

覆盖方式对旱地春玉米根冠生长及水分利用效率的影响

司雷勇 夏镇卿 金岩 陈广周 王广福 路海东 薛吉全

(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, 712100, 陕西杨凌)

摘要 为了探讨干旱半干旱地区不同覆盖方式对春玉米根冠生长状况及水分利用的影响, 2014–2015 年在陕西省西北旱作区开展了不同覆盖方式试验。设黑色地膜覆盖 (BF)、白色地膜覆盖 (WF)、秸秆覆盖 (MS) 和裸地不覆盖 (CK) 4 个处理。试验于玉米生长的各个主要时期测定了玉米地下根系和地上部植株生长量, 玉米收获后测定产量与水分利用效率。结果表明, 黑色地膜覆盖较白色地膜覆盖、秸秆覆盖和裸地栽培能更好地协调玉米生育期的根冠比, 明显促进了玉米吐丝期后的根冠生长, 成熟期玉米根系体积黑色地膜覆盖方式下较白色地膜覆盖、秸秆覆盖和裸地栽培 2 年平均分别增加 16.51%、21.18% 和 44.23%, 单株干重 2 年平均分别增加 9.34%、21.66% 和 40.68%。黑色地膜覆盖方式下玉米生育后期的群体叶面积指数高, 根冠比大, 产量显著增加, 水分利用效率明显提高。玉米 2 年平均水分利用效率黑色地膜覆盖方式较普通白色地膜覆盖方式和秸秆覆盖方式分别提高 9.41% 和 13.75%。在西北旱作地区, 黑色地膜覆盖方式具有协调玉米根冠生长和提高玉米水分利用效率的增产效果。

关键词 玉米; 覆盖方式; 根冠比; 水分利用效率

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



水分是影响旱作地区作物生产的主要限制因素, 覆盖作为一种有效的保水保墒措施, 在旱地作物生产中发挥了重要的增产作用, 尤其是地膜覆盖, 已经成为旱地玉米增产的重要保证^[1]。地膜覆盖技术主要是通过改变土壤水分和温度来影响作物生产。大量研究表明, 地膜覆盖可以减少土壤无效蒸发, 保持土壤水分, 提高土壤温度, 促进作物增产^[2-3]。随着全球气候变暖, 旱地作物生长环境的温度进一步升高, 地膜增温作用促进玉米生长, 使得提前生育期^[4], 同时加快土壤养分分解^[5], 导致后期营养失衡^[6], 植株出现早衰^[7]现象, 从而严重制约了玉米产量的形成^[8]。探寻一种保水效果好, 又不会引起玉米后期早衰的覆盖技术, 对促进旱地玉米高产稳产意义重大。

不同覆盖材料, 对土壤的温度和水分影响不同。大量研究表明, 白色地膜覆盖可以显著提高土壤温度^[2-4], 而秸秆覆盖明显降低土壤温度^[9]。同时, 不同颜色的地膜, 对土壤温度的影响不同。黑色地膜透光率低, 辐射热透过少, 较普通白色

地膜明显降低地温^[10], 土壤温度的变化能有效引起植物生长的变化^[11]。前人关于地膜覆盖对玉米植株生长发育的研究取得了很大进展, 但有关西北旱地玉米根系发育, 特别是黑色地膜等不同覆盖材料下玉米根冠生长发育变化的研究相对薄弱。

植物的根系与地上部的生长密切相关, 二者相互依赖。根系的生长、代谢和活力变化可直接影响到地上部的生长发育^[12], 而地上部同化物的减少势必也会影响根部的生长, 使根部生长受限, 根系老化、发根力减弱, 进而影响根系对水分和养分的吸收^[13]。因此, 地上部的生长与地下部的生理状况有密切关系。由于对根系观察取样困难, 关于玉米植株生长的研究多以地上部为主, 地下部研究多集中在表层土壤, 取样深度不够^[14]。因此, 针对西北旱地玉米覆盖白色地膜后出现的早衰现象, 从玉米根系与地上部冠层互作角度出发, 研究不同覆盖方式下土壤水温改变后的玉米根冠生长及水分利用效率变化, 为明确不同覆盖方式下旱地玉米的产量形成机制, 实现高产高效栽培

作者简介: 司雷勇, 研究方向为玉米高产高效栽培, E-mail: sly_3531@163.com

路海东为通信作者, 主要研究方向为玉米高产高效栽培及机理, E-mail: lhd2042@163.com

基金项目: 国家自然科学基金 (31771724); 陕西省科技重点研发计划项目 (2018-NY-031); 西北农林科技大学推广专项 (TGZX2018-10)

收稿日期: 2019-07-23; 修回日期: 2019-09-11; 网络出版日期: 2019-10-31

提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2014–2015 年在陕西长武县西北农林科技大学玉米试验基地 (N: 34° 59'; E: 107° 38') 进行。试验地海拔 1 220m, 年均降水 580mm, 平均温度 9.1℃, 无霜期 171d, 无灌溉条件, 土壤类型为黑垆土, 0~20cm 土壤含有机质 11.56g/kg、速效氮 46.66mg/kg、速效磷 16.94mg/kg、速效钾 122.35 mg/kg。2014 和 2015 年玉米生长期内的降雨和温度等气象资料如图 1。

