

垄沟覆膜集雨系统垄宽和密度效应对玉米产量的影响

王晓凌, 陈明灿, 易现峰, 付国占

(河南科技大学农学院, 洛阳 471003)

摘要: 通过大田试验研究了垄沟覆膜集雨系统中, 垄宽和密度效应对玉米产量和水分利用效率的影响。垄沟覆膜集雨系统有 30、60 cm 2 种垄宽, 低、中、高 3 种玉米种植密度。结果表明, 垄沟覆膜集雨能提高土壤含水率和土壤微生物量碳质量分数。随着玉米密度的增加, 同一垄宽的垄沟集雨系统中, 玉米株高和单株生物量逐渐下降, 玉米单位面积生物量逐渐增加。降雨量较少的情况下, 60 cm 垄宽的垄沟覆膜集雨能显著提高玉米的叶绿素质量分数, 但其在高密度条件下却显著降低玉米叶绿素质量分数。高密度条件下, 30 cm 垄宽的垄沟覆膜集雨处理, 由于玉米种内竞争较激烈而导致有机物质向籽粒输入减少, 从而引起产量降低。在所有的处理中, 高密度、60 cm 垄宽的垄沟覆膜集雨种植的玉米产量和水分利用效率最高。

关键词: 地膜, 覆盖, 密度, 垄沟集雨, 垄宽, 玉米, 产量

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.08.008

中图分类号: S311

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-8-0040-08

王晓凌, 陈明灿, 易现峰, 等. 垄沟覆膜集雨系统垄宽和密度效应对玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 40-47.

Wang Xiaoling, Chen Mingcan, Yi Xianfeng, et al. Effects of ridge width and planting density on corn yields in rainwater-harvesting system with plastic film mulching on ridge[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 40-47. (in Chinese with English abstract)

0 引言

垄沟覆膜集雨是指田间起垄、沟垄相间、垄上覆膜、沟内种植、垄面产流、沟内集雨的种植方法, 具有增温、保墒、聚雨的作用^[1], 常常作为水分较为缺乏的干旱和半干旱地区的一项重要抗旱、提高水分利用的措施。目前, 垄沟覆膜集雨技术在中国已有较广泛的应用, 完全依靠降雨的西北半干旱地区、半湿润偏旱地区应用较广, 在半湿润华北地区, 为解决水资源供需矛盾也有一定程度的应用, 研究涉及的主要作物涵盖了春小麦、春玉米、夏玉米、谷子、豌豆、糜子、冬小麦、苜蓿和马铃薯等^[2-4]。

垄沟覆膜集雨系统中, 合适的垄宽一方面能最大地提高水分的利用效率, 另一方面可以节约成本, 提高该项技术的经济性, 因此一直是研究的焦点。王俊鹏等^[5]和 Li 等^[6]都认为覆膜垄面所集雨水可以弥补沟中降雨的不足。因此, 他们以垄面汇集于沟中的降雨量、沟中的降雨量和土壤供水量三者之和等于作物需水量的观点来确定垄宽。然而许多研究发现并非覆膜垄宽越宽, 沟中所集降雨越多, 从而作物产量越高。例如, 王俊鹏等^[7]在宁南的研究发现, 垄宽和沟宽均为 60 cm 的覆膜集雨明显比垄宽和沟宽均为 75 cm 的覆膜集雨增产效果好, 在春小麦、玉米、谷子、豌豆、糜子等作物上, 60 cm 的

比 75 cm 的分别增产 24%、18%、8%、16%、9%。Li 等^[8]报道, 沟宽都为 60 cm 而垄宽分别为 60 cm 和 120 cm 并覆膜的集雨种植玉米的试验中, 120 cm 垄宽的玉米产量显著低于 60 cm 垄宽的玉米产量。王琦等^[9]在一沟宽均为 60 cm 的覆膜集雨研究中, 通过对比 30、45 和 60 cm 沟宽马铃薯的产量, 发现单位面积内马铃薯的产量随垄宽的变化呈抛物线形, 垄宽 43.6 cm 时产量最高, 因此集雨面也不能无限增大, 否则有效种植面积的减少将导致总体增产效果下降。Wang 等^[1]和王晓凌等^[10]的研究发现, 覆膜集雨马铃薯的产量增加的很大一部分来源于覆膜的集雨保墒, 而并非完全是由集雨效果引起的, 因此他们认为合适的垄宽应充分考虑到膜垄的增温保墒作用。然而垄沟覆膜集雨种植模式中, 垄宽对不同密度作物产量及水分利用的影响至今还未见报道。

豫西黄土丘陵地区是黄土高原向东部的延伸, 属于半湿润易旱地区, 旱地是该地区农业用地的主要形式, 提高雨水利用对该地区农业发展至关重要。为此, 本文研究了不同垄宽、相同沟宽条件下, 垄沟覆膜集雨系统中不同密度玉米的产量表现和对水分利用的影响, 从而为合适垄宽的确定以及该地区旱地雨水的高效利用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在河南科技大学农学院试验田进行, 试验地为具有代表性的丘陵旱地, 无灌溉条件。该区年均辐射量 491.5 kJ/cm², 年均气温 14℃, 日平均温度 ≥ 10℃ 的天数约 210 d, 积温达 4 500℃, 年蒸发量 2 113.7 mm, 多年

收稿日期: 2007-12-29 修订日期: 2009-07-09

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(30700078)资助; 河南科技大学博士科研启动基金资助(09001103); 河南科技大学科研基金(13560047)

