

李永梅,陈学东,李 锋,等. 宁夏枸杞水肥一体化智能控制技术应用效益[J]. 江苏农业科学,2018,46(21):160-163.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.21.040

# 宁夏枸杞水肥一体化智能控制技术应用效益

李永梅,陈学东,李 锋,张学俭

(宁夏农林科学院农业经济与信息技术研究所,宁夏银川 750002)

**摘要:**针对宁夏枸杞生产中滥用化肥导致农田环境污染及水肥一体化技术在枸杞种植中应用研究少、应用效益尚不明确的问题,选取氮磷钾配方肥和有机质+氮磷钾配方肥,采用水肥一体化智能控制装备开展田间试验。试验结果表明,水肥一体化枸杞产量提高了 115.37 ~ 639.28 kg/hm<sup>2</sup>,平均提高 313.93 kg/hm<sup>2</sup>,产量增产率为 7.25% ~ 40.18%,平均增产率为 19.73%。头茬果总糖含量提高 1 ~ 20 mg/kg,平均提高 10.5 mg/kg,提升率 0.63% ~ 12.5%,平均提升率为 6.56%;盛果期总糖含量增加 4 ~ 10 mg/kg,平均增加 8.5 mg/kg,提升率为 3.39% ~ 8.47%,平均提升率为 7.2%;头茬果多糖含量最高增加 3.5 mg/kg,平均增加 1.7 mg/kg,最高提升率和平均提升率分别为 44.87% 和 22%;盛果期多糖含量 1 ~ 3.1 mg/kg,平均增加 2.2 mg/kg,提升率为 14.29% ~ 44.29%,平均提升率为 31.43%。土壤有机质含量及土壤速效养分含量基本高于土壤本底及传统常规施肥方式,同时节约肥料费用 954.0 ~ 4 280.1 元/hm<sup>2</sup>,平均节肥费用 3 424.5 元/hm<sup>2</sup>,施肥平均节约用工 17.1 人/hm<sup>2</sup>。试验明确了该技术在枸杞产量提高、品质提升及成本节约方面的量化信息,对枸杞水肥一体化技术的推广应用具有重要现实意义。

**关键词:**枸杞;水肥一体化;产量;品质;土壤养分;智能控制技术;效益

**中图分类号:** S567.1+90.7;S567.1+90.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)21-0160-04

枸杞(*Lycium barbarum* L.)是我国重要的“药食同源”特色植物资源,全国有 13 个省(市、区)在种植,其中宁夏是我国枸杞的原产地和主产区,已有 2 000 多年栽培历史,经过漫长的生产实践和科研工作,宁夏枸杞栽培技术比较规范,生育特征及需水需肥规律基本明确,目前枸杞产业已作为宁夏特色优势农业发展的朝阳产业,被列入自治区“十三五”科技发展规划中现代农业领域的优先发展主题。然而,宁夏枸杞生产中同样存在滥用化肥、水源短缺等问题,不合理施肥不仅起不到增产作用,反而会降低水肥利用率,甚至破坏土壤结构,污染农田环境,严重制约枸杞产业持续健康发展<sup>[1]</sup>。如何实现枸杞水肥的精确施用及高效利用,已经成为宁夏枸杞产业急需解决的重大问题。近年来,水肥一体化技术在枸杞栽培种植中的应用不断受到重视,2016 年宁夏召开枸杞产业再造新优势——水肥一体化工作推进会,力推宁夏枸杞从大水漫灌走向水肥一体化的节水时代。

水肥一体化技术是将灌溉与施肥融为一体的一项新型节水省肥农业技术措施。该技术可按土壤特性、作物根系特征及需水需肥规律在灌溉量、施肥量和施肥时间等方面高度精确地进行控制,实现水肥的精准施用<sup>[2-4]</sup>。相关研究表明,与传统灌溉和施肥相比,采用该技术水分利用效率可提高