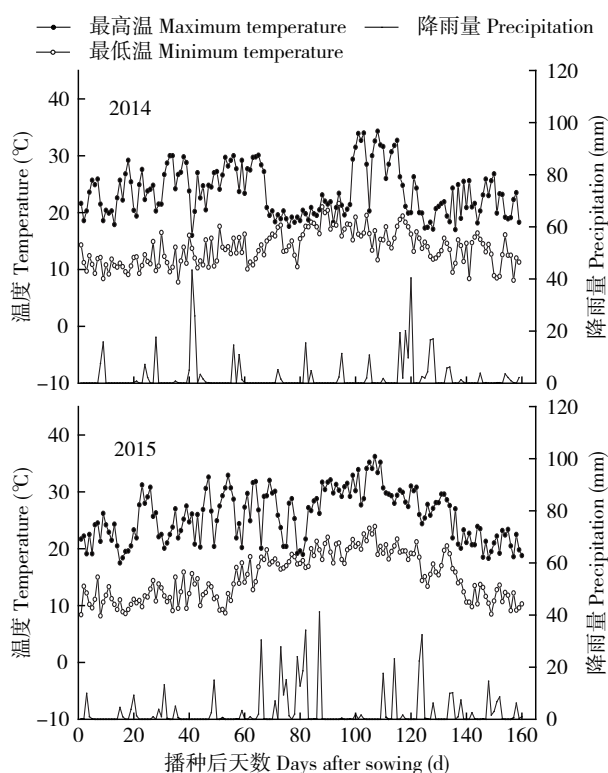


图 1 玉米生育期内温度和降雨量

Fig.1 Temperature and precipitation during the growth and development of maize

1.2 试验设计

以玉米 (*Zea mays* L.) 品种陕单 609 为研究材料, 设黑色地膜覆盖 (BF)、白色地膜覆盖 (WF)、秸秆覆盖 (MS) 和裸地 (CK) 4 个处理, 采用完全随机区组设计。地膜规格均为宽 70cm, 厚 0.008mm。秸秆切成 30cm 长, 按照 5 000kg/hm² 的用量均匀覆盖, 每处理 4 次重复。播种密度为 60 000 株/hm²。试验小区行长 6m, 行距 60cm, 小区面积为 18m² (6m×3m)。2014 年于 4 月 26 日播种, 9 月 27 日收

获; 2015 年于 4 月 25 日播种, 9 月 28 日收获。

采用机械覆膜, 人工点播, 施肥量为纯氮 255kg/hm², 纯磷 120kg/hm²。于播种前将总施氮量的 40% 和全部磷肥作为底肥结合整地一次深施, 于玉米拔节期追施剩余 60% 氮肥, 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 土壤水分 于玉米播种前和收获后, 用烘干法^[15]测定不同处理小区 0~200cm 土层的土壤含水量, 每 20cm 取一个样, 并记载玉米播种至成熟的田间降雨量。计算水分利用效率。

水分利用效率 (WUE) 指作物单位耗水量所产出的籽粒产量, 定义为作物产量 Y (kg/hm²) 与作物耗水量 ET (mm) 的比值^[16], $WUE=Y/ET$ 。

根据农田水量平衡原理: $ET=\Delta W+I+P+G$, 则有 $WUE=Y/(\Delta W+I+P+G)$, 式中 ΔW 为播种前到收获时土壤贮水量的变化值 (mm), I 为生育期灌水量 (mm), P 为生育期降水量 (mm), G 为作物利用地下水量 (mm)。试验地无灌溉条件, 因此 $I=0$ 。试验地地下水埋深 70m, 因此 $G=0$ 。

1.3.2 根系体积和干重 采用大田常规挖掘的方法, 连续选取 3 株代表性玉米植株, 以每株所占的行距和株距为一个样方, 取样长度从第 1 株 1/2 株距处开始到第 3 株 1/2 株距处截止, 取样宽度为植株左边 1/2 行距到右边 1/2 行距, 取样深度为 90cm, 分层挖取根系, 每 30cm 为一层, 用 300 目尼龙袋盛装。分别于玉米拔节期 (V6)、大喇叭口期 (V12)、吐丝期 (VT)、灌浆期 (R3) 和成熟期 (R6) (以黑色地膜覆盖处理为准) 进行取样。将各土层取得的根系样品进行清洗, 用滤纸吸干根系样品表面水分, 用排水法测定根体积。之后将根系样品烘干, 得到各土层根系干重。

1.3.3 地上部单株干重和叶面积指数 取样时期同 1.3.2, 选取各处理生育进程一致的健康植株 5 株, 测量每片叶片的叶长 (L) 和叶宽 (W); 同时, 将玉米植株地上部与地下部分开, 于 105℃ 杀青 30min 后, 80℃ 烘干至恒重, 测定单株干物质积累量。

叶面积指数 (LAI) = 单株叶面积/单位土地面积;

式中, 单株叶面积 = $\sum L \times W \times 0.75$ 。

1.3.4 产量 成熟期调查小区实有株数、空秆率、

鲜穗重、单株干重和病害情况,收获时调查小区果穗产量,同时选取20个代表性果穗进行室内考种,调查穗行数、行粒数、千粒重等穗部性状。根据20穗折干率计算小区籽粒产量,并折算成标准产量。

