DOI: 10.3724/SP.J.1006.2021.03038

不同膜上遮挡措施对旱地玉米土壤理化性状及产量的影响

王 奇 扶亚芳 司雷勇 金 岩 夏镇卿 路海东*

西北农林科技大学农学院 / 农业农村部西北旱区玉米生物学与遗传育种重点实验室, 陕西杨凌 712100

摘 要: 针对西北雨养旱作地区玉米长期地膜覆盖下出现的植株早衰现象, 从不改变地膜保水功能的角度出发, 采取地膜玉米膜上遮挡降温覆盖措施, 研究不同膜上遮挡措施下土壤温度变化及对玉米产量形成的影响, 分析不同膜上遮挡措施下玉米耕层土壤物理化学性状变化, 为解析普通地膜玉米生育后期早衰提供理论参考。试验以陕单 609 为材料, 基于 2 年田间试验, 对比分析普通地膜覆盖+膜上覆黑色遮阳网(A)、普通地膜覆盖+膜上覆盖秸秆(B)与普通地膜覆盖(C) 3 种模式对农田土壤温度、土壤养分及玉米干物质质量积累、产量和水肥利用效率的影响。结果表明: (1)在普通地膜覆盖的基础上添加遮挡物(黑色遮阳网、秸秆)可以有效降低土壤温度和紧实度, 其中玉米生育前期降温效果最为明显。(2)与对照处理 C 相比, 膜上遮挡降温处理 A 和处理 B 玉米生长后期土壤的有机质和全氮、全钾含量均增加, 玉米肥料偏生产力分别提高 7.24%和 6.97%。(3)降温处理能够延缓玉米生长后期绿叶面积的衰减速率, 提高植株干物质质量的积累, 增加玉米粒重。与处理 C 相比, 降温处理 A 和处理 B 的 2 年平均玉米产量分别较普通地膜覆盖处理提高 6.39%和 5.93%, 平均水分利用效率分别提高 8.17%和 7.67%。在西北雨养旱作区, 适当降低普通地膜玉米的膜下温度有助于改善土壤理化性状, 促进玉米籽粒干物质积累和产量形成, 提高肥水利用效率。

关键词: 玉米; 降温措施; 地膜覆盖; 土壤理化性状; 产量

Effects of different cooling methods on maize soil physical and chemical properties and yield in dryland

WANG Qi, FU Ya-Fang, SI Lei-Yong, JIN Yan, XIA Zhen-Qing, and LU Hai-Dong*

College of Agronomy, Northwest A&F University / Laboratory Biology and Genetic Improvement of Maize in the Arid Area of Northwest Region, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangling 712100, Shaanxi, China

Abstract: Aiming at the phenomenon of premature senescence of plants under long-term maize plastic film mulching in rainfed and arid regions in Northwest China, adding cooling measures on mulched maize were taken to study the effects of soil temperature change on maize yield formation and analysis the changes of soil physical and chemical properties in topsoil of maize from the perspective of never changing the water conserving function of plastic film, which would provide the theoretical reference for the analysis of the early senescence in the later growth stage of ordinary plastic film maize. This experiment design using Shaandan 609 (SD 609) as tested materials, based on a 2-year field experiment, compared with the effects of three modes, ordinary plastic film mulch + black sunshade net (A), ordinary plastic film mulch + straw (B) and ordinary plastic film mulch (C) on soil temperature, soil nutrients, dry matter mass accumulation yield and water and fertilizer use efficiency in yield. The results were as follows: (1) Adding coverings on plastic film mulching (black sunshade net, straw) can effectively decrease the soil temperature and compactness, especially early stage of maize growth. (2) Compared with the control treatment C, cooling treatment A and treatment B significantly increased the content of organic matter, total nitrogen and total potassium in the later stage of maize growth, and the average partial fertilizer productivity increased by 7.24% and 6.97%, respectively. (3) Cooling treatments can delay the attenuation of green leaf area in the later stage of maize growth, improve the accumulation rate of dry matter and increase the kernel weight of maize. Compared with treatment C, the 2-year average maize yields of cooling treatment A and treat-

本研究由国家自然科学基金项目(31771724)和陕西省科技重点研发计划项目(2018-NY-031)资助。

This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (31771724) and the Key Research and Development Project of Shaanxi Province (2018-NY-031).

* 通信作者(Corresponding author): 路海东, E-mail: lhd2042@163.com

第一作者联系方式: E-mail: 1061749064@qq.com

Received (收稿日期): 2020-06-19; Accepted (接受日期): 2020-09-13; Published online (网络出版日期): 2020-09-22.

URL: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20200922.1409.016.html>

ment B were increased by 6.39% and 5.93% and the average water use efficiency by 8.17% and 7.67%, respectively. In rainfed and arid regions in Northwest China, properly reducing the temperature under the film of mulched maize are helpful to improve soil physical and chemical properties, promote the accumulation of dry matter and the formation of yield and improve the high utilization efficiency of fertilizer and water.

