

滴灌量对北疆复播大豆生长、生理特征和产量的影响

彭姜龙¹, 张永强¹, 王娜², 李亚杰¹, 李大平¹, 苏丽丽¹, 胡春辉¹, 徐文修¹
(1. 新疆农业大学农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆伊犁伊宁县农业技术推广中心, 新疆 伊犁 835100)

摘要: 在大田滴灌条件下, 通过设置 $W_1(3\ 000\ m^3\cdot hm^{-2})$ 、 $W_2(3\ 600\ m^3\cdot hm^{-2})$ 、 $W_3(4\ 200\ m^3\cdot hm^{-2})$ 、 $W_4(4\ 800\ m^3\cdot hm^{-2})$ 4 个灌溉量处理, 研究了滴灌量对复播大豆叶面积指数(LAI)、叶绿素含量(SPAD 值)、光合速率、蒸腾速率等光合参数、干物质积累及产量和水分利用效率的影响。结果表明, 复播大豆的 LAI、SPAD 值在整个生育期内均表现为 $W_3 > W_4 > W_2 > W_1$ 。从开花期至鼓粒期, 叶片的光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)均随着滴灌量的增加呈现“先增后降”, 但叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)的变化却“先降后增”。全生育期单株干物质呈“S”形变化趋势; 干物质最大积累速率(V_m)、快增期的持续时间(Δt)及干物质总量均以 W_3 处理最高。产量以 W_3 处理最高, 为 $3\ 741.23\ kg\cdot hm^{-2}$, 较 W_1 、 W_2 和 W_4 处理分别高出 30.42%、13.98% 和 8.44%, 差异达显著水平($P < 0.05$)。灌溉水利用效率(IWUE)在 W_1 、 W_2 、 W_3 3 个灌溉处理之间差异不显著, 但均显著高于 W_4 处理。在本试验条件下, 北疆复播大豆的最适滴灌量为 $4\ 200\ m^3\cdot hm^{-2}$ 。

关键词: 滴灌量; 复播大豆; 光合特性; 干物质积累; 产量
中图分类号: S565.1 **文献标志码:** A

Effects of drip irrigation on the growth, physiological characteristics and yield of summer soybean in North Xinjiang

PENG Jiang-long¹, ZHANG Yong-qiang¹, WANG Na², LI Ya-jie¹, LI Da-ping¹,
SU Li-li¹, HU Chun-hui¹, XU Wen-xiu¹

(1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;
2. Agricultural Technique Extension Center of Yining County, Yili, Xinjiang 835100, China)

Abstract: A field experiment was conducted in a summer soybean field of North Xinjiang with four drip irrigation conditions including $W_1(3\ 000\ m^3\cdot hm^{-2})$, $W_2(3\ 600\ m^3\cdot hm^{-2})$, $W_3(4\ 200\ m^3\cdot hm^{-2})$, and $W_4(4\ 800\ m^3\cdot hm^{-2})$ for investigations of leaf area index (LAI), leaf SPAD, net photosynthesis rate(P_n), transpiration rate(Tr), dry matter accumulation and water use efficiency (WUE). The results showed that both LAI and SPAD with different irrigations during the whole growth stage were in following order: $W_3 > W_4 > W_2 > W_1$. From flowering stage to graining stage, with the increase of irrigation, P_n , Tr and G_s were increased firstly, and then became decreased, whereas intercellular CO_2 concentration (C_i) exhibited an opposite pattern. Dry matter accumulation showed an “S” curve. The duration of dry matter rapid accumulation (Δt), the maximum increase rate of dry matter (V_m) and the total dry matter accumulation were highest under W_3 . Also, the highest yield of $3\ 741.23\ kg\cdot hm^{-2}$ was under W_3 , which was 30.42%, 13.98% and 8.44% higher than that that under W_1 , W_2 and W_4 ($P < 0.05$), respectively. W_1 , W_2 and W_3 treatments resulted in no significant differences in WUE, which though was higher than W_4 . It was believed that the suitable drip irrigation quota was $4\ 200\ m^3\cdot hm^{-2}$ for summer soybean in North Xinjiang.