作者简介: 王晓凌(1975-), 男, 河南淇县人, 博士, 副教授, 主要从事作物生态学研究。洛阳 河南科技大学农学院, 471003。

Email: xlwang1975@163.com

平均降雨量 600 mm。供试土壤为褐土，质地中壤，土壤耕层含有机质 11.9 g/kg。试验采用垄沟覆膜集雨和裸地平作两种栽培方法，裸地平作作为垄沟覆膜集雨的对照。垄沟覆膜集雨垄和沟长均为 6 m，沟宽均为 60 cm，垄宽有 30 cm 和 60 cm 两种，垄上覆膜，垄高 20 cm，种植密度分为高、中、低 3 个水平，田间种植方式如图 1 所示。试验共有 8 个处理：1) 垄沟覆膜集雨，垄宽 60 cm，低密度，每条沟中间种植 1 行玉米 (PL60)；2) 垄沟覆膜集雨，垄宽 60 cm，中密度，在每条沟沟边种植 2 行玉米 (PM60)；3) 垄沟覆膜集雨，垄宽 60 cm，高密度，于每条沟沟边和沟中间种植 3 行玉米 (PH60)；4) 垄沟覆膜集雨，垄宽 30 cm，低密度，每条沟中间种植 1 行玉米 (PL30)；5) 垄沟覆膜集雨，垄宽 30 cm，中密度，在每条沟沟边种植 2 行玉米 (PM30)；6) 垄沟覆膜集雨，垄宽 30 cm，高密度，于每条沟沟边和沟中间种植 3 行玉米

米 (PH30)；7) 裸地平作，行距 60 cm (B60)，是垄宽 60 cm 处理的对照；8) 裸地平作，宽行行距 60 cm，窄行行距 30 cm (B30)，是垄宽 30 cm 处理的对照。各处理株距均为 40 cm。PL60、PM60、PH60、PL30、PM30、PL30、B60、B30 的种植密度分别为每公顷 22 222、44 444、66 666、29 629、59 259、88 888、44 444、59 259 株。

供试品种为秀青 73-1，于 2007 年 4 月 15 日播种，玉米约在 5 月 25 左右进入拔节期，约在 6 月底进入开花期，8 月 23 日收获。故从播种到 5 月 25 日前应为苗期，即玉米生长前期，5 月 25 到 6 月底应为穗期，即生长中期，6 月底到收获应为花粒期，也即生长后期。播前 0~200 cm 土层贮水量为 454.91 mm。播种前起垄，垄上覆膜。所用薄膜厚 0.012 mm。化肥施用量为纯 N 225 kg/hm²，P₂O₅ 150 kg/hm²，K₂O 150 kg/hm²，作为基肥一次施入，整个生育期不进行灌溉。

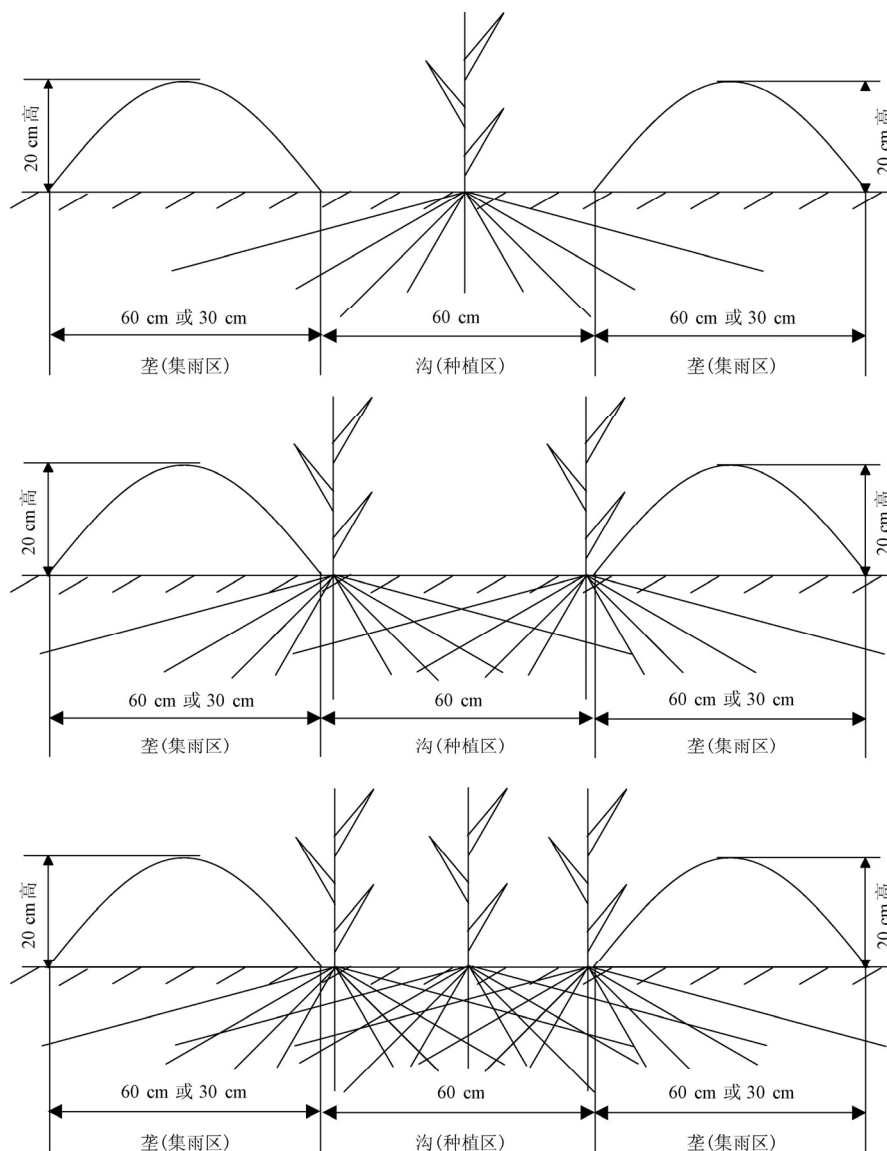


图 1 垄沟集雨种植玉米示意图

Fig.1 Schedule description of ridge and furrow rainwater harvesting planting corn

