

人工集雨条件下贺兰山蒙古扁桃 土壤水分和生长的动态变化

吕英泽¹, 赵宏亮¹, 颜培轩¹, 张海英², 李 佳¹,
李静尧³, 邵磊磊², 王 芳⁴, 倪细炉^{2,3*}

(1.宁夏大学 农学院, 银川 750021; 2.宁夏大学 生态环境学院西北土地退化与生态恢复国家
重点实验室培育基地, 银川 750021; 3.宁夏贺兰山森林生态系统国家定位观测研究站,
银川 750021; 4.宁夏大学 地理科学与规划学院, 银川 750021)

摘 要:【目的】提高贺兰山低山区有限降水利用效率。【方法】以贺兰山低山区蒙古扁桃种群为研究对象, 设置覆膜微地形(A2)、覆盖枯落物(A3)以及覆膜微地形+覆盖枯落物(A4)3种人工集雨处理, 以无人工处理为对照(A1), 研究不同人工集雨方式处理下贺兰山低山区蒙古扁桃根区土壤水分以及蒙古扁桃生长的动态变化。【结果】①不同集雨技术下蒙古扁桃土壤水分最高的是覆膜微地形+覆盖枯落物处理(A4), 其次是覆膜微地形处理(A2), A4、A2处理平均土壤含水率分别为11.91%和10.64%, 较A1处理平均土壤含水率分别增加3.77%和2.5%; ②集雨处理能够提高蒙古扁桃新梢生长量, A4处理的新梢生长量最大, A2处理次之, A3处理第三, 且较A1处理的新梢生长量均有较大提高; 集雨处理对蒙古扁桃叶片叶绿素量的提升表现为A4处理>A2处理>A3处理, 且均高于A1处理; ③集雨处理, 主要是A4处理和A2处理下植物叶面积、新梢生长量与土壤含水率显著相关; ④集雨技术通过调节土壤水分状况来促进蒙古扁桃灌丛的生长发育, 提高叶片中叶绿素量, 从而提高蒙古扁桃抵御干旱的能力。【结论】“覆膜微地形+覆盖枯落物”和“覆膜微地形”的集雨技术有助于贺兰山低山区蒙古扁桃灌丛植被恢复; 人工集雨处理能够改善土壤环境同时促进蒙古扁桃灌丛生长, 有利于贺兰山低山区生态系统的重建和植被恢复的可持续发展。

关 键 词: 贺兰山低山区; 蒙古扁桃; 集雨; 土壤水分

中图分类号: S152.7; S156.2

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022675

吕英泽, 赵宏亮, 颜培轩, 等. 人工集雨条件下贺兰山蒙古扁桃土壤水分和生长的动态变化[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(Supp.1): 47-52.

LYU Yingze, ZHAO Hongliang, YAN Peixuan, et al. Soil Moisture and Growth Dynamics of *Prunus Mongolica* in the Helan Mountain under Artificial Rain-collecting[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(Supp.1): 47-52.

0 引 言

【研究意义】我国干旱半干旱地区总面积约占全国土地面积的52.5%, 其中降水量200~250 mm以下的干旱区约占国土总面积的30.8%, 使得该区域植被生态系统生产力低下, 生态质量不高, 生态功能不够完善^[1]。人工集雨技术以降水资源可叠加、富集移动作为其理论的主要基础, 变被动接受天然降水为主动对降水实行调控, 以解决降水的供需错位和植物根系土壤水分不足的问题^[2]。【研究进展】目前, 集雨技术大多都是借助于坡面或人工制作的土壤微坑, 或铺设枯落物, 或覆膜等一系列生态措施, 达到天然降水

的高效利用。沟垄微集水系统能有效蓄集雨水, 减少地表径流和蒸发散失, 最大限度的利用天然降水, 以减少散失水分, 使更多的雨水可以被植物所利用, 起到改善土壤墒情和延长土壤水分有效期的作用, 对于缺乏灌溉的干旱和半干旱地区非常适用^[3]。朱国庆等^[4]在定西半干旱地区雨养农业区采用微集水种植技术进行的研究得出, 采用微集水种植技术可使春小麦产量较平作提高34.4%~58.8%。垄沟微集水种植技术可以有效利用膜垄的集雨效果和沟覆盖的蓄水保墒功能, 改变降水的时空分布, 显著地提高降水利用率, 改善种植沟内的水分状况^[5]。集雨技术的发展使得干旱、半干旱地区建立新的农业生态系统和改善生态环境条件成为可能, 通过有效的集水、用水、节水和蓄水保墒等措施, 增加土壤水分, 提高自然降水利用率, 可以缓解水资源供需矛盾。