Keywords: drip irrigation quantities; summer soybean; growth; physiological characteristics; yield

水资源短缺是限制我国干旱区灌溉农业发展的重要因素^[1], 因此, 大力推广应用节水灌溉技术对我

收稿日期: 2014-12-22
基金项目: 农业部公益性行业专项(201103001); 国家自然科学基金项目(31260312)
作者简介: 彭姜龙(1990—), 男, 陕西丹凤人, 硕士, 主要从事作物多熟种植制度研究。E-mail: 75261995@qq.com。
通信作者: 徐文修(1962—), 女, 河北蠡县人, 教授, 博士生导师, 主要从事高效农作制度与农业生态研究。E-mail: xjwxw@sina.com。

国农业生产的可持续发展具有重大意义。随着全球气温的变暖,北疆地区秋季气温明显增高,初霜期也有所推迟,这使得该区冬小麦在 6 月底至 7 月初收获后,仍有较为充足的光热资源进行复播大豆^[2]。然而,在北疆小麦收获后正是秋收作物用水高峰期,麦后复播大豆无疑会加重农业用水的紧张,为此,探索复播大豆的节水栽培是目前亟需解决的现实问题。而滴灌作为一种先进的节水灌溉技术,可根据作物需水规律,将水分和养分均匀持续地运送到植株根部,最大限度地降低了土壤水分渗漏和农业用水的浪费,可有效缓解水资源不足与农业用水利用率不高的矛盾^[3]。前人有关灌溉对大豆生长的影响做了大量的工作,研究表明,水分胁迫对大豆植株的光合生理特性^[4]及生长^[5-8]均有一定影响。大豆光合速率变化与水分供应密切相关^[9],韩晓增等认为干旱和涝害胁迫条件下均降低植株的光合效率,并且干旱引起光合值下降的程度更大些,土壤涝害增大了大豆植株的蒸腾速率^[10];谢甫绋^[11]和 Sort N V^[12]均认为不同生育时期干旱均会使光合速率降低,且干旱会对叶面积指数(LAI)造成影响,而适宜的水分可提高植株的叶面积指数^[13]。王培武等^[14]研究表明不同灌水量会对大豆的干物质生产总量及根、茎、叶、荚各部分的干物质生产造成影响。这些研究主要集中在常规灌溉上,目前对于滴灌大豆光合特性及干物质积累特征的研究较少,尤其是对复播大豆在这方面的研究更是鲜有报道。为此,本试验在滴灌条件下,通过设置不同的滴灌量,研究不同滴灌量处理下复播大豆的光合特性及干物质积累特征的变化规律,以期探求出复播大豆获得高产、节水的最佳滴灌量,为北疆复播大豆栽培提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2013 年 7—10 月在伊犁哈萨克自治州伊宁县农业科技示范园进行。该区位于天山西段,伊犁河谷中部,有喀什河、博尔博松河、布力开河、吉尔格朗河等河流。地理坐标为东径 81°,北纬 44°之间,属温带大陆性半干旱气候,冬春温暖湿润,夏秋干燥较热,昼夜温差明显,日照年平均可达 2 800 ~ 3 000 h,年平均气温 8.9℃,年均降水量 257 mm。全年无霜期 169 ~ 175 d。土壤耕层(0 ~ 20 cm): 含有机质 2.35 g·kg⁻¹,碱解氮 85.2 mg·kg⁻¹,速效磷 21.8 mg·kg⁻¹,速效钾 116 mg·kg⁻¹,pH 值 8.4。

1.2 试验设计

采取单因素随机区组试验设计。共设 4 个灌水梯度:W₁(3 000 m³·hm⁻²)、W₂(3 600 m³·hm⁻²)、W₃(4 200 m³·hm⁻²)、W₄(4 800 m³·hm⁻²);各处理均重复三次。小区面积 18 m²(3.6 m×5 m),各小区进水口均有水表控制进水量,为防止水流外渗,不同小区间设置 1 m 宽的隔离带。大豆品种为黑河 43,种植密度 52.5 万株·hm⁻²,30 cm 等行距播种(株距约 6.3 cm),每小区播种 12 行,毛管采用 1 管 2 的铺设方式,每小区需 6 根毛管。播前结合整地,深施尿素 75 kg·hm⁻²,在开花期随水滴施尿素 150 kg·hm⁻²,结荚期、鼓粒期各叶片喷施以色列产 KH₂PO₄ 一次,其它田间管理措施同当地。