1.4 数据分析

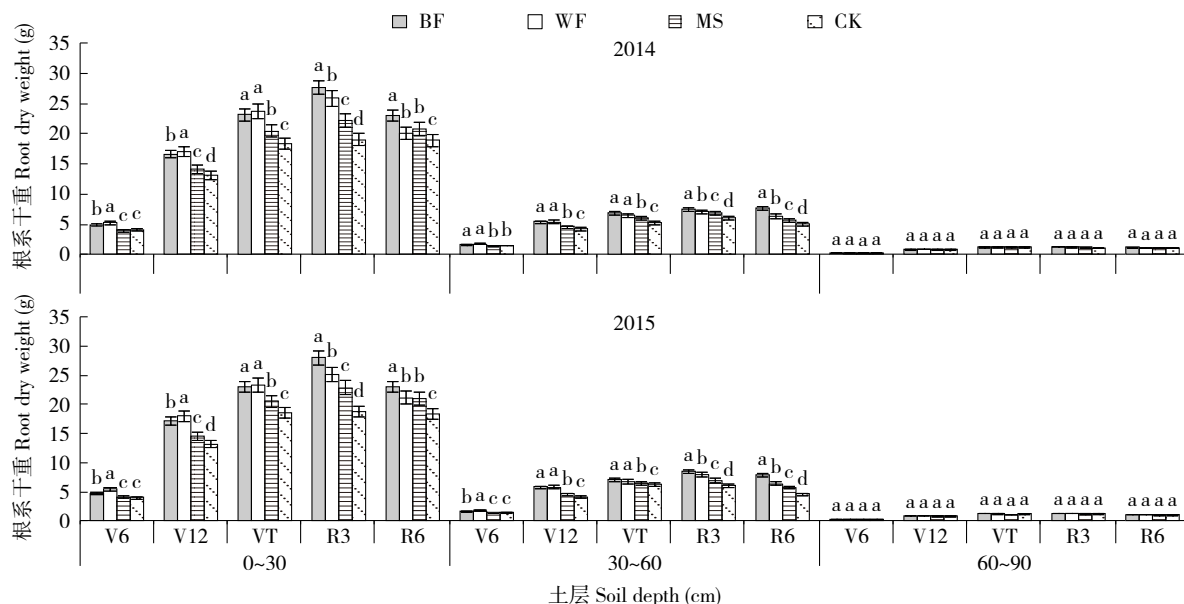
利用Excel 2003和Origin 2016作图,利用SPSS 12.0进行方差分析,采用LSD法进行多重比较。

2 结果分析

2.1 不同覆盖方式对玉米根系干重和根系体积的影响

2.1.1 根系干重 2014和2015年玉米各生育期的0~90cm土层根系干重随着土层深度的增加逐渐减少(图2),0~60cm土层玉米根系占到玉米总根系的95%以上。随生育期的推进玉米根系生长量逐

渐增加,灌浆期达到最大值,之后随着植株衰老,根系量下降。不同覆盖处理0~60cm土层内,黑色地膜覆盖处理的玉米根系干重显著($P<0.05$)高于秸秆覆盖和裸地处理。玉米吐丝期前,白色地膜覆盖处理的玉米根系干重最大,其次为黑色地膜覆盖处理,裸地和秸秆覆盖处理最小;玉米吐丝期后,黑色地膜覆盖处理的玉米根系干重显著($P<0.05$)高于白色地膜、秸秆覆盖和裸地处理;拔节期,秸秆覆盖和裸地处理间差异不显著;吐丝期,黑色地膜覆盖和白色地膜覆盖处理间差异不显著;成熟期,0~30cm土层内秸秆覆盖和白色地膜覆盖处理间差异不显著。可见,0~60cm土层地膜覆盖处理相比于秸秆覆盖和裸地处理更有利于促进玉米根系的生长,且黑色地膜覆盖处理吐丝期后的根系生长量显著高于白色地膜覆盖处理,具有减缓玉米



BF, 黑色地膜覆盖; WF, 白色地膜覆盖; MS, 玉米秸秆覆盖; CK, 裸地。V6, 拔节期; V12, 大喇叭口期; VT, 吐丝期; R3, 灌浆期; R6, 成熟期。不同小写字母表示不同处理在0.05水平差异显著。下同
BF, Black plastic film mulch; WF, White plastic film mulch; MS, Maize straw mulch; CK, Not mulch. V6, Jointing stage; V12, Bell stage; VT, Tasseling stage; R3, Filling stage; R6, Mature stage. Different lowercase letters mean significant difference at 0.05 level between different treatments. The same below

图2 玉米不同生育期0~90cm土层单株根系干重

Fig.2 Changes of root dry weight per plant in 0~90cm under different maize growth stages

吐丝后期根系衰老的作用。

2.1.2 根系体积 随着玉米生育期的推进,0~90cm土层玉米根系体积呈先增加后降低趋势,灌浆期根系体积达到最大(图3)。裸地处理的根系体积明显低于其他覆盖处理;黑色地膜覆盖和白色地膜覆盖处理根系体积明显大于秸秆覆盖处理。在玉米吐丝期以前,白色地膜覆盖处理的根系体积明显大于黑

