

密肥互作对全膜双垄沟播玉米产量及水分利用效率的影响

徐振峰¹, 刘宏胜², 高玉红¹, 牛俊义¹, 欧佐铭², 王伟峰², 刘学翠²

(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 会宁县农牧局, 甘肃 会宁 730799)

摘要: 为进一步完善全膜双垄沟播玉米栽培技术体系, 采用大田随机区组试验法, 研究了不同密度和施肥水平对全膜双垄沟播玉米产量和水分利用效率的影响。结果表明: 6.75×10^4 株·hm⁻² 种植密度下玉米产量和水分利用效率显著高于 4.50×10^4 株·hm⁻² 密度处理。不同施肥处理条件下, 玉米穗行数和产量均以施纯氮 180 kg·hm⁻², 施过磷酸钙 144 kg·hm⁻² 处理最高; 玉米百粒重和水分利用效率均以施纯氮 210 kg·hm⁻², 施过磷酸钙 168 kg·hm⁻² 最高; 6.75×10^4 株·hm⁻² 密度下施纯氮 210 kg·hm⁻², 施过磷酸钙 168 kg·hm⁻² 处理互作效应显著, 玉米百粒重、产量和水分利用效率均高于其他处理。说明 6.75×10^4 株·hm⁻² 密度下施纯氮 210 kg·hm⁻², 施过磷酸钙 168 kg·hm⁻² 是当地全膜双垄沟播玉米生产中比较理想的种植密度和施肥水平。

关键词: 全膜双垄沟播玉米; 肥密互作; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S513 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)02-0085-06

Effect of density and fertilizer interaction on yield and water use efficiency of maize cultivated by system of full plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows

XU Zheng-feng¹, LIU Hong-sheng², GAO Yu-hong¹, NIU Jun-yi¹, OU Zuo-ming², WANG Wei-feng², LIU Xue-cui²

(1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Agriculture and Animal Husbandry of Huining, Huining, Gansu 730799, China)

Abstract: Effect of fertilizer and density interaction on yield and water use efficiency of maize with full plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows were studied to further improve this maize cultivation system, using a randomized complete block design with three replications. The results indicated that the grain yield and water use efficiency in the 6.75×10^4 plant·hm⁻² treatment were significantly higher than that of 4.50×10^4 plant·hm⁻². Kernel rows per ear and yield in N 180 kg·hm⁻² and P₂O₅ 144 kg·hm⁻² were higher than that of others. 100-grain weight and water use efficiency in N 210 kg·hm⁻² and P₂O₅ 168 kg·hm⁻². 100-grain weight were higher than that of others. Yield and water use efficiency in the interaction system of 6.75×10^4 plant·hm⁻² density, N 210 kg·hm⁻², and P₂O₅ 168 kg·hm⁻² were higher than those of other treatments, as are recommended for the ridge-furrow mulching system.

Keywords: full plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows; density and fertilizer interaction; grain yield; water use efficiency (WUE)

干旱、水资源短缺是制约黄土高原地区农业发展的主要因素^[1]。而地膜覆盖技术具有明显的增温、保墒和增产效果^[2-4]。在此基础上研发的全膜双垄沟播玉米栽培技术是目前我国干旱半干旱地区大面积推广应用的一项高产高效栽培技术, 该技术集垄面集流、覆膜抑蒸、垄沟种植技术于一体, 有效

地提高了天然降水储蓄率和土壤水分利用率, 增产达 35% 以上^[5-6]。有关该项技术的增产机理已有相关研究, 并取得一定研究成果^[7-11]。王绍美^[12]等研究表明, 与条膜起垄覆盖、条膜平铺覆盖、全膜平铺覆盖和不覆膜处理相比, 全膜双垄沟播处理能显著提高玉米籽粒产量和水分利用效率; 杨祁

收稿日期: 2013-12-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(30960187)

