

引用格式:

巫蓉, 邱黛玉, 齐海敏, 王思嘉, 沈鹏瑞. 栽培方式与施肥水平对当归土壤水分和养分的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(1): 55-62.

WU R, QIU D Y, QI H M, WANG S J, SHEN P R. Effects of cultivation methods and fertilization levels on soil moisture and nutrients of *Angelica sinensis*[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(1): 55-62.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



栽培方式与施肥水平对当归土壤水分和养分的影响

巫蓉^{1,2,3}, 邱黛玉^{1,2,3*}, 齐海敏⁴, 王思嘉^{1,2,3}, 沈鹏瑞^{1,2,3}

(1. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省中药材规范化生产技术创新重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 4. 庆阳市西峰区温泉镇人民政府, 甘肃 庆阳 745000)

摘要: 通过田间试验, 比较分析当归全膜双垄沟栽、全膜单垄栽和全膜平栽 3 种栽培方式与施 0(CK)、600、750、900 kg/hm² 复合肥 4 种不同施肥水平下不同生育期 0~40 cm 土层土壤含水量和养分含量的变化及当归产量。结果表明: 除当归地上部分生长旺盛期 0~20 cm 土层土壤外, 同时期同层土壤中全膜双垄沟栽+施肥 750 kg/hm² 处理的土壤含水量最高; 同时期同层土壤中, 全膜双垄沟栽+施肥 750 kg/hm² 处理的土壤铵态氮质量分数最高, 全膜双垄沟栽+施肥 900 kg/hm² 处理的土壤速效磷和速效钾质量分数均为最高; 全膜双垄沟栽+施肥 750 kg/hm² 处理的当归产量最高。栽培方式极显著影响当归地上部分生长旺盛期 0~20 cm 土层土壤含水量、当归地上部分生长旺盛期>20~40 cm 土层土壤铵态氮质量分数及当归产量, 显著影响当归根部膨大期 0~40 cm 土层土壤含水量和速效钾质量分数、当归地上部分生长旺盛期 0~20 cm 土层土壤铵态氮和速效磷质量分数、当归地上部分生长旺盛期>20~40 cm 土层土壤速效钾质量分数及当归根部膨大期>20~40 cm 土层土壤速效磷质量分数; 施肥极显著或显著影响当归 2 个时期 0~40 cm 土层土壤铵态氮、速效磷和速效钾质量分数, 且极显著影响当归产量。当归全膜双垄沟栽+施肥 750 kg/hm² 可有效增加 0~40 cm 土层土壤含水量和养分含量, 提高当归产量, 可在甘肃省当归道地产区推广。

关键词: 当归; 全膜双垄沟栽; 全膜单垄栽; 全膜平栽; 复合肥; 土壤含水量; 土壤养分

中图分类号: S567.23⁺9.062; S359.9 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2021)01-0055-08

Effects of cultivation methods and fertilization levels on soil moisture and nutrients of *Angelica sinensis*

WU Rong^{1,2,3}, QIU Daiyu^{1,2,3*}, QI Haimin⁴, WANG Sijia^{1,2,3}, SHEN Pengrui^{1,2,3}

(1. Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Science, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. Agronomy College, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 3. Key Laboratory of Herbal Medicine Standardization Production Technology Innovation, Lanzhou, Gansu 730070, China; 4. People's Government of Hot Spring Town, Xifeng District, Qingyang, Gansu 745000, China)

Abstract: Using field experiment, we did the comparative analysis of three cultivation methods(full film double ridge and furrow planting, full film single ridge planting and full film flat planting) with four fertilizer levels(0, 600, 750, 900 kg/hm² compound fertilizer) to investigate the effects of cultivation and fertilization on soil moisture and nutrient content in the 0-40 cm soil layer and the yield of *Angelica sinensis*. The results showed except for the 0-20 cm soil layer during the vigorous growth of the above-ground part of *Angelica sinensis*, the soil moisture content in the same layer of soil

收稿日期: 2019-12-26

修回日期: 2020-03-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(31201176、31960395)

作者简介: 巫蓉(1995—), 女, 江苏句容人, 硕士研究生, 主要从事中药学研究, 1154820957@qq.com; *通信作者, 邱黛玉, 副教授, 主要从事药用植物资源与利用研究, gsqdy@163.com

during the same period was the highest in the treatment of full film double ridge and furrow planting+fertilization 750 kg/hm². The ammonium nitrogen mass fraction in the 0-40 cm soil layer was the highest in the two periods of *Angelica sinensis* with full film double ridge and furrow planting+fertilization 750 kg/hm². The mass fractions of available phosphorus and available potassium were the highest in the 0-40 cm soil layer with full film double ridge and furrow planting+fertilization 900 kg/hm² during the two periods of *Angelica sinensis*. The yield of *Angelica sinensis* was the highest under the treatment of full film double ridge and furrow planting+fertilization 750 kg/hm². The cultivation methods significantly affected the soil water content in the soil layer 0-20 cm above the ground, the ammonium nitrogen mass fraction in the soil layer >20-40 cm above the ground and the yield of *Angelica sinensis*. Fertilization had very significant or significant effect on soil nutrients of *Angelica sinensis* in two periods. Cultivation methods and film mulching greatly affected the yield of *Angelica sinensis*. Full film double ridge and furrow planting+fertilization 750 kg/hm² could effectively increase the soil moisture content of 0-40 cm, promote nutrient absorption and improve the yield of *Angelica sinensis*. We found that the cultivation mode of full film double ridge and furrow planting+fertilization 750 kg/hm² can be popularized in the *Angelica sinensis* thoroughbred production area of Gansu Province.

