

干旱区覆膜滴灌和施氮量对夏玉米 生长发育和产量的影响

刘云柯,李丰琇,孙飞雪,刘锐华,韩明生,刘峻岐

(新疆农业大学水利与土木工程学院/新疆水利工程安全与水灾害防治重点实验室,乌鲁木齐 830052)

摘要:以新玉9号为试验对象,设置覆膜与不覆膜滴灌条件下3个施氮水平(368.88、278.40和187.92 kg/hm²)及1个对照(当地灌溉施肥制度),共计7个处理,研究新疆地区覆膜/不覆膜滴灌条件夏玉米SPAD值、叶面积指数、干物质累积量、产量及产量构成因素对不同施氮量的响应。结果表明,不同施氮梯度条件下,夏玉米各生长指标总体呈现出随着施氮量的增大先增大后减小的变化趋势。定量分析覆膜与不覆膜滴灌条件玉米各生长指标发现,覆膜滴灌玉米产量比不覆膜滴灌平均提高16.84%~37.32%,覆膜处理的夏玉米各生育期总干物质累积量、叶片SPAD值、叶面积指数均值比不覆膜分别提高48.05%、18.14%、41.65%。因此,在南疆地区采用覆膜滴灌方式且施氮量在278.4 kg/hm²左右时可较好满足玉米正常生长且产量较高。

关键词: 夏玉米;氮肥运筹;生长指标;产量

中国分类号: S513.062

文献标识码: A

Responses of Physiological Indexes of Drip-irrigated Summer Maize to Different Nitrogen Application Rates with Mulch and without Mulch

LIU Yun-ke, LI Feng-xiu, SUN Fei-xue, LIU Rui-hua, HAN Ming-sheng, LIU Jun-qi

(College of Water Resources and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University /

Xinjiang Key Laboratory of Hydraulic Engineering Security and

Water Disasters Prevention, Urumqi 830052, China)

Abstract: To improve the nitrogen use efficiency of summer maize in arid areas, Xinyu 9 was taken as the experimental object and set three nitrogen application levels (368.88 kg/ha, 278.4 kg/ha, and 187.92 kg/ha, respectively) and a control treatment with mulch and non-mulched drip irrigation (total of eight treatments). The response of SPAD value, leaf area index, dry matter accumulation, yield, and yield components to different nitrogen application rates with mulch and non-mulched drip irrigation were analyzed quantitatively. The results showed that under different nitrogen application gradients, the growth indexes of summer maize increased first and then decreased with the increase of nitrogen application. Quantitative analysis of the growth indexes of maize with mulch and non-mulched drip irrigation showed that the yield of film mulched drip irrigation maize increased by 16.84%~37.32% on average than non-mulched drip irrigation maize. Additionally, the total dry matter accumulation, leaf SPAD values, and leaf area index during various growth stages of summer maize under film mulching treatment were 48.05%, 18.14%, and 41.65% higher than those without film mulching, respectively. Therefore, adopting film mulching drip irrigation with a nitrogen application level of approximately 278.4 kg/ha can better meet the normal growth requirements of maize and achieve higher yields in southern Xinjiang.

Key words: Summer maize; Nitrogen fertilizer management; Physiological index; Yield

录用日期: 2023-03-06

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2022D01B28)、自治区高校科研计划项目(XJEDU2021Y024)、天山青年计划(2020Q078)、“新疆水利工程安全与水灾害防治自治区重点实验室”2021年开放课题(ZDSYS-JS-2021-07)、新疆农业大学2022年大学生创新项目

作者简介: 刘云柯(2002-),女,山东淄博人。E-mail: 2579427685@qq.com

李丰琇为本文通信作者。E-mail: 1075214992@qq.com

新疆地处干旱区,全年降水稀少,水资源极度匮乏,新疆农业用水占新疆可利用水资源的比例较大。随着现代农业的发展,大量资料表明,滴灌覆膜技术可以大幅提高作物产量^[1~4]。南疆地区的膜下灌溉仍在发展阶段,因此在南疆开展膜下滴灌及水氮运筹方面的研究尤为重要。玉米是新疆主要的粮食作物,刘万茂^[5]等认为,玉米产量与日照时间及日照强度有极大关系,南疆丰富的光热资源可极好的为玉米提供生长环境,这对南疆发展玉米产业及当地经济有着至关重要的作用^[6]。

侯云鹏^[7]等研究了半干旱区在覆膜滴灌条件下不同施氮量对玉米产量及氮素利用效率的影响,结果表明,覆膜滴灌条件下且施氮总量为210 kg/hm²,该区的玉米氮素积累量最高。宋金鑫^[8]等在半干旱地区研究了不同覆膜方式及不同施氮量对玉米生理指标和产量的影响,认为覆膜处理下玉米的各生理指标均高于不覆膜处理。姬景红^[9]等研究了不同灌溉方式对玉米产量、生长指标、水分利用效率等的影响,认为覆膜可以增加玉米总干物质及产量,并提高水分利用效率。贾琼^[10]等研究了西辽河平原地区不同灌溉方式对玉米各项生理指标的影响,认为采用膜下滴灌、灌水8次、灌水定额为186.1 mm时,其水分利用效率更高。赵引^[11]等研究了不同覆膜方式和

