

沈婧丽, 杨建国. 滴灌条件下不同改良模式对碱化土壤性质和枸杞产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(2): 343-349.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2020.02.013

滴灌条件下不同改良模式对碱化土壤性质和枸杞产量的影响

沈婧丽^{1,2}, 杨建国²

(1. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 宁夏 银川 750000; 2. 宁夏农林科学院固原分院, 宁夏 固原 756000)

摘要: 为了确定宁夏河套平原碱化土壤枸杞种植最佳综合技术集成模式, 采用田间试验的方法, 研究了滴灌+平种、滴灌+开沟+客土回填+限根、滴灌+开沟+原土回填、滴灌+开沟+原土回填+限根 4 种改良模式对碱化土壤的改良效果和枸杞的增产效果。结果表明, 不同改良模式均能提高碱化土壤渗透能力, 降低土壤 pH、全盐含量和碱化度, 提高枸杞的成活率和产量。滴灌+开沟+客土回填+限根模式的砂粒含量最高, 该模式能快速改善土壤渗透性能, 有效淋洗盐分, 使土壤 pH、全盐含量、碱化度分别下降到 8.93、1.330 g/kg、26.37%, 是最有效的碱化土壤改良模式。滴灌+开沟+原土回填+限根模式能使土壤 pH、全盐含量、碱化度分别下降到 8.97、2.138 g/kg、31.26%, 是最经济的碱化土壤改良模式。滴灌+开沟+原土回填+限根模式能提高枸杞的株高、地径和冠幅, 增产效果最佳, 鲜果产量达 5 024.25 kg/hm², 较对照增产 52.10%, 实现了经济效益和生态效益双赢。

关键词: 滴灌; 碱化土壤; 改良模式; 枸杞; 产量; 水盐调控

中图分类号: S275.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2020)02-0343-07

Effects of different improvement modes on the properties of alkalized soil and the yield of Chinese wolfberry under drip irrigation

SHEN Jing-li^{1,2}, YANG Jian-guo²

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan 750000, China; 2. Guyuan Branch, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Guyuan 756000, China)

Abstract: In order to determine the best comprehensive technology integration model of Chinese wolfberry planting in alkalized soil in the Hetao Plain of Ningxia, the field experiment was carried out to investigate the effect of soil improvement and yield increase under four improvement modes (drip irrigation + conventional flat planting, drip irrigation + dig trenches + external soil backfill + root restriction, drip irrigation + dig trenches + original soil backfill, drip irrigation + dig trenches + original soil backfill + root restriction). The results showed that different improvement modes could improve the permeability of alkalized soil, reduce soil pH, total salt content and alkalinity, increase the survival rate and yield of Chinese wolfberry. Drip irrigation + dig trenches + external soil backfill + root restriction was the most effective improvement model of alkalized soil, which could quickly improve soil permeability, effectively leach salt, so that soil pH, total salt content and alkalinity decreased to 8.93, 1.330 g/kg, 26.37%, respectively. Drip irrigation + dig trenches + original soil backfill +

root restriction could reduce soil pH, total salt content and alkalinity to 8.97, 2.138 g/kg, 31.26%, respectively, which was the most economical improvement model of alkalized soil. Drip irrigation + dig trenches + original soil backfill + root restriction could increase plant height, ground diameter and crown diameter of Chinese wolfberry, and the yield increase effect was the best. Under this

收稿日期: 2019-10-19

基金项目: 国家重点研发计划项目子课题 (2016YFC0501307-02)

作者简介: 沈婧丽 (1990-), 女, 宁夏银川人, 硕士, 主要从事农业土壤水资源高效利用等相关领域研究。(E-mail) lily_s90@163.com

通讯作者: 杨建国, (E-mail) yjgnx@163.com

mode, the fresh fruit yield reached 5 024.25 kg/hm², which was 52.10% higher than that of the control, realizing the win-win of economic and ecological benefits.