1.2 测量指标及方法

1.2.1 土壤含水率与玉米产量

播种前和收获时，以及 5 月 15 日、6 月 15 日、7 月 15 日、8 月 20 采用烘干法测定各处理土壤含水率，每

20 cm 一层, 深度 200 cm。播种前用环刀法测定了土壤容重, 0~40 cm 土壤容重为 $1.2 (\text{g}/\text{cm}^3)$, 40~200 cm 土层土壤容重为 $1.4 (\text{g}/\text{cm}^3)$ 。土壤贮水量由式 (1) 计算

$$SW = C \times \rho \times H \quad (1)$$

式中: SW ——土壤贮水量, mm; ρ ——土壤容重, g/cm^3 ; C ——土壤质量含水率, %; H ——土层深度, mm。

各处理玉米生育期总耗水量用公式 (2) 计算

$$WU = P + SW_p - SW_h \quad (2)$$

式中: WU ——耗水量, mm; P ——降雨量, mm; SW_p 、 SW_h ——播种时、收获时 0~200 cm 土层的土壤贮水量, mm, 若是垄沟处理则表示沟中 0~200 cm 土层的土壤贮水量, mm。

从玉米播种后第 15 天开始, 每隔 10 d 测定各小区玉米株高, 每小区随机测定 10 株, 然后求平均值; 各小区随机采样 4 株, 75°C 下烘 48 h, 称质量, 测定地上各生物量。收获后测定玉米地上部分生物量和籽粒产量, 以干物质计算。收获指数以玉米籽粒产量占地上部分生物量的百分比表示。玉米水分利用效率用玉米其地上部分单位面积的生物量与其生育期耗水量的商表示。

1.2.2 玉米叶绿素质量分数

叶绿素含量用 751G 型分光光度计于 6 月 5 日和 7 月 15 日测定: 采集玉米新鲜叶片, 擦净组织表面污物、剪碎, 混匀; 准确称取剪碎的新鲜样品 0.1 g, 共 3 份, 分别置于研钵中并加少量石英砂和碳酸钙粉及 0.5 mL 纯丙酮匀浆, 再加入 80% 丙酮 10 mL 继续研磨至组织变为白色。匀浆过滤, 并用 80% 丙酮定容至 50 mL。用分光光度计在 665、649 nm 波长下检测叶绿素质量分数, 对照为 80% 丙酮。按照式 (3)、(4)、(5) 计算色素浓度及质量分数。

$$C_a = 13.95D_{665} - 6.88D_{649} \quad (3)$$

$$C_b = 24.96D_{649} - 7.32D_{665} \quad (4)$$

$$G = (C_a + C_b) \times 50 / 100 \quad (5)$$

式中: C_a 、 C_b ——叶绿素 a 和叶绿素 b 的浓度; D_{665} 、 D_{649} ——叶绿体色素提取液在波长 665、649 nm 下的消光度; G ——总叶绿素质量分数。

1.2.3 土壤微生物量碳质量分数

于 7 月 5 日用氯仿熏蒸法测定土壤微生物生物量碳含量。称取 30 g 新鲜土壤, 用 60 mL 0.5 mol/L MK_2SO_4 溶液提取有机碳。提取液中的有机碳质量分数, 用重铬酸钾浓硫酸湿烧法测定。土壤微生物生物量碳依据公式 (6) 计算

$$MBC = EC / K_{EC} \quad (6)$$

式中: MBC ——土壤微生物量碳质量分数, $\mu\text{g}/\text{g}$; EC ——(氯仿熏蒸处理后土壤提取液中的有机碳质量分数—未用氯仿熏蒸土壤提取液中的有机碳质量分数); $K_{EC}=0.25$ 。

图表中的数据均为平均值, 试验数据采用 SAS(6.12) 统计软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 降雨特征分析

玉米生期间月降雨量及玉米生育期多年月平均降雨

量如图 2 所示, 可知 4、5 和 8 月是比常年干旱的年份, 而 6 月和 7 月是比常年湿润的年份。2007 年玉米生育期间的降雨量共有 435 mm, 玉米生育期间多年平均降雨量有 350 mm, 总体来说, 2007 年玉米生长期是一湿润季节。

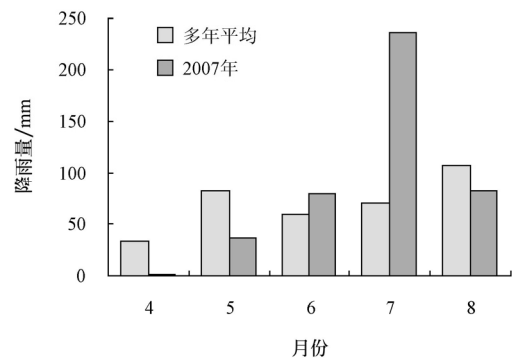


图 2 玉米生育期月降雨量和多年平均月降雨量

Fig.2 Amount of monthly rainfall in growth stage of corn and multi-year monthly rainfall

从图 3 可知, 玉米生育期间降雨量分布极不平均。玉米 4 月 15 日播种, 到 6 月 14 日有 2 个月时间, 但该时期仅有 3 次降雨, 且有两处降雨小于 10 mm, 仅 5 月 30 日有一次大于 20 mm 的降雨, 该时期共降雨 36.8 mm, 占玉米生育期总降雨量的 9.2%。6 月 14 日至 7 月 31 日这一个半月的时间, 是降雨量最集中的时期, 有 14 次降雨, 共 310 mm, 约占生育期间总降雨量的 71.3%。8 月 1 日至 8 月 23 日有两次降雨, 降雨量 49 mm, 占总降雨量的 12.3%。

