

耕作方式与施肥对旱农区粮饲兼用玉米耗水特性和干物质积累的影响

张明君^{1,2}, 李玲玲¹, 谢军红¹, 任金虎¹, Lamptey Shirley¹

(1. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 延安市农业科学研究所, 陕西 延安 716000)

摘 要: 采用大田试验, 在全膜双垄沟播技术的基础上, 比较研究了 4 种耕作方式(T1: 传统翻耕, T2: 旋耕, T3: 深松耕, T4: 免耕)搭配 2 种施氮水平(N2: 施纯氮 200 kg·hm⁻², N3: 施纯氮 300 kg·hm⁻²)下对玉米耗水特性和干物质积累的影响。结果表明: 与施氮量相比, 耕作方式对耗水量和土壤贮水消耗量影响显著; 深松耕降低了玉米播种至拔节期的阶段耗水量, 提高了拔节至灌浆期的耗水量及其占总耗水量的比例; 播种至拔节期深松耕较传统翻耕 0~30 cm 土层的贮水消耗量减少了 35.3%, 拔节至开花期和开花至灌浆期, 30~110 cm 土层贮水消耗量增加了 54.2% 和 20.5%; 玉米不同生育时期各器官的干物质积累量都表现为深松耕+施纯氮 300 kg·hm⁻² 最高, 是生物产量和籽粒产量最高的处理, 深松耕+施纯氮 300 kg·hm⁻² 和深松耕+施纯氮 200 kg·hm⁻² 处理间差异不显著; 免耕+施纯氮 200 kg·hm⁻² 处理的水分利用效率最高, 与深松耕+施纯氮 300 kg·hm⁻² 处理相比差异不显著。在综合考虑高产以及对水分和肥料的高效利用的条件下, 基于全膜双垄沟播技术, 深松耕+施纯氮 200 kg·hm⁻² 是陇中旱农区适宜的生产方式。

关键词: 耕作方式; 全膜双垄沟播; 深松耕; 耗水量; 干物质积累量

中图分类号: S513 **文献标志码:** A

Effects of tillage and nitrogen on water consumption and dry matter accumulation for arid region grain and forage maize

ZHANG Ming-jun^{1,2}, LI Ling-ling¹, XIE Jun-hong¹, REN Jin-hu¹, Lamptey Shirley¹

(1. Gansu Provincial Laboratory of Aridland Crop Sciences; Faculty of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. Yan'an Institute of Agricultural Sciences, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

Abstract: Field experiments were conducted to study and compare the effects of four tillage methods combined with two nitrogen levels on water consumption characteristics and dry matter accumulation on maize. The treatments were: T1 (conventional tillage), T2 (rotary tillage), T3 (sub-soiling) and T4 (no tillage) with two nitrogen levels (N2: 200 kg·hm⁻² mineral nitrogen, N3: 300 kg·hm⁻² mineral nitrogen, arranged in a randomized complete block design. The results showed that compared with the nitrogen, tillage methods had a great effect on water consumption amounts and water reduction amounts. Sub-soiling treatment was beneficial to reduce water consumption from sowing to jointing stage and increase water consumption and water consumption percentage from jointing to grain filling stage. Sub-soiling compared with conventional tillage at 0~30 cm soil layer reduced water by 35.3% from sowing to jointing stages. Similarly, at 30~110 cm soil layer the amount of water reduced increased by 54.2% and 20.5% from jointing to flowering and flowering to grain filling stage. Maize dry matter accumulation at different development stages, biological yield and grain yield were highest under treatment of sub-soiling + 300 kg·hm⁻² mineral nitrogen. Sub-soiling + 300 kg·hm⁻² mineral nitrogen had no significant difference compared with sub-soiling + 200 kg·hm⁻² mineral nitrogen. Water use efficiency (WUE) was highest in no tillage + 200 kg·hm⁻² mineral nitrogen, however, there were no significant difference between no tillage + 200 kg·hm⁻² mineral nitrogen and sub-soiling + 300 kg·hm⁻² mineral nitrogen. Therefore, considering improved yield, water use efficiency and the use of fertilizer, sub-soiling + 200 kg·hm⁻² mineral nitrogen under Complete Film Surface

收稿日期:2016-10-18 修回日期:2017-01-07
基金项目:973 计划项目(2012CB722902); 国家科技支撑计划项目(2015BAD22B04-3)
作者简介:张明君(1991—),男,甘肃庆阳人,硕士研究生,研究方向为旱地与绿洲农作制。E-mail: 1414910044@qq.com。
通信作者:李玲玲(1977—),女,甘肃天水人,博士,教授,研究方向为旱地与绿洲农作制。E-mail: lill@gsau.edu.cn。

Plastic Mulching and Double Ridge – Furrow technology may be considered as suitable in the Western Loess Plateau.

