

# 不同水分处理对北疆枸杞植株生长与产量的影响

加孜拉<sup>1,2</sup>, 苏里坦<sup>2</sup>, 白云岗<sup>1</sup>

(1.新疆水利水电科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830049; 2.中国科学院

新疆生态与地理研究所, 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘要:** [目的] 探索适宜北疆枸杞栽培的适宜灌溉制度, 为该地区今后枸杞灌溉提供科学的依据。[方法] 测定了枸杞株高、茎粗、冠幅、耗水量和产量, 分析了不同灌水定额和不同灌水频率对枸杞生长和产量的影响。[结果] ①枸杞株高随着灌水量的增加而增加; ②枸杞茎粗年净增长量随着灌水量的增加而增加, 当灌水量增大到一定程度时茎粗增幅变小; ③枸杞各生育阶段耗水强度表现为: 结果期 > 开花期 > 春梢生长期 > 秋梢生长期 > 萌芽至展叶期; 枸杞耗水量与产量、耗水量与水分利用效率 WUE 的关系均呈二次抛物线关系; ④当耗水量从 583 mm 增加到 676 mm 时, 枸杞产量从 12 703.5 kg/hm<sup>2</sup> 提高到 14 200.5 kg/hm<sup>2</sup>。与此同时, 枸杞水分利用效率从 1.45 kg/mm 减少到 1.46 kg/mm, 并没有发生明显的降低。[结论] 从节水和高产的角度考虑, 推荐北疆地区枸杞适宜灌溉制度为: 枸杞全生育期灌溉定额为 5 700 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 每次灌水定额为 570 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 灌水次数为 10 次, 萌芽期—展叶期灌水 1 次, 春梢生长期灌水 2 次, 现蕾—开花期灌水 1 次, 结果期灌水 4 次, 秋梢生长期灌水 2 次。

**关键词:** 北疆; 滴灌; 枸杞; 灌溉制度; 植物生长

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)01-0099-07

中图分类号: S274.1, S152.7

**文献参数:** 加孜拉, 苏里坦, 白云岗. 不同水分处理对北疆枸杞植株生长与产量的影响[J]. 水土保持通报, 2022, 42(1): 99-105. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.01.014; Jiazila, Sulitan, Bai Yungang. Effects of different water treatments on plant growth and yield of *Lycium barbarum* in Northern Xinjiang [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(1): 99-105.

## Effects of Different Water Treatments on Plant Growth and Yield of *Lycium Barbarum* in Northern Xinjiang

Jiazila<sup>1,2</sup>, Sulitan<sup>2</sup>, Bai Yungang<sup>1</sup>

(1. Xinjiang Research Institute of Water Resources and Hydropower, Urumqi,

Xinjiang 830049, China; 2. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang

Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Science, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

**Abstract:** [Objective] The irrigation system suitable for the cultivation of *Lycium barbarum* in Northern Xinjiang Uygur Autonomous Region was studied to provide a scientific basis for the future irrigation of *L. barbarum* in this area. [Methods] The plant height, stem thickness, crown width, water consumption, and yield of *L. barbarum* were monitored, and the effects of different irrigation amounts and irrigation frequencies on the growth and yield of drip-irrigated *L. barbarum* were analyzed. [Results] ① Plant height of drip-irrigated *L. barbarum* increased with increasing irrigation amount annually. ② Annual net growth of drip-irrigated *L. barbarum* stem thickness increased with increasing irrigation amount. When the irrigation amount increased to a certain value, the increase in stem thickness decreased. ③ The water consumption intensity of drip-irrigated *L. barbarum* in each growth period followed the order of fruiting stage > bloom

收稿日期: 2020-10-30

修回日期: 2021-08-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“气候变化背景下高寒山区降水过程模拟及径流预报”(U1603342); 新疆院士工作站项目“新疆现代灌区建设及高效节水关键技术”(2020.D-004)

第一作者: 加孜拉(1978—), 女(哈萨克族), 新疆维吾尔自治区新源县人, 硕士, 高级工程师, 主要从事农业节水与抗旱减灾方面的研究。Email: guljazira@qq.com。