贺兰山是我国西部重要的气候和植被分界线, 承担着维护华北、西北生态屏障的重要功能^[6]。然而干旱少雨等自然条件导致了贺兰山东麓植被大部分生

收稿日期: 2022-12-03 修回日期: 2023-12-09

基金项目: 宁夏重点研发项目(2020BFG03006); 宁夏自然科学基金项目(2020AAC03107); 国家自然科学基金项目(42067022, 41761066); 中央引导地方科技发展专项项目(2022FRD05001)

作者简介: 吕英泽(1997-), 男, 硕士研究生, 主要从事森林生态学研究。E-mail: bingz5789@stu.nxu.edu.cn

通信作者: 倪细炉(1982-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事森林生态学研究。E-mail: nixilu@nxu.edu.cn

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

长缓慢,形成斑块状分布的蒙古扁桃等灌丛群落,植物多样性低,极大地限制了森林生态服务功能的完全发挥、生态效益低。在干旱生态系统中,受水分和养分资源的限制,植物在空间上常呈斑块状分布或条块状稀疏分布,该区域年降水量仅 180 mm 左右,水分状况是影响该区域生态系统格局、结构、功能和过程的主要限制因子,决定了植被生长发育、净生产力发展的时空分布和动态变化^[7-9]。此外,降水是该地区植被用水和土壤水分补充的唯一来源,贺兰山低山区属于石质山区,地下水较少,埋藏较深的地下水一般不参与土壤水分的循环过程,因而,土壤-大气间的水分循环是该地区的主要水分循环方式。并且该地区的潜在蒸散发强烈,加之土层较薄,小降水事件对于土壤水分的补充有限,大多为无效降水,而强降水则会引发泥石流等自然灾害,因此,该地区需采取有效的集雨措施加大对降水资源利用,提高水分利用效率。

【切入点】目前的集雨技术多应用于干旱区农业生产,而对山地灌木植被恢复的集雨技术的应用较少。【拟解决的关键问题】为此,本研究拟开展对贺兰山国家级自然保护区蒙古扁桃灌丛人工集雨技术的研究,揭示不同集雨技术对蒙古扁桃根区土壤水分和生长的影响,探讨蒙古扁桃灌丛的最优集雨方式和保水效果,为发展贺兰山低山区可自我维持植被恢复模式提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2021 年 4—9 月在贺兰山苏峪口响水沟(38°45'17" N, 105°56'34" E)进行,试验区位于宁夏银川市贺兰县贺兰山苏峪口响水沟低山区(海拔 1 400~1 700 m),该地区属于典型的温带大陆性气候,夏季高温,冬季寒冷干燥,低山区年降水量不足 180 mm,生长季 4—8 月降水量在 60~100 mm,降水变化大,主要以小降水事件为主,年均蒸发量 2 500 mm^[10]。响水沟两侧分布有斑块状的蒙古扁桃灌丛,是贺兰山地区蒙古扁桃分布和生长较多的区域,该区域植被结构简单,灌木以蒙古扁桃(*Prunus mongolica*)、狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla*)和黑桦树(*Rhamnus maximovicziana*)为主。蒙古扁桃灌丛约占该研究区域灌木植被盖度的 70%,是该地区典型天然稀疏植被的优势群落。

图 1 为试验期间降水特征。由图 1 可知,试验期间(2021 年 4—9 月)共有 17 次降水事件,总降水量为 77.6 mm,其中最小降水量为 0.4 mm,最大降水量为 22.2 mm。