Keywords: *Angelica sinensis*; full film double ridge and furrow planting; full film single ridge planting; full film flat planting; compound fertilizer; soil moisture content; soil nutrients

当归(*Angelica sinensis*)为伞形科 3 年生草本药用植物,其根入药,是中国大宗中药材品种之一^[1]。当归的主要药效成分有黄酮类、有机酸和微量元素等^[2-4]。当归生长在高寒且多雨的山区^[5]。甘肃省是中国当归栽培最多的省份,渭源、漳县、岷县等地当归栽培历史悠久,产品享有“岷归”的称号^[6]。随着中医药产业的发展,对当归的需求量剧增,甘肃省当归道地产区的当归生产面临着诸多问题。施用化肥,可促进当归生长,有助于成药后期庞大肉质根系的形成^[7-9],产量和品质也会有所提高。部分药农在栽培当归时为了追求产量,过度依赖化学肥料,土壤缺乏有机肥,氮、磷、钾比例失调,造成营养失衡,土壤板结僵硬、通气性差,导致当归烂根^[10]。栽培当归的土壤含水量达 25%左右时,会促进当归增产;当土壤的含水量小于 13%时,会出现干旱,导致减产^[11]。春季和夏季是当归生长的旺盛时期,对水分的需求量较大,但此时降水较少,植株停止代谢,养分无法吸收,影响了当归前期生长发育;而秋季降水较多,土壤积水,导致当归地下部分腐烂、涝死,最终植物死亡^[12]。

全膜双垄沟播技术具有沟垄微集水、蓄水及地膜覆盖抑蒸、增温、保墒等多项优势^[13],使地面蒸发降到最少,特别能使春季 10 mm 以下的降雨集中入渗于作物根部,被作物有效利用^[14],显著提高耕地生产力和水分利用效率。研究^[15]表明,与半膜平作处理相比,全膜双垄沟播玉米的水分利用效率提高了 33.4%。本研究中,在不同栽培方式及不同施

肥水平下,研究当归不同生育期 0~40 cm 土层土壤含水量与养分的变化动态及当归的产量,探究全膜双垄沟栽及施肥水平对土壤水分、养分及当归产量的影响,旨在为甘肃当归道地产区提高当归产量提供依据。

1 研究区概况

试验在甘肃定西市漳县金钟镇(E104°43'62"、N34°55'05")进行。该地平均海拔高度为 2892 m,无霜期为 80~120 d,日照时数为 2086.4 h,年最低气温为-22℃,年最高气温为 28.9℃,年均降水量为 458.3 mm,年均蒸发量达 1494.5 mm,为典型的高寒阴湿地区。前茬作物为大豆。试验地 0~20 cm 土层土壤 pH 值 7.70,铵态氮、速效磷、速效钾的质量分数分别为 4.45、52.09、147.9 mg/kg; >20~40 cm 土层土壤 pH 值 7.51,铵态氮、速效磷、速效钾的质量分数分别为 4.25、36.90、114.85 mg/kg。

2 材料和方法

2.1 供试材料

试验选用大小均一、无腐烂、无虫蛀的当地农户自育 1 年生当归种苗。供试地膜为 70、120 cm 宽的黑色农用塑料地膜,产自天水市甘肃天宝塑业有限责任公司。供试肥为史丹利复合肥(养分质量分数 54%, N、P₂O₅、K₂O 质量分数分别为 26%、14%、14%)。

2.2 试验设计

试验采用栽培方式与施肥水平双因素随机区组设计。设 3 种栽培方式：全膜双垄沟栽(FF)，垄底宽 40 cm、垄高 10 cm 的大垄和垄底宽 30 cm、垄高 15 cm 的小垄，2 垄中间为播种沟，每个播种沟对应一大一小 2 个集雨垄面，选用 120 cm 宽的地膜，边起垄边覆膜，膜与膜间不留空隙，相接处用土压住地膜，24 穴/行，穴距 25 cm；全膜单垄栽(FS)，垄宽 50 cm，垄沟宽 20 cm，垄高 10 cm，带宽 70 cm，选用 120 cm 宽的地膜，膜与膜间不留空隙，每垄 2 行，行距 30 cm，24 穴/行，穴距 25 cm；全膜平栽(FM)，用 70 cm 的薄膜全地面平铺，膜与膜间不留空隙，等行距 6 行栽培，行距 30 cm，24 穴/行，穴距 25 cm。设 4 个施肥水平：不施肥(CK)，施 600、750、900 kg/hm² 复合肥，分别记为 L、M、H。共 12 个处理(FF-CK、FF-L、FF-M、FF-H、FS-CK、FS-L、FS-M、FS-H、FM-CK、FM-L、FM-M、FM-H)。每个处理重复 3 次。每小区面积为 12.6 m² (6 m×2.1 m)。小区间距为 20 cm，小区周围设 1 m 保护行。田间管理与大田一致。当归于 2016 年 3 月 30 日移栽，9 月 27 日收获。