Keywords: tillage method; Whole Field Surface Plastic Mulching and Double Ridge – Furrow planting; sub – soil – ing tillage; water consumption amounts; dry matter amounts

粮饲兼用玉米是介于普通玉米与专用饲料玉米之间的一种中间型玉米,在获得高籽粒产量的同时,又可获得大量可被畜禽充分利用的玉米秸秆^[1-2],目前我国玉米 70% 以上都是用作饲料。粮饲兼用型玉米是当今大力发展畜牧业,在提倡秸秆畜牧业的形势下,解决我国粮食供需矛盾,实现粮饲有效性供给的良好途径。陇中黄土高原丘陵沟壑区是我国典型的旱作雨养农业区,气候干燥,蒸发强烈,降雨时空分布不均且年际间变率大,造成自然降水与农作物供需水错位^[3],粮食产量低而不稳^[4]。近年来,在甘肃中东部旱作区大面积推广应用的玉米全膜双垄沟播技术^[5],采用全地面地膜覆盖沟垄种植的方式,垄面作为集水区,玉米种植在沟内,具有聚水和保墒的作用,使玉米等作物增产 30% 以上^[6-7]。该技术的广泛应用极大地促进了旱农区玉米生产,为养殖业带来了机遇,同时,也对玉米饲用化提出了新的要求。

全膜双垄沟播技术在获得高产的同时也消耗了更多的土壤水分和养分,容易造成土壤水分干层,耗竭土壤肥力。该地区的土壤耕作方式多以传统翻耕和旋耕为主,容易造成土壤坚实,犁底层密度增大,通透性下降^[8],蓄水保墒效果变差^[9]。有研究表明,深松不仅可以加深耕层,对土壤紧实具有良好的改良效应^[10],还可以改善土壤渗透性,增加深层土壤蓄水量,促进作物根系对深层土壤水分的吸收利用,提高水分利用效率^[11-13],免耕有利于增加土壤团聚体含量,进而增加表层土壤水分和养分含量^[14-15]。另一方面,长期过量的施肥,会增加生产成本,并浪费资源,也会造成作物对土壤水分的耗竭,导致作物产量降低。合理施肥,能够协调土壤养分,培肥地力,有效缓解化肥的供需矛盾,促进作物增产、增收。

目前,关于全膜双垄沟播的增产基础研究及提高水分利用效率方面的报道较多^[6-7,16-17],但在全膜双垄沟播技术的基础上,配合不同的土壤耕作和施肥方式,对粮饲兼用玉米的耗水特性,地上部分的干物质积累和水分利用效率的影响鲜有报道。因此,本试验旨在通过对不同的耕作方式和施氮量下玉米的耗水特性和干物质积累比较分析,筛选出陇中旱农区与粮饲兼用玉米全膜双垄沟播技术相配套的耕作和施肥措施,为该区玉米进一步高产高效提

供科学依据和理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验设在黄土高原半干旱丘陵沟壑区的定西市安定区李家堡镇麻子川村,甘肃农业大学旱作农业综合实验站。试区属中温带半干旱区,平均海拔 2 000 m,年均太阳辐射 529.9 kcal·cm⁻²,日照时数 2 476.6 h,年均气温 6.4℃,≥0℃积温 2 933.5℃,≥10℃积温 2 239.1℃,无霜期 140 d,年均降水 390.9 mm,2015 年玉米全生育期内的降雨量为 269.3 mm (见图 1),年蒸发量 1 531 mm,干燥度 2.53,为典型的雨养农业区。试验地土壤为黄绵土,凋萎含水率 7.3%,饱和含水率 28.6%,pH 8.36,土壤有机质 12.01 g·kg⁻¹,全氮 0.76 g·kg⁻¹,全磷 1.77 g·kg⁻¹。

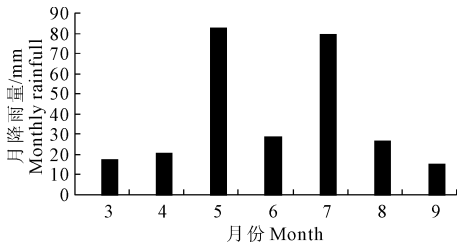


图 1 试验区玉米生育期内月降雨量
Fig.1 Monthly rainfall during maize growth period in the experimental area