40% ~ 60%,肥料利用率可提高 30% ~ 50%<sup>[5]</sup>。因此,有专家指出,水肥一体化技术是发展高产、优质、高效、生态、安全现代农业的重大技术,更是建设“资源节约型、环境友好型”现代农业的“一号技术”<sup>[6]</sup>。国外的水肥一体化技术起步早,发展迅速,目前一些发达国家已经形成了完善的设备生产、肥料配置、推广服务体系<sup>[6]</sup>。中国该技术起步较晚,总体与世界一些国家相比还存在很大差距。该技术在我国最初主要应用于大棚蔬菜,之后应用于大田作物及果树作物,果树作物灌溉施肥已在南方的荔枝、芒果、香蕉、柑橘上成功应用,果实产量提高 10%;在北方,已在苹果、梨、桃、葡萄上成功应用,果实产量提高 15% 以上<sup>[6]</sup>。虽然水肥一体化技术在一些果树生产应用中发展不断成熟,但针对枸杞水肥一体化应用的研究还很少,其应用效益还不明确。

采用水肥一体化智能控制装备开展不同配方施肥田间试验,通过分析不同施肥方案与传统施肥方式对枸杞产量、品质、土壤养分及成本投入的影响,明确水肥一体化技术在枸杞种植中产生的田间量化效益,为枸杞生产中肥料选取与配比选择及水肥的精确灌溉提供科学参考,对推动水肥一体化技术在枸杞中的应用推广具有重要的现实意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验区位于宁夏回族自治区中宁县恩和镇(105°46'3"N、37°29'39"E)大地生态有限公司枸杞种植基地,该地气候条件和地质条件优良,热量充足,日照时间长,昼夜温差大,雨量适中<sup>[7]</sup>,年平均气温 9.5 ℃,年平均日照时数 2 979.9 h,年平均降水量 209 mm;地貌平坦,土层厚,沙质土壤,质地均匀,富含各种矿物质和微量元素,是宁夏枸杞主产区<sup>[8]</sup>。主栽枸杞品种为宁杞 7 号,树龄 3 年,栽培采用 3 m × 1 m 模式。

收稿日期:2018-02-12

基金项目:宁夏自然科学基金(编号:NZ17133);宁夏农林科学院科技创新先导资金(编号:NKYZ-16-1101);宁夏农林科学院一二三产业融合发展农业技术推广示范项目(编号:YES-16-1104)。  
作者简介:李永梅(1979—),女,山西平遥人,硕士,助理研究员,从事植物遥感及 3S 技术在农业中应用的研究。E-mail: ymlisx2014@163.com。

通信作者:张学俭,硕士,研究员,从事“3S”技术及其应用等研究。  
E-mail: nxjohn@163.com。

## 1.2 试验设计

根据枸杞基地试验田土壤情况、枸杞需水需肥规律及前期水肥试验积累经验,设计 7 个不同配方施肥试验方案。其中,CK 采用传统施肥方式;处理 1 至处理 6 采用水肥一体化智能控制设备进行水肥田间精确管理,处理 1、处理 2 为氮磷钾配方施肥,处理 3 至处理 6 为有机质 + 氮磷钾配方施肥。于 2016—2017 连续 2 年开展枸杞田间试验。每个处理重复 3 次,共 21 个小区,每小区面积为 0.22 km<sup>2</sup>,含 74 株枸杞。

表 1 试验处理肥料施用量

试验处理	各肥料的施用量(kg/hm <sup>2</sup> )			
	有机质	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
处理 1	0	480	360	240
处理 2	0	360	240	120
处理 3	300	300	180	120
处理 4	900	240	120	60
处理 5	1 500	180	120	120
处理 6	2 100	360	240	120