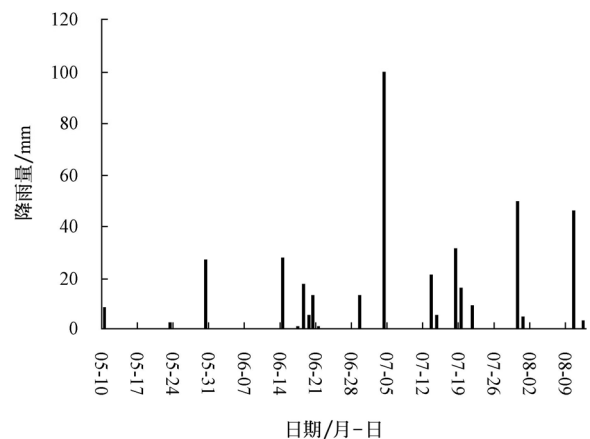


图 3 玉米生育期间降雨分布

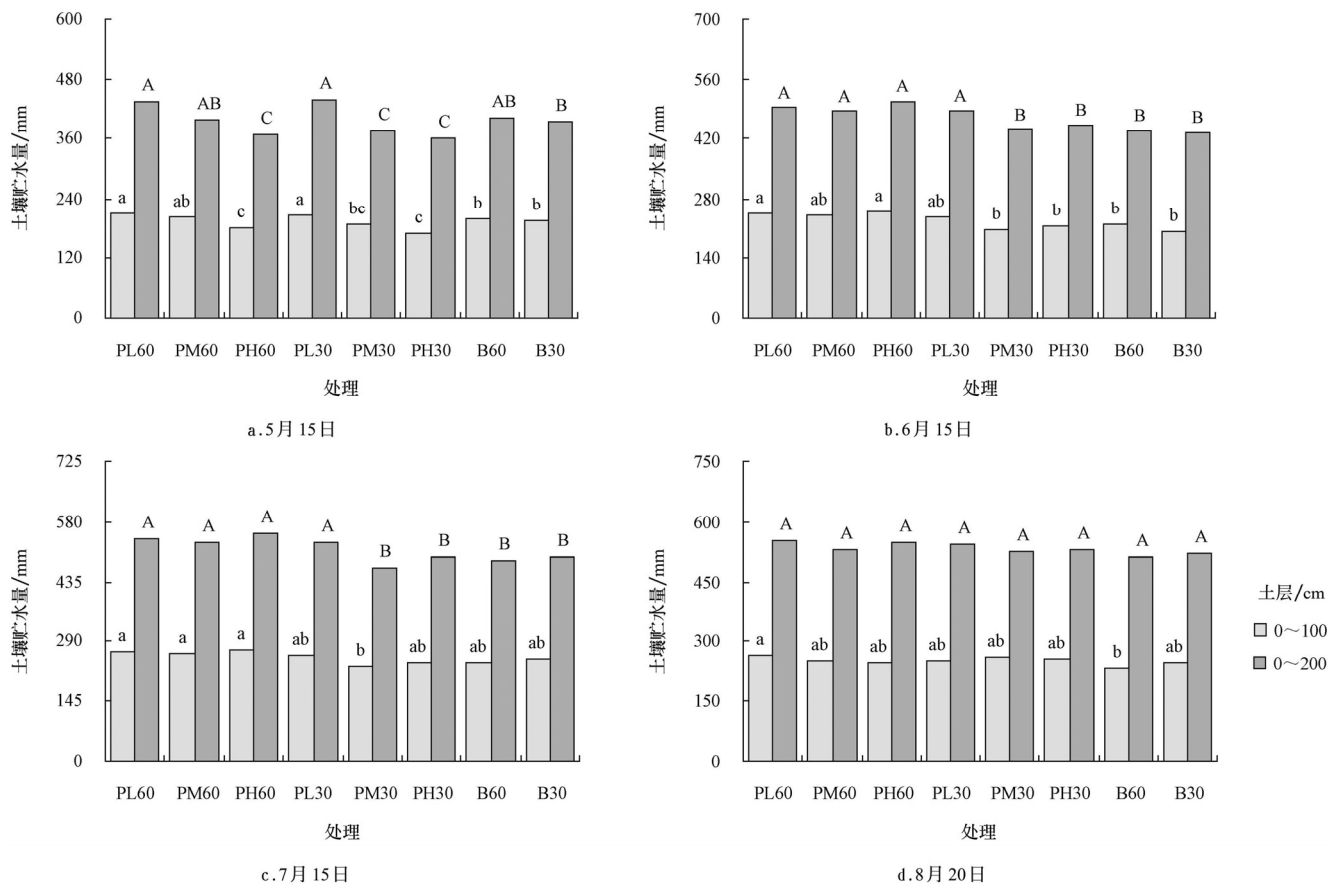
Fig.3 Rainfall distribution in growth stage of corn

2.2 田间集雨和密度效应对土壤贮水量和土壤微生物量碳质量分数的影响

由图 4 可知, 5 月 15 日 0~100 cm 和 0~200 cm 土层土壤贮水量 PL60 高于 PM60, PM60 显著高于 PH60, PL30 显著高于 PM30 和 PH30, 主要因为在降雨量较少的情况下土壤水分缺乏补充, 高密度玉米比低密度玉米消耗了较多的土壤水分; 6 月 15 日和 7 月 15 日 0~100 cm 和 0~200 cm 土层土壤贮水量 PL60、PM60 和 PH60 没有显著差别, 同样 PL30、PM30 和 PH30 也没有显著差别,

说明在降雨量较多时不同的玉米种植密度对土壤水分影响逐渐趋于一致。5 月 15 日 0~100 cm 和 0~200 cm 土层土壤贮水量 PL60 与 PL30 相比, 以及 PH30 与 PH60 相比都没有显著差别, 仅 PM60 显著高于 PM30, 说明在降雨较少的情况下, 宽垄和窄垄的集雨保墒效应对土壤贮水量产生的影响接近一致; 6 月 15 日和 7 月 15 日 PL60、PM60 和 PH60 分别显著高于 PL30、PM30 和 PH30, 说明在降雨较多的情况下宽垄集雨比窄垄集雨能明显提