2.3 测定指标及方法

分别于 2016 年 7 月 3 日(当归地上部分生长旺盛期，以下简称旺盛期)、2016 年 8 月 24 日(当

根部膨大期，以下简称为膨大期)2 个时期采样。采用 5 点“S”采样法，用土钻分别取 0~20、>20~40 cm 土层土壤，置于铝盒并立即盖好，用于测定土壤含水量。取 5 株当归植株，采用抖根法收集根际土壤，自然风干后用于测定养分。收获期在各小区随机取样 10 株当归，阴干，测定主根干质量，取平均值作为当归单株质量，再按实际穴数计小区当归产量，折算平均产量。

参照文献[16]，采用烘干称重法、靛酚蓝比色法、碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法、火焰光度法分别测定土壤含水量、铵态氮、速效磷、速效钾质量分数。指标测定时每个样品重复 3 次。

2.4 数据分析

运用 Microsoft Excel 2010 进行数据处理。利用 SPSS 22.0 作方差分析，用 Duncan 法进行多重比较。

3 结果与分析

3.1 栽培方式与施肥对土壤含水量的影响

从表 1 可知，在旺盛期，0~40 cm 土层土壤含水量随深度增加而降低；0~20 cm 土层土壤中，处理 FF-H 的土壤含水量最高，达 19.32%，比最低的 FM-M 的(16.18%)高 19.41%，且差异有统计学意义 ($P<0.05$)；>20~40 cm 土层土壤中，处理 FF-M 的土壤含水量最高，为 17.54%，比最低的 FM-CK 的

表 1 不同栽培方式与施肥处理当归种植土壤的含水量及其方差分析

处理	旺盛期的土壤含水量		膨大期的土壤含水量		%
	0~20 cm	>20~40 cm	0~20 cm	>20~40 cm	
FM-CK	(16.50±0.92)bc	14.78±0.01	(8.82±0.03)b	(9.94±0.01)b	
FM-L	(16.32±0.98)c	15.00±0.01	(9.94±0.03)ab	(10.11±0.00)b	
FM-M	(16.18±0.00)c	15.44±0.01	(10.10±0.01)ab	(10.30±0.00)b	
FM-H	(17.37±1.10)abc	15.32±0.01	(9.99±0.01)ab	(10.19±0.01)b	
FS-CK	(17.62±0.01)abc	15.57±0.03	(10.13±0.01)ab	(10.25±0.01)b	
FS-L	(18.44±0.01)abc	16.33±0.20	(10.20±0.01)ab	(11.01±0.01)ab	
FS-M	(18.88±0.01)abc	16.10±0.01	(10.44±0.00)ab	(11.12±0.01)ab	
FS-H	(18.07±0.02)abc	14.79±0.03	(10.36±0.00)ab	(10.59±0.02)b	
FF-CK	(17.19±0.02)abc	16.64±0.03	(10.94±0.02)ab	(11.39±0.01)ab	
FF-L	(17.41±0.01)abc	16.84±0.01	(11.21±0.02)ab	(11.97±0.01)ab	
FF-M	(19.17±0.01)ab	17.54±0.01	(13.35±0.01)a	(14.02±0.02)a	
FF-H	(19.32±0.02)a	17.28±0.01	(11.84±0.02)ab	(12.03±0.02)ab	
栽培	**		*	*	
施肥					
栽培×施肥					

同列数据后不同字母示在 0.05 水平差异显著；“*”和“**”分别示在 0.05 和 0.01 水平差异显著。

(14.78%)高 18.67%，但差异无统计学意义。在膨大期，0~40 cm 土层土壤中，处理 FF-M 的土壤含水量最高，0~20cm 和 >20~40 cm 土层土壤的含水量分别为 13.35%和 14.02%，比最低的处理 FM-CK 的 (8.82%和 9.94%)分别高 51.36%和 41.05%，且其差异均有统计学意义($P<0.05$)。

当归 2 个时期 0~40 cm 土层土壤含水量最高的处理均为全膜双垄沟栽的；除旺盛期 0~20 cm 土层的处理 FF-CK、FF-L 和 >20~40 cm 土层的处理 FS-H 外，同一施肥水平下，同时期同层土壤中，FF、FS、FM 的土壤含水量依次减少；同一栽培方式下，不同施肥处理间的土壤含水量差异均无统计学意义。双因素方差分析结果显示，栽培方式极显著影响旺盛期 0~20 cm 土层土壤的含水量($P<0.01$)，显著影响膨大期 0~40 cm 土层土壤的含水量($P<0.05$)；施肥对土壤含水量无显著影响；栽培方式和施肥对土壤含水量无互作效应。可见，全膜双垄沟能有效的减少土壤水分蒸发。