水肥一体化各处理所需有机质由黄腐酸营养液(N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O ≥ 200 g/L,黄腐酸 30 g/L)提供,氮、磷、钾主要由尿素(含 46% N,溶解度 67%)、磷酸一铵(含氮 12%,含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 61%)与农业用硫酸钾(K<sub>2</sub>O 含量 ≥ 51.0%,S 含量 ≥ 17.5%)提供。同时,采用宁夏农林科学院自主研发枸杞滴管专用型肥料果施宝 58%(含氮 28%,含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 25%,含 K<sub>2</sub>O 5%)对氮、磷、钾进行补充。对照区有机肥为牛粪,氮、磷、钾肥采用尿素、磷酸二铵(含氮 18%,含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 56%)及农业用硫酸钾。传统施肥方式为穴施后覆土,沿树冠外缘挖穴,将肥料驶入穴内后用土覆盖。为实现试验结果在各处理间的可比性,水肥一体化各处理肥料均分 4 次同期施入,4 次施肥各处理的有机质、氮、磷、钾均按 40%、30%、20%、10% 施入。CK 区按照传统习惯施肥,有机肥在春季施 1 次,化肥同样分 4 次施入且时间与水肥一体化保持一致。水肥一体化及 CK 各小区全年灌水量相同,为 26 万 L。枸杞剪枝、病虫害防治、清园等田间管理措施均保持一致。

## 1.3 样品采集及指标测定

土壤本底样品在试验开展前采集,试验结束后各小区土壤样品在当年枸杞秋果采摘后、冬灌前进行采集。采样方式为“S”形布点,取样深度为 20 cm,各小区分别取 5 点的混合成 1 个土样,共 21 个混合土样。将土样在室温下进行风干,过 2 mm 筛后,分别测定土壤有机质含量、碱解氮含量、速效磷含量和速效钾含量。采用 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> - H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 氧化法测定土壤有机质含量,碱解氮含量采用碱解扩散法测定,速效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提 - 钼锑抗比色法测定,速效钾含量采用 NH<sub>4</sub>OAC 浸提 - 火焰光度法测定<sup>[9-10]</sup>。

在各小区中间区域相邻 2 行连续选取 10 株枸杞植株作为田间观测样本,每小区共计 20 株。在枸杞果实成熟期,对观测样株单独采摘、测定果实质量。随机选取观测样株头茬果和盛果期鲜果 1 kg 测定其总糖、多糖含量。

## 1.4 数据处理

应用 Excel 软件和 SPSS 软件对试验数据进行整理分析及制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 水肥一体化对枸杞产量影响分析

由图 1 可知,水肥一体化各处理枸杞产量处理 5 > 处理 1 > 处理 3 > 处理 6 > 处理 4 > 处理 2,处理 5 枸杞产量最高(2 230.28 kg/hm<sup>2</sup>),处理 2 产量最低(1 706.37 kg/hm<sup>2</sup>),各处理平均产量为 1 904.93 kg/hm<sup>2</sup>,均高于 CK 的产量(1 591 kg/hm<sup>2</sup>);枸杞产量增加 115.37 ~ 639.28 kg/hm<sup>2</sup>,产量平均增加 313.93 kg/hm<sup>2</sup>。由图 2 可知,水肥一体化各处理产量增产率最低为 7.25%,最高可达 40.18%,平均产量增产率为 19.73%。

