

栽培方式对玉米根系生长及水分利用效率的影响*

高玉红¹ 郭丽琢¹ 牛俊义^{1**} 闫志利² 刘建华³ 徐 锐¹ 王 彦¹

(1. 甘肃农业大学农学院 兰州 730070; 2. 河北科技师范学院 秦皇岛 066004;

3. 甘肃省农业科学研究院 兰州 730070)

摘 要 为进一步明确我国西北地区全膜双垄沟播玉米栽培技术的增产机理, 为干旱半干旱地区玉米高产栽培提供理论与技术支持, 2008—2009 年采用田间试验方法, 研究了 7 种不同栽培方式对陇东地区旱地玉米根系时空分布、产量及水分利用效率的影响。结果表明: 不同栽培方式下玉米根系长度和根干重均随生育期的推进逐渐增加, 且随土层的加深呈逐渐下降趋势。其中, 全膜双垄沟播等行距种植模式 0~150 cm 土层玉米根系长度显著大于半膜双垄沟播、常规地膜覆盖和露地种植模式($P<0.05$); 120~150 cm 土层根长百分比表现为全膜双垄沟播撮苗种植模式最大, 全膜双垄沟播等行距种植模式次之, 露地种植模式最小; 根干重主要集中在 0~30 cm 土层, 且垄沟>垄中, 全膜双垄沟播>常规覆膜>半膜双垄沟播, 等行距种植>撮苗种植; 与半膜双垄沟播、常规地膜覆盖和露地种植模式相比, 全膜双垄沟播等行距种植玉米籽粒产量分别提高 17.72%、22.01%和 47.00%, 水分利用效率分别提高 6.41%、18.54%和 43.57%, 是陇东地区旱作玉米的最佳栽培方式。

关键词 玉米 栽培方式 根系 水分利用效率 籽粒产量 陇东地区

中图分类号: S513; S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2012)02-0210-07

Effect of cultivation patterns on growth of maize root and water use efficiency

GAO Yu-Hong¹, GUO Li-Zhuo¹, NIU Jun-Yi¹, YAN Zhi-Li², LIU Jian-Hua³, XU Rui¹, WANG Yan¹

(1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Hebei Normal University of Science & Technology, Qinhuangdao 066004, China; 3. Gansu Agricultural Academy of Sciences, Lanzhou 730070, China)

Abstract Field experiments were conducted in 2008–2009 to study the effects of 7 cultivation patterns on the distributions of maize roots, yield and water use efficiency (*WUE*). The objective of the study was to further make clear the enhancing mechanisms of maize production under full film mulching and double furrow system in northwest China and to lay the theoretical and technological basis of cultivation techniques for high-yield maize in arid/semi-arid areas. The results showed that while root length and dry weight gradually increased with growth duration, and they gradually declined with soil depth under different cultivation patterns. Root length in the 0~150 cm soil layer under even row-spacing sowing in furrow with whole film mulching was significantly longer than those under sowing in furrow with semi-film mulching and conventional cultivation with or without film mulching. Pinch sowing in furrow with whole film mulching had the highest percent root length distribution in the 120~150 cm soil depth, followed by even row-spacing sowing in furrow with whole film mulching. Conventional cultivation without film mulching had the least percent root length distribution in the 120~150 cm soil layer. Most of the root dry weight was concentrated in the 0~30 cm soil layer, and was higher in furrows than in ridges. Root dry weight order was as follows: sowing in furrow with whole film mulching > conventional cultivation with film mulching > sowing in furrow with semi-film mulching, even row-spacing sowing > pinch sowing. The results further showed that even row-spacing sowing in furrow with whole film mulching improved grain yield by 17.72%, 22.01% and 47.00%, and *WUE* by 6.41%, 18.54% and 43.57%, respectively, compared with sowing in furrow with semi-film mulching, conventional cultivation with film mulching and conventional cultivation without film mulching. Even row-spacing sowing in furrow with whole film mulching was the optimum maize cultivation method in Longdong area of northwest China.

Key words Maize, Cultivation pattern, Root system, Water use efficiency, Grain yield, Longdong area

* 国家自然科学基金项目(30960187)资助

** 通讯作者: 牛俊义(1957—), 男, 博士, 教授, 研究方向为农作物高产高效栽培理论与技术体系、农作物抗旱生态生理。E-mail: niujy@gsau.edu.cn
高玉红(1978—), 女, 在读博士, 讲师, 研究方向为作物高产高效栽培理论与技术。E-mail: gaoyh@gsau.edu.cn

收稿日期: 2011-04-04 接受日期: 2011-08-26

(Received Apr. 4, 2011; accepted Aug. 26, 2011)