3.2 栽培方式与施肥对土壤养分的影响

由表 2 可知，当归 2 个时期 0~40 cm 土层的土壤铵态氮质量分数均呈垂直递减的趋势；同时期同层土壤中，铵态氮质量分数均以处理 FF-M 的最高，

处理 FM-CK 的最低，旺盛期 0~20 cm 和 >20~40 cm 土层、膨大期 0~20 cm 和 >20~40 cm 土层处理 FF-M 的土壤铵态氮质量分数分别为 6.66、6.47、4.81、3.80 mg/kg，分别比同时期同层的 FM-CK 的高 67.34%、127.02%、71.17%、112.29%，且差异有统计学意义($P<0.05$)；同一栽培模式下，同时期同层土壤中，铵态氮质量分数均以施肥 750 kg/hm²(M) 的处理的最高；同一施肥水平下，同时期同层土壤中，多数 FF 处理的土壤铵态氮质量分数高于另外 2 种栽培方式的；全膜双垄沟栽下，处理 FF-M 的土壤铵态氮质量分数显著高于同时期同层的 FF-CK 和 FF-L 的土壤铵态氮质量分数。可见，全膜双垄沟栽下，施肥 750 kg/hm²能有效提高当归 0~40 cm 土层土壤的铵态氮质量分数。

双因素方差分析结果显示，栽培方式显著影响旺盛期 0~20 cm 土层土壤铵态氮质量分数($P<0.05$)，极显著影响旺盛期 >20~40 cm 土层土壤铵态氮质量分数($P<0.01$)；施肥极显著影响旺盛期 0~40 cm 土层和膨大期 >20~40 cm 土层土壤铵态氮质量分数($P<0.01$)，显著影响膨大期 0~20 cm 土层土壤的铵态氮质量分数($P<0.05$)；栽培方式和施肥对土壤的铵态氮质量分数无互作效应。

表 2 不同栽培方式与施肥处理当归种植土壤的铵态氮质量分数及其方差分析

处理	mg/kg			
	旺盛期土壤的铵态氮质量分数		膨大期土壤的铵态氮质量分数	
	0~20 cm	>20~40 cm	0~20 cm	>20~40 cm
FM-CK	(3.98±0.39)d	(2.85±0.22)d	(2.81±0.26)d	(1.79±0.49)d
FM-L	(4.37±0.32)cd	(3.72±0.12)cd	(3.36±0.06)cd	(3.36±0.37)ab
FM-M	(5.97±0.30)ab	(4.18±0.25)cd	(4.36±0.02)ab	(3.68±0.22)ab
FM-H	(5.24±0.31)bc	(3.79±0.27)cd	(4.35±0.09)ab	(3.66±0.07)ab
FS-CK	(4.32±0.28)cd	(3.05±0.38)d	(3.47±0.09)cd	(2.72±0.26)bc
FS-L	(4.12±0.55)cd	(3.20±0.87)d	(3.55±0.10)c	(3.17±0.09)abc
FS-M	(5.28±0.83)bc	(4.95±0.80)bc	(4.64±0.40)ab	(3.34±0.39)ab
FS-H	(5.20±0.44)bc	(3.97±0.59)cd	(4.46±0.31)ab	(3.12±0.31)abc
FF-CK	(5.07±0.64)bcd	(3.58±0.34)cd	(3.59±0.20)c	(2.30±1.06)cd
FF-L	(4.94±0.44)bcd	(3.56±0.07)cd	(3.62±0.09)c	(2.38±0.28)cd
FF-M	(6.66±0.57)a	(6.47±0.44)a	(4.81±0.81)a	(3.80±0.05)a
FF-H	(5.83±0.56)ab	(5.75±0.80)ab	(4.01±0.37)bc	(3.38±0.20)ab
栽培	*	**		
施肥	**	**	*	**
栽培 × 施肥				

同列数据后不同字母示在 0.05 水平差异显著；“*”和“**”分别示在 0.05 和 0.01 水平差异显著。

由表 3 和表 4 可知, 当归 2 个时期 0~40 cm 土层的土壤速效磷和速效钾质量分数均呈垂直递减的趋势; 同时期同层土壤中, 速效磷和速效钾质量分数均以处理 FF-H 的最高, 处理 FM-CK 的最低, 且差异有统计学意义($P < 0.05$); 旺盛期 0~20 cm 和 >20~40 cm 土层、膨大期 0~20 cm 和 >20~40 cm 土层处理 FF-H 的土壤速效磷质量分数分别为 67.28、56.06、67.02、61.88 mg/kg, 分别比同时期同层的 FM-CK 的高 107.08%、190.72%、65.40%、138.83%,