Key words: drip irrigation; alkalized soil; improvement mode; Chinese wolfberry; yield; water and salt regulation

盐碱土是中国重要的土地资源,主要分布在华北平原、东北平原、西北内陆地区及滨海地区^[1]。随着人口增长与耕地减少,资源短缺与生态恶化的矛盾越来越突出,改造治理及合理开发利用盐碱地资源,是中国农业可持续发展的重要途径之一。宁夏银北地区分布着龟裂碱土(俗称白僵土),虽经多年改良利用,但改良难度大,周期长,收益低,且改良后极易返盐,仍然为中低产田或撂荒地。近年来,脱硫石膏作为盐碱地改良剂,已在枸杞(*Lycium barbarum* L.)、紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)、水稻(*Oryza sativa* L.)、油葵(*Helianthus annuus* L.)中得到广泛应用^[2-5]。其改良原理是利用脱硫石膏溶解产生 Ca²⁺对土壤胶体上的交换性 Na⁺进行置换,然后通过灌溉淋洗将 Na⁺排出土体^[6]。在长期的生产实践中,研究者们提出了工程措施、农艺措施、生物措施和化学措施等盐碱地改良技术,例如:深松破土^[7]、平整土地^[8]、深翻晒土^[9]能够改善土壤结构,增加耕层厚度;客土回填^[10]使土壤孔隙度增加,加速盐分淋洗;施有机肥^[11-12]、秸秆还田^[13]有利于提高土壤肥力;开沟^[14]、覆膜^[15]可以减轻土壤盐分对作物生长的胁迫,延缓或防止积盐返盐;滴灌^[16-18]提高水肥利用效率,精准调控作物根区水盐分布,并总结出了“生产和生态相结合、工程和农艺相结合、用地和养地相结合”的盐碱地滴灌治理新模式。枸杞具有较强的耐盐碱和耐旱性,适宜在盐碱、干旱和沙荒地种植,经济效益和生态效益俱佳,是宁夏的传统优势特色产业,也是自治区政府确定的四大战略性支柱产业之一,但土壤碱化障碍和灌溉用水匮乏问题严重制约了枸杞产业的快速发展。张玉龙等^[19]发现枸杞单作或间作模式均能有效增加土壤含水率,降低土壤盐分,达到改良盐碱地的效果。吴全等^[20]

研究了不同灌溉模式对土壤及地下水矿化度和埋深的影响,发现土壤盐分发生表聚现象,在 40 cm 深处降到最低,提出了适合当地枸杞生产的最优灌溉模式。脱硫石膏与结构改良剂配合施用效果优于单施脱硫石膏,能提高土壤有机碳、全氮、总孔隙度和大粒级团聚体含量,降低土壤 pH、全盐含量和容质量,从而促进枸杞生长发育,提高枸杞产量^[21]。万书勤等^[22]提出的“咸水滴灌+高垄+覆膜”模式,陈建等^[23]提出的“灌溉+有机肥+黄沙+脱硫石膏”模式改良盐碱地取得了一定成果,但在滴灌土壤水盐调控的基础上,综合技术集成模式对碱化土壤改良效果和枸杞增产效果的研究鲜有报道。为此,针对宁夏独特的土壤、气候、水质条件,将现有的单项技术优化组装配套,通过相互配合、优势互补、综合治理,探索出适合宁夏河套平原碱化土壤种植枸杞最佳综合技术集成模式,为盐碱地节水生态治理与枸杞生态产业技术体系建立提供必要的试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在宁夏石嘴山市平罗县西大滩镇前进农场撂荒地(38°50'N, 106°23'E)进行。该地雨季主要集中在6-9月,年平均气温为9.5℃,年平均降水量为174.7 mm,年平均蒸发量为2 041.7 mm,属龟裂碱土重度盐碱荒地,具有特殊的外部景观和剖面形态,表层有龟裂纹的结壳,几乎不能生长植物,结壳下为短柱状结构的碱化层,湿时膨胀黏重,干时坚硬板结,有机质含量低,通气透水性极差,表层下约70 cm处为砂土层,试验地土壤理化性状详见表1。地下水水位为2.39 m, pH为8.25,矿化度为0.597 g/L。

表1 试验地土壤理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of soil in the site

土层深度 (cm)	pH	全盐 (g/kg)	碱化度 (%)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	速效氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
0~20.0	9.75	5.245	41.20	2.92	0.240	0.40	20.2	15	4.41	210
20.1~40.0	10.43	2.813	49.15	3.46	0.290	0.46	23.1	7	3.06	255
40.1~60.0	10.29	1.900	44.25	3.46	0.310	0.54	22.1	6	1.77	230

1.2 试验材料

供试枸杞品种为宁杞7号。脱硫石膏来自宁夏马莲台发电厂,主要成分为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, pH 为 7.95,容质量为 1.03 g/cm^3 ,结晶水含量为 11.10%。有机肥采用牛粪。客土(黄沙土) pH 为 9.69,全盐为 0.330 g/kg ,碱化度为 0.71%。机井井水 pH 为 8.02,矿化度为 0.438 g/L 。