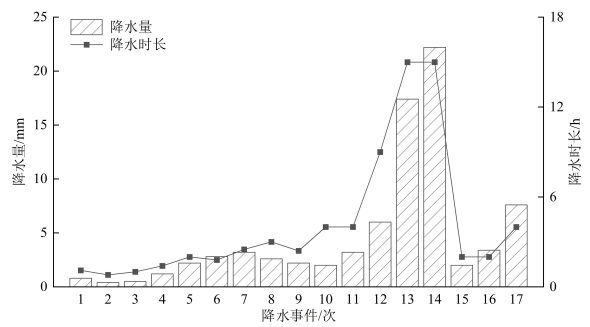


图 1 试验期间的降水特征

Fig.1 Rainfall characteristics during the test period

1.2 试验设计

选择贺兰山苏峪口蒙古扁桃群落为试验对象,根据所处位置坡度等条件,共设置 36 个样方,样方大小为 5×5 m²。在每个样方选取 1 株植物。试验设计 4 个不同集雨方式,每个处理 3 次重复,设计的 4 种不同集雨方式分别为对照(A1)、覆膜微地形(A2)、覆盖枯落物(A3)和覆膜微地形+覆盖枯落物(A4)(表 2)。A1 是在蒙古扁桃自然生长条件下不做任何处理。A2 处理是使用铁锹在蒙古扁桃植株根部附近沿坡面上方挖出集雨的凹面,靠近树根处最深的深度约为 15 cm,长约 100 cm,宽度约 60 cm 的微坑,然后在微坑上面覆盖 2 m×1 m 的塑料地膜,地膜紧贴于微坑外沿,上部紧贴地面,左右两边微微抬起,在树根处的塑料膜上开几个小洞,使水分可以正常流向根部土壤。A3 处理则是在蒙古扁桃根区土壤表面添加 5 cm 厚的枯落物(枯落物覆盖为就地取材),将枯落物均匀的撒在蒙古扁桃根区半径 50 cm 范围内,而 A4 处理则是在 A2 处理的基础上添加 5 cm 厚的枯落物置于塑料膜下方。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤水分、体积质量的测定

2021 年 6—10 月选用烘干法测定土壤水分。每个小区 3 个重复,取土深度分别为 0~10、10~20、20~30 cm。土壤体积质量用环刀法测定,使用 100 cm³的环刀取土,称鲜质量,然后做吸水处理后,再烘干至恒质量,计算土壤体积质量。

1.3.2 新梢生长量的测定

试验开始后每个月测定 1 次新梢生长量。在每株蒙古扁桃的 4 个方向(东西南北)和每个方向冠层的上中下部分各选取 1 枝新梢,挂好标签,每株蒙古扁桃共选 12 个新梢,每次测量这些被标记新梢的生长长度,直至试验结束。

1.3.3 叶面积测定

2021 年 7 月,将每株蒙古扁桃分 4 个方位。每个方位分上中下 3 层,设置 12 个取样部位,每个部位取 20 个叶片,每株蒙古扁桃共取 240 株叶片。在

实验室中，用四分法混匀后，随机选取其中一份 20 个叶片，用叶面积仪（浙江托普云农科技股份有限公司，智能叶面积测量系统，YMJ-CH）计算蒙古扁桃的叶面积、叶片宽、叶片长和叶片长/宽等指标。

1.3.4 叶绿素的测定

2021 年 7 月，选取叶片的方式与测定叶面积相同。使用乙醇萃取法计算叶绿素量^[11]。

1.4 数据处理

使用 Excel 进行数据处理，使用 SPSS 25 进行单因素方差分析并在 5% 水平下进行差异显著性分析，所有绘图在 Origin 2019 软件中进行。

2 结果与分析

2.1 土壤体积质量的变化

图 2 为一次降水事件发生后各处理根区土壤体积质量，不同小写字母表示各处理在 $P<0.05$ 水平差异性显著，下同。由图 2 可知，A2 处理土壤体积质量最大为 1.43 g/cm^3 ，A3 处理最低为 1.19 g/cm^3 ，各处理之间均差异显著（ $P<0.05$ ）。

