

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.24254

不同覆膜穴播对旱地胡麻水分利用特征及产量的调控效应

陈 军¹, 叶春雷^{1*}, 王 炜¹, 孙夏玲¹, 汪 磊², 李胜克^{3#}

(1. 甘肃省农业科学院生物技术研究, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国农业科学院油料作物研究所, 农业农村部油料作物生物学与遗传育种重点实验室, 湖北 武汉 430062;
3. 甘肃省榆中县农技推广中心, 甘肃 兰州 730100)

摘 要: 为评价不同覆膜穴播栽培模式对胡麻生长及水分利用的适应性, 在甘肃省中部半干旱区开展露地穴播 (CK)、全膜覆土穴播 (T1)、多垄沟全膜穴播 (T2)、残膜穴播 (T3) 4 种穴播模式对胡麻水分利用特征及产量的调控效应的试验研究。结果表明, 胡麻生育期内 0 ~ 60 cm 耕层土壤含水量垂直变化与种植方式、生育进程及降水情况密切相关, 不同覆膜穴播下土壤水分的垂直分布表现出相似的趋势; 3 种覆膜穴播处理较露地穴播均能显著提高作物产量和水分利用效率, 且以多垄沟全膜穴播最佳; 3 种覆膜穴播下胡麻的根系生长进程快于露地穴播, 主要反映在胡麻根系的主根长、主根直径以及主根干重各指标上。随生育期的推进, 胡麻根系的主根长、主根直径以及主根干重表现出 T2>T1>T3>CK, 且 T1、T2、T3 处理与 CK 间存在显著差异; 胡麻产量、根系生长指标与环境、土壤水热间联系紧密, 存在显著、极显著正相关; 3 种覆膜穴播模式较对照能显著增加株高、有效分茎数、有效分枝数、单株果数和单株产量, 其中 T1、T2 和 T3 处理小区产量分别较 CK 增产 38.8%、43.7% 和 24.8%; 胡麻收获后 0 ~ 100 cm 土层土壤含水率随土壤深度的增加逐渐增加, 3 种覆膜穴播 0 ~ 100 cm 土层土壤含水率变化规律极为相似, 存在两个交汇节点, 即土壤水分向 20 和 60 cm 土层汇集; 与 CK 相比, 3 种覆膜穴播不同土层土壤含水率均有所增加, 分别在 20、40、60、80、100 cm 土层提高 20.29% ~ 23.61%、11.92% ~ 26.08%、1.67% ~ 4.76%、6.07% ~ 14.16%、9.69% ~ 17.78%。胡麻收获后覆膜穴播的 200 cm 土层储水总量较 CK 均显著降低, T1、T2 和 T3 处理分别较 CK 降低 11.17%、12.53% 和 4.26%, 且存在显著差异, 3 种覆膜穴播的水分利用效率均高于 CK, T1、T2 和 T3 处理分别较 CK 提高 41.63%、48.95% 和 29.71%, 且差异显著。因此, 甘肃省中部半干旱区多垄沟全膜穴播、全膜覆土穴播和残膜穴播均可作为胡麻适宜的覆膜栽培模式, 可因地制宜进行选择。

关键词: 胡麻; 覆膜穴播; 水分利用特征; 产量

胡麻 (*Linum usitatissimum* L.), 为亚麻科 (*Linaceae*) 亚麻属 (*Linum*) 一年生草本植物, 属于油用亚麻, 是我国北方旱作区主要的油料作物^[1]。试验区地处甘肃省中部的黄土高原丘陵沟壑区, 为典型的干旱半干旱雨养农业区, 年降水量 400 mm 左右, 春季多风少雨, 春旱频次高, 水分蒸发量大, 且水土流失严重, 致使农业生产中的水分严重亏缺, 优越的光热生产潜力得不到充分发挥, 农田产量低且不稳定, 限制了农

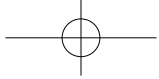
业结构调整和新技术推广应用, 因此, 干旱成为制约地区胡麻产业发展所面临的重要问题^[2]。地膜覆盖栽培技术于 1979 年在我国试验应用并推广, 由于地膜良好的保温保墒效果, 使北方山旱地增产增收效益显著, 目前在多种作物生产上都得到了广泛应用^[3-4]。近年来, 有关覆膜栽培增产方面的研究已成功应用于小麦、玉米、高粱、大豆等多种农作物, 胡麻生产应用中借鉴全膜双垄沟播玉米和全膜覆土穴播小麦成功技术的基础上也推出多垄沟全膜覆盖、残膜覆盖利用、膜侧栽培等技术, 且均能在一定程度上提高土壤表层水分含量, 保障胡麻生育期基本水分需求, 达到早年稳产、丰年增产的目的^[5-6]。但是针对胡麻的水分利用特征、作物根系生长以及产量调控效应等方面的研究还不够系统深入, 相关报道较少。研究表明, 胡麻水分利用相关的研究大多与施肥、覆膜和灌溉等息息相关, 施氮可以增加胡麻 100 ~ 200 cm 土层的

收稿日期: 2024-05-14; 录用日期: 2024-07-21

基金项目: 国家特色油料产业技术体系 (CARS-14-2-23); 甘肃省自然科学基金 (23JRRA1793)。

作者简介: 陈军 (1984-), 助理研究员, 硕士研究生, 主要从事作物栽培及生理研究工作。E-mail: chenjun004@126.com; 李胜克 (1973-), 本科, 农艺师, 主要从事农业技术推广工作。E-mail: 870437475@qq.com。陈军和李胜克共同为第一作者。

