

东北雨养区覆膜和种植密度对玉米田间 土壤水分和根系生长的影响

陈志君, 孙仕军, 张旭东, 刘蕊, 迟道才

(沈阳农业大学水利学院, 沈阳 110866)

摘要: 为探讨东北雨养区玉米生长状况和田间水分对种植密度和地膜覆盖的响应, 2015年在沈阳农业大学水利学院试验场设置了低(67 500株/hm²)、中(82 500株/hm²)、高(97 500株/hm²) 3个种植密度水平和覆膜、裸地2种方式的玉米田间试验, 根据试验结果分析了土壤水分、玉米根系及其产量变化。结果表明: (1)在0—20 cm土层中, 整个生育期内, 覆膜对于低密度处理的土壤田间含水率影响显著($p < 0.05$), 生育前期、中期和末期覆膜比裸地田间含水率分别提高了9.80%, 15.93%, 12.77%; 在20—40 cm土层中, 生育前期, 中密度覆膜种植的玉米田间含水率比裸地高13.83% ($p < 0.05$); 在40—60 cm土层中, 覆膜对中密度玉米土壤含水率影响显著($p < 0.05$), 生育前期、中期、后期覆膜比裸地处理的土壤含水率分别提高了15.47%, 4.11%, 8.96%。(2)种植密度对玉米根系的根长、总投影面积、总根体积和根系表面积均有显著影响, 随着种植密度的增加, 四者均呈减小趋势; 在种植密度相同时, 覆膜相比裸地提高了玉米根系的根长、总投影面积、根系总体积和根系表面积; 中密度时, 覆膜对玉米根系的4项指标提高最为显著($p < 0.05$), 分别比裸地提高了44%, 38%, 38%, 33%。(3)玉米产量随着种植密度的增加而减小, 当密度为67 500株/hm²时, 玉米产量和百粒重均最大, 百粒重为36.83 g, 产量为12 573.69 kg/hm²。结果说明: 在水肥条件相同情况下, 玉米种植存在一个最优密度, 在最优密度内, 玉米产量随着密度的增加而增加, 超过了最优密度产量呈现减少趋势。研究结果对东北雨养区种植密度和覆盖方式的优化组合提供了理论依据, 对提高雨水利用效率和玉米产量也具有参考意义。

关键词: 种植密度; 覆膜; 土壤水分; 玉米产量; 根系特征

中图分类号: S271

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)01-0224-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.01.037

Effects of Planting Density and Film Mulching on Soil Moisture and Root Growth of Maize Field in Rain-fed Region of North-eastern China

CHEN Zhijun, SUN Shijun, ZHANG Xudong, LIU Rui, CHI Daocai

(College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866)

Abstract: In order to investigate the effects of different maize planting densities and plastic film mulching on maize yield, soil water content and root growth in the rain-fed agriculture region of Northeast China, the field experiment with different planting densities (67 500 plants/hm², 82 500 plants/hm², 97 500 plants/hm²) and film mulching was conducted in the experimental field of Shenyang in 2015. The results showed as follows: (1) In different growth stages of maize, mulching and planting densities had different effects on soil water content in different soil layers. In the upper soil layer of 0—20 cm, soil water content increased by 9.80%, 15.93% and 12.77% respectively for three stages (earlier stage, middle stage and later stage) with planning density of 6 7500 plants/hm². In the soil layer of 20—40 cm, soil water content increased by 13.83% in the early growth stage of maize with planning density of 82 500 plants/hm², and in the soil layer of 40—60 cm, soil water content (82 500 plants/hm²) increased by 15.47%, 4.11% and 8.96% respectively for three stages. (2) The effects of planning density on root length, root project area, root volume and root surface area were significant. This characteristic parameter showed a decreasing trend as the planting density increased. Root length, root project area, root volume and root surface area with the film mulching planting and planning density of 82 500 plants/hm² increased by 44%, 38%, 38% and 33% respectively. (3) The grain

收稿日期: 2016-09-01

资助项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201303125); 国家自然科学基金项目(51609137); 辽宁省教育厅项目(L2014268, 2009A630)

第一作者: 陈志君(1991—), 男, 硕士研究生, 主要从事农业节水方面研究。E-mail: 867389547@qq.com

通信作者: 孙仕军(1969—), 男, 副教授, 博士, 主要从事农业节水和水资源综合利用方面研究。E-mail: sunshijun2000@yeah.net

yield decreased with the increase of planting density. When planting density was 67 500 plants/hm², the 100-seed weight and grain yield were the highest. The highest 100-seed weight was 36.83 g, and the highest yield was 12 573.69 kg/hm². These results showed that there was an optimal planning density of maize. Out of this density, the yield of maize decreased with the increase of the planning density. The research provided a theoretical basis for rational selection of optimal planting density and plastic film-mulching, which was also significant to improve rainwater use efficiency and maize yield in rainfed areas in Northeast China.