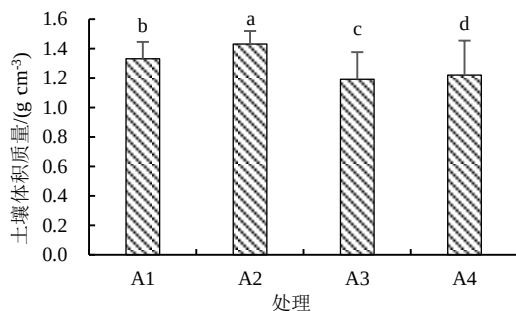


图 2 土壤体积质量

Fig.2 Soil capacity

2.2 土壤持水特性及土壤物理性状

由表 1 可知，从整体来看，A2、A4 处理的土壤含水率最高，其次是 A3、A1 处理。A4 处理土壤含水率最大为 11.91%，A1 处理土壤含水率最低仅为 6.84%，明显低于其他处理方式的土壤含水率。不同处理植株根部土壤毛管孔隙度和总孔隙度各不相同，但总体上，集雨措施能够提高土壤毛管孔隙度和非孔隙度，土壤非毛管孔隙度越大，说明土壤通透性越好，越能够有效吸收地表径流，土壤毛管孔隙度越大，此时土壤中植被的有效水量也越多。

表 1 不同集雨处理土壤含水率及土壤物理性状

Table 1 Soil water content and soil physical properties of different rainwater harvesting treatments

处理	土壤含水率/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	总孔隙度/%
A1	10.29±2.41	31.50±5.61	3.06±0.96	34.56±6.54
A2	11.38±1.75	37.34±4.88	2.84±0.99	40.18±5.87
A3	10.83±2.15	40.65±8.14	3.63±0.94	44.28±9.08
A4	13.79±2.63	36.11±5.84	3.94±0.97	40.05±6.81

注 表中数据为平均值±标准差。下同。

蒙古扁桃各处理土壤贮水量见图 3。由图 3 可知，仅 A1 处理与其他处理之间存在显著性差异（ $P<0.05$ ）；结合表 3 可知，集雨措施均能提高土壤贮水能力，A4 处理对土壤贮水能力的提升最大。

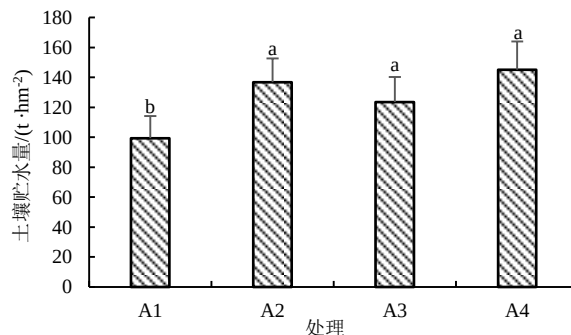


图 3 土壤贮水能力

Fig.3 Soil water holding capacity

2.3 蒙古扁桃根区不同土层土壤含水率变化

由图 4 可知，不同集雨方式对不同土层深度土壤含水率的影响较大。A4 处理蒙古扁桃土壤含水率最高，其次是 A2、A3 处理，A1 处理土壤含水率最低。9 月 7 日之后，随着温度逐渐下降，A2、A3、A4 处理土壤含水率平均值基本维持在 13% 左右，而 A1 处理则是维持在 5% 左右。结合表 2 与图 3 可以看出，A4 处理对蒙古扁桃灌丛根区土壤含水率的提升效果最明显，A2 处理次之。表 2 为各处理蒙古扁桃根区不同土层深度土壤含水率。由表 2 可知，A4 处理和 A2 处理各土层土壤含水率最大，平均值分别为 8.27%、8.06%。0~10 cm 土层，A2、A4 处理土壤含水率最高，其次是 A3 处理，而 A1 处理土壤含水率最低；10~20、20~30 cm 土层，A4 处理土壤含水率最高，其次是 A2 处理，A1 处理土壤含水率最低。故集雨措施有助于提高蒙古扁桃根区土壤水分。

表 2 蒙古扁桃不同土层深度土壤含水率

Table 2 Soil water content at different soil depths of

prunus mongolica

土层深度	处理	土壤含水率/%
0~10 cm	A1	4.21±0.39c
	A2	9.37±0.37a
	A3	6.10±0.48b
	A4	9.15±0.51a
10~20 cm	A1	4.19±0.21c
	A2	8.80±0.49a
	A3	5.98±0.34b
	A4	8.89±0.69a
20~30 cm	A1	3.83±0.14c
	A2	7.98±0.74a
	A3	5.44±0.38b
	A4	8.05±0.44a