1.2 试验设计

研究所依托定位试验始于 2012 年,田间试验于 2015 年 4—10 月进行。试验采用二因素裂区试验设计,主区设 4 种土壤耕作方式:传统翻耕(T1)、旋耕(T2)、深松耕(T3)、免耕(T4);副区设 2 种施肥水平: N2(基施纯氮 200 kg·hm⁻²), N3(基施纯氮 200 kg·hm⁻² + 拔节期 100 kg·hm⁻²),共 8 个处理,3 次重复,24 个小区,各小区随机区组排列,小区面积 44 m²(4.4 m × 10 m)。供试玉米品种为“富农 821”,播种期为 5 月上旬,播种方式为穴播(沟内),密度 5.25 万株·hm⁻²,收获期为 9 月下旬,试验期间及时防治病虫害,其它田间管理同大田。

1.3 土壤耕作方法

前茬收获后,土壤免耕至翌年 3 月中旬,待土壤解冻后,揭去残膜。传统翻耕:用铧式犁进行 20 cm 翻耕处理后及时耙耱;旋耕:用旋耕机进行 15 cm 旋

耕处理;深松耕:用深松机进行 35 cm 深松处理;免耕:无任何耕作处理。然后人工用全膜双垄沟播起垄机起垄,用 0.008 mm 的白色地膜全地表覆盖,于沟内间隔 50 cm 留渗水孔。

1.4 土壤体积含水量的测定

用烘干称重法和德国生产的 TRIME – PICO 土壤水分测定仪测定。测定深度为 200 cm,其中,0 ~ 10 cm 土层用烘干法。10 ~ 200 cm 土层体积含水量直接用 TRIME – PICO 测定,测定层次分别为 10 ~ 30,30 ~ 50,50 ~ 80,80 ~ 110,110 ~ 140,140 ~ 170,170 ~ 200 cm,在播种前、收获后和玉米各主要生育时期内各测定一次。

1.5 土壤贮水量和贮水消耗量的计算

土壤贮水量的计算公式为:

$$SW = (\sum H_i \times V_i \times 10)/100$$

式中,SW 为土壤贮水量,i 为土壤层次;H_i 为第 i 土层的厚度(mm);V_i 为第 i 层的土壤体积含水量。

土壤贮水消耗量的计算公式为:

$$\triangle SW = SW_1 - SW_2$$

式中,△SW 为土壤贮水消耗量;SW₁ 为阶段初的土壤贮水量;SW₂ 为阶段末土壤的贮水量。

1.6 作物阶段耗水量

$$\text{作物阶段耗水量}(ET) = P + SWt_1 - SWt_2$$

式中,P 为 t₁ 至 t₂ 时间段的降雨量(mm);SWt₁ 为阶段初期的土壤贮水量(mm);SWt₂ 为阶段末期的土壤贮水量(mm)。

1.7 干物质积累量和产量的测定

于玉米拔节期、开花期、灌浆期和成熟期取 3 株样,105℃烘 30 min 杀青,然后 80℃烘干至恒量,即为此生育时期的干物质积累量。收获期每小区取样 30 株,称鲜重即为生物产量,将 30 株玉米果穗脱粒后,称总的籽粒重即为籽粒产量。

1.8 水分利用效率(WUE)

$$WUE = Y/ET$$

式中,Y 为作物籽粒产量(kg·hm⁻²);ET 为作物整个生育期内的耗水量(mm)。

1.9 数据分析

采用 Microsoft Excel 2007 软件处理数据和制图,SPSS 19.0 统计软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

由表 1 可知,耕作方式对灌浆期至成熟期耗水量百分比、全生育期耗水量、水分利用效率影响不显著,施氮量只对灌浆期至成熟期耗水量和播前土壤贮水量有显著影响,耕作方式和施氮量对其它指标均有显著或极显著影响。除开花期干物质积累总量

表 1 耕作方式、施氮量以及二者交互作用对玉米耗水量、干物质积累、产量以及土壤贮水量、水分利用效率的影响

Table 1 Effect of tillage, nitrogen and their interaction in the global analyses of variance of water consumption amounts, dry matter accumulation amounts, yield, soil water storage and water use efficiency

因素 Factors	ET ₁	ET ₁ /ET	ET ₂	ET ₂ /ET	ET ₃	ET ₃ /ET	ET ₄	ET ₄ /ET	DM ₁
耕作方式 Tillage	<0.001	<0.001	0.001	0.028	<0.001	<0.001	0.048	n.s.	0.001
施氮量 Nitrogen	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.048	n.s.	n.s.
耕作方式×施氮量 Tillage×nitrogen	<0.001	<0.001	0.014	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.024

因素 Factors	DM ₂	DM ₃	DM ₄	Biomass	Yield	SW ₁	SW ₂	ET	WUE
耕作方式 Tillage	0.049	<0.001	<0.001	0.001	0.004	0.018	0.005	n.s.	n.s.
施氮量 Nitrogen	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.022	n.s.	n.s.	n.s.
耕作方式×施氮量 Tillage×nitrogen	n.s.	<0.001	<0.001	0.018	n.s.	0.003	<0.001	0.024	0.014