各处理的灌水定额分别为 375、450、525、600 m³,全生育期灌水 8 次。阶段实际滴灌量 = 理论滴灌量 - 降雨量,滴灌量及降雨量见表 1。

表 1 不同处理各阶段的滴灌量及降雨量

Table 1 The amounts of drip irrigation and precipitation under various treatments in different stages						
处理 Treatments	滴灌量 The amounts of drip irrigation/(m ³ ·hm ⁻²)					
	出苗水 Emergence water	苗期 ~ 开花期 Seedling ~ flowering	开花期 ~ 结荚期 Flowering ~ podding	结荚期 ~ 鼓粒期 Podding ~ graining	鼓粒期 ~ 成熟期 Graining ~ maturing	总计 Total
W ₁	375	750	750	750	375	3000
W ₂	450	900	900	900	450	3600
W ₃	525	1050	1050	1050	525	4200
W ₄	600	1200	1200	1200	600	4800
降雨量/mm Precipitation	10.60	33.10	16.10	4.10	16.50	80.4

1.3 测试项目与方法

1.3.1 叶面积指数的测定 从苗期开始,每 10 天测定一次,分别于小区选取具有代表性的植株 3 株,

用 LI-3000A 叶面积仪测其单株叶面积,并折算成叶面积指数(LAI)。

1.3.2 叶绿素含量(SPAD 值)的测定 从苗期开

始,在 11:00—15:00 之间,选择晴好无风天气,用日本产手持便携式 SPAD-502 型叶绿素仪,在每个小区选 3 株夹取主茎上的倒 3 叶中间小叶片,测其 SPAD 值。测量时避开叶脉,取叶片的底部、中部与顶部记录其平均值,每 10 天测定一次。

1.3.3 光合指标的测定 分别在大豆的开花期、结荚期和鼓粒期选择晴天 11:00—15:00 之间,采用英国 PP Systems 公司产 CARIS-2 型便携式光合仪,在自然光照条件下进行测定。各小区选取 5 株,测其主茎上的倒 3 叶中间小叶片的净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(Tr)和气孔导度(G_s)净光合速率。

1.3.4 干物质的测定 自苗期开始,每 10 天分别于各小区选取 5 株,分茎、叶、叶柄、豆、豆荚等器官,于 105℃ 杀青 30 min,80℃ 烘干至恒重。

1.3.5 产量的测定 成熟后实收小区产量,每处理每重复分别取连续的 10 株进行考种,调查单株有效荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 作图,用 DPS 软件统计分析数据(LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 滴灌量对北疆复播大豆叶面积指数(LAI)的影响

合理的 LAI 是植株充分利用光能、获得高产的重要条件^[15]。由图 1 可知,不同滴灌量处理下复播大豆 LAI 均呈单峰抛物线变化趋势,且整个生育期内各处理 LAI 均呈现为: $W_3 > W_4 > W_2 > W_1$,表明滴灌条件下复播大豆的 LAI 随着滴灌量的增加表现出先增后降的规律。进一步分析可知,各处理在见花期(播种后 30 天)以前,处理间 LAI 差异较小,此后处理间差异逐渐增大,均在结荚期(播种后 60 天左右)达到峰值,以 W_3 最高,为 4.84,较 W_1 、 W_2 分别高出 25.11%、18.21%,并达极显著差异($P < 0.01$);较 W_4 高出 4.15%,差异不显著。结荚期之后,各处理的 LAI 表现出不同程度的下降,尤其是 W_1 处理的 LAI 下降最明显,其次是 W_2 处理, W_3 处理的 LAI 仍保持相对较高的水平,且各处理间差异明显。说明适宜的滴灌量可有效增大复播大豆生育后期的有效光合面积,并使其下降平缓,有利于光合产物的形成与积累,为高产打下基础;但滴灌量超过某一适宜值时,复播大豆的 LAI 不增反降,不仅造成了水资源的浪费,而且未达到增产的目的。

