

不同滴灌频次下新疆春油菜根系生长及产量性状分析

李强^{1,2},贾东海²,顾元国²,王娟²,苏君红³,王志敏¹

(1.中国农业大学农学院,北京 100091;2.新疆农业科学院经济作物研究所,新疆 乌鲁木齐 830091;

3.新疆裕民县农业技术推广中心,新疆 裕民 834800)

摘要:为了探明新疆旱区不同滴灌频次下春油菜根系生长和产量性状,以新油17号为参试材料,设4个灌水频次(W_1, W_2, W_3, W_4)进行田间试验。结果表明:灌水频次由 W_4 (苗期+现蕾期+花后10d+终花期)减少至 W_1 (不灌水)时生育期相应缩短2~5d;不同滴灌频次对含水率影响 $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$,由 W_1 增加至 W_4 对0~60cm土壤含水率影响较大、60~100cm土壤含水率影响较小,0~40cm根干重增加显著,根活力值相对较高,各器官干物质积累量也呈逐渐增加的趋势;由 W_4 减少至 W_1 油菜产量由 $3026.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 降至 $1219.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,农艺性状也相应降低,差异显著; W_3 处理油菜产量为 $2749.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 与 W_4 无显著差异性。综上,设置现蕾期和花后10d两次滴灌对产量性状及产量影响较小,是目前可行的节水高产的高效利用模式。

关键词:春油菜;滴灌;频次;根系生长;产量性状

中图分类号:S275.6;S565.4 **文献标志码:**A

Effects of drip irrigation frequencies on root growth and yield-related traits of spring rapeseed in Xinjiang

LI Qiang^{1,2}, JIA Dong-hai², GU Yuan-guo², WANG Juan², SU Jun-hong³, WANG Zhi-min¹

(1. College of Agronomy, China Agriculture University, Beijing 100091, China;

2. Institute of Industrial Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091, China;

3. Xinjiang Yumin County Agricultural Technology Extension Station, Yumin, Xinjiang 834800, China)

Abstract: In order to explore the root growth and yield-related traits of spring rapeseed under different drip irrigation frequency in arid region in Xinjiang. Xinyou No.17 was chosen for experimental material. There were four frequencies of drip irrigation (W_1, W_2, W_3 and W_4) for field experiments. The results showed that the growth stage reduced 2~5 days since frequencies of drip irrigation from W_4 (seedling, squaring, post-flowering 10 d and final flowering stage) reduced to W_1 (no drip irrigation). Furthermore, the effect of different frequencies of drip irrigation on the moisture content ranked $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$. With the increased frequencies of drip irrigation from W_1 to W_4 , the effect on moisture content of soil was more significant in 0~60 cm than those in 60~100 cm level. The dry weight of roots, root activity and dry matter accumulation had a growing trend in 0~40 cm level. Moreover, the yields of spring rapeseed reduced from $3026.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ to $1219.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ with the decreased frequencies of drip irrigation frequency from W_4 to W_1 , while the main agronomic traits also declined with significant differences. In addition, there was no obvious yield difference between W_3 's $2749.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and W_4 . Taken together, it was little effect on yield-related traits and yields of spring rapeseed treating with drip irrigations at squaring stage and 10 d post-flowering. This could be a viable effective model for water-saving and high-yield spring rapeseed production.

Keywords: spring rapeseed (*brassica napus* L.); drip irrigation; frequencies; root growth; yield-related traits

新疆地处西北内陆干旱区,农业生产完全依靠灌溉,灌溉水资源匮乏严重制约着新疆农业的发

展。因此,节水灌溉是新疆农业发展的必然选择。油菜是我国第一大油料作物,面积和总产均占世界

1/3 左右。新疆作为我国主要的春油菜产区^[1],由于特殊的地理条件,每年春、夏两季常常受到干旱威胁,出苗、植株生长都受到严重制约,也严重影响后期的产量和品质^[2,3]。近年来,国内外已有大量关于干旱胁迫影响油菜生长发育^[4-8]的报道,干旱胁迫影响油菜植株性状及根系生理特性的研究也取得较大进展^[9-11]。但作为在新疆干旱区对干旱反应相对敏感的重要性状指标,有关油菜在滴灌条件下不同处理间各土层根系变化情况及对地上部干物质积累动态影响^[12]研究鲜有报道。并且油菜在受旱条件下根系生长情况反映了作物对于水分、养分吸收能力强弱,对于地上部干物质积累、产量性状及品质的形成也具有重要的作用。本试验在新疆旱区大田条件下采用滴灌措施,研究不同滴灌频次对春油菜根系生长及产量性状的变化规律,以期了解干旱胁迫对春油菜根系生长及产量性状变化的影响,为油菜抗旱节水栽培调控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

试验 2015~2016 年在新疆农科院安宁渠试验场内进行。试验地点年平均气温 5~7℃,年降水 150~200mm,蒸发量 1600~2200mm,属于干旱半干旱荒漠气候带农业区。试验地土壤为灰漠土,pH 值 8.5~10.0,有机质含量 21.9g·kg⁻¹,全氮含量 1.13g·kg⁻¹,速效磷含量 70.7mg·kg⁻¹,速效钾含量 347.4mg·kg⁻¹。试验材料为新油 17 号,是新疆农业科学院经济作物研究所选育的甘蓝型春油菜品种。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,三次重复。试验设 W₁:不灌水(CK)、W₂:灌 1 次水(现蕾期)、W₃:灌 2 次水(现蕾期+花后 10 天)、W₄:灌 4 次水(苗期+现蕾期+花后 10 天+终花期),每次灌水定额 750m³/hm²。于 2015 年 4 月上旬播种,行距 30cm。毛管间距 30cm,采用 1 管 2 行式布置,播后浇出苗水(干播