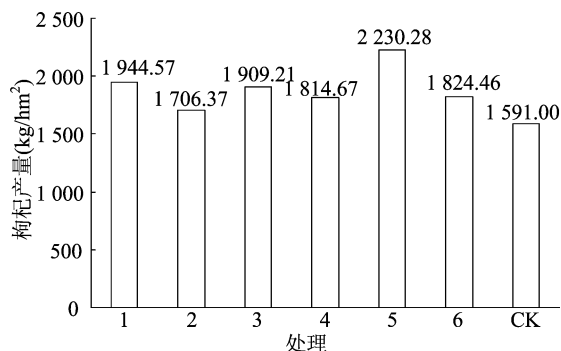


图 1 各处理枸杞平均产量

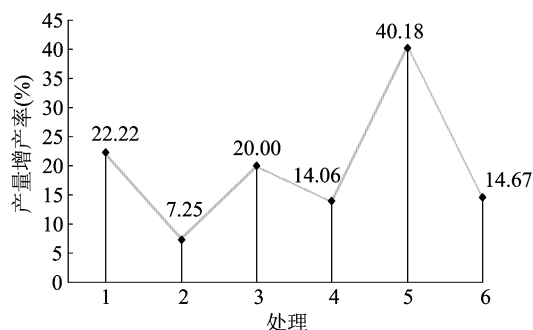


图 2 水肥一体化各处理增产率

### 2.2 水肥一体化对枸杞品质影响分析

由图 3 可知,头茬果枸杞总糖含量均高于盛果期总糖含量。水肥一体化各处理头茬果与盛果的总糖含量均高于传统常规施肥 CK,其中处理 3、处理 5 头茬果总糖含量较高,分别为 180、178 mg/kg,总糖含量最少为 161 mg/kg,均值为 170.5 mg/kg。头茬果总糖含量较传统常规施肥提高了 1 ~ 20 mg/kg,平均提高 10.5 mg/kg,总糖含量提升率为 0.63% ~ 12.5%,平均提升率为 6.56%。盛果期水肥一体化各处理总糖含量为 122 mg/kg ~ 128 mg/kg,平均为 126.5 mg/kg,盛果总糖含量较传统常规施肥增加 4 ~ 10 mg/kg,平均增加 8.5 mg/kg,提升率为 3.39% ~ 8.47%,平均提升率为 7.2%。

图 4 显示,头茬果多糖含量与盛果期相比,除处理 4 和处理 6 外,其他各处理表现出的规律与总糖含量相一致,即头茬果多糖含量高于盛果期。水肥一体化头茬果多糖含量除处理 6 与传统常规施肥相同外,其余均高于 CK。各处理多糖含量最高增加 3.5 mg/kg,平均增加 1.7 mg/kg,最大提升率为 44.87%,平均提升率为 22%。盛果期水肥一体化各处理多糖含量为 8.0 ~ 10.1 mg/kg,平均为 9.2 mg/kg,增加了 1 ~

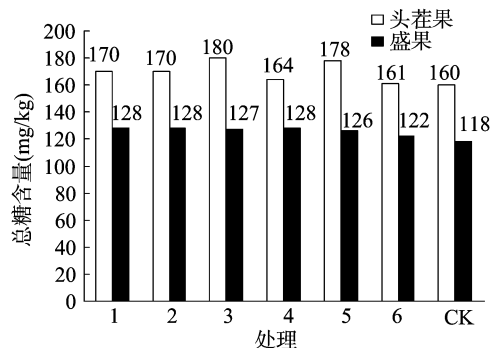


图3 各处理枸杞鲜果总糖含量

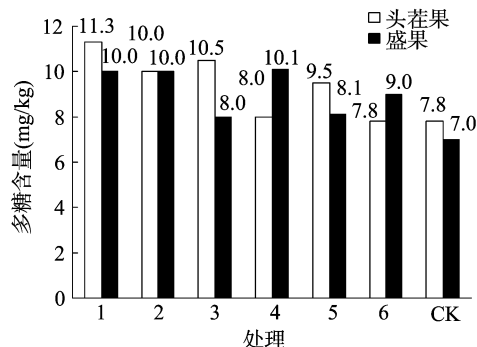
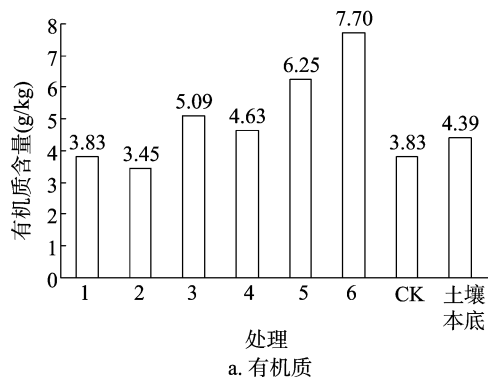
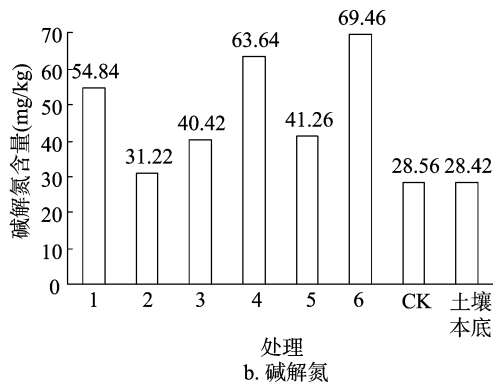