色地膜处理,但是吐丝期以后,白色地膜处理的根系体积快速下降,黑色地膜覆盖处理的玉米根系体积则下降较为缓慢;成熟期,黑色地膜覆盖处理的玉米根系体积显著($P=0.032$)高于白色地膜覆盖、秸秆覆盖和裸地处理,两年平均根系体积黑色地膜覆盖较白色地膜覆盖、秸秆覆盖和裸地处理分别增加16.51%、21.18%和44.23%。

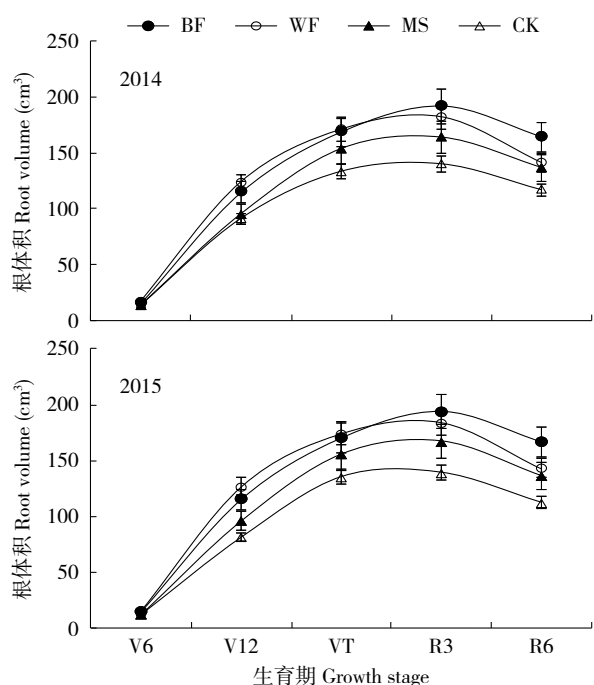


图3 不同覆盖条件下玉米各生育期根系体积变化
Fig.3 Changes of root volume under different mulching cultivation conditions of maize growth stages

2.2 不同覆盖方式对地上部玉米单株干重和 LAI 的影响

2.2.1 单株干重 玉米地上部单株干重随着生育期的推进不断增加 (图 4), 成熟期达到最大。覆膜处

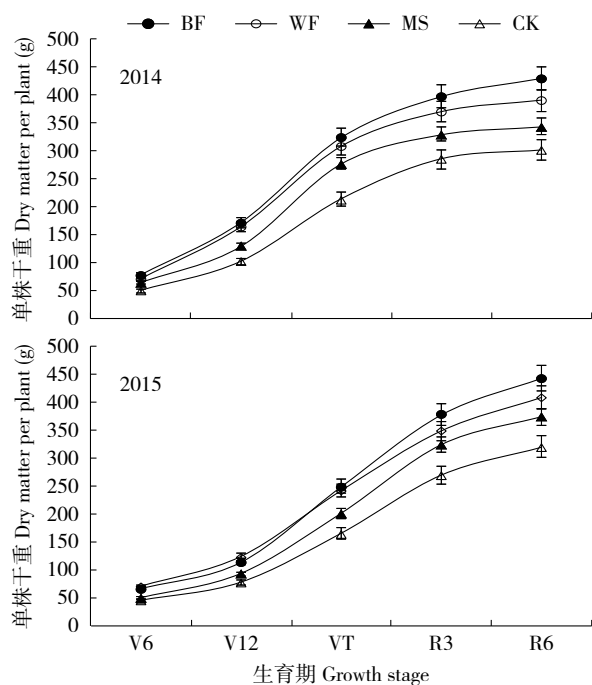


图4 不同覆盖条件下玉米各生育期地上部单株干重变化
Fig.4 Changes of dry weight per plant under different mulching cultivation conditions of maize growth stages

理显著 ($P=0.008$) 高于秸秆覆盖和裸地处理。在玉米吐丝期以前, 不同颜色地膜处理间没有明显差异, 但在玉米灌浆期和成熟期, 黑色地膜覆盖处理显著 ($P=0.024$ 、 $P=0.011$) 高于白色地膜覆盖处理。成熟期, 地上部单株干重黑色地膜覆盖较白色地膜覆盖、秸秆覆盖和裸地处理两年平均分别增加 9.34%、21.66% 和 40.68%。可见, 地膜覆盖较秸秆覆盖和裸地处理能够显著提高玉米地上部单株干物质积累量, 而黑色地膜覆盖的效果更佳, 尤其是在玉米吐丝期以后, 黑色地膜覆盖处理的单株干重显著 ($P=0.031$) 高于白色地膜覆盖、秸秆覆盖和裸地处理。