湿出)750m³·hm⁻²。小区长 4m、宽 6m,面积 24m²。为防止渗水,小区间挖 0.5m 宽的防渗沟。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤含水率测定 分别在播种前(4 月 14 日)、出苗期(5 月 9 日)、现蕾期(6 月 2 日)、花后 10 天(6 月 17 日)、终花期(6 月 29 日)各处理选取具代表性 3 个样点,在毛管间距 1/2 处,用土钻分别取 0~20,20~40,40~60,60~80,80~100 cm 土样,迅速装入铝盒中盖好盖,用烘干法测定土壤相对含水率,以 3 个点平均值计算各层土壤含水率。

1.3.2 根样采集及测定 在现蕾期(6 月 2 日)、花后 10 天(6 月 17 日)、终花期(6 月 29 日)、成熟期(7 月 24 日),在毛管处(外层 0)及毛管间距 1/2 处(内层 1)选取整齐一致的植株,紧贴地面剪去地上部后,按 30 cm×20 cm×20 cm(油菜行方向×垂直油菜行方向×高)土体分 5 层(0~20,20~40,40~60,60~80,,80~100 cm)取根样,过 0.05 mm 网筛洗净泥土、去除杂质,80℃烘至恒重测定根干质量;根系活力采用 TTC 还原法测定。

1.3.3 植株取样与测定 分别在苗期(5 月 12 日)、现蕾期(6 月 2 日)、花后 10 天(6 月 17 日)、终花期(6 月 29 日)、成熟期(7 月 24 日)每小区采 5 株全株样品洗净、105℃杀青、80℃烘干后测定植株地上部和地下部干物质积累量。收获后小区计产。

1.3.4 数据处理 采用 Excell 2007、SPASS 19.0 和 GraphPad Prism 5 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同滴灌频次对参试材料生育期的影响

不同处理间生育期变化无显著差异(表 1),低滴灌频次比高滴灌频次成熟期提前 3~6d,其中 W₁ 处理生育期最短为 97d,W₄(W₃)生育期最长为 102d,在一定水分胁迫下会造成作物植株老化提前,生育期缩短。

表 1 不同处理间生育期变化(月-日)

Table 1 Growth stage change with different treatments (m-d)

处理 Treatment	年度 Year	播种期 Sowing	出苗期 Emergence	现蕾期 Bud stage	初花期 Start of flower	盛花期 Full of flower	终花期 End of flower	成熟期 Maturity	生育天数 Growth period/d	平均天数 Average days/d
W ₁	2015	04-15	04-27	05-30	06-06	06-11	06-22	07-23	99	97.5
	2016	04-13	04-20	05-25	06-04	06-09	06-18	07-19	96	
W ₂	2015	04-15	04-27	06-02	06-07	06-13	06-23	07-25	101	100
	2016	04-13	04-20	05-24	06-02	06-07	06-20	07-21	99	
W ₃	2015	04-15	04-27	06-02	06-09	06-16	06-26	07-27	103	102
	2016	04-13	04-20	05-24	06-03	06-09	06-21	07-23	101	
W ₄	2015	04-15	04-29	06-04	06-09	06-16	06-26	07-27	103	102
	2016	04-13	04-22	05-26	06-03	06-09	06-21	07-23	101	

2.2 不同滴灌频次土壤相对含水率垂直分布动态

由图1所示,0~60cm 土层含水率大体呈现“升-降-升-降”“M”式连续变化趋势,不同处理间均随生育期呈现逐渐降低趋势,在终花期达到最低值,其中 W₄处理在各时期含水率均高于其它处理,W₁处理各时期含水率在各处理间处于低值。同一土层含水率多表现为 W₄>W₃>W₂>W₁。增加滴灌频次对0~60cm 土层含水率影响较大,对60~100cm 土层含水率影响较小。

2.3 不同滴灌频次对根系干物质积累动态的影响

各处理根系干物质重差异显著(如图2、图3),外层0~100cm 各土层处理间根系干物质重差异较小,内层0~100cm 各土层处理间根系干物质重差异较大。现蕾期(6月2日)各土层根系干物质重呈先增长后降低趋势,0~40cm 土层根系干物质重表现为 W₄(W₃)>W₂(W₁),40~100cm 土层根系干物质重表现为 W₁(W₂)>W₃(W₄);盛花期(6月17日)、终花期(6月29日)、成熟期(7月24日)各土层根

系干物质重呈现逐渐降低趋势,各处理间在60~100cm 土层根系干物质重降幅最大,内层根系干物质重均达显著差异性,外层根系干物质重差异性不显著。盛花期(6月17日)0~60cm 土层根系干物质重表现为 W₄(W₃)>W₂(W₁),60~100cm 表现为 W₁>W₂>W₃>W₄,终花期(6月29日)、成熟期(7月24日)0~40cm 土层根系干物质重表现为 W₄(W₃)>W₂(W₁),终花期(6月9日)40~60cm 内层根系干物质重表现为 W₂>W₃>W₁>W₄,外层根系干物质重表现为 W₂>W₁>W₃>W₄,成熟期(7月24日)40~60cm 内层根系干物质重表现为 W₂>W₁>W₃>W₄,外层根系干物质重表现为 W₁>W₂>W₃>W₄。而在终花期和成熟期60~100cm 内、外层根系干物质重表现为 W₁>W₂>W₃>W₄,60~100cm 均表现为 W₁>W₂>W₃>W₄。增加滴灌频次,显著延缓浅土层根干重衰减和促进根干重增加,减少滴灌频次对于深土层根系干重增加显著。