通信作者: 苏里坦(1972—), 男(哈萨克族), 新疆维吾尔自治区霍城县人, 博士, 研究员, 主要从事水文学与水循环过程模拟研究。Email: sultan@ms.xjb.ac.cn。

stage > spring shoot growth stage > autumn shoot growth stage > leaf opening stage. The relationship between water consumption and yield and between water consumption and water use efficiency (WUE) of drip-irrigated *L. barbarum* followed a quadratic parabolic relationship. ④ When water consumption increased from 583 mm to 676 mm, yield of drip-irrigated *L. barbarum* increased from 12 703.5 kg/hm<sup>2</sup> to 14 200.5 kg/hm<sup>2</sup>. At the same time, WUE of drip-irrigated *L. barbarum* decreased from 1.45 kg/mm to 1.46 kg/mm, it did not decrease significantly. [Conclusion] In order to save water and produce high yields, we recommend drip-irrigated *L. barbarum* grown in the study area be provided with 5 700 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> of irrigation water over the entire growing season, applied as 10 irrigations of 570 mm during each application. The 10 irrigations should be applied as one irrigation during the leaf opening stage, two irrigations during the spring shoot growth stage, one irrigation during the bloom stage, four irrigations during the fruiting stage, and two irrigations during the autumn shoot growth stage.

**Keywords:** Northern Xinjiang; drip irrigation; *Lycium barbarum*; irrigation schedule; plant growth

枸杞 (*Lycium barbarum*) 是一种多年生的落叶小灌木<sup>[1]</sup>, 在中国西部地区较大面积种植, 多生长在阳光充足, 温度较低, 冷凉湿润且肥沃的土壤中。枸杞具有很多优良的抗性。例如, 抗严寒、抗旱、抗碱等, 作为首选的经济作物种植于西北干旱及半干旱地区<sup>[2-3]</sup>。新疆维吾尔自治区枸杞主要栽培于北疆, 其中博尔塔拉蒙古自治州的精河县是新疆人工种植枸杞最早、面积最大、连片最集中地方。枸杞大面积种植推动了精河县经济发展, 同时由于水资源紧缺, 一定程度上限制了枸杞种植面积的扩大, 合理的灌溉和施肥措施成了解决问题的关键。滴灌技术能够适时适量地进行灌溉, 使作物近根区保持较高湿度和合适的养分, 可有效提高作物产量<sup>[4-9]</sup>。因此, 针对干旱半干旱地区经济增长的需求, 为提高枸杞产量, 增加农民收入, 研究枸杞节水高效栽培技术显得尤为重要。

前人对枸杞进行了大量研究, 赵琴<sup>[10]</sup> 在宁夏研究了气温升高与干旱胁迫对宁夏枸杞生长与果实品质的影响, 结果表明干旱胁迫降低了宁夏枸杞地径、苗高、新梢长、新梢粗、叶鲜重、叶干重和叶面积, 气温升高加剧了干旱胁迫对枸杞生长的影响。马旭等<sup>[11]</sup> 在宁夏研究了不同灌溉定额对枸杞生长和产量的影响, 结果表明枸杞产量随着灌水量的增加而增产, 继续增加灌水量产量降低, 过多的灌水不利于枸杞生长。郑艳军等<sup>[12]</sup> 在宁夏中部干旱区研究了不同灌水处理对枸杞产量和品质的影响, 结果表明, 枸杞产量均随灌溉定额增大而减小, 覆膜滴灌条件下有利于保持土壤水分, 有效节约水资源, 并提出了宁夏中部干旱区适宜灌溉制度。赵彦波等<sup>[13]</sup> 在宁夏研究了不同种植模式下灌溉定额对枸杞生长指标与产量的影响, 结果表明枸杞生长指标和产量随灌溉定额有增大而增大的趋势, 但过度增加灌溉定额反而会减少产量。杜宇旭等<sup>[14]</sup> 在宁夏进行了覆膜滴灌下枸杞耗水规律研究, 结果表明枸杞覆膜滴灌生育期内耗水量相