Keywords: maize; cooling methods; plastic film mulching; soil physical and chemical properties; yield level

西北雨养旱作地区是中国最重要的春玉米生产基地, 玉米产量占全国总产量的 17%, 其产量对保证国家粮食安全至关重要。近年来, 全球气候变暖, 受气候和土壤温度升高、降雨减少、降雨分布不均匀等不利因素影响, 该区地膜玉米生育后期出现的早衰、减产等负面效应不断显现^[1-3]。部分学者研究^[1,4]认为, 地膜玉米后期的早衰是由于地膜增温导致玉米生育期提前, 使得玉米大喇叭口期遇到干旱, 从而导致玉米后期早衰和产量下降。而另一部分学者^[5]认为, 地膜覆盖下, 由于土壤温度升高, 导致土壤的养分分解速度加快, 使得玉米生长后期养分供应不足, 从而导致玉米早衰。无论哪种研究结论, 均与地膜覆盖下玉米耕层的土壤温度升高有关。因此, 土壤升温对旱地玉米生长发育及耕层土壤理化性状的影响作用必须得到重视。

土壤中各种生理性状和生化过程均受到土壤温度的影响, 土壤温度较高, 有机质分解快, 土壤温度低, 有机质分解速度慢^[6-7]。Walker 等^[8]研究表明, 土壤温度变化 1℃就能引起植物生长的明显变化, 在一定的温度范围内, 土壤温度越高, 作物吸收养分的速度加快, 数量增加, 从而使作物生长发育加快, 生育期提前。但当土壤温度超过最适温度后, 作物根系生物量和根系长度则随温度的升高而下降, 不利于作物的生长。关于土壤温度的已有研究多是关注于覆盖方式改变后的水热整体效应^[9-10], 这在一定程度上掩

盖了土壤温度变化的作用效果。因此, 采取适当的降温措施, 研究地膜覆盖下土壤温度变化是否会改变玉米及耕层土壤对气候变暖的响应值得探索。

本研究在前期研究基础上, 从不改变地膜保水功能的角度出发, 研究适度降低膜下土壤温度对玉米产量形成的影响, 分析不同膜上遮挡措施下玉米耕层土壤物理化学性状变化。为进一步解析西北雨养旱作区地膜玉米后期早衰机制提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2018 年和 2019 年在西北农林科技大学长武旱地玉米试验站进行, 该试验站地处 107°38'E、34°59'N, 海拔高度 1220 m, 年平均温度和降雨量分别为 9.1℃和 580 mm, 全年无霜期 171 d, 2018 年和 2019 年玉米生育期的降雨量和日气温如图 1。土壤为黑垆土, 平均干容重(bulk density, BD)为 1.42 g cm⁻³, 土壤 0~20 cm 含有机质 16.56 g kg⁻¹、速效氮 46.66 mg kg⁻¹、速效磷 18.94 mg kg⁻¹、速效钾 158.35 mg kg⁻¹。

1.2 试验设计

1.2.1 根区降温 设置 3 个处理。处理 A: 地膜覆盖+膜上覆黑色遮阳网; 处理 B: 地膜覆盖+膜上覆盖秸秆, 2 种地膜降温覆盖措施(经测定, 玉米整个生育期可较地膜覆盖降温 1~2℃); 处理 C: 地膜覆盖, 为对照。地膜采用普通白色聚乙烯地膜, 规格

图 1 2018 年和 2019 年玉米生长期降雨量和日温度

Fig. 1 Precipitation and day temperature during the whole growth period in maize from 2018 to 2019

均为宽 70 cm, 厚 0.008 mm; 遮阳网为普通黑色聚乙烯网, 宽度为 55 cm, 离地 3~5 cm, 固定遮挡覆盖在地膜上; 秸秆为玉米秸秆切碎, 长度 20 cm, 覆盖量为 3000 kg hm^{-2} , 沿小区行长均匀覆盖在地膜上。

1.2.2 试验设计 试验品种为陕单 609, 种植密度 $67,500 \text{ 株 hm}^{-2}$, 采用机械覆膜、人工点播的方式播种, 小区种植 6 行, 行长 6 m, 行距 60 cm, 小区面积 18 m^2 。按照裂区实验设计, 以品种为主区, 不同覆盖方式为副区, 共 6 个处理, 每个处理 4 次重复。

1.2.3 田间管理 试验播种方式依照当地习惯种植进行播种, 施肥水平为每公顷施纯氮 270 kg、纯 P_2O_5 150 kg。全部磷肥和 40%氮肥于玉米播种前结合整地一次性施入, 60%氮肥于玉米拔节期作为追肥施入, 其他种植与管理方式同当地普通大田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤温度 于玉米拔节期(V6)、大喇叭口期(V12)、吐丝期(VT)、吐丝后 25 d (R3)、吐丝后 45 d (R4)和成熟期(R6), 采用曲管地温计分别按照土层深度 5、10、15、20 和 25 cm 调查一次土壤温度日变化, 观测时间为 8:00—18:00, 每 2 h 观察 1 次。

