文章编号:1000-7601(2022)05-0182-08 **doi**:10.7606/j.issn.1000-7601.2022.05.20

覆膜方式与灌水量对滴灌甜菜叶丛生长及光合特性的影响

林　明[1,2],鲁伟丹[2],陈友强[2],刘华君[2],
潘竟海[2],阿不都卡地尔·库尔班[2],周远航[3],王志敏[1]

(1.中国农业大学农学院,北京 100193;2.新疆农业科学院经济作物研究所,新疆 乌鲁木齐 830091;
3. 新疆农业科学院玛纳斯农业试验站,新疆 昌吉 832299)

摘　要:为探究覆膜方式与灌水量对叶丛生长期甜菜生长发育的影响,在新疆农业科学院安宁渠试验基地,以甜菜品种'Beta379'为试验材料,采取裂区设计,主区为 3 种覆膜方式,分别为不覆膜(N)、覆单膜(T)、覆双膜(D);副区为 3 种不同灌水量,分别为 5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$(W1)、4 200 $m^3 \cdot hm^{-2}$(W2)、2 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$(W3),测定叶丛期甜菜功能叶(倒四叶)叶面积、根围、丛高、叶片数等生长指标以及生物量积累与分配、光合特性。结果表明,不同覆膜方式以及不同灌水量均显著影响甜菜生长发育、光合特性以及干物质积累,其中双膜覆盖下 4 500 $m^3 \cdot hm^{-2}$处理与双膜 5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$、单膜 5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$均不存在显著差异,但较其他处理在叶面积、根围、丛高以及单根质量方面平均高出 12.65%、12.96%、3.93%以及 9.93%,同时提高甜菜光合作用从而显著增加了甜菜干物质积累量,其中茎叶干物质积累量平均增加 15.84%、块根干物质积累量显著增加 14.72%,为甜菜高产奠定了良好的基础。

关键词:甜菜;覆膜方式;灌水量;滴灌;光合特性;叶丛生长期

中图分类号:S566.3;S275;S35　　**文献标志码**:A

Effects of film mulching method and drip irrigation amount on foliage growth and photosynthetic characteristics of sugar beet leaves

LIN Ming[1,2], LU Weidan[2], CHEN Youqiang[2], LIU Huajun[2],
PAN Jinghai[2], ABDUKADIER Kurban[2], ZHOU Yuanhang[3], WANG zhimin[1]

(1. *College of Agronomy and Biotechnology*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100193, *China*;
2. *Institute of Industrial Crops*, *Xinjiang Academy of Agricultural Sciences*, *Urumqi*, *Xinjiang* 830091, *China*;
3. *Manas Agricultural Experimental Station*, *Xinjiang Academy of Agricultural Sciences*, *Changji*, *Xinjiang* 832299, *China*)

Abstract: The purpose of this study was to investigate the effects of plastic film mulching and drip irrigation amount on the growth and development of sugar beet during the growing period of leaf cluster. In the Anning Canal Experimental Base of Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, the beet variety 'Beta379' was used as experimental material. In the split plot design, the main plot was divided into three types of film mulching, namely, no film mulching (N), single film mulching (T) and double film mulching (D), and the secondary plot was divided into three types of irrigation, which were 5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$(W1), 4 200 $m^3 \cdot hm^{-2}$(W2) and 2 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$ (W3), respectively. The growth index, including leaf area, root circumference, cluster height and leaf number, as well as biomass accumulation, distribution and photosynthetic characteristics of sugar beet functional leaves (fourth leaf from bottom) at the growth period of foliage were measured. The results showed that the growth and development, photosynthetic characteristics and dry matter accumulation of sugar beet were affected by different mulching methods and different irrigation amounts. There was no significant difference between 4 500 $m^3 \cdot hm^{-2}$ treatment

收稿日期:2021-11-02　　**修回日期**:2022-06-15

基金项目:新疆维吾尔自治区科技成果转化示范专项(2020B007);财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系建设项目(CARS-170724)

作者简介:林明(1982-),男,甘肃武威人,副研究员,主要从事甜菜、籽瓜育种与栽培研究。E-mail:lm126com@126.com

通信作者:王志敏(1961-),男,安徽安庆人,教授,主要从事作物栽培与耕作研究。E-mail:zhimin206@263.net

with double mulching and 5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$ with double mulching and 5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$ with single mulching, but it was 12.65%, 12.96%, 3.93% and 9.93% higher on average in leaf area, root girth, cluster height and single root weight than other treatments. At the same time, the dry matter accumulation of sugar beet was significantly increased by improving the photosynthesis of sugar beet, and the dry matter mass of stem and leaf was increased by 15.84% on average, and the dry matter mass of root was significantly increased by 14.72%, which laid a good foundation for the high yield of beet.