Keywords: planting density; film mulching; soil water content; maize yield; root characteristics

近年来,玉米已经成为我国第一大粮食作物。大量研究表明,地膜覆盖技术可以显著改善土壤水热条件,提高玉米产量^[1]。刘胜尧等^[2]研究表明,春玉米播种到苗期覆膜保水效果显著,水分利用效率较裸地提高 81.61%~136.43%;李小雁等^[3]的研究表明,垄上覆膜处理玉米产量比裸地增加了 2 339~5 297 kg/hm²,水分利用效率较裸地提高 44%~143%。玉米产量不仅与地膜覆盖有关,还与种植密度有很大关系^[4]。相关研究表明,玉米产量的逐年增加,主要源于耐密型品种的栽培^[5]。但种植密度的增加,也对田间土壤水分的供给提出了更大要求,增加了玉米植株之间的竞争压力,单纯的提高玉米种植密度并不能提高玉米产量。Widdicombe 等^[6]研究发现,玉米种植密度的提高会减少单株玉米对于光、热和土壤水分等生长要素的获取。由于玉米种植的最适合密度会因为地区条件的不同而不同^[7]。因此,确定某个地区玉米覆膜和密度的最优组合,对提高玉米产量至关重要。相关研究表明,根系表征着作物对于土壤水分利用的能力,对作物生长有着重要的作用。玉米种植密度和覆膜是影响玉米根系分布的重要因素^[8]。综上,以东北雨养区为例,探讨了不同密度和覆盖方式对田间土壤水分、玉米根系生长和产量的影响,旨在寻求雨养条件下种植密度和覆盖方式的最优组合方式。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2015 年 4—9 月在沈阳农业大学水利学院试验场进行。该试验场位于沈阳市东部,北纬 41°44′,东经 123°27′,海拔 44.7 m,属于温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨,雨热同期。全年雨量较为充足,年平均气温为 8℃,根据 1961—2015 年气象观测数据,多年平均降水量为 703.4 mm,主要集中在 5—9 月份,5—9 月份降水量占全年降水量的 79%。试验区土质为潮棕壤土,土质分布均匀,在该地区具有典型代表意义。0—100 cm 土层平均土壤容重平均为 1.41 g/cm³,田间持水率为 0.38 cm³/cm³,凋萎系数为 0.18 cm³/cm³。试验期间,试验区平均地下水位埋深 4.5 m,其中最小地下水埋深 4.1 m,最大地下水埋深 5.0 m,水位变幅不大。2015 年试验期间

降雨量分布见表 1。玉米生育期内有效降雨分别为 365.8 mm,占总降雨量的 88.4%。

表 1 2015 年试验期间各月降雨量分布
单位:mm

月份	生育期总降雨量	生育期有效降雨量
5	87.2	83.6
6	92.7	78.5
7	62.1	46.9
8	138.1	125.1
9	33.7	31.7
合计	413.8	365.8

1.2 试验设计

试验采用传统的大垄双行种植方式(垄台宽 40 cm,沟宽 90 cm),以良玉 99 玉米为研究材料。采用完全随机区组实验设计,设置 3 种密度(67 500,82 500,97 500 株/hm²)和 2 种覆盖方式(普通塑料膜覆盖和不覆盖)。试验共有 6 个处理(见表 2),每个处理重复 3 次,总共 18 个试验小区,每个试验小区面积为 23.4 m²(3.9 m×6 m),包含 3 条耕作垄。试验通过株距来控制密度,3 种密度对应的株距分别为 23,19,16 cm。在试验期内不灌溉,降雨为唯一补充水源。播种时一次性施氮 243 kg/hm²,磷 135 kg/hm²,钾 117 kg/hm² 作为底肥,生育期内不追肥。除覆盖和密度不同外,其他田间管理措施均与农户种植相同。

表 2 试验区的分区处理

覆盖方式	处理编号	种植密度/(株·hm ⁻²)
覆膜	M1	67500
	M2	82500
	M3	97500
裸地	L1	67500
	L2	82500
	L3	97500