通讯作者: 叶春雷, E-mail: yelei@gsagr.ac.cn。



耗水量^[7]；地膜覆盖可有效集水保墒增温，减少土壤水分蒸发，促进胡麻生长发育，提高胡麻产量和水分利用效率^[4]。因此，在甘肃省中部半干旱区开展不同覆膜穴播对旱地胡麻水分利用特征及产量的调控效应研究，筛选出胡麻高产、水分利用高效的覆盖栽培方式，对于提高旱地地膜利用和胡麻的抗旱增产具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2016年在甘肃省榆中县小康营乡深沟

子村示范点(35° 50' 36.06" N, 104° 06' 35.27" E, 海拔2100 m)进行。该区多年平均降水量为350 mm, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温3044 $^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温2179 $^{\circ}\text{C}$, 无霜期平均130 d。土壤质地为黄绵土, 属甘肃省中部地区典型的旱作农业区。试验地为旱地, 前茬为双垄沟播地膜玉米。试验前耕层土壤(0~40 cm)基础肥力(质量比)为有机质11.18 g/kg, 全氮0.94 g/kg, 全磷0.60 g/kg, 全钾14.10 g/kg; 硝态氮76.01 mg/kg, 有效磷25.22 mg/kg, 速效钾131.97 mg/kg。试验期间当地气候条件见图1、表1。

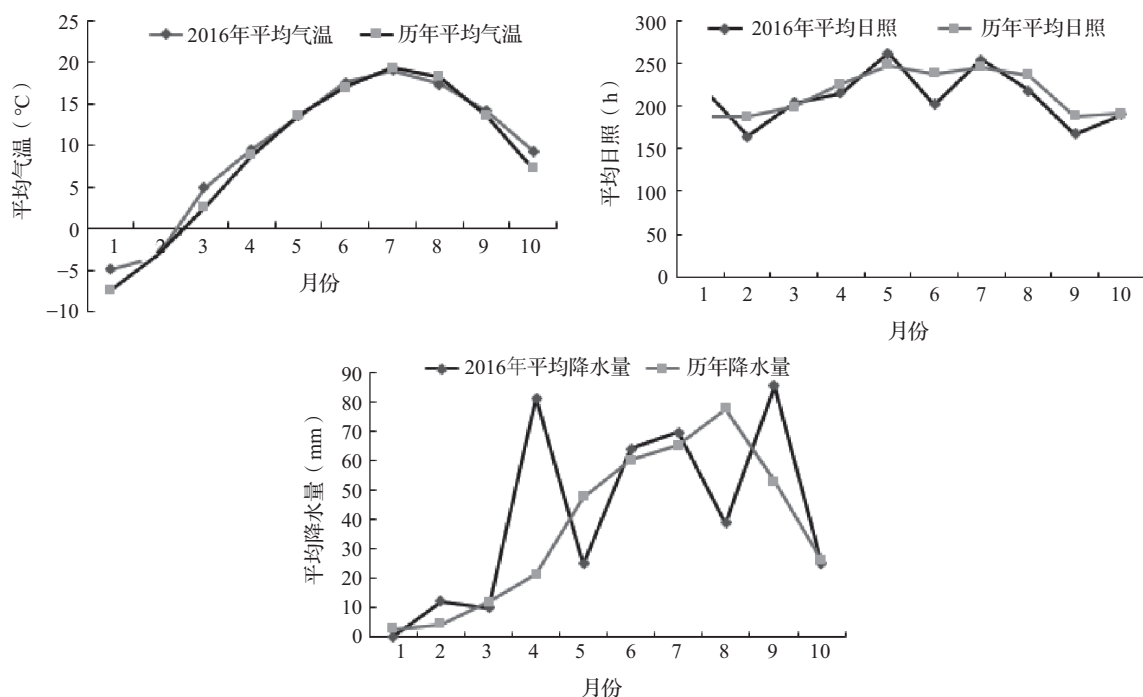


图1 2016年及历年1—10月平均气温、平均日照及平均降水量

注:数据来源于甘肃省榆中县气象局。

表1 2016年胡麻全生育期降水量 (mm)

月份	3	4	5	6	7	8	合计
降水量	9.8	77.4	24.7	64.0	69.4	38.6	283.9

注:数据来源于甘肃省榆中县气象局。

胡麻全生育期(3—8月)降水量为283.9 mm(表1),其中3、5月降水量较少,分别占全生育期总降水量的3.5%、8.7%。通过1—10月平均日照、平均气温、平均降水量与历年条件对比(图1)看出,平均日照、平均气温与历年条件变化趋势接近,但是降水量方面变化波动较大,特别是4月降水量明显增多(77.4 mm),5月降水量明显降低(24.7 mm),6—7月降水量平稳,8月降水量

明显降低(38.6 mm),9月降水量明显增加(85.2 mm)。胡麻全生育期降水量总体表现为3月播种时间较干旱、4月苗期相对湿润,保证胡麻出苗,5月旺长期天气较干旱,全生育期都表现为相对干旱的特点,但整体符合该区域的降水特征,能够保证试验的顺利进行。

1.2 试验设计

采用单因素随机区组设计,共设4个处理,即露地穴播(CK)、全膜覆土穴播(T1)、多垄沟全膜穴播(T2)、残膜穴播(T3)。每个处理重复3次,共12个小区,每个小区面积为20 m²(4 m×5 m)。采用胡麻穴播机播种,每穴7~8粒,穴距20

cm, 播种量 52.5 kg/hm², 各处理于春雪融化前施复合肥 (N 14%, P₂O₅ 16%, K₂O 15%) 375 kg/hm², 尿素 150 kg/hm², 生长后期不再追肥, 田间管理统一进行。地膜选用 120 cm 幅宽全膜, 膜厚度为 0.008 mm。试验地前茬双垄沟播地膜玉米, 收获时注意保护地膜, 用于下一年种植胡麻, 胡麻品种为陇亚 11 号。试验各处理田间种植方式如表 2 所示。