1.3.2 土壤理化性状 在玉米播种前和收获后测定 0~200 cm 土壤含水量(gravimetric soil water content, GSW); 分别于玉米播种前、拔节期(V6)、大喇叭口期(V12)、吐丝期(VT)、吐丝后 25 d (R3)、吐丝后 45 d (R4)和成熟期(R6)测定土壤紧实度; 于玉米播种前和收获后测定每个小区耕层(0~20 cm)土壤有机质和氮、磷、钾等养分含量。采用 CP40II、数显式土壤紧实度仪在田间地膜带直接原位测定土壤紧实度, 测定土层范围为 0~10 cm, 每 1 cm 记录 1 次数据, 每个小区重复测 5 次。按照《土壤农化分析》^[11]方法测定土壤有机质及氮、磷、钾等养分。

1.3.3 植株干物质质量和绿叶面积 在拔节期(V6)、大喇叭口期(V12)、吐丝期(VT)、吐丝后 25 d (R3)、吐丝后 45 d (R4)和成熟期(R6), 各个小区选取长势均匀、有代表性的 5 株植株取样, 用卷尺测量每株的单株绿叶面积, 然后将茎、叶、鞘、雄穗和雌穗分样处理, 放入烘箱 105°C 杀青 30 min, 然后调至 80°C 恒温烘干至恒量后测定干物质量。

1.3.4 收获考种 成熟期调查每处理小区的实有株数、空秆率和双穗率, 收获时调查每个处理小区的果穗产量。依据单穗平均质量选取 10 个具有代表性的果穗进行室内考种, 调查记录穗行数、千粒重和行粒数等性状指标。同时根据 10 穗质量计算小区

标准产量(籽粒含水率 14%)。

1.3.5 水肥利用效率 玉米生育期内水分利用率(water use efficiency, WUE)按照以下公式^[12]计算:

$$\text{SWS (mm)} = \text{GSW} \times \text{BD} \times \text{H}$$

$$\text{ET (mm)} = (\text{SWS}_1 - \text{SWS}_2) + \text{P}$$

$$\text{WUE (kg hm}^{-2} \text{ mm)} = \text{Y/ET}$$

式中, SWS 为土壤储水量, H 为土层深度, ET 为生育期内总耗水量, SWS_1 和 SWS_2 分别为收获后与播种前 0~200 cm 土壤储水量, P 为生育期有效降水量, Y 为籽粒产量。肥料偏生产力(kg kg^{-1})为玉米籽粒产量与总施肥量的比值。

1.4 数据处理

利用 Microsoft Excel 2016 作图, SPSS 25.0 统计分析软件进行数据统计分析, 采用最小显著性差异法 LSD (least significant different)法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理玉米生育期的土壤温度变化

土壤温度反映了土壤的热状况, 其主要受到太阳辐射、地表覆盖及植株生长的影响。由表 1 可以看出, 2 种降温覆盖处理下, 0~25 cm 土层的土壤平均温度显著小于普通地膜覆盖处理($P < 0.05$)。从不同的生育期来看, 玉米拔节期和成熟期的降温幅度较大, 吐丝期和灌浆期的降温幅度较小。这可能是由于玉米吐丝后冠层覆盖量大, 投射到地面的光强减弱的原因。

2.2 不同膜上遮挡措施的土壤紧实度变化

土壤(0~10 cm)紧实度随着玉米生育期的推进逐渐增大(表 2), 不同处理间比较发现, 2 种降温处理的土壤紧实度显著小于对照(普通地膜覆盖)处理 C。随着生育期的推迟, 不同处理间土壤紧实度的差异幅度变小, 而处理 A 和处理 B 二者间无显著差异。可见在普通地膜上施加适当的遮盖降温措施能够有效降低玉米各生育期的土壤紧实度, 改善土壤通透性。而这种现象可能与普通地膜和土壤表层之间高温高湿环境所形成的膜下土壤表面板结有关。

2.3 不同膜上遮挡措施的土壤养分效应

不同处理方式对土壤中全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾和有机质含量的影响不同(表 3)。2018 年各处理之间土壤有机质含量差异不显著, 2019 年降温处理 A 和处理 B 均显著高于对照处理 C, 分别较对照增加 2.13%和 1.77%。2 年不同处理间全磷含量没有明显差异; 2018 年不同处理之间全

氮和全钾含量没有显著差异, 2019 年处理 A 和处理 B 显著高于处理 C, 分别较处理 C 增加 7.62%、3.25% 和 8.50%、4.06%; 土壤中碱解氮的含量 2 年均表现为处理 C 显著高于处理 A 和处理 B, 处理 A 和处理 B 之间没有显著差异; 2 年不同处理间土壤中速效磷

和速效钾的含量处理 A 和处理 B 之间没有显著差异, 但处理 C 明显高于处理 A。说明普通地膜覆盖下较高的温度加速了土壤有机质矿化和养分分解, 而适当的膜上遮挡降温措施可以延缓土壤有机质、全氮和全钾等养分的矿化及分解。