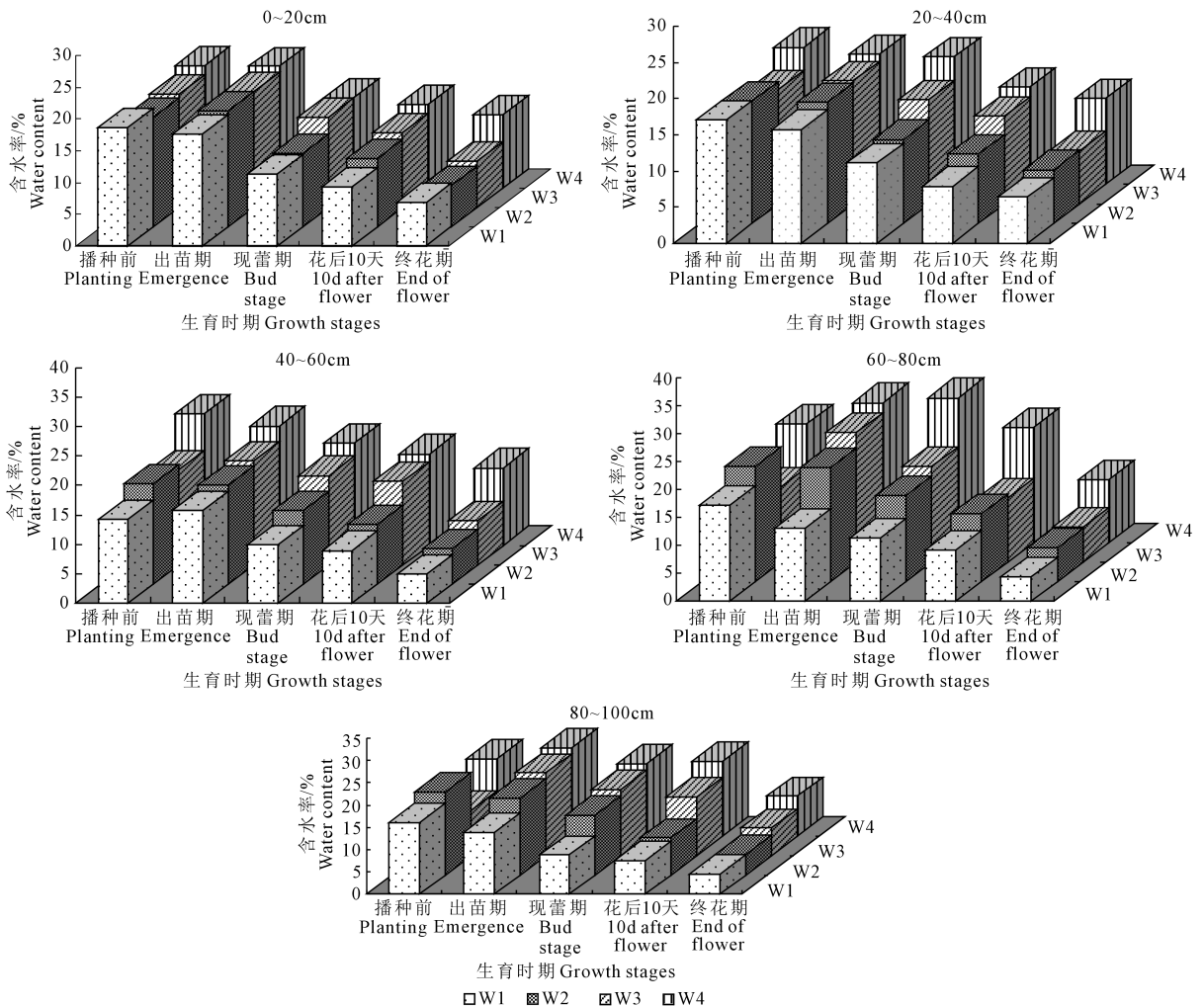


图1 不同滴灌频次对土壤相对含水率影响

Fig.1 Effect of different drip irrigation frequencies on relative soil water content