表 2 各处理田间种植方式

处理	种植方式
全膜覆土穴播 (T1)	双垄沟播玉米残膜揭膜再覆膜穴播
多垄沟全膜穴播 (T2)	双垄沟播玉米残膜揭膜后, 采用多微垄覆膜机覆膜后穴播
残膜穴播 (T3)	双垄沟播玉米残膜不揭膜直接穴播胡麻
露地穴播 (CK)	双垄沟播玉米残膜揭膜后露地穴播

1.3 测定指标与方法

1.3.1 土壤水分测定

采用烘干法测定土壤含水量, 分别于胡麻播前、旺长期 (5 月 24 日)、开花期 (6 月 8 日)、硕果期 (7 月 5 日) 和成熟期 (7 月 25 日) 分土层 (0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm) 测定土壤含水量。按照下式计算^[8-9]:

土壤含水量 = (M₁-M₂) / M₂- 铝盒 × 100%

式中, M₁ 为土壤鲜质量 (g); M₂ 为土壤干质量 (g)。

1.3.2 土壤水分利用效率测定^[10-11]

土壤贮水量 (mm) = 土壤质量含水量 (%) × 土壤容重 (g/cm³) × 土层厚度 (cm) / 10;

耗水量 ET=I+P+K+W₀-W₁; 其中 I 为灌水量, P 为降水量, K 是地下水补给, 因为山旱地, 全生育期未灌溉, 地下水位深, 对本试验无影响, 故不予考虑; W₀ 和 W₁ 是土壤播前和收获后含水量;

水分利用效率 [WUE, kg/ (hm² · mm)] = 单位面积产量 (kg/hm²) / 耗水量 (mm)。

1.3.3 产量及其构成因素

胡麻收获前每个小区选取 15 株具有代表性的胡麻进行考种, 包括株高、有效分茎数、有效分枝数、单株蒴果数、每蒴粒数、单株粒重、千粒重等。按小区单收单打, 晒干后测定小区产量。

1.3.4 根系测定

主根采用整体挖掘法, 分别在旺长期 (5 月 24 日)、开花期 (6 月 8 日)、硕果期 (7 月 5 日) 和成熟期 (7 月 25 日) 选取 3 株具有代表性的完整

根系。侧根用剪刀减去。分别测定主根 0 (Top-0) 和 5 (Top-5) cm (从顶部往下) 处直径, 并测定主根长度。每处理的主根置于 75℃ 烘干至恒重。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 对数据进行统计分析。采用单因素 (One-way ANOVA) 和 Duncan 法进行方差分析和多重比较 (α=0.05), 利用 Excel 2003 作图。图表中数据为平均值 ± 标准差。

2 结果与分析

2.1 不同覆膜穴播对胡麻生育期 0 ~ 60 cm 耕层土壤水分垂直变化的影响

胡麻在生育期内 0 ~ 60 cm 耕层土壤含水量垂直变化与种植方式、生育进程及降水情况 (表 1) 密切相关, 不同覆膜穴播下土壤水分的垂直分布表现出相似的趋势 (图 2)。整个生育期 4 种穴播方式不同耕层土壤含水量存在较大差异, 且不同耕层土壤含水量变化动态趋于一致, 总体表现为 40 ~ 60 cm 耕层含水量高于 20 ~ 40 cm 耕层, 高于 0 ~ 20 cm 耕层, 且均向 0 ~ 20 cm 耕层土壤汇集提升输送水分, 以确保胡麻植株正常生长的需水要求。随着生育期的推进, 4 种穴播方式下 0 ~ 60 cm 耕层含水量均逐步增加, 在成熟期有所降低, 且 CK 处理含水量降幅最大。

2.2 不同覆膜穴播对胡麻根系生长的影响

由图 3 可知, 3 种覆膜穴播处理胡麻的根系生长进程快于露地穴播, 主要反映在胡麻根系的主根长、主根直径以及主根干重各指标。随着生育期的推进, 胡麻根系的主根长、主根直径以及主根干重均表现出 T2>T1>T3>CK, 且 T1、T2、T3 与 CK 处理间存在显著差异。随着生育期的推进, 3 种穴播方式下胡麻根系进入快速增长期, 到成熟期逐渐放缓, CK 处理前期生长较慢, 后期生长加快。从旺长期进入开花期, T1 处理主根长增长 6.12%, T2 处理增长 6.78%, T3 处理增长 4.74%, CK 处理增长 2.67%; 从开花期到硕果期, T1 处理增长 6.41%, T2 处理增长 6.43%, T3 处理增长 5.56%, CK 处理增长 7.90%; 从硕果期到成熟期, T1 处理增长 4.65%, T2 处理增长 4.68%, T3 处理增长 2.23%, CK 处理增长 9.20%。随着生育期的推进, 旺长期 3 种覆膜穴播方式下胡麻单株主根干重较 CK 处理增长 29.17% ~ 66.67%, 开花期增长 22.58% ~ 77.42%, 硕果期增长 18.60% ~ 55.81%, 成熟期增长 23.07% ~ 41.18%。