注 表中数据为平均值±标准差。不同小写字母表示组内各处理在 $P<0.05$ 水平差异显著，下同。

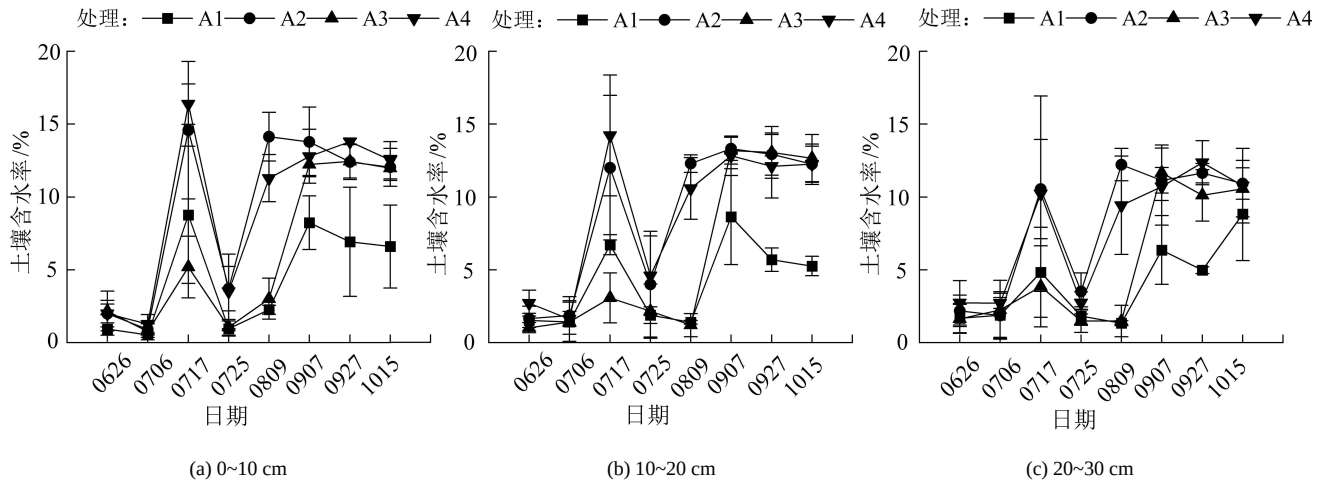


图4 蒙古扁桃不同土层深度土壤含水率

Fig.4 Soil water content at different soil depths of *prunus mongolica*

2.4 不同集雨方式对蒙古扁桃叶片及新梢生长量的影响

由表3可知,不同处理下蒙古扁桃新梢生长变化不同。A2处理蒙古扁桃生长量最大,其次是A4、A3处理,A1处理蒙古扁桃生长量最小。

A1、A3处理叶面积差异显著($P<0.05$),其他各处理之间差异不显著。各处理之间叶长度无显著差异。A3处理叶宽度与其他处理之间均存在显著差异($P<0.05$),但其他处理之间无显著差异。

2.5 不同集雨方式对蒙古扁桃叶片叶绿素量影响

A1、A2处理叶绿素a量差异显著($P<0.05$),其他处理间无显著性差异。A2处理蒙古扁桃叶片叶绿素a量最高,A4处理次之,A3处理最低。蒙古扁桃各处理间叶绿素b和类胡萝卜素不存在显著差异。A1处理下叶绿素b量要低于其他处理,而类胡萝卜素量要高于其他处理。A2处理叶绿素最低,A2处理与A1、A3、A4处理之间存在显著差异($P<0.05$)。不同集雨方式叶片叶绿素量表现为A4处理>A2处理>A1处理>A3处理。

表3 不同处理下蒙古扁桃叶片及新梢生长指标

Table 3 Indicators of leaf and new shoot growth of *prunus mongolica* under different treatments

处理	叶面积/mm ²	叶长度/mm	叶宽度/mm	叶长/叶宽	生长量/cm
A1	54.35±9.32b	10.59±1.32a	6.81±0.56b	1.55±0.07a	3.01±0.87b
A2	70.56±6.15ab	12.53±0.96a	7.71±0.24b	1.60±0.10a	2.98±1.43a
A3	88.85±4.31a	13.24±2.01a	9.23±0.51a	1.43±0.20a	3.10±1.47a
A4	65.93±14.93ab	11.69±1.73a	7.30±0.66b	1.60±0.12a	3.59±2.51a