高土壤贮水量; 8 月 23 日各处理的土壤贮水量趋于一致, 主要由于玉米生长后期生长趋于停止, 玉米耗水量剧减, 且该时期降雨较少, 从而覆膜垄的集雨作用表现不明显。5 月 15 日和 6 月 15 日, PM60 和 B60 以及 PM30 和 B30 都没有显著差别, 可能由于降雨较少的情况下覆膜作用促进玉米生长而消耗较多的土壤水分所致, 但 7 月 15 日 PM60 显著高于 B60, 说明降雨多时宽垄的集雨效应能明显提高土壤含水率。



注: 大写字母不同表示 0~200 cm 土层水分含量差异显著 ($P=0.05$), 小写字母的不同表示在 0~100 cm 土层水分含量差异显著 ($P=0.05$)

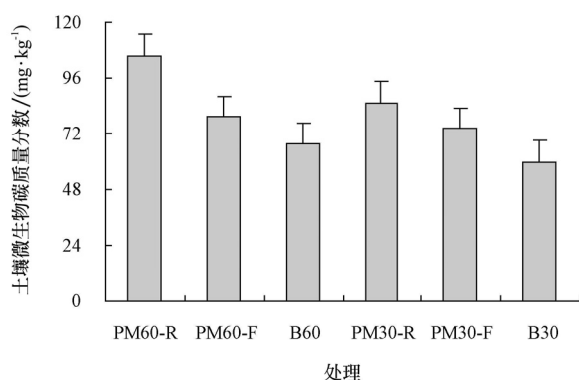
图 4 不同时期各处理土壤 0~100 cm 和 0~200 cm 土层土壤含水率

Fig.4 Soil water content of 0~100 cm and 0~200 cm depth at different growth stages under different treatments

由图 5 可知, 不同垄宽、中密度的垄沟覆膜集雨处理下的土壤微生物量碳质量分数显著高于沟中的土壤微生物碳质量分数, 高密度和低密度也有相同的趋势 (数据未列出)。说明垄面覆膜集雨能提高土壤微生物量碳质量分数。

2.3 田间集雨和密度效应对春玉米叶绿素质量分数的影响

叶绿素是植物在利用阳光、水和 CO_2 进行光合作用的载体, 对植物的生长具有至关重要的作用。另外它还可以表示植物抵御干旱能力强弱的一个生理指标。由图 6 可知, 6 月 5 日总叶绿素质量分数 PH60、PM60、PL60 显著大于其他处理, 这可能与该时期降雨量较少, 而宽垄覆膜具有较大的保墒面积, 能增强玉米的抗旱性有关。PH60 和 PM60 显著大于 PL60, 这可能与 PL60 沟中间种有 1 行玉米, 距覆膜垄较远, 使较少的根系被薄膜覆盖



注: PM60-R、PM60-F、PM30-R、PM30-F 分别表示 PM60 垄下、PM60 沟中、PM30 垄下、PM30 沟中。图中竖杠表示不同处理最小显著差数法比较 (LSD, $P=0.05$), 下同

图 5 土壤微生物量碳质量分数

Fig.5 Content of soil microbial biomass carbon

有很大关系。7 月 15 日总叶绿素质量分数, 各处理之间没有显著差别, 主要由于该时期降雨量特别丰富, 玉米不

缺乏水分。

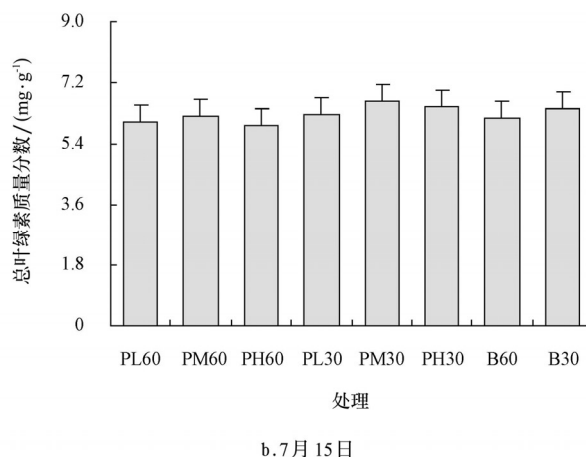
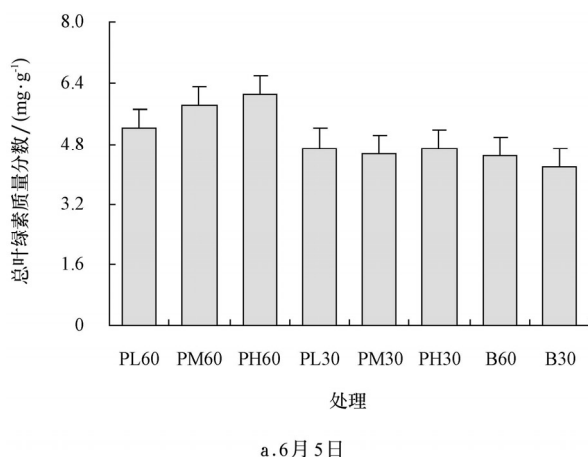


图 6 不同时期各处理叶绿素质量分数

Fig.6 Chlorophyll contents at different growth stages under different treatments

2.4 田间集雨和密度效应对春玉米株高的影响

表 1 是玉米不同生长阶段株高表, 可以看出从 5 月 1 日到 6 月 25 日这段时间内, 玉米株高 B60 始终显著低于 PM60, B30 始终显著低于 PM30, 说明垄沟覆膜集雨能促进玉米生长。从 5 月 1 日到 6 月 25 日 PL60、PM60 和 PH60 三处理不同生长阶段的株高没有显著差别, 而 5 月 23 日到 6 月 25 日 PH30 处理中的玉米株高显著低于 PL30 和 PM30 处理中的玉米株高, 因 PH30 中单位面积玉米密度最高, 种内竞争最强烈。PL60 与 PL30 相比不同生长阶段玉米株高没有显著差别, 同样 PM60 与 PM30 相比不同生长阶段玉米株高也没有显著差别, 但从 5 月 23 日到 6 月 25 日 PH60 显著高于 PH30, 说明在高密度的情况下窄垄显著降低玉米株高, 这同样因为 PH30 中强烈的种内竞争。