土壤速效钾质量分数分别为 249.88、128.17、259.30、216.60 mg/kg, 分别比同时期同层的 FM-CK 的高 53.77%、47.29%、56.56%、136.51%; 除膨大期 0~20 cm 土层的处理 FS-CK 土壤速效钾质量分数外, 同一施肥水平下, 同时期同层土壤中, FF、FS、FM 的土壤速效磷和速效钾质量分数依次减少; 同一栽培模式下, 同时期同层土壤中, 随施肥量的增加土壤速效磷和速效钾质量分数呈增大的趋势。

表 3 不同栽培方式与施肥处理当归种植土壤的速效磷质量分数及其方差分析

Table 3 Analysis of the available phosphorus mass fraction and variance of *Angelica sinensis* planting soil under different cultivation methods and fertilization treatments mg/kg

处理	旺盛期土壤的速效磷质量分数		膨大期土壤的速效磷质量分数	
	0~20 cm	>20~40 cm	0~20 cm	>20~40 cm
FM-CK	(32.49±25.76)b	(19.28±1.22)d	(40.52±1.26)d	(25.91±12.35)b
FM-L	(33.54±13.68)b	(24.99±6.91)cd	(54.36±1.98)c	(27.05±3.62)bb
FM-M	(38.89±7.44)ab	(28.95±3.18)cd	(60.50±0.87)b	(30.41±12.15)b
FM-H	(49.56±11.04)ab	(48.22±9.78)abc	(66.72±0.83)a	(40.91±3.66)b
FS-CK	(32.69±15.64)b	(24.58±10.15)cd	(41.50±1.01)d	(30.58±13.60)b
FS-L	(46.62±19.92)ab	(31.98±3.22)bcd	(54.64±0.93)c	(30.91±11.88)bb
FS-M	(55.27±10.39)ab	(37.34±6.35)abcd	(60.56±0.43)b	(39.94±13.98)b
FS-H	(64.81±3.82)ab	(52.28±6.09)ab	(66.78±0.55)a	(45.32±1.75)ab
FF-CK	(33.54±13.75)b	(24.65±7.94)cd	(42.13±0.82)d	(30.98±0.71)b
FF-L	(53.82±15.65)ab	(33.64±11.90)abcd	(55.23±0.64)c	(40.77±8.98)b
FF-M	(63.70±4.89)ab	(42.22±7.00)abcd	(61.26±0.50)b	(41.36±7.10)b
FF-H	(67.28±3.16)a	(56.05±13.33)a	(67.02±0.58)a	(61.88±3.87)a
栽培	*			*
施肥	*	**	**	*
栽培 × 施肥				

同列数据后不同字母示在 0.05 水平差异显著; “*”和“**”分别示在 0.05 和 0.01 水平差异显著。

表 4 不同栽培方式与施肥处理当归种植土壤的速效钾质量分数及其方差分析

Table 4 Analysis of available potassium mass fraction and variance of *Angelica sinensis* planting soil under different cultivation methods and fertilization treatments mg/kg

处理	旺盛期土壤的速效钾质量分数		膨大期土壤的速效钾质量分数	
	0~20 cm	>20~40 cm	0~20 cm	>20~40 cm
FM-CK	(162.50±25.70)c	(87.02±4.15)b	(165.62±34.07)bc	(91.58±5.51)c
FM-L	(190.22±33.08)abc	(95.15±18.07)b	(171.82±30.53)bc	(106.53±7.26)bc
FM-M	(215.28±19.37)abc	(95.72±18.47)b	(185.57±53.80)bc	(137.12±53.54)abc
FM-H	(234.70±56.64)ab	(102.42±13.73)ab	(204.72±23.19)abc	(141.58±29.69)abc
FS-CK	(170.52±8.38)bc	(93.48±9.44)b	(156.79±21.45)b	(102.97±53.54)bc
FS-L	(206.53±9.77)abc	(106.53±11.66)ab	(177.24±27.49)bc	(119.40±14.32)bc
FS-M	(234.87±19.13)abc	(113.92±18.41)ab	(186.55±19.90)bc	(150.37±8.72)abc
FS-H	(246.32±36.08)a	(118.47±4.61)ab	(251.92±3.59)a	(161.73±16.35)abc
FF-CK	(184.35±34.06)abc	(99.55±1.39)ab	(184.58±12.88)bc	(105.23±19.09)bc
FF-L	(208.38±21.00)abc	(111.75±2.12)ab	(220.13±25.20)bc	(150.30±8.72)bc
FF-M	(240.10±17.09)b	(116.40±19.25)ab	(224.26±6.79)ab	(160.07±15.59)abc
FF-H	(249.88±53.69)a	(128.17±17.99)a	(259.30±35.38)a	(216.60±60.39)a
栽培		*	*	*
施肥	*	*	**	**
栽培 × 施肥				

