

滴灌带型配置与覆膜方式对新疆甜菜产量形成特性的影响

林明^{1,2,3} 阿不都卡地尔·库尔班² 陈友强² 刘华君²

潘竟海² 周远航³ 孙振才¹ 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, 乌鲁木齐 830091;

3. 新疆农业科学院 玛纳斯农业试验站, 新疆 玛纳斯 832299)

摘要 为探究滴灌带配置与覆膜方式对甜菜产量的影响, 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2种滴灌带配置, 分别为双行单管(D₁)和双行双管(D₂), 副区为4种覆膜方式, 分别为裸地(M₁)、黑膜(M₂)、单层白膜(M₃)和双层白膜(M₄), 考察甜菜功能叶(倒四叶)面积(L4)动态变化、生物量积累与分配、块根产量和产糖量等性状, 并分析主要性状间的相关性。结果表明, 双管滴灌配置相较于单管滴灌配置使倒四叶面积增加8.77%, 使甜菜提前10 d进入叶丛快速生长期, 叶丛快速生长结束期延迟12 d, 从而使该阶段快速生长特征值(GT)增加11.24%, 根冠比增加8.53%, 单根重、含糖率、产量和产糖量分别增加30.46%、1.10%、31.47%和32.76%, 产量和产糖量的灌溉水分利用效率分别增加31.47%和32.84%。双白膜配置处理(M₄)相较于裸地(M₁)使倒四叶绿色面积增加10.49%; 且甜菜快速生长特征值(GT)增加7.55%, 根冠比增加18.52%($P < 0.05$)。因此, 在新疆甜菜种植区, 采用双管+双白膜滴灌模式能有效增加甜菜产量和灌溉水分利用效率。

关键词 甜菜; 滴灌配置; 覆膜方式; 产量; 水分利用

中图分类号 S566.3; S275.6

文章编号 1007-4333(2021)07-0036-09

文献标志码 A

Effects of different drip irrigation belt configurations and film mulching methods on yield formation characteristics of sugar-beet in Xinjiang

LIN Ming^{1,2,3}, ABDUKADIER Kurban², CHEN Youqiang², LIU Huajun², PAN Jinghai,

ZHOU Yuanhang³, SUN Zhencai¹, WANG zhimin^{1*}

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

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

3. Manas Agricultural Experimental Station, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Manas 832299, China)

Abstract In order to explore the effect of drip irrigation belt configuration and film mulching patterns on the yield formation characteristics of sugar-beet, beet variety ‘beta379’ was used as test material, and a split plot block test was conducted in Anning Experimental Area Base of Xinjiang Academy of Agricultural Sciences. There were two kinds of drip irrigation belt designs in the main area, which were double row and single pipe (D₁), and double row and double pipe (D₂). There were four kinds of film mulching methods in the sub area, which were bare land (M₁), black film (M₂), single layer white film (M₃), and double layer white film (M₄). The dynamic changes of functional leaf area (the fourth leaf from the top, L4), biomass accumulation and distribution, root tuber yield and sugar yield of sugar beet were investigated, and the correlation among the main character was analyzed. The results showed that the leaf area of

收稿日期: 2020-08-02

基金项目: 国家糖料产业技术体系建设项目(CARS-170724); 新疆维吾尔自治区科技成果转化示范专项(2020B007)

第一作者: 林明, 副研究员, 主要从事甜菜、籽用西瓜育种与栽培研究, E-mail: lm126com@126.com

通讯作者: 王志敏, 教授, 主要从事作物栽培与耕作研究, E-mail: zhimin206@263.net

the last fourth leaf increased by 8.77% in the double tube drip irrigation treatment than that in the single tube drip irrigation treatment, which caused the sugar beet entered the rapid growth period (t_1) 10 d earlier and the end stage of rapid growth (t_2) was delayed for 12 days. Consequently, the growth characteristic value (GT) was increased by 11.24%, root shoot ratio was increased by 8.53%, and single root weight, sugar content, yield and sugar yield were increased by 30.46%, 1.10%, 31.47% and 32.76%, respectively. The irrigation water utilization efficiency of yield and sugar yield were increased by 31.47% and 32.84%, respectively. Compared with bare land (M_1), the double white film treatment (M_4) had 10.49% green area of the L4, 7.55% higher growth characteristic value (GT) of sugar beet, 18.52% higher root shoot ratio ($P < 0.05$). Therefore, the double tube and double white film model (D_2M_4) can effectively increase the yield and irrigation water use efficiency (IWUE) of sugar-beet in Xinjiang planting area.