表 1 不同生长阶段不同处理玉米的株高

处理	日期/月一日					
	05-01	05-12	05-23	06-04	06-14	06-25
PL60	15.66a	34.75a	61.55a	93.35a	136.40a	176.47a
PM60	15.96a	35.10a	61.93a	85.03b	126.93b	170.08a
PH60	13.78ab	34.63a	63.32a	87.78b	129.65b	171.67a
PL30	13.75ab	34.25a	61.50a	98.85a	131.70a	170.47a
PM30	16.33a	37.80a	63.13a	84.53b	127.88b	168.42a
PH30	15.36a	37.73a	58.03b	77.55c	115.53c	156.06b
B60	11.58b	31.80b	56.95b	79.50c	120.80c	159.64b
B30	12.58b	32.30b	53.70b	69.80d	109.50c	148.11c

注: 同一行字母不同表示差异显著 ($P=0.05$), 下同。

2.5 田间集雨和密度效应对玉米生物量动态变化的影响

表 2 是玉米不同生长阶段单株生物量表, 可以看出从 5 月 1 日到 6 月 25 日这段时间内, 玉米单株生物量 B60 始终显著低于 PM60, B30 始终显著低于 PM30, 说明垄沟覆膜集雨能促进玉米生长。8 月 1 日和 8 月 23 日玉米

单株生物量 PH60 显著低于 PL60, 8 月 23 日 PM60 显著低于 PL60, 6 月 4 日至 8 月 23 日玉米单株生物量 PH30 处理显著低于 PL30, 8 月 1 日至 8 月 23 日 PM60 显著低于 PL60, 均因玉米较高密度下种内竞争抑制了单株生长。8 月 1 日和 8 月 23 日玉米单株生物量 PL60 显著高于 PL30, 6 月 4 日至 8 月 23 日 PH60 显著高于 PH30, 8 月 1 日和 8 月 23 日 PM60 高于 PM30, 说明宽垄比窄垄能明显提高玉米单株生物量, 在玉米生长后期表现更为明显。主要原因是宽垄覆盖面积相对较大, 集雨和保墒作用相对较强。

表 2 不同生长阶段不同处理玉米的单株生物量

Table 2 Biomass per corn plant at different growth stages under different treatments g

处理	日期/月一日				
	05-01	06-04	07-01	08-01	08-23
PL60	0.41a	8.17a	56.10a	132.60a	137.63a
PM60	0.41a	7.44a	54.07a	111.80b	120.64b
PH60	0.35b	7.68a	54.58a	107.30b	113.11c
PL30	0.36b	8.65a	54.20a	120.70ab	122.84b
PM30	0.42a	7.40a	53.54a	103.70b	112.34c
PH30	0.39b	6.79b	49.61b	81.56d	83.00e
B60	0.30c	6.96b	50.76b	92.14c	99.20d
B30	0.32c	6.11b	47.09b	82.62d	90.84e

玉米种植密度 PH60 和 PM30 分别为每公顷 66 666 株和 59 259 株, PM60 和 PL30 分别为每公顷 44 444 株和 29 629 株, PH60 比 PM30 高 12.5%, 而 PM60 比 PL30 高 50%。一般情况下, 种植密度高时种内竞争相对较强, 玉米单株生物量应相对较低。但玉米单株生物量 PH60 与 PM30 相比, 除在 5 月 1 日 PH60 显著低于 PM30 外, 其余时间二者没有显著差别, PM60 与 PL30 整个生育期都没有显著差别。这与 PH60 和 PM60 覆膜面积比例较大, 保墒、集雨作用强, 能更好地促进玉米生长有很大关系。

表 3 是玉米不同生长阶段单位面积生物量表, 可以

看出从 5 月 1 日到 6 月 25 日这段时间内, 玉米单位面积生物量 B60 始终显著低于 PM60, B30 始终显著低于 PM30, 在于垄沟覆膜集雨能促进玉米生长。由于高密度玉米单位面积内玉米株数多, 整个生育期玉米单位面积生物量 PH60 显著高于 PM60, PM60 显著高于 PL60, PH30 显著高于 PM30, PM30 显著高于 PL30。同样由于高密度玉米单位面积内玉米株数多, 整个生育期玉米单位面积生物量 PL30 都显著高于 PL60, PM30 都显著高于 PM60。尽管单位面积内株数 PH30 高于 PH60, 但从 7 月 1 日到 8 月 23 日二者的单位面积生物量却没有显著差别, 说明高密度条件下, 窄垄垄沟覆膜集雨玉米群体中的竞争抑制了单位面积玉米生物量的增加。

表 3 不同生长阶段玉米的单位面积生物量

Table 3 Biomass per unit area at different corn growth stages under different treatments $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$

处理	日期/月一日				
	05-01	06-04	07-01	08-01	08-23
PL60	0.85e	17.02f	116.88g	276.25f	315.69e
PM60	1.72c	31.01d	225.30e	465.83c	540.18c
PH60	2.23b	48.02b	341.11b	670.63a	706.95a
PL30	0.99e	24.03e	150.54f	335.28e	341.21e
PM30	2.35b	41.11c	297.47c	576.11b	624.13b
PH30	3.32a	56.57a	413.45a	679.68a	691.67a
B60	1.25d	28.99d	211.47e	383.92d	413.33d
B30	1.81c	33.94d	261.59d	459.00c	504.67c