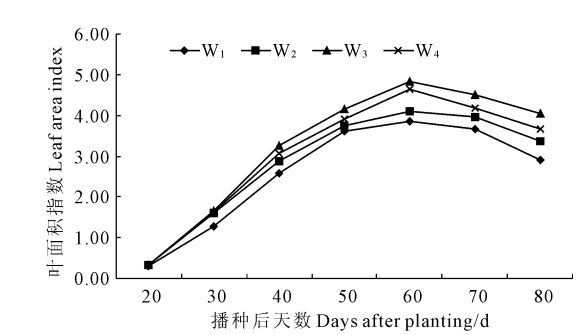


图 1 不同处理下复播大豆叶面积指数(LAI)的动态变化
Fig.1 Dynamic changes in LAI of summer soybean under different treatments

2.2 滴灌量对北疆复播大豆叶片叶绿素含量(SPAD 值)的影响

叶片叶绿素含量与叶绿素仪所测定的 SPAD 值相关性非常高^[16],因此叶绿素仪读数可以直接反映叶绿素含量的高低。由图 2 可知,各处理复播大豆叶片的 SPAD 值均随生育期的推进呈单峰曲线变化趋势,并在花荚期(播种后 50 天左右)达到最大值,且以 W_3 最高,为 54.53,较 W_1 、 W_2 分别高出 13.23%、10.72%,达极显著差异($P < 0.01$)水平;较 W_4 高出 2.55%,差异不显著。进一步对整个生育期内的测量值累积求平均,得出 W_3 处理最高为 47.94,分别较 W_1 、 W_2 和 W_4 高出 11.96%、7.80%和 3.11%。说明复播大豆叶片叶绿素含量在一定范围内随着滴灌量的增大呈先增后降的变化,适宜的滴灌量不仅可以使复播大豆保持较高的叶绿素含量提高光合速率,还能达到节水的目的。