不同灌水定额对制种玉米生长的影响,认为覆膜可使玉米生育期提前、增大玉米产量及水分利用效率。

从研究区域上看,多数研究主要集中在半干旱地区,以雨养、沟灌等灌溉方式为主,对不同灌水梯度及覆盖条件下春玉米干物质及产量的影响进行分析。在极端干旱地区不同覆膜条件滴灌夏玉米对不同施氮量的响应研究还相对较少。本文针对降水稀少、水资源匮乏的新疆南部地区水氮利用效率低等问题,以当地覆膜滴灌夏玉米为研究对象,研究覆膜滴灌及不同氮素梯度条件对夏玉米的生理特征指标、干物质量、产量及产量构成因素的影响,为提高干旱地区滴灌夏玉米产量并优化当地氮肥运筹模式提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本试验于2016–2017年6~10月在阿克苏地区温宿县红旗坡新疆农业大学林果实验基地进行(东经80°20′,北纬41°16′)。气候类型为暖温带干旱气候,降雨量少、蒸发量大、气候干燥,光热资源丰富,年日照时数2 800~3 000 h,无霜期每年有200~220 h,年平均降雨量80.4 mm,试验地地势平缓,地下水埋深超过10 m。试验区土壤理化性质见表1。

表1 试验区初始土壤理化性质

Table 1 Initial soil physical and chemical properties of experimental plots

土层(cm) Soil layer	有机质 (g/kg) Organic matter	速氮(mg/kg) Available nitrogen	速磷(mg/kg) Available phosphorus	速钾(mg/kg) Available potassium	pH值 pH value	总盐(mg/g) Total salinity	田间持水量 (%) Field capacity	土壤性质 Soil physical property
0~10	8.88	36.57	12.96	119.91	8.53	0.52	22.57	粉砂壤土
10~20	9.07	36.72	15.01	111.33	8.61	0.49	23.22	粉砂壤土
20~30	7.99	31.29	7.75	98.48	8.52	0.47	22.77	粉砂壤土
30~40	6.28	27.93	5.49	113.00	8.72	0.54	18.78	粉砂壤土
40~50	5.76	26.33	6.13	125.01	8.68	0.60	27.94	壤砂土
50~60	3.67	16.57	5.31	78.62	8.70	0.49	28.05	壤砂土

1.2 试验设计

试验选择玉米品种为新玉9号。种植在3 m×2.2 m的无底测坑内,人工点播种植,种植玉米的株行配置为(30+40+30+60)×25 cm,种植密度为96 000株/hm²。采用膜下滴灌灌溉方式,种植模式为1膜2管4行,两行玉米中间布设1根滴灌带,滴头流量为0.8 L/h,滴头间距0.1 m。1个测坑内共种植8行玉米。每个处理都有1个水表控制灌溉水量(精度为0.001 m³)。2016年覆膜试验,滴灌试验开始时间为7月20日,9月14日开始控水,收获为10月14日,灌

溉定额均为256 mm,灌水周期均为8 d,灌水次数为7次,在相同灌溉定额条件下共设置3个施氮梯度(N1M、N2M和N3M),施氮量分别为368.88、278.4和187.92 kg/hm²;CKM为对照处理(参照当地灌溉施肥制度,灌溉定额为338 mm),灌水周期为15 d,施氮量为278.4 kg/hm²(表2)。

2017年覆膜/不覆膜试验,滴灌试验开始时间为7月23日,9月1日停止灌溉,收获为10月3日。试验在相同灌溉定额条件下共设3个施氮梯度(N1U、N2U、N3U),6个处理的灌水定额均按照作物

蒸发蒸腾量(ET)指导灌溉(100%ET,每个灌水周期内的ET按照 $ET=K_c \cdot ET_0$ 计算获得,其中各生育期内作物系数 K_c 值参照梁文清^[12]的研究成果)进行灌溉,灌溉定额为151 mm,灌水周期均为8 d,灌水次数均为6次(9月1日因水泵故障停水1次),施氮量分别为368.88、278.4和187.92 kg/hm²;CKU为对照处理(参照当地灌溉施肥制度),灌水周期为15 d,施氮量均为278.40 kg/hm²,灌溉定额为338 mm(表3)。

表2 2016年覆膜试验方案
Table 2 Experimental design with mulch in 2016

处 理 Treatment	灌溉定额(mm) Irrigation quota	灌水周期(d) Irrigation cycle	灌水次数 Irrigation frequency	施氮量(kg/hm ²) Amount of nitrogen applied	覆膜情况 Laminating situation
N1M	256	8	7	368.88	覆膜
N2M	256	8	7	278.40	覆膜
N3M	256	8	7	187.92	覆膜
CKM	338	15	3	278.40	覆膜