Keywords: sugar beet; mulching method; irrigation amount; drip irrigation; photosynthetic characteristics; growth period of foliage

甜菜是最主要的糖料作物之一,甜菜糖约占世界糖产量的 2/5,是制糖工业主要原料之一,在我国的种植面积较大[1-3]。甜菜根系发达,生长周期较长,全生育期耗水量大,水分成为了制约甜菜产量形成的重要因素之一[4-5],而大规模种植甜菜的甜菜产区大部分位于干旱或半干旱地区,年降雨量较少且分布不均匀,水资源较为匮乏。因此需要通过科学合理的节水灌溉技术使有限的水资源得到合理利用,从而使干旱或半干旱地区甜菜种植形成节水高效、优质高产的栽培模式。

前人对于不同覆膜方式或不同灌水量对作物生长发育的影响颇有研究:李智[6]研究发现膜下滴灌条件下甜菜叶面积指数同样随灌水量的减少而降低,且水分不仅影响作物的丛高、叶面积指数等生长指标,同时还会影响作物的光合生理指标,如净光合速率、蒸腾速率、气孔导度等。李升东等[7]研究表明随着灌水量的增加,小麦旗叶光合速率、气孔导度和胞间 CO_2浓度也增加;蒸腾速率与供水量呈显著正相关;蒸腾速率、净光合速率和水分利用效率之间相关关系同样达到显著水平。在一定范围内,灌水量越高,甜菜生长越旺盛,光合速率越高。缺水会造成甜菜群体光合作用受到抑制,光合能力减弱,净光合强度降低[8-10]。董心久等[11]提出膜下滴灌甜菜灌水量控制在 5 400 $m^3 \cdot hm^{-2}$左右,既利于甜菜产量的形成和糖分积累,又可以提高水分利用率,改善土壤水热状况、增加土壤微生物活性等,起到提升农业系统生产力的作用。另外,覆膜可以改善光照条件、抑制杂草生长,有效提高作物保苗率,缩短作物的生育期[12-14],从而使作物产量提高。因此地膜覆盖是干旱半干旱地区作物高产的关键栽培技术措施之一。吴常顺等[15]研究结果表明,覆膜处理与不覆膜处理相比,甜菜含糖率和产量均明显增加,显著提高了经济效益。高卫时等[16]研究提出单膜和双膜覆盖处理下甜菜的块根产量和含糖率较不覆膜甜菜均有不同程度增加,其中双膜覆盖比单膜覆盖温度波动幅度更小,更有利于作物的生长。以往研究大多侧重于单因素如不同覆膜方式或不同灌水量对甜菜生长造成的影响,不同覆膜方式与不同灌水量相结合对甜菜生长影响的研究有限,因此本研究旨在探讨不同覆膜方式与不同灌水量共同作用对甜菜生长可能造成的影响,以期探寻出最适宜干旱半干旱地区甜菜节水灌溉的方式。

根的初生皮层脱落至叶丛增长量达到最高值时,称为叶丛快速生长期。此期为出苗后 35~70 d,是甜菜水分敏感期。叶丛生长期不仅是甜菜的水分敏感期还是甜菜需水量较大的时期且叶丛生长期是甜菜叶片数增多、丛高增长的重要时期,而叶片是光合作用的主要器官,对产量的贡献较大;叶丛的生长对甜菜产量和糖分积累也有重要的作用;叶丛生长期甜菜生长状态可以直观说明不同覆膜方式及灌水量对甜菜生长造成的影响[17-20]。因此本研究侧重于探讨覆膜方式与灌水量互作对甜菜水分敏感期,即叶丛生长期生长发育及光合特性的影响,以此为干旱半干旱地区甜菜节水灌溉提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验所用甜菜品种为美国 Beta 公司生产的 E 型丸衣化单胚种‘Beta379’;滴灌带为新疆天业节水灌溉股份有限公司生产的迷宫式滴灌带;地膜为新疆维吾尔自治区昌吉市新昌塑地膜厂生产,规格为 80 cm(宽)×0.01 mm(厚)。

1.2　试验区自然条件

试验于 2020 年在新疆农业科学院安宁渠试验场(43°77′N,87°17′E)开展。当地年平均气温 5℃~7℃,冬季平均气温-11.9℃,极端最低气温-30℃,最大冻土层 79 cm,年降水量 150~200 mm,蒸发量 1600~2 200 mm,属于干旱半干旱荒漠气候带农业区。

试验地土壤类型为灰漠土,质地为砂壤,前茬

作物玉米。土壤基础理化性质如下:速效氮 66.9 mg·kg^{-1},速效磷 11.1 mg·kg^{-1},速效钾 205 mg·kg^{-1}。

1.3 试验设计

本试验为双因素试验,设不覆膜(N)、覆单膜(T)、覆双膜(D)3 种覆膜方式(M),双管配置,灌水量以全生育期灌水量 5 700 m^3·hm^{-2}(W1)为最高处理,然后再分别设置 4 200 m^3·hm^{-2}(W2)、2 700 m^3·hm^{-2}(W3)两个灌水量处理(W),每个处理 3 次重复,共 9 个处理,随机区组排列。小区面积为 10 m×2 m=20 m^2,一膜双行双管配置;行距为 50 cm,株距为 18 cm。各处理采用水表控制灌溉量,表 1 为叶丛期灌水时间及灌水量表。甜菜种植时间为 2020 年 4 月 28 日—2020 年 10 月 2 日;甜菜营养生长周期分为苗期、叶丛生长期、块根增长期、糖分积累期 4 个时期,表 2 为甜菜生育时期划分表。试验所用化肥为:尿素(N46%)、磷酸一铵(N≥12%,P_2O_5≥61%)、硫酸钾(K_2O≥50%)。其余间苗、定苗、中耕等田间管理措施参照当地大田常规管理方法,各处理保持一致。