比传统畦灌平均减少了 34%, 生育期内灌溉定额相比传统畦灌平均节约了 52%。徐利岗等<sup>[15]</sup> 在宁夏进行了干旱区枸杞滴灌灌溉制度试验研究, 结果表明随灌水量的增加枸杞地径及株高随之增加, 而冠幅的变化规律性不强, 并提出了适宜的灌溉制度。张继林<sup>[16]</sup> 在研究了亏缺灌溉对枸杞水分利用效率和果实品质的影响, 结果表明, 枸杞各生长阶段的耗水量随灌水量的增加而增加, 随着亏缺程度的加重, 枝条生长速率缓慢, 叶绿素含量降低。吴秀玲等<sup>[17]</sup> 在宁夏研究了水分调控对宁夏枸杞光合特性及产量的影响, 研究表明随着灌水量的增加, 枸杞净光合速率与蒸腾速率增加, 灌水量在一定范围内可增产。董世德等<sup>[18]</sup> 在宁夏研究了不同微灌形式对土壤水肥分布和枸杞产量的影响, 地表滴灌方式下水肥耦合最好, 枸杞生长状况和产量最佳。常少刚等<sup>[19]</sup> 在宁夏研究了不同灌溉量对枸杞生长发育及产量和品质的影响分析, 结果表明灌溉量为 2 850 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 时即可保证枸杞正常, 又可以促进枸杞优质高产, 同时实现了节水增效的目的。万书勤等<sup>[20]</sup> 在青海对柴达木地区滴灌水一盐一肥综合调控对枸杞生长和水肥利用的影响, 结果表明随着施肥比例的增加, 枸杞的株高、茎粗、冠幅增长率及干鲜果产量先增加再降低, 滴灌高频施肥灌溉有利于提高枸杞的产量、灌溉水利用效率和肥料利用率。郑国保等<sup>[21]</sup> 在宁夏研究了不同灌水量对干旱区枸杞水分利用效率及产量和品质的影响, 结果表明增加灌水量, 枸杞各生长阶段的耗水量增加, 并提出了适宜的灌水量。

前人对枸杞灌溉的研究都集中在宁夏等地区, 新疆枸杞灌溉制度方面的研究甚少。因此, 本试验以不同水分处理对枸杞生长发育、果实产量的影响, 讨论和对比灌水对枸杞的生长发育情况的影响, 最终找出适宜北疆枸杞栽培的适宜灌溉制度, 以期为该地区今后枸杞灌溉提供科学的依据。

# 1 研究区概况及方法

## 1.1 研究区概况与试验方法

试验于 2019 年 3—11 月在新疆维吾尔自治区博尔塔拉州精河县内(46°25′30″N,90°04′01″E),试验区属于大陆性北温带干旱气候,空气干燥,风势较大,年降雨量小,蒸发量大。极端最低气温为-53℃,最高达 36.5℃。多年均降水量 161 mm,多年平均蒸发量约为 1 624 mm,无霜期平均为 103 d。试验区地下水埋深大于 5 m,土壤质地为黏壤土,0—60 cm 土层平

均干容重 1.36 g/cm<sup>3</sup>,田间持水率为 26%。

供试作物为精枸 1 号,播种株距为 1 m,行距为 1.8 m。试验采用单翼迷宫式滴灌带,滴头间距为 30 cm,滴头设计流量 3.2 L/h,采用 1 行 2 管模式。灌溉水源为井水,采用水泵供水和水表计量,采用施肥罐进行施肥,试验点土壤肥力状况详见表 1。

试验设 6 个不同灌溉定额处理,灌水次数为 10 次,6 个不同灌水定额额分别为 3 300,4 200,5 100,6 000,6 900,7 800 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,设一个对照 CK 处理灌溉定额为 6 000 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,灌水 7 次(表 2)。

表 1 试验点土壤肥力状况

深度/cm	pH 值	全量/(g·kg <sup>-1</sup> )			速效性/(mg·kg <sup>-1</sup> )			有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )
		N	P	K	N	P	K	
0—30	8.29	0.93	0.831	6.391	72	8.0	284.4	9.53

表 2 枸杞试验地浅埋式滴灌试验设计

处理	灌水定额/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	灌水频率/d	灌溉定额/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )
W <sub>1</sub>	330	10	3 300
W <sub>2</sub>	420	10	4 200
W <sub>3</sub>	510	10	5 100
W <sub>4</sub>	600	10	6 000
W <sub>5</sub>	690	10	6 900
W <sub>6</sub>	780	10	7 800
CK	855	7	6 000

## 1.2 数据获取方法

记录枸杞各生育期物候期,在枸杞各生育期选择长势基本相同的 3 株枸杞测定株高、茎粗,冠幅,分别用钢尺,游标卡尺测量所选枸杞的株高,茎粗。定株测定枸杞产量。使用 SPSS 15.0 和 Excel 软件对试验数据进行整理与分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 枸杞生育期划分