同列数据后不同字母示在 0.05 水平差异显著; “*”和“**”分别示在 0.05 和 0.01 水平差异显著。

双因素方差分析结果显示,栽培方式和施肥均显著影响旺盛期 0~20 cm 土层、膨大期>20~40 cm 土层土壤速效磷质量分数($P<0.05$);施肥极显著影响旺盛期>20~40 cm 土层、膨大期 0~20 cm 土层土壤的速效磷质量分数($P<0.01$);除旺盛期 0~20 cm 土层的处理外,栽培方式显著影响土壤速效钾质量分数($P<0.05$);施肥显著影响旺盛期 0~40 cm 土层土壤速效钾质量分数($P<0.05$),极显著影响膨大期 0~40 cm 土层土壤速效钾质量分数($P<0.01$);栽培方式和施肥对土壤的速效磷和速效钾质量分数无互作效应。可见,施肥能有效提高土壤速效磷和速效钾质量分数,以全膜双垄沟栽的效果尤佳。

3.3 栽培方式与施肥对当归产量的影响

由表 5 可知,各处理均有较强增产作用;以处理 FF-M 的产量最高,达 1456.09 kg/hm²,较最低的处理 FM-CK 的高 102.67%,差异有统计学意义($P<0.05$);同一施肥水平下,FF、FS、FM 的当归产量依次减少,且 FF 的 4 个处理的当归产量均显著高于另外 2 种栽培方式各处理的当归产量($P<0.05$);同一栽培模式下,均以施肥 750 kg/hm² 的处理的产量最高。双因素方差分析结果显示,栽培方式和施肥均极显著影响当归产量($P<0.01$),但二者无互作效应。

表 5 不同栽培方式与施肥处理当归产量及其方差分析

Table 5 Yield and variance analysis of *Angelica sinensis* under different cultivation methods and fertilization treatment

处理	产量/(kg·hm ⁻²)	处理	产量/(kg·hm ⁻²)
FM-CK	(718.44±76.83)d	FF-CK	(1261.79±32.91)b
FM-L	(788.69±59.92)d	FF-L	(1340.65±77.75)ab
FM-M	(998.53±39.85)c	FF-M	(1456.09±173.19)a
FM-H	(968.29±48.00)c	FF-H	(1273.90±152.39)ab
FS-CK	(813.31±109.72)d	栽培	**
FS-L	(979.37±77.20)c	施肥	**
FS-M	(1050.81±56.72)c	栽培 × 施肥	
FS-H	(992.75±113.96)c		

数据后不同字母示在 0.05 水平差异显著;“*”和“**”分别示在 0.05 和 0.01 水平差异显著。

4 结论与讨论

覆膜可调节作物生长在时间和空间上的含水量需求^[17]。全膜双垄沟播可增加玉米生育期积温,抑制土壤水分的垂直蒸发,减少无效蒸发,从而提

高降水的利用效率,提高产量^[18]。全膜双垄沟栽能使表层土壤含水量保持相对稳定,含水量的改善直接影响植物根系发育,同时植物的毛细管作用还增强了对土壤深层水分的利用^[19]。本研究中,当归 2 个时期 0~40 cm 土层土壤含水量最高的处理均为 FF 的,除旺盛期 0~20 cm 土层的处理 FF-CK 和 FF-L 外,同一施肥水平下,同时期同层土壤中 FF 的土壤含水量均最高;栽培方式极显著影响旺盛期 0~20 cm 土层土壤含水量($P<0.01$),显著影响膨大期 0~40 cm 土层土壤含水量($P<0.05$)。可见,全膜双垄沟栽能提高土壤含水量,这与敬克农等^[20]、郭满平等^[21]的研究结果一致。这主要是由于全膜双垄沟技术垄的分水作用、地膜的阻渗作用提高了土壤含水量,同时覆膜还有抑制水分蒸发、增温的作用。

根及根茎类药用植物需要土壤中的氮、磷、钾元素均衡、丰富,为入药部位提供全面养分,有利于入药部位的生长及有效成分的积累。合理的施用磷肥可提高植物抗性及对水分和养分的吸收能力,最终提高植物产量^[22]。本研究中,各栽培方式均以施肥 750 kg/hm² 的铵态氮质量分数最高,施肥 900 kg/hm² 的速效磷和速效钾质量分数最高;施肥极显著影响或显著影响当归 2 个时期 0~40 cm 土层土壤铵态氮、速效磷和速效钾质量分数。可见,施肥提高了土壤养分,为当归高产提供了条件。

舒英杰等^[23]研究显示,地膜覆盖可显著增加土壤氮、磷含量。全膜双垄沟栽技术能够提水、增温、改变土壤微环境,进而通过土壤含水量和地温影响着土壤养分^[24]。大量研究^[25-26]结果表明,全膜双垄沟栽下,合理的氮肥配施不仅能提高产量,还可减少因施氮过多而对环境造成的破坏。本研究中,同一施肥水平下,同时期同层土壤中,多数 FF 处理的土壤铵态氮质量分数高于另外 2 种栽培方式的;除膨大期 0~20 cm 土层的处理 FS-CK 土壤速效钾质量分数外,FF、FS、FM 的土壤速效磷和速效钾质量分数依次减少;栽培方式极显著影响旺盛期>20~40 cm 土层土壤铵态氮质量分数($P<0.01$),显著影响旺盛期 0~20 cm 土层土壤铵态氮、速效磷质量分数和膨大期>20~40 cm 层土壤速效磷质量分数及除旺盛期 0~20 cm 土层的处理外的土壤速效钾质量分数($P<0.05$)。可见,提高当归种植土壤养分含量,以全膜双垄沟栽的效果尤佳。