表 1 不同覆盖方式下 0–25 cm 土层平均温度

Table 1 Average soil temperature of 0–25 cm depths under different mulching patterns (°C)

年份 Year	处理 Treatment	生育时期 Growth stage					
		V6	V12	VT	R3	R4	R6
2018	A	27.1 b	25.1 b	22.8 b	23.1 b	19.3 b	16.5 b
	B	26.0 c	24.7 b	23.0 b	22.7 b	19.5 b	16.7 b
	C	29.5 a	26.6 a	24.3 a	24.5 a	22.0 a	19.2 a
2019	A	26.3 b	22.7 b	20.3 b	22.5 b	19.1 b	16.2 b
	B	25.9 b	22.3 b	19.9 b	22.7 b	18.6 c	16.0 b
	C	28.5 a	25.4 a	21.1 a	24.0 a	20.8 a	18.7 a

V6: 拔节期; V12: 大喇叭口期; VT: 吐丝期; R3: 吐丝后 25 d; R4: 吐丝后 45 d; R6: 成熟期; A: 普通地膜覆盖+膜上覆黑色遮阳网; B: 普通地膜覆盖+膜上覆盖秸秆; C: 普通地膜覆盖。数字后不同字母表示同一年份下不同处理间差异达 0.05 显著水平。

V6: jointing stage; V12: trumpet stage; VT: tasseling stage; R3: milk stage; R4: dough stage; R6: maturity stage; A: ordinary plastic film mulch + black sunshade net; B: ordinary plastic film mulch + straw; C: ordinary plastic film mulch. Values with a column followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$ among different treatments in the same year.

表 2 不同覆盖方式下各生育期土壤平均紧实度

Table 2 Effect of different mulching methods on soil compactness at different growth stages (kPa)

年份 Year	处理 Treatment	生育时期 Growth stage					
		V6	V12	VT	R3	R4	R6
2018	A	112.5 b	170.6 b	213.0 b	326.5 b	330.7 b	366.2 b
	B	109.0 b	175.4 b	206.7 b	316.9 b	333.5 b	354.3 c
	C	145.8 a	236.4 a	321.4 a	371.5 a	385.6 a	389.7 a
2019	A	101.8 b	132.4 b	201.3 b	319.7 b	331.2 b	354.6 c
	B	103.6 b	134.7 b	210.5 b	321.0 b	327.6 b	374.1 b
	C	136.5 a	196.7 a	312.8 a	385.7 a	394.0 a	402.8 a

缩写和处理同表 1。同列数据不同字母表示同一年份下不同处理间差异达 0.05 显著水平。

Abbreviations and treatments are the same as those given in Table 1. Values followed by different letters in the same column mean significantly different at $P < 0.05$ among different treatments in the same year.

表 3 不同覆盖方式下土壤养分的含量

Table 3 Soil nutrients content under different mulching methods

年份 Year	处理 Treatment	有机质	全氮	全磷	全钾	碱解氮	速效磷	速效钾
		Organic matter (g kg ⁻¹)	Total nitrogen (g kg ⁻¹)	Total phosphorus (g kg ⁻¹)	Total potassium (g kg ⁻¹)	Alkali-hydrolyzale nitrogen (mg kg ⁻¹)	Available phosphorus (mg kg ⁻¹)	Available potassium (mg kg ⁻¹)
2018	A	16.351 a	0.871 a	0.972 a	14.653 ab	39.733 b	20.568 ab	146.475 b
	B	16.251 a	0.858 a	0.998 a	14.956 a	40.268 b	20.348 b	151.160 ab
	C	16.167 a	0.873 a	0.982 a	14.274 b	41.433 a	21.802 a	154.421 a
2019	A	16.131 a	0.862 a	0.982 a	14.406 a	40.500 b	19.450 b	139.650 b
	B	16.073 a	0.869 a	0.974 a	14.520 a	39.740 b	20.580 ab	145.500 ab
	C	15.794 b	0.801 b	0.967 a	13.953 b	42.700 a	21.085 a	149.650 a

处理同表 1。同列数据不同字母表示同一年份下不同处理间差异达 0.05 显著水平。

Treatments are the same as those given in Table 1. Values followed by different letters in the same column mean significantly different at $P < 0.05$ among different treatments in the same year.

2.4 不同膜上遮挡措施的玉米产量效应

2.4.1 干物质积累 玉米单株干物质积累量随生育期的变化规律如图 2 所示, 从图 2 分析可知, 随着生育期的推进玉米干物质积累量呈增加趋势, 成熟期达到最大。从干物质质量积累的速度来看, 在吐丝 25 d 以前, 各处理的干物质积累速度相对稳定, 没有明显变化。但是在吐丝 25 d 以后, 处理 A 和处理 B 的干物质积累量明显高于对照处理 C。不同年份间比较, 2018 年玉米成熟期的干物质积累量为处理 A>处理 B>处理 C, 2019 年的干物质积累量为处理 B>处理 A>处理 C, 且处理 A 和处理 B 的单株干物质积累快速增长期 2018 年明显早于 2019 年。由此可见, 普通地膜覆盖下过高的土壤温度会影响玉米后期干物质的积累, 采用膜上覆盖黑色遮阳网和秸秆的降