作者简介: 徐振峰(1987—), 男, 山东泰安人, 硕士研究生, 研究方向为作物栽培与生态生理。E-mail: xuzhenfeng605@126.com。

通信作者: 牛俊义(1957—), 男, 甘肃会宁人, 博士生导师, 教授, 研究方向为作物栽培与生态生理。E-mail: niujy@gsau.edu.cn。

峰^[13]、刘广才^[5]等研究表明,全膜双垄沟播技术的平均降水利用率达 70.20%,玉米水分利用效率最高达 $37.52 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$,平均增产率为 42.60%。王学兰^[14]等研究表明,秋季全膜双垄沟播显著改善了玉米产量构成因素,提高了产量和水分利用效率,与不覆膜平播处理相比分别提高 29.24% 和 77.83%。采用全膜双垄沟播种植结合秸秆还田技术的栽培模式较单一的全膜双垄沟播玉米产量增加^[15]。但对密肥互作条件下全膜双垄沟播玉米籽粒产量和水分利用效率的研究相对较少^[16]。本研究根据我国西北地区气候特点,以全膜双垄沟播玉米为研究对象,系统分析了密肥互作对全膜双垄沟播玉米籽粒产量和水分利用效率的影响,旨在为进一步完善全膜双垄沟播玉米栽培技术体系提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2011 年 3 月—2012 年 10 月在中国气象局兰州干旱气象研究所“定西干旱气象与生态环境试验基地”(104°37'E, 35°35'N)进行。该基地海拔 1 896.7 m,属中温带半干旱区,大陆性季风气候。光能较多,雨热同季,降水少且变率大,气候干燥。年均降水量为 386.0 mm(2002—2011 年),主要集中在 5~10 月(占年降水量的 86.9%)。2011、2012 年玉米生育期各月份降雨量分布情况如表 1 所示。2011 年玉米生育期降水量为 284.50 mm,为较干旱年份。试验田土壤质地为黄绵土,土壤养分基础状况如表 2 所示。

表 1 2011、2012 年试验区 4—10 月份降雨量/mm

Table 1 Monthly rainfall from April to October in 2011 and 2012

年份 Years	月份 Month							生育期降雨量 Rainfall of growth stage/mm
	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.	
2011	0.10	32.40	39.40	33.00	124.10	49.40	6.10	284.50
2012	0.50	40.80	51.12	63.20	150.10	56.70	10.12	372.54

表 2 2011、2012 年试验田土壤基础养分状况

Table 2 Soil fertility of the experimental field before sowing in 2011 and 2012

土壤深度 Soil depth/cm	土壤指标 Soil indicators						pH 值
	全氮 Total N/(g·kg ⁻¹)	全磷 Total P/(g·kg ⁻¹)	有机质 OM/(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Avail N/(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Avail P/(mg·kg ⁻¹)		
2011	0~20	0.76	0.68	11.26	20.65	8.97	8.21
	20~40	0.65	0.61	10.87	15.38	6.61	8.28
2012	0~20	0.74	0.66	11.11	20.18	8.85	8.23
	20~40	0.62	0.58	10.83	15.02	6.53	8.31

1.2 试验材料

试验所用地膜规格为宽 120 cm、厚 0.01 mm,由兰州绿园塑业有限公司生产。供试玉米品种为“承单 20 号”,由定西市种子公司提供。供试氮肥为尿素(N 46%),磷肥为过磷酸钙(P₂O₅ 12%)。

1.3 试验设计

试验采用二因素随机区组设计,设置播种密度、施肥两个因素。播种密度设 4.50×10^4 株·hm⁻² (D1)和 6.75×10^4 株·hm⁻² (D2)两个水平。施肥设施纯氮量(N)、施 P₂O₅ 量(P)6 个水平,分别为不施肥处理 NP1(N, 0 kg·hm⁻²; P₂O₅, 0 kg·hm⁻²),施肥处理 NP2(N, 120 kg·hm⁻²; P₂O₅, 96 kg·hm⁻²), NP3(N, 150 kg·hm⁻²; P₂O₅, 120 kg·hm⁻²), NP4(N, 180 kg·

hm⁻²; P₂O₅, 144 kg·hm⁻²), NP5(N, 210 kg·hm⁻²; P₂O₅, 168 kg·hm⁻²), NP6(N, 240 kg·hm⁻²; P₂O₅, 192 kg·hm⁻²),氮、磷比例为 1:1,以 NP1 为对照(CK)。

试验采用全膜双垄沟播栽培技术:设带宽为 110 cm,沿 40 cm、70 cm 处分别开沟,形成 40 cm、70 cm 的两个垄面,小垄高 15~20 cm,大垄高 10~15 cm,在大小垄相接处形成播种沟。将地膜全地面覆盖,接茬在大垄中间,边起垄边覆膜,膜与膜之间不留空隙,相接处用土压住地膜,每隔 200 cm 压一土腰带。磷肥全部作基肥施入;氮肥 60% 作基肥施入,40% 分别在拔节期和灌浆期追施(各 20%)。每个处理 3 次重复。小区面积为 30.8 m² (4.4 m × 7 m),小区间分别留 40 cm、60 cm 宽走道。当年玉米