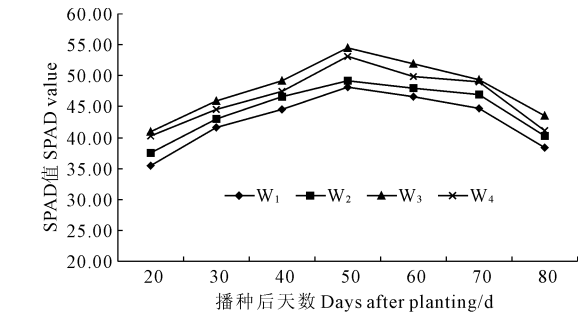


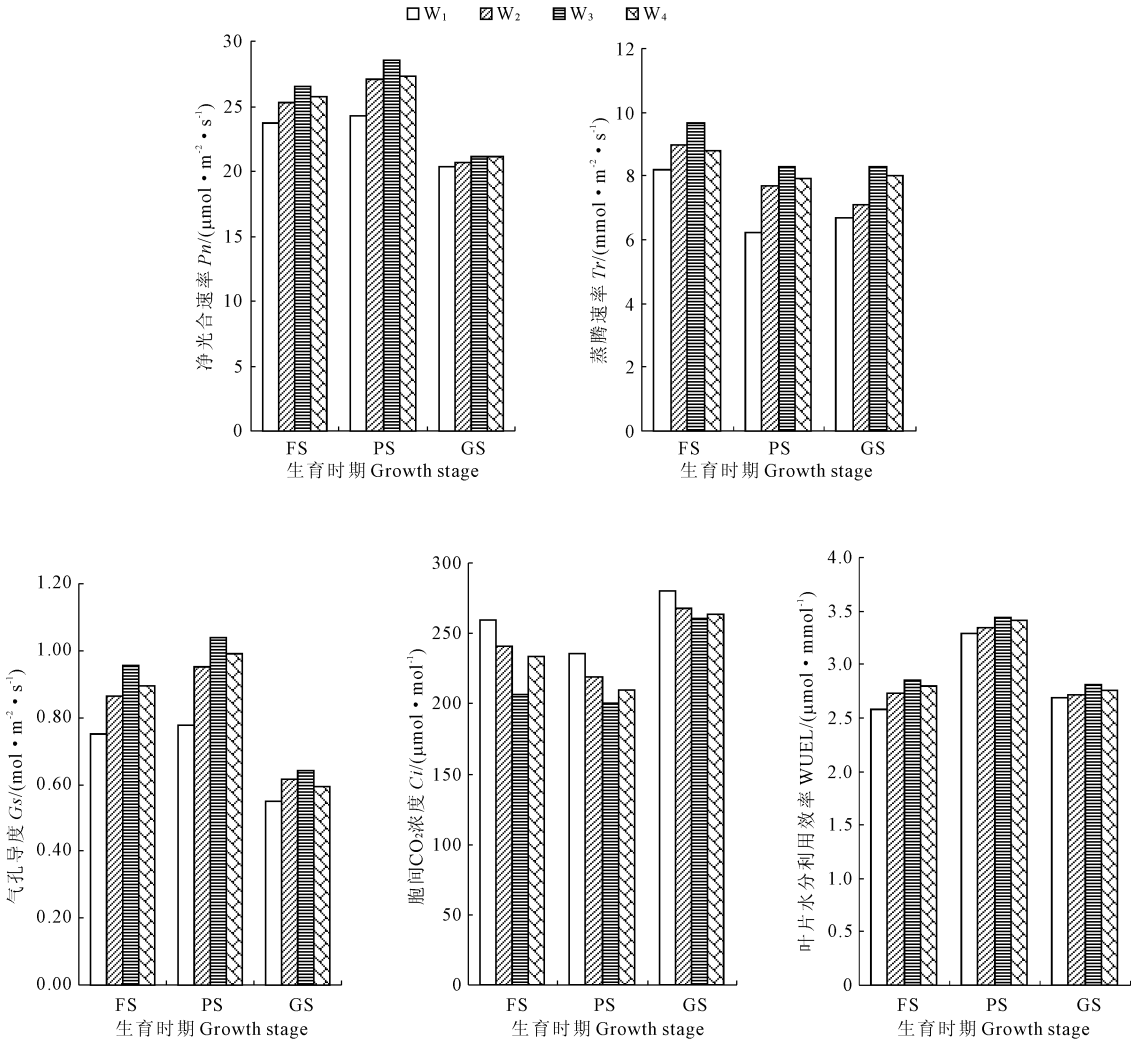
图 2 不同处理下复播大豆叶片 SPAD 值的动态变化
Fig.2 Dynamic changes in SPAD value of summer soybean under different treatments

2.3 滴灌量对北疆复播大豆光合特性的影响

由图 3 可知,随着滴灌量的增加,在各生育时期复播大豆倒 3 功能叶片的光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)均呈先增后降的变化趋势,且始终表现为 $W_3 > W_4 > W_2 > W_1$,说明适宜地增加滴灌量对复播大豆叶片的水气交换均具有促进作用,

但超过某一适宜值时,反而抑制了大豆叶片的水气交换,进而限制了净光合速率的增加。复播大豆倒3功能叶片的水分利用效率(WUEL)则随着滴灌量的增加呈先升高后降低的趋势,说明适宜的滴灌量更有利于提高复播大豆叶片的光合作用,减少了水

分的无效散失。胞间 CO₂ 浓度(Ci)随生育进程推进呈现出先降低后升高的趋势,进一步对同一生育时期不同处理间的 Ci 分析可知,在开花期、结荚期和结荚期均表现为:W₁ > W₂ > W₄ > W₃,且不同处理间差异显著(P < 0.05)。



注 Note: FS—开花期 Flowering stage; PS—结荚期 Podding stage; GS—鼓粒期 Graining stage

图 3 不同处理下复播大豆各生育时期叶片光合参数的变化

Fig.3 Changes of leaf photosynthetic indexes at three growth stages of summer soybean under different treatments

2.4 滴灌量对北疆复播大豆干物质积累特征的影响

干物质是光合作用的产物,是大豆产量形成的基础^[17]。对不同滴灌量处理下复播大豆地上部分干物质积累进行 Logistic 方程模拟(表 2),可知各处理复播大豆地上部干物质积累均呈“缓增—快增—缓降”的变化趋势,各处理的干物质进入快速增长期的起始日期(t_1)随着滴灌量的增加有滞后趋势,但快速增长期的终止日期(t_2)以 W₃ 处理的最大,分别较 W₁、W₂ 和 W₄ 延长了 4.4、2.1 d 和 0.7 d。较高的干物质积累量不仅需要较大的积累速率(V_m),还需要较长的快增期持续时间(Δt),只有二者相互统一