表3 2017年覆膜/不覆膜试验方案
Table 3 Experimental design with mulch and without mulch in 2017

处 理 Treatment	灌溉定额(mm) Irrigation quota	灌水周期(d) Irrigation cycle	灌水次数 Irrigation frequency	施氮量(kg/hm ²) Amount of nitrogen applied	覆膜情况 Laminating situation
N1M	151	8	6	368.88	覆膜
N2M	151	8	6	278.40	覆膜
N3M	151	8	6	187.92	覆膜
CKM	338	15	3	278.40	覆膜
N1U	151	8	6	368.88	不覆膜
N2U	151	8	6	278.40	不覆膜
N3U	151	8	6	187.92	不覆膜
CKU	338	15	3	278.40	不覆膜

1.3 测定项目与方法

1.3.1 玉米样品采集与测定

玉米样品采集分别在玉米6叶期、12叶期、吐丝期、灌浆期和成熟期5个生育期进行。每个采样期,在各小区取3株。

叶片叶绿素值(SPAD)、叶长和最大叶宽:在每个小区选取3株,3次重复,共计9株进行挂牌标记后,采用SONY叶绿素计测定标记植株穗位叶SPAD值,每次测定时分别在穗位叶的上、中和下部读数,取9个数值的均值代表各小区穗位叶的SPAD值;用卷尺逐一测量每株绿叶长度和最大宽度。

生物量:每个小区选取3株玉米,将植株样品带回室内,按叶、茎和穗分开,分别在105℃烘干箱内杀青30 min后,75℃烘干至恒重,将其转化为单位面积的干物质量。

产量和产量构成:收获期,在每个小区进行人工收获,子粒在105℃烘干箱内杀青30 min后,75℃烘干至恒重,测定子粒产量和产量构成(穗粒数和百粒重)。

1.3.2 气象数据

试验区所有气象数据均来自距离试验测坑300 m处的气象站,包括太阳能辐射、温度、相对湿度、风速、大气压强和降雨。数据每1 h记录1次,存储在记录仪中,定期下载,2016年、2017年气温及降雨过程见图1。

根据试验区内的气象数据结合P-M公式计算参考作物蒸发蒸腾量。P-M方程表达式:

$$ET_0=\frac{0.408\Delta(R_n-G)+\gamma\frac{900}{T+273}U_2(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0.34U_2)}$$

式中,ET₀为参考作物蒸发蒸腾量(mm/d);R_n为作物表层的净辐射[MJ/(m²·d)];G为土壤热通量[MJ/(m²·d)];T为平均气温(℃);e_s为饱和水汽压(kPa);e_a为实际水汽压(kPa);Δ为饱和水汽压-温度曲线斜率(kPa/℃);γ湿度计常数(kPa/℃);U₂为距地面2 m高处风速(m/s)。

1.3.3 叶面积指数

叶面积=叶长×最大叶宽×k

式中, k 为形状系数,对玉米其值取0.75。

叶面积指数(LAI)=单株叶面积×种植密度/10 000

采用 office2003、WPS、Excel、SPSS 等对数据进行处理及方差分析等。

1.4 数据处理与分析

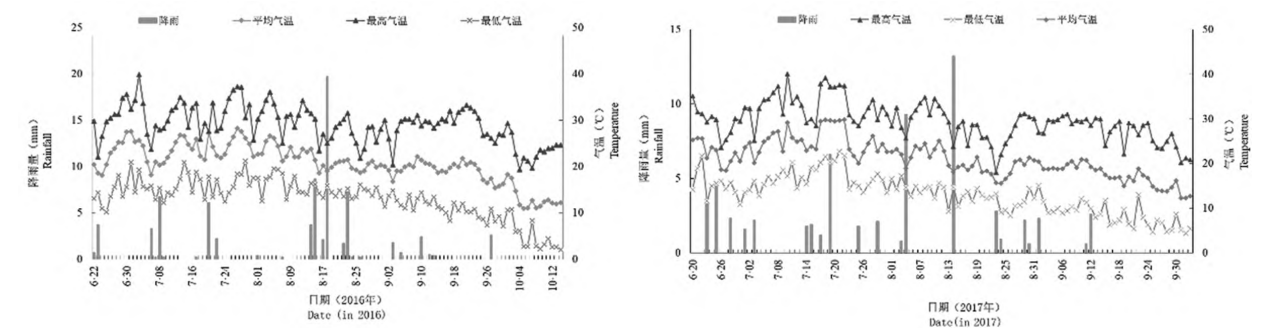


图 1 气温及降雨量

Fig.1 Temperature and rainfall

2 结果与分析

2.1 不同施氮量对滴灌夏玉米叶片 SPAD 值的影响

2016 年覆膜(M)滴灌条件及 2017 年覆膜(M)/不覆膜(U)滴灌条件下不同施氮处理夏玉米叶片 SPAD 值见表 4。随着施氮量的减少,夏玉米各生育期 SPAD 值大体呈递减趋势,两年覆膜滴灌试验数据变化趋势较相似。以 2017 年试验数据为例进行分析,覆膜(M)条件下,在 6 叶期时玉米主要以根系生长为主,因此在玉米 6 叶期和成熟期的 SPAD 值差异