表4 不同处理蒙古扁桃叶绿素量

Table 4 Chlorophyll content of *prunus mongolica* in different treatments

处理	叶绿素 a/(mg g ⁻¹)	叶绿素 b/(mg g ⁻¹)	类胡萝卜素/(mg g ⁻¹)	叶绿素/(mg g ⁻¹)
A1	1.12±0.09a	0.61±0.08a	0.19±0.04a	1.74±0.11ab
A2	0.66±0.28b	0.50±0.13a	0.12±0.05a	1.16±0.38b
A3	0.87±0.25ab	1.01±0.30a	0.05±0.01a	1.87±0.33a
A4	0.82±0.17ab	0.77±0.42a	0.14±0.12a	1.59±0.33ab

2.6 植物生长指标与土壤含水率的相关性

对各处理蒙古扁桃叶绿素量、叶面积、新梢生长量与土壤含水率进行 Pearson 相关性分析,结果见表5。A2处理蒙古扁桃新梢生长量和土壤含水率显著相关($P<0.05$),A4处理叶面积和新梢生长量与土壤含水率显著相关($P<0.05$),其余处理生长指标与土壤含水率之间没有显著相关性。

表5 土壤含水率与生长指标的相关性

Table 5 Correlation between soil water content and growth indicators

处理	叶绿素/(mg g ⁻¹)	叶面积/mm ²	新梢生长量/cm
A1	0.494	0.598	0.672
A2	0.734	0.795	0.798*
A3	0.709	0.607	0.694
A4	0.603	0.792*	0.781*

3 讨论

3.1 不同集雨方式对蒙古扁桃根区土壤水分的影响

李小雁等^[12]研究发现,垄膜上的集水效率可以达到87%,而土垄的平均集水效率只有7%,垄膜能产生径流的最小降水量为0.8 mm,产流后的集水效率为98%。集雨方式对土壤水分因降水的条件而存在差异,Lu等^[13]研究发现,不同覆盖措施对玉米土壤水分的调节存在显著性差异;李儒等^[14]研究表明,沟垄

覆盖栽培模式可有效改善农田水分状况。这与本试验的研究结果一致, 本研究表明, A4 处理土壤含水率最大, 为 11.91%, 且明显高于 A1 处理; 3 种集雨处理下 0~30 cm 土层土壤含水率普遍高于 A1 处理; A4、A2 处理 0~30 cm 土层土壤含水率高于 A3 处理, 这是因为覆盖塑料膜改变了土壤水分运移方式, 阻断水分的垂直蒸发和乱流, 使膜下水分横向迁移, 从而达到蓄水保墒的目的^[15]。覆盖枯落物可以改善土壤孔隙结构, 增加地表粗糙度和降水入渗, 使蓄积土壤水分和抑制棵间蒸发的能力增强^[16], 并降低土壤体积质量, 这与本研究结果一致, 覆盖枯落物 (A3) 处理土壤体积质量最低, 但是 A2 处理下土壤体积质量反而增加。

分析不同时间段集雨方式对土壤水分的影响发现, 5—9 月不同集雨方式之间土壤水分的差异及变化较大; 而 9 月末, 不同集雨方式之间的土壤水分差异减小, 原因可能是生长后期, 植物对水分的利用较小; 并且随着温度降低, 通过蒸发散失的土壤水分下降; 还有可能是试验期间夏季降水量较小, 秋季降水较多, 使得土壤水分达到饱和, 导致后期土壤水分变化较小。总之, 垄沟覆膜的集雨模式减少了土壤水分蒸发, 地面水土流失程度减弱, 改善了干旱地区降水量不足和降水分配不均的问题。覆膜微地形+覆盖枯落物处理降低了土壤体积质量, 且提高土壤水分效果最佳。