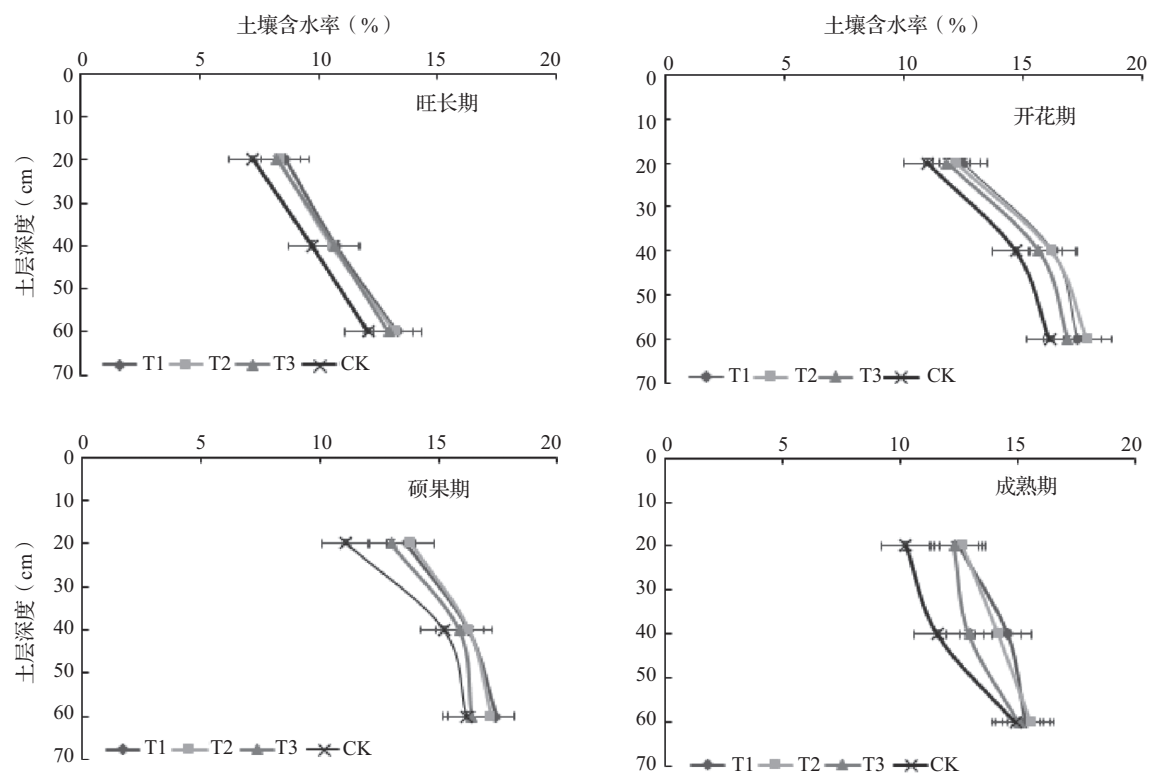


图2 生育期内0~60 cm耕层土壤含水量变化

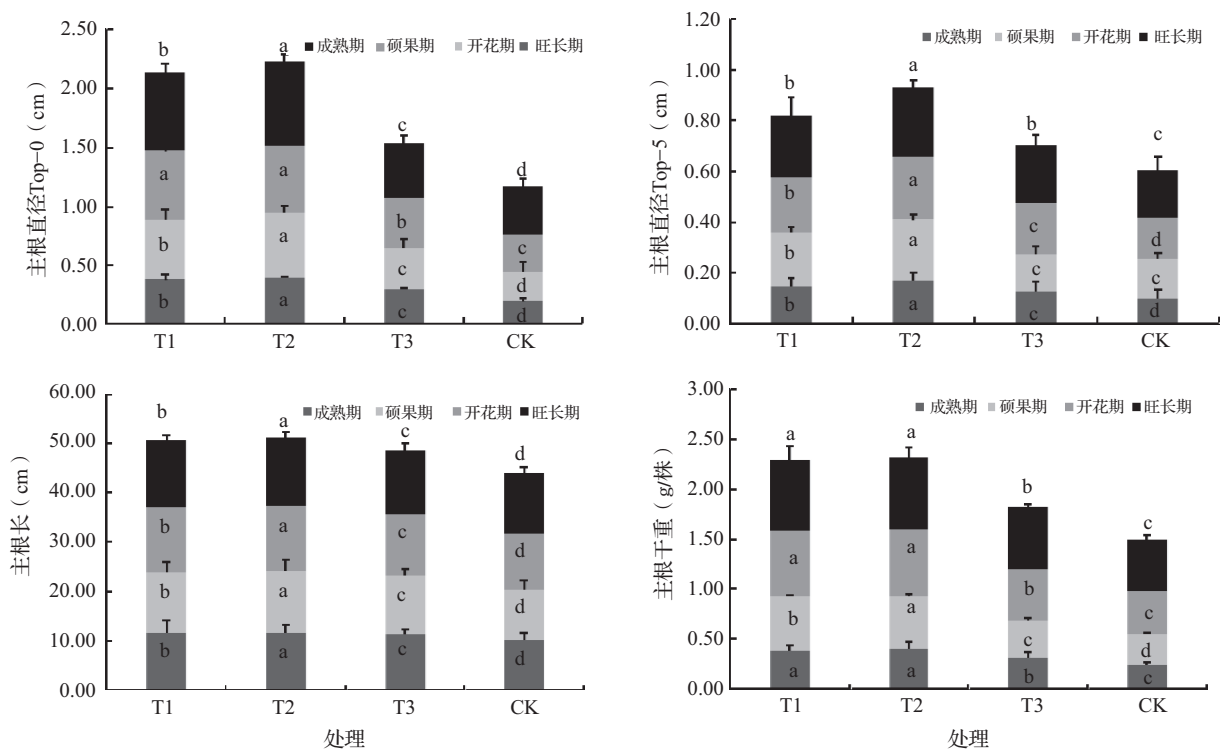


图3 覆膜穴播对胡麻根系生长的影响

注：相同立柱上不同小写字母表示不同处理间在 $P < 0.05$ 水平差异显著。下同。

2.3 胡麻根系生长指标与环境、土壤水热间的关系

环境及土壤水热条件是影响作物生长发育重要的因素之一^[9]。相关性分析结果(图4)表明,胡麻产量与主根长、主根直径(Top-0 cm、Top-5 cm)、主根干重和土壤温度呈极显著正相关,与土壤含水量呈正相关,与降水量呈负相关,与平均日照呈极显著负相关;胡麻根系生长发育过程中,主根长与0~20 cm 耕层土壤含水量呈极显著正相关,与20~40和40~60 cm 耕层土壤含水量呈正相关;主根直径(Top-0 cm)与0~20 cm 耕层土壤含水量呈极显著正相关,与20~40和40~60 cm

耕层土壤含水量呈正相关;主根直径(Top-5 cm)与0~20、20~40和40~60 cm 耕层土壤含水量均呈显著正相关。主根长与0~20 cm 耕层土壤温度呈极显著正相关;主根直径(Top-0 cm)与0~20 cm 耕层土壤温度呈极显著正相关;主根直径(Top-5 cm)与0~20 cm 耕层土壤温度呈显著正相关。