近年来,如何有效地利用有限资源,提高水分、养分利用效率已成为获取作物高产的研究热点。有关玉米在不同密度、施肥及耕作方式条件下根系的研究已有报道^[1-7],认为适宜的栽培措施可以改善土壤的理化特性,促进玉米根系的生长,提高水分利用效率,实现增产目标。王玉贞等^[6-8]研究指出,采用地膜覆盖可明显地改善玉米根系生长的生态条件,使根干重显著增加。针对我国干旱半干旱地区春季气候干旱、降水少、休闲期蒸发量大以及传统地膜覆盖方式不能最大限度地利用降水资源等问题,在玉米常规覆膜栽培技术的基础上提出了全膜双垄沟播栽培技术。该技术改常规半膜覆盖为全地面覆盖地膜,改常规地膜平铺为起垄覆膜,改常规垄上种植为垄沟内种植,与常规地膜覆盖、半膜平铺和垄作覆膜栽培方式相比,土壤地温明显高于露地^[9],显著提高了水分利用率和籽粒产量^[10-11]。本文对不同覆盖栽培方式下玉米根系的时空分布特征及水分利用效率、籽粒产量进行了研究,旨在为我国干旱半干旱地区完善玉米高产栽培技术措施、提高产量提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于2008—2009年在农业部甘肃镇原黄土旱塬生态环境重点野外科学观测站(35°30'N, 107°29'E)进行。该站位于海拔1297 m的黄河中游黄土高原沟壑区的陇东地区,属温带大陆性气候,有明显的半湿润向半干旱过渡的大陆性温带季风气候特征,年平均气温9.9℃,≥10℃的积温2842℃,干燥度1.17,年辐射量554.3~565.2 KJ·cm⁻²,年日照时数2249~2437 h,无霜期130 d左右,年均降雨548.9 mm,且变率大,7—9月降雨占全年降雨量的54.1%,年蒸发量平均为1524.8 mm,为典型的半湿润偏旱雨养农业区^[12-13]。试验供试土壤为黑垆土,有机质含量为11 g·kg⁻¹,全氮0.98 g·kg⁻¹,碱解氮62 mg·kg⁻¹,速效磷8.40 mg·kg⁻¹,速效钾248 mg·kg⁻¹,pH 8.4。

供试玉米品种为“沈单16号”,密度为5.25×10⁴株·hm⁻²,施尿素391.5 kg·hm⁻²(N46%),普通过磷酸钙1500 kg·hm⁻²(P₂O₅12%),其中,尿素60%作基肥施入,40%分别在拔节期和灌浆期按1:1的比例追施,普通过磷酸钙全部作基肥施入。

试验设常规露地等行距种植(A, CK)、半膜双垄

沟播等行距种植(B)、全膜双垄沟播等行距种植(C)、常规地膜覆盖等行距种植(D)、常规地膜覆盖撮苗种植(E)、全膜双垄沟播撮苗种植(F)、半膜双垄沟播撮苗种植(G)7种栽培方式。平均行距为55 cm,株距35 cm。全膜双垄沟播技术采取先起双垄(小垄宽40 cm、垄高15~20 cm,大垄宽70 cm、垄高10~15 cm),使大小垄相接处形成播种沟,然后采用宽120 cm的超薄膜全地面覆;半膜双垄沟播采用120 cm的超薄膜,在大垄垄中留30~35 cm不覆膜;常规地膜覆盖采用80 cm的超薄膜;撮苗种植采取奇数行与偶数行的植株错开种植;等行距采取奇数行与偶数行植株对称种植。按单因素随机区组试验设计,共7个处理,每处理3次重复,小区面积19.8 m²(3.3 m×6 m),小区间走道40 cm,重复间走道60 cm。2008—2009年分别于4月5日和4月19日(因2009年气温偏低,播期推迟)播种,9月6日和9月20日收获,其他管理方式同一般大田。

1.2 测定项目及方法

根系调查:采用郑纯辉等^[14]的方法,在玉米抽雄期和灌浆期,每处理选取垄沟和垄中2个样点(垄中以与垄沟相平为起点),采用大口径根钻(钻头长20 cm,直径10 cm)垂直向下钻150 cm,每30 cm取1个样本。将样本进行冲洗后检出所有根系,分别测定根系长度及根干重,每期取5株,重复3次计平均值。根系长度采用网格交差法测定:用玻璃制成一平盘(30 cm×40 cm),将方格纸置于平盘下,将样本湿根置于盛有少量水的平盘中,用镊子把根拨到网格上,避免使其彼此重叠,而后记下根与网格垂直线和水平线的交叉点数,用公式(根系长度=总交叉点数×0.786)计算根长。根干重采用烘干法测定:将洗净的玉米根系在105℃下杀青20 min,再在85℃恒温下烘4~6 h至恒重,测其干重^[1]。