并不显著,在成熟期已停止灌溉,玉米叶片发生萎焉,导致 SPAD 值差异不显著。在 12 叶期、吐丝期和灌浆期,N1M 处理的 SPAD 值均高于 N2M、N3M 处理,分别高 6.31% 和 7.27%、16.29% 和 20.00%、11.34% 和 17.33%;在吐丝期和灌浆期,N1M 处理的 SPAD 值显著高于 CKM 处理。2017 年不覆膜(U)条件下,各处理 SPAD 值的变化趋势与覆膜(M)条件下相似,在玉米 12 叶期、吐丝期和灌浆期,N1U 处理的 SPAD 值均显著高于 N2U、N3U 处理,分别高 10.84% 和 16.08%、11.37% 和 16.63%、13.20% 和 24.23%。

表 4 2016 及 2017 年夏玉米叶片 SPAD 值的方差分析

Table 4 Variance analysis of SPAD of summer maize with mulch and without mulched in 2016 and 2017

时 间	条 件	处 理	6 叶期	12 叶期	吐丝期	灌浆期	成熟期
Time	Condition	Treatment	6-leaf stage	12-leaf stage	Silking stage	Filling stage	Maturity stage
2016 年	覆 膜	N1M	45.7±0.1 bc	54.4±1.0 ab	55.5±1.9 ab	55.8±2.1 abc	46.4±1.3 ab
		N2M	46.0±1.3 bc	53.2±0.7 ab	56.9±1.1 ab	54.1±0.5 a	45.0±0.8 ab
		N3M	43.8±1.7 ab	53.3±1.1 ab	55.9±2.2 ab	54.9±0.1 ab	43.5±1.1 a
		CKM	40.4±1.7 a	54.0±3.2 ab	55.1±2.8 ab	58.6±1.0 c	43.2±1.7 a
2017 年	覆 膜	N1M	40.4±0.7 a	59.0±0.8 d	56.4±0.3 d	58.9±0.2 c	34.2±2.1 a
		N2M	36.7±1.2 a	55.5±1.2 bc	48.5±0.7 bc	52.9±0.6 ab	39.2±0.7 ab
		N3M	39.2±0.5 a	55.0±0.2 b	47.0±1.1 ab	50.2±2.0 ab	34.7±2.1 a
		CKM	39.7±0.2 a	60.9±0.3 d	50.1±0.1 c	48.8±0.6 a	36.0±0.1 a
	不覆膜	N1U	33.2±0.8 a	49.1±0.7 cd	47.0±0.6 bc	52.3±0.9 d	34.0±0.6 b
		N2U	32.2±0.8 a	44.3±0.8 b	42.2±0.8 a	46.2±0.8 b	33.2±0.7 b
		N3U	32.2±0.7 a	42.3±0.8 b	40.3±0.9 a	42.1±0.7 a	28.3±0.9 a
		CKU	30.1±0.7 a	48.1±0.7 c	45.6±0.3 bc	42.3±0.8 a	30.2±0.8 a

对比分析 2017 年 M/U 条件下 SPAD 值变化,以 N2M 与 N2U 处理为例对玉米叶片 SPAD 值进行定量分析。对比发现,N2M 处理玉米各生育时期的 SPAD 值均高于 N2U 处理,在 6 叶期至成熟期 N2M

条件下的夏玉米 SPAD 值比 N2U 处理高 13.98% ~ 25.28%,说明覆膜可有效增大玉米叶片 SPAD 值。

2.2 不同施氮量对滴灌夏玉米叶面积指数的影响

表 5 为 2016 年覆膜(M)条件及 2017 年覆膜(M)/

不覆膜(U)滴灌条件下不同施氮处理夏玉米叶面积指数(LAI)的方差分析。玉米 LAI 随施氮量的增加大致呈先增大后减小的变化趋势。在覆膜(M)条件下,玉米 12 叶期、吐丝期和灌浆期 N2M 处理的 LAI 处于较高水平,在 12 叶期至灌浆期内 N2M 处理的夏玉米 LAI 比 N1M、N3M 处理平均高 5.04%、2.22%(2016)和 9.38%、10.36%(2017)。在不覆膜(U)条件下,N2U 处理在吐丝期至成熟期玉米 LAI 仍处于较高水平,比 N1U、N3U 处理平均高 0.77%、14.27%(2017)。说明