主根长与平均气温呈极显著正相关,主根直径(Top-0 cm)和主根直径(Top-5 cm)与平均气温呈显著正相关;主根长、主根直径(Top-0 cm)和主根直径(Top-5 cm)与平均降水量、平均日照呈负相关。

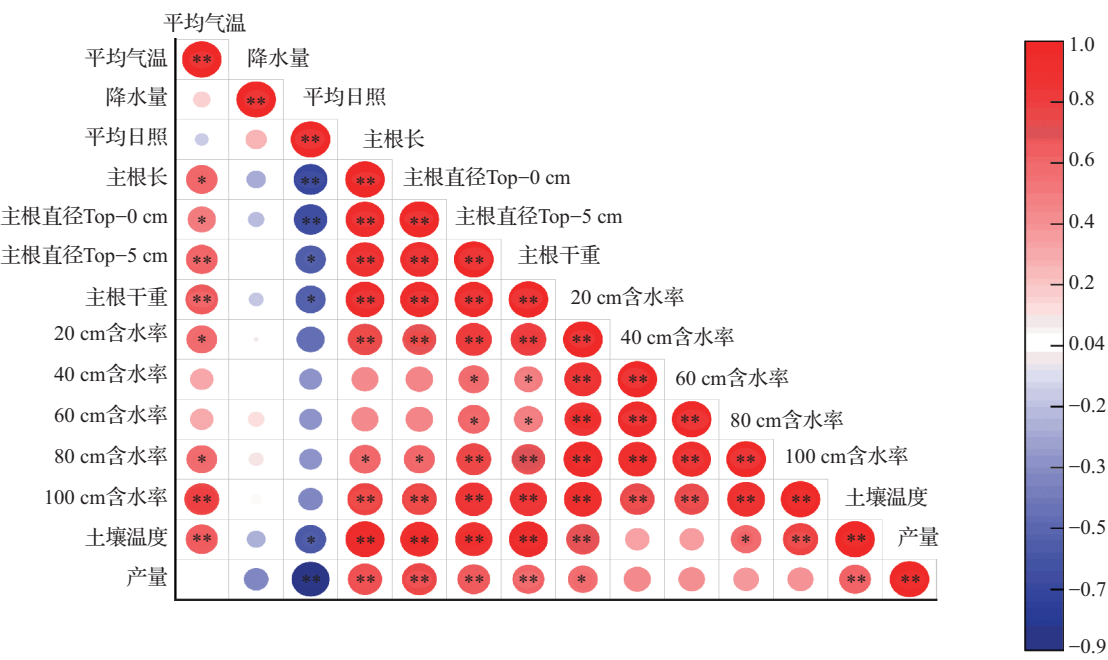


图4 水热条件与胡麻产量、根系生长指标间的关系

注: *表示 $P \leq 0.05$, **表示 $P \leq 0.01$ 。

2.4 不同覆膜穴播对胡麻产量及产量构成的影响

由表3可以看出,不同覆膜穴播对胡麻产量及产量构成有不同程度的影响,不同处理之间存在显著差异。T1、T2处理株高、单株果数和单株产量较T3、CK处理差异显著;各处理工艺长度和千粒重无显著差异;T2处理有效分茎数较其他处理差异显著。3种覆膜栽培显著增加了株高、有效分茎数、有效分枝数、单株果数和单株产量,且多垄沟全膜穴播对胡麻产量各构成因子的促进作用要优于其他覆膜方式。从产量结果来看,3种覆膜栽培产量均高于CK处理,且T1、T2处理较T3、CK处理差异显著。多垄沟全膜穴播产量最高,为1986.90 kg/hm²,其次为全膜覆土穴播和残膜穴播,分别为1919.85

和1725.90 kg/hm²。与CK处理相比,T1处理产量增加38.80%,T2处理增加43.65%,T3处理增加24.78%,说明地膜覆盖配合栽培技术能够有效地提高和稳定胡麻产量。