Keywords sugar beet; drip irrigation; mulching mode; yield; water use

甜菜是我国重要的糖料作物之一,甜菜糖的产量约占我国食用糖总产量的10%~20%^[1]。2008—2017年,新疆是我国最大的甜菜产区,种植面积超过全国甜菜总面积的40%,产糖量占全国甜菜糖总产量50%以上^[2]。随着甜菜新品种、地膜覆盖和滴灌节水等技术的引进和推广应用^[3-4],新疆甜菜生产得到极大发展,使甜菜单产水平大幅度提高,较全国平均水平高出50%左右。

膜下滴灌技术是覆膜和滴灌两者结合的技术。地膜覆盖是有效蓄水保墒、改善上层土壤水热状况和提高作物产量的重要技术措施^[5-11],覆膜方式和膜的颜色对地膜覆盖的增产效果有一定的影响。在单、双膜的效果方面,高卫时等^[12]研究发现,单膜和双膜覆盖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,但覆膜较不覆膜增加了甜菜的青头比例。在膜的颜色方面,徐康乐等^[13]研究发现,相较于透明膜覆盖,黑膜覆盖的马铃薯植株茎粗且经济产量较高。与白色地膜相比,黑色地膜覆盖不仅有增温和保墒效果,且由于其透光率较低,高温季节有一定的降温效应,使得作物免遭高温危害^[14],在番茄和马铃薯等作物上得到了较好的应用^[15-16]。但在甜菜上,不同类型地膜的应用效果还不清楚。膜下滴灌的管带配置有一膜单管和—膜双管等不同方式,李高华等^[17]研究表明不同滴灌配置方式影响棉花生物学产量及其在各器官中的分配,优化滴灌配置对于提升棉花的产量和品质具有重要意义。采用膜下滴灌技术,如何合理地配置滴灌带型和覆膜方式,提高用水效率,促使甜菜向着高产、优质、高效、节水的方向协同发展显得尤为重要^[18-20]。目前,新疆甜菜主产区滴灌的覆盖率已近100%,但生产上滴灌方式和覆膜模式多种多样,效果不一。

以往研究大多侧重于覆膜或滴灌单因素的增产

效果,对于不同滴灌带配置与覆膜方式相结合的节水增产效应综合评价研究鲜见报道。本研究通过田间试验,考察不同滴灌带配置和覆膜方式互作处理下甜菜产量、灌溉水利用效率(WUE)以及经济效益等指标,旨在探明滴灌带配置与覆膜方式对甜菜产量及产糖量形成的影响,以期为新疆滴灌甜菜选择适合的覆盖和滴灌带配置模式及规范化管理提供科学依据和指导。

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的规格为80 cm宽,0.01 mm厚的白膜和黑膜。

1.2 试验区自然条件

试验于2018—2019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1 600~2 200 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。土壤肥力状况如下:速效氮66.9 mg/kg,速效磷11.1 mg/kg,速效钾205 mg/kg,有机质含量15.2 g/kg。

1.3 试验设计

试验采取裂区组试验,设置主区为2种滴灌带配置分别为:一膜双行单管(D_1),一膜双行双管(D_2),副区为4种覆盖方式分别为:裸地(M_1),黑膜(M_2),单白膜(M_3),双白膜(M_4)。试验小区长为8 m,宽为4 m,行距为50 cm,株距为18 cm,3次重

复,随机排列,于4月25日播种。滴灌和施肥量见表1,其他田间管理同当地高产田。

表1 本研究滴灌施肥分配表

Table 1 Distribution of drip fertilization in this study

项目 Item	日期 Date											总量 Total
	04-26	06-15	06-25	07-05	07-15	07-25	08-05	08-15	08-25	09-05	09-20	
滴灌量/(m ³ /hm ²)	600	600	450	450	600	600	450	450	450	600	450	5 700
施肥量/(kg/hm ²)	0	75	75	75	75	75	0	0	0	0	0	375

1.4 测定项目及方法

甜菜倒四叶面积(L4):分别在苗期、叶丛快速生长期、块根膨大期和糖分积累期,测定各小区所选取的5个代表性植株的倒四叶面积,用CI-202叶面积仪(美国CID生物科学有限公司)进行测定。

植株干物质积累量:分别在苗期、叶丛快速生长期、块根膨大期和糖分积累期,选取每处理长势一致的甜菜5株,带回实验室将植株分为叶片、茎和根,分别装袋置于105℃烘箱中杀青30min,80℃烘至恒重,电子天平称重(精准度为0.01)。

糖分测定:在收获期,选取5株代表性的块根,用PAL-1手持糖度计(日本爱宕科学仪器有限公司)进行糖锤度测定,取平均值。

产量测定:收获前,取各重复小区10m²样方,调查测定甜菜收获株数和单根重,取平均值。

灌溉水利用效率:在不同水平上计算灌溉水利用效率,计算公式为:

$$\text{经济产量的灌溉水利用效率(IWUE)} = Y/I$$

$$\text{产糖量的灌溉水利用效率(IWUE}_{\text{产糖量}}) = Y_s/I$$

$$\text{干物质产量的灌溉水利用效率(IWUE}_{\text{干物质}}) = Y_{\text{PDMA}}/I$$

式中:Y,块根产量,kg/hm²;Y_s,块根产糖量,kg/hm²;Y_{PDMA},干物质积累量,kg/hm²;I,实际灌溉水量,m³/hm²。

根冠比(T/R):地下部分与地上部分干重的比值。

1.5 数据分析及方法

采用Excel 2010进行数据初步分析和表格制作,用SPSS 17.0(美国IBM公司)进行多因素方差分析,并采用新复极差多重比较法(Duncan)进行差异显著性检验(P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 对甜菜功能叶面积的影响