注:ET₁:播种~拔节期耗水量;ET₁/ET:播种~拔节耗水百分比;ET₂:拔节~开花期耗水量;ET₂/ET:拔节~开花期耗水百分比;ET₃:开花期~灌浆期耗水量;ET₃/ET:开花期~灌浆期耗水百分比;ET₄:灌浆期~成熟期耗水量;ET₄/ET:灌浆期~成熟期耗水百分比;DM₁:拔节期干物质积累总量;DM₂:开花期干物质积累总量;DM₃:灌浆期干物质积累总量;DM₄:成熟期干物质积累总量;Biomass:生物产量;Yield:籽粒产量;SW₁:播前土壤贮水量;SW₂:收后土壤贮水量;ET:全生育期耗水量;WUE:水分利用效率,n.s.表示没有显著性。

Note: ET₁: sowing ~ jointing water consumption amounts; ET₁/ET: sowing ~ jointing water consumption percentage; ET₂: jointing ~ flowering water consumption amounts; ET₂/ET: jointing ~ flowering water consumption percentage; ET₃: flowering ~ grain filling water consumption amounts; ET₃/ET: flowering ~ grain filling water consumption percentage; ET₄: grain filling ~ maturity water consumption amounts; ET₄/ET: grain filling ~ maturity water consumption percentage; DM₁: jointing dry matter amounts; DM₂: flowering dry matter amounts; DM₃: grain filling dry matter amounts; DM₄: maturity dry matter amounts; SW₁: soil water storage before sowing; SW₂: soil water storage after harvesting; ET: water consumption in the whole stages; WUE: water use efficiency; n.s., no significance.

和籽粒产量外,耕作方式和施氮量对玉米各生育阶段耗水量及耗水百分比、各生育时期干物质积累量、生物产量、播前和收后土壤贮水量、耗水量和水分利用效率均存在显著交互作用。

2.1 不同耕作施肥处理对玉米各生育阶段耗水量的影响

由表 2 可知,玉米拔节至开花期的耗水量及占全生育期总耗水量比例最大,开花期至灌浆期次之,灌浆期至成熟期最小。播种至拔节期阶段,T3 和 T4

处理的耗水量显著低于 T1 和 T2 处理,而拔节至灌浆期与之相反。拔节至开花期阶段,T3 和 T4 处理较 T1 耗水量分别增加了 7.1%和 9.9%,开花期至灌浆期阶段的耗水量增加了 21.3%和 21.6%。施氮量对耗水量的影响只在灌浆期至成熟期阶段有所体现,在 N2 施肥水平下,T3 和 T2 处理较 T1 耗水量增加了 31.2%和 25.4%,而在 N3 施肥水平下各处理差异不显著。这说明 T3 和 T4 处理降低了玉米播种至拔节期的耗水量,增加了拔节至成熟期的水分消耗。

表 2 不同耕作施肥处理对玉米各生育阶段耗水量的影响

Table 2 Effect of different tillage and nitrogen treatments to water consumption amounts in different periods of maize growth								
处理 Treatment	播种 ~ 拔节 Sowing ~ jointing		拔节 ~ 开花期 Jointing ~ flowering		开花期 ~ 灌浆期 Flowering ~ grain filling		灌浆期 ~ 成熟期 Grain filling ~ maturity	
	ET ₁ /mm	ET ₁ /ET/%	ET ₂ /mm	ET ₂ /ET/%	ET ₃ /mm	ET ₃ /ET/%	ET ₄ /mm	ET ₄ /ET/%
T1N2	71.8ab	22.2a	116.5bc	36.0a	88.5b	27.4b	46.5b	14.4cd
T2N2	78.9a	20.2ab	115.5bc	29.5c	97.4b	24.9b	67.5a	17.3a
T3N2	67.2b	18.3bc	120.5b	32.9b	115.8a	31.7a	62.3a	17.0ab
T4N2	53.9d	16.1d	121.9ab	36.5a	111.9a	33.5a	45.9b	13.8cd
T1N3	79.4a	24.0a	109.3c	33.0 b	90.8b	27.5b	51.1b	15.4bc
T2N3	80.6a	23.8a	115.6bc	34.1ab	95.1b	28.1b	46.9b	14.3cd
T3N3	65.5bc	18.6bc	122.6ab	34.8ab	113.1a	32.2a	50.3b	14.4cd
T4N3	60.3cd	17.1cd	128.9a	36.6a	115.9a	32.9a	47.3b	13.4d

注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著,下同。
Note: different lowercase letters indicate significant differences among treatments at 0.05 level, the same below.