全膜覆盖和双垄沟栽提高了降雨的利用率,使土壤中含水量较稳定。各耕层地温较其他 3 个处理高,且保温效果好,使土温比较稳定,改善了耕层微生态环境,这些特点保证了当归植株和根系的正常生长发育^[27],这对提高当归产量具有重要作用,也是当归丰产的先决条件。本研究中,FF 处理的当归产量显著高于另外 2 种栽培方式各处理的当归产量($P<0.05$);同一栽培模式下,均以施肥 750 kg/hm²的当归产量最高。栽培方式与施肥均极显著影响当归产量($P<0.01$)。可见,全膜双垄沟栽+施肥 750 kg/hm²可有效提高当归产量。

本研究中,栽培方式和施肥对土壤的含水量和铵态氮、速效磷、速效钾质量分数及当归产量均无互作效应。这与张平良等^[28]的研究有所不同,可能是由于试验时间较短的缘故,还需要进一步的研究。

综上所述,当归全膜双垄沟栽+施肥 750 kg/hm²可在甘肃省当归道地产区推广。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
National Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia of the People's Republic of China[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2015.
- [2] 曹颜冬. 当归化学成分及药理作用的分析[J]. 世界最新医学信息文摘, 2019, 19(2): 93.
CAO Y D. Analysis of chemical composition and pharmacological action of *Angelica sinensis*[J]. World Latest Medicine Information, 2019, 19(2): 93.
- [3] 宋秋月, 付迎波, 刘江, 等. 当归的化学成分研究[J]. 中草药, 2011, 42(10): 1900–1904.
SONG Q Y, FU Y B, LIU J, et al. Chemical constituents from *Angelica sinensis*[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2011, 42(10): 1900–1904.
- [4] 牛莉, 于泓苓. 中药当归的化学成分分析与药理作用研究[J]. 中西医结合心血管病杂志, 2018, 6(21): 90.
NIU L, YU H L. Chemical constituents and pharmacological effects of *Angelica sinensis*[J]. Cardiovascular Disease Journal of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, 2018, 6(21): 90.
- [5] LOEHLE C. Forest ecotone response to climate change: sensitivity to temperature response functional forms[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2000, 30(10): 1632–1645.
- [6] 赵荣, 王富胜, 宋振华. 起垄覆膜方式对岷县当归生产发育及产量和品质的影响[J]. 甘肃农业科技, 2018(10): 16–20.
ZHAO R, WANG F S, SONG Z H. Effects of ridge-forming and film-covering modes on growth, yield and quality of *Angelica sinensis* in Minxian County[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2018(10): 16–20.
- [7] 刘峰林, 赵磊, 夏鹏飞, 等. 会川产区当归生产问题分析与对策研究[J]. 甘肃中医学院学报, 2012, 29(3): 67–69.
LIU F L, ZHAO L, XIA P F, et al. Analysis and counter-measure research on production problems of *Angelica sinensis* in Huichuan region[J]. Journal of Gansu College of Traditional Chinese Medicine, 2012, 29(3): 67–69.
- [8] 徐福祥, 刘效瑞. 不同栽培方式对当归生长发育的效应[J]. 陕西农业科学, 2008, 54(1): 28–30.
XU F X, LIU X R. Effects of different cultivation methods on the growth and development of *Angelica sinensis*[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Science, 2008, 54(1): 28–30.
- [9] 王引权, 杜弢, 晋玲, 等. 甘肃当归生产中存在的问题及对策[J]. 甘肃农业科技, 2008(11): 31–33.
WANG Y Q, DU T, JIN L, et al. Problems and counter-measures to the production of *Angelica sinensis* in Gansu[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2008(11): 31–33.
- [10] 蔺海明, 刘学周, 刘效瑞, 等. 栽培方式对当归干物质积累和生长动态影响的研究[J]. 中草药, 2007, 38(2): 257–261.
LIN H M, LIU X Z, LIU X R, et al. Effects of cultivation methods on dry matter accumulating and growth dynamics of *Angelica sinensis*[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2007, 38(2): 257–261.
- [11] 杨继祥, 田义新. 药用植物栽培学[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2004.
YANG J X, TIAN Y X. Medicinal Herbs Cultivation[M]. 2nd ed. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2004.
- [12] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科技出版社, 1979.
Editorial Board of Flora of China, Chinese Academy of Sciences. Flora of China[M]. Beijing: Science and Technology Press, 1979.
- [13] 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.
LIU G C, YANG Q F, DUAN R Q, et al. Main modes for Gansu developing techniques of whole plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows in dry land[J]. Research of Agricultural Modernization, 2008, 29(5): 629–632.
- [14] 戴飞, 赵武云, 张锋伟, 等. 西北旱区玉米全膜双垄沟机械化播种技术与装备研究进展[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(8): 217–222.
DAI F, ZHAO W Y, ZHANG F W, et al. Current status of mechanization planting technology and equipment for corn whole plastic-film mulching on double ridges in the arid of northwest China[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(8): 217–222.