收获后把地膜全部揭掉,重新平整土地,在原先试验小区上重新起垄进行秋季覆膜(2011年11月16日)。2012年4月15日播种,10月10日收获。所有处理均未进行灌溉,其它管理方式同一般大田。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 产量及其构成因素的测定 成熟后按小区测定各处理的玉米籽粒产量。每小区取样 15 株,当玉米籽粒水分低于 20% 时,进行室内考种,测定穗行数、行粒数、百粒重等产量构成因素。

1.4.2 水分利用效率的测定 依据玉米产量和耗水量计算^[17],计算公式为: $WUE = Y/ET$ 。式中, WUE 为玉米水分利用效率($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$), ET 为耗水量(mm)。耗水量(mm) = 播前土壤储水量(mm) + 降雨量(mm) - 收获后土壤储水量(mm)^[18]。

1.5 数据处理

利用 Excel 软件对试验所获数据进行整理,利用 SPSS 20.0 软件进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同处理对全膜双垄沟播玉米产量及其构成因素的影响

2.1.1 密度对全膜双垄沟播玉米产量及其构成因素的影响 由表 3 可以看出,随着密度的增加,两年玉米的穗行数、行粒数和百粒重均有所降低,而籽粒产量表现为显著增加的趋势。两密度比较来看,低密度处理的玉米行粒数比高密度处理高 17.86% ~ 18.81% ($P < 0.01$);高密度处理的籽粒产量较低密度处理高 8.94% ~ 10.85% ($P < 0.05$)。从年度间比较来看,2012 年两密度水平下各产量构成因素和籽粒产量均高于 2011 年,其中高密度处理下的穗行数、行粒数、百粒重和产量分别高出 9.61%、14.88%、0.54% 和 20.19%;低密度处理分别高出了 8.20%、13.95%、2.44% 和 22.30%。

表 3 不同种植密度对全膜双垄沟播玉米产量及其构成因素的影响

Table 3 Effect of different density on grain yield and component factors of maize

密度 Density	2011				2012			
	穗行数 Rows per ear	行粒数 Grains per row	百粒重 100-grain weight/g	产量 Yield /($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	穗行数 Rows per ear	行粒数 Grains per row	百粒重 100-grain weight/g	产量 Yield /($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
D1	14.39	35.62	37.65	7024.35	15.57	40.59	38.57	8590.85
D2	13.95	29.98	37.15	7786.68	15.29	34.44	37.35	9358.67
D1 - D2	0.34	5.64**	0.50	-762.33*	0.28	6.15**	1.22	-767.82*

注: * 显著($P < 0.05$), ** 极显著($P < 0.01$),下同。

Note: * Significant ($P < 0.05$), ** highly significant ($P < 0.01$). The same below.

2.1.2 施肥对全膜双垄沟播玉米产量及其构成因素的影响 由表 4 可以看出,两年玉米的籽粒产量及其各构成因素均随施肥量的增加而呈先升后降的趋势,拐点出现在 NP4 或 NP5 处理,说明 $180 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $210 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的施氮水平是全膜双垄沟播玉米的一个临界施肥水平,而过多的施肥量会造成土壤的恶化和污染,进而使籽粒产量下降。从各相关因素来看,穗行数两年均为 NP4 处理最多,较不施肥处理 NP1 显著高 7.70% ~ 11.97%,与其他施肥处理差异不显著。行粒数 2011 年以 NP4 处理最多,比不施肥处理 NP1 显著高 16.11%,比其他施肥处理显著高 3.15% ~ 12.43%;2012 年则以 NP5 处理最多,比不施肥处理 NP1 显著高 9.69%,与 NP4 处理无显著差异,较其他施肥处理显著高 1.90% ~ 8.36%。玉米百粒重两年均以 NP5 处理最高,较不施肥处理 NP1 显著高 14.19% ~ 18.89%,2011 年与 NP4 处理无显著差异,两年 NP5 处理的百粒重较其