1.3 测定项目和方法

土壤含水率:采用时域反射仪(TDR)测定每个小区的 0—60 cm 土层土壤含水率,玉米生育期内每 5~7 d 测定一次,各生育阶段始末和降雨前后加测。

根系:玉米生育期结束后,选取每个试验区玉米长势均匀的地点作为根系的取样点。利用方形整段标本法获取根系样本。将根系洗净封装带回实验室进行处理,利用 EPSON perfection V700 将根系扫描成图,并运用 WinRHIZO 进行分析,得到玉米根长、

根粗、根体积、根表面积等特征参数值。

产量:采摘每个小区中第 3 行和第 5 行的果穗,记录每个果穗的行数和行粒数,风干后脱粒称重,得到果穗的百粒重和产量。

1.4 降雨频率分析

根据试验区西南约 300 m 的东陵水文站观测数据,2015 年试验区降水量为 559.1 mm。统计该水文站 1961—2015 年降水资料,用皮尔逊Ⅲ型曲线计算分析试验区历史降雨经验频率,2015 年对应的降水频率为 $P=84\%$,本年度为偏早年份。

1.5 数据处理

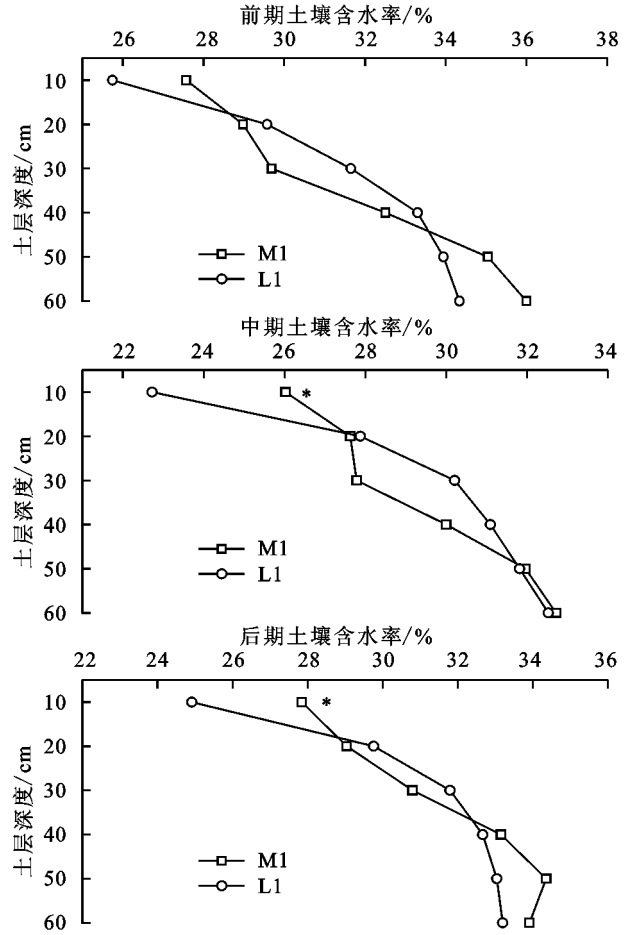
使用 Excel 和 Origin 软件进行数据处理、分析和图表绘制,采用 SAS 软件对数据进行方差分析,采用 Duncan 方法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤水分的影响

2.1.1 土壤含水率对种植模式的响应 根据魏湜和曹广才等的研究,将玉米按生育进程划分为 3 个生育阶段,即出苗至拔节为营养生长阶段;拔节至抽雄为营养生长与生殖生长并进阶段;抽雄至成熟为生殖生长阶段。为表述方便,将玉米营养生长阶段、营养生长与生殖生长并进阶段和生殖生长阶段分别称为玉米生长前期(5 月 1 日—7 月 9 日)、中期(7 月 10 日—8 月 11 日)和后期(8 月 12 日—9 月 27 日)。不同生育期平均土壤含水率与土壤深度的关系如图 1~图 3 所示。