温措施可以有效的减缓普通地膜增温所引起的后期植株衰老问题, 从而增加玉米干物质质量的积累。相对于雨水较多的 2019 年, 2018 年的效果更加明显。

2.4.2 单株绿叶面积 不同覆盖方式下玉米不同时期的单株绿叶面积变化见图 3, 从图中可以看出, 随着玉米生育期的推进植株绿叶面积逐渐增加, 吐丝期达到最大, 吐丝后随着植株衰老, 单株绿叶面积逐渐减少, 成熟期达到最低。不同处理间比较, 吐丝以前差异不大, 吐丝后处理 A 和处理 B 的单株绿叶面积明显高于对照处理 C。处理 A 和处理 B 间比较, 差异不明显。说明与普通地膜覆盖相比, 膜上遮挡降温措施能够保持较高的光合绿叶面积, 延缓玉米吐丝后的叶面积衰减速度, 从而进一步增强玉米后期的光合物质生产, 促进籽粒灌浆。

图 2 不同覆盖方式下玉米单株干物质质量积累的变化

Fig. 2 Changes of dry matter accumulation under different film mulching methods in maize
缩写和处理同表 1。Abbreviations and treatments are the same as those given in Table 1.

图 3 不同覆盖方式下玉米单株叶面积的变化

Fig. 3 Changes of leaf area per plant under different film mulching methods in maize
缩写和处理同表 1。Abbreviations and treatments are the same as those given in Table 1.

2.4.3 产量及产量构成 不同覆盖方式下玉米的产量如表 4 所示, 从产量及产量构成因素的变化情况来看, 不同处理的有效穗数和穗粒数无显著差异, 但是千粒重和产量处理 A 和处理 B 显著高于处理 C ($P < 0.05$)。不同年份间比较发现, 2019 年各处理的穗粒数较 2018 年明显提高, 但是千粒重较

2018 年略有下降; 2018 年降温处理 A 和处理 B 的玉米产量较对照处理 C 分别增加 8.94%和 7.97%, 2019 年较对照处理 C 分别增加 3.84%和 3.89%。说明膜上遮挡降温措施可以显著提高玉米粒重, 促进产量形成, 但玉米的增产幅度在不同年份之间表现不同。

表 4 不同覆盖方式下的玉米产量

Table 4 Maize yield under different film mulching methods

年份 Year	处理 Treatment	有效穗数 Effective spike ($\times 10^4$ ear hm^{-2})	穗粒数 Kernels per spike	千粒重 1000-kernel weight (g)	产量 Yield (kg hm^{-2})
2018	A	6.92 a	650.87 a	336.08 a	15145.96 a
	B	6.88 a	653.59 a	333.69 a	15010.87 a
	C	6.95 a	644.19 a	310.42 b	13903.03 b
2019	A	6.87 a	666.10 a	325.42 a	14902.46 a
	B	6.79 a	671.38 a	328.08 a	14962.27 a
	C	6.75 a	669.35 a	309.83 b	1410.04 b

处理同表 1。同列数据不同字母表示同一年份不同处理间差异达到 0.05 显著水平。

Treatments are the same as those given in Table 1. Values with a column followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$ among different treatments in the same year.

2.5 不同处理的水肥利用效率

不同覆盖方式的玉米生产水分利用效率和肥料偏生产力如图 4 所示, 从图 4-a 中可以看出, 处理 A 和处理 B 的水分利用效率均显著高于对照处理 C, 但处理 A 和处理 B 之间没有显著差异, 处理 A 和处理 B 的 2 年平均水分利用效率分别较对照处理 C 提高 8.17%和 7.67%。可见, 处理 A 和处理 B 通过适当降低地膜玉米根区温度可更有效的促进玉米籽粒产量形成, 从而获得较高的玉米生产水分

利用效率。

肥料偏生产力是土壤肥力与肥料效率的综合反映。从图 4-b 的分析可知, 在同一施肥水平下, 处理 A 和处理 B 的肥料偏生产力显著高于对照处理 C, 处理 A 和处理 B 二者之间虽有差异, 但没有达到显著水平。2 年平均肥料偏生产力, 处理 A 较处理 C 提高 7.24%, 处理 B 较处理 C 提高 6.97%。可见, 在光热丰富的雨养旱作地区, 适当降低地膜玉米的膜内土壤温度能够提高肥料偏生产力。

图 4 不同处理模式的水分利用效率和肥料偏生产力

Fig. 4 Water use efficiency and fertilizer partial productivity in different treatment modes

处理同表 1。图中不同小写字母表示不同处理间差异达 0.05 显著水平。

Treatments are the same as those given in Table 1. Bars labeled with different lowercase letters are significantly different at $P < 0.05$ among different treatments.