2.6 田间集雨和密度效应对玉米产量和水分利用效率的影响

由表 4 可知, 生物量 PH60 和 PH30 最高且二者没有显著差别, PM30 第二, PM60 和 B30 第三, B60 第四, 而 PL60 最低。收获指数 PH30 显著低于其他处理。在所有的处理中, 玉米产量 PH60 最高, PM30 和 PH30 次之, PM60 和 B30 第三, B60 第四, 而 PL60 最低。收获指数与生物产量的乘积等于产量, 而 PH60 和 PH30 两处理的生物产量差别不显著, 所以 PH60 的产量显著高于 PH30 的主要原因在于它的收获指数高于 PH30。PM30 的产量显著高于 PM60, PL30 的产量显著高于 PL60, 和 B30 的产量显著高于 B60 的主要原因是由于 PM30、PL30 和 B30 的玉米种植密度相对较高。耗水量各处理之间没有显著差别。水分利用效率 PH60 和 PH30 最高, PM30 第二, PM60 和 B30 第三, B60 第四, 而 PL60 最低。

表 4 不同处理玉米产量和水分利用效率

Table 4 Corn yield and water use efficiency under different treatments

处理	生物量 $/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	收获指数 /%	产量 $/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	耗水量 /mm	水分利用效率 $/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1})$
PL60	3156.9e	51.7a	1633.1e	331.6a	9.5e
PM60	5401.8c	52.2a	2817.9c	346.3a	15.6c
PH60	7069.5a	50.7a	3582.9a	335.0a	21.1a
PL30	3412.1e	52.1a	1779.2f	330.9a	10.3e
PM30	6241.3b	51.9a	3239.6b	352.6a	17.7b
PH30	6916.7a	47.7b	3296.2b	346.6a	20.0a
B60	4133.3d	50.7a	2094.8d	351.2a	11.8d
B30	5046.7c	52.7a	2661.8c	345.9a	14.6c

3 讨 论

本研究表明, 垄沟覆膜集雨的能增加土壤的含水率, 这与 Ren^[11]的研究结果较为相似。另外据 Zhou^[12]、Jia^[13]的研究, 垄沟覆膜集雨还能提高土壤温度。土壤水、温条件的改善可促进微生物的大量繁殖, 提高土壤微生物含量^[14]。因此, 本研究中垄沟覆膜集雨的引起的土壤水、温条件的改善同样促进了土壤微生物质量分数的增加。土壤微生物量是土壤转化土壤有机物质的一个重要指标, 高的土壤微生物量可以说明土壤能提供较多的土壤营养。垄沟覆膜集雨系统中良较好的土壤水分、营养状况促进了玉米生长发育, 增强了玉米抵御干旱的能力, 从而覆膜集雨处理中的玉米株高、叶绿素质量分数、生物量、产量和水分利用效率都显著高于裸地平作。

垄沟覆膜集雨系统中良好的水、热、肥条件促进玉米快速生长的同时, 也会加剧玉米的种内竞争。因此, 在本研究中, 同一垄宽的垄沟集雨中, 高密度条件下由于玉米种间竞争而使玉米株高和单株生物量下降。据郭江等^[15]的研究, 随着玉米种植密度的增加, 单株生物量逐渐减小, 收获指数逐渐减小, 当玉米种植密度从每公顷 33 750 株增加到每公顷 33 750 株时, 收获指数下降 31%。另据潘晓云^[16]报道, 竞争强烈的春小麦群体显著降低了春小麦种群的收获指数。同样, 在本研究中收获指数 PH30 显著低于其他处理, 这与该处理玉米种植密度最高, 种内竞争最强烈, 导致向籽粒输入有机物质少有关。

在水分亏缺条件下, 作物对水资源的激烈竞争往往不利于作物籽粒产量这一种群水平上的属性的改善。Pan^[17]在中国甘肃进行的一项有关旱地春小麦的研究表明, 在年均降雨量仅有 185 mm 的景泰与年均降雨量 328 mm 的兰州相比, 春小麦种群内部对水分的竞争激烈程度明显加剧, 结果对景泰的春小麦的收获指数造成一定程度的影响, 与兰州相比下降 16%。Du^[18]的一项研究表明, 不同的水分供应梯度明显影响春小麦的繁殖分配, 随着灌水次数的增多春小麦收获指数也逐渐增大, 灌 4 次水与未灌水的春小麦相比, 收获指数降低增高 22%。本研究的时间从 4 月中旬到 8 月下旬, 该时期降雨量与常年降雨量相比, 是一湿润年份。在干旱年份条件下, 垄沟覆膜玉米种群内不同植株对水分的竞争激烈程度只能加剧, 会对 30 cm 垄宽的高密度玉米的收获指数造成更严重的影响, 但具体会出现什么样的结论, 还需进一步探讨。另外, 在干旱条件下, 是否因为 60 cm 垄宽的高密度玉米的收获指数降低而引起产量下降, 以及干旱会对 30 cm 垄宽和 60 cm 垄宽的中、低密度玉米的生长造成什么样的影响, 也需进一步探讨。

4 结 论

1) 垄沟覆膜集雨的能增加土壤的含水率, 提高土壤微生物量质量分数, 提高玉米叶绿素质量分数, 增强玉米的抗旱性, 促进玉米生长发育。

2) 30 cm 垄宽的垄沟覆膜集雨, 在玉米高密度种植条件下, 由于种内竞争而导致有机物质向籽粒输入减少,

从而引起产量降低。

3) 所有的处理中, 60 cm 垄宽的垄沟覆膜集雨在高密度条件下玉米产量和水分利用效率最高, 因此, 本研究条件下宽垄高密度玉米是提高玉米产量和水分利用的一个重要途径。

[参 考 文 献]