土壤含水量测量:分别于播种前和收获后测定土壤含水量,测定深度分别为0~30 cm、30~60 cm、60~90 cm、90~120 cm和120~150 cm,称湿重后,在105℃恒温下烘8 h至恒重,称干重,计算土壤含水量。土壤储水量、作物耗水量和土壤水分利用率采用廖允成等^[15]的方法计算。

$$Sw = d \times r \times w / 10 \quad (1)$$

式中, Sw 为土壤储水量(mm), d 为土层厚度(cm), r 为土壤容重(g·cm⁻³), w 为土壤含水量(%)。

耗水量(mm)=播种前土壤储水量(mm)+降雨量(mm)-

$$\text{收获后土壤储水量(mm)} \quad (2)$$

土壤水分利用率(WUE , $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$)=
玉米籽粒产量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)/耗水量(mm) (3)
收获时按小区实测产量。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 进行数据计算, 用 SPSS 13.0 统计软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同栽培方式下玉米抽雄期和灌浆期根长沿土壤深度的动态变化及垂直分布比例

2.1.1 根长沿土壤深度的动态变化

图 1 可见, 2008 年和 2009 年各处理玉米根长在抽雄期和灌浆期均随土层深度的加深而减小, 覆膜使玉米 0~150 cm 土层根长明显增大。其中, 全膜双垄沟播种植模式(C, F)下玉米总根长最长(256.37 cm), 较半膜覆盖(B, G)高 22.91%~71.99%, 较常规露地种植(A)高 60.57%~138.71%。抽雄期全膜双垄沟播等行距种植(C)的均根长显著优于其他处理($P<0.05$), 半膜双垄沟播等行距种植(B)、全膜双垄沟播等行距种植(C)、常规地膜覆盖等行距种植(D)、常规地膜覆盖撮苗种植(E)、全膜双垄沟播撮苗种植(F)、半膜双垄沟播撮苗种植(G)的均根长 2008 年分

别较处理 A(对照)高 48.51%、58.11%、27.95%、29.79%、43.09%、41.61%。2009 年依次高 52.26%、60.57%、29.10%、32.62%、46.84%、43.91%。

灌浆期各处理根系生长量发生变化, 0~30 cm 土层表现为处理 B 和 C 与其他处理间差异均达显著水平($P<0.05$, 下同); 30~90 cm 土层常规种植(A、D 和 E)、半膜覆盖(B 和 G)、全膜覆盖(C 和 F)之间玉米根长存在显著差异; 90~120 cm 土层表现为 2008 年除 B、C、F 外, 2009 年除全膜覆盖(C 和 F)与常规地膜覆盖(D 和 E)外, 与其他处理间差异显著, 这可能与 2009 年玉米生育期降雨量较少有关; 120~150 cm 土层表现为除双垄沟播撮苗种植(F 和 G)外, 各处理间差异均达显著水平。均根长表现为 2008 年半膜双垄沟播等行距种植(B)、全膜双垄沟播等行距种植(C)、常规地膜覆盖等行距种植(D)、常规地膜覆盖撮苗种植(E)、全膜双垄沟播撮苗种植(F)、半膜双垄沟播撮苗种植(G)分别较常规露地等行距种植(A)高 34.28%、39.66%、19.58%、28.65%、39.48%、27.31%; 2009 年高 30.06%、38.01%、9.73%、24.43%、37.60%、21.29%。可见, 此期各处理根长表现为全膜双垄沟播(C 和 F)>半膜双垄沟播(B 和 G)>常规覆膜(D 和 E)>露地(A, CK), 等行距种植(B、C 和 D)>撮苗种植