表 1 甜菜叶丛期灌水时间及灌水量表/(m^3·hm^{-2})

Table 1 Irrigation time and amount of sugar beet in foliage growth stage

处理 Treatment	灌水时间 Irrigation time (m-d)				
	06-12	06-22	07-02	07-12	07-22
W1	570	570	570	570	570
W2	420	420	420	420	420
W3	270	270	270	270	270

表 2 甜菜生育时期划分表

Table 2 Classification of sugar beet growth stage

生育期 Growth stage	特征 Characteristic	时间(m-d) Time quantum
苗期 Seedling stage	从出苗到根初生皮层脱落 From seedling emergence to root primary cortex abscission	05-05—06-10
叶丛快速生长期 Rapid growth period of foliage	根的初生皮层脱落至叶丛增长量达到最高值时 Primary cortex of the root exfoliates until the growth of the leaf plexus reaches its maximum	06-11—07-26
块根膨大期 Root enlargement stage	叶丛增长量达到最高值至块根基本停止生长 Growth of foliage reaches the maximum until the root stops growing	07-27—8-27
糖分积累期 Sugar accumulation period	块根基本停止生长至收获 Root tubers basically stop growing until harvest	08-28—10-02

1.4 测定指标与方法

甜菜倒 4 叶面积:在叶丛快速生长期,对各小区选取 5 个代表性植株测倒 4 叶面积,用 CI-202 叶面积仪(CID 生物科学有限公司,美国)进行测定。

植株干物质积累量:在叶丛快速生长期,对每处理选取长势一致的甜菜 5 株,带回实验室将植株分为叶片、茎和根,称重并用软尺测量甜菜根围,分别装袋置于 105℃烘箱中杀青 30 min,80℃烘至恒重,电子天平称重(精准度为 0.001 g,美乐 MTS300D,慈溪市华徐衡器实业有限公司)。

光合特性:在甜菜叶丛生长期,于晴朗无云的一天(6 月 15 日),在 10∶00—12∶00 之间,各处理选取 3 株长势一致的植株,每株选取倒 4 叶叶片用 CIRAS-3 便携式光合仪(PP systems,美国)在田间测定各处理甜菜叶片的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和胞间 CO_2浓度(C_i)。

其他生长指标:叶丛快速生长期,对每处理选取长势一致的甜菜 5 株,每隔 1 d 记录甜菜叶片数,同时用直尺测量甜菜叶丛高度。

2 结果与分析

2.1 不同覆膜方式与灌水量对甜菜生长的影响

由表 3 可以看出,不同覆膜方式与灌水量均对甜菜生长存在显著影响;甜菜各项生长指标均随灌水量的增加而增加,且覆膜处理同样较不覆膜处理显著提高甜菜各项生长指标。在相同覆膜方式下,根围、单根质量、叶面积均随灌水量的减少呈降低趋势,其中 W3 处理根围、单根质量、叶面积分别平均较 W1 处理显著降低 18.18%、22.66%、15.12%(P<0.05);较 W2 处理显著降低 11.06%、15.13%、7.6%(P<0.05);相同灌水量处理下,甜菜根围、单根质量、叶面积均表现为 D>T>N;不覆膜处理下,根围、单根质量、叶面积平均分别较覆单膜处理显著降低 7.72%、10.46%、11.78%(P<0.05);覆双膜处理较单膜处理显著增加 3.13%、6.22%、8.71%(P<0.05);覆双膜处理较不覆膜处理根围、单根质量、叶面积平均分别增加 11.08%、17.33%、21.52%,存在显著性差异(P<0.05)。不同覆膜方式与不同灌水量互作对甜菜生长影响不显著(P>0.05)。

2.2 不同覆膜方式与灌水量对甜菜丛高、叶片数的影响

图 1 为叶丛生长期甜菜丛高生长动态图,由图 1 与表 4 可以看出叶丛生长期初期各处理间不存在显著性差异,后期灌水量与覆膜均显著影响甜菜丛高。其中 NW2 与 NW3 处理生长缓慢,后期显著低于 DW1 与 DW2 处理(P<0.05),DW1、DW2 与 TW1、TW2 间不存在显著性差异(P>0.05)。不同覆膜方式间比较,甜菜丛高整体表现为 N 处理显著低

于 D 处理($P<0.05$),而 D 处理与 T 处理间不存在显著性差异($P>0.05$),其中 D 处理与 T 处理平均分别较 N 处理显著增加 7.56%与 4.22%($P<0.05$);不同灌水量间比较,甜菜丛高整体表现为:W1 处理与 W2 处理间不存在显著性差异($P>0.05$),但均显著高于 W3 处理($P<0.05$);W1 处理与 W2 处理平均分别较 W3 处理显著增加 7.27% 与 3.95%($P<0.05$)。

表 3　不同覆膜方式与灌水量对甜菜生长的影响

Table 3　Effects of different mulching methods and irrigation amount on sugar beet growth