覆膜对不同密度土壤含水率的影响不同。对 0—20 cm 土层而言,覆膜对于低密度处理土壤含水率的影响较大:生育前期,M1 比 L1、M2 比 L2、M3 比 L3 处理的土壤含水率分别提高了 9.80%、7.21%、8.03%;生育中期,覆膜对低密度和高密度处理的含水率的影响具有统计学意义($p<0.05$),M1 比 L1 和 M3 比 L3 处理的土壤率分别提高了 15.93%和 13.21%;生育后期,覆膜对低密度和高密度处理的含水率具有显著性影响,M1 比 L1 和 M3 比 L3 处理的土壤率分别提高了 12.77%和 12.55%。对于 20—40 cm 土层而言,覆膜对高密度影响较大:生育前期,覆膜对中密度和高密度处理的土壤含水率具有统计学意义($p<0.05$),M2 比 L2、M3 比 L3 分别提高了 13.83%和 8.61%;生育中期,M2 比 L2、M3 比 L3 分别提高了 5.61%和 6.93%;生育后期,覆膜对高密度处理的土壤含水率具有统计学意义($p<0.05$),M3 比 L3 处理的土壤含水率提高了 9.99%;对于 40—60 cm 土层而言,覆膜对中密度处理的土壤含水率的影响具有统计学意义($p<0.05$),生育前期、中期和后期 M2 比 L2 处理土壤含水率分别提高了 15.47%、4.11%、8.96%。



注: * 表示在对应深度上土壤含水率在 0.05 水平差异显著。下同。

图 1 密度为 67 500 株/hm² 时全生育期玉米田间含水率与土层深度的关系

2.1.2 土壤含水率对种植密度的响应 整个生育期内,相同条件下密度对不同深度土壤含水率的影响程度不同。根据图 4,覆膜条件下 0—20 cm 土层中,生育前期 M1 比 M2 和 M3 处理的土壤含水率分别提高了 19.65%和 6.72%;生育中期,M1 比 M2 和 M3 处理的土壤含水率分别提高了 9.34%和 2.24%;而生育后期,M3 比 M1 和 M2 处理的土壤含水率分别提高了 2.52%和 19.64%,这表明在 0—20 cm 土层中,中密度种植玉米消耗水量最大。在 20—40 cm 土层内,玉米各生育阶段均表现为高密度种植条件下的田间土壤含水率最高。在 40—60 cm 土层中,全生育期内皆为中密度种植的土壤含水率最低。综上表明,覆膜种植条件下,中密度对土壤水分需求最多。图 5 表明,裸地条件下,在 0—20 cm 土层中,生育前期,L1 比 L2 和 L3 的土壤含水率高 19.76%和 7.64%。生育中期和后期,L1、L2 和 L3 的土壤含水率相近。在 20—40 cm 土层中,生育前期,L1 比 L2 和 L3 的土壤含水率高 28.19%和 19.28%。生育中期,3 种密度的土壤含水率相近。在生育后期,中密度土壤含水率最低。在 40—60 cm 土层中,生育前期,L1 比 L2 和 L3 的土壤含水率高 27.34%和 7.51%。生育中期,L1 比

L2 和 L3 的土壤含水率高 11.61% 和 12.36%。生育后期,L1 比 L2 和 L3 的土壤含水率高 15.53% 和 5.38%。综上,无论是裸地种植还是覆膜种植都表现出中密度的土壤含水率最低。覆膜种植时,各密度处理的土壤含水率变化幅度较小,而裸地种植时,各密度处理的土壤含水率变化幅度较大,之间相差明显。