他施肥处理显著高 2.30% ~ 15.15%。籽粒产量以 NP4 处理最高,比不施肥处理 NP1 显著高 22.46% ~ 25.82%,2011 年与 NP6 处理无显著差异,2012 年显著高 23.63%,两年较其余施肥处理显著高 0.01% ~ 23.63% ($P < 0.05$)。两年各处理的玉米穗行数、行粒数、百粒重和籽粒产量均为 2012 年高于 2011 年,其中 NP4 处理的穗行数 2012 年较 2011 年高出 7.85%;NP5 处理的行粒数、百粒重和籽粒产量 2012 年较 2011 年分别高出 21.60%、0.93% 和 18.94%。

2.1.3 肥密互作对全膜双垄沟播玉米产量及其构成因素的影响 由表 5 可以看出,玉米籽粒产量及其构成因素不单纯受密度或施肥单一因素的影响,二者具有一定的互作效应。从两年穗行数来看,以 D1NP4 处理最高,较不施肥处理 D2NP1 显著高 17.58%,2011 年与其他施肥处理无显著差异,2012 年较其他施肥处理显著高 2.38% ~ 9.85%。两年行粒数均以 D1NP4 处理最高,较不施肥处理 D1NP1 和

D2NP1 显著高 10.76% ~ 33.67%，与 D1NP5 处理差异不显著，较其他施肥处理显著高 1.93% ~ 29.38%。两年玉米的百粒重均以 D2NP5 处理最高，较不施肥处理 D1NP1 和 D2NP1 显著高出 17.47 ~ 25.71 个百分点，除 2011 年与 D1NP4 处理无显著差异外，与其他施肥处理差异均达显著水平(4.24% ~ 23.39%)。籽粒产量均以 D2NP5 处理最高，较不施肥处理 D1NP1 显著高 33.94% ~ 42.37%，较 D1NP6 处理显著高 37.91% ~ 44.46%。可见各产量

构成因素中穗行数和行粒数是影响产量高低的主要因素，但并非二者越大产量就越高，百粒重对产量的高低起着决定性作用。各处理的玉米穗行数、行粒数和籽粒产量均表现为 2012 年高于 2011 年，其中，穗行数高出 5.65% ~ 14.61%；行粒数高出 13.81% ~ 28.62%；籽粒产量高出 4.66% ~ 28.87%。说明 6.75×10^4 株·hm⁻² 种植密度，施氮肥 210 kg·hm⁻²、磷肥 168 kg·hm⁻² 是全膜双垄沟播玉米高产较适宜密度和施肥水平。

表 4 施肥对全膜双垄沟播玉米产量及其构成因素的影响

Table 4 Effect of different fertilizer on grain yield and component factors of maize

处理 Treatment	2011				2012			
	穗行数 Rows per ear	行粒数 Grains per row	百粒重 100-grain weight/g	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	穗行数 Rows per ear	行粒数 Grains per row	百粒重 100-grain weight/g	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)
NP1	13.20b	29.37d	35.88c	6474.83b	14.80b	36.65d	34.78e	8066.19b
NP2	14.02a	30.33cd	36.43bc	6892.28ab	15.24ab	37.10c	35.91d	9165.91ab
NP3	14.17a	31.50c	37.98b	7703.00ab	15.73a	37.47c	37.01c	9761.86a
NP4	14.78a	34.10a	40.05a	8146.28a	15.94a	39.45ab	39.17b	9877.80a
NP5	14.68a	33.06b	40.97a	8139.13a	15.67a	40.20a	41.35a	9680.57a
NP6	14.17a	30.94c	37.30b	7077.59ab	15.19ab	39.23b	38.75b	7990.11b

注：同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著，下同。

Note: Data with different lower-case letters within the same column are significantly different at the 0.05 level. The same below.

表 5 肥密互作对全膜双垄沟播玉米产量及其构成因素的影响

Table 5 Effect of fertilizer and density on grain yield and yield components of maize