覆膜方式 Film mulching	灌水量 Irrigation amount	根围/cm Root girth	单根质量/g Single root mass	单株叶面积/cm^2 Plant leaf-area
N	W1	24.11±1.71b	257.11±13.87abcd	283.73±8.54cde
	W2	22.33±1.00c	236.33±8.01cd	263.06±10.44ef
	W3	19.78±1.09d	185.56±28.35e	244.88±2.82f
T	W1	25.78±0.67a	267.78±8.39abc	322.36±14.60ab
	W2	23.88±0.64b	253.33±26.19abcd	291.05±12.83cd
	W3	21.67±0.58c	228.89±9.18d	271.52±22.52de
D	W1	25.89±0.51a	283.33±8.82a	335.14±10.55a
	W2	25.00±0.67ab	268.89±16.78ab	325.69±22.12a
	W3	22.67±1.32c	244.44±11.24bcd	301.22±7.05bc
因素 Factor			*F* 值 *F* value	
覆膜 Film mulching (M)		74.947**	13.239**	4.844*
灌水 Irrigation (W)		30.728**	21.809**	9.508*
M×W		0.702ns	1.132ns	0.072ns

注:* 表示差异显著($P<0.05$);** 表示差异极显著($P<0.01$);ns 表示没有显著性差异。同列不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平下差异显著。下同。

Note: * means significant difference ($P<0.05$); ** means extremely significant difference ($P<0.01$); ns means no significant difference. Different lowercase letters in the same column mean significant differences ($P<0.05$). The same below.

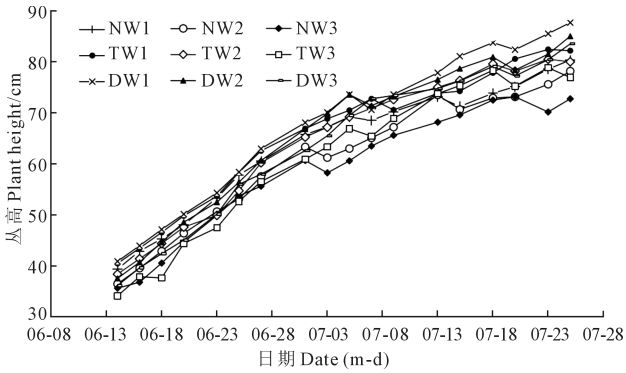


图 1　不同覆膜方式与灌水量对甜菜丛高的影响

Fig.1　Effects of film mulching methods and irrigation amount on plant height of sugar beet

由图 2 与表 4 可以看出,灌水量显著影响甜菜叶片数,灌水量较高时,甜菜叶片数增长迅速,反之增长缓慢且枯萎脱落甜菜叶的数量增加。覆膜方式对甜菜叶片数的影响不存在显著差异($P>0.05$),覆膜与灌水量的交互作用同样对甜菜叶片数影响较小($P>0.05$)。在叶丛生长期前期,各处理间甜菜叶片数不存在显著性差异,后期表现为 DW3、TW3、NW2、NW3 处理显著低于 DW1 与 TW1 处理($P<0.05$),其余处理间并不存在显著性差异($P>0.05$)。在叶丛生长期后期(7 月 13 日至 7 月 23 日)D 处理与 T 处理分别平均较 N 处理显著增加 6.19% 与 3.87%($P<0.05$);W1 处理与 W2 处理分别较 W3 处理显著增加 7.94%与 5.00%($P<0.05$)。

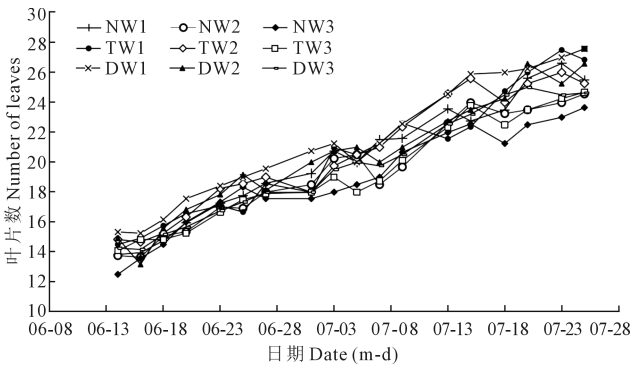


图 2　不同覆膜方式与灌水量对甜菜叶片数的影响

Fig.2　Effects of film mulching methods and irrigation amount on the number of sugar beet leaves

表 4　覆膜方式、灌水量及其交互作用对甜菜丛高、叶片数影响的 *F* 值

Table 4　*F* value of effects of film mulching methods, irrigation amount and their interaction on beet cluster height and leaf number

因素 Factor	丛高 Plant hight	叶片数 Leaf number
M	9.441*	1.926ns
W	17.751**	5.742ns
M×W	0.008ns	0.728ns

2.3 不同覆膜方式与灌水量对甜菜光合特性的影响

由表 5 可以看出,不同覆膜方式显著影响甜菜胞间 CO_2浓度、气孔导度、净光合速率以及蒸腾速率;其中覆双膜处理可以有效减少田间土壤水分蒸发,为甜菜光合作用提供良好的土壤环境,双膜(D)处理气孔导度、净光合速率以及蒸腾速率分别较不覆膜(N)处理平均显著增加 65.66%、16.26%、64.83%($P<0.05$)。不覆膜(N)处理下甜菜胞间 CO_2 浓度较覆双膜处理平均显著高 18.34%($P<0.05$)。不同灌水量同样对甜菜光合作用造成显著影响;W1 处理下甜菜气孔导度、净光合速率以及蒸腾速率平均分别较 W2 处理增加 3.53%、12.73%、12.83%;W1 处理下甜菜气孔导度、净光合速率以及蒸腾速率分别平均较 W3 处理增加 6.56%、27.39%、26.38%。而 W1 处理胞间 CO_2浓度分别较 W2 与 W3 处理显著降低 8.72%和 20.54%($P<0.05$)。