2.5 不同覆膜穴播处理土壤水分状况及水分利用效率变化

不同覆膜穴播下旱地胡麻田土壤0~100 cm 土壤含水量、土壤耗水量和水分利用率的测定结果见图5,由图5A可知,胡麻成熟期0~100 cm 土层土壤含水率随土壤深度的增加逐渐增加,3种覆膜穴播0~100 cm 土层土壤含水率变化规律极为相似,存在两个交汇节点,即土壤水分向20和60 cm 土层汇集;与CK处理相比,3种覆膜穴播土壤含水率均有所增加,

表 3 对胡麻产量及产量构成的影响

处理	株高 (cm)	工艺长度 (cm)	有效分茎数 (个)	有效分枝数 (个)	单株果数 (个)
T1	58.27 ± 0.94ab	35.32 ± 0.30a	3.55 ± 0.21b	17.35 ± 0.21a	21.91 ± 0.14ab
T2	60.30 ± 0.56a	37.15 ± 0.49a	3.89 ± 0.31a	17.25 ± 0.17a	23.00 ± 0.28a
T3	54.13 ± 1.57bc	35.45 ± 0.43a	3.35 ± 0.20bc	16.80 ± 0.42a	21.70 ± 0.16ab
CK	51.95 ± 1.63c	33.80 ± 0.82a	3.07 ± 0.09d	12.95 ± 0.49b	18.10 ± 0.25b

处理	单株产量 (g)	千粒重 (g)	小区平均产量 (kg)	产量 (kg/hm ²)
T1	1.52 ± 0.07ab	7.58 ± 0.32a	3.84 ± 0.10a	1919.85 ± 1.11a
T2	1.79 ± 0.06a	7.57 ± 0.18a	3.97 ± 0.11a	1986.90 ± 3.22a
T3	1.45 ± 0.08b	7.29 ± 0.16a	3.45 ± 0.12b	1725.90 ± 3.30b
CK	1.10 ± 0.16c	7.18 ± 0.55a	2.77 ± 0.05c	1383.15 ± 1.81c

注：同列不同小写字母表示不同处理间在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

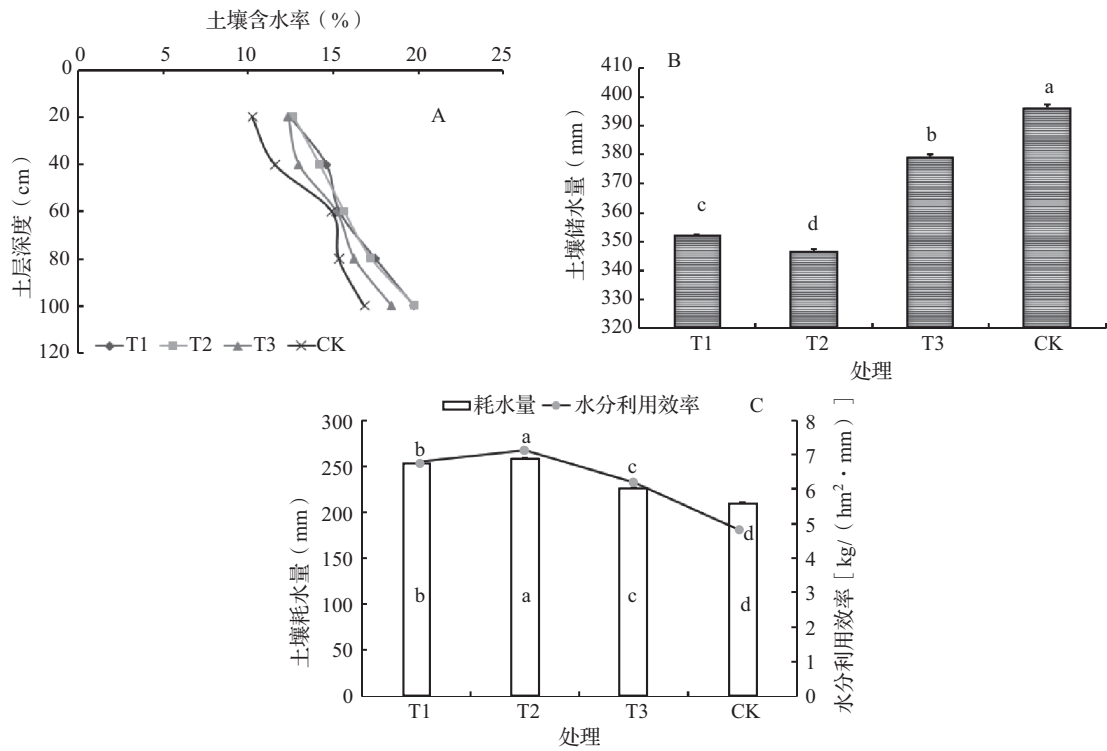


图 5 不同覆膜穴播对土壤水分及水分利用率的影响

注：A 为不同覆膜穴播下胡麻成熟期 0 ~ 100 cm 土层土壤含水率；B 为不同覆膜穴播方式下胡麻成熟期 200 cm 土层储水量；C 为不同覆膜穴播方式下胡麻田 200 cm 土层耗水量及水分利用率。