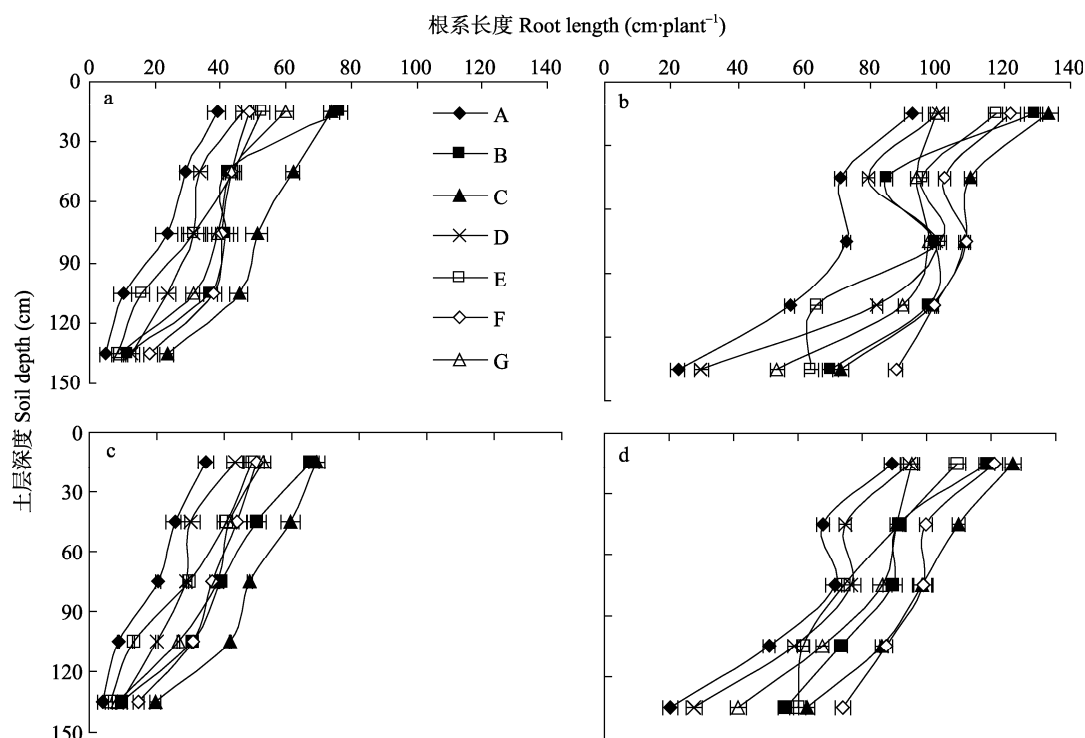


图 1 不同栽培方式下 2008 年抽雄期(a)和灌浆期(b)、2009 年抽雄期(c)和灌浆期(d)玉米根长沿土壤深度的动态变化

Fig. 1 Dynamic variation of maize root length along soil profile under different cultivation methods at tasseling stage (a) and grain-filling stage (b) in 2008, tasseling stage (c) and grain-filling stage (d) in 2009

A: 常规露地等行距种植 Even row-spacing sowing under conventional cultivation without film mulching; B: 半膜双垄沟播等行距种植 Even row-spacing sowing in furrow with semi-film mulching; C: 全膜双垄沟播等行距种植 Even row-spacing sowing in furrow with whole film mulching; D: 常规地膜覆盖等行距种植 Even row-spacing sowing under conventional cultivation with film mulching; E: 常规地膜覆盖撮苗种植 Pinch sowing under conventional cultivation with film mulching; F: 全膜双垄沟播撮苗种植 Pinch sowing in furrow with whole film mulching; G: 半膜双垄沟播撮苗种植 Pinch sowing in furrow with semi-film mulching. 下同 The same below.

(E、F 和 G)。说明全膜双垄沟播等行距种植技术有利于促进旱地玉米根系下扎。

2.1.2 根长垂直分布比例

由图 2 可以看出, 玉米根系在 0~150 cm 土层分布比例存在明显差异。抽雄期(图 2a, 2c)常规露地等行距种植(A)、半膜双垄沟播等行距种植(B)、全膜双垄沟播等行距种植(C)、常规地膜覆盖等行距种植(D)、常规地膜覆盖撮苗种植(E)、全膜双垄沟播撮苗种植(F)和半膜双垄沟播撮苗种植(G)在 0~30 cm 土层根长百分比 2008 年分别为 35%、37%、29%、31%、34%、26%和 33%, 2009 年为 38%、34%、29%、33%、34%、29%和 31%; 120~150 cm 土层 2008 年分别为 5%、6%、9%、9%、6%、10%和 5%, 2009 年为 4%、5%、8%、7%、5%、8%和 5%。灌浆期(图 2b, 2d)各处理在 0~30 cm 土层根长百分比两年均为处理 A 最多, 达 29%, 处理 G 最少, 分别为 23%和 24%; 120~150 cm 土层则为 F 最多, 分别达 17%和 15%, 处理 A 最少, 为 7%。可见, 不同栽培方式下 30 cm 土层以上常规露地等行距种植(A)根系分布较多, 120 cm 以下则全膜双垄沟播栽培方式(C、F)下根系分布较多, 且在该项栽培技术下等行距种植(C)优于撮苗种植(F)。说明随着生育进程的推进, 深层根系

逐渐增加, 全膜双垄沟播技术对 120~150 cm 土层根系的纵深生长作用显著。

2.2 不同栽培方式对 150 cm 土层玉米茎中和垄沟根干重的影响

由图 3 可见, 随着土层的加深, 玉米根干重占总干重的比例呈下降趋势。不同栽培方式下旱地玉米的根干重大部分集中在 0~30 cm 土层, 且垄沟大于垄中, 双垄沟播技术(B、C、F)显著优于常规技术(A、D、E)。该土层全膜双垄沟播等行距种植(C)的根干重在垄沟的分布特征明显有别于其他各处理, 不同种植方式下等行距种植和撮苗种植间差异达显著水平($P<0.05$, 下同)。垄中则为常规露地等行距种植(A、CK)表现出较大优势, 这可能是根垂直下扎能力差, 是满足植物吸收需要的一种生态环境适应。而且垄中全膜双垄沟播种植(C、F)和半膜双垄沟播种植(B、G)间, 半膜双垄沟播种植和常规地膜覆盖种植间(D、E)差异均达显著水平(图 3a), 可见, 不同覆膜及种植方式显著影响该层土壤中玉米根系的横向生长。30~60 cm 土层, 抽雄期垄沟根干重表现为全膜双垄沟播种植和常规地膜覆盖种植间, 全膜双垄沟播等行距种植(C)与全膜双垄沟播撮苗种植(F)间差异显著。灌浆期半膜双垄沟播等行距种植(B)和 C