才能获得较高的干物质积累量,进而达到高产。进一步分析可知,不同处理干物质快增期的持续时间(Δt)表现为:W₃ > W₂ > W₁ > W₄;最大积累速率(V_m)却表现为:W₃ > W₄ > W₂ > W₁,即随着滴灌量的增加而“先增后降”;干物质最大速率出现的时间(t_m),随着滴灌量的增加亦有滞后的趋势,其中 W₃ 处理出现的最晚,其次是 W₄ 处理,最早的是 W₁ 处理。综上可以看出,适宜的滴灌量不仅可以增大干物质的积累速率,还可以延长干物质快速积累持续天数,有利于提高干物质积累量,本试验条件下,W₃ 处理保持有较高的 V_m 和 Δt ,故干物质积累量较高。

表 2 复播大豆地上部分干物质积累的 Logistic 模拟及其特征值

处理 Treatments	Logistic 回归方程 Logistic equation	持续时间 Duration/d				V_m /(g·plant ⁻¹ ·d ⁻¹)	R^2
		t_m	t_1	t_2	Δt		
W ₁	$y = 20.91/[1 + e^{(4.303 - 0.0870t)}]$	49.5	34.3	64.6	30.3	0.45	0.997 ^{**}
W ₂	$y = 22.02/[1 + e^{(4.373 - 0.0850t)}]$	51.4	35.9	66.9	31.0	0.47	0.995 ^{**}
W ₃	$y = 24.65/[1 + e^{(4.381 - 0.0826t)}]$	53.1	37.1	69.0	31.9	0.51	0.998 ^{**}
W ₄	$y = 23.46/[1 + e^{(4.559 - 0.0860t)}]$	53.0	37.7	68.3	30.6	0.50	0.992 ^{**}

注: t , 复播大豆播种后的天数; y , 复播大豆干物质积累量; t_m , 干物质积累最大速率出现的时间; t_1 和 t_2 分别为 Logistic 生长函数的两个拐点; Δt , 干物质快速积累持续天数; V_m , 干物质最大增长速率; **, $P < 0.05$ 。

Note: t , days after planting of summer soybean; y , dry matter accumulation of summer soybean; t_m , days of the maximum dry matter accumulation rate occurred; t_1 and t_2 are two inflexions of the Logistic equations, respectively; Δt , continued days of dry matter rapid accumulation; V_m , maximum increase rate of dry matter; **, $P < 0.05$.

2.5 滴灌量对复播大豆产量、产量构成因素及灌溉水利用效率的影响

大豆籽粒产量的高低取决于收获株数、单株有效荚数、荚粒数和百粒重^[18]。由表 3 可以看出,不同灌水量处理对复播大豆产量及产量构成因素影响不同,总体上,复播大豆单株荚数、单株粒数、单株粒重、百粒重及产量变化规律基本一致,即均随着滴灌量的增加呈“先增后降”的变化趋势,各项指标均以 W₃ 处理最高,滴灌量最少的 W₁ 处理最低,其差值表现为单株荚数增加了 3.41 个,单株粒数增多了 3.59 粒,单株粒重增大了 1.60 g,且均达到了显著差异水平($P < 0.05$);而 W₂ 与 W₄ 两个处理间单株荚

数、单株粒数以及单株粒重差异不显著,但二者均显著高于 W₁ 处理。虽然百粒重是大豆品种的固有性质,但不同滴灌量处理下复播大豆的百粒重存在一定的差异,以 W₃ 处理最大,较 W₁ 处理高出 8.34%,达显著水平($P < 0.05$),但与 W₂ 和 W₄ 无显著差异。各处理以 W₃ 的产量最高,为 3 741.23 kg·hm⁻²,显著高于 W₁、W₂ 和 W₄ 3 个处理,增幅分别为 30.42%、13.98 和 8.44%。表明适宜的滴灌量可协调复播大豆产量构成因素间的关系,进而增加产量。随灌水量的增加,灌溉水利用效率呈下降趋势,其中 W₁、W₂、W₃ 之间差异不显著,但均显著高于 W₄ 处理。