枸杞为茄科枸杞属多年生落叶灌木。中医用枸杞的果实和根入药。枸杞是种国重要的植物资源之一,是栽培历史久、适应范围广、经济效益大的一种木本经济作物。

物候期反映植物在气候方面的适应性(表 3)。试验区枸杞年龄为 5 a,气温上升土壤解冻后经过一个缓苗的过程,4 月中旬萌芽,5 月上旬开始展叶,5 月下旬春梢开始生长,春梢生长一直延续到 7 月上旬,7 月上旬达到新梢旺盛期。6 月上旬枸杞开始现蕾开花,6 月下旬开始结果,7 月上旬头茬果成熟,7 月中旬至 8 月中旬夏果成熟,8 月下旬到月下旬秋梢生长,10 月上旬开始落叶,11 月上旬进入休眠期。

表 3 试验区枸杞物候期

萌芽期—展叶期	春梢生长期	现蕾期	开花期	结果期	秋梢生长期	落叶期
0410—0520	0521—0615	0616—0620	0621—0630	0631—0820	0821—0930	1001—1031

## 2.2 不同水分处理对枸杞株高的影响

株高的增长与培育稳定丰产型树形密切相关,只有达到一定的株高才能促使枸杞侧的生长。表 4 为不同水分处理对枸杞株高的影响结果。

由表 4 可知,各处理枸杞整个生育期株高变化趋势基本相同,春梢生长期和开花期株高急剧增长,结果期株高增长相对缓慢。不同水分处理对枸杞株高有不同的影响。在不同水分情况下,枸杞株高随着灌水量的增加而增加,枸杞株高年增长率表现为:W<sub>6</sub>>

W<sub>5</sub>>W<sub>4</sub>>W<sub>3</sub>>W<sub>2</sub>>W<sub>1</sub>,W<sub>6</sub> 处理株高最大,W<sub>1</sub> 处理株高最小,株高年增长率分别为 61.4 cm 和 32.7 cm。

图 1 为不同对灌水次数对枸杞株高的影响结果。从图 1 可看出,不同灌水次数下,枸杞株高变化趋势大体相同,都具有:展叶期至结果期急剧增长,结果期株高增长相对缓慢。整个生育期灌水 10 次处理株高普遍高于灌水 7 次处理,株高年增长率分别为 49.6 cm 和 37.1 cm,灌水 10 次处理株高比灌水 7 次处理株高 11%。

表 4 不同水分处理对北疆枸杞株高的影响

处理	不同时期枸杞株高/cm				
	展叶期	春梢生长初期	开花期	结果期	秋梢生长期
W <sub>1</sub>	81.8	92.0	105.3	114.4	114.5
W <sub>2</sub>	82.3	94.5	108.7	118.6	119.2
W <sub>3</sub>	86.0	98.3	113.5	124.9	126.1
W <sub>4</sub>	78.6	97.8	114.0	126.7	128.2
W <sub>5</sub>	78.4	106.0	122.7	134.2	136.5
W <sub>6</sub>	78.4	111.0	126.7	137.9	139.8
CK	77.8	90.3	104.6	114.8	115.7

注:表中 W<sub>1</sub>—W<sub>6</sub> 为 6 个处理,详见表 2。下同。

### 2.3 不同水分处理对枸杞茎粗的影响

茎粗是衡量枸杞生长情况的重要指标之一,当枸杞根系周围水分充足时枸杞茎粗加大,不足时茎粗减小,水分影响着枸杞各个器官的生长,因此合理调节水分对于枸杞生长有着不可或缺的影响。表 5 为不同水分处理对枸杞茎粗变化的影响结果。

表 5 不同水分处理对北疆枸杞茎粗的影响

处理	不同时期枸杞茎粗/cm				
	展叶期	春梢生长初期	开花期	结果期	秋梢生长期
W <sub>1</sub>	3.11	3.22	3.61	3.65	3.72
W <sub>2</sub>	3.28	3.41	3.92	4.07	4.13
W <sub>3</sub>	3.89	4.02	4.99	5.10	5.15
W <sub>4</sub>	3.77	3.90	4.89	5.10	5.16
W <sub>5</sub>	3.60	3.72	4.39	4.60	4.66
W <sub>6</sub>	3.51	3.63	4.30	4.44	4.49
CK	2.85	2.86	3.40	3.64	3.69