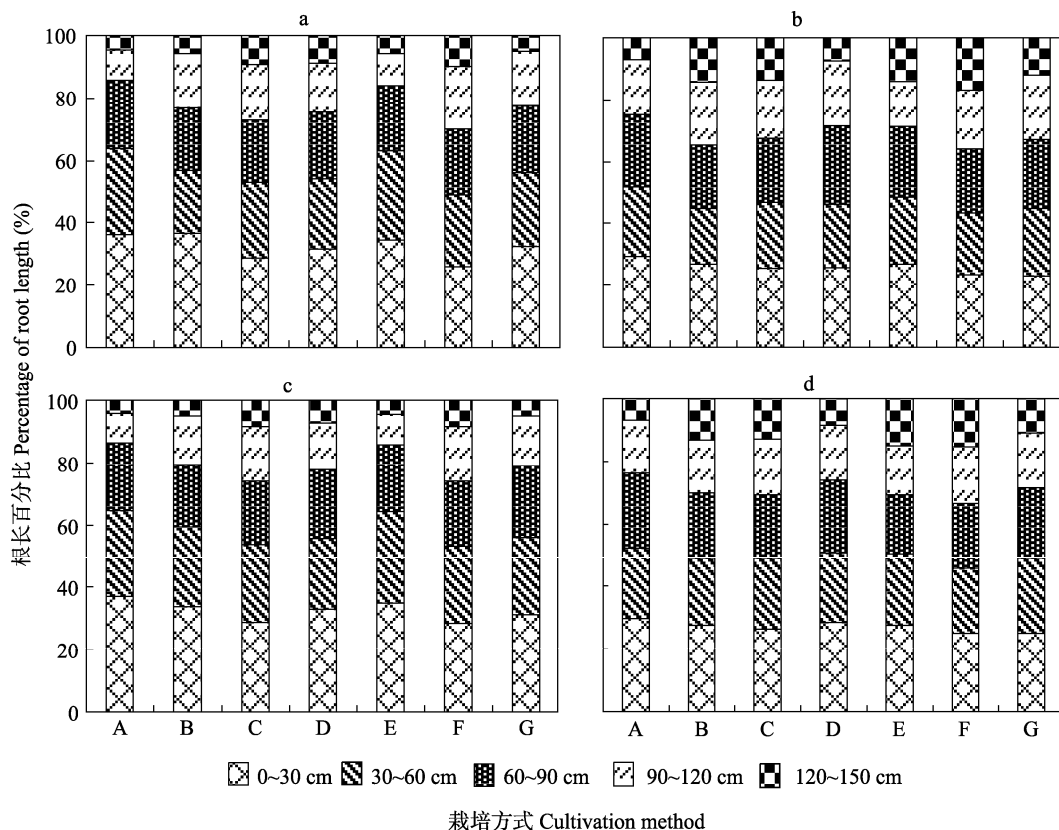


图 2 不同栽培方式下 2008 年抽雄期(a)和灌浆期(b)、2009 年抽雄期(c)和灌浆期(d)150 cm 土层玉米根长分布比例
Fig. 2 Distribution proportion of maize root length under different cultivation methods at tasseling stage (a) and grain-filling stage (b) in 2008, tasseling stage (c) and grain-filling stage (d) in 2009 in 150 cm soil depth