1.3 试验设计

试验于 2017 年进行,采用随机区组设计,设 4 个处理,3 次重复。对照(CK):在滴灌条件下采用平种的方式种植枸杞,简称滴灌+平种;处理 1(T1):在滴灌条件下先挖种植沟(宽度 40 cm,深度 80 cm),沟内覆盖地膜,膜上每隔 50 cm 打孔,依次铺玉米秸秆、牛粪,用沙土填满种植沟并压实,然后种植枸杞,简称滴灌+开沟+客土回填+限根;处理 2(T2):在滴灌条件下先挖种植沟(宽度 40 cm,深度 80 cm),依次铺玉米秸秆、牛粪,用经过深翻晒土后的原土继续回填种植沟并压实,然后种植枸杞,简称滴灌+开沟+原土回填;处理 3(T3):在滴灌条件下先挖种植沟(宽度 40 cm,深度 80 cm),沟内覆盖地膜,膜上每隔 50 cm 打孔,依次铺玉米秸秆、牛粪,用经过深翻晒土后的原土继续回填种植沟并压实,然后种植枸杞,简称滴灌+开沟+原土回填+限根。

试验前先将脱硫石膏均匀撒施在土壤表面,施用量为 $28\,000 \text{ kg/hm}^2$,进行翻耕、深松耕、旋耕,再用激光平地仪平整地。2017 年 4 月 15 日人工种植枸杞,选种 2 年生枸杞苗,株距为 1.0 m,行距为 3.5 m。枸杞移栽后,每行铺设 1 条滴灌管,滴头间距为 0.5 m,每隔 10 d 灌 1 次水,灌水定额为每次 $50 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,灌水时间为 1.5 h,总灌溉定额为 $500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。小区长 6.0 m,宽 3.5 m,面积 21 m^2 ,其他灌水、施肥等栽培技术完全相同。

1.4 测定指标及方法

土样的采集:在距枸杞树 20 cm 的范围内,通过五点取样法用土钻分别采集 0~20.0 cm、20.1~40.0 cm、40.1~60.0 cm 土层深度的土壤样品,去除植物根系和石块等杂物,自然风干后磨碎过 1 mm 孔径筛,用于测定土壤理化性状。

土壤理化性状的测定:土壤含水率,采用烘干法测定;土壤 pH,采用 pH 计测定(水土比 2.5:1.0,质量比);土壤全盐含量,采用电导法测定(水土比 5:1,质量比);土壤交换性钠含量,采用火焰光度法测

定;土壤阳离子交换量,采用乙酸钠法测定;土壤碱化度由土壤交换性钠含量、土壤阳离子交换量计算得出,计算公式为土壤碱化度=土壤交换性钠/土壤阳离子交换量 $\times 100$;土壤机械组成,采用吸管法测定,按照国际制土壤质地分类标准划分土壤质地。

枸杞生长发育的测定:2017 年 6 月 15 日测定各处理枸杞的成活率;2017 年 7 月 15 日用钢卷尺测定枸杞的株高和冠幅,用数显游标卡尺测定枸杞的地径。

枸杞产量的测定:2017 年 8 月 9 日各处理选取 15 粒枸杞鲜果,用数显游标卡尺测定纵径、横径;选取 100 粒枸杞鲜果,用电子天平称质量,得出百粒鲜质量,烘干后再称质量,得出百粒干质量;2017 年 7 月 1 日开始每隔 7 d 采摘 1 次枸杞鲜果,按小区测定各次产量,累积得出枸杞年产量。

枸杞品质的测定:在收获盛期多点采集果实混合样,测定枸杞总糖、多糖、甜菜碱、黄酮、 β -胡萝卜素含量。枸杞总糖含量采用直接滴定法测定,枸杞多糖含量采用苯酚-硫酸比色法测定,枸杞甜菜碱含量采用离子色谱法测定,枸杞黄酮含量采用分光光度法测定,枸杞 β -胡萝卜素含量采用液相色谱法测定。

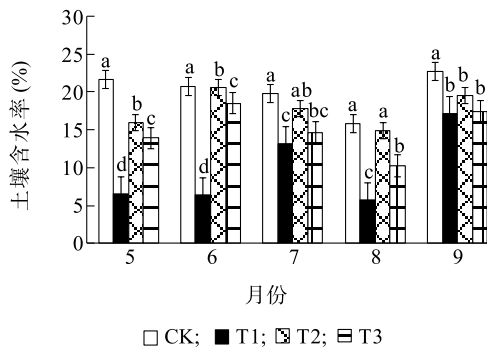
1.5 数据分析

试验数据使用 Excel 2007 整理和作图,利用 DPS 7.05 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同改良模式对碱化土壤性质的影响