图4 各处理枸杞鲜果多糖含量

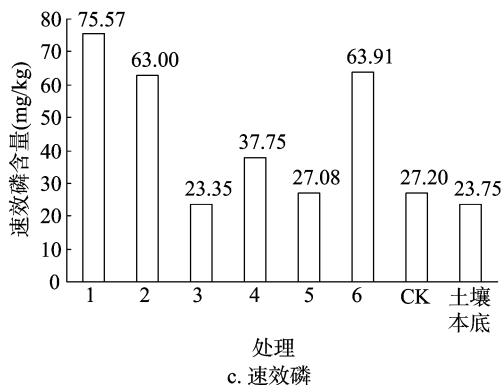
3.1 mg/kg, 平均增加 2.2 mg/kg, 多糖含量提升率为 14.29% ~



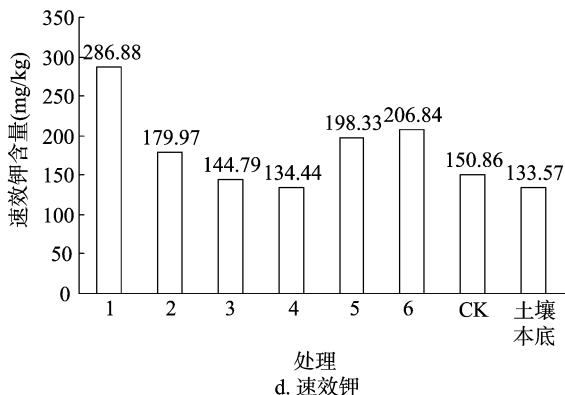
a. 有机质



b. 碱解氮



c. 速效磷



d. 速效钾

图5 枸杞试验田 0~20 cm 土壤有机质、碱解氮、速效磷及速效钾含量

#### 2.4 水肥一体化对枸杞投入影响分析

本次试验中传统施肥区与水肥一体化智能控制施肥各小区灌水都采用水肥一体化设备进行滴灌,且滴水时间、时长及滴水量均控制相同。为了使试验结果具有可比性,水肥一体

44.29%, 平均提升率为 31.43%。

#### 2.3 水肥一体化对枸杞土壤养分影响分析

将各小区 0~20 cm 深混合土样测定的土壤有机质、碱解氮、速效磷及速效钾含量整理计算并绘制成图(图 5)。由图 5-a 可知,处理 1、处理 2 及 CK 土壤有机质含量低于土壤本底,其余处理的有机质含量均高于土壤本底;与传统施肥相比,土壤有机质含量依次为处理 6 > 处理 5 > 处理 3 > 处理 4 > 处理 1 = CK > 处理 2,由于处理 1 和处理 2 没有施用有机肥,它们的土壤有机质含量与 CK 相近,其中处理 2 的土壤有机质含量最低,为 3.45 g/kg;有机质 + 氮磷钾配方肥的各处理土壤有机质含量均高于传统施肥的 CK 处理,其中处理 3 为有机质 + 氮磷钾配方肥各处理中施用有机肥最少的,但其土壤有机质含量为 5.09 g/kg,也高于 CK 的 3.83 g/kg。