较高的施氮量对玉米 LAI 并没有明显的促进作用。
各处理 M/U 滴灌条件下玉米 LAI 变化趋势较为一致,对比分析 2017 年覆膜(M)/不覆膜(U)滴灌条件下 LAI 的差异性发现,在 12 叶期至成熟期覆膜(M)条件下各处理 LAI 较不覆膜(U)条件下平均高 13.27%~68.55%。在成熟期,覆膜(M)与不覆膜(U)条件下玉米 LAI 值的差异相对较小,原因是在此时期内已经开始控水,玉米叶片处于相对缺水状态,说明覆膜可有效提高玉米的 LAI。

表 5 2016~2017 年夏玉米 LAI 的方差分析
Table 5 Variance analysis of LAI of summer maize in 2016 and 2017

时 间	条 件	处 理	6 叶期	12 叶期	吐丝期	灌浆期	成熟期
Time	Condition	Treatment	6-leaf stage	12-leaf stage	Silking stage	Filling stage	Maturity stage
2016 年	覆 膜	N1M	0.70±0.01 d	4.50±0.06 c	5.21±0.1 ab	5.16±0.09 a	5.14±0.14 bc
		N2M	0.63±0.01 c	4.72±0.1 d	5.40±0.04 bcd	5.50±0.08 bc	5.41±0.09 cd
		N3M	0.50±0.01 a	4.70±0.03 d	5.25±0.1 abc	5.32±0.03 ab	4.42±0.07 a
		CKM	0.54±0.01 b	4.07±0.06 a	5.50±0.08 cd	5.87±0.01 de	5.54±0.14 de
2017 年	覆 膜	N1M	0.42±0.09 a	4.75±0.05 b	4.30±0.27 a	4.50±0.12 abc	3.89±0.27 bcd
		N2M	0.53±0.01 a	5.35±0.11 c	4.69±0.1 a	4.79±0.03 bcd	3.59±0.03 abc
		N3M	0.74±0.01 a	4.67±0.10 b	4.14±0.01 a	4.64±0.05 bcd	3.39±0.02 ab
		CKM	0.58±0.02 a	4.07±0.24 a	4.86±0.20 a	5.02±0.29 de	4.74±0.08 e
	不覆膜	N1U	0.34±0.01 ab	3.10±0.25 cd	3.65±0.22 bc	3.83±0.03 a	3.40±0.06 b
		N2U	0.29±0.01 ab	2.95±0.01 abcd	3.74±0.03 bcd	3.90±0.01 a	3.50±0.06 b
		N3U	0.30±0.06 ab	2.73±0.20 abc	3.60±0.06 b	3.63±0.09 a	2.76±0.09 a
		CKU	0.39±0.05 a	2.59±0.05 a	4.01±0.06 cde	3.92±0.07 a	3.70±0.06 c

2.3 不同施氮量对滴灌夏玉米干物质累积量的影响

图 2 为 2016 年覆膜(M)条件及 2017 年覆膜(M)/不覆膜(U)滴灌条件下不同施氮处理夏玉米各生长器官的干物质积累动态。对于玉米的营养器官生长,在 6 叶期生长缓慢,进入 12 叶期后迅速生长,在吐丝期和灌浆期变化不大;进入灌浆期后,干物质积累量达到峰值。对于玉米的生殖器官生长,在灌浆期干物质积累量迅速增加,在成熟期达到最大。在不同施氮量条件下,玉米干物质积累量并没有呈现出较明显的变化规律,玉米干物质积累量并没有呈现出随着施氮量的增大而增大的变化趋势。
在覆膜(M)条件下,玉米从 12 叶期至成熟期,N2M 处理的干物质总量处于较高水平。在 12 叶期、吐丝和成熟期 N2M 处理的干物质总量分别比 N1M 和 N3M 处理高 1.98% 和 4.79%、1.11% 和 13.09%、6.24% 和 38.12%(2016); 2.32% 和 16.90%、2.14% 和 3.84%、27.55% 和 9.40%(2017)。在不覆膜(U)条件下,玉米从 12 叶期至成熟期,N2U 处理的干物质总

量处于较高水平;在吐丝期、灌浆期 N2U 处理的干物质总量分别比 N1U 和 N3U 处理高 1.87% 和 1.57%、11.40% 和 3.38%(2017)。
对比 2017 年覆膜与不覆膜滴灌条件下各处理玉米各生育期干物质积累量发现,在玉米 12 叶期至成熟期,覆膜条件下各处理干物质总量比不覆膜平均高约 39.01%,说明覆膜能有效促进玉米营养及生殖生长。