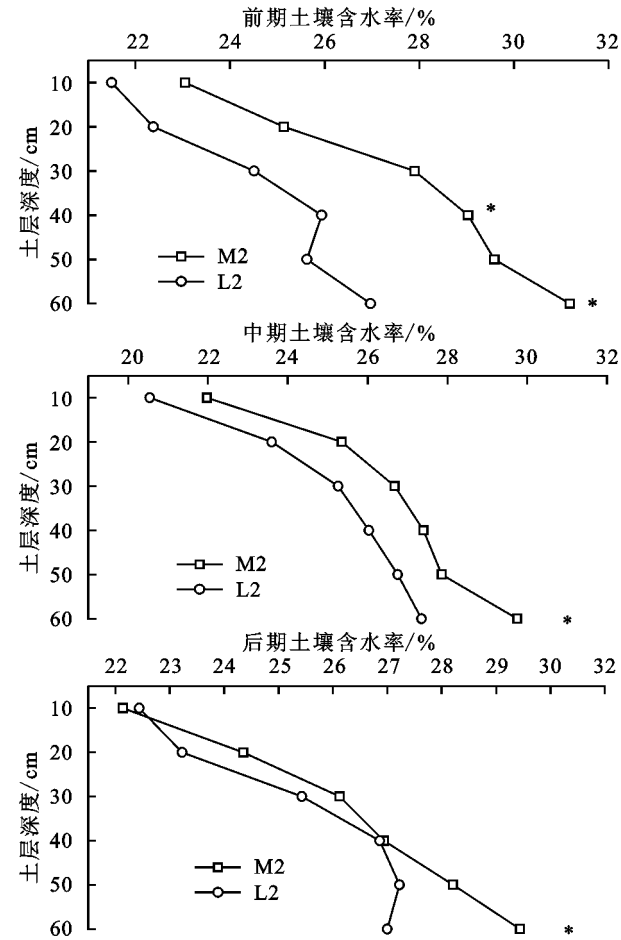


图 2 密度为 82 500 株/hm² 时全生育期玉米田间含水率与土层深度的关系

2.2 覆膜和密度对生育后期根系生长的影响

在相同种植模式时,对不同密度玉米根系特征参数的影响进行统计分析(表 3)。结果表明,密度对根系特征参数均有显著影响($p<0.05$)。无论覆膜还是裸地,随着密度的增加,玉米根系特征参数呈现减小趋势。覆膜条件下,低密度的根长较中密度和高密度分别提高了 5.2% 和 45.2%;低密度的总投影面积、表面积和总根体积比高密度分别提高了 44.4%, 44.4%, 17.6%。裸地条件下,低密度的根长较中密度和高密度分别提高了 17.9% 和 89.0%;低密度的总投影面积较中密度和高密度分别提高了 51.4% 和 96.1%;低密度的根表面积较中密度和高密度分别提高了 51.4% 和 96.1%;低密度的总根体积较中密度和高密度分别提高了 92.9% 和 102.9%。由表 3 可

知,裸地条件下种植密度对玉米根系特征参数的影响明显大于覆膜种植的影响。这是由于覆膜能够减少土壤水分的蒸发量,使得覆膜处理的土壤含水量没有裸地种植的土壤含水量变化幅度大,因而使得玉米根系生长更加稳定。

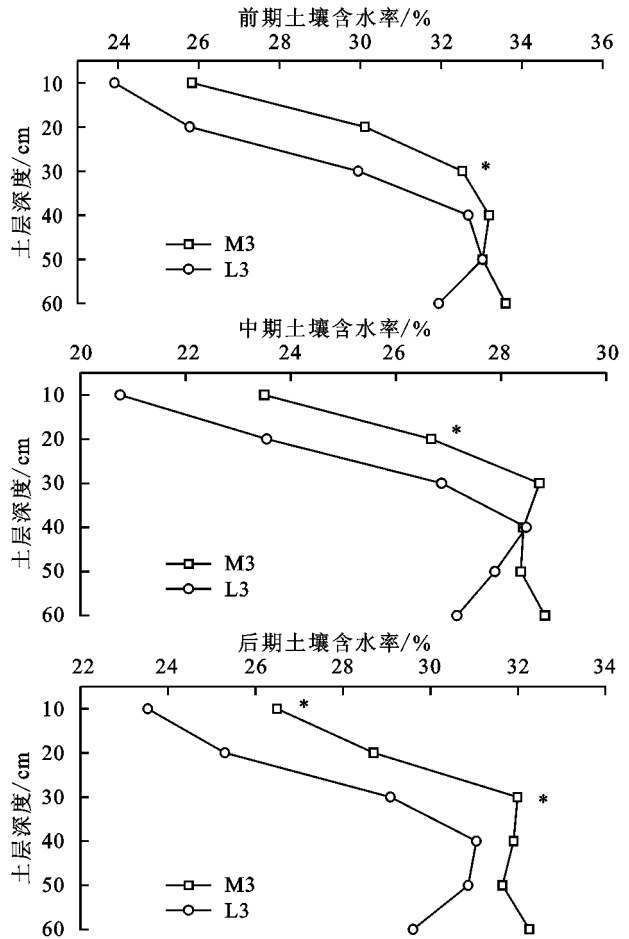


图 3 密度为 97 500 株/hm² 时全生育期玉米田间含水率与土层深度的关系

从表 3 还可以看出,在密度相同时,覆膜均提高了玉米的根长。其中中密度提高最多,为 44%;在低密度种植情况下,覆膜并未提高根系总投影面积、根系总体积和根系表面积;在 3 种密度种植下,中密度对于提高根系总投影面积、根系总体积和根系表面积,效果最显著($p<0.05$),分别提高了 38%, 38%, 33.1%。可见,中密度对于根系玉米根系特征参数影响程度大于低密度和高密度。