在 20 cm 土层提高 20.29% ~ 23.61%，在 40 cm 土层提高 11.92% ~ 26.08%，在 60 cm 土层提高 1.67% ~ 4.76%，在 80 cm 土层提高 6.07% ~ 14.16%，在 100 cm 土层提高 9.69% ~ 17.78%。由图 5B 可知，胡麻成熟期覆膜穴播的 200 cm 土层储水总量较 CK 处理均显著降低，且存在显著差异，T1、T2 和 T3 处理分别较 CK 处理降低 11.17%、12.53% 和 4.26%。由图 5C 可知，不同覆膜穴播方式下胡麻田 200 cm 土层耗水量各处理差异显著，T2 处理耗水量最大，为 258.8 mm，T1、T3 和 CK 处理分别为 253.4、226.04 和 209.2 mm，T1、T2 和 T3 处理耗水量分别较 CK 处理增加 21.13%、23.71% 和 8.05%。3 种覆膜穴播的水分利用效率均高于 CK 处理，且差异显著，T2 处理水分利用效率显著优于 T1 和 T3 处理，分别为 7.12、6.77 和 6.20 kg/(hm²·mm)，CK 处理的水分利用效率为 4.78 kg/(hm²·mm)，T1、T2 和 T3 分别较 CK 提高 41.63%、48.95% 和 29.71%。

3 讨论

地膜覆盖栽培技术作为一种便捷有效的节水增

产模式,能够有效地保水保墒、抗虫防病,既可以提高产量,又对作物的品质有一定的积极作用^[3]。近年来,针对不同作物,国内外学者对地膜覆盖栽培技术的研究已有大量报道,主要集中在作物生长、土壤水分利用、土壤水热条件、养分利用效率等方面^[12-13],但是针对胡麻的水分利用特征、作物根系生长以及产量的调控效应等方面研究还不够系统深入,相关报道较少。

研究表明,覆膜栽培因其优越的增温保墒作用,有效地调节农田小气候,提高作物的产量及产量构成指标,从而起到增产作用^[14]。张雪等^[15]认为覆膜微垄覆土与不覆土穴播方式均能够显著提高胡麻出苗率,促进干物质积累,增加胡麻单株蒴果数和果粒数,提高籽粒产量。本试验点的年平均降水量为 400 mm,且本试验年份的年降水量为 283.9 mm,水分依旧是限制旱地胡麻高产高效的主要因子。3 种覆膜处理能够显著提高胡麻出苗率,增加了株高、有效分茎数、有效分枝数、单株蒴果数和单株产量,且产量均优于 CK 处理,这与前人的研究结论一致。杨丽等^[16]认为,垄沟宽度是影响垄膜沟播胡麻水分利用效率和产量的重要因素。王红丽等^[17]、张礼军等^[18]认为,起垄覆膜能够明显提高玉米、小麦全生育期土壤含水量。本试验通过不同覆膜方式的处理看出,多垄沟全膜穴播明显提高胡麻全生育期土壤含水量,且产量最高,说明垄膜沟播适合胡麻栽培,能够稳定和提高胡麻产量,可作为胡麻抗旱栽培模式进行推广应用。

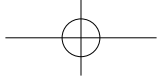
也有研究表明,覆膜主要通过提高作物水分消耗量,通过调节不同生育期耗水比例以保证最终增产^[19]。研究表明,覆膜能促进深层土壤(100 ~ 200 cm)中水分向上层土壤(0 ~ 100 cm)的转移^[20-21]。刘杰等^[5]认为,盛花期后全膜覆土穴播处理下土壤温度更为适宜,胡麻生长加速,耗水量增加,降低了土壤含水量。本试验结果表明,3 种覆膜处理土壤含水率和水分利用效率均高于 CK 处理,且成熟期 200 cm 土层土壤储水量降低,耗水量增加,土壤水分从深层土壤(100 cm)分别向 20 和 60 cm 土层转移、汇集,原因可能是覆膜促进了胡麻根系的下扎深度,从而促进了胡麻对深层土壤水分的吸收和再利用;调节胡麻不同生育期耗水比例,在总耗水量高于 CK 处理的同时,将更多的水分用于关键生育期,以保证胡麻产量的提高,这与前人的结论一致。

4 结论

3 种覆膜栽培模式均能够不同程度地提高产量和水分利用效率;3 种覆膜栽培模式在 0 ~ 100 cm 土层土壤含水率变化规律极为相似,存在两个交汇节点,即土壤水分向 20 和 60 cm 土层汇集;3 种覆膜栽培模式在甘肃省中部半干旱区均有一定的适应性和可推广性,可因地制宜的作为胡麻覆膜栽培模式进行推广。

参考文献:

- [1] 崔红艳,方子森,牛俊义. 胡麻栽培技术的研究进展[J]. 中国农学通报,2014,30(18): 8-13.
- [2] 张雷,李小燕,牛芬菊,等. 旱地微垄地膜覆盖沟播栽培对土壤水分和胡麻产量的影响[J]. 作物杂志,2011(4): 95-97.
- [3] 陈军,叶春雷,李进京,等. 播种量+施肥量对水分胁迫下胡麻生长、产量及收获指数效应研究[J]. 中国农业科技导报,2020,22(10): 139-148.
- [4] 王鹏飞. 土壤水热状况和胡麻生长对地膜及氮肥种类的响应[D]. 兰州:甘肃农业大学,2018.
- [5] 刘杰,王宗胜,杨丽,等. 不同覆膜方式对胡麻根系生长和产量的影响[J]. 西北农业学报,2020,29(4): 552-558.
- [6] 张淑芳. 小麦地膜覆盖对土壤水分和温度的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2010.
- [7] 吴兵,谢亚萍,高玉红,等. 旧膜处理方式对旱田胡麻土壤温湿状况及产量的调控研究[J]. 土壤通报,2016,47(4): 889-896.
- [8] 景媛媛,贺翔,徐长林,等. 覆膜种植方式对东祁连山区苜蓿草地土壤温度和水分的的影响[J]. 草地学报,2018,26(2): 321-329.
- [9] 米永伟,龚成文,邵武平,等. 覆膜对高寒阴湿区土壤水热与当归根系生长的调控效应[J]. 草业学报,2022,31(12): 66-75.
- [10] 唐文雪,马忠明. 地膜降解特征对土壤水热效应和玉米产量的影响[J]. 农业环境科学学报,2018,37(1): 114-123.
- [11] 董丽利. 覆盖模式与施氮量对冬小麦生长、产量及养分吸收影响的研究[D]. 咸阳:西北农林科技大学,2015.
- [12] 张勇,吴兵,高玉红,等. 氮肥运筹对旱地胡麻水分利用特征及产量的调控效应[J]. 西北农业学报,2021,30(5): 725-736.
- [13] 杨丽. 垄膜沟播垄沟宽对胡麻水分利用效率和产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2019,38(10): 17-25.
- [14] 殷文,郭瑶,范虹,等. 西北干旱灌区不同地膜覆盖利用方式对玉米水分利用的影响[J]. 中国农业科学,2021,54(22): 4750-4760.
- [15] 张雪,王一帆,高玉红,等. 微垄和地膜覆土对旱地胡麻生长发育及籽粒产量形成的影响[J]. 中国油料作物学报,