由图1可知,各处理的甜菜倒四叶(L4)面积从

苗期到糖分积累期均呈现先增后降的趋势,块根膨大期出现最大值。在不同滴灌带配置处理之间,双行双管(D₂)下各处理比双行单管(D₁)下各处理在4个生长期倒四叶(L4)面积均有增加,苗期(SS)增加10.01%;叶丛快速生长期(FGPOLC)增加6.80%,块根膨大期(TES)增加8.00%,糖分积累期(SAP)增加10.45%。在2种滴灌带配置下,在不同覆膜方式间比较,块根膨大期倒四叶面积由高到低均表现为M₄>M₃>M₂>M₁;至糖分积累期,M₁与M₂和M₃处理间叶面积差异不显著(P>0.05),与M₄处理差异显著(P<0.05),M₄比M₁增加10.49%。综上,D₂M₄有助于甜菜功能叶面积的增加和维持,从而有效促进甜菜干物质的积累。D₁M₁处理甜菜生育后期倒四叶面积最小。

2.2 对甜菜干物质积累特性的影响

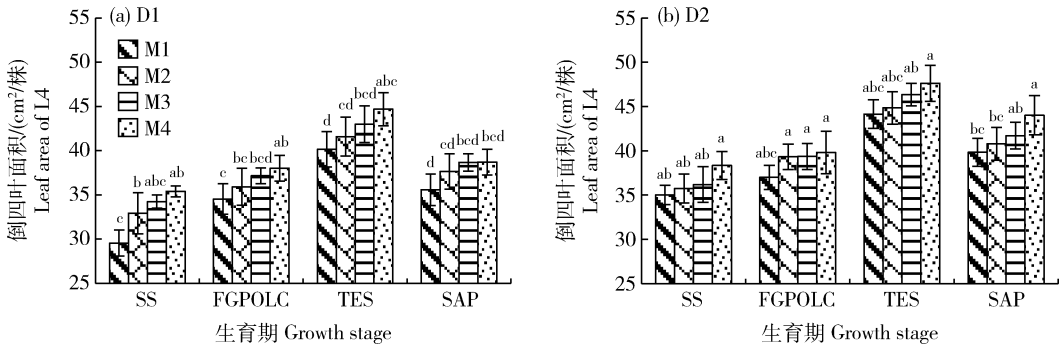
由表2可知,不同处理甜菜单株干物质积累过程动态均符合Logistic生长模型曲线,R²>0.96。不同滴灌带配置比较,D₂处理甜菜从出苗到叶丛快速生长期的时间(t₁)比D₁处理缩短10.0d,到达叶丛快速生长结束期(t₂)的时间比D₁延迟12.0d,且此时期快速生长特征值(GT)比D₁增加11.24%。2种滴灌带配置下不同覆膜方式比较,快速生长特征值(GT)由高到低均表现为M₄>M₃>M₂>M₁;在D₁处理下,M₄、M₃和M₂分别比M₁增加13.76%、6.52%和4.28%;在D₂处理下,M₄、M₃和M₂分别比M₁增加23.28%、15.16%和7.26%。在不同组合处理间,D₂M₄处理的植株GT比D₁M₄处理增加14.81%,即D₂M₄组合是在叶丛快速生长期使植株获得最高GT的最佳组合。

2.3 对甜菜干物质根冠比(T/R)的影响

由表3可知,甜菜干物质的T/R随出苗时间的增加呈现增加趋势,至糖分积累期达到峰值。不同滴灌带配置间比较,D₂处理的T/R比D₁处理增加

8.53%。不同覆膜方式间比较,在 D₁ 和 D₂ 配置下根冠比由大到小均表现为 M₄ > M₃ > M₂ > M₁; D₁ 配置下 M₄、M₃ 和 M₂ 的 T/R 分别比 M₁ 增 9.81%、

8.72% 和 6.27%, 差异达到显著水平 (P < 0.05)。D₂ 配置下 M₄ 的 T/R 比 M₁ 增加 8.82%, 差异也达到显著水平 (P < 0.05)。



D₁, 一膜双行单管; D₂, 一膜双行双管。M₁, 裸地; M₂, 黑膜; M₃, 单白膜; M₄, 双白膜。SS, 苗期; FGPOLC, 叶丛快速生长期; TES, 块根膨大期; SAP, 糖分积累期。下同。

D₁, double row and single pipe; D₂, double row and double pipe. M₁, bare land; M₂, black film; M₃, single layer white film; M₄, double layer white film. SS, seedling stage; FGPOLC, fast growing period of leaf clump; TES, tuber expansion stage; SAP, sugar accumulation period. The same below.