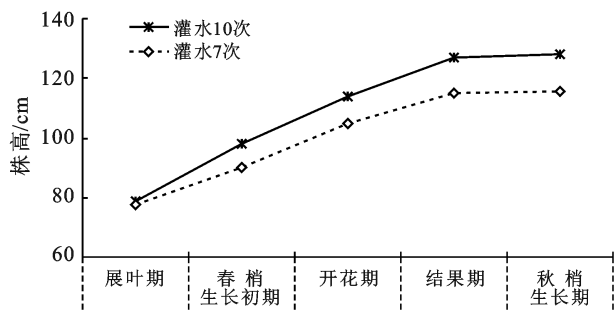


图 1 不同灌水次数对北疆枸杞株高的影响

由表 5 可知,各处理枸杞茎粗变化趋势大体相同,都具有:展叶期至春梢生长期茎粗增长缓慢,结果期株高增长相对缓慢。春梢生长期和开花期枸杞茎粗生长旺盛,到了结果期茎粗增长缓慢。不同水分处理对枸杞茎粗有不同的影响。在不同水分情况下,枸杞茎粗年净增长量,随着灌水量的增加而增加,当灌水量增大到一定程度时茎粗增幅变小,枸杞茎粗净增长量大小表现为:W<sub>4</sub>>W<sub>3</sub>>W<sub>5</sub>>W<sub>6</sub>>W<sub>2</sub>>W<sub>1</sub>,W<sub>4</sub>

处理茎粗净增长量高于其他处理,为 1.39 cm,W<sub>1</sub> 处理茎粗净增长量最小,为 0.61 cm。

图 2 为不同对灌水次数对枸杞茎粗的影响。从图 2 可看出,不同灌水次数下,枸杞株高变化趋势大体相同,都具有:展叶期茎粗增长缓慢,春梢期至现蕾期茎粗急剧增长,结果期茎粗增长缓慢。整个生育期灌水 10 次处理茎粗普遍高于灌水 7 次处理,茎粗年净增长量分别为 1.39 cm 和 0.84 cm,灌水 10 次处理茎粗净增长量比灌水 7 次处理茎粗净增长量高 39%。

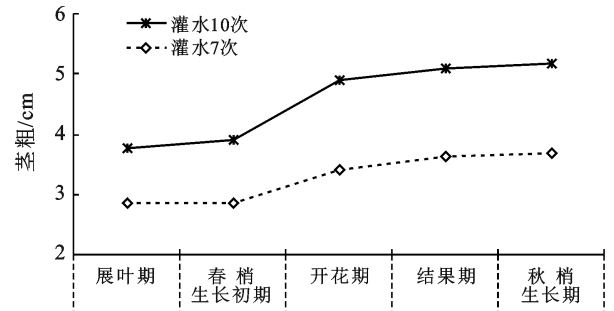


图 2 不同灌水次数对北疆枸杞茎粗的影响

### 2.4 不同水分处理对枸杞冠幅的影响

冠幅是衡量作物长势的重要指标,合理调控水分有利于冠幅增长,直接影响枸杞产量的高低。表 6 为不同水分处理对枸杞冠幅大小的影响。从表 6 可看出,各处理枸杞冠幅大小变化趋势大体相同,都具有:春梢生长期冠幅增生长旺盛,结果期后冠幅增长缓慢。不同水分处理对枸杞冠幅大小有不同的影响。在不同水分情况下,枸杞冠幅年净增长量,随着灌水量的增加而增加,枸杞冠幅净增长量大小表现为:W<sub>6</sub>>W<sub>5</sub>>W<sub>4</sub>>W<sub>3</sub>>W<sub>2</sub>>W<sub>1</sub>,W<sub>6</sub> 处理茎粗净增长量高于其他处理,为 63 cm,W<sub>1</sub> 处理茎粗净增长量最小,为 38 cm。

表 6 不同水分处理对北疆枸杞冠幅的影响

处理	不同时期枸杞冠幅/cm				
	展叶期	春梢生长初期	开花期	结果期	秋梢生长期
W <sub>1</sub>	66	74	98	102	104
W <sub>2</sub>	67	76	102	109	112
W <sub>3</sub>	71	81	109	116	120
W <sub>4</sub>	73	84	117	125	130
W <sub>5</sub>	67	84	119	128	135
W <sub>6</sub>	68	80	116	124	131
CK	70	79	107	113	118

图 3 为不同对灌水次数对枸杞冠幅的影响结果。从图 3 可看出,不同灌水次数下,枸杞株高变化趋势

大体相同,都具有展叶期茎粗增长缓慢,春梢期至开花期冠幅急剧增长,结果后冠幅增长缓慢。整个生育期灌水 10 次处理冠幅大小普遍大于灌水 7 次处理,冠幅年净增长量分别为为 57 cm 和 48 m,灌水 10 次处理冠幅净增长量比灌水 7 次处理茎粗净增长量大 19%。