- 2023, 45 (1): 198–208.
- [16] 杨丽, 祁双桂, 李青梅, 等. 不同覆膜栽培方式对胡麻水分利用效率和产量的影响 [J]. 西北农业学报, 2017, 26 (5): 728–737.
- [17] 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, (10): 2609–2614.
- [18] 张礼军, 鲁清林, 白玉龙, 等. 施肥和覆盖模式对旱地冬小麦花后干物质转移、糖代谢及其籽粒产量的影响 [J]. 草业学报, 2017, 26 (3): 149–160.
- [19] 杨长刚, 柴守玺, 常磊, 等. 不同覆膜方式对旱作冬小麦耗水特性及籽粒产量的影响 [J]. 中国农业科学, 2015, 48 (4): 661–671.
- [20] 赵晓东, 李廷亮, 谢英荷, 等. 覆膜对旱地麦田土壤水分及氮素平衡的影响 [J]. 生态学报, 2018, 38 (5): 1550–1559.
- [21] 汪磊, 谭美莲, 叶春雷, 等. 胡麻覆膜种植模式对产量、水分利用和经济效益的影响 [J]. 中国油料作物学报, 2016, (4): 460–466.

Regulatory effects of different mulching and hole-planting practices on water utilization characteristics and yield in rainfed flax

CHEN Jun¹, YE Chun-lei^{1*}, WANG Wei¹, SUN Xia-ling¹, WANG Lei², LI Sheng-ke^{3#} (1. Biotechnology Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070; 2. Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan Hubei 430062; 3. Agricultural Technology Extension Center of Yuzhong County, Gansu Province, Lanzhou Gansu 730100)

Abstract: To evaluate the adaptability of different mulching and hole-planting cultivation patterns on the growth and water utilization of flax, an experiment was conducted in the semi-arid region of central Gansu province. Four planting patterns were conducted: open-field planting (CK), full-film mulching with soil covering (T1), multi-ridge and furrow full-film mulching (T2) and residual film mulching (T3), and their effects on the water use characteristics and yield of flax were assessed. The results showed that the vertical variation of soil moisture content in the 0–60 cm tillage layer during the growth period was closely related to planting patterns, growth processes and precipitation, and the vertical distribution of soil moisture under different mulching holes showed a similar trend. Compared with open burrow sowing, the three mulching and hole sowing treatments significantly improved crop yield and water use efficiency, and the effects of multi-ridge and full-film hole sowing treatment were the best. The root growth process of flax sown in the three mulching holes was faster than that in the open burrows, which was mainly reflected in the taproot length, taproot diameter and taproot dry weight of flax roots. With the advancement of growth period, the taproot length, taproot diameter and taproot dry weight of flax roots showed as T2>T1>T3>CK, and there were significant differences between T1, T2, T3 and CK treatments ($P<0.05$). There was a close correlation between flax root growth indexes and environment, soil water and heat, and there was a significant or extremely significant positive correlation. Compared with CK, the three mulching and hole sowing modes significantly increased plant height, effective stem number, effective branch number, fruit number per plant and yield per plant, and the yield of T1, T2 and T3 treatments were increased by 38.8%, 43.7% and 24.8%, respectively. After flax harvesting, the soil moisture content of the 0–100 cm soil layer was gradually increased with the increase of soil depth, and the variation law of soil moisture content of the three types of 0–100 cm soil layer was very similar, and there were two intersection nodes, that was, soil moisture pooled to the 20 and 60 cm soil layers. Compared with CK, the soil moisture content of different soil layers were increased by 20.29%–23.61% in 20 cm soil layer, 11.92%–26.08% in 40 cm soil layer, 1.67%–4.76% in 60 cm soil layer, 6.07%–14.16% in 80 cm soil layer and 9.69%–17.78% in 100 cm soil layer. The total water storage of the 200 cm soil layer after flax harvesting was significantly lower than that of CK, and that in T1, T2 and T3 treatments were 11.17%, 12.53% and 4.26% lower than CK, respectively, and there were significant differences ($P<0.05$), and the water use efficiency of the three types of mulching and hole sowing was higher than that of CK, which was 41.63%, 48.95% and 29.71% for T1, T2 and T3 treatments, respectively, and the difference was significant ($P<0.05$). Therefore, it was considered that multi-ridge and furrow full-film hole sowing, full-film soil covering hole seeding and residual film mulching hole seeding could be used as suitable mulching cultivation modes for flax, which could be selected according to local conditions.

Key words: flax; mulching and hole-planting; water use characteristics; yield