3 讨论

玉米是对温度反应十分敏感的作物,高温环境会使玉米出现徒长,与此同时呼吸作用会消耗大量的光合物质积累,使玉米体内营养出现逆差,从而导致玉米早衰^[13]。普通地膜覆盖会提高土壤的含水量,然而膜下过高的土壤温度会使玉米生育期提前,后期出现早衰,从而造成减产^[14-15]。本试验研究发现,在普通地膜覆盖的基础上,加盖黑色遮阳网或者覆盖玉米秸秆可以在不影响保水的情况下,有效地降低膜下土壤温度,尤其是一天之内的最高温度。对比不同处理在不同生育时期的土壤温度发现,不同的覆盖方式对拔节期以前土壤温度的影响最大,这可能是由于玉米生育前期植株覆盖度较小,透光率较大,使得更多的太阳辐射到达地表,在地膜上覆盖遮挡物对太阳辐射的遮挡效果更明显。而到了生育后期,冠层覆盖度增大,透光率减小^[16-17],太阳辐射到达地表的量减少,因而不同处理之间土壤温度的差异减少。

土壤温度的变化会引起土壤微生物、酶活性等一系列土壤化学反应的变化,进而对土壤养分含量产生影响^[18]。有机质是土壤的重要组成部分,其含量仅占土壤的很小一部分,但它却是土壤中各种养分元素特别是氮、磷的重要来源^[19],其含量对土壤物理性状、肥力和植物生长状况有着重要影响^[20],是衡量土壤肥沃程度的重要指标。本研究结果表明,在连续2年膜上遮挡下(处理A和处理B),土壤有机质含量较普通地膜覆盖明显增加($P < 0.05$),同时土壤的全氮和全钾含量提高。这可能与膜上遮挡措施降低了膜下土壤温度有关,地膜覆盖下较高的土壤温度增加了土壤蔗糖酶和碱性磷酸酶的活性及土壤微生物的数量^[21],易导致土壤养分分解速度加快,土壤有机质和氮素等养分含量下降^[22],有关土壤微生物、土壤酶活性和土壤呼吸等因素的变化还要待进一步探究。但是从土壤的紧实度变化来看,膜上遮挡降温措施明显降低了膜下的土壤紧实度。这可能是由于普通地膜覆盖下,当中午温度较高时,地膜与土壤接触区形成了一个高温高湿环境,夜晚温度降低时,膜下水汽凝固,土壤容易形成板结^[23],从而增加了土壤的紧实度。而适当的遮挡降温可以明显缓解因太阳光的直射所造成的膜下高温高湿状况,平抑膜下土温的剧烈变化,进而减轻膜下土壤板结,从而减低了土壤的紧实度。也可能是正常地膜覆盖下,降雨直接作用在地膜上,使得膜下土壤

受到冲击,紧实度增加,而膜上遮挡措施阻挡了雨水对地膜的直接冲击,减轻了对地膜及膜下土壤的作用。膜上遮挡措施对土壤紧实度的降低作用无疑为玉米根系的生长提供了适宜的疏松环境。

干物质是作物将光能转化为光合产物的最高形态,干物质积累量大小与作物籽粒产量形成关系密切^[24]。前人研究表明,普通地膜覆盖会造成土壤温度过高,过高的土壤温度使玉米的生育期提前,生殖生长期缩短,从而使玉米花后的干物质积累量减少^[14,23]。本研究结果表明,在地膜覆盖的基础上采取继续加盖遮阳网或者覆盖秸秆的降温方式,可以有效延缓玉米吐丝后的绿叶面积衰减速率,维持较高的群体光合绿叶面积,促进地膜玉米生长后期干物质的积累。从不同年份来看,降雨较少的干旱年份(2018年)较降雨较丰年份(2019年)的促进幅度更明显。张琳琳等^[16]研究认为,玉米花后干物质积累量的提高可有效促进玉米粒重的形成和产量的增加。本研究结果表明,处理A和处理B的千粒重显著高于对照处理C,2年平均玉米产量较对照处理C提高6.39%和5.93%。这可能正是由于适当降温措施延缓了地膜玉米后期叶片衰老,提高了叶片光合能力,促进了籽粒灌浆,使得玉米粒重增加^[25]。Bu等^[4]研究认为,普通白色地膜增温缩短了玉米生育进程,造成玉米早衰和产量下降,在玉米吐丝后揭膜可以延缓玉米衰老,提高水分利用效率。银敏华等^[26]研究发现,普通塑料地膜小麦拔节期揭膜能提高小麦产量和水分利用效率。本研究结果表明,2种地膜膜上遮挡降温覆盖处理均可显著提高地膜玉米的水分利用效率和肥料偏生产力,处理A和处理B的2年水分利用效率平均较处理C提高8.17%和7.67%,肥料偏生产力平均提高7.24%和6.97%。