处理 Treatment	2011				2012			
	穗行数 Rows per ear	行粒数 Grains per row	百粒重 100-grain weight/g	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	穗行数 Rows per ear	行粒数 Grains per row	百粒重 100-grain weight/g	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)
D1NP1	13.60ab	31.00c	37.09c	6038.33c	14.93f	38.10c	34.90f	7613.13b
D1NP2	14.33a	32.00c	37.54c	6712.91bc	15.47d	38.30c	36.50e	8383.60ab
D1NP3	14.53a	32.67bc	40.44b	7772.87ab	16.13b	38.40c	38.50d	9218.69ab
D1NP4	15.05a	37.08a	41.80ab	7990.21ab	16.40a	42.20a	41.42b	9771.37a
D1NP5	14.70a	34.78ab	38.37c	7680.83ab	15.53d	41.40a	39.32c	9164.38ab
D1NP6	14.12a	31.20c	37.67c	5950.95c	14.93f	40.13b	39.20c	7393.90b
D2NP1	12.80b	27.74d	34.66d	6911.32abc	14.67f	35.20d	34.66f	8519.25ab
D2NP2	13.70ab	28.66d	35.31d	7071.65abc	15.01d	35.90d	35.31f	9113.12ab
D2NP3	13.80ab	30.33c	35.51d	7633.12ab	15.33e	36.53d	35.51f	9752.34a
D2NP4	14.51a	31.12c	38.30c	8302.34ab	15.47d	36.70d	36.92e	9984.22a
D2NP5	14.65a	31.33c	43.57a	8596.76a	15.80c	39.00c	43.37a	10196.76a
D2NP6	14.22a	30.67c	36.92cd	8204.22ab	15.44g	38.33c	38.30d	8586.32ab

2.2 不同处理对全膜双垄沟播玉米水分利用效率的影响

2.2.1 密度对全膜双垄沟播玉米水分利用效率的影响 如图 1 所示，全膜双垄沟播栽培技术下，两年玉米水分利用效率均表现为高密度处理(D1)高于

低密度处理(D2)。且前者的水分利用效率较后者高 5.82% ~ 8.21%。不同密度水平下两年的玉米水分利用效率均表现为 2012 年高于 2011 年，其中，高密度处理下 2012 年较 2011 年高出 18.80%，低密度条件下玉米全生育期耗水量 2012 年比 2011 年高 16.17%，

这可能与2012年降雨量明显多于2011年有关。

2.2.2 施肥对全膜双垄沟播玉米水分利用效率的影响 如图2所示,两年玉米水分利用效率均随施肥量的增加而呈先升后降的趋势,施氮 $210\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (NP5)处理下玉米水分利用效率最高,2011年和2012年分别达 $25.18\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $30.13\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$,较不施肥处理显著高出 $19.68\sim 24.96$ 个百分点。其中,2011年各施肥处理间差异不显著,2012年NP3、NP4和NP5处理的玉米水分利用效率分别较NP2处理显著高 22% 、 19.70% 和 24.15% ,分别较NP6处理显著高 21% 、 18.72% 和 23.13% 。说明NP3和NP5施肥处理施可有效提高全膜双垄沟播玉米的施肥利用效率。

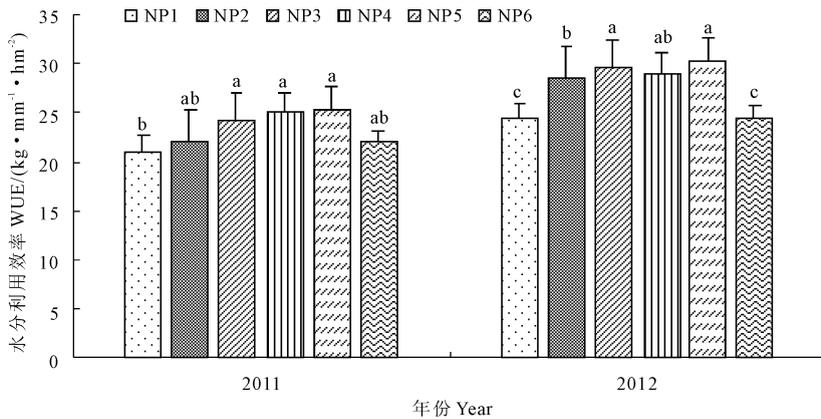


图2 施肥对全膜双垄沟播玉米水分利用效率的影响

Fig. 2 Effect of different fertilizer on water use efficiency of maize

2.2.3 肥密互动对全膜双垄沟播玉米水分利用效率的影响 由图3可以看出,全膜双垄沟播玉米水分利用效率受施肥与密度互动效应的影响。同一密度水平下,随着施肥量的增加全膜双垄沟播玉米水分利用效率均呈先升后降的趋势;同一施肥水平下则表现为高密度(D2)水平具有较高的水分利用效率。综合来看,两年玉米水分利用效率均以高密度水平下施氮 $210\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (D2NP5)处理最高,分别达 $26.13\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$ (2011年)和 $30.50\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$ (2012年),较不施肥处理高 $24.39\sim 42.38\%$ ($P < 0.05$),较其他施肥处理高出 $2.29\sim 35.69\%$ 。各处理的玉米水分利用效率均表现为2012年高于2011年。其中,D1NP6和D2NP3处理的玉米水分利用效率2012年较2011年分别显著高 23.57% 和 24.80% ,其他各处理两年间无显著差异。