3.2 不同集雨方式对蒙古扁桃生长的影响

集雨工程是解决干旱半干旱区缺水问题的有效途径。徐缓^[17]研究报道, 土壤水分对玉米产量的影响始终表现为直接贡献作用。侯贤清等^[18]研究表明, 土壤水分对小麦产量的影响程度大于土壤养分。不同集雨及覆盖模式可改善土壤水热条件, 土壤水分状况的改善和水温环境的稳定有利于促进植物生长, 促进地上部生物量的增加。陈杨等^[19]研究表明, 沟垄覆膜种植可显著提高马铃薯产量。吴春花等^[20]研究表明, 沟垄全覆盖种植可提高马铃薯产量, 尤其以沟垄覆地膜和沟垄覆地膜覆秸秆处理效果最显著。崔红红等^[21]研究表明, 起垄覆膜沟内种植方式下冬小麦株高、叶绿素、叶面积、干物质累积量较传统平作高。本研究中根据坡形设计的微地形处理 (微坑) 也在一定程度上起到了与起垄相同的作用。本研究表明, 集雨措施能够提高蒙古扁桃新梢生长量, 集雨处理对新梢生长量的影响表现为: A4 处理>A2 处理>A3 处理>A1 处理, 覆膜微地形+覆盖枯落物处理下的生长量最大。叶面积和叶绿素与植物抗旱性密切相关^[22], 本研究中, 集雨措施能够提高叶绿素量, A4 处理下叶片总叶绿素量最高, A2 处理次之。A4、A2 处理下的新梢生长量与叶面积与土壤含水率显著相关。集雨处理主要通

过改善土壤水分状况促进了蒙古扁桃生长发育和提高蒙古扁桃叶片叶绿素量增强蒙古扁桃抵御干旱的能力, 集雨处理下的蒙古扁桃的叶绿素量、新梢生长量和水分利用效率都高于 A1 处理。

4 结 论

1) 不同集雨技术对蒙古扁桃土壤水分影响最大的是覆膜微地形+覆盖枯落物处理, 其次是覆膜微地形处理。

2) 集雨处理能够提高蒙古扁桃新梢生长量。集雨处理对蒙古扁桃叶片中叶绿素量影响表现为 A4 处理>A2 处理>A3 处理。

3) A2、A4 处理植物叶面积和新梢生长量与土壤含水率显著相关。

4) 集雨技术通过调节土壤水分状况来促进蒙古扁桃灌丛的生长发育, 提高叶片叶绿素量, 从而提高蒙古扁桃抵御干旱的能力。A4、A2 处理的集雨技术有助于贺兰山低山区蒙古扁桃灌丛植被恢复。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

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: 科学出版社, 1993.
- [2] 刘艳红. 渭北旱塬微集水种植模式对土壤水分、养分及冬小麦产量的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [3] 李军, 王龙昌, 孙小文, 等. 宁南半干旱偏旱区旱作农田沟垄径流集水蓄墒效果与增产效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1): 16-20, 84.
- [4] 朱国庆, 史学贵, 李巧珍. 定西半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究[J]. 中国农业气象, 2001, 22(3): 6-9.
- [5] 胡芬, 陈尚模. 寿阳试验区玉米地农田水分平衡及其覆盖调控试验[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 146-148.
- [6] 狄维忠, 田连恕, 李智军. 贺兰山种子植物区系的特征[J]. 西北植物学报, 1988, 8(4): 242-254.
- [7] D'ODORICO P, LAIO F, RIDOLFI L. Patterns as indicators of productivity enhancement by facilitation and competition in dryland vegetation[J]. Journal of Geophysical Research, 2006, 111(G3): G03 010.
- [8] FATHIZADEH O, HOSSEINI S M, ZIMMERMANN A, et al. Estimating linkages between forest structural variables and rainfall interception parameters in semi-arid deciduous oak forest stands[J]. The Science of the Total Environment, 2017, 601-602: 1 824-1 837.
- [9] LLORENS P, DOMINGO F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe[J]. Journal of Hydrology, 2007, 335(1): 37-54.
- [10] 陈发虎, 吴绍洪. 为什么说贺兰山是我国重要地理分界线[N]. 学习时报, 2020-09-14.
- [11] 吕梦雨, 魏晓楠, 王秋悦, 等. 植物叶绿素含量不同提取方法的比较研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(27): 177-180.
- [12] 李小雁, 张瑞玲. 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): 45-48, 52.
- [13] LU X J, LI Z Z, BU Q G, et al. Effects of rainfall harvesting and mulching on corn yield and water use in the corn belt of Northeast China[J]. Agronomy Journal, 2014, 106(6): 2 175-2 184.
- [14] 李儒, 崔荣美, 贾志宽, 等. 不同沟垄覆盖方式对冬小麦土壤水分及