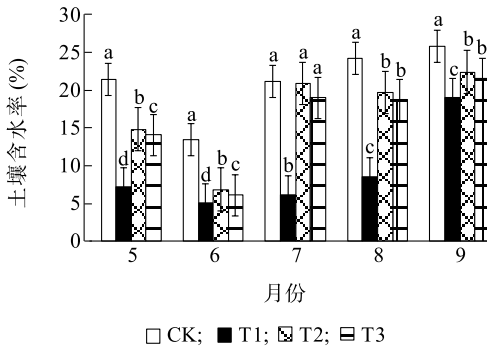
2.1.1 对碱化土壤含水率的影响 土壤水分是枸杞水分的直接来源,对其生长发育起着重要作用。不同改良模式 0~20.0 cm、20.1~40.0 cm、40.1~60.0 cm 土壤含水率的变化情况见图 1、图 2 和图 3。T1、T2、T3 的土壤含水率明显低于 CK,说明 3 种改良模式均能提高碱化土壤渗透能力,但提高的程度各不相同,表现为 $\text{T1} > \text{T3} > \text{T2} > \text{CK}$ 。究其原因,降雨或滴灌后,CK 碱化土壤透水性差,水分很难下渗,极易造成积水;T1 土壤含水率低于其他处理,表明黄沙土土粒间隙大,通气和渗水性能好;T2 和 T3 处理打破了原有土层结构,促进土壤团粒结构的形成,使土壤变得疏松,空隙增加,有利于土壤水分的下渗;T3 在 T2 的基础上,采取枸杞种植沟内覆盖地膜的改良措施,能避免地表水分横向流动而形成积水区,更好节约水资源,提高水分利用率。



CK:滴灌+平种; T1:滴灌+开沟+客土回填+限根; T2:滴灌+开沟+原土回填; T3:滴灌+开沟+原土回填+限根。不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图1 不同改良模式下0~20.0 cm土壤含水率的变化

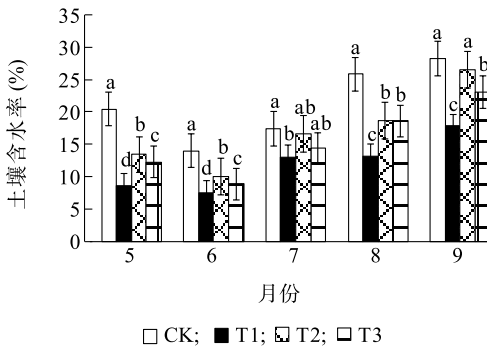
Fig.1 Variations of soil water content in 0~20.0 cm under different improvement modes



各处理见图1注。不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图2 不同改良模式下20.1~40.0 cm土壤含水率的变化

Fig.2 Variations of soil water content in 20.1~40.0 cm under different improvement modes



各处理见图1注。不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图3 不同改良模式下40.1~60.0 cm土壤含水率的变化

Fig.3 Variations of soil water content in 40.1~60.0 cm under different improvement modes

2.1.2 对碱化土壤pH的影响 土壤pH影响营养物质的吸收和枸杞的生长发育,同时还能影响土壤中各

种养分的有效性。从表2中可以看出,不同改良模式下较试验地原始土壤pH都有所下降,降低幅度表现为 $T1 > T3 > T2 > CK$, T1和T3差异不显著。T1处理较CK在0~20.0 cm、20.1~40.0 cm、40.1~60.0 cm土层深度中分别下降10.97%、8.82%、4.81%,T2处理分别下降1.14%、1.33%、3.17%,T3处理分别下降10.66%、8.00%、4.70%。T1处理降低土壤pH效果优于其他处理,主要是因为客土回填采用的黄沙土取自当地,其pH为9.69,低于试验地土壤pH;T3的降低效果显著,说明原土回填改良措施能够降低土壤pH,结合覆膜种植效果更加明显。