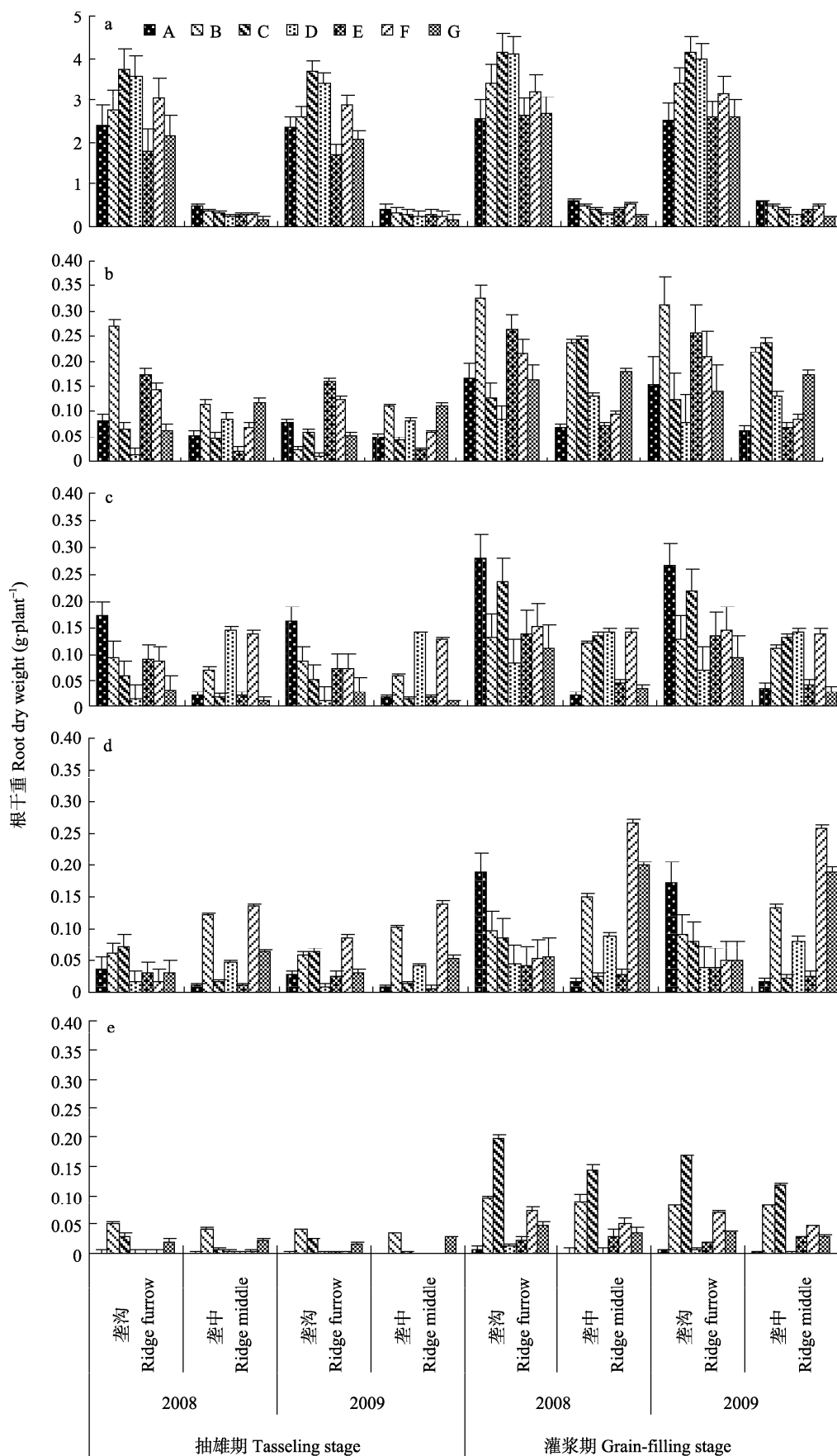


图 3 不同栽培方式对 2008 年、2009 年抽雄期和灌浆期 150 cm 土层玉米垄中和垄沟根干重的影响

Fig. 3 Effects of different cultivation methods on maize root dry weight in ridge middle and furrow in 150 cm soil depth at tasseling and grain-filling stages in 2008 and 2009

a: 0~30 cm; b: 30~60 cm; c: 60~90 cm; d: 90~120 cm; e: 120~150 cm

在垄沟差异达显著水平(图 3b)。60~90 cm 土层抽雄期和灌浆期垄沟根干重表现为处理 A 所占比重明显高于其他处理, 灌浆期处理 C 逐渐表现出显著的优势(图 3c)。90~120 cm 土层抽雄期垄沟根干重表现为处理 C 所占比重大, 与撮苗种植间差异显著; 垄中则表现为处理 F 有显著优势。灌浆期垄沟处理 A 和垄中处理 F 根干重显著高于其他处理(图 3d)。120~150 cm 土层抽雄期处理 B 所占比重大, 灌浆期则为处理 C 显著高于其他处理, 处理 A 最小(图 3e)。说明双垄沟播技术有利于促进根系向纵深方向生长, 使深层土壤中根干重显著增加, 且随着生育期的推进, 该项技术的优势更加明显。

玉米抽雄期处理 B、C 和 F 在 0~150 cm 土层总根干重 2008 年分别较处理 A 高 18.14%、25.39%和 17.36%, 灌浆期分别高 23.63%、35.96%和 17.32%; 2009 年抽雄期分别较处理 A 高 8.92%、19.59%和 16.91%, 灌浆期分别高 23.81%、36.30%和 17.74%。可见, 根干重在不同覆膜方式下表现为全膜双垄沟播(C 和 F)>常规覆膜(D 和 E)>半膜双垄沟播(B 和 G); 不同种植方式下表现为等行距种植(B、C 和 D)>撮苗种植(E、F 和 G)。