由图 5-b 可知,各处理土壤碱解氮含量均高于土壤本底,水肥一体化各处理土壤碱解氮含量依次为处理 6 > 处理 4 > 处理 1 > 处理 5 > 处理 3 > 处理 2,均高于 CK (28.56 mg/kg)。图 5-c 显示,除处理 3 土壤速效磷含量 (23.35 mg/kg) 与土壤本底 (23.75 mg/kg) 相近外,其余水肥一体化各处理均高于本底;水肥一体化处理中,除处理 3 和处理 5 土壤速效磷含量与 CK 相近,其余各处理均远高于 CK (27.20 mg/kg)。图 5-d 显示,各处理土壤速效钾均高于土壤本底;处理 3、处理 4 土壤速效钾含量低于 CK,其余水肥一体化处理土壤速效钾含量均较 CK 高。

化施肥时间与传统施肥一致,且 CK 穴施覆土后,对传统施肥区进行滴水时,滴水量也控制到与水肥一体化施肥的需水量相一致,所以水肥一体化各处理与传统施肥 CK 区的灌水量相同。另外,枸杞在修剪、病虫害防治、除草等方面均采用相

同管理模式。故本次试验在枸杞生长投入方面的差异主要表现在肥料投入量、肥料费用及施肥用工。根据试验设计将有机质、氮、磷、钾折合成实物量(表2)。

表2 试验各处理折合实物量

处理	肥料施用量(kg/hm <sup>2</sup> )					合计
	A:有机肥	B:尿素	C:磷酸一铵	D:硫酸钾	E:果施宝	
1	0	706.80	467.4	441.0	300	1 915.2
2	0	496.80	270.6	205.8	300	1 273.2
3	300	34.64	157.2	194.4	300	1 246.2
4	900	0	29.4	52.8	300	1 282.2
5	1 500	0	0	147.0	300	1 947.0
6	2 100	0	167.4	123.6	300	2 691.0

由表2可知,水肥一体化各处理投入肥料最多,为2 691.0 kg/hm<sup>2</sup>,平均肥料投入为1 725.75 kg/hm<sup>2</sup>。传统施肥方式为有机质5 kg/株,每公顷为16 650 kg;尿素、磷酸二铵及农业用硫酸钾的混合肥按照0.6 kg/株施入,共计1 998 kg/hm<sup>2</sup>,CK肥料投入量为18 648 kg/hm<sup>2</sup>,远高于水肥一体化各处理的肥料投入量。按照黄腐酸营养液、尿素、磷酸一铵、农业用硫酸钾及果施宝市场价1 500、1 500、7 000、4 000、11 500元/t计算,水肥一体化各处理肥料投入费用依次为9 546、6 912.6、6 219.9、5 217、6 288、8 266.2元/hm<sup>2</sup>,水肥一体化肥料投入平均费用为7 075.5元/hm<sup>2</sup>,传统施肥投入肥料费用为10 500元/hm<sup>2</sup>。水肥一体化各处理可节省肥料费用最少为954元/hm<sup>2</sup>,最高节省4 280.1元/hm<sup>2</sup>,平均节省肥料费用3 454.5元/hm<sup>2</sup>。施肥用工方面,水肥一体化完成全年4次施肥需要用工7.65人/hm<sup>2</sup>,传统施肥按全年4次施肥计算用工为24.75人/hm<sup>2</sup>,施肥可节省17.1人/hm<sup>2</sup>,采用水肥一体化智能设备开展枸杞施肥可显著提高效率,大大节省劳动力。

### 3 讨论与结论

水肥一体化技术是对传统施肥技术的重要改良,是提高肥水利用效率、减少环境污染、实现农业增收、节支的关键技术<sup>[11]</sup>。该研究通过选取有机肥+氮磷钾配方施肥和氮磷钾配方施肥,采用水肥一体化智能控制装备开展枸杞田间试验,从枸杞产量、品质、土壤养分及投入成本4个方面对水肥一体化技术在枸杞种植中的应用效益进行对比分析,明确该技术在枸杞产量提高、品质提升及成本节约方面的量化信息,对推动水肥一体化技术在枸杞种植中的推广具有重要实现意义。