### 2.5 不同水分处理枸杞耗水规律分析

表 7 为枸杞不同水分处理各生育期阶段耗水量。因枸杞是无限花絮灌木,在枸杞生育期中枝条会不断地开花和结果。由表 7 可知,枸杞生育前期研究区气温较低,枸杞生长缓慢,则需水量就小。随着春梢的生长,枸杞需水量也逐步增加,到了开花期—结果期是枸杞需水达到高峰,即结果期是枸杞需水临界期,结

果期需水强度也达到最大值。枸杞各生育阶段耗水强度表现为:结果期>开花期>春梢生长期>秋梢生长期>萌芽—展叶期,各处理结果期耗水量最大,占总耗水量的 38.8%~41.2%。

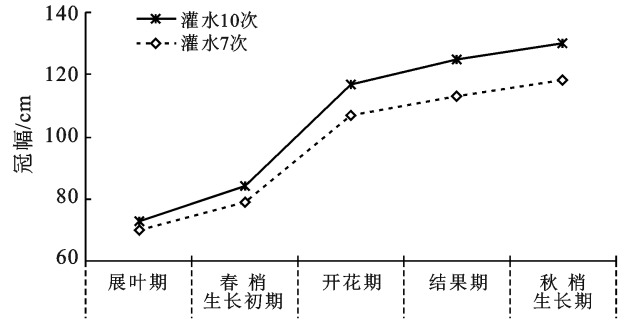


图 3 不同灌水次数对北疆枸杞冠幅的影响

表 7 不同水分处理下北疆枸杞各生育阶段耗水量

处理	项目	不同时期枸杞耗水					全生育期
		萌芽期—展叶期	春梢生长期	现蕾—开花期	结果期	秋梢生长期	
W <sub>1</sub>	灌水量/mm	33.00	66.00	33.00	132.00	66.00	330.00
	耗水量/mm	44.80	77.50	53.70	156.50	70.40	402.90
	耗水强度/(mm·d <sup>-1</sup> )	1.12	3.10	3.58	3.13	1.76	2.37
	占总耗水量/%	11.10	19.20	13.30	38.80	17.50	100.00
W <sub>2</sub>	灌水量/mm	42.00	84.00	42.00	168.00	84.00	420.00
	耗水量/mm	58.00	91.50	57.15	198.00	96.00	500.65
	耗水强度/(mm·d <sup>-1</sup> )	1.45	3.66	3.81	3.96	2.40	2.95
	占总耗水量/%	11.60	18.30	11.40	39.50	19.20	100.00
W <sub>3</sub>	灌水量/mm	51.00	102.00	51.00	204.00	102.00	510.00
	耗水量/mm	62.80	106.25	65.25	233.50	115.20	583.00
	耗水强度/(mm·d <sup>-1</sup> )	1.57	4.25	4.35	4.67	2.88	3.43
	占总耗水量/%	10.80	18.20	11.20	40.10	19.80	100.00
W <sub>4</sub>	灌水量/mm	60.00	120.00	60.00	240.00	120.00	600.00
	耗水量/mm	69.20	126.25	80.85	274.00	126.40	676.70
	耗水强度/(mm·d <sup>-1</sup> )	1.73	5.05	5.39	5.48	3.16	3.98
	占总耗水量/%	10.20	18.70	11.90	40.50	18.70	100.00
W <sub>5</sub>	灌水量/mm	69.00	138.00	69.00	276.00	138.00	690.00
	耗水量/mm	79.60	131.00	85.05	305.00	142.40	743.05
	耗水强度/(mm·d <sup>-1</sup> )	1.99	5.24	5.67	6.10	3.56	4.37
	占总耗水量/%	14.00	17.60	11.40	41.00	19.20	103.00
W <sub>6</sub>	灌水量/mm	78.00	156.00	78.00	312.00	156.00	780.00
	耗水量/mm	87.60	160.75	82.65	346.00	163.20	840.20
	耗水强度/(mm·d <sup>-1</sup> )	2.19	6.43	5.51	6.92	4.08	4.94
	占总耗水量/%	10.40	19.10	9.80	41.20	19.40	100.00

### 2.6 枸杞耗水量与产量、水分利用效率的关系

作物耗水量与产量之间的关系是确定合理灌