3 结论与讨论

相关研究表明,与传统玉米种植方式相比,全膜双垄沟播种植方式具有提高土壤水分利用效率、温

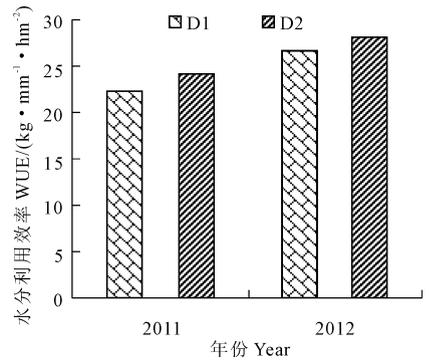


图1 不同种植密度对全膜双垄沟播玉米水分利用效率的影响

Fig. 1 Effect of different density on water use efficiency of maize

度和养分利用效率,增加玉米产量的效果^[5,7],该项技术已成为目前甘肃旱作区玉米种植的主要模式,采用该技术结合适宜的密度和施肥水平,可防止土壤肥力下降、改善土壤结构、提高水分利用效率、确保玉米稳步增产。张文斌等^[19]研究表明,维持玉米双穗率、穗粗、穗行数、行粒数、百粒重和出籽率的平衡是全膜双垄沟播玉米获得高产的前提,适当增加种植密度可提高单位面积玉米产量。曹满林等^[20]研究了密度对全膜双垄沟播玉米主要性状及产量的影响,结果表明,玉米的株高、穗长、穗粗、行粒数、穗粒数、穗粒重和百粒重均随密度的增加而降低。吕峰军等^[16]指出,在施用氮肥的基础上合理配施磷、钾肥对全膜双垄沟播玉米亦具有显著的增产效果。孙春燕等^[21]就全膜双垄沟播种植方式下种植密度和施氮量对玉米产量的影响研究表明,当种植密度为 $6.675\sim 7.575$ 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 、施N量为 $270\sim 315\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、施 P_2O_5 量为 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,玉米产量达 $7\ 500\sim 9\ 500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