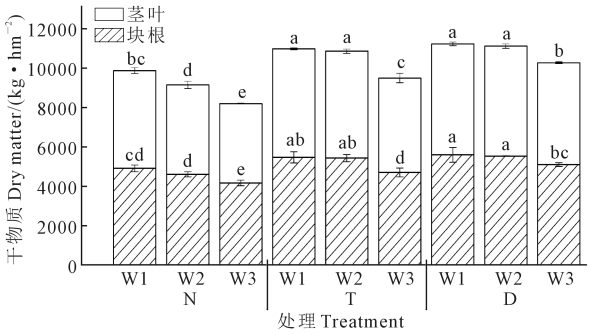
表 5 不同覆膜方式与灌水量对甜菜光合特性的影响/($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)

Table 5 Effects of film mulching methods and irrigation amount on photosynthetic characteristics of sugar beet

覆膜方式 Film mulching	灌水量 Irrigation amount	CO_2浓度 C_i	气孔导度 G_s	净光合速率 P_n	蒸腾速率 T_r
N	W1	236.33±14.19ab	224.67±7.09c	23.80±1.15bcd	1.73±0.11d
	W2	244.33±9.07b	214.67±8.33c	21.37±0.57ef	1.32±0.24e
	W3	278.67±16.07a	190.67±5.69c	17.97±1.79g	1.13±0.36 e
T	W1	204.67±8.96c	322.33±27.65ab	25.40±1.45b	2.22±0.14abc
	W2	235.00±8.72ab	315.67±12.9ab	23.03±0.61cde	2.01±0.03cd
	W3	249.00±23.07b	297.33±10.97b	20.93±0.81f	1.89±0.05cd
D	W1	193.67±21.22c	351.33±40.00a	28.73±0.93a	2.47±0.19a
	W2	210.67±12.34bc	337.33±19.66ab	24.73±0.67bc	2.36±0.01ab
	W3	237.33±6.43ab	355.00±31.19a	22.27±0.45def	2.06±0.01 bcd
因素 Factor		*F* 值 *F* value			
M		16.845**	99.486**	37.550**	67.758**
W		20.546**	1.661ns	6.543**	15.621**
M×W		0.559ns	0.985ns	1.111ns	0.904ns

2.4 不同覆膜方式与灌水量对甜菜干物质积累量的影响

由表 6 与图 3 可以看出,不同覆膜方式与灌水量均显著影响甜菜干物质积累,不覆膜处理下,W3 处理的甜菜干物质积累显著低于 W1 与 W2 处理,各灌水量间干物质积累表现为:W1>W2>W3;覆单膜处理下,W1 处理 W2 处理间不存在显著性差异($P>0.05$),但均显著高于 W3 处理($P<0.05$),W1 处理块根和茎叶干物质积累量平均分别较 W3 处理高 16.27%与 14.95%。双膜处理中,W1 处理与 W2 处理同样不存在显著性差异($P>0.05$),分别较 W3 处理甜菜块根干物质积累量显著高 9.69%与 8.47%($P<0.05$)。在同一灌水量处理下,D 处理甜菜干物质积累略高于 T 处理,不存在显著性差异($P>0.05$),但均显著高于 N 处理($P<0.05$);N 处理块根干物质积累量平均较 T 处理与 D 处理降低 13.98%与 18.49%,D 处理块根干物质积累量较 T 处理增加 3.96%;N 处理茎叶干物质积累量平均较 T 处理与 D 处理降低 16.23%与 21.17%。不同覆膜方式与不同灌水量互作对甜菜块根干物质积累量不存在显著影响($P>0.05$),但显著影响茎叶干物质积累($P<0.05$)。



注:同行各柱间不同小写字母表示甜菜不同部位处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters between the columns of the same line indicate that there are significant differences between treatments in different parts of sugar beet ($P<0.05$).

图 3 不同种植方式对甜菜干物质积累量的影响

Fig.3 Effects of planting methods on dry matter accumulation of sugar beet

表 6 覆膜方式、灌水量及其交互作用对甜菜干物质积累影响的 *F* 值

Table 6 *F* value of effects of film mulching methods, irrigation amount and their interaction on sugar beet dry matter accumulation

因素 Factor	根 Root	茎叶 Stem and leaf
M	40.901**	128.509**
W	26.237**	68.177**
M×W	0.874ns	3.104*