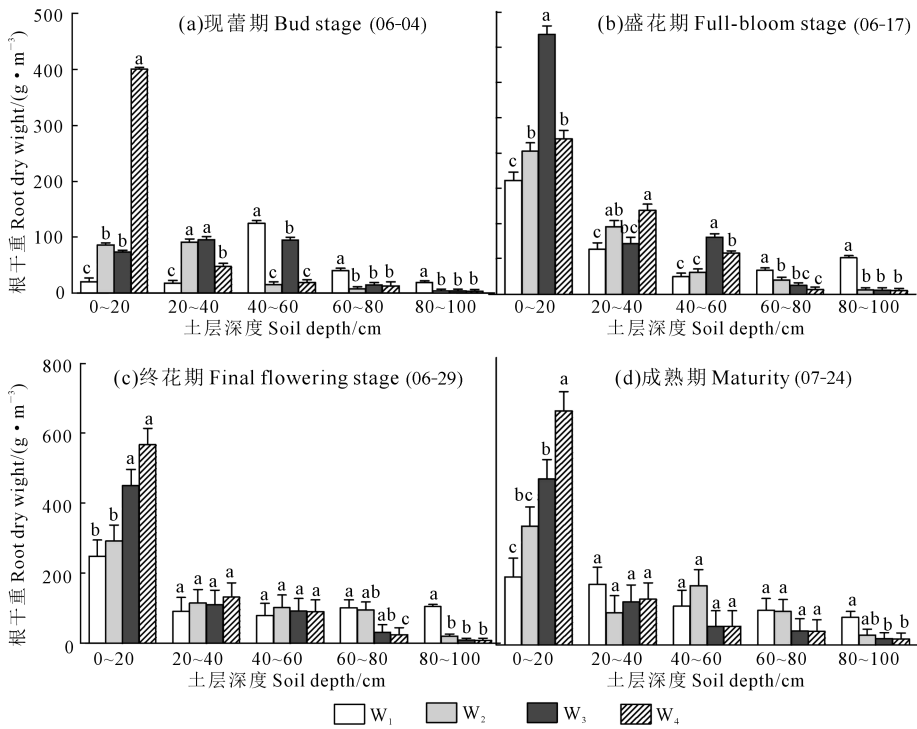


图 2 不同滴灌频次对内层根系干物质积累动态的影响

Fig.2 Effect of different drip irrigation frequencies on dry matter accumulation dynamic of the inner root

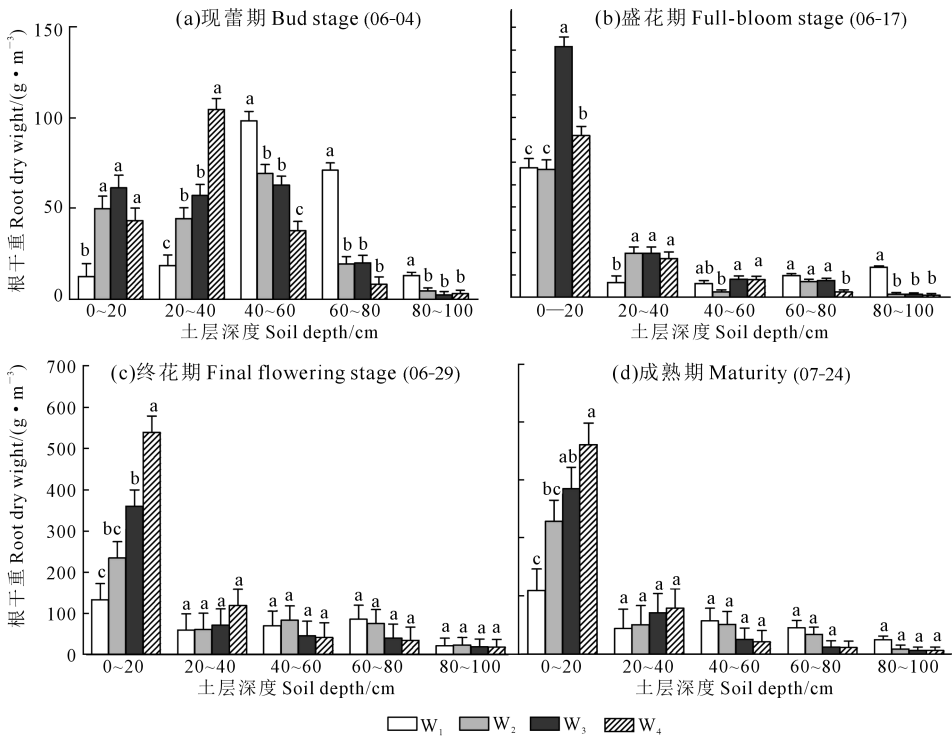


图 3 不同滴灌频次对外层根系干物质积累动态的影响

Fig.3 Effect of different drip irrigation frequencies on dry matter accumulation dynamic of the outer root

2.4 不同滴灌频次对根活力的影响

根系活力的变化可直接影响到地上部的生长发育^[13],根系活力是客观反映根系生命活动的生理指标,也是反映植株吸收功能的一项综合指标^[14]。

由图 4 可以看出,各处理间随着生育期延长不同滴灌频次油菜根系活力出现先增长后降低趋势,在盛花期(6 月 17 日)达到峰值,而后出现下降。各处理间以高滴灌频次根系活力高于低滴灌频次,在峰值

期处理间活力值由平均 $0.51 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 降至 $0.34 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 在成熟期降至最低点, 最大值约为 $18\% \sim 40\%$ 。这些结果表明: 随着滴灌频次减少, 根系活力下降, 高滴灌频次根系活力较强, 特别是在需水旺盛期更为明显。