2.3 不同栽培方式对玉米产量及其水分利用效率的影响

由表 1 可看出, 不同栽培方式下旱地玉米的耗

水量、产量及其水分利用效率之间存在显著差异。2008 年, 不同处理下耗水量表现为常规地膜覆盖等行距种植(D)最大, 达 324.82 mm; 与半膜双垄沟播等行距(B)、半膜双垄沟播撮苗种植(G)处理间差异达显著水平($P<0.05$, 下同)。玉米产量在不同覆膜方式下表现为全膜双垄沟播(C 和 F)>半膜双垄沟播(B 和 G)>常规覆膜(D 和 E)>常规露地(A, CK); 不同种植方式下表现为等行距种植高于撮苗种植。且全膜双垄沟播等行距种植(C)最高, 较处理 A、B、D、E(常规地膜覆盖撮苗种植)、F(全膜双垄沟播撮苗种植)和 G(半膜双垄沟播撮苗种植)分别高 48.81%、15.52%、32.38%、25.04%、20.35%和 25.59%。水分利用效率亦为处理 C 最高, 较处理 A、B、D、E、F 和 G 分别高 46.75%、12.13%、33.15%、20.25%、14.70%和 17.60%, 且除处理 B 外, 与其他处理间差异显著。2009 年各处理耗水量表现为处理 C 最大; 产量表现为处理 C 较处理 A、B、D、E、F 和 G 分别高 44.78%、4.48%、18.27%、9.23%、11.28%和 23.94%, 全膜双垄沟播处理(C 和 F)与半膜双垄沟播处理(B 和 G)间无显著差异, 与其他处理间差异显著; 水分利用效率表现为处理 B 最高, 较处理 A、C、D、E、F 和 G 分别高 45.78%、9.61%、23.91%、12.29%、13.75%和 23.75%。说明全膜双垄沟播等行距种植有利于提高陇东地区旱作玉米的产量和水分利用效率。

表 1 不同栽培方式对玉米产量及其水分利用效率的影响
Table 1 Effects of different cultivation methods on yield and water use efficiency of maize

处理 Treatment	2008 年 Year 2008			2009 年 Year 2009		
	耗水量 Water consumption (mm)	产量 Yield (kg·hm ⁻²)	水分利用效率 WUE (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)	耗水量 Water consumption (mm)	产量 Yield (kg·hm ⁻²)	水分利用效率 WUE (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)
A(CK)	308.68ab	6 405.00f	20.75d	270.01bc	5 605.00d	20.82d
B	277.13b	10 570.05b	38.14a	252.46c	9 695.05ab	38.40a
C	321.10ab	12 512.55a	38.97a	292.43a	10 149.88a	34.71b
D	324.82a	8 461.20e	26.05c	284.49ab	8 294.53c	29.22c
E	301.85ab	9 379.95d	31.08b	273.52b	9 213.28b	33.68b
F	299.81ab	9 966.30c	33.24b	271.81b	9 004.97bc	33.12b
G	289.95b	9 310.05d	32.11b	263.62bc	7 720.05c	29.28c

WUE: Water use efficiency. 同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column mean significant difference among treatments at 0.05 level.

3 讨论

适宜的栽培方式可以促进玉米根系生长, 提高水分利用效率, 实现增产目标。玉米覆膜前进行翻耕, 其根系生长状况优于翻耕不覆膜和免耕^[3], 这主要是通过将根系生长聚集在水分有效性高的区域, 可使植物资源的分配与利用实现最佳化, 以利于最大限度地获取水分与养分^[15]。全膜双垄沟播技术既保留凸起的覆膜垄, 又形成凹陷的覆膜沟, 遇雨既减缓地表径流, 又利于降水沿沟内渗蓄, 产生较好

的集雨增墒效应, 解决了常规覆膜栽培中降水易随膜面径流失而不易被土壤吸收的弊端^[16], 可显著改善玉米根系生长环境。此外, 由于根系不同部分之间具有一定的相互作用, 不同的种植模式亦可改善根系生长状况^[17], 加快玉米根干重的增长速度^[18]。本研究结果表明: 不同栽培方式下各土层玉米根长和根干重总体表现为全膜覆盖>半膜覆盖>露地, 双垄沟播>常规种植, 等行距种植>撮苗种植, 根干重所占总根干重比例垄沟显著大于垄中。各处理下玉

米根系主要分布在0~30 cm土层范围内,与常规和露地相比,全膜双垄沟播栽培方式下玉米深层根系占总根重比例大,且随土层深度增加而差异增大。在120~150 cm土层,全膜双垄沟播等行距种植根干重显著高于其他处理,说明深层根系发达是全膜双垄沟播玉米根系分布的主要特征。深层土壤根系比率的增加,有利于玉米吸收深层土壤的水分和养分,并且深层土壤中根系环境相对比较稳定,有助于增强玉米对土壤不良环境的缓冲能力,所以下层根量相对比重的增加有利于对土壤深层水的吸收,增强玉米的抗逆性能。全膜双垄沟播技术结合等行距种植处理良好的根系生长空间和不同部分之间的相互作用,水分与养分供应充足,使得深层土壤的根系生长发育表现出良好优势,极大地提高了旱地玉米的抗旱性能。根系的生长受降水量的影响^[19],两年试验玉米根系生长发育存在一定差异,与年度间降雨量差异有关。