2.5　甜菜生长、光合特性与干物质积累量的相关性分析

由表 7 可以看出,甜菜生长发育指标、光合特性指标以及干物质积累量间存在显著的相关性。丛高与叶片数间存在显著正相关关系($P<0.05$),根围与单根质量、根干物质、叶面积、净光合速率、蒸腾速率呈极显著正相关关系($P<0.01$),单根质量、叶面积、净光合速率、蒸腾速率以及根、茎干物质量之间同样存在极显著正相关关系;而胞间 CO_2 浓度与其他光合指标以及生长发育指标均呈负相关关系,且除与丛高和叶片数之间差异不显著外,与其余指标间均呈极显著负相关关系。气孔导度与蒸腾速率以及根茎干物质之间均呈极显著正相关关系($P<0.01$);叶片蒸腾速率与根茎干物质间同样存在极显著正相关关系($P<0.01$)。

表 7　甜菜生长、光合特性与干物质积累的相关性分析

Table 7　Correlation analysis between growth, photosynthetic characteristics and dry matter accumulation of sugar beet

指标 Index	丛高 Plant height	叶片数 Number of blades	根围 Root girth	单根质量 Single root mass	单株叶面积 Plant leaf-area	C_i	G_s	P_n	T_r	根干物质量 Root dry matter	茎干物质量 Stem and leaf dry matter
丛高 Plant height	1.000										
叶片数 Number of blades	0.703*	1.000									
根围 Root girth	0.359	0.453	1.000								
单根质量 Single root mass	0.323	0.366	0.970**	1.000							
单株叶面积 Plant leaf-area	0.067	0.087	0.917**	0.907**	1.000						
C_i	−0.181	−0.272	−0.967**	−0.957**	−0.961**	1.000					
G_s	−0.166	−0.324	0.637	0.694*	0.843**	−0.732*	1.000				
P_n	0.253	0.383	0.954**	0.953**	0.919**	−0.969**	0.661	1.000			
T_r	0.129	−0.039	0.838**	0.862**	0.953**	−0.890**	0.927**	0.851**	1.000		
根干物质量 Root dry matter	0.197	0.194	0.925**	0.922**	0.945**	−0.920**	0.841**	0.881**	0.936**	1.000	
茎叶干物质量 Stem and leaf dry matter	0.213	0.154	0.918**	0.932**	0.948**	−0.919**	0.867**	0.879**	0.957**	0.994**	1.000

3　讨　论

3.1　不同覆膜方式与灌水量对甜菜生长的影响

本研究发现,覆膜方式与灌水量均显著影响甜菜叶面积,覆膜方式与灌水量的交互作用对其不存在显著影响。叶片是光合作用的主要器官,对产量贡献较大;叶丛的生长对甜菜产量和糖分积累也有重要作用。本研究发现,覆膜与灌水均显著影响甜菜丛高、叶面积、单根质量以及根围,其中双膜 5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$ 灌水处理、双膜 4 200 $m^3 \cdot hm^{-2}$ 灌水处理以及单膜 5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$ 灌水处理显著优于其他处理。梁哲军、Zhou 等[21-22]研究表明,玉米丛高和叶面积指数随灌水量的增加而增加。韩凯虹[23]研究发现灌水量的减少会明显抑制甜菜的丛高、叶片数、叶面积及根粗的生长,这与本研究结果基本一致。高卫时等[16]研究提出不同覆膜处理间植株叶片数无显著性差异,且表明影响甜菜叶片数的因素多为甜菜品种本身;在本试验中,单膜和双膜覆盖叶丛高度之间无显著性差异,但显著高于不覆膜处理,双膜 5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$ 灌水处理与双膜 4 200 $m^3 \cdot hm^{-2}$ 灌水处理叶片数显著高于不覆膜 2 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$ 灌水处理,这可能是由于不覆膜 2 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$ 灌水处理难以满足甜菜生长所需要的水分,叶片萎蔫脱落造成的。

3.2　不同覆膜方式与灌水量对甜菜光合特性的影响

水分不仅影响作物的生长指标如丛高、叶面积指数等,而且影响作物的光合指标如净光合速率、

蒸腾速率和气孔导度等[24]。甜菜营养生长主要靠光合作用制造有机营养物质,在本研究中,双膜处理较单膜处理与不覆膜处理显著增加甜菜净光合速率、蒸腾速率、气孔导度,原因或许是因为双膜处理可以抑制田间水分的无效蒸发,提高土壤含水量和水分利用率,为甜菜光合提供良好的土壤环境。叶片水分是影响气孔导度的主要原因[25],双膜处理以及5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理均可增加叶片水分,因此气孔导度显著高于其他处理,Franks等[26]研究发现,蒸腾速率和气孔导度的下降可认为是植物为避免过度失水所进行的自我调节,这与本研究中不覆膜处理以及2 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理蒸腾速率和气孔导度显著低于其他处理的研究结果基本一致。张娜等[27]研究表明,冬小麦叶片光合速率、气孔导度和蒸腾速率均随滴灌量的增加而增加,而胞间CO_2浓度随滴灌量增加而减小,这与本研究结果基本一致。而Lin等[28]研究提出:作物遭遇水分胁迫时气孔关闭会导致胞间CO_2浓度降低,最终造成植物的净光合速率下降;因此胞间CO_2浓度的高低并不是简单的随灌水量增加而增加或减少的趋势,胞间CO_2浓度的高低还取决于不同作物品种与具体灌水量。