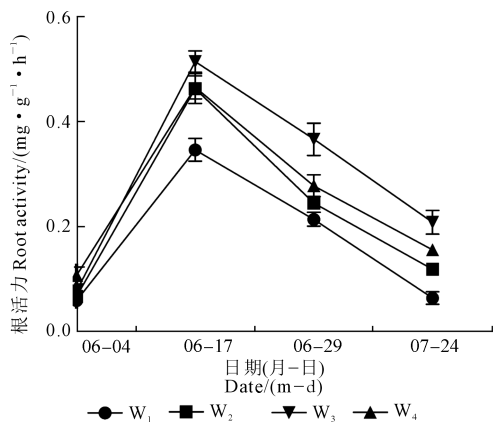


图4 不同滴灌频次下油菜根活力比较

Fig 4 Root vigor of oilseed rape under different drip irrigation frequencies

2.5 不同滴灌频次对干物质积累动态的影响

在不同滴灌频次处理间, 油菜叶、茎器官干物质积累变化总体呈现单峰曲线变化, 荚果随生育期推迟呈逐渐增长趋势。叶、茎器官干物重在盛花期达到高峰, 荚果干物重一直随生育期递增至成熟期, 这主要是随着生育期推迟营养物质开始由各营养器官向荚果、籽粒转移的结果^[15]。由于不同滴灌频次影响, 各处理间各植株器官及全株干物质重呈现一定的规律性变化, 随生育期均呈现一定递减趋势(表2)。从表中可以看出, 盛花期前干物质积累主要分配在叶片, 叶片干重占整株质量的50%左右。至盛花-终花期, 植株整体生长加快, 茎秆净干物质重比例逐渐升高, 占整株干物质比例达到最高, 达到50%以上。此时茎秆为光合产物的主要分配中心和整个植株的生长中心。终花期以后植株进入生殖生长高峰期, 荚果净干物质重逐渐增加, 此时荚果逐渐成为生长中心, 至成熟期荚果干物质重比例达到峰值, W₁处理占全株干物质重的比例为54.3%, 其余处理均在60%以上。从不同处理间净干物质在各器官中的分配比例可以得出, 茎秆干物质分配比例随滴灌频次增加呈现降低趋势, 荚果干物质分配比例随滴灌频次增加呈现逐渐增加的趋势。通过综合分析, 此分配过程造成了经济系数增减, 最终反映至产量高低。

2.6 不同滴灌频次对参试材料主要农艺性状及产量的影响

干旱胁迫在一定程度上影响油菜的产量构

成^[16], 不同滴灌频次对参试材料株高、分枝高度、一次分枝、二次分枝等均有一定的影响(表3)。参试材料农艺性状均随滴灌频次增加呈现逐渐升高趋势。产量随滴灌频次减少逐渐降低, W₁(CK)与W₄相比产量降幅较大, 但W₃与W₄, W₂与W₁(CK)之间产量降幅较小。低滴灌频次(W₁(CK)、W₂)间分枝高度、一次分枝、二次分枝、主序长度、主序角果数、角果长差异均不显著, 低滴灌频次(W₁、W₂)与高滴灌频次(W₃、W₄)相比均达到显著差异性。W₃与W₄之间产量差异不显著, 而与W₁、W₂间达显著差异。

3 结论与讨论

在生产中, 作物处于受旱状态往往造成一定植株老化加快, 同时伴随着生育期缩短, 即使经历一段干旱胁迫后及时复水, 整个植株的生理生育过程也不可能立即恢复到正常过程^[17], 因此, 受旱也是造成生育期变化的一个诱因。本研究结果表明: 不同滴灌频次处理间生育期变化不显著, 在低滴灌频次处理下生育期相对于高频次灌水有一定提前现象, 而相近处理间生育期变化无差异, 其中W₁处理生育期最短为97d, W₄(W₃)生育期最长为102d, 此研究结果与前人研究基本吻合。

土壤含水率的变化是降水、植物蒸腾、土壤质地、灌溉水等多因素作用的产物, 在不同因素作用下其具有高度空间异质性^[18], 薛丽华等^[19]通过灌水定额、灌水次数对土壤含水率的影响研究得出不同灌水方式对浅层次土壤含水率影响较大而对于深层次含水率无显著影响。但前人研究对于在干旱区不同滴灌频次对土壤含水率的影响变化无过多涉及, 本研究结果同样表明, 在新疆干旱区不同滴灌频次对于0~60cm土层含水率影响较显著, 而在深土层60~100cm土壤含水率影响较小, 随着滴灌频次增加其影响趋势也趋于显著, 但随着油菜生育期推迟这种趋势也趋于降低, 这与以上研究结果基本趋同。

根系与作物的耐旱性关系十分密切, 根系的生长、代谢和活力变化可直接影响到地上部的生长发育^[14], 根系作为吸收水分的主要部位, 也是对水分胁迫最先起反应的部位^[9]。在灌溉条件下土壤表层水分条件好, 根系分布趋于“表层化”; 随灌溉量的减少, 表层土壤水分条件亏缺时, 根会向较深土层延伸, 有利于根系发育和深层土壤水分的利用^[20-22]; 抗旱能力强的品种发根早, 主根长, 侧根数量多, 侧根总长度长, 在干旱条件下的这种趋势更为明显。根据本研究中不同滴灌频次对油菜根系干

表 2 不同滴灌频次油菜干物质积累动态/(g·株⁻¹)与分配比例/%Table 2 The accumulation dynamics (g·plant⁻¹) and allocation proportion (%) of rapeseed dry matter under different drip irrigation frequencies