作物产量是一个系统管理水平与土壤生产力的综合反映,也是农业持续发展的重要评价指标。研究表明^[9-11],全膜双垄沟播技术能提高作物的产量,覆盖栽培能改善土壤环境,降低土壤容重,提高土壤水分利用率,调节土温、湿度,协调水热资源利用的同步性^[20]。本研究结果表明,全膜双垄沟播等行距种植技术显著地提高了旱地玉米产量和水分利用效率,水分利用效率最高达到 $38.97 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$,较露地等行距种植的 $20.75 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$ 高 46.75%,较马忠明^[21]研究的全膜平铺($21.55 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$)和李志军等^[16]研究的垄沟周年覆膜栽培($26.00 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$)与垄沟覆膜栽培($23.60 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$)分别高 44.70%、33.28%和 39.44%。充分说明该项技术增强了集雨效果,提高了土壤含水量,增大了根系生物量,从而使根系能有效吸收土壤水分和养分供地上部分生长利用,增大产量形成潜力,从而提高产量。

4 结论

不同栽培方式下玉米根系长度和根干重均随生育期的推进逐渐增加,且随土层的加深呈逐渐下降趋势。其中,全膜双垄沟播等行距种植模式在 0~150 cm 土层根系长度显著优于其他种植模式,全膜双垄沟播播种模式在 120~150 cm 土层根长百分比最大。根干重主要集中在 0~30 cm 土层,垄沟>垄中,全膜双垄沟播>常规覆膜>半膜双垄沟播,等行距种植>播种模式。与半膜双垄沟播、常规地膜覆盖和露地相比,全膜双垄沟播等行距种植籽粒产量分别提高 17.72%、22.01%和 47.00%,水分利用效率分别提

高 6.41%、18.54%和 43.57%,是我国干旱半干旱地区玉米的最佳栽培方式。

参考文献

- [1] 管建慧,郭新宇,刘洋,等.不同密度处理下玉米根系干重空间分布动态的研究[J].玉米科学,2007,15(4):105-108,118
- [2] 春亮,陈范骏,张福锁,等.不同氮效率玉米杂交种的根系生长、氮素吸收与产量形成[J].植物营养与肥料学报,2005,11(5):615-619
- [3] 梁建斌,刘今河,杨涛.不同耕作方式对玉米根系生长发育及土壤水分的影响[J].安徽农业科学,2006,34(11):2353-2354
- [4] 吴春胜,宋日,李健毅,等.栽培措施对玉米根系生长状况影响[J].玉米科学,2001,9(2):56-58
- [5] 王启现,王璞,杨相勇,等.不同施氮时期对玉米根系分布及其活性的影响[J].中国农业科学,2003,36(12):1469-1475
- [6] 王玉贞,李维岳,尹枝瑞.玉米根系与产量关系的研究进展[J].吉林农业科学,1999,24(4):6-8
- [7] 宋日,吴春胜,牟金明,等.深松土对玉米根系生长发育的影响[J].吉林农业大学学报,2000,22(4):73-75,80
- [8] 王喜庆,李生秀,高亚军.地膜覆盖对旱地春玉米生理生态和产量的影响[J].作物学报,1998,24(3):348-353
- [9] 杨祁峰,岳云,熊春蓉,等.不同覆膜方式对陇东旱塬玉米田土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):29-33
- [10] 杨晓昀,王振华.旱地玉米双垄沟覆膜栽培试验结果初报[J].甘肃农业科技,2005(8):25-26
- [11] 刘多商.旱地地膜玉米双垄沟种植技术及其推广应用前景[J].甘肃科技,2005,21(6):171-172
- [12] 王勇,王立明,樊廷录,等.旱地不同年型地膜小麦、玉米集雨节灌的产量效应[J].农业现代化研究,2000,21(5):304-308
- [13] 王欧,黄高宝.镇原县粮食生产现状与发展对策[J].甘肃农业科技,2000(3):7-10
- [14] 郑纯辉,康跃虎,姚素梅,等.基于地理信息系统的植物根系分析方法[J].农业工程学报,2004,20(1):181-183
- [15] 廖允成,韩思明,温晓霞.黄土台塬旱地小麦土壤水分特征及水分利用效率研究[J].中国生态农业学报,2002,10(3):55-58
- [16] 李志军,赵爱萍,丁晖兵,等.旱地玉米垄沟周年覆膜栽培增产效应研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(2):12-17
- [17] 胡田田,康绍忠,原丽娜,等.根区湿润方式对玉米根系生长发育的影响[J].生态学报,2008,28(12):6180-6188
- [18] 卜玉山,苗果园,邵海林,等.对地膜和秸秆覆盖玉米生长发育与产量的分析[J].作物学报,2006,32(7):1090-1093
- [19] Fitter A H. The ecological significance of root system architecture, an economic approach[M]//Atkinson D. Plant Root Growth: An Ecological Perspective. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1991: 29-34
- [20] 王顺霞,王占军,左忠,等.不同覆盖方式对旱地玉米田土壤环境及玉米产量的影响[J].干旱区资源与环境,2004,18(9):134-137
- [21] 马忠明.玉米全地面地膜覆盖节水增产栽培技术的研究与应用[J].玉米科学,1999,7(S1):54-56