2.2 不同耕作施肥处理对玉米各生育阶段 0 ~ 200 cm 土层贮水消耗量的影响

在相同的施氮水平下,玉米拔节至开花期,以及开花至灌浆期 0 ~ 200 cm 土层的贮水消耗量均表现为 T3 和 T4 处理高于 T1 处理,而播种至拔节期的变化趋势与之相反,灌浆至成熟期的贮水消耗量各处理间差异不大。不同的施氮水平,对土壤贮水消耗量影响不大。耕作方式主要影响了播种至拔节期 0 ~ 30 cm 土层的贮水量变化,T3 和 T4 处理较 T1 处理贮水消耗量减少了 35.3%和 52.1%,拔节至灌浆期是玉米生长的大量需水期,30 ~ 110 cm 土层的深层水分被吸收利用,拔节至开花期阶段,T3 和 T4 处理较 T1 处理 30 ~ 110 cm 土层的贮水消耗量增加了 54.2%和 56.8%,开花期至灌浆期阶段分别增加了 20.5%和 17.9%。灌浆期至成熟期各处理间变化趋势基本一致。

2.3 不同耕作施肥处理对玉米各生育时期干物质积累的影响

由图 3 可看出,不同施氮水平对玉米各生育期干物质的积累没有显著影响,干物质积累量的差异主要由耕作方式引起。由图 3 可看出,玉米不同的

器官对干物质积累的贡献都不尽相同,主要以茎、叶和玉米籽粒为主。整个生育时期内,玉米茎和叶的干物质积累量呈先增后减的趋势,灌浆期达到峰值。玉米拔节期,T3 处理的茎和叶干物质积累量较 T1 增加了 50.3%和 45.5%,而灌浆期分别增加了 28.1%和 10.8%,籽粒积累量是干物质积累最重要的组成部分,玉米成熟期的籽粒积累量表现为 T3 > T4 > T2 > T1,T3 和 T4 处理较 T1 处理显著增加了 46.1%和 46.0%。这说明 T3 处理能够显著提高玉米干物质积累量,在玉米各生育器官生物量增加同时,籽粒积累量也有所提升。

2.4 不同耕作施肥处理下玉米的产量和水分利用效率

由表 3 可知,不同的施氮处理对玉米的生物产量和籽粒产量影响不显著。在不同的耕作方式下,T3、T4 处理和 T1 处理相比,生物产量增幅为 15.1%和 19.0%,籽粒产量增幅为 18.6%和 14.1%,T3 和 T4 处理间差异显著。在 N2 施肥水平下,播前土壤贮水量,玉米全生育期耗水量都表现为 T3 处理显著高于 T1 和 T2 处理,分别增加了 14.9%,9.1%和 17.1%,15.1%,T1 和 T2 处理间差异不显著。与其

它处理相比,T3N2 处理在获得高产量的同时,全生育期耗水量也最高(390.2 mm),水分利用效率最低,为 18.9 kg·hm⁻²·mm⁻¹。而在 N3 施肥水平下,T3 和 T4 处理较 T1 处理的收后土壤贮水量显著增加了