器官 Organ	处理 Treatment	年度 Year	苗期 Seedling stage	现蕾期 Squaring stage	初花期 Initial flowering stage	盛花期 Full flowering stage	终花期 Final flowering stage	成熟期 Maturity stage
叶 Leaf	W ₁	2015	0.20(73.2)	0.39(59.6)	1.15(51.6)	2.62(33.4)	0.83(15.7)	0.02(0.6)
		2016	0.25(77.7)	1.14(65.3)	1.17(39.8)	1.71(22.4)	0.57(9.1)	0.12(1.7)
		平均 Average	0.22(75.4)	0.76(62.4)	1.16(45.7)	2.16(27.9)	0.70(12.4)	0.07(1.1)
	W ₂	2015	0.31(73.8)	0.93(64.2)	1.34(49.7)	2.13(26.9)	0.91(11.1)	0.10(0.5)
		2016	0.32(76.9)	1.23(66.3)	1.97(42.0)	2.69(27.8)	0.74(8.2)	0.16(1.6)
		平均 Average	0.31(75.3)	1.08(65.2)	1.65(45.8)	2.41(27.3)	0.82(9.6)	0.13(1.0)
	W ₃	2015	0.35(70.9)	1.45(66.8)	1.73(43.5)	4.57(27.1)	1.10(11.4)	0.13(0.4)
		2016	0.34(73.2)	1.42(63.3)	2.20(41.9)	3.26(22.9)	1.09(8.3)	0.19(0.7)
		平均 Average	0.34(72.0)	1.43(65.0)	1.96(42.7)	3.91(25.0)	1.09(9.8)	0.16(0.5)
	W ₄	2015	0.41(74.3)	1.67(57.7)	2.35(42.1)	5.21(25.6)	1.69(12.2)	0.19(0.9)
		2016	0.39(70.9)	1.44(62.6)	2.78(45.1)	3.27(17.5)	1.14(6.1)	0.22(0.9)
		平均 Average	0.40(72.6)	1.55(60.1)	2.56(43.6)	4.24(21.5)	1.41(9.1)	0.20(0.9)
茎 Stem	W ₁	2015	0.07(26.8)	0.27(40.4)	1.07(47.9)	4.52(57.7)	2.71(51.3)	1.93(49.9)
		2016	0.07(22.2)	0.61(34.6)	1.74(58.9)	4.65(60.9)	2.50(39.3)	2.80(39.0)
		平均 Average	0.07(24.5)	0.44(37.5)	1.40(53.4)	4.58(59.3)	2.61(45.3)	2.36(44.4)
	W ₂	2015	0.11(26.2)	0.52(35.8)	1.34(49.7)	6.15(77.7)	4.21(51.2)	3.91(21.1)
		2016	0.09(23.0)	0.62(33.6)	2.67(56.7)	4.83(49.8)	4.04(44.7)	3.57(35.6)
		平均 Average	0.10(24.6)	0.57(34.7)	2.00(53.2)	5.49(63.7)	4.12(47.9)	3.74(28.3)
	W ₃	2015	0.14(29.1)	0.72(33.2)	2.21(55.5)	9.74(57.6)	6.39(66.1)	5.06(19.8)
		2016	0.12(26.7)	0.82(36.6)	2.96(56.4)	6.40(44.9)	5.36(40.8)	4.59(18.7)
		平均 Average	0.13(27.9)	0.77(34.9)	2.58(55.9)	8.07(51.2)	5.87(53.4)	4.82(19.2)
	W ₄	2015	0.21(33.3)	1.23(42.3)	3.09(55.4)	11.65(57.4)	9.44(68.6)	5.57(28.2)
		2016	0.16(29.1)	0.86(37.3)	3.24(52.4)	10.34(55.3)	7.05(37.2)	5.85(26.2)
		平均 Average	0.18(31.2)	1.04(39.8)	3.16(53.9)	10.99(56.3)	8.24(52.9)	5.71(27.2)
荚果 Pod	W ₁	2015			0.01(0.4)	0.69(8.9)	1.75(32.9)	1.91(49.4)
		2016			0.03(1.1)	1.27(16.7)	3.28(51.6)	4.25(59.2)
		平均 Average			0.02(0.7)	0.98(12.8)	2.51(42.2)	3.08(54.3)
	W ₂	2015			0.02(0.6)	1.57(19.8)	3.41(41.5)	12.30(66.3)
		2016			0.05(1.2)	2.16(22.3)	4.26(47.1)	6.27(62.6)
		平均 Average			0.03(0.9)	1.86(21.0)	3.83(44.3)	9.28(64.4)
	W ₃	2015			0.04(1.0)	2.59(15.3)	3.49(36.2)	15.99(62.6)
		2016			0.08(1.5)	4.58(32.1)	6.67(50.8)	19.74(80.5)
		平均 Average			0.06(1.2)	3.58(23.7)	5.08(43.5)	17.86(71.5)
	W ₄	2015			0.14(2.5)	3.45(17.0)	6.51(47.3)	13.20(66.7)
		2016			0.15(2.4)	5.05(27.1)	10.75(56.7)	16.25(72.8)
		平均 Average			0.14(2.4)	4.25(22.1)	8.63(52.0)	14.72(69.7)
净增总重 Total	W ₁	2015	0.27(100)	0.66(100)	2.22(100)	7.84(100)	5.29(100)	3.86(100)
		2016	0.33(100)	1.75(100)	2.95(100)	7.64(100)	6.36(100)	7.18(100)
		平均 Average	0.30(100)	1.21(100)	2.58(100)	7.74(100)	5.82(100)	5.52(100)
	W ₂	2015	0.42(100)	1.44(100)	2.70(100)	9.85(100)	8.53(100)	16.31(100)
		2016	0.42(100)	1.86(100)	4.70(100)	9.69(100)	9.05(100)	10.02(100)
		平均 Average	0.42(100)	1.65(100)	3.70(100)	9.77(100)	8.79(100)	13.16(100)
	W ₃	2015	0.49(100)	2.17(100)	3.98(100)	16.89(100)	10.99(100)	21.18(100)
		2016	0.47(100)	2.24(100)	5.25(100)	14.24(100)	13.13(100)	24.52(100)
		平均 Average	0.48(100)	2.20(100)	4.61(100)	15.56(100)	12.06(100)	22.85(100)
	W ₄	2015	0.62(100)	2.90(100)	5.58(100)	20.31(100)	17.64(100)	18.97(100)
		2016	0.55(100)	2.30(100)	6.18(100)	18.67(100)	18.95(100)	22.33(100)
		平均 Average	0.58(100)	2.60(100)	5.88(100)	19.49(100)	18.29(100)	20.65(100)

注:括号内为各器官净干物重占总净干物重的百分比。Note: The values in brackets are percentages of single organ net dry-weight to total net weight.