卜玉山等^[27]研究认为,覆盖的主要目的是增温时,应选择地膜,主要目的是保水时,秸秆效果更好。在西北雨养旱作区,玉米生长季节光热资源丰富,地膜的主要作用是保水,但由于地膜具有的增温效果影响,往往导致玉米后期发生早衰。通过适当的地膜降温措施改变土壤温度,能够影响土壤的各种理化性状,促进玉米生长及产量形成。就不同年份的影响程度来看,2018年的影响程度明显高于2019年,从2年的气象资料对比可以看出,2019年玉米生长期降雨量明显高于2018年,平均气温较2018年低,这就使得普通地膜覆盖的增温效果弱化。这进一步佐证了降温措施对地膜玉米的积极效应,尤其是在高温干旱年份,效果可能更加显著。

4 结论

在地膜玉米的整个生育期,采用适当的膜上遮盖降温措施可以显著降低地膜玉米的土壤温度和紧实度,增加玉米生长后期土壤有机质与全氮、全钾含量,提高地膜玉米的水分利用效率和肥料偏生产力。膜上遮挡降温处理能够促进玉米籽粒灌浆期的干物质积累,显著提高玉米千粒重和籽粒产量。在光热资源丰富的西北雨养旱作区,适当降低地膜温度有助于提高玉米产量及水肥利用效率。

References

- [1] 张冬梅, 池宝亮, 黄学芳, 刘恩科, 张健. 地膜覆盖导致旱地玉米减产的负面影响. 农业工程学报, 2008, 24(4): 99–102.
Zhang D M, Chi B L, Huang X F, Liu E K, Zhang J. Analysis of adverse effects on maize yield decrease resulted from plastic film mulching in dryland. *Trans CSAE*, 2008, 24(4): 99–102 (in Chinese with English abstract).
- [2] Steinmetz Z, Wollmann C, Schaefer M, Buchmann C, David J, Tröger J, Muñoz K, Frör O, Schauman G E. Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? *Sci Total Environ*, 2016, 550: 690–705.
- [3] Liu Y, Yang S J, Li S Q, Chen X P, Chen F. Growth and development of maize (*Zea mays* L.) in response to different field water management practices: resource capture and use efficiency. *Agric For Meteorol*, 2010, 150: 606–613.
- [4] Bu L D, Zhu L, Liu J L, Luo S S, Chen X P, Li S Q. Source-sink capacity responsible for higher maize yield with removal of plastic film. *Agron J*, 2013, 105: 591–598.
- [5] 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. 节水灌溉, 2017, (4): 57–61.
Zhang Q. Effects of different color film mulching on soil moisture-heat and yield of maize. *Water Sav Irrig*, 2017, (4): 57–61 (in Chinese with English abstract).
- [6] Davidson E A, Janssens I A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 2006, 440: 165–173.
- [7] Dotaniya M L, Meena V D. Rhizosphere effect on nutrient availability in soil and its uptake by plants: a review. *Proc Natl Acad Sci India Section B: Biol Sci*, 2015, 85: 1–12.
- [8] Walker J M. One-degree increment in soil temperature affects maize seedling behavior. *Soc Soil Sci Am*, 1969, 33: 729–736.
- [9] Zhang X D, Zhao J, Yang L C, Kamran M, Xue X K, Dong Z Y, Jia Z K, HAN Q F. Ridge-furrow mulching system regulates diurnal temperature amplitude and wetting-drying alternation behavior in soil to promote maize growth and water use in a semiarid region. *Field Crops Res*, 2019, 233: 121–130.
- [10] Jia Q M, Chen K Y, Chen Y Y, Ali S, Manzoor, Sohail A, Fahad S. Mulch covered ridges affect grain yield of maize through regulating root growth and root bleeding sap under simulated rainfall conditions. *Soil Tillage Res*, 2018, 175: 101–111.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析(第3版). 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao S D. Soil Agro-chemical Analysis, 3rd edn. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000 (in Chinese).
- [12] 李尚中, 樊廷录, 王勇, 赵刚, 王磊, 唐小明, 党翼, 赵晖. 不同覆膜集雨种植方式对旱地玉米叶绿素荧光特性、产量和水分利用效率的影响. 应用生态学报, 2014, 25: 458–466.
Li S Z, Fan T L, Wang Y, Zhao G, Wang L, Tang X M, Dang Y, Zhao H. Effects of plastic film mulching and rain harvesting modes on chlorophyll fluorescence characteristics, yield and water use efficiency of dryland maize. *Chin J Appl Ecol*, 2014, 25: 458–466 (in Chinese with English abstract).
- [13] 赵龙飞, 李潮海, 刘天学, 王秀萍, 僧珊珊. 花期前后高温对不同基因型玉米光合特性及产量和品质的影响. 中国农业科学, 2012, 45: 4947–4958.
Zhao L F, Li C H, Liu T X, Wang X P, Zeng S S. Effect of high temperature during flowering on photosynthetic characteristics and grain yield and quality of different genotypes of maize (*Zea mays* L.). *Sci Agric Sin*, 2012, 45: 4947–4958 (in Chinese with English abstract).
- [14] 路海东, 薛吉全, 郝引川, 高杰. 黑色地膜覆盖对旱地玉米土壤环境和植株生长的影响. 生态学报, 2016, 36: 1997–2004.
Lu H D, Xue J Q, Hao Y C, Gao J. Effects of black film mulching on soil environment and maize growth in dry land. *Acta Ecol Sin*, 2016, 36: 1997–2004 (in Chinese with English abstract).
- [15] Lu H D, Xia Z Q, Fu Y F, Wang Q, Xue J Q, Chu J. Response of soil temperature, moisture, and spring maize (*Zea mays* L.) root/shoot growth to different mulching materials in semi-arid areas of Northwest China. *Agronomy-Basel*, 2020, 10: 453.
- [16] 张琳琳, 孙仕军, 陈志君, 姜浩, 张旭东, 迟道才. 不同颜色地膜与种植密度对春玉米干物质积累和产量的影响. 应用生态学报, 2018, 29: 113–124.
Zhang L L, Sun S J, Chen Z J, Jiang H, Zhang X D, Chi C D. Effects of different colored plastic film mulching and planting density on dry matter accumulation and yield of spring maize. *Chin J Appl Ecol*, 2018, 29: 113–124 (in Chinese with English abstract).
- [17] 陈志君, 张琳琳, 姜浩, 孙仕军. 东北雨养区黑色地膜和种植密度对玉米田间地温和产量的影响. 生态学杂志, 2017, 36: 2169–2176.
Chen Z J, Zhang L L, Jiang H, Sun S J. Effects of plastic film mulching and planting density on soil temperature and maize yield in rain-fed area of Northeast China. *Chin J Ecol*, 2017, 36: 2169–2176 (in Chinese with English abstract).
- [18] Sun S Q, Wu Y H, Zhang J, Wang G X, Deluca T H, Zhu W, Li A, Duan M, He L. Soil warming and nitrogen deposition alter soil respiration, microbial community structure and organic carbon composition in a coniferous forest on eastern Tibetan Plateau. *Geoderma*, 2019, 353: 283–292.
- [19] Jasso-Flores I, Galicia L, Chávez-Vergara B, Merino A, Tapia-Torres Y, García-Oliva F. Soil organic matter dynamics and microbial metabolism along an altitudinal gradient in Highland tropical forests. *Sci Total Environ*, 2020, 741: 140–143.
- [20] 吴才武, 夏建新, 段峥嵘. 土壤有机质测定方法述评与展望. 土壤, 2015, 47: 453–460.
Wu C W, Xia J X, Duan Z R. Review on detection methods of soil organic matter (SOM). *Soil*, 2015, 47: 453–460 (in Chinese with English abstract).