表 3 不同处理复播大豆产量、产量构成因素及灌溉水利用效率

Table 3 Yields, yield components factor and irrigation water use efficiencies of summer soybean under different treatments						
处理 Treatments	单株荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	单株粒重 seeds weight per plant/g	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	灌溉水利用效率 Irrigation water use efficiency/(kg·m ⁻³)
W ₁	19.13c	39.76c	6.88c	14.92b	2876.93d	0.96a
W ₂	21.32b	43.27b	7.65bc	15.64ab	3282.39c	0.91a
W ₃	22.54a	48.98a	9.25a	16.17a	3741.23a	0.89a
W ₄	21.16b	44.35b	8.48ab	16.04a	3450.16b	0.72b

注:同列不同字母表示处理间达 5% 的显著水平。
Note: Different letter represented significant difference at the level of 5%.

3 讨论与结论

灌水量的多少,对大豆的光合作用及生长均有直接的影响。前人研究表明,春大豆的 LAI 随着灌水量的增加而增加^[19];而春大豆叶片叶绿素含量随着干旱胁迫程度的加强而降低^[20],且无论在哪个生长时期受旱,叶片的叶绿素含量都会降低^[21]。而本试验中,复播大豆的 LAI 均随着滴灌量的增加表现出“先增后降”的变化,这种差异可能是由于春大豆和夏大豆对水分的响应不同所致,而且复播大豆叶

片 SPAD 值随着滴灌量的增加表现出“先增后降”的变化,表明滴灌量过低、过高均不利于叶片叶绿素含量的增加,只有在适宜的滴灌量条件下,叶片才能获得较高的叶绿素含量,从而促进叶片的光合作用^[22]。

前人研究表明,土壤水分亏缺均会导致光合速率、蒸腾速率和气孔导度降低,且大豆的蒸腾速率比光合速率对土壤干旱的反应更敏感^[23-25]。本研究表明,从开花期至鼓粒期,随着滴灌量的增加,复播大豆叶片净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导

度(G_s)亦呈现“先增后降”的趋势,但叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)的变化却恰恰相反,即随着滴灌量的增加呈现“先降后增”的趋势。

本研究通过 Logistic 方程模拟得出,滴灌条件下复播大豆干物质积累量随着滴灌量的增加呈“先增后降”的变化,以 W_3 处理的干物质积累量最大,同时 W_3 处理条件下延长了复播大豆干物质快速积累期的持续时间(Δt)以及干物质最大积累速率(V_m),但继续增大灌水量至 $4\ 800\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, V_m 和 Δt 却降低了 4.08% 和 19.61%。而前人研究表明,在漫灌和滴灌条件下春大豆干物质积累量均随着灌水量的增加而增大^[19,26],造成这种差异的原因可能是,灌水量少的 W_1 处理,由于水分较少限制复播大豆植株后期生长;而灌水量最多的 W_4 处理,由于生殖生长推迟,加上后期北疆地区温度较低,造成干物质转运较慢,均不利于干物质的形成。

土壤水分过多或过少均会对大豆籽粒产量的形成产生影响^[27]。本试验条件下,以 W_3 处理($4\ 200\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)产量最高,为 $3\ 741.23\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,较 W_1 、 W_2 和 W_4 三个处理,分别高出 30.42%、13.98% 和 8.44%,达显著差异水平;较当地常规灌溉量节水超过 40%,水分利用效率提高了 60% 以上,充分缓解了与秋收作物的用水矛盾。

综合分析得出,滴灌条件下北疆复播大豆,以 W_3 处理(滴灌量 $4\ 200\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)各项指标表现最好,灌溉水分利用效率较高,达到了节水高产相统一的目的,可供大田生产实践参考。

参 考 文 献:

- [1] 张娜,张永强,李大平,等.滴灌量对冬小麦光合特性及干物质积累过程的影响[J].麦类作物学报,2014,46(3):795-801.
- [2] 徐娇媚.伊犁河谷气候变化及其对农业影响初探[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2012.
- [3] Skaggs Todd H, Trout Thomas, Rothuss Youri. Drip irrigation water distribution patterns: effects of emitter rate, pulsing and antecedent water[J]. Soil Science Society of America Journal, 2010, 74: 1886-1896.
- [4] Ohashi Y, Nakayama N, Saneka H, et al. Effect of drought stress on photosynthetic gas exchange, fluorescence and stem diameter of soybean plants[J]. Biologia Plantarum, 2006, 50(1): 138-141.
- [5] 杨鹏辉,李贵全,郭丽,等.干旱胁迫对不同抗旱大豆品种花荚期质膜透性的影响[J].干旱地区农业研究,2003,21(3):127-129.
- [6] 徐淑琴,宋军,吴砚.大豆需水规律及喷灌模式探讨[J].节水灌溉,2003,(3):23-25.
- [7] 赵宏伟,李秋祝,魏永霞.不同生育时期干旱对大豆主要生理参数及产量的影响[J].大豆科学,2006,25(3):329-332.
- [8] Haile F J, Higley L G, Specht J E. Soybean leaf morphology and defoliation tolerance[J]. Agronomy Journal, 1998, 90: 353-362.
- [9] 张秋英,刘晓冰,金剑,等.水肥耦合对大豆光合特性及产量品质的影响[J].干旱地区农业研究,2003,21(1):47-50.
- [10] 韩晓增,裴宇峰,王守宇,等.水氮耦合对大豆生长发育的影响. II 对大豆生理特征的影响[J].大豆科学,2006,25(2):103-108.
- [11] 谢甫绵,董钻.不同生育期干旱对大豆生长和产量的影响[J].沈阳农业大学学报,1994,25(1):13-16.
- [12] Sort N V. Effect of water logging on soybean critical growth stages[J]. Journal of Soil and Crops, 1995, 5(2): 141-144.
- [13] 闫春娟.水钾耦合对大豆生理特性及产量品质的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2008.
- [14] 王培武,李治远,田昭弘,等.新疆大豆生产及生态的研究 I. 开花期缺水 and 遮光处理对大豆干物质生产及株型的影响[J].作物学报,1995,21(2):396-403.
- [15] Haile F J, Higley L G, Specht J E. Soybean leaf morphology and defoliation tolerance[J]. Agronomy Journal, 1998, 90: 353-362.
- [16] 艾天成,李方敏,周治安,等.作物叶片叶绿素含量与 SPAD 值相关性研究[J].湖北农学院学报,2000,20(1):6-8.
- [17] 张永强,张娜,唐江华,等.密度对北疆复播大豆生长动态及产量的影响研究[J].新疆农业大学学报,2014,37(1):7-11.
- [18] 李金霞,章建新,邢永锋,等.高产春大豆结实性垂直分布规律研究[J].新疆农业科学,2009,46(3):493-497.
- [19] 毛洪霞.不同水分处理对滴灌大豆干物质积累及生理参数的影响[J].大豆科学,2009,28(2):247-251.
- [20] 董守坤,赵坤,刘丽君,等.干旱胁迫对春大豆叶绿素含量和根系活力的影响[J].大豆科学,2011,30(6):949-953.
- [21] 李贵全,杜维俊,孔照胜,等.不同大豆品种抗旱生理生态的研究[J].山西农业大学学报,2000,(3):197-200.
- [22] 于洪久.种植密度对大豆光合生理及产量的影响[J].大豆科学,2009,28(6):1115-1118.
- [23] 王磊,张彤,丁圣彦.干旱和复水对大豆光合生理生态特性的影响[J].生态学报,2006,26(7):2073-2077.
- [24] Cox W J, Jolliff G D. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits[J]. Agron J, 1986, 78: 226-230.
- [25] 程俊.非充分灌溉条件下不同生育期冬小麦的耗水特性及生理生态特性研究[D].开封:河南大学,2008.
- [26] 赵恩龙,葛慧玲,龚振平,等.灌溉水平对春大豆株高及产量的影响[J].作物杂志,2014,(1):125-128.
- [27] Xiaobing L, Herbert S J. Response of photosynthetic rates and yield/quality of main crops to irrigation and manure application in black soil Northeast China[J]. Plant and Soil, 2004, 26(1):55-60.