图 1 滴灌带配置 (a) 与覆膜方式 (b) 对甜菜倒四叶 (L4) 面积的影响

Fig. 1 Effect of different drip irrigation belt configurations (a) and film mulching methods (b) on the area of L4 of sugar beet

表 2 滴灌带配置与覆膜方式对甜菜单株干物质积累特性的影响

Table 2 Effect of drip irrigation configuration and different mulching patterns on dry matter accumulation characteristics of sugar beet

主区 Main area	副区 Subarea	公式 Formula	t ₁ /d	t ₂ /d	t ₀ /d	Δt/d	V _m / (g/d)	GT	R ²
D ₁	M ₁	y = 269.48 / (1 + e ^(2.65 - 0.027x))	49	146	97	97	1.84	178.48	0.980 9
	M ₂	y = 282.49 / (1 + e ^(2.59 - 0.028x))	46	140	93	94	1.98	186.12	0.995 6
	M ₃	y = 288.45 / (1 + e ^(2.31 - 0.027x))	37	135	86	98	1.94	190.12	0.977 3
	M ₄	y = 307.81 / (1 + e ^(2.67 - 0.028x))	48	142	95	94	2.16	203.04	0.974 8
D ₂	M ₁	y = 287.27 / (1 + e ^(2.08 - 0.023x))	34	149	92	116	1.63	189.08	0.995 9
	M ₂	y = 309.34 / (1 + e ^(2.04 - 0.023x))	32	148	90	116	1.75	203.00	0.984 9
	M ₃	y = 330.38 / (1 + e ^(2.13 - 0.023x))	35	149	92	114	1.91	217.74	0.966 7
	M ₄	y = 355.54 / (1 + e ^(2.12 - 0.021x))	38	165	101	126	1.85	233.10	0.992 7

注: y, 甜菜干物质积累量; t₀, 从出苗到最大生长速率时的时间; t₁, 从出苗到快速生长期开始时的时间; t₂, 从出苗到快速生长期结束时的时间; Δt, 叶丛快速生长持续时间; V_m, 最大生长速率; GT, 快速生长特征值。下同。

Note: y, the sugar beet dry matter accumulation; t₀, days from emergence to maximum growth rate; t₁, days from emergence to the beginning of rapid growth; t₂, days from emergence to the end of rapid growth; Δt, the duration of rapid growth; V_m, the maximum growth rate; GT, the eigenvalue of rapid growth. The same below.

表3 滴灌带配置与覆膜方式对甜菜单株干物质根冠比(T/R)的影响

Table 3 Effect of different drip irrigation belt configurations and film mulching methods on the ratio of dry matter root to shoot (T/R) of sugar beet

主区 Main area	副区 Subarea	生育期 Growth stage			
		SS	FGPOLC	TES	SAP
D ₁	M ₁	0.93±0.01 ab	1.21±0.02 a	2.86±0.09 d	3.67±0.05 d
	M ₂	0.93±0.01 ab	1.16±0.08 ab	3.03±0.07 c	3.90±0.06 c
	M ₃	0.93±0.04 ab	1.15±0.04 ab	3.18±0.11 ab	3.99±0.06 bc
	M ₄	0.96±0.01 a	1.09±0.02 bc	3.12±0.07 bc	4.03±0.11 bc
D ₂	M ₁	0.93±0.06 ab	1.21±0.03 a	3.08±0.07 bc	4.08±0.06 bc
	M ₂	0.89±0.01 bc	1.19±0.10 ab	3.14±0.02 abc	4.20±0.13 b
	M ₃	0.92±0.02 ab	1.10±0.03 bc	3.20±0.06 ab	4.20±0.14 b
	M ₄	0.85±0.02 c	1.03±0.03 c	3.26±0.04 a	4.44±0.19 a
F	滴灌带配置(D)	12.054**	0.976**	18.730**	56.845**
	覆膜方式(M)	1.260	9.340**	13.281**	11.378**
	滴灌带配置×覆膜 方式(D×M)	5.178*	1.087	2.010	1.297

注:同列*表示差异显著($P<0.05$);**表示差异极显著($P<0.01$) a、b、c、d表示 $P<0.05$ 水平下显著性差异。下同。

Note: * means significant difference ($P<0.05$); ** means much significant difference ($P<0.01$); a, b, c and d mean significant differences at $P<0.05$. The same below.

2.4 对甜菜产量及其构成因素的影响

由表4可知,不同滴灌带配置间比较,D₂处理甜菜的单根重、含糖率、产量和产糖量比D₁处理分别增加30.46%、1.10%、31.47%和32.76%。不同覆膜方式间比较,在2种滴灌带配置下的甜菜单根重、含糖率、产量和产糖量由高到低均表现为M₄>M₃>M₂>M₁。其中单根重、产量和产糖量在M₄与M₁处理间的差异显著($P<0.05$);在D₁配置下,M₄处理的单根重、产量和产糖量分别比M₁处理增加23.81%、24.49%和34.11%;在D₂配置下,M₄处理的单根重、产量和产糖量分别比M₁增加19.82%、19.81%和21.99%,D₂M₄处理的单根重、产量和产糖量与D₁M₄处理相比分别增加27.88%、28.80%、27.97%。因此,D₂M₄处理最有利于甜菜产量和产糖量的形成。

2.5 对甜菜灌溉水利用效率(IWUE)的影响

由表5可知,不同滴灌带配置间比较,D₂配置的群体干物质积累量和干物质的灌溉水利用效率分别比D₁配置处理增加7.62%和7.43%。不同覆膜方式间比较,D₁和D₂配置下干物质积累量及其灌