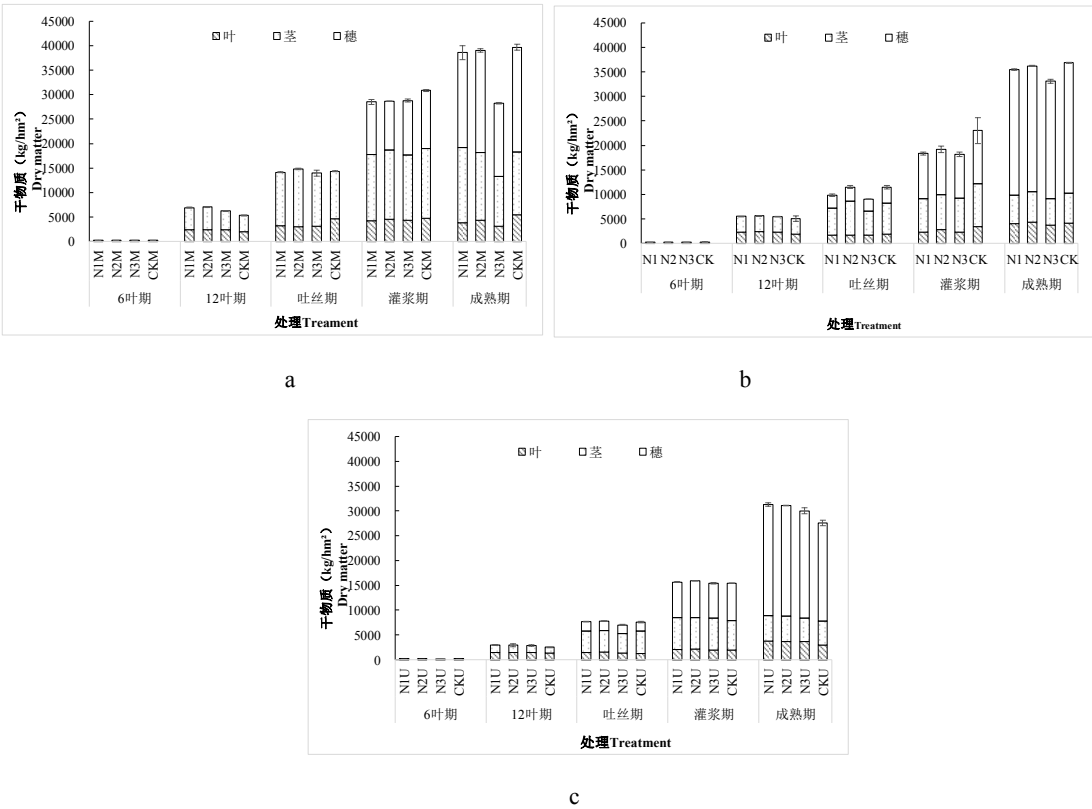
2.4 不同施氮量对滴灌夏玉米产量及产量构成因素的影响

2016 年覆膜(M)条件及 2017 年覆膜(M)/不覆膜(U)滴灌条件下不同施氮处理夏玉米的产量及产量构成方差分析见表 6。玉米百粒重和穗粒数并没有呈现出随着施氮量的增大而增大的变化趋势。在 2016 年覆膜(M)条件下,N1M 处理的产量大于 N2M 处理,但是差异并不显著;在 2017 年覆膜(M)条件下,玉米的百粒重、穗粒数及产量均呈 N2M>N1M>N3M 的变化趋势。对于不覆膜(U)条件下,各处理的变化趋势与 M 条件下相同,N2U 处理的百粒重、穗粒

数及产量分别比 N1U、N3U 处理高 13.82% 和 13.97%、9.37% 和 12.38%、2.32% 和 18.86%(2017)。

对 2016 年覆膜(M)条件及 2017 年覆膜(M)/不覆膜(U)滴灌条件下玉米产量及产量构成进行定量分

析发现,覆膜(M)条件下玉米百粒重、穗粒数及产量比不覆膜(U)条件平均高 14.78%~21.14%、4.72%~18.76%、16.84%~37.32%,说明覆膜可提高玉米产量及产量构成因素。



注:a、b、c 分别为 2016 年覆膜、2017 年覆膜、2017 年不覆膜条件。
Note: a, b, and c refer to the conditions for film covering in 2016, film covering in 2017, and no film covering in 2017.

图2 滴灌条件下夏玉米各生育期干物质累积动态
Fig.2 Dry matter accumulation of maize at different growth stages under mulch/non-mulched drip irrigation

表6 不同处理夏玉米产量构成表
Table 6 Composition of summer maize yield under different treatments

时间 Time	处理 Treatment	百粒重(g) 100-grain weight	穗粒数(粒) Grain per ear	产量(kg/hm ²) Yield
2016年	N1M	42.65±0.47 b	445±2.08 ab	15 570.55±121.06 b
	N2M	44.40±0.60 bc	445±0.67 ab	15 459.21±76.55 b
	N3M	42.42±0.72 b	445±5.46 ab	14 843.31±86.08 a
	CKM	40.24±0.66 a	456±1.53 b	14 953.02±106.49 a
2017年	N1M	27.96±0.61 ab	592±7.13 a	12 522.06±996.55 ab
	N2M	30.28±0.36 cd	599±9.24 a	13 392.85±442.72 abc
	N3M	27.38±0.62 a	589±4.06 a	12 669.87±690.98 ab
	CKM	31.07±0.44 cd	614±5.52 ab	13 800.07±354.00 abc
	N1U	23.08±0.51 ab	523±3.71 a	10 717.48±193.56 bc
	N2U	26.27±0.64 cd	572±7.88 bc	10 966.65±290.85 c
	N3U	23.05±0.62 ab	509±10.41 a	9 226.66±81.91 a
	CKU	27.07±0.64 cd	517±8.82 a	10 729.97±369.62 bc