- [21] Behtari B, Jafarian Z, Alikhani H. Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in response to land management in semi-arid rangelands of Iran. *Catena*, 2019, 179: 210–219.
- [22] 杜社泥, 白岗栓. 玉米地膜覆盖的土壤环境效应. 干旱地区农业研究, 2007, 25(5): 56–59.
Du S N, Bai G S. Studies on effects of plastic film mulching on soil environment of maize field. *Agric Res Arid Areas*, 2007, 25(5): 56–59 (in Chinese with English abstract).
- [23] 李玲玲, 黄高宝, 张仁陟, 晋小军, Chan K Y. 不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响. 生态学报, 2005, 25: 2326–2332.
Li L L, Huang G B, Zhang R Z, Jin X J, Chan K Y. Effects of conservation tillage on soil water regimes in rainfed areas. *Acta Ecol Sin*, 2005, 25: 2326–2332 (in Chinese with English abstract).
- [24] 殷文, 冯福学, 赵财, 于爱忠, 柴强, 胡发龙, 郭瑶. 小麦秸秆还田方式对轮作玉米干物质累积分配及产量的影响. 作物学报, 2016, 42: 751–757.
Yin W, Feng F X, Zhao C, Yu A Z, Chai Q, Hu F L, Guo Y. Effects of wheat straw returning patterns on characteristics of dry matter accumulation, distribution and yield of rotation maize. *Acta Agron Sin*, 2016, 42: 751–757 (in Chinese with English abstract).
- [25] 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. 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 and humidity in root zone and photosynthetic characteristics of rainfed maize. *Trans CSAE*, 2017, 33(5): 129–135 (in Chinese with English abstract).
- [26] 银敏华, 李援农, 李昊, 徐袁博, 张天乐, 谷晓博. 覆盖模式对农田土壤环境与冬小麦生长的影响. 农业机械学报, 2016, 47(4): 127–135.
Yin M H, Li Y N, Li H, Xu Y B, Zhang T L, Gu X B. Effects of mulching patterns on farmland soil environment and winter wheat growth. *Trans CSAM*, 2016, 47(4): 127–135 (in Chinese with English abstract).
- [27] 卜玉山, 苗果园, 周乃健, 邵海林, 王建程. 地膜和秸秆覆盖土壤肥力效应分析与比较. 中国农业科学, 2006, 39: 1069–1075.
Bu Y S, Miao G Y, Zhou N J, Shao H L, Wang J C. Analysis and comparison of the effects of plastic film mulching and straw mulching on soil fertility. *Sci Agric Sin*, 2006, 39: 1069–1075 (in Chinese with English abstract).