13.2%和 11.3%,T2 处理的水分利用效率最高,较最低的 T4 处理高出 16.2%,T3 和 T2 处理间水分利用效率差异不显著。

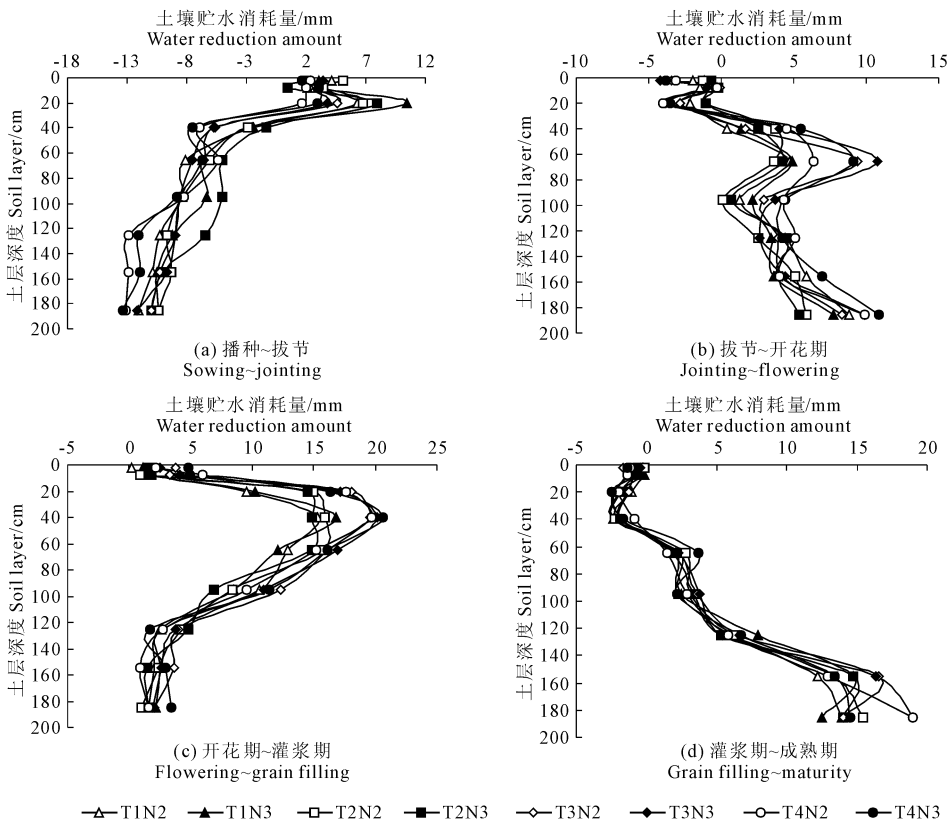


图 2 玉米不同生育阶段 0~200 cm 土层的贮水消耗量

Fig.2 Water reduction amounts in 0~200 cm soil layers in different periods of maize growth

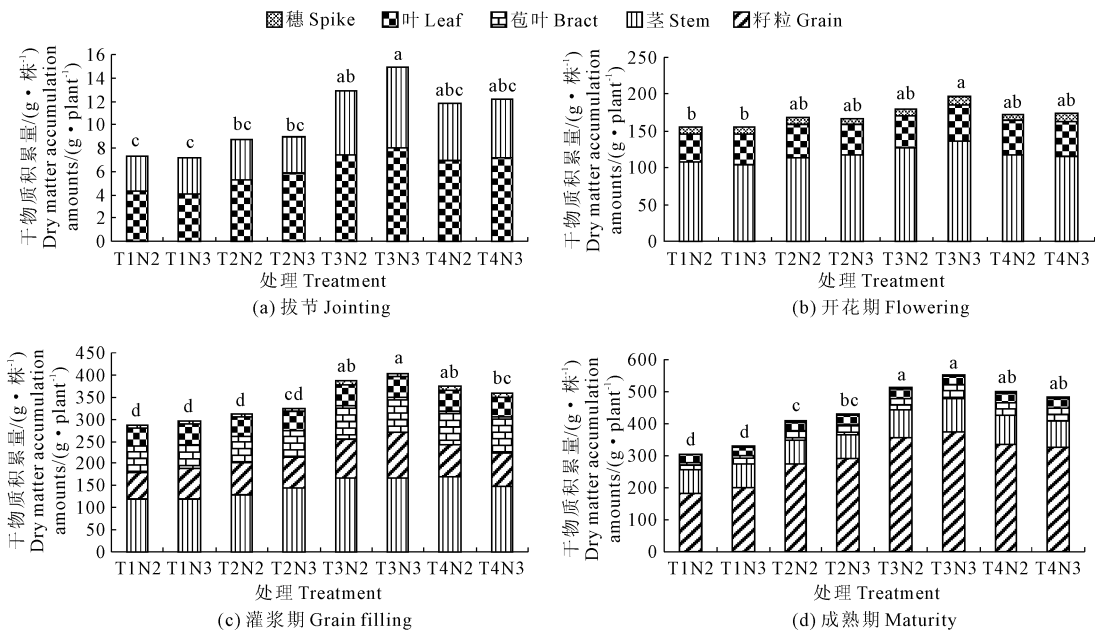


图 3 不同耕作施肥处理对玉米各生育时期干物质积累的影响

Fig.3 Effect of different tillage and nitrogen treatments on dry matter amounts in different periods of maize growth

表 3 不同耕作施肥处理下玉米的产量和水分利用效率

Table 3 Yield and water use efficiency of maize under different tillage and nitrogen treatments