表3 不同滴灌频次对油菜产量及构成因素的影响

Table 3 Effects of different drip irrigation frequencies on yield and relative parameters of rapeseed

主要农艺性状 Agronomic characters	年度 Year	处理 Treatment			
		W ₁	W ₂	W ₃	W ₄
株高 Plant height/cm	2015	79.5±3.57d	94.4±2.20c	108.8±1.77b	119.5±2.79a
	2016	78.2±1.31c	90.2±4.52b	112.8±1.95a	116.8±2.81a
分枝高度 Branchposition/cm	2015	13.5±1.00b	17.3±1.77b	27.6±2.44a	27.3±1.89a
	2016	18.8±2.15b	21.0±3.27b	25.6±2.31ab	36.2±8.15a
一次分枝/个 Primary number/plant	2015	5.9±0.41b	5.6±0.36b	6.2±0.44b	8.2±0.35a
	2016	5.1±0.31b	5.8±0.37b	6.4±0.60ab	7.6±0.51a
二次分枝/个 Secondary number/plant	2015	6.5±0.87b	7.9±0.53b	12.2±1.05a	14.0±0.74a
	2016	6.8±0.37c	8.0±0.31c	10.4±0.50b	12.4±0.81a
主序长度 Available length of main inflorescence/cm	2015	33.2±3.38b	34.3±1.78b	37.9±3.44b	46.8±2.15a
	2016	34.8±2.41c	35.8±1.91c	41.6±0.40b	49.4±1.46a
主序角果数/个 Pods of main inflorescence	2015	29.1±2.51b	35.4±3.77ab	37.8±1.53a	43.7±2.65a
	2016	32.4±3.93b	37.8±0.37b	44.6±1.25a	47.8±1.42a
角果长 Pod length/cm	2015	5.0±0.15b	5.3±0.18b	5.8±0.14a	5.9±0.15a
	2016	4.8±0.30b	5.1±0.14b	6.1±0.25a	6.4±0.30a
全株有效角果数/个 Total available pods	2015	210.5±23.05b	250.7±26.93ab	279.1±33.91ab	297.0±22.02a
	2016	192.8±4.64b	212.2±5.92b	245.8±12.28a	253.2±6.85a
角果粒数/粒 Seeds per pod	2015	20.8±1.09c	23.2±0.51b	24.5±0.72ab	26.6±0.71a
	2016	19.4±0.43c	22.8±1.34b	25.3±0.76ab	27.3±0.37a
千粒重 1000-seed weight/g	2015	2.07±0.02d	2.36±0.06c	2.65±0.04b	3.03±0.04a
	2016	2.21±0.01d	2.66±0.04c	3.01±0.04b	3.14±0.02a
单株产量 Yeild per plant/g	2015	5.6±0.40b	7.6±1.02ab	11.8±1.49a	13.3±0.67a
	2016	4.9±0.06b	6.6±0.47b	11.1±1.13a	13.1±0.77a
产量 Yield/(kg·hm ⁻²)	2015	1252.8±38.95c	1722.3±71.54b	2675.1±174.00a	3008.4±130.59a
	2016	1185.4±17.05c	1693.8±68.83b	2823.0±86.09a	3044.7±18.56a

注:小写字母表示不同滴灌频次间差异5%水平显著。

Note: Lowercase letters indicate significant difference between drought treatments and control at 0.05 level.

重和根活力的结论得出,随着滴灌频次增加,显著延缓浅土层根干重衰减和促进根干重增加,减少滴灌频次对于深土层根系干重增加显著。滴灌使内层根系干物质重明显大于外层根系干物质重,同时不同处理间内层根系干物质重均达显著差异性,外层根系干物质重差异性不显著。各处理间根系活力均呈现单峰曲线变化趋势,在盛花期达到活力峰值。总体表现为随滴灌频次减少,根系活力下降,高滴灌频次根系活力较强,特别是在需水旺盛期更为明显,高峰时处理间活力值相差 $0.17\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

不同品种或同一品种在不同栽培条件下,同化产物在各器官间的分配比例是各不相同的,这种同化产物在各器官间的分配比例为器官平衡。本研究各处理间随着生育期推迟油菜叶、茎器官干物质积累变化总体呈现单峰曲线变化,荚果随生育期推迟呈逐渐增长趋势。净干物质重在各器官中的分配随生长发育中心的转移而变化,苗期至初花期主要分配在叶片中,盛花期至终花期主要分配在茎秆中,整个花期仍以营养器官为分配中心,直到终花期以后才转向荚果中。不同滴灌频次处理下各器

官干物质向荚果转移过程中,荚果干物质来源,很重要一部分是前期植株叶、茎秆中贮存养分,另一部分是后期茎秆、荚果皮及少量叶片进行光合作用的产物,不同滴灌频次下这两部分对其贡献率有所不同,高滴灌频次下,个体发育较好,基础养分积累多,对荚果的转移量多,低滴灌频次下个体发育受一定影响,基础养分积累少,荚果干物质来源主要靠后期植株各部位的光合产物,但其不同滴灌频次间差异性有一定量的增减,故生产上应根据本地区气候、水源供给等实际情况确定管理重点时期滴灌频次。