3 结论与讨论

前人研究表明,叶片是玉米氮素营养情况最灵敏的指示器官,SPAD值可较好反映玉米对氮素的利用情况^[13~15]。当植株吸收足够氮素后,随着氮肥供应量的增加,会出现奢侈吸收现象,植物叶片SPAD值会随施氮量的增加总体呈增加趋势。本研究通过对比分析不同施氮梯度条件下SPAD值发现,施氮量为368.88 kg/hm²的SPAD值高出其他处理。通过对覆膜与不覆膜滴灌条件下玉米SPAD值的定量分析,本研究表明,相同施氮处理覆膜滴灌条件下夏玉米SPAD值比不覆膜平均提升15.01%~22.05%,说明覆膜在一定程度上对于玉米SPAD值的提高有促进作用,进而影响玉米光合作用和干物质的累积。

叶面积指数(LAI)是计算作物蒸散量及干物质积累量的重要参数。前人研究表明,适宜的叶面积指数可以促进作物的干物质积累^[16~18]。本研究表明,玉米叶片LAI值并未随施氮量的增大呈增大趋势,当施氮量为278.40 kg/hm²时玉米LAI值处于相对较高水平。干旱区相同施氮量覆膜滴灌条件下LAI值比不覆膜LAI值在吐丝期、灌浆期和成熟期分别高19.40%、22.71%和13.27%。说明覆膜可有效促进玉米叶片的增长,过高的施氮量并不会对玉米叶面积的增长产生影响。

干物质积累量是影响作物产量的重要指标。前人研究表明,施氮量会在一定程度上影响玉米的干物质质量^[19,20]。适量增加施氮量,可提高玉米的干物质质量及产量。本研究表明,施氮量为278.40 kg/hm²时玉米各生育期干物质累积总量与产量相对较高,说明在一定施氮量范围内,产量随着施氮量的增加而增加;超过一定范围施氮量,产量增加幅度趋于稳定或降低。在干旱区相同施氮量覆膜滴灌条件下各生育期内玉米干物质总量比不覆膜平均高48.05%,产量平均高16.84%~37.32%,原因是覆膜能够减少水分与氮素的流失,有效促进玉米根系对养分的吸收,使玉米在一定施氮范围内促进干物质的累积,达到增产效果。

综上所述,在极端干旱地区覆膜滴灌条件下,施氮量在278.40 kg/hm²时,玉米可达到相对较高的产量。在相同施氮范围内,覆膜滴灌条件可有效促进玉米生长发育,并对提高玉米干物质累积和产量有一定的促进作用。本文仅使用2017年的试验数据对干旱区覆膜与不覆膜滴灌条件下夏玉米生长指标进行对比分析,对不同覆膜条件下夏玉米生理指标

差异性及其结合生态指标对其增产机理的研究还有待进一步探讨。

参考文献:

- [1] 刘洋,栗岩峰,李久生,等.东北半湿润区膜下滴灌对农田水热和玉米产量的影响[J].农业机械学报,2015,46(10):93-104,135. LIU Y, LI Y F, LI J S, et al. Effects of mulched drip irrigation on water and heat conditions in field and maize yield in sub-humid region of northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(10): 93-104, 135. (in Chinese)
- [2] 王传娟,张彦群,王建东,等.东北典型区覆膜滴灌春玉米节水增产的光合生理响应[J].农业工程学报,2019,35(24):90-97. WANG C J, ZHANG Y Q, WANG J D, et al. Photosynthetic response of water-saving and yield-increasing of mulched drip irrigation for spring maize(*Zea mays* L.) in northeast China[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(24): 90-97. (in Chinese)
- [3] 张丹,龚时宏.覆膜与不覆膜滴灌对土壤温度和玉米产量影响研究——以辽西为例[J].中国农村水利水电,2016(2):9-13. ZHANG D, GONG S H. Research on the influence of mulch-drip irrigation and no-mulch drip irrigation of soil moisture and maize yield—A case study of the western region of Liaoning province[J]. China Rural Water and Hydropower, 2016(2): 9-13. (in Chinese)
- [4] 谭军利,康跃虎,窦超银.干旱区盐碱地覆膜滴灌不同年限对糯玉米生长和产量的影响[J].中国农业科学,2013,46(23):4957-4967. TAN J L, KANG Y H, DOU C Y. Effects of different irrigation and cropping years on waxy corn growth and yield using drip irrigation with plastic-film mulching on saline-sodic soils in arid area[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(23): 4957-4967. (in Chinese)
- [5] 刘万茂.我国玉米产量的区域间差异及增产途径分析[D].石河子:石河子大学,2021.
- [6] 宋杰,石晶.新疆南疆地区玉米生产区域比较优势分析[J].安徽农业科学,2021,49(5):222-224. SONG J, SHI J. Comparative advantage analysis of corn production region in southern Xinjiang[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(5): 222-224. (in Chinese)
- [7] 侯云鹏,孔丽丽,李前,等.覆膜滴灌条件下氮肥运筹对玉米氮素吸收利用和土壤无机氮含量的影响[J].中国生态农业学报,2018,26(9):1378-1387. HOU Y P, KONG L L, LI Q, et al. Effects of nitrogen fertilizer management on nitrogen absorption, utilization, and soil inorganic nitrogen content under film mulch drip irrigation of maize[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(9): 1378-1387. (in Chinese)
- [8] 宋金鑫,谷岩,于寒,等.覆膜和氮肥施用量对滴灌玉米生长发育及产量的影响[J].分子植物育种,2019,17(21):7251-7255. SONG J X, GU Y, YU H, et al. Effects of film mulching and nitrogen application rate on growth and yield of drip irrigation corn[J]. Molecular Plant Breeding, 2019, 17(21): 7251-7255. (in Chinese)
- [9] 姬景红,李玉影,刘双全,等.覆膜滴灌对玉米光合特性、物质积累及水分利用效率的影响[J].玉米科学,2015,23(1):128-133. JI J H, LI Y Y, LIU S Q, et al. Effect of drip irrigation under plastic film mulch on photosynthetic, dry matter accumulation and water use efficiency[J]. Journal of Maize Sciences, 2015, 23(01): 128-133. (in Chinese)