- [1] Wang X L, Li F M, Jia Y, et al. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature[J]. *Agriculture Water Management*, 2005, 78: 181—194.
- [2] Jia Y, Li F M, Wang X L. Soil quality responses to alfalfa watered with a field micro-catchment technique in the Loess Plateau of China[J]. *Field Crop Research*, 2006, 95: 64—74.
- [3] 任小龙, 贾志宽, 韩清芳, 等. 半干旱区模拟降雨下沟垄集雨种植对夏玉米生产影响[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(10): 45—50.
Ren Xiaolong, Jia Zhikuan, Han Qingfang, et al. Effects of rainwater-harvested furrow/ ridge system on spring corn productivity under different simulated rainfalls[J]. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(10): 45—50. (in Chinese with English abstract)
- [4] 刘晓英, 李玉中, 李巧珍, 等. 田间集雨对冬小麦生理、生长和产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(9): 64—69.
Liu Xiaoying, Li Yuzhong, Li Qiaozhen, et al. Effects of field rainwater harvesting on the physiology, growth and yield of winter wheat[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(9): 64—69. (in Chinese with English abstract)
- [5] 王俊鹏, 蒋骏, 韩清芳, 等. 宁南半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究[J]. *干旱地区农业研究*, 1999, 17(2): 8—13.
Wang Junpeng, Jiang Jun, Han Qingfang, et al. Technique of spring wheat cultivation of farmland water micro-collection in semiarid areas of Southern Ningxia[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1999, 17(2): 8—13. (in Chinese with English abstract)
- [6] Li X Y, Gong J D, Gao Q Z, et al. Incorporation of ridge and furrow method of rainfall harvesting with mulching for crop production under semiarid conditions[J]. *Agriculture Water Management*, 2001, 50(3): 173—183.
- [7] 王俊鹏, 韩清芳, 马林, 等. 宁南半干旱农田微集水种植技术效果研究[J]. *西北农林科技大学学报*, 2000, 28(4): 16—20.
Wang Junpeng, Han Qingfang, Ma Lin, et al. Research on the technique of micro-water harvesting plant in semiarid area of South Ningxia [J]. *Acta Univ. Agric Boreali-occidentalis*, 2000, 28(4): 16—20. (in Chinese with English abstract)
- [8] Li X Y, Gong J D. Effect of different ridge: furrow ratios and supplemental irrigation on crop production in ridge and furrow rainfall harvesting system with mulches[J]. *Agriculture Water Management*, 2002, 54: 243—254.
- [9] 王琦, 张恩和, 李凤民, 等. 半干旱地区沟垄微型集雨种植马铃薯最优沟垄比的确定[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(1): 38—41.
Wang Qi, Zhang Enhe, Li Fengmin, et al. Optimum ratio of ridge to furrow for planting potato in micro-water harvesting system in semiarid areas[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(2): 38—41. (in Chinese with English abstract)
- [10] 王晓凌, 陈明灿, 李凤民, 等. 垄沟覆膜集雨系统膜垄保墒增温对马铃薯产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(3): 11—16.
Wang Xiaoling, Chen Mingcan, Li Fengmin, et al. Effects of additional water and increased soil temperature on potato yields in Plastic-covered ridge rainwater-harvesting system. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2007, 25(3): 11—16. (in Chinese with English abstract)
- [11] Ren X L, Jia Z K, Chen X L. Rainfall concentration for increasing corn production under semiarid climate[J]. *Agriculture Water Management*, 2008, 95: 1293—1302.
- [12] Zhou L M, Li F M, Jin S L, et al. How two ridges and the furrow mulched with plastic film affect soil water, soil temperature and yield of maize on the semiarid Loess Plateau of China[J]. *Field Crop Research*, 2009, 113: 41—47.
- [13] Jia Y, Li F M, Wang X L, et al. Soil water and alfalfa yields as affected by alternating ridges and furrows in rainfall harvest in a semiarid environment[J]. *Field Crop Research*, 2006, 97: 167—175.
- [14] Li F M, Song Q H, Jjemba P K, et al. Dynamics of soil microbial biomass C and soil fertility in cropland mulched with plastic film in a semiarid agro-ecosystem[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2004, 36: 1893—1902.
- [15] 郭江, 郭新宇, 郭程瑾, 等. 密度对不同株型玉米群体结构的调控效应[J]. *华北农学报*, 2008, 23(1): 149—153.
Guo Jiang, Guo Xinyu, Guo Chengjin, et al. The effects of density on population structure of maize with different plant types[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(1): 149—153. (in Chinese with English abstract)
- [16] 潘晓云, 王永芳, 王根轩, 等. 覆膜栽培下春小麦种群的生长冗余与个体大小不整齐性的关系[J]. *植物生态学报*, 2002, 26(2): 177—184.
Pan Xiaoyun, Wang Yongfang, Wang Genxuan, et al. Relationship between growth redundancy and size inequality in spring wheat population mulched with clear plastic film[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(2): 177—184. (in Chinese with English abstract)
- [17] Pan X Y, Wang G X, Yang H M, et al. Effect of water deficits on within-plot variability in growth and grain yield of spring wheat in northwest China[J]. *Field Crop Research*, 2003, 80: 195—205.
- [18] Du Y J, Li Z Z, Li W L. Effect of different water supply regimes on growth and size hierarchy in spring wheat populations under mulched with clear plastic film[J]. *Agriculture Water Management*, 2006, 79: 265—279.

Effects of ridge width and planting density on corn yields in rainwater-harvesting system with plastic film mulching on ridge

Wang Xiaoling, Chen Mingcan, Yi Xianfeng, Fu Guozhan

(College of Agronomy, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China)

Abstract: Field experiment was carried out to study effects of ridge width and planting density on corn yields and water use efficiency in a plastic film mulching on ridge for rainwater-harvesting system. The system was designed by two widths of ridges of 30 cm and 60 cm that had three planting densities of high, middle and low. The results showed that soil water content and microbial biomass carbon content were increasing in the system. Corn height and biomass per plant decreased gradually but biomass per unit area increased gradually in the system with the increase of corn density under the same wide ridges. The rainwater- harvesting system with the ridge width of 60 cm could significantly increase chlorophyll content during a period of less precipitation, but significantly decreased the chlorophyll content in high corn density. The rainwater-harvesting system with the 30 cm wide ridge would make grain yield decrease due to the decreasing proportion of organic matter allocation to grain caused by intensive intraspecific competition. The rainwater-harvesting system with the ridge width of 60 cm and the high planting density had the highest yields and water use efficiency among the treatments.

Key words: plastic films, mulching, density, rainwater harvesting of ridge and furrow, ridge width, corn, yield