农田水利工程中的应用研究. 陕西水利, 2024(5): 95-96, 102.
- [4] 李鹏, 曹华, 詹伟, 等. 滴灌节水技术应用机理及热点研究进展. 节水灌溉, 2024(2): 62-68, 75.
- [5] Torrior J A, Setiyono T D, Cassman K G, et al. Soybean root development relative to vegetative and reproductive phenology. Agronomy Journal, 2012, 104(6): 1702-1709.
- [6] Chun H C, Lee S, Choi Y D, et al. Effects of drought stress on root morphology and spatial distribution of soybean and adzuki bean. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(10): 2639-2651.
- [7] Gao X B, Guo C, Li F M, et al. High soybean yield and drought adaptation being associated with canopy architecture, water uptake, and root traits. Agronomy, 2020, 10(4): 608.
- [8] 葛慧玲, 龚振平, 马春梅, 等. 灌溉水平及灌溉间隔对大豆植株干物质积累的影响. 灌溉排水学报, 2017, 36(5): 30-35.
- [9] 沈融, 章建新, 古丽娜, 等. 亏缺灌溉对大豆根系生长和养分积累及产量的影响. 大豆科学, 2011, 30(1): 62-66.
- [10] 李盛有, 董丽杰, 王雅珍, 等. 不同土壤水分下大豆根冠互作对产量和农艺性状的影响. 干旱地区农业研究, 2020, 38(3): 251-256, 268.
- [11] 周行, 龚岫, 郑殿峰, 等. 黑龙江省不同大豆品种根系分布特征及与产量的关系. 大豆科学, 2020, 39(1): 52-61.
- [12] 李琬. 干旱对大豆根系生育的影响及灌溉缓解效应研究进展. 草业学报, 2019, 28(4): 192-202.
- [13] 孟凡钢, 李羽, 张伟, 等. 不同生育时期干旱胁迫对大豆根系分布和农艺性状的影响. 大豆科学, 2016, 35(6): 943-946.
- [14] 杨玉花, 雷阳, 白志元, 等. 杂交大豆苗期对干旱胁迫的生理响应. 西南农业学报, 2022, 35(10): 2303-2310.
- [15] 杨万明, 王敏, 张谨华, 等. 干旱胁迫下花荚期野生和栽培大豆根系特征研究. 晋中学院学报, 2016, 33(3): 51-57.
- [16] 李明阳, 王丽学, 姜展博, 等. 调亏灌溉和生物炭对大豆生长、产量及水分利用效率的影响. 生态学杂志, 2020, 39(6): 1966-1973.
- [17] 赵晶云, 任小俊, 刘小荣, 等. 灌水时期及灌水量对大豆产量及产量因子的影响. 中国农学通报, 2017, 33(33): 9-15.
- [18] 白盼盼, 任金涛, 章建新, 等. 不同水氮处理对膜下滴灌春大豆根系生长及产量的影响. 大豆科学, 2023, 42(3): 326-334.
- [19] 王聪, 章建新. 滴水量对新大豆 27 号根系生长及产量的影响.

- 干旱地区农业研究, 2015, 33(5): 169-174, 185.
- [20] 李春艳, 李思忠, 楚光红, 等. 不同滴水量处理下大豆根系生长与花萼形成的关系. 南京农业大学学报, 2016, 39(2): 198-204.
- [21] 曾凯, 赵靓, 张恒斌, 等. 新疆春大豆膜下滴灌超高产栽培模式创建. 大豆科学, 2021, 40(1): 28-38.

## Effects of Drip Irrigation Amount on Root Growth and Yield of Xinnongdou 2 under the Condition of the Postpone of Water and Nitrogen

Liang Hui<sup>1</sup>, Zhang Jianxin<sup>1</sup>, Xue Lihua<sup>2</sup>, Jia Keke<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; <sup>2</sup>Institute of Grain Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, Xinjiang, China; <sup>3</sup>Agricultural Technology Extension Station of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

**Abstract** To clarify the influence law of drip irrigation amount on the root growth and yield of spring soybean, five irrigation treatments of 1000 ( $W_1$ ), 1400 ( $W_2$ ), 1800 ( $W_3$ ), 2200 ( $W_4$ ) and 2600  $m^3/ha$  ( $W_5$ ) were set in 2022 and 2023. The effects of drip irrigation amount on root dry weight, root length, root exudation rate, and yield of Xinnongdou 2 in the soil layer of 0-80 cm was investigated. The result indicated that increasing the drip irrigation amount significantly increased the total root dry weight and the total lateral root length in the 0-80 cm soil layer, which was mainly the result of the increase in root dry weight and lateral root length in the 0-40 cm soil layer. It also significantly increased the root exudation rate. Consequently, soybean grain yield and water use efficiency were ultimately increased. The total root dry weight, lateral root length, exudation rate, and yield were higher in the  $W_4$  and  $W_5$  treatments, with values of 65.40-87.30  $g/m^2$ , 2740.78-3089.39  $m/m^2$ , 1.57-1.63  $[g/(plant \cdot 12 h)]$ , and 5894.86-6422.53  $kg/ha$ , respectively. The water use efficiency was approximately 1.30  $kg/m^3$ . At the  $R_6$  stage, the  $W_4$  treatment demonstrated the highest total root dry weight, total lateral root length, and root exudation rate, which increased by 43.76%, 71.72%, and 65.21%, respectively, compared to the  $W_1$  treatment. The yields of  $W_4$  and  $W_5$  treatments increased by 43.29% and 48.53% relative to  $W_1$ , but no significant difference was observed between  $W_4$  and  $W_5$  treatments. However, the water use efficiency of  $W_5$  decreased by 4.54%-5.15% compared to  $W_4$ , indicating a pronounced diminishing return effect of irrigation under the  $W_5$  treatment. The optimal drip irrigation amount for spring soybean under the experimental conditions ranged from 2200-2600  $m^3/ha$ . The corresponding yield was estimated to be between 5894.86-6422.53  $kg/ha$ , with the water use efficiency of approximately 1.30  $kg/m^3$ .

**Key words** Spring soybean; Drip irrigation amount; Root growth; Water use efficiency; Yield