溉水利用效率由高到低均表现为M₄>M₃>M₂>M₁;D₁配置下,M₄的干物质积累量及其灌溉水利用效率分别比M₁增加12.99%和13.02%,差异显著($P<0.05$);D₂配置下,M₄与M₁处理差异不显著($P>0.05$);D₂M₄比D₁M₄分别增加8.21%和8.20%。从甜菜产量灌溉水利用效率(IWUE_{产量})和产糖量灌溉水利用效率(IWUE_{产糖量})看,D₂比D₁分别增加31.47%和32.84%;不同覆膜方式间比较,D₁和D₂配置下灌溉水利用效率由高到低均表现为M₄>M₃>M₂>M₁;D₁配置下,M₄比M₁处理分别增加24.43%和33.66%($P<0.05$);D₂配置下,M₄比M₁分别增加19.74%和21.83%($P<0.05$),D₂M₄比D₁M₄分别增加28.84%和28.08%。

2.6 甜菜植株干物质积累指标与产量构成因素相关性分析

由表6可知,在甜菜植株干物质积累指标间,甜菜倒四叶面积(L4)与快速生长特征值(GT)、根冠比(T/R)、地上部物质积累量(APDM)、地下部物质积累量(UPDM)均呈极显著正相关($P<0.01$),与叶丛快速生长持续时间(Δt)呈显著正相关($P<0.05$)。

表 4 滴灌带配置与覆膜方式对甜菜产量及其构成因素的影响

Table 4 Effect of different drip irrigation belt configurations and film mulching methods on yield components and yield of sugar beet

主区 Main area	副区 Subarea	收获株数/ 10 ⁴ 株 Plant number	单根重/kg Root weight	含糖率/% Sugar content	产量/ (10 ⁴ kg/hm ²) Yield	收获指数/% Harvest index	产糖量/ (10 ³ kg/hm ²) Sugar yield
D ₁	M ₁	8.95 a	0.84 f	14.44 c	7.52 e	78.57 d	10.86 e
	M ₂	8.95 a	0.86 ef	15.05 b	7.67 e	79.58 c	11.54 de
	M ₃	9.05 a	0.97 def	15.49 ab	8.74 de	79.98 c	13.54 cd
	M ₄	9.05 a	1.04 cde	15.55 a	9.41 cd	80.11 bc	14.62 bc
D ₂	M ₁	9.10 a	1.11 bcd	15.16 ab	10.12 bcd	80.31 bc	15.35 bc
	M ₂	9.00 a	1.16 abc	15.27 ab	10.46 bc	80.75 b	15.97 bc
	M ₃	9.05 a	1.24 ab	15.33 ab	11.24 ab	80.76 b	17.26 ab
	M ₄	9.15 a	1.33 a	15.44 ab	12.12 a	81.59 a	18.71 a
F	滴灌带配置(D)	0.158	48.47**	2.587 ^{ns}	50.437**	63.920**	48.417**
	覆膜方式(M)	0.185	5.284*	8.905**	5.778**	13.086**	7.261**
	滴灌带配置×覆膜 方式(D×M)	0.079	0.025	3.857*	0.043	1.662	0.101

表 5 滴灌带配置与不同覆膜方式对甜菜灌溉水利用效率 (IWUE) 的影响

Table 5 Effect of different drip irrigation belt configurations and film mulching methods on irrigation water use efficiency (IWUE) of sugar beet

主区 Main area	副区 Subarea	群体干物质积累量/ (10 ³ kg/hm ²) Population dry matter accumulation	IWUE _{干物质} / (kg/m ³)	IWUE _{产量} / (kg/m ³)	IWUE _{产糖量} / (kg/m ³)
D ₁	M ₁	30.91±1.68 c	4.29±0.23 c	10.45±1.08 e	1.51±0.14 e
	M ₂	32.22±2.07 bc	4.48±0.29 bc	10.65±0.56 e	1.60±0.08 de
	M ₃	34.31±0.41 abc	4.77±0.06 abc	12.13±0.35 de	1.88±0.08 cd
	M ₄	35.10±3.18 ab	4.88±0.44 ab	13.07±1.14 ab	2.03±0.20 bc
D ₂	M ₁	34.23±2.22 abc	4.75±0.31 abc	14.05±1.14 abc	2.13±0.20 bc
	M ₂	34.86±2.61 ab	4.84±0.36 ab	14.53±1.98 ab	2.22±0.29 bc
	M ₃	35.96±1.10 ab	4.99±0.15 ab	15.61±1.90 ab	2.40±0.34 ab
	M ₄	37.98±0.80 a	5.28±0.11 a	16.84±0.99 a	2.60±0.16 a
F	滴灌带配置(D)	10.635**	50.437**	48.419**	10.109**
	覆膜方式(M)	4.756*	5.778**	7.261**	4.763**
	滴灌带配置×覆膜 方式(D×M)	0.195	0.430	0.101	0.223

表6 甜菜植株干物质积累指标与产量因素相关性分析

Table 6 Correlation analysis of dry matter accumulation characteristics and yield factors of sugar beet

指标 Index	L4	Δt	GT	T/R	APDM	UPDM	RW	SC	Y	SY
L4	1.000									
ΔT	0.771*	1.000								
GT	0.941**	0.711*	1.000							
T/R	0.889**	0.581	0.819*	1.000						
APDM	0.904**	0.684	0.967**	0.730*	1.000					
UPDM	0.959**	0.696	0.976**	0.884**	0.965**	1.000				
RW	0.971**	0.891**	0.911**	0.814*	0.885**	0.919**	1.000			
SC	0.735*	0.262	0.61	0.903**	0.502	0.687	0.588	1.000		
Y	0.970**	0.893**	0.907**	0.813*	0.882**	0.916**	1.000**	0.588	1.000	
SY	0.985**	0.860**	0.915**	0.855**	0.880**	0.931**	0.996**	0.655	0.996**	1.000

注:L4,倒四叶面积;T/R,根冠比;APDM,地上部物质积累量;UPDM,地下部物质积累量;RW,单根重;Y,产量;SC,含糖率;SY,产糖量。

Note: L4, the leaf area of the last-fourth leaf; T/R, root-shoot ratio; APDM, above ground part of population dry matter accumulation; UPDM, underground part of population dry matter accumulation; RW, root weight; Y, yield; SC, sugar content; SY, sugar yield.