已有研究表明,油菜花前干旱胁迫会对油菜成熟期生长状况和产量性状产生影响^[23]。本研究表明,随着滴灌频次减少,在一定时期干旱胁迫抑制了植株生长及随时间推移产量性状抑制作用增强。随着滴灌频次减少,油菜株高、分枝高度、一次分枝、二次分枝、主序长度、主序角果数、角果长、千粒重等均有不同程度下降, W₁(CK)下降幅度最大,而 W₃与 W₄间差异不显著,产量也随滴灌频次减少呈现逐渐降低趋势, W₁(CK)与 W₄相比产量降幅较

大,相差 $1807.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,但 W_3 与 W_4 , W_2 与 W_1 (CK)之间产量降幅较小,为 $277.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $488.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

根系生长对作物利用土壤水分以及高产至关重要^[24]。油菜一定时期对水分敏感性直接影响到最终产量性状和产量高低,最终结果表明现蕾期和花后 10 天两次滴灌对产量性状及产量影响较小,是目前可行的节水高产的高效利用模式。本研究通过以上指标的变化趋势分析,充分揭示出在本区域内油菜生产中合理控水,不仅能够不影响产量,还能有效节约区域内有限水资源。

参 考 文 献:

- [1] 孙万仓,马卫国,雷建明,等.冬油菜在西北旱寒区的适应性和北移的可行性研究[J].中国农业科学,2007,40(12):2716-2726
- [2] Santos M G,Ribeiro R V,Machado E C,et al. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common bean genotypes under mild water deficit [J].Biologia Plantarum,2009,53(2):229-236.
- [3] 蒙祖庆,宋丰萍,刘振兴,张方凯.干旱及复水对油菜苗期光合及叶绿素荧光特性的影响[J].中国油料作物学报,2012,34(1):40-47.
- [4] 熊洁,陈伦林,邹晓芬,邹小云,李书宇,宋来强等.初花期干旱对甘蓝型油菜生理和农艺性状的影响[J].中国油料作物学报,2015,37(2):173-178.
- [5] 王斌,荣维国,何金.干旱对油菜生长发育的影响及应对管理措施[J].现代农业科学,2009,16(6):180-181.
- [6] 耿站军,钟颖,杨瑞吉.水分胁迫对不同基因型油菜的生态适应性影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):159-162.
- [7] 张静,崔颖,孙尧,颜梅,胡立勇.不同程度干旱胁迫对油菜种子萌发及幼苗生长特性的影响,干旱地区农业研究,2011,29(2):164-167.
- [8] 白鹏,冉春艳,谢小玉.干旱胁迫对油菜蕾薹期生理特性及农艺性状的影响[J].中国农业科学,2014,47(18):3566-3576.
- [9] 胡承伟,张学昆,邹锡玲,程勇,曾柳,陆光远等.PEG 模拟干旱胁迫下甘蓝型油菜的根系特性与抗旱性[J].中国油料作物学报,2013,35(1):48-53.
- [10] 涂玉琴,戴兴临,涂伟凤.芽期 PEG 模拟干旱胁迫下不同基因型甘蓝型油菜的反应差异研究[J].干旱地区农业研究,2011,29(6):213-221.
- [11] Ma Q F,Sharoniknam R N,Turner D W.Responses of osmotic adjustment and seed yield of Brassica nupus and B.juncea to soil water deficit at different growth stages [J].Australia Journal of Agricultural Research,2006,57:221-226.
- [12] 张亚丽.滴灌条件下青海春油菜需水需肥规律[J].干旱地区农业研究,2015,33(4):160-165.
- [13] 魏道智,宁书菊,林文雄.小麦根系活力变化与叶片衰老的研究[J].应用生态学报,2004,15(9):1565-1569.
- [14] 斯琴巴特尔,吴红英.不同逆境对玉米幼苗根系活力及硝酸还原酶活性的影响[J].干旱地区农业研究,2001,19(2):67-70.
- [15] 王冀川,徐雅丽,段黄金.新疆不同密度下油葵干物质积累、分配及转移规律的研究[J].中国油料作物学报,2002,24(2):32-36.
- [16] 熊洁,邹晓芬,邹小云,等.干旱胁迫对不同基因型油菜农艺性状和产量的影响[J].江苏农业学报,2015,18(3):494-499.
- [17] 赵鸿,李凤鸣,熊友才,等.土壤干旱对作物生长过程和产量的影响的研究进展[J].干旱气象.2008,10(3):77-79.
- [18] Brakenssek D L, Rawls J. Soil containing rock fragments Effects on infiltration [J].Catena, 1994,23:99-110.
- [19] 薛丽华,谢小清,段丽娜,等.滴灌次数对冬小麦根系生长及时空分布的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(6):1-9.
- [20] Potters G, Pasternak T P, Guisez Y, et al. Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble [J] Trends in Plant Science, 2007,12:98-105.
- [21] Shan L S, Zhang X M, Wang Y K, et al. Influence of moisture on the growth and biomass allocation in *Haloxylon ammodendron* and *Tamaraks bramosissima* seeding in the shelterbelt along the Tarim Desert Highway, Xinjiang, China [J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53:93-101.
- [22] Zeng F J, Song C, Guo H F, et al. Responses of root growth of *Alhagi sparsifolia* Shap. (Fabaceae) to different simulated groundwater depths in the southern fringe of the Taklimakan Desert, China [J]. Journal of Arid Land, 2013(5): 220-232.
- [23] 王道杰,桂月靖,杨翠玲,等.油菜抗旱性及鉴定方法与指标 III.油菜苗期抗旱性及鉴定指标筛选[J]西北农业学报,2012,21(6):108-113.
- [24] 胡梦芸,张正斌,徐萍,等.亏缺灌溉下小麦水分利用效率与光合产物积累运转的相关研究[J].作物学报,2007,33(11):1884-1891.