表 3 各处理玉米根系特征参数

处理	根长/ cm	总投影 面积/cm²	根表面积/ cm²	总根体积/ cm³
M1	15774.30a	1554.04a	4882.17a	124.57a
M2	14947.70b	1541.42b	4842.50b	126.16a
M3	8631.80b	1076.19b	3380.94b	105.88a
L1	12231.22a	1691.05a	5312.60a	184.75a
L2	10377.92b	1117.07a	3509.38a	94.79a
L3	6470.52b	862.45b	2709.46b	91.04b

注:表中同列数据后面的小写字母表示相同种植模式下不同种植密度在 0.05 水平上的差异显著。下同。

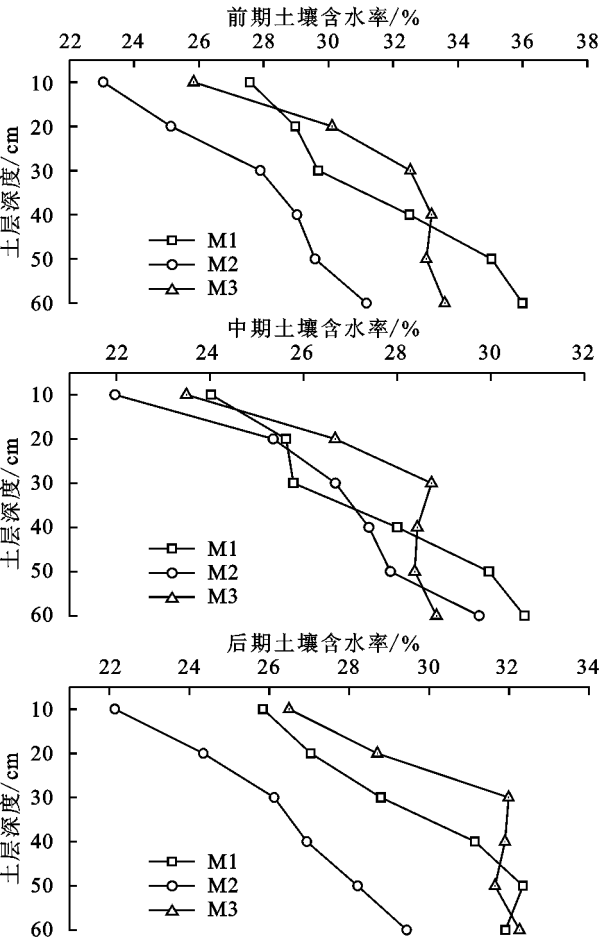


图 4 覆膜种植全生育期内土壤含水率与土层深度关系

2.3 不同处理对玉米产量的影响

将不同处理条件下玉米产量列入表 4。从表 4 可知,裸地种植时中密度的产量最大,但和其他 2 种密度下产量的差别并未达到显著水平。覆膜条件下,玉米产量随着种植密度的增加而减小,且差异达到了显著水平,低密度的产量比中密度和高密度分别提高了 3%和 8%。总体上覆膜种植比裸地处理高产,但在试验设置的 3 种密度下并未达到显著水平。结果表明,良玉 99 号玉米的产量在密度为 67 500 株/hm² 时最高;表 4 中虽然玉米的百粒重与是否覆膜和密度变化的相关性都不显著,但随着密度的增加,无论是否覆膜,玉米的百粒重都在减少。说明随着密度的增加,个体之间的竞争增加,限制了个体的发展。玉米的行粒数与玉米种植密度关系不显著,而覆膜种植增加了行粒数;本试验条件下,玉米果穗的行数与种植模式和种植密度都没有显著的关系。

对相同密度下是否覆膜的玉米产量进行比较,发现覆膜对不同密度的增产效果是不同的,由表 4 可知,覆膜种植提高了低密度和高密度的产量,分别提高了 3.9%和 2.8%,但是对于中密度覆膜并未提高其产量。结果表明,覆膜种植并不是总能提高玉米的产量。在一定的密度范围内,覆膜可以很好地提高玉