GT与APDM、UPDM均呈极显著正相关($P < 0.01$),与叶丛快速生长持续时间(Δt)和T/R呈显著正相关($P < 0.05$)。T/R与APDM呈显著正相关($P < 0.05$)、与UPDM呈极显著正相关($P < 0.01$)。在甜菜产量构成因素间,单根重(RW)与产量(Y)、产糖量(SY)均呈极显著正相关($P < 0.01$),与含糖率(SC)呈显著正相关($P < 0.05$)。在甜菜植株干物质积累指标与甜菜产量构成因素间,L4、 Δt 、GT、APDM、UPDM与RW、Y、SY均呈极显著正相关($P < 0.01$),T/R与SC、SY均呈极显著正相关($P < 0.01$),与RW、Y均显著正相关($P < 0.05$)。

3 讨论

作物产量的形成与干物质积累过程密切相关,一般干物质积累速率越大,产量越高^[21]。作物生产过程中干物质积累的动态变化是揭示作物产量形成和高产群体调控指标的重要内容。作物根系是吸收土壤养分和水分的重要器官^[22]。不同的栽培措施对作物根系的生长、地上部生长及产量形成的影响不同^[23]。樊廷录等^[24]和蔡昆争等^[25]研究发现,在旱作地区,地膜覆盖能显著提高作物根系的干重,增加根系总根长与比根长,促进根系的生长和发育,从而增大作物产量构成因子^[26],且能减少土壤水分蒸

发散失^[27],从而提高深层水分的利用效率^[28]。在本研究中,双膜处理与无膜、单膜、黑膜处理相比能有效增加甜菜快速生长特征值(GT);与无膜方式相比,双膜能显著($P < 0.05$)增加甜菜根冠比,增加生育后期甜菜地下部干物质积累和单根重,使产量及产糖量显著增加。这说明双膜覆盖能有效促进封垄前甜菜地上部的生长,为后期产糖量的积累提供了充足的“源”,从而提升了“源-库”性能的协调性。

作物灌溉水利用效率是反映灌溉农田作物水分生产能力的重要指标^[29-31]。滴灌是近年发展起来的新型麦田节水灌溉方式,在滴灌方式下不同滴灌带配置影响作物水分利用及产量形成^[32]。本研究与单管滴灌相比,双管滴灌能增加快速生长特征值(GT)、根冠比、含糖率、产量和产糖量,可优化甜菜根部水分配置,提升灌溉水分利用效率,是发挥滴灌节水潜力、提高甜菜产量和质量的有效配套技术。

本研究探讨了不同滴灌带型配置与覆盖方式对滴灌甜菜相关农艺性状、产量、质量及水分利用效率的影响。但试验仅在设定的灌水量和特定的土壤条件下进行,不同灌水量和土壤性质也会影响农田土壤水分迁移和供给,进而影响甜菜生长和养分吸收,因此,还需进一步开展不同灌水量和土壤质地滴灌带型配置和覆盖方式的优化研究。

4 结 论

在新疆甜菜产区膜下滴灌栽培条件下,双管配置相对于单管配置、双白膜覆膜方式相对于其他类型覆膜方式,在块根膨大期—糖分积累期能显著增加功能叶面积和干物质积累量,提高物质向根系的分配,特别是提升生育后期地下部干物质的积累量和单根重,从而增加产量和产糖量,进而显著增加灌溉水利用效率。将一膜双管和双白膜覆盖相结合,显著提高甜菜产量和灌溉水利用效率,是滴灌栽培最适配套模式。

参考文献 References

[1] 陈艺文,李用财,余凌羿,王叶琼,倪洪涛. 中国三大主产区甜菜糖业发展分析[J]. 中国糖料, 2017, 39(4): 74-76, 80
Chen Y W, Li Y C, Yu L Y, Wang Y Q, Ni H T. Analysis on the development of sugar beet industry in three major production areas of China[J]. *China Sugar*, 2017, 39(4): 74-76, 80 (in Chinese)

[2] 陈连江,陈丽. 我国甜菜产业现状及发展对策[J]. 中国糖料, 2010(4): 62-68
Chen L J, Chen L. Current situation and development strategy of sugar beet industry in China[J]. *China Sugar*, 2010(4): 62-68 (in Chinese)