- [10] 贾 琼,史海滨,李瑞平,等. 西辽河平原覆膜和浅埋对滴灌玉米生长的影响[J]. 水土保持学报, 2021, 35(3): 296–303, 311.
JIA Q, SHI H B, LI R P, et al. Effects of mulched and soil covered drip irrigation on growth of maize in west Liaohe plain[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, 35(3): 296–303, 311. (in Chinese)
- [11] 赵 引,毛晓敏,段 萌. 覆膜和灌水量对农田水热动态和制种玉米生长的影响[J]. 农业机械学报, 2018, 49(8): 275–284.
ZHAO Y, MAO X M, DUAN M. Effects of film mulching and irrigation amount on farmland water–heat dynamics and growth of seed-maize[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(8): 275–284. (in Chinese)
- [12] 梁文清. 冬小麦、夏玉米蒸发蒸腾及作物系数的研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2012.
- [13] PIEKIELEK W P, FOX R H, TOTH J D, et al. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate N sufficiency[J]. Agron. J., 1995, 87: 403–408.
- [14] PROST L, JEUFFROY M H. Replacing the nitrogen nutrition index by the chlorophyll meter to assess wheat N status[J]. Agron. Sustain. Dev., 2007, 27: 1–10.
- [15] SCHARF P C, BROUDER S M, HOEFT R G. Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and yield response of corn in the North– Central USA[J]. Agron. J., 2006, 98: 655–665.
- [16] 张文可,安俊朋,隋鹏祥,等. 行间耕作对玉米生长发育及根系分布的影响[J]. 玉米科学, 2018, 26(3): 108–114.
ZHANG W K, AN J P, SUI P X, et al. Effect of inter-row tillage on growth and root distribution of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(3): 108–114. (in Chinese)
- [17] 戚迎龙,史海滨,李瑞平,等. 滴灌水肥一体化条件下覆膜对玉米生长及土壤水肥热的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(5): 99–110.
QI Y L, SHI H B, LI R P, et al. Effects of film mulching on maize growth and soil water, fertilizer, and heat under fertigation of drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2019, 35(5): 99–110. (in Chinese)
- [18] 李丰琇,马英杰. 复播玉米干物质累积及产量对不同膜下滴灌灌水量的响应研究[J]. 玉米科学, 2017, 25(6): 127–132, 141.
LI F X, MA Y J. Effects of different irrigation systems on dry matter accumulation and yields of multiple cropping maize under mulch drip irrigation[J]. Journal of Maize Sciences, 2017, 25(6): 127–132, 141. (in Chinese)
- [19] 罗上轲,刘 婕,叶开梅,等. 覆膜方式与施氮量对春玉米产量、干物质和氮素积累与转运的影响[J]. 玉米科学, 2020, 28(4): 146–154, 164.
LUO S K, LIU J, YE K M, et al. Effects of plastic film mulching mode and nitrogen application rate on spring maize yield, dry matter and nitrogen accumulation and translocation[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(4): 146–154, 164. (in Chinese)
- [20] 张美微,屈俊峰,张盼盼,等. 减施氮肥对不同密度夏玉米产量和干物质积累特性的影响[J]. 玉米科学, 2021, 29(5): 145–150.
ZHANG M W, QU J F, ZHANG P P, et al. Effect of nitrogen fertilizer reduction on yield and dry matter accumulation in different planting densities of summer maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2021, 29(5): 145–150. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)