3.3 不同覆膜方式与灌水量对甜菜干物质积累的影响

甜菜干物质积累是决定甜菜产量的重要因素,而甜菜的干物质积累与分配受到土壤水分条件的影响,较好的水分条件有利于甜菜的干物质积累,增加甜菜的生物产量[29]。因此充足的灌水量可以显著提高甜菜干物质积累量,不同覆膜方式以及不同灌水量均对甜菜干物质积累存在显著性影响,不同灌水量与不同覆膜方式的交互作用对甜菜块根干物质积累量不存在显著性影响,但显著影响甜菜茎叶干物质积累。在本研究中,覆单膜5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理、4 200 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理以及覆双膜5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理、4 200 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理的干物质积累量间不存在显著性差异但均较其他处理显著增加甜菜干物质积累量,其中双膜4 200 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理、单膜4 200 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理与单膜5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理、双膜5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理在甜菜干物质积累方面不存在显著性差异,而覆单膜处理的根干物质积累较覆双膜处理的根干物质积累量略有降低,但不存在显著性差异。

4 结 论

灌水与覆膜均显著影响甜菜生长发育、光合特性以及干物质积累,在相同覆膜方式下,5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理以及4 200 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理显著优于2 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理;覆双膜处理较其他处理可以有效减少田间水分蒸发,为甜菜生长发育提供良好的土壤环境。其中覆双膜4 200 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理与覆双膜5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理、覆单膜5 700 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理在甜菜生长发育、光合特性以及干物质积累方面不存在显著差异,但均显著优于其他覆膜与灌水处理;双膜4 200 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理在甜菜叶面积、根围、丛高以及单根质量方面分别较其他覆膜与灌水处理平均分别高12.65%、12.96%、3.93%以及9.93%,因此双膜4 200 $m^3 \cdot hm^{-2}$灌水处理可以在减少灌水的前提下,保证甜菜正常生长发育,达到甜菜节水稳产甚至增产的目的,为甜菜高产优质高效节水奠定了良好的基础。

参 考 文 献:

[1] 张永霞.我国北方地区甜菜糖业发展研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2003.
ZHANG Y X. The study on development of beet & sugar in China's north region[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2003.

[2] 蔡葆,张文彬.中国甜菜糖业发展的策略[J].中国甜菜糖业,2008,(4):24-29.
CAI B, ZHANG W B. Strategy of development for sugarbeet and sugar industry in China[J]. China Beet & Sugar, 2008,(4): 24-29.

[3] 王燕飞,李翠芳,李承业,等.我国甜菜栽培模式研究进展[J].中国糖料,2011(1):55-57.
WANG Y F, LI C F, LI C Y, et al. Research progress on sugarbeet cultivation model in China[J]. Sugar Crops of China, 2011(1): 55-57.

[4] 解鑫.水氮运筹对双膜覆盖滴灌甜菜产量和含糖率的影响[D].石河子:石河子大学,2017.
XIE X. Effects of water and nitrogen management on yield and sugar content of sugar-beet under double film mulching with drip irrigation [D]. Shihezi: Shihezi University, 2017.

[5] 李智,李国龙,刘蒙,等.膜下滴灌条件下甜菜水分代谢特点的研究[J].节水灌溉,2015,(9):52-56.
LI Z, LI G L, LIU M, et al. Study on water metabolism characteristics of sugar beet under plastic mulching drip irrigation[J]. Water Saving Irrigation, 2015,(9): 52-56.

[6] 李智.膜下滴灌条件下甜菜水分代谢特点的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2015.
LI Z. Study on water metabolism characteristics of sugar beets (*Beta vulgaris* L.) under plastic mulching by drip irrigation[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2015.

[7] 李升东,王法宏,司纪升,等.节水灌溉对小麦旗叶主要光合参数和水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(4):19-22,28.
LI S D, WANG F H, SI J S, et al. Effects of water-saving irrigation on some photosynthetic functions and water use efficiency in wheat[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(4): 19-22, 28.

[8] 谭念童,林琪,姜雯,等.限量灌溉对旱地小麦旗叶光合特性日变化和产量的影响[J].中国生态农业学报,2011,19(4):805-811.
TAN N T, LIN Q, JIANG W, et al. Effect of limited irrigation on diurnal variation in flag-leaf photosynthesis and yield of dryland wheat[J].

Chinese Journal of Eco-agriculture, 2011, 19(4): 805-811.

[9] 杨晓亚.灌水时期和灌水量对小麦产量形成和水分利用特性的影响[D].泰安:山东农业大学,2008.
YANG X Y. Effect of irrigation stage and amount on grain yield formation and water use characteristics in wheat[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2008.

[10] 罗永忠,成自勇.水分胁迫对紫花苜蓿叶水势、蒸腾速率和气孔导度的影响[J].草地学报,2011,19(2):215-221.
LUO Y Z, CHENG Z Y. Impact of water stress on leaf water potential, transpiration rate (T_r) and stomatal conductance (G_s) of alfalfa[J]. Acta Agrestia Sinica, 2011, 19(2): 215-221.

[11] 董心久,杨洪泽,周建朝,等.不同灌溉量下氮肥施用时期对甜菜光合物质生产及产量的补偿作用[J].新疆农业科学,2018,55(4):635-646.
DONG X J, YANG H Z, ZHOU J C, et al. The compensatory effect of nitrogen fertilizer application period on the photosynthetic substances production and yield of sugar beet under different irrigation amounts[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2018, 55(4): 635-646.