2.1.3 对碱化土壤全盐含量的影响 枸杞的耐盐碱能力强,适应范围广,是盐碱地改良的先锋植物,但如果土壤含盐量过高,其生长将会受到严重抑制甚至死亡。从表2中可看出,不同改良模式下在0~20.0 cm、20.1~40.0 cm和40.1~60.0 cm土层深度土壤全盐含量均低于试验地原始土壤,下降程度表现为 $T1 > T3 > T2 > CK$ 。T1处理较CK在0~20.0 cm、20.1~40.0 cm和40.1~60.0 cm土层分别降低83.00%、33.35%、26.94%,T2处理分别下降9.96%、22.49%、1.48%,T3处理分别下降46.85%、25.76%、4.34%。T1处理控抑盐效果极显著优于其他处理,根本原因在于客土回填所用的黄沙土含盐量低,为0.330 g/kg,再经过滴灌和降雨淋洗,盐分随水流出土体;T2和T3处理的效果次于T1,说明原土回填改良措施中将表层黏土和深层沙土均匀混合后回填提高了土壤通气透水性,可以降低土壤盐分含量,枸杞覆膜种植能够隔离并排出盐分,防止深层和周边土壤中盐分侵入。

2.1.4 对碱化土壤碱化度的影响 试验地原始土壤碱化度很高,平均值为44.87%,该地区植物几乎不能生存。不同改良模式可明显降低土壤碱化度,总体表现为 $T1 > T3 > T2 > CK$ (表2)。T1处理较CK在0~20.0 cm、20.1~40.0 cm、40.1~60.0 cm土层深度中土壤碱化度分别下降42.77%、34.07%、42.56%,T2处理分别下降22.25%、23.40%、21.59%,T3处理分别下降28.42%、28.61%、27.67%。T1处理降低土壤碱化度的效果更显著,说明利用碱化度为0.71%黄沙土进行客土回填的改良措施能快速降低土壤的碱化度。T2和T3处理对土壤碱化度的降低效果在0~20.0 cm和20.1~40.0 cm土层深度中差异显著,而在40.1~60 cm土层中差异不显著。

表 2 不同改良模式下土壤 pH、全盐含量和碱化度的变化

Table 2 Variations of soil pH, total salt content and alkalinity under different improvement modes

土层深度 (cm)	处理	pH	pH 较 CK 下降百分率(%)	全盐含量 (g/kg)	全盐含量较 CK 下降百分率(%)	碱化度 (%)	碱化度较 CK 下降百分率(%)
0~20.0	CK	9.66±0.03aA		4.999±0.06aA		40.89±0.21aA	
	T1	8.60±0.06bB	10.97	0.850±0.06dD	83.00	23.40±0.19dD	42.77
	T2	9.55±0.09aA	1.14	4.501±0.03bB	9.96	31.79±1.04bB	22.25
	T3	8.63±0.08bB	10.66	2.657±0.02cC	46.85	29.27±1.18cC	28.42
20.1~40.0	CK	9.75±0.03aA		2.717±0.01aA		48.37±0.41aA	
	T1	8.89±0.00cB	8.82	1.811±0.01dD	33.35	31.89±1.17dC	34.07
	T2	9.62±0.08bA	1.33	2.106±0.00bB	22.49	37.05±0.88bB	23.40
	T3	8.97±0.02cB	8.00	2.017±0.00cC	25.76	34.53±0.53cBC	28.61
40.1~60.0	CK	9.78±0.03aA		1.819±0.01aA		41.45±0.91aA	
	T1	9.31±0.07cB	4.81	1.329±0.07cB	26.94	23.81±1.95cC	42.56
	T2	9.47±0.03bB	3.17	1.792±0.01abA	1.48	32.50±1.69bB	21.59
	T3	9.32±0.08cB	4.70	1.740±0.01bA	4.34	29.98±1.81bB	27.67

各处理见图 1 注。同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

2.1.5 对碱化土壤机械组成的影响 不同改良模式下土壤颗粒组成中以沙粒为主,T1 沙粒含量最高,平均值为 90.77%,属于沙土类沙及壤质沙土;T2、T3 次之,介于沙土类和黏土类之间;CK 沙粒含量最低,平均值为 39.23%,属于黏土类壤质黏土(表 3)。沙土通透性强,土壤氧气含量高,但蓄水能

力差;黏土蓄水能力强,但通透性差,土壤中氧气含量少,枸杞根系发育也会因土壤黏实而不易向下生长。T2 和 T3 土壤质地介于沙土与黏土之间,兼具两者的优点,通气透水,保水保肥,这样的土壤条件更适合枸杞生长发育。

表 3 不同改良模式土壤机械组成的变化

Table 3 Variations of soil mechanical composition of different improvement models