米的产量,但超出这个范围并不能有效提高玉米产量。从表 4 中还能看出,覆膜种植提高了玉米的百粒重,但并没有达到显著水平。

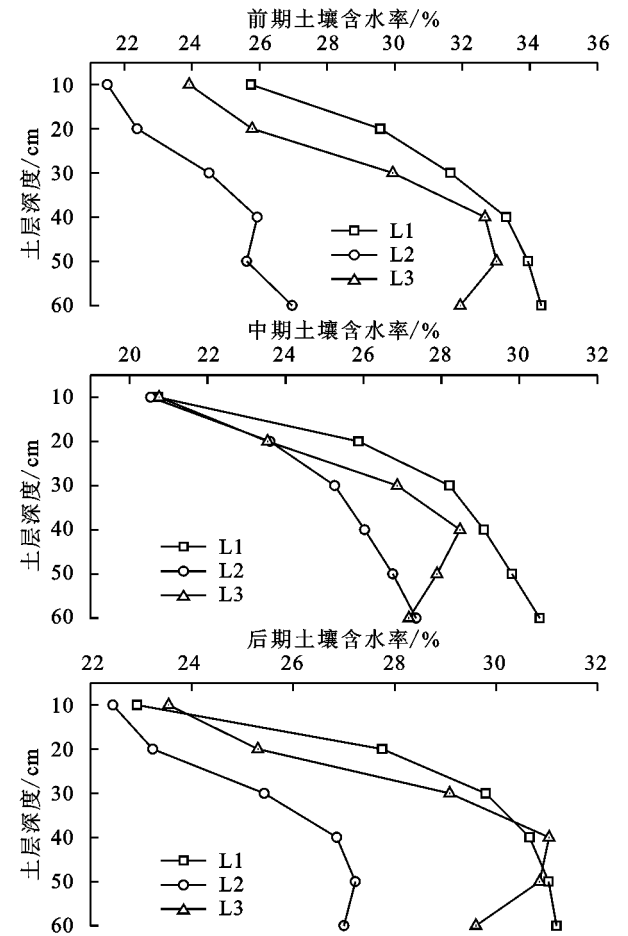


图 5 裸地种植全生育期内土壤含水率与土层深度关系

表 4 不同处理下玉米的产量

处理	产量/ (kg · hm ⁻²)	百粒重/ g	行粒数/ 粒	行数/ 行
M1	12573.69a	36.83a	37.14a	17.56a
M2	12158.14ab	34.85a	37.00a	17.56a
M3	11250.04b	34.51a	35.43a	17.56a
L1	12109.75a	36.65a	35.60a	17.33a
L2	12364.73a	34.78a	34.78a	17.75a
L3	10928.30a	34.57a	34.57a	17.22a

3 讨论

以往研究表明,玉米种植密度和覆膜栽培对玉米产量有明显的增产效应^[9-10]。孙仕军等^[11]研究表明,东北沈阳雨养区玉米覆膜种植产量明显高于裸地种植的产量,同时产量随着种植密度的增加而增加。杨国虎等^[12-13]研究表明,玉米产量随着密度的增长呈现先增长后下降的趋势。本试验条件下,2015 年沈阳地区降水偏少,属偏早年份,试验小区玉米的产量随密度增加呈现出递减的趋势,密度为 67 500 株/hm² 时产量达到最大,为 12 573.69 kg/hm²。结合近 3 年的试验成果,对良玉 99 号玉米品种而言,在沈阳雨养区覆

膜条件下,种植密度范围为 67 500~75 000 株/hm² 时玉米产量达到最优。本研究还表明,随着种植密度的增加,无论是否覆膜,玉米的百粒重都呈减小的趋势;在试验设计的密度梯度内,玉米种植密度和覆膜对玉米果穗的行数几乎没有影响。

陈登峰等^[9]研究表明,东北黑土区作物地膜覆盖后,0—50 cm 深度土壤含水量明显高于未覆膜处理。另有研究表明,20—40 cm 土层是玉米根系主要的储水和耗水区,当提高玉米种植密度时,对 20—40 cm 土层的土壤含水率影响最大^[13]。本试验结果表明,覆膜和密度对不同深度土层含水率影响不同。在 0—20 cm 土层,整个生育期内,覆膜种植的土壤含水率显著高于裸地种植的含水率;在 20—40 cm 土层,只有在高密度时覆膜种植的土壤含水率显著高于裸地;在 40—60 cm 土层,只有在中密度时覆膜的含水率显著高于裸地。本试验还发现,整个生育期内,对于覆膜种植而言,在 0—20 cm,20—40 cm 和 40—60 cm 土层中,都是中密度土壤含水率最低。对裸地种植而言,在 0—20 cm 土层中,全生育期内,低密度的土壤含水率最高。在 20—40 cm 土层中,全生育期 3 种密度的土壤含水率相近。在 40—60 cm 土层中,低密度土壤含水率最高,中密度土壤含水率最低。综上,无论是覆膜种植还是裸地种植都表现出中密度的土壤含水率最低。同时,覆膜种植时,各密度处理的土壤含水率变化幅度较小。而裸地种植时,各密度处理的土壤含水率,变化幅度较大,之间相差更明显。