[3] 马富裕,李俊华,李明思,杨建荣. 棉花膜下滴灌增产机理及主要配套技术研究[J]. 石河子大学学报:自然科学版, 1999 (S1): 43-48
Ma F Y, Li J H, Li M S, Yang J R. Study on yield increasing mechanism and mainmatching techniques of drip irrigation under plastic film for cotton [J]. *Journal of Shihezi University: Natural Science Edition*, 1999 (S1): 43-48 (in Chinese)

[4] 张国强,王克如,肖春华,谢瑞芝,侯鹏,李健,徐文娟,初振东,刘广周,刘朝巍,李少昆. 滴灌量对新疆高产春玉米产量和水分利用效率的影响研究[J]. 玉米科学, 2015, 23(4): 117-123
Zhang G Q, Wang K R, Xiao C H, Xie R Z, Hou P, Li J, Xu W J, Chu Z D, Liu G Z, Liu Z W, Li S K. Effects of drip irrigation on yield and water use efficiency of high yield spring maize in Xinjiang[J]. *Maize Science*, 2015, 23(4): 117-123 (in Chinese)

[5] 王玉明,张子义,樊明寿. 马铃薯膜下滴灌节水及生产效率的初步研究[J]. 中国马铃薯, 2009, 23(3): 148-151
Wang Y M, Zhang Z Y, Fan M S. Preliminary study on water saving and production efficiency of drip irrigation under mulch for potato[J]. *Chinese Potato*, 2009, 23(3): 148-151 (in Chinese)

[6] Wang F X, Wu X X, Shock C C, Chu L Y, Gu X X, Xue X. Effects of drip irrigation regimes on potato tuber yield and quality under plastic mulch in arid Northwestern China[J].

Field Crops Research, 2011, 122(1): 78-84

[7] 韩娟,廖允成,贾志宽,韩清芳,丁瑞霞. 半湿润偏旱区沟垄覆盖种植对冬小麦产量及水分利用效率的影响[J]. 作物学报, 2014, 40(1): 101-109
Han J, Liao Y C, Jia Z K, Han Q F, Ding R X. Effects of furrow and ridge mulching on winter wheat yield and water use efficiency in semi humid and drought prone areas[J]. *Acta Crop*, 2014, 40(1): 101-109 (in Chinese)

[8] 陈辉林,田霄鸿,王晓峰,曹玉贤,吴玉红,王朝辉. 不同栽培模式对渭北旱塬区冬小麦生长期土壤水分、温度及产量的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(9): 2424-2433
Chen H L, Tian X H, Wang X F, Cao Y X, Wu Y H, Wang C H. Effects of different cultivation patterns on soil moisture, temperature and yield of winter wheat in Weibei dryland area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(9): 2424-2433 (in Chinese)

[9] 张德奇,廖允成,贾志宽. 旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J]. 干旱地区农业研究, 2005(1): 208-213
Zhang D Q, Liao Y C, Jia Z K. Research advances and prospects of film mulching in arid and semi-arid areas[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005(1): 208-213 (in Chinese)

[10] 宋秋华,李凤民,王俊,刘洪升,李世清. 覆膜对春小麦农田微生物数量和土壤养分的影响[J]. 生态学报, 2002(12): 2125-2132
Song Q H, Li F M, Wang J, Liu H S, Li S Q. Effects of plastic film mulching on microbial population and soil nutrients of spring wheat[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002(12): 2125-2132 (in Chinese)

[11] 宁松瑞,左强,石建初,王数,刘忠山. 新疆典型膜下滴灌棉花种植模式的用水效率与效益[J]. 农业工程学报, 2013, 29(22): 90-99
Ning S R, Zuo Q, Shi J C, Wang S, Liu Z S. Water use efficiency and benefit of typical cotton planting mode under mulch drip irrigation in Xinjiang[J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2013, 29(22): 90-99 (in Chinese)

[12] 高卫时,董心久,杨洪泽,贾腾飞,王燕飞. 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, Jia T F, Wang Y F. Effects of different film mulching methods on related characters of sugar beet[J]. *China Sugar*, 2014(3): 14-16 (in Chinese)

[13] 徐康乐,米庆华,徐坤范,张晓慧,艾希珍. 不同地膜覆盖对春季马铃薯生长及产量的影响[J]. 中国蔬菜, 2004(4): 19-21
Xu K L, Mi Q H, Xu K F, Zhang X H, Ai X Z. Effect of different mulching on potato growth and yield in spring[J]. *Chinese Vegetable*, 2004(4): 19-21 (in Chinese)

[14] 张琴. 不同颜色地膜覆盖对玉米土壤水热状况及产量的影响[J]. 节水灌溉, 2017(4): 57-61
Zhang Q. Effects of different color Film Mulching on soil moisture-heat and yield of maize[J]. *Water Saving Irrigation*, 2017(4): 57-61(in Chinese)

[15] Miles C, Wallace R, Wszelaki A. Deterioration of potentially biodegradable alternatives to black plastic mulch in three tomato production regions[J]. *Hort Science*, 2012, 47(9): 1270-1277