土层深度 (cm)	处理	<0.002 mm 粒级含量 (%)	0.002~0.020 mm 粒级含量 (%)	0.021~2.000 mm 粒级含量 (%)	质地名 (国际制)	类别
0~20.0	CK	36.50	24.40	39.20	壤质黏土	黏土类
	T1	5.90	4.00	90.10	沙及壤质沙土	沙土类
	T2	20.10	16.20	63.70	沙质黏壤土	黏壤土类
	T3	12.00	12.10	75.90	沙及壤质沙土	沙土类
20.1~40.0	CK	36.50	26.40	37.20	壤质黏土	黏土类
	T1	7.90	2.00	90.10	沙及壤质沙土	沙土类
	T2	24.10	14.10	61.80	沙质黏壤土	黏壤土类
	T3	14.00	16.10	69.80	沙质壤土	壤土类
40.1~60.0	CK	37.40	21.30	41.30	壤质黏土	黏土类
	T1	3.90	4.00	92.10	沙及壤质沙土	沙土类
	T2	26.20	18.20	55.60	沙质黏土	黏土类
	T3	18.00	10.10	71.80	沙质黏壤土	黏壤土类

各处理见图 1 注。

2.2 不同改良模式对枸杞生长和产量的影响

2.2.1 对枸杞生长指标的影响 由表 4 可知,不同

改良模式处理的枸杞成活率存在显著性差异,CK、T1、T2 和 T3 分别为 71.43%、95.02%、85.71%、

92.86%,说明采用 T1 和 T3 的技术集成模式能够提高枸杞移栽定植的成活率,较 CK 分别提高 33.03%、30.00%。不同改良模式下枸杞株高、地径和冠幅变化规律基本一致,都表现为 T3>T1>T2>CK。与 CK 相比,T1 和 T3 处理分别提高枸杞株高 34.62%、38.46%,T2 的效果次之。T1、T2、T3 与 CK 相比枸杞植株地径分别增加了 48.80%、40.51%、86.30%,差异极显著,其中,T3 处理对枸杞植株地径的影响最大。T3 枸杞冠幅大于 CK、T1 和 T2,且差异显著,T3 较 CK 枸杞冠幅提高 97.50%。

2.2.2 对枸杞产量指标的影响 枸杞产量测定结果(表 5)表明,不同改良模式处理的果实纵径、横径、百粒鲜质量、百粒干质量差异不显著,其中,T3 最高,较 CK 分别增加 8.95%、5.89%、12.51%、

22.83%;不同改良模式均有利于提高枸杞产量,T3 较其他处理增产效果最佳,鲜果产量达 5 024.25 kg/hm²,干果产量为 1 246.71 kg/hm²,较 CK 均增产 52.10%。

表 4 不同改良模式下枸杞生长指标的变化

Table 4 Variations of Chinese wolfberry's growth indices under different improvement modes

处理	成活率 (%)	株高 (cm)	地径 (mm)	冠幅 (cm)
CK	71.43±1.07dC	52±3.00bA	6.64±0.13dD	40±8.72 cB
T1	95.02±0.99aA	70±3.46aA	9.88±0.21bB	67±2.65bA
T2	85.71±0.01cB	65±9.54abA	9.33±0.11cC	41±4.58cB
T3	92.86±1.15bA	72±14.42aA	12.37±0.06aA	79±5.29aA

各处理见图 1 注。同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

表 5 不同改良模式下枸杞产量的变化

Table 5 Variations of Chinese wolfberry's yield under different improvement modes

处理	纵径 (mm)	横径 (mm)	百粒鲜质量 (g)	百粒干质量 (g)	鲜果产量 (kg/hm ²)	干果产量 (kg/hm ²)
CK	13.86±0.55aA	9.68±0.39aA	84.24±3.37aA	20.89±0.12aA	3 303.34±10.95dD	819.69±2.72dD
T1	14.91±1.09aA	10.22±1.24aA	93.02±9.92aA	21.30±3.32aA	4 211.83±10.48bB	1 045.12±2.60bB
T2	14.55±1.15aA	10.02±0.44aA	85.97±2.75aA	20.90±0.10aA	3 636.75±9.15cC	902.42±2.27cC
T3	15.10±0.31aA	10.25±0.17aA	94.78±0.01aA	25.66±4.44aA	5 024.25±0.19aA	1 246.71±0.05aA

各处理见图 1 注。同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

2.2.3 对枸杞品质指标的影响 枸杞品质测定结果(表 6)表明,T3 总糖含量最高,T1 次之,相比于 CK 分别增加了 13.95%、12.40%;T1 和 T3 多糖含