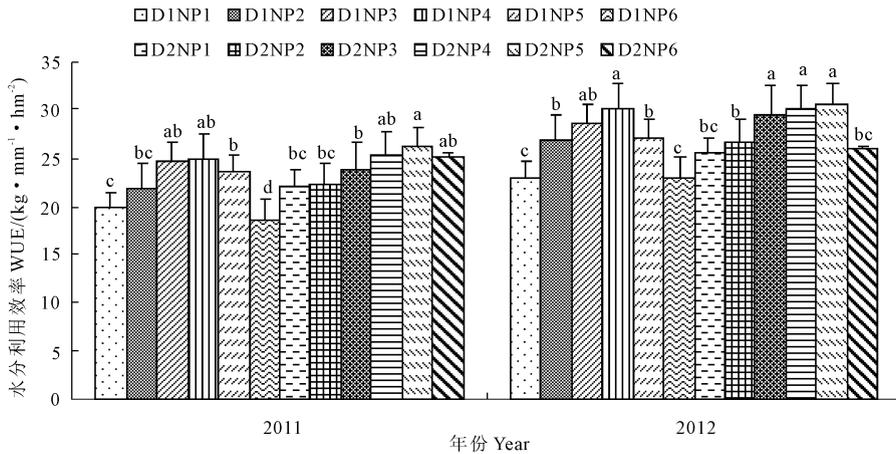


图 3 肥密互作对全膜双垄沟播玉米水分利用效率的影响

Fig. 3 Effect of fertilizer and density on water use efficiency of maize

本研究结果表明, 4.50×10^4 株· hm^{-2} 和 6.75×10^4 株· hm^{-2} 种植密度下的玉米穗行数和百粒重均差异不显著, 而 6.75×10^4 株· hm^{-2} 种植密度下玉米产量和水分利用效率显著高于 4.50×10^4 株· hm^{-2} 。这与张文斌^[20]的研究相一致。不同施肥处理条件下, 玉米穗行数和产量均以施纯氮 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施过磷酸钙 $144 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理最多, 玉米百粒重和水分利用效率均表现为施纯氮 $210 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施过磷酸钙 $168 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理最高; 肥密互作条件下玉米穗行数和行粒数均以 4.50×10^4 株· hm^{-2} 种植密度下施纯氮 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施过磷酸钙 $144 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理最高, 6.75×10^4 株· hm^{-2} 种植密度下施纯氮 $210 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施过磷酸钙 $168 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 全膜双垄沟播玉米具有较高的百粒重、籽粒产量和水分利用效率, 施氮 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (NP6) 时, 可能造成土壤恶化和污染, 使得根系对水分的吸收和利用受阻, 影响玉米的生长发育, 水分利用效率下降, 这与产量下降的研究结果并无矛盾。说明在西北干旱半干旱地区, 当全膜双垄沟播玉米种植密度确定为 6.75×10^4 株· hm^{-2} 时, 施纯氮 $210 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、过磷酸钙 $168 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 能获得较高的籽粒产量。这与孙春燕^[18]的结论有所不同, 这可能是由于试验所在地土壤肥力差异、气候差异和农艺措施不同等原因造成。各处理的玉米穗行数、行粒数、产量和水分利用效率 2012 年高于 2011 年, 这可能与 2011 年试区降水较少, 而 2012 年降水丰沛有关。

参考文献:

- [1] 山 仑, 陈国良. 黄土高原旱地农业的理论与实践[M]. 北京: 科技出版社, 1993.
- [2] Pepler S, Gooding M J, Ellis R H. Modeling simultaneously water content and dry matter dynamics of wheat grains[J]. Field Crops Research, 2005, (5): 1-15.
- [3] Ravi V, Lourduraj A C. Comparative performance of plastic mulching on soil moisture content, soil temperature and yield of rainfed cotton [J]. Madras Agric J, 1996, 83: 709-711
- [4] Li Fengmin, Guo Anhong, Wei Hong. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat[J]. Field Crops Res, 1999, 63: 79-86.
- [5] 刘广才, 杨祁峰, 李来祥, 等. 旱地玉米全膜双垄沟播技术土壤水分效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 18-28.
- [6] 李来祥, 刘广才, 杨祁峰, 等. 甘肃省旱地全膜双垄沟播技术研究与进展[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(1): 114-119.
- [7] 杨祁峰, 岳 云, 熊春蓉, 等. 不同覆膜方式对陇东旱地玉米田土壤温度的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 29-33.
- [8] 李国华. 全膜双垄沟播玉米不同覆膜时期水分生产效率研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(18): 205-207.
- [9] 刘广才, 杨祁峰, 段襁全, 等. 甘肃发展旱地全膜双垄沟播技术的主要模式[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(5): 629-632.
- [10] 孙学保, 杨祁峰, 牛俊义, 等. 旱地全膜双垄沟播玉米增产效应研究[J]. 作物杂志, 2009, (3): 32-36.
- [11] 王红丽, 张绪成, 宋尚有, 等. 旱地全膜双垄沟播玉米的土壤水热效应及其对产量的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2609-2614.
- [12] 王绍美, 金胜利, 王 刚. 半干旱区全覆膜双垄沟播技术对玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(4): 100-106.
- [13] 杨祁峰, 刘广才, 熊春蓉, 等. 旱地玉米全膜双垄沟播技术的水分高效利用机理研究[J]. 农业现代化研究, 2010, 31: 114-117.
- [14] 王学兰. 全膜双垄沟播方式对旱地玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 甘肃科技, 2011, 27(19): 184-185.
- [15] 徐文强, 熊春蓉, 张永祥, 等. 全膜双垄沟播与秸秆还田技术对土壤理化特性及玉米产量的影响[J]. 农业现代化研究, 2013, 34(2): 226-229.
- [16] 吕峰军, 郭天文, 侯慧芝, 等. 平衡施肥对全膜双垄沟播春玉米产量及养分吸收规律的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(17): 7922-7924.
- [17] 吴凌波, 高聚林, 木 兰, 等. 不同覆膜方式对玉米表层土壤含水量、产量和水分利用效率的影响[J]. 内蒙古农业科技, 2007, (3): 18-20.
- [18] 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): 10-12.
- [19] 张文斌. 种植密度对全膜双垄沟播玉米生理特性及产量的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
- [20] 曹满林. 密度对全膜双垄沟播玉米主要性状及产量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2009, (9): 31-32.
- [21] 孙春燕. 密度与施氮量对全膜双垄沟播玉米产量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2010, (10): 39.