2.2.2 LAI 玉米整个生育期的群体 LAI 呈现先增加后降低的变化趋势 (图 5), 吐丝期 LAI 达到最大, 然后随着叶片衰老, LAI 下降。在吐丝期以前, 白色地膜覆盖和黑色地膜覆盖处理间没有明显差异, 但均明显高于秸秆覆盖和裸地处理; 从吐丝期开始, 黑色地膜处理的 LAI 明显高于白色地膜处理, 尤其在成熟期黑色地膜覆盖较白色地膜覆盖差异显著 ($P=0.041$)。从吐丝至成熟期的玉米 LAI 变化趋势来看, 白色地膜覆盖下玉米 LAI 降低幅度明显高于黑色地膜和秸秆覆盖处理。可见, 白色地膜覆盖加剧了玉米吐丝后期的叶片衰老, 造成了 LAI

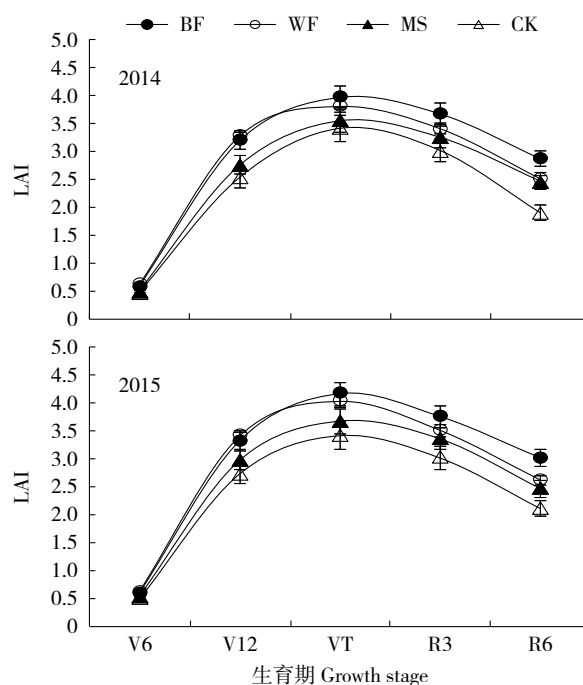


图5 不同覆盖条件下玉米各生育期群体 LAI 变化
Fig.5 Changes of leaf area index under different mulch patterns of maize growth stages

急剧下降。

2.3 不同覆盖方式对玉米根冠比的影响

2014 和 2015 年不同覆盖处理的玉米根冠比均随玉米生育进程推进呈现降低的趋势（图 6）。拔节期，玉米根冠比大小为裸地>秸秆覆盖>白色地膜覆盖>黑色地膜覆盖，且裸地处理与覆盖处理差异显著（ $P=0.002$ ）；不同处理间大喇叭口期和吐丝期

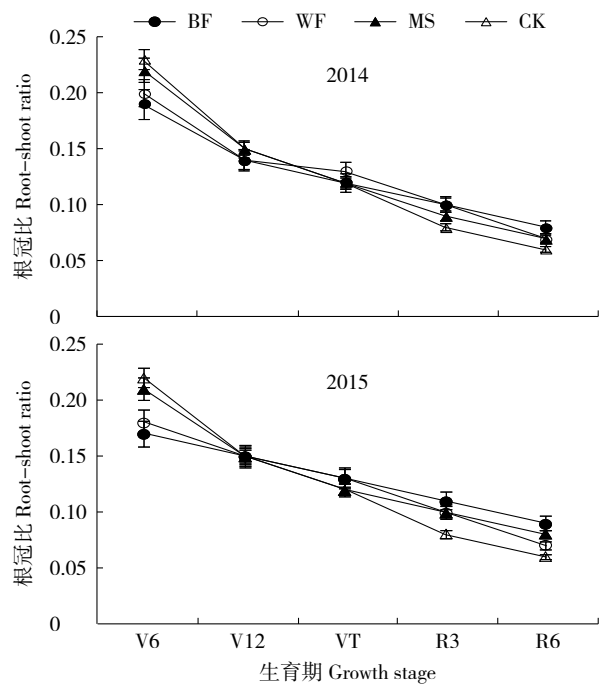


图 6 不同覆盖条件下玉米各生育期的根冠比
Fig.6 Changes of root–shoot ratio under different mulching cultivation conditions of maize growth stages

差异不明显。玉米灌浆期和成熟期根冠比大小为黑色地膜覆盖>秸秆覆盖>白色地膜覆盖>裸地，且黑色地膜覆盖处理较秸秆覆盖、白色地膜覆盖和裸地处理差异显著（ $P=0.035$ ）。可见，覆盖栽培具有良好的增温和保水作用，明显促进了玉米前期的地上部冠层生长，根冠比较小；而裸地处理由于土壤温度较低，玉米生长发育缓慢，地上部冠层明显较小，同时，裸地栽培的土壤缺水，促进了前期根系的生长，所以根冠比较大；随着生育期推进，裸地处理土壤水分蒸发量增加，干旱胁迫程度增加，导致后期根系发育受阻，由于气温的升高，地上部冠层发育相对较快，造成根冠比下降；覆盖处理较好的保持了土壤水分，为后期玉米根系发育提供了适宜环境，增大根冠比。黑色地膜覆盖玉米后期根冠比显著（ $P=0.037$ ）高于其他处理。