- [16] 周丽娜, 于亚薇, 孟振雄, 周春晓, 唐帅, 李明慧, 廖晶晶. 不同颜色地膜覆盖对马铃薯生长发育的影响[J]. 河北农业科学, 2012, 16(9): 18-21
Zhou L N, Yu Y W, Meng Z X, Zhou C X, Tang S, Li M H, Liao J J. Effects of different color film mulching on potato growth[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2012, 16(9): 18-21 (in Chinese)
- [17] 李高华, 林性粹. 不同滴灌带配置方式对棉花生长发育及产量的影响[J]. 新疆农垦科技, 2009, 32(3): 49-50
Li G H, Lin X C. The influence of different configuration of drip irrigation belt on the growth and yield of cotton [J]. *Xinjiang Agricultural Reclamation Technology*, 2009, 32(3): 49-50 (in Chinese)
- [18] Sultan K, Ahme E. Water use and yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L) under drip irrigation at different water regimes[J]. *Agricultural Water Management*, 2015, 158: 225-234
- [19] 王增丽, 董平国, 樊晓康, 王天任. 膜下滴灌不同灌溉定额对土壤水盐分布和春玉米产量的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(12): 2345-2354
Wang Z L, Dong P G, Fan X K, Wang T R. Effects of different irrigation quotas of drip irrigation under mulch on soil water and salt distribution and spring maize yield[J]. *China Agricultural Science*, 2016, 49(12): 2345-2354 (in Chinese)
- [20] 侯振安, 刘日明, 朱继正, 李春雷. 不同灌水量对甜菜生长及糖分积累影响的研究[J]. 中国甜菜糖业, 1999(6): 2-6
Hou Z A, Liu R M, Zhu J Z, Li C L. Study on the effect of different irrigation amount on the growth and sugar accumulation of sugar beet[J]. *China Sugarbeet Industry*, 1999(6): 2-6 (in Chinese)
- [21] 赵颖娜, 汪有科, 马理辉, 黎朋红, 段雪松, 张陆军. 不同流量对滴灌土壤湿润体特征的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(4): 30-35
Zhao Y N, Wang Y K, Ma L H, Li P H, Duan X S, Zhang L J. Effects of different flow rates on soil wettability under drip irrigation[J]. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2010, 28(4): 30-35 (in Chinese)
- [22] 米国华, 陈范骏, 春亮, 郭亚芬, 田秋英, 张福锁. 玉米氮高效品种的生物学特性[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 155-159
Mi G H, Chen F J, Chun L, Guo Y F, Tian Q Y, Zhang F S. Biological characteristics of nitrogen efficient maize varieties[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2007, 13(1): 155-159 (in Chinese)
- [23] Herrera J M, Büchi L, Wendling M, Pellet D, Rubio G. Root decomposition at high and low N supply throughout a crop rotation [J]. *European Journal of Agronomy*, 2017, 84: 105-112
- [24] 樊廷录, 王勇, 崔明九. 旱地地膜小麦研究成效和加快发展的必要性及建议[J]. 干旱地区农业研究, 1997(1): 30-35
Fan T L, Wang Y, Cui M J. Research achievements of dryland wheat covered with plastic film and the necessity and suggestions for accelerating its development [J]. *Agricultural Research in Arid Areas*, 1997(1): 30-35 (in Chinese)
- [25] 蔡昆争, 骆世明, 方祥. 水稻覆膜旱作对根叶性状、土壤养分和土壤微生物活性的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(6): 1903-1911
Cai K Z, Luo S M, Fang X. Effects of mulching of upland rice on root and leaf traits, soil nutrient content and soil microbial activity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1903-1911 (in Chinese)
- [26] 李兆君, 杨佳佳, 范菲菲, 候云鹏, 谢佳贵, 梁永超. 不同施肥条件下覆膜对玉米干物质积累及吸磷量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 571-577
Li Z J, Yang J J, Fan F F, Hou Y P, Xie J G, Liang Y C. Effect of plastic film mulching on dry mass accumulation and phosphorus uptake of corn receiving different fertilizers [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2011, 17(3): 571-577 (in Chinese)
- [27] Jia S N, Paul W U. Soil water accumulation under different precipitation, potential evaporation, and straw mulch conditions[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2001, 65(2): 442-448
- [28] Li F M, Guo A H, Hong W. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat [J]. *Field Crops Research*, 1999, 63(1): 79-86
- [29] Zhang Y Q, Wang J D, Gong S H. Effecte of film mulching on evapotranspiration, yield and water use efficiency of a maize field with drip irrigation in northeastern China [J]. *Agricultural Water Management*, 2018, 205: 90-99
- [30] Bu L D, Zhu L, Liu J L, Luo S S, Chen X P. Source-sink capacity responsible for higher maize yield with removal of plastic film [J]. *Agronomy Journal*, 2013, 105(3): 591-598
- [31] 路海东, 薛吉全, 郭东伟, 郝引川, 陈鹏飞. 覆黑地膜对旱作玉米根区土壤温湿度和光合特性的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(5): 129-135
Lu H D, Xue J Q, Guo D W, Hao Y C, Chen P F. Effects of black plastic film mulching on soil temperature, humidity and photosynthetic characteristics of dry land maize root zone [J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2017, 33(5): 129-135 (in Chinese)
- [32] 雷钧杰. 新疆滴灌小麦带型配置及水氮供给对产量品质形成的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2017
Lei J J. The effect of water and nitrogen supply on yield and quality formation of drip irrigation wheat in Xinjiang [D]. Beijing: China Agricultural University, 2017 (in Chinese)