量极显著高于其他处理,较 CK 增加 24.24%;从枸杞甜菜碱、黄酮、 β -胡萝卜素含量变化来看,T3 效果最佳,较 CK 分别提高了 46.55%、12.74%、76.50%。

表 6 不同改良模式枸杞品质的变化

Table 6 Variations of Chinese wolfberry's quality under different improvement modes

处理	总糖含量 (g/kg)	多糖含量 (g/kg)	甜菜碱含量 (g/kg)	黄酮含量 (mg/kg)	β -胡萝卜素含量 (mg/kg)
CK	129.0±0.6bB	6.60±0.60bB	0.58±0.01dC	46.30±0.23cC	4.68±0.01dD
T1	145.0±6.1aA	8.20±0.20aA	0.78±0.01bB	50.30±0.21bB	6.56±0.05bB
T2	138.0±3.0abAB	7.00±0.06bB	0.62±0.02cC	46.30±0.26cC	5.13±0.01cC
T3	147.0±7.6aA	8.20±0.10aA	0.85±0.01aA	52.20±0.25aA	8.26±0.06aA

各处理见图 1 注。同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

3 讨论

宁夏河套平原枸杞种植主要采用漫灌平种的方式,不仅会造成水资源的极大浪费,还可能引起土壤次生盐碱化问题。枸杞属于盐生植物,盐分在其生长发育中具有重要的调节作用,对枸杞的产量和品质都有一定的影响^[24-25]。本研究在总结前人研究成果的基础上,创新性地提出滴灌+平种、滴灌+开沟+客土回填+限根、滴灌+开沟+原土回填、滴灌+开

沟+原土回填+限根 4 种技术集成改良模式。通过分析各种改良模式对碱化土壤性质的作用效果,发现不同改良模式均能提高碱化土壤渗透能力,降低土壤 pH、全盐含量和碱化度,其中,滴灌+开沟+客土回填+限根模式的土壤沙粒含量最高,平均值为 90.77%,土壤空隙大,黏性弱,能快速改善土壤渗透性能,有效淋洗盐分,使土壤 pH、全盐含量、碱化度分别下降到 8.93、1.330 g/kg、26.37%,是碱化土壤最有效的改良模式。张体彬等^[26-28]采用滴头下

置沙穴的方式滴灌种植枸杞,对灌溉水进行“二次分配”,显著改善了土壤渗透性能,有效淋洗了盐分。尹志荣等^[29]和吕建东等^[30]的研究结果也表明盐碱地覆盖细沙的抑盐效果最显著。滴灌+开沟+原土回填和滴灌+开沟+原土回填+限根模式打破了原有的土层结构,将表层黏土和深层沙土均匀混合,提高了土壤渗水速率,降低了土壤盐碱化程度。滴灌+开沟+客土回填+限根的改良模式见效快,工程大,费用高,而滴灌+开沟+原土回填+限根模式能使土壤 pH、全盐含量、碱化度分别下降到 8.97、2.138 g/kg、31.26%,是最经济的碱化土壤改良模式。

采用滴灌+开沟+客土回填+限根和滴灌+开沟+原土回填+限根的技术集成改良模式,能够提高枸杞移栽定植的成活率,较对照分别提高 33.03%、30.00%。滴灌+开沟+原土回填+限根模式增加产量和提高品质的效果最佳,鲜果产量达 5 024.25 kg/hm²,较对照增产 52.10%。综合不同改良模式对碱化土壤的改良效果和对枸杞产量及品质的提升效果,滴灌+开沟+原土回填+限根模式优于其他技术集成模式,具有提质、节本、增效等优点,值得大力推广应用。

参考文献:

- [1] 李彬,王志春,孙志高,等.中国盐碱地资源与可持续利用研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):154-158.
- [2] 肖国举,张萍,郑国琦,等.脱硫石膏改良碱化土壤种植枸杞的效果研究[J].环境工程学报,2010,4(10):2315-2320.
- [3] 李玉波,许清涛,高标,等.脱硫石膏改良盐碱地对紫花苜蓿生长的影响[J].江苏农业科学,2015,43(3):188-190.
- [4] 田蕾,王彬,张雪艳,等.脱硫石膏改良盐碱土对水稻秧苗素质、根系特征及质膜透性的影响[J].广东农业科学,2014(21):1-6.
- [5] 邹璐,范秀华,孙兆军,等.盐碱地施用脱硫石膏对土壤养分及油葵光合特性的影响[J].应用与环境生物学报,2012,18(4):575-581.
- [6] 孙兆军,赵秀海,王静,等.脱硫石膏改良龟裂碱土对枸杞根际土壤理化性质及根系生长的影响[J].林业科学研究,2012,25(1):107-110.
- [7] 王胡军,李纯,钟香梅,等.盐碱地改良技术研究进展[J].农业工程,2014,4(增刊):44-47.
- [8] 杨小康,王雪.盐碱地改良技术研究综述[J].江西农业学报,2012,24(3):114-116.
- [9] 张翼夫,李问盈,胡红,等.盐碱地改良研究现状及展望[J].江苏农业科学,2017,45(18):7-10.
- [10] 温红霞,李志,王星红,等.日光温室客土栽培土壤盐分变化规律研究[J].宁夏农林科技,2011,52(12):14,17.
- [11] 刘艳,李波,孙文涛,等.生物有机肥对盐碱地春玉米生理特性及产量的影响[J].作物杂志,2017(2):98-103.
- [12] 刘艳,李波,隗英华,等.生物有机肥对盐碱地玉米渗透调节物质及土壤微生物的影响[J].西南农业学报,2018,31(5):1013-1018.
- [13] 路晓筠,项卫东,郑光耀,等.盐碱地改良措施研究进展[J].江苏农业科学,2015,43(12):5-8.
- [14] 祁慧东,何月红,谢施祎,等.中宁县干旱带坡地枸杞滴灌栽培技术[J].宁夏农林科技,2013,54(10):23-24.
- [15] 尹志荣,黄建成,桂林国,等.盐碱地枸杞节水高效利用技术集成研究[J].节水灌溉,2016(12):32-35.
- [16] 董世德,秦垦,万书勤,等.不同微灌形式对土壤水肥分布和枸杞产量的影响[J].节水灌溉,2017(8):38-43.
- [17] 尹志荣,苏德喜,张永宏,等.不同灌溉方式节水控盐效果及对枸杞产量的影响[J].安徽农业科学,2012,40(3):1383-1386.
- [18] 万书勤,康跃虎,刘士平,等.柴达木地区滴灌水-盐-肥综合调控对枸杞生长和水肥利用的影响[J].节水灌溉,2016(5):37-41,47.
- [19] 张玉龙,姜同轩,杨涛,等.盐碱地枸杞间作不同作物的土壤水盐变化及盐平衡[J].水土保持通报,2019,39(3):46-50.
- [20] 吴全,苏瑞东,邢晓芹,等.微咸水灌溉对土地整治项目区水土环境的影响[J].人民黄河,2015,37(11):70-72,76.
- [21] 杜雅仙,马凯博,康扬眉,等.脱硫石膏与结构改良剂配合施用对盐碱地土壤的改良和枸杞生长的影响[J].北方园艺,2018(21):129-135.
- [22] 万书勤,孙甲霞,董世德,等.低注重度盐碱地滴灌水盐调控的环境效应[J].干旱地区农业研究,2019,37(1):1-10.
- [23] 陈建,王文芬.滴灌条件下脱硫石膏对甘肃盐碱地的改良效果研究[J].节水灌溉,2018(5):35-38.
- [24] 许兴,郑国琦,杨娟,等.宁夏不同地域枸杞多糖和总糖含量与土壤环境因子关系的研究[J].西北植物学报,2005,25(7):1340-1344.
- [25] 杨涓,许兴,魏玉清,等.盐胁迫对枸杞果实糖代谢及相关酶的影响[J].宁夏农学院学报,2004,25(3):28-31.
- [26] 张体彬,康跃虎,万书勤,等.滴灌枸杞对龟裂碱土几种酶活性的改良效应[J].土壤学报,2015,52(6):1392-1400.
- [27] 张体彬,康跃虎,孙甲霞,等.滴灌种植对盐碱荒地土壤养分及相关酶活性的改良效应[J].水土保持学报,2015,29(2):88-93.
- [28] 张体彬,展小云,康跃虎,等.浅层填沙滴灌种植枸杞改良龟裂碱土重度盐碱荒地研究[J].农业机械学报,2016,47(10):139-149.
- [29] 尹志荣,张永宏,桂林国,等.宁夏银北盐碱地枸杞节水技术改良[J].西北农业学报,2012,21(11):185-190.
- [30] 吕建东,马帅国,田蓉蓉,等.脱硫石膏改良盐碱土对水稻产量及其相关性状的影响[J].河南农业科学,2018,47(12):20-27.

(责任编辑:张震林)