- 水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(16): 3 312-3 322.
- [15] ZHOU L M, LI F M, JIN S L, et al. How two ridges and the furrow mulched with plastic film affect soil water, soil temperature and yield of maize on the semiarid Loess Plateau of China[J]. Field Crops Research, 2009, 113(1): 41-47.
- [16] 王秋菊, 张敬涛, 盖志佳, 等. 长期免耕秸秆覆盖对寒地草甸土壤物理性质的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(9): 2 943-2 948.
- [17] 徐缓. 褐土容重、紧实度、水分动态变化及对玉米生长的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
- [18] 侯贤清, 李荣, 贾志宽, 等. 西北旱作农田不同耕作模式对土壤性状及小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(5): 1 146-1 157.
- [19] 陈杨, 樊明寿, 高媛. 微垄覆膜沟播对阴山丘陵地区旱作马铃薯土壤水分及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013(5): 71-74.
- [20] 吴春花, 普雪可, 周永瑾, 等. 宁南旱区沟垄集雨结合覆盖对土壤水热肥与马铃薯产量的影响[J]. 作物学报, 2021, 47(11): 2 208-2 219.
- [21] 崔红红, 李援农. 起垄覆膜沟播与水氮耦合对拔节抽穗期冬小麦生长的影响[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(3): 101-103, 114.
- [22] 王晓凌, 陈明灿, 易现峰, 等. 垄沟覆膜集雨系统垄宽和密度效应对玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 40-47.

Soil Moisture and Growth Dynamics of *Prunus Mongolica* in the Helan Mountain under Artificial Rain-collecting

LYU Yingze¹, ZHAO Hongliang¹, YAN Peixuan¹, ZHANG Haiying²,
LI Jia¹, LI Jingyao³, SHAO Leilei², WANG Fang⁴, NI Xilu^{2,3*}

(1. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration in Northwest China, School of Ecology and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3. Ningxia Helan Mountain Forest Ecosystem Research Station, State Forestry Administration, Yinchuan 750021, China; 4. School of Geographical Science and Planning, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: 【Objective】To improve the utilization efficiency of limited precipitation in the low elevation area of Helan Mountain. 【Method】Taking the population of *prunus mongolica* in low elevation area of Helan Mountain as the research object, we set up three artificial rain-collecting treatments, namely, film mulching-microtopography (A2), litter mulching (A3), and film mulching-microtopography+mulching litter(A4), and none artificial treatment as the control (A1), and investigated the dynamics of the soil moisture in the rooting area of *prunus mongolica* and the growth of *prunus mongolica* in the low mountainous area of Helan Mountain with different artificial rain-collecting treatments. 【Result】① The highest soil moisture in Mongolian lentil under different rain-collecting treatments was A4 treatment, followed by A2 treatment, with an average soil moisture of 11.91% and 10.64%, respectively, which was an increase of 3.77% and 2.5%, respectively, compared to the average soil moisture of the A1 treatment; ② Rain-collecting treatment could improve the growth of shoots of *prunus mongolica*, and the growth of shoots in A4 treatment was the largest, and followed by A2, A3 treatment, and the growth of new shoots of *prunus mongolica* was greatly improved compared with that of A1 treatment; the enhancement of chlorophyll amount of *prunus mongolica* leaves by rain-collecting treatment was shown in the following way: A4 treatment > A2 treatment > A3 treatment, and all of them were higher than that of A1 treatment; ③ Plant leaf area and new growth were significantly corrected with soil moisture under rain-collecting treatments, mainly the A4 and A2 treatment; ④ Rain-collecting technology promotes the growth and development of *prunus mongolica* thickets by regulating soil moisture and increasing the amount of chlorophyll in the leaves, thereby increasing the ability of *prunus mongolica* to withstand drought. 【Conclusion】The rain-collecting treatment of A4 and A2 can help to restore the vegetation of *prunus mongolica* in low elevation area of Helan Mountain; artificial rain-collecting treatments can improve the soil environment and promote the growth of *prunus mongolica* at the same time, which is conducive to the reconstruction of the ecosystems of low elevation area of Helan Mountain and the sustainable development of the recovery of the vegetation.

Key words: low elevation area of Helan mountain; *prunus mongolica*; rain-collecting; water content

责任编辑: 白芳芳