2.4 不同覆盖方式对玉米产量和 WUE 的影响

不同覆盖方式玉米产量、耗水量和 WUE 差异显著（表 1），覆盖处理的产量显著高于裸地对照。黑色地膜覆盖处理产量显著高于白色地膜和秸秆处理，两年平均产量分别较白色地膜和秸秆覆盖处理增加 9.59% 和 17.31%。从玉米生育期的耗水量来看，裸地处理耗水量最高，其次为地膜覆盖处理，秸秆覆盖处理最低；不同颜色地膜覆盖处理间没有显著差异。裸地处理水分利用效率显著低于其他覆盖处理，而黑色地膜覆盖处理则显著高于白色地膜覆盖和秸秆覆盖处理，两年平均水分利用效率分别

表 1 不同覆盖方式下玉米产量、耗水量及 WUE						
Table 1 Yield, water consumption and water use efficiency of maize under different mulching cultivation conditions						
处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm ²)		耗水量 Water consumption (mm)		水分利用效率 Water use efficiency [kg/(hm ² ·mm)]	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
WF	11 070.65b	11 249.40b	447.18b	445.01b	24.76b	25.28b
BF	12 153.70a	12 307.58a	448.06b	445.38b	27.12a	27.63a
MS	10 343.40c	10 507.74c	433.62c	432.69c	23.85c	24.28b
CK	9 962.80d	9 987.03d	454.21a	453.41a	21.93d	22.03c

注：WF，白色地膜覆盖；BF，黑色地膜覆盖；MS，玉米秸秆覆盖；CK，裸地。同列不同小写字母在 0.05 水平差异显著
Note: WF, White plastic film mulch; BF, Black plastic film mulch; MS, Maize straw mulch; CK, No mulch. Different lowercase letters in the same column are significant difference at 0.05 level

较白色地膜覆盖和秸秆覆盖提高 9.41% 和 13.75%。

3 讨论

根系是作物获取土壤养分和水分的重要器官，生长发育能力强的根系可形成较大的根区体积，使玉米地上部叶片维持较大的叶面积^[17]。不同的农业

栽培措施对作物根系的生长和分布、地上部生长及产量形成影响不同^[18]。樊廷录等^[19]研究发现，在旱作地区，地膜覆盖显著提高小麦的根系干重，促进根系的生长和发育。本研究结果表明，不同覆盖方式下，旱作春玉米的根系干重和根系体积显著高于裸地栽培。不同覆盖材料比较，在吐丝期前，玉

米根系干重和根系体积的大小顺序均为白色地膜>黑色地膜>秸秆覆盖; 玉米吐丝期后, 其顺序为黑色地膜>白色地膜>秸秆覆盖。成熟期, 黑色地膜覆盖处理的玉米根系体积较白色地膜覆盖和秸秆覆盖分别增加 16.51% 和 21.18%。宋日等^[20]研究认为, 深松措施能打破犁底层, 可明显改善根系生长的生态条件, 促进根系生长, 根干重比对照增加 14.3%, 玉米生长后期的根系活力比对照高 12.4%。不同覆盖方式对玉米根系生长的影响可能正是由于不同覆盖方式下玉米根系生长的土壤水热条件改变导致^[10,21]。路海东等^[10]研究发现, 在西北旱作春玉米区, 地膜覆盖的保水效果明显优于秸秆覆盖, 黑色地膜较白色普通地膜可显著降低玉米根区土壤白天最高温度, 使玉米生育期延长。从本研究结果来看, 玉米吐丝期前白色地膜覆盖时玉米根系干重较大, 可能是由于白色地膜覆盖下土壤温度较高, 促进了前期玉米生长发育和根系生长; 而玉米吐丝期后, 黑色地膜覆盖较秸秆和白色地膜覆盖玉米根系干重和根系体积明显提高, 可能是由于黑色地膜覆盖时土壤水热条件相对于白色地膜和秸秆覆盖更加适宜, 延缓根系衰老, 有利于玉米根系保持较高的活力, 从而延长玉米的生育期。关于不同覆盖处理下玉米根系衰老生理指标变化还有待进一步研究。

增加群体光能捕获是提高玉米产量的重要途径^[21], LAI 在作物捕获光能方面扮演着重要角色^[22]。本研究结果表明, 玉米各生育期覆盖处理的 LAI 显著高于裸地处理; 吐丝期以前, 玉米 LAI 为白色地膜>黑色地膜>秸秆覆盖, 但白色地膜和黑色地膜处理间差异不显著; 从吐丝期开始, 白色地膜覆盖下玉米 LAI 下降幅度明显高于黑色地膜和秸秆覆盖处理, 黑色地膜覆盖处理的 LAI 较高, 尤其在成熟期, 黑色地膜覆盖的 LAI 显著高于白色地膜覆盖、秸秆覆盖和裸地处理。可见, 在西北旱作地区, 覆盖是促进玉米生长的有效方式, 但黑色地膜覆盖既有利于促进玉米前期群体叶面积生长, 又有利于延缓玉米后期的叶片衰老, 保证较高的 LAI 及光合能力^[7]。众多学者研究^[15,22-23]认为, 保持玉米生育期较高的 LAI 是玉米干物质形成和获得高产的重要保证。本研究结果发现, 玉米不同生育阶段的植株干物质积累量与 LAI 变化一致, 在玉米吐丝期以前, 不同颜色地膜间没有明显差异, 但在玉米灌浆期和成熟期, 黑色地膜覆盖处理显著高于普