大量研究表明,不同耐密性品种之间根系的差异主要表现在 0—40 cm。随着密度的增加,根系显著变小、变细。同时,密度主要降低了 0—20 cm 土层中的根系生长,对深层根系影响较小^[5]。Ma 等^[15]的研究认为,74.9%的根系集中在 0—50 cm 土层中,并且在 0—50 cm 土层中的根系吸水量占总吸水量的 72.1%。本文选取 0—50 cm 土层中的根系进行研究,发现密度对根系特征参数均有显著影响。在覆膜和裸地种植中,随着密度的增加,玉米根系特征参数呈现减小趋势。裸地种植时,密度对玉米根系特征参数的影响大于覆膜种植时的影响。在密度相同时,覆膜明显提高了玉米的根长,当种植密度为 82 500 株/hm² 时,玉米根长显著提高。

4 结论

(1)覆膜在不同层次土壤层中对不同密度的土壤含水率影响不同,密度对于不同深度土壤含水率的影响程度也不同。总体上,无论裸地种植还是覆膜种植都表现出密度为 82 500 株/hm² 时土壤含水率最低。覆膜种植时,各密度处理的土壤含水率变化幅度较

小,而裸地种植时,各密度处理的土壤含水率,变化幅度较大,之间相差更明显。

(2)密度变化对根系各特征参数均有显著影响。在覆膜和裸地情况下,随着密度的增加,玉米根系特征参数呈现减小趋势。裸地种植时,密度对玉米根系特征参数的影响大于覆膜种植时的影响。在密度相同时,覆膜提高了玉米的根长,且密度为 82 500 株/hm² 时根长提高最显著。

(3)在偏干旱年份,玉米产量随着种植密度的增加而减小,同种密度下覆膜种植比裸地处理高产。其中,覆膜条件下种植密度为 67 500 株/hm² 时玉米产量和百粒重均最大,玉米最优产量为 12 573.69 kg/hm²,百粒重为 36.83 g。该处理为良玉 99 号玉米在雨养条件下偏早年份高产和高效率用水的最优组合。玉米的行粒数与玉米种植密度关系不显著,与玉米的种植模式有关,覆膜种植显著增加了行粒数。

(4)雨养地区,生育期内自然降水及其分布对田间土壤墒情变化和作物生长有着显著影响。本试验只有一个年份,今后应根据年际间不同水文年度的降水情况,更好地确定当地高产玉米最佳种植密度。

参考文献:

- [1] Bu L D, Liu J L, Zhu L. The effects of mulching on maize growth, yield and water use in a semi-arid region [J]. Agriculture Water Management, 2013, 123(10): 71-78.
- [2] 刘胜尧,李志宏,张立峰,等. 覆膜对华北春玉米磷钾吸收分配及水分利用率的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(4): 98-103.
- [3] 李小雁. 旱作农田沟垄微型集雨结合覆盖玉米种植试验研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 46-52.
- [4] Hashemite A M, Herbert S J, Putnam D H. Yield response of corn to crowding stress[J]. Agronomy Journal, 2005, 97(3): 839-846.
- [5] 陈延玲,吴秋平,陈晓超. 不同耐密玉米品种的根系生长及其对种植密度的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 8(1): 52-59.
- [6] Widdicombe W D, Thelen K D, Thelon. Row width and plant density effects on corn grain production in the northern Corn Belt[J]. Agronomy Journal, 2002, 94(5): 1020-1023.
- [7] 杨世民,廖尔华,袁继超. 玉米密度与产量及产量构成因素关系的研究[J]. 四川农业大学学报, 2000, 18(4): 322-324.
- [8] Chen C Y, Hou H P, Li Q. Effects of planting density on photosynthetic characteristics and changes of carbon and nitrogen in leaf of different corn hybrids[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 3(2): 871-878.