处理 Treatment	生物产量 Biomass /(kg·hm ⁻²)	籽粒产量 Grain yield /(kg·hm ⁻²)	降雨量 Rainfall /mm	播前土壤 贮水量 Soil water storage before sowing/mm	收后土壤 贮水量 Soil water storage after harvesting/mm	全生育期 耗水量 Water consumption /mm	WUE /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
T1N2	18260.6c	6936.3c	269.3	324.4d	270.4b	323.3b	21.6abc
T2N2	19855.8bc	7425.4ab	269.3	346.4cd	284.7b	330.9b	20.3bc
T3N2	22342.9ab	8298.8a	269.3	381.4ab	260.7b	390.2a	18.9c
T4N2	18799.8c	7261.4bc	269.3	386.0ab	326.5a	327.8b	24.6a
T1N3	18612.9c	6731.9c	269.3	373.8abc	277.8b	365.4ab	22.7ab
T2N3	18465.8c	8057.7ab	269.3	359.3bc	277.7b	351.2ab	24.1a
T3N3	23186.9a	8491.4a	269.3	385.1ab	320.1a	333.1ab	21.8abc
T4N3	19855.8bc	7159.5bc	269.3	396.1a	313.2a	352.6ab	20.2bc

3 讨 论

一般认为,免耕和深松耕有利于提高土壤的贮水量^[18-19]。有研究表明,免耕比传统翻耕增加土壤蓄水量 10%,减少土壤蒸发约 40%,耗水量减少 15%,水分利用效率提高 10%^[20]。也有研究发现在全膜双垄覆盖条件下,深松耕和免耕能有效增加 0~30 cm 土壤贮水量,土壤含水量较翻耕增加了 50.0%和 43.7%^[9]。本研究结果表明,深松耕和免耕处理与传统翻耕相比,减少了玉米播种至拔节期的土壤水分消耗,主要是降低了 0~30 cm 土层的贮水消耗量,这是因为深松耕可以有效打破犁底层,增加土壤孔隙度,提高土壤渗水速度^[21],有利于水分向深层土壤入渗,蓄集更多的水分。而免耕处理是由于减少了对耕层土壤的扰动,抑制了土壤水分的蒸发。玉米拔节期至灌浆期深松耕和免耕处理耗水量和 0~200 cm 土层贮水消耗量都显著高于其它处理,这是因为该阶段是玉米生长旺盛期,对水分的需求敏感,为了汲取更多的水分,30~110 cm 土层的深层水被吸收利用。

也有研究认为,免耕和深松耕有利于提高籽粒产量和水分利用效率^[22,12],李友军等^[23]的研究表明,豫西旱田免耕和深松处理小麦籽粒产量分别比翻耕处理高 21.1%和 29.4%,水分利用效率分别提高 5.0%和 10.9%,但也有研究认为连续多年实施少免耕,土壤压实程度严重,容重增大,影响作物根系生长发育制约产量提高^[24]。本研究结果表明,深松耕与其它耕作方式相比,有利于粮饲兼用玉米的干物质积累,可饲用的茎、叶、穗等器官以及玉米籽粒干物质质量都有所增加。此外,施用 300 kg·hm⁻²或 200 kg·hm⁻²氮肥对玉米生物产量和籽粒产量影响

不显著,在本试验条件下,深松耕+施纯氮 300 kg·hm⁻²处理获得了最高的生物产量和籽粒产量,但与在相同的耕作方式下施 200 kg·hm⁻²氮肥处理相比差异不显著。深松耕和免耕具有蓄水保墒的作用,在本研究 N2 施肥水平下,增加了播前土壤贮水量,免耕处理的水分利用效率显著高于其它处理,但深松耕处理水分利用效率却最低,这是因为其全生育期的耗水量最大,但在 N3 施肥水平下,深松耕与水分利用效率最高的旋耕处理间差异不显著。免耕处理虽然能提高农田水分利用效率,但也会制约产量的提高。

4 结 论

在综合考虑高产以及对水分和肥料的高效利用的条件下,深松耕+施纯氮 200 kg·hm⁻²处理降低了玉米播种至拔节期的阶段耗水量,主要是减少了 0~30 cm 土层的贮水消耗量,提高了拔节至灌浆期的耗水量及其占总耗水量的比例,增加了深层土壤的水分消耗。与其它处理相比,深松耕+施纯氮 200 kg·hm⁻²处理有利于提高粮饲兼用玉米的可饲用器官的干物质积累量和水分利用效率,并获得了较高的籽粒产量。因此,在本试验条件下,基于全膜双垄沟播技术,深松耕+施纯氮 200 kg·hm⁻²是陇中旱农区适宜的生产方式。

参 考 文 献:

[1] 李海元,王洪楷,迟艳,等.发展粮饲兼用型玉米前景广阔[J].吉林畜牧兽医,2004,(9):55.
[2] 薛吉全,马国胜,路海东,等.重视饲用玉米发展促进农业结构调整[J].玉米科学,2004,12(专刊):122-124.
[3] 肖国举,王静.黄土高原集水农业研究进展[J].生态学报,2003,23(5):1003-1011.

[4]

李凤民,徐进章.黄土高原半干旱地区集水型生态农业分析[J].中国生态农业学报,2002,10(1):101-103.