通白色地膜覆盖处理。成熟期, 黑色地膜覆盖方式下玉米地上部单株干重较白色地膜覆盖、秸秆覆盖和裸地处理 2 年平均分别增加 9.34%、21.66% 和 40.68%。这可能是由于黑色地膜覆盖处理使玉米灌浆期保持了较高的 LAI, 进而促进光能的捕获和玉米后期干物质的积累。

Kante 等^[24]研究认为, 作物地上部叶片的生长与地下部根系生长密切相关。合理的根冠比对提高作物水分利用效率、促进作物增产具有重要作用^[25]。本研究结果表明, 在西北旱作春玉米区, 不同覆盖方式具有良好的保水功能, 促进玉米前期的地上部冠层生长, 相对于裸地处理根冠比较小, 但随着生育期推进, 裸地处理干旱胁迫程度增加, 根系发育受阻, 根冠比显著降低, 而覆盖处理由于保持了土壤水分, 为后期玉米根系发育提供了适宜的生长环境, 根冠比明显提高。黑色地膜覆盖下玉米后期根冠比明显高于白色地膜和秸秆处理。可见, 覆盖方式通过对玉米根区土壤的水热环境影响^[3-4,10], 进一步调控玉米的植株生长和根冠发育, 黑色地膜覆盖有效协调了玉米根冠关系, 保证了玉米不同阶段较高的群体 LAI 和单株干物质生产量, 促进产量的形成。Li 等^[4]和 Dong 等^[26]研究认为, 在干旱半干旱地区, 与裸地栽培、秸秆覆盖及沙石覆盖相比, 地膜覆盖是一种有效提高作物产量的种植方式。本研究结果表明, 地膜覆盖的产量显著高于秸秆覆盖和裸地处理, 进一步证实了地膜覆盖的优势; 黑色地膜覆盖处理玉米产量显著高于白色地膜覆盖处理。这与张琴^[27]、李仙岳等^[28]在北方旱作地区的研究结果一致。

作物水分利用效率是反映旱作地区作物水分生产能力的重要指标^[1-2,5-8]。本研究结果表明, 黑色地膜覆盖, 玉米 WUE 显著高于白色地膜覆盖、秸秆覆盖和裸地栽培。从玉米整个生育期的耗水量来看, 裸地栽培由于土壤蒸发量大, 耗水量最高, 秸秆覆盖虽然有效降低了玉米生育期的耗水量, 但是由于玉米干物质积累量较少, 产量显著降低, 从而造成作物 WUE 低; 黑色地膜虽然耗水量与白色地膜差异不大, 但黑色地膜覆盖时玉米根冠发育良好, 后期根冠衰老慢, 群体 LAI 高, 光合能力强, 干物质积累量大, 产量显著增加, WUE 最高。可见, 在西北干旱半干旱地区, 黑色地膜覆盖方式有助于协调玉米根冠发育, 促进植株干物质生产, 提高作

物 WUE。

4 结论

在西北旱作地区,黑色地膜覆盖较白色地膜覆盖、秸秆覆盖和裸地栽培能明显促进玉米生育期的根冠生长,玉米根系体积分别增加 16.51%、21.18% 和 44.23%,单株干重分别增加 9.34%、21.66% 和 40.68%。黑色地膜覆盖方式下玉米生育后期的群体 LAI 和产量显著增加,WUE 明显提高。玉米生产 WUE 黑色地膜覆盖处理较白色地膜覆盖和秸秆覆盖处理分别提高 9.41% 和 13.75%。