[12] 赵东霞,牛俊义,闫志利,等.不同地表覆盖方式油菜花后干物质积累与分配规律研究[J].干旱地区农业研究,2012,30(3):31-36.
ZHAO D X, NIU J Y, YAN Z L, et al. Study on principle of dry matter accumulation and distribution in rape under different field mulching and planting patterns[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012, 30(3): 31-36.

[13] 樊华,KOIBAKOV S M,帕尼古丽,等.地膜覆盖对滴灌甜菜生育进程及产量的影响[J].新疆农业科学,2014,51(4):633-638.
FAN H, KOIBAKOV S M, PANIGULI. Effects of plastic film mulching on growth process and yield of drip irrigation sugar beet[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2014, 51(4): 633-638.

[14] ORTIZ J N, TARJUELO J M, DE JUAN J A, et al. Effects of two types of sprinklers and height in the irrigation of sugar beet with a centre pivot[J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2012, 10(1): 251-263.

[15] 吴常顺,李淑清,安传友,等.宁安地区甜菜大垄双行覆膜栽培技术的可行性分析[J].中国糖料,2007,(3):34,47.
WU C S, LI S Q, AN C Y, et al. Experiment of planting two wide row sugarbeets with film-cover in Ning´an area[J]. Sugar Crops of China, 2007,(3): 34, 47.

[16] 高卫时,董心久,杨洪泽,等.不同覆膜栽培方式对甜菜相关性状的影响[J].中国糖料,2014,(3):14-16.
GAO W S, DONG X J, YANG H Z, et al. Effects of different film mulching methods on related characters of sugarbeet[J]. Sugar Crops of China, 2014,(3): 14-16.

[17] WANG N, FU F Z, WANG H R, et al. Effects of irrigation and nitrogen on chlorophyll content, dry matter and nitrogen accumulation in sugar beet (*Beta vulgaris* L.)[J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 16651.

[18] 李阳阳.调亏灌溉下滴灌甜菜补偿效应研究[D].石河子:石河子大学,2020.
LI Y Y. Study on compensation effect of regulated deficit irrigation on sugar beet[D]. Shihezi: Shihezi University, 2020.

[19] 刘宁宁.叶丛期调亏灌溉对滴灌甜菜源库特征的影响[D].石河子:石河子大学,2020.
LIU N N. Effects of regulation deficit irrigation during canopy development stage on source and sink characteristics of sugar beet under drip irrigation[D]. Shihezi: Shihezi University, 2020.

[20] 周红亮,张丽娟,刘宁宁,等.调亏灌溉下氮肥管理对滴灌甜菜产量及水氮利用的影响[J].干旱地区农业研究,2020,38(6):159-166.
ZHOU H L, ZHANG L J, LIU N N, et al. Effect of nitrogen management on yield and water and nitrogen utilization of sugar beet under regulated deficit irrigation[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2020, 38(6): 159-166.

[21] 梁哲军,齐宏立,王玉香,等.不同滴灌定额对玉米光合性能及水分利用效率的影响[J].中国农学通报,2014,30(36):74-78.
LIANG Z J, QI H L, WANG Y X, et al. Effects of different drip irrigation quota on photosynthetic performance and water use efficiency of maize[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(36): 74-78.

[22] ZHOU L F, FENG H. Plastic film mulching stimulates brace root emergence and soil nutrient absorption of maize in an arid environment[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(2): 540-550.

[23] 韩凯虹.水分胁迫及复水对甜菜生长发育及光合特性的影响[D].保定:河北农业大学,2015.
HAN K H. Effects of water stress and rewatering on growth development and photosynthetic characteristics to suger beet[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2015.

[24] 武东霞.覆膜及补水对甜菜产量和质量的影响[D].保定:河北农业大学,2014.
WU D X. Coated and hydrating effect on yield and quality of sugar beet[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2014.

[25] 高丽,杨劼,刘瑞香.不同土壤水分条件下中国沙棘雌雄株光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征[J].生态学报,2009,29(11):6025-6034.
GAO L, YANG J, LIU R X. Effects of soil moisture levels on photosynthesis, transpiration, and moisture use efficiency of female and male plants of *Hippophae rhamnoides* ssp.sinensis[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 6025-6034.

[26] FRANKS P J, DRAKE P L, FROEND R H. Anisohydric but isohydrodynamic: seasonally constant plant water potential gradient explained by a stomatal control mechanism incorporating variable plant hydraulic conductance[J]. Plant, Cell & Environment, 2007, 30(1): 19-30.

[27] 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,2014,34(6):795-801.
ZHANG N, ZHANG Y Q, LI D P, et al. Effect of drip irrigation amount on photosynthesis characteristics and dry matter accumulation of winter wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2014, 34(6): 795-801.

[28] LIN Z F, PENG C L, SUN Z J, et al. Effect of light intensity on partitioning of photosynthetic electron transport to photorespiration in four subtropical forest plants[J]. Science in China Series C: life Sciences, 2000, 43(4): 347-354.

[29] 朱文美.灌水量和种植密度互作对冬小麦产量及水分利用效率的影响[D].泰安:山东农业大学,2018.
ZHU W M. The combined effects of irrigation regimes and planting density on grain yield and water use efficiency of winter wheat[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2018.