[5]

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.

[6]

张雷,牛建彪,赵凡.旱作玉米提高降水利用率的覆膜模式研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(2):8-11,17.

[7]

谭军利,王林权,李生秀.地面覆盖的保水增产效应及其机理研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(3):50-54.

[8]

赵洪利,李军,贾志宽,等.不同耕作方式对黄土高原旱地麦田土壤物理性状的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):17-21.

[9]

谢军红,张仁陟,李玲玲,等.耕作方法对黄土高原旱作玉米产量和土壤水温特性的影响[J].中国生态农业学报,2015,23(11):1384-1393.

[10]

Borghesi A M, Taghinejad J, Minaei S, et al. Effects of subsoiling on soil bulk density, penetration resistance and cotton yield in northwest of Iran[J]. International Journal of Agricultural Biology, 2008,10(1):120-123.

[11]

秦红灵,高旺盛,马月存,等.两年免耕后深松对土壤水分的影响[J].中国农业科学,2008,41(1):78-85.

[12]

何进,李洪文,高焕文.中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究[J].农业工程学报,2006,22(10):62-67.

[13]

朱瑞祥,张军昌,薛少平,等.保护性耕作条件下的深松技术试验[J].农业工程学报,2009,25(6):145-147.

[14]

Paustian K, Six J, Elliot E T, et al. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils[J]. Biogeochemistry, 2000,48(1):147-163.

[15]

Blanco-Canqui H, Lal R. Mechanisms of carbon sequestration in soil aggregates[J]. Critical Reviews in Plant Science, 2004,(23):481-504.

[16]

王红丽,张绪成,宋尚有.半干旱区旱地不同覆盖种植方式玉米田的土壤水分和产量效应[J].植物生态学报,2011,35(8):825-833.

[17]

方彦杰,黄高宝,李玲玲,等.旱地全膜双垄沟播玉米生长发育动态及产量形成规律研究[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):128-134.

[18]

Ramon J, Agnes H. Effects of tillage systems in dryland farming on near-surface water content during the late winter period[J]. Soil and Tillage Research, 2005,82(2):173-183.

[19]

Jin K, Cornelis W M, Schiettecatte W, et al. Effects of different management practices on the soil-water balance and crop yield for improved dryland farming in the Chinese Loess Plateau[J]. Soil and Tillage Research, 2007,96(1):131-144.

[20]

张海林,陈阜,秦耀东,等.覆盖免耕夏玉米耗水特性的研究[J].农业工程学报,2002,18(2):36-40.

[21]

Chong S K, Cowser P T. Infiltration in reclaimed mined land ameliorated with deep tillage treatments[J]. Soil and Tillage Research, 1997,44(3):255-264.

[22]

雷金银,吴发启,王健,等.保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2008,24(10):40-45.

[23]

李友军,黄明,吴金芝,等.不同耕作方式对豫西旱区坡耕地水肥利用与流失的影响[J].水土保持学报,2006,20(2):42-45.

[24]

杜兵,李问盈,邓健,等.保护性耕作表土作业的田间试验研究[J].中国农业大学学报,2000,5(4):65-67.

(上接第 132 页)

[29]

Yang J, Kloepper J W, Ryu C M. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress[J]. Trends in Plant Science, 2009,14:1-4.

[30]

Friesen M L, Porter S S, Stark S C, et al. Microbially mediated plant functional traits[J]. Annual Review of Ecology Evolution and Systematics, 2011,42:27-46.

[31]

Neill S J, Desikan R, Clarke A, et al. Hydrogen peroxide and nitric oxide as signalling molecules in plants[J]. Journal of Experimental Botany, 2002,53:1237-1247.

[32]

Liu X, Zhai S, Zhao Y, et al. Overexpression of the phosphatidylinositol synthase gene (*ZmPI3*) conferring drought stress tolerance by altering membrane lipid composition and increasing ABA synthesis in maize[J]. Plant Cell and Environment, 2013,36:1037-1055.

[33]

Beck E H, Fetitig S, Snake C, et al. Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress[J]. Journal of Bio-sciences, 2007,32:501-510.

[34]

Zou Y N, Huang Y M, Wu Q S, et al. Mycorrhiza-induced lower oxidative burst is related with higher antioxidant enzyme activities, net H₂O₂ effluxes, and Ca²⁺ influxes in trifoliate orange roots under drought stress[J]. Mycorrhiza, 2014,25(2):143-152.

[35]

Huang G T, Ma S L, Bai L P, et al. Signal transduction during cold, salt and drought stresses in plants[J]. Molecular Biology Reports, 2012,39:969-987.