- [15] 李利利. 全膜双垄沟播玉米秸秆膜下带状还田模式对土壤水分和玉米产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(12): 143-145.
LI L L. Effects of whole film double furrow sowing maize straw returning pattern on soil moisture and maize yield[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(12): 143-145.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
BAO S D. Soil and Agricultural Chemistry Analysis[M]. 3rd ed. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000.
- [17] 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.
WANG H L, ZHANG X C, SONG S Y. Effects of mulching methods on soil water dynamics and corn yield of rain-fed cropland in the semiarid area of China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2011, 35(8): 825-833.
- [18] 岳德成, 李青梅, 韩菊红, 等. 覆膜时期对3种地膜在全膜双垄沟播玉米田应用效果的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(2): 30-37.
YUE D C, LI Q M, HAN J H, et al. Application effect of three kinds of plastic film mulching in corn field of whole-mulching plastic films on double ridges [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(2): 30-37.
- [19] 孙玉莲, 边学军, 黄成秀, 等. 全膜双垄沟播对旱地玉米田土壤水分和温度的影响[J]. 中国农业气象, 2014, 35(5): 511-515.
SUN Y L, BIAN X J, HUANG C X, et al. Effects of full plastic-film mulching on double ridges with furrow on soil moisture and temperature in dry-farming maize area[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2014, 35(5): 511-515.
- [20] 敬克农, 郭满平. 全膜双垄沟播栽培对土壤含水量·温度及玉米产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(3): 169-171.
JING K N, GUO M P. Effects of full film mulching double ridge sowing cultivation on soil moisture, temperature and maize yield[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(3): 169-171.
- [21] 郭满平, 刘生瑞, 白宏鹏. 不同覆膜栽培对玉米土壤水分温度及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(2): 50-55.
GUO M P, LIU S R, BAI H P. Effects of different plastic mulching practices on soil moisture, soil temperature and yields of maize[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(2): 50-55.
- [22] 唐文雪, 马忠明, 王景才, 等. 施磷量对旱地全膜双垄沟播玉米产量土壤速效磷和磷肥利用率影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(5): 69-73.
TANG W X, MA Z M, WANG J C, et al. Effects of phosphorus rate on maize yield, soil available phosphorus and phosphorus use efficiency by double-bed and furrow-sowing with full plastic film mulching in semi-arid field[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(5): 69-73.
- [23] 舒英杰, 周玉丽, 张子学, 等. 麻地膜与肥料互作对辣椒生长、土壤养分及土壤酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(2): 175-180.
SHU Y J, ZHOU Y L, ZHANG Z X, et al. Effect of bast-fiber film mulching and fertilization interaction on soil nutrient, soil enzyme activity and pepper growth[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(2): 175-180.
- [24] 郑汐, 王齐, 孙吉雄. 中水灌溉对草坪绿地土壤理化性状及肥力的影响[J]. 草原与草坪, 2011, 31(2): 61-64.
ZHENG X, WANG Q, SUN J X. Effects of greenbelt irrigation with reclaimed water on soil physicochemical properties and fertility[J]. Grassland and Turf, 2011, 31(2): 61-64.
- [25] 张平良, 郭天文, 刘晓伟, 等. 密度和施氮量互作对全膜双垄沟播玉米产量、氮素和水分利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(4): 579-590.
ZHANG P L, GUO T W, LIU X W, et al. Effect of plant density and nitrogen application rate on yield, nitrogen and water use efficiencies of spring maize under whole plastic-film mulching and double-furrow sowing[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2019, 25(4): 579-590.
- [26] 张桂莲, 赵瑞, 刘逸童, 等. 施氮量对优质稻产量和稻米品质及氮素利用效率的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(3): 231-236.
ZHANG G L, ZHAO R, LIU Y T, et al. Effect of different amount of nitrogen on the yield and the quality of high quality rice and its nitrogen utilization efficiency[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2019, 45(3): 231-236.
- [27] 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.
ZHANG L, NIU J B, ZHAO F. Film mulch modes for increasing rainfall use efficiency of dry-land corn[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(2): 8-11.
- [28] 张平良, 郭天文, 曾骏, 等. 覆膜与钾肥互作对油菜产量和钾肥利用效率的影响[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(3): 435-444.
ZHANG P L, GUO T W, ZENG J, et al. Effect of plastic mulching and potassium rate on yield, potassium use efficiency of oil sunflower[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2019, 41(3): 435-444.

责任编辑: 邹慧玲

英文编辑: 柳正