本试验水肥一体化枸杞产量提高了115.37~639.28 kg/hm<sup>2</sup>,平均提高313.93 kg/hm<sup>2</sup>,产量增产率为7.25%~40.18%,平均增产率为19.73%。

总糖含量和多糖含量为枸杞品质主要的生化指标。头茬果总糖含量,水肥一体化技术提高1~20 mg/kg,平均提高10.5 mg/kg,提升率0.63%~12.50%,平均提升率为6.56%;盛果期总糖含量,水肥一体化增加4~10 mg/kg,平均增加0.85 mg/kg,提升率为3.39%~8.47%,平均提升率为7.20%。头茬果多糖含量除处理6与传统常规施肥相同外,

其他各处理均有所增加,最高增加3.5 mg/kg,平均增加1.7 mg/kg,最高提升率44.87%,平均提升率为22.00%;盛果期多糖含量,水肥一体化增加1.0~3.1 mg/kg,平均增加2.2 mg/kg,提升率为14.29%~44.29%,平均提升率为31.43%。

土壤速效养分含量对施肥的响应比较敏感。本试验水肥一体化各处理的施肥量远低于传统常规施肥,但同时又能提高产量、提升品质,0~20 cm深的土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量基本高于土壤本底和CK,初步得出水肥一体化技术在枸杞生产中同样可以提高肥料利用率,在保持土壤养分及改善土壤环境方面具有一定的促进作用。在枸杞种植肥料费用及用工投入上,水肥一体化技术可节省肥料费用954.0~4 280.1元/hm<sup>2</sup>,平均节省肥料费用3 424.5元/hm<sup>2</sup>;平均节约用工17.1人/hm<sup>2</sup>。

枸杞产量与品质受外部环境影响很大,土壤环境变化是长期复杂的过程<sup>[12]</sup>。本研究是基于连续2年采集的数据展开的,在水肥一体化技术对枸杞产量、品质、土壤影响的年际变化特点、稳定性方面的研究还须进一步深入。此外,通过完善配方施肥处理,丰富数据分析方法,补充采集枸杞百粒质量及粒度等表征枸杞品质的数据,在进一步全面深入量化分析枸杞水肥一体化智能控制装备应用效益的基础上,在明确枸杞最佳施肥水平组合及最优施肥方案方面仍须深入开展研究。

### 参考文献:

- [1]徐常青,刘赛,徐荣,等.我国枸杞主产区生产现状调研及建议[J].中国中药杂志,2014,39(11):1978-1984.
- [2]高鹏,简红忠,魏样,等.水肥一体化技术的应用现状与发展前景[J].现代农业科技,2012(8):250,257.
- [3]苏启勇.农作物水肥一体化技术应用现状与发展[J].农业与技术,2017,37(24):11,13.
- [4]李传哲,许仙菊,马洪波,等.水肥一体化技术提高水肥利用效率研究进展[J].江苏农业学报,2017,33(2):469-475.
- [5]高祥照,杜森,钟永红.番茄水肥一体化技术的应用效果[J].浙江农业科学,2017,58(1):69-71.
- [6]高祥照,杜森,钟永红,等.水肥一体化发展现状与展望[J].中国农业信息,2015(4):14-19,63.
- [7]王静梅,吴科.2011年宁夏中宁枸杞种植的气候条件分析[J].资源与环境科学,2012(5):310,313.
- [8]董晓利.宁夏中宁县枸杞产业发展研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2016:22-23.
- [9]齐雁冰,常庆瑞,刘梦云,等.县域农田土壤养分空间变异及合理样点数确定[J].土壤通报,2014,45(3):556-561.
- [10]鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000:45-46.
- [11]李传哲,许仙菊,马洪波,等.水肥一体化技术提高水肥利用效率研究进展[J].江苏农业学报,2017,33(2):469-475.
- [12]石元豹,曹兵,宋丽华.CO<sub>2</sub>浓度倍增对宁夏枸杞种植地土壤养分及微生物的影响[J].江苏农业学报,2016,32(1):201-206.