参考文献

- [1] Wang Y P, Li X G, Zhu J, et al. Multi-site assessment of the effects of plastic-film mulch on dryland maize productivity in semiarid areas in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2016, 220: 160–169.
- [2] Zhang Y Q, Wang J D, Gong S H, et al. Effects of film mulching on evapotranspiration, yield and water use efficiency of a maize field with drip irrigation in northeastern China. *Agricultural Water Management*, 2018, 205: 90–99.
- [3] Wang L, Li X G, Guan Z H, et al. The effects of plastic-film mulch on the grain yield and root biomass of maize vary with cultivar in a cold semiarid environment. *Field Crops Research*, 2018, 216(18): 89–99.
- [4] Li S Y, Li Y, Lin H X, et al. Effects of different mulching technologies on evapotranspiration and summer maize growth. *Agricultural Water Management*, 2018, 201: 309–318.
- [5] 李世清, 李东方, 李凤民, 等. 半干旱农田生态系统地膜覆盖的土壤生态效应. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 2003, 31(5): 21–28.
- [6] Bu L D, Zhu L, Liu J L, et al. Source-sink capacity responsible for higher maize yield with removal of plastic film. *Agronomy Journal*, 2013, 105(3): 591–598.
- [7] 路海东, 薛吉全, 郭东伟, 等. 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.
- [8] 张冬梅, 池宝亮, 黄学芳, 等. 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.
- [9] 卢星航, 史海滨, 李瑞平, 等. 覆盖后秋浇对翌年春玉米生育期水热盐及产量的影响. *农业工程学报*, 2017, 33(1): 148–154.
- [10] 路海东, 薛吉全, 郝引川, 等. 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(7): 1997–2004.
- [11] Walker J M. One degree increment in soil temperature affects maize seedling behavior. *Soil Science Society of America Journal*, 1969, 33(5): 729–736.
- [12] Garnett T, Conn V, Kaiser B N. Root based approaches to improving nitrogen use efficiency in plants. *Plant Cell and Environment*, 2009, 32(9): 1272–1283.
- [13] Zhang H, Xue Y G, Wang Z Q, et al. Morphological and physiological traits of roots and their relationships with shoot growth in "super" rice. *Field Crops Research*, 2009, 113(1): 31–40.
- [14] Herder G D, Isterdael G V, Beeckman T, et al. The roots of a new green revolution. *Trends in Plant Science*, 2010, 15(11): 600–607.
- [15] Wang Y Y, Zhang L L, Zhou N, et al. Late harvest and foliar fungicide acted together to minimize climate change effects on summer maize yield in the North China Plain during 1954–2015. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2018, 265: 535–543.
- [16] 路海东, 薛吉全, 郝引川, 等. 播期对雨养旱地春玉米生长发育及水分利用的影响. *作物学报*, 2015, 41(12): 1906–1914.
- [17] 米国华, 陈范骏, 春亮, 等. 玉米氮高效品种的生物学特性. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(1): 155–159.
- [18] Herrera J M, Büchi L, Rubio G, et al. Root decomposition at high and low N supply throughout a crop rotation. *European Journal of Agronomy*, 2017, 84: 105–112.
- [19] 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. *干旱地区农业研究*, 1997(1): 30–35.
- [20] 宋日, 吴春胜, 牟金明, 等. 深松土对玉米根系生长发育的影响. *吉林农业大学学报*, 2000, 22(4): 73–75, 80.
- [21] Liu T N, Chen J Z, Wang Z Y, et al. Ridge and furrow planting pattern optimizes canopy structure of summer maize and obtains higher grain yield. *Field Crops Research*, 2018, 219: 242–249.
- [22] Comas L H, Trout, T J, DeJonge K C, et al. Water productivity under strategic growth stage-based deficit irrigation in maize. *Agricultural Water Management*, 2019, 212: 433–440.
- [23] 李言照, 东先旺, 刘光亮, 等. 光温因子对玉米产量及产量构成因素值的影响. *中国生态农业学报*, 2002, 10(2): 86–89.
- [24] Kante M, Revilla P, Fuente M D L, et al. Stay-green QTLs in temperate elite maize. *Euphytica*, 2016, 207(2): 462–473.
- [25] 孟兆江, 段爱旺, 王晓森, 等. 调亏灌溉对棉花根冠生长关系的影响. *农业机械学报*, 2016, 47(4): 99–104.
- [26] Dong Q G, Yang Y C, Yu K, et al. Effects of straw mulching and plastic film mulching on improving soil organic carbon and nitrogen fractions, crop yield and water use efficiency in the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management*, 2018, 201: 133–143.
- [27] 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): 57–64.
- [28] 李仙岳, 郭宇, 丁宗江, 等. 不同地膜覆盖对不同时间尺度地温与玉米产量的影响. *农业机械学报*, 2018, 49(9): 247–256.

Impacts of Different Mulching Patterns on Root-Shoot Growth of Spring Maize and Water Use Efficiency in Dry Land

Si Leiyong, Xia Zhenqing, Jin Yan, Chen Guangzhou, Wang Guangfu, Lu Haidong, Xue Jiquan

(College of Agronomy, Northwest Agriculture and Forestry University/Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Maize in Arid Area of Northwest Region, Ministry of Agriculture and Rural Areas, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract In order to explore the effects of different mulch patterns on growth of root shoot ratio of spring maize

and water use efficiency in arid and semi-arid regions, different mulch patterns were tested in dryland of northwest, Shaanxi Province from 2014 to 2015. This study included four treatments, black plastic film mulch (BF), white plastic film mulch (WF), maize straw mulch (MS) and bare land without plastic film mulch (CK). The growth of maize underground roots and aboveground plants was measured systematically in each main stage of maize growth, the yield and water use efficiency were measured after maize harvest. The results showed that black plastic film mulching could better coordinate the root shoot ratio in the growth stage of maize than the white plastic film mulch, maize straw mulch and bare land without plastic film mulch, and especially significantly promoted root shoot ratio growth after maize tasseling stage. The average root volume of two years increased by 16.51%, 21.18% and 44.23%, and the average dry weight of individual maize of two years increased by 9.34%, 21.66% and 40.68% respectively in the mature stage. Under the black plastic film mulch treatment, the population at the later stage of maize growth had higher leaf area index, higher root-shoot ratio, significantly increased grain yield and significantly increased water use efficiency. The two year average maize water use efficiency under the black plastic film mulch treatment was increased by 9.41% and 13.75% than white plastic film mulch treatment and maize straw mulch treatment, respectively. Therefore, black plastic film mulch could increase yield by coordinating root and crown growth of maize and improve the water use efficiency in the northwest arid area.

Key words Maize; Mulching pattern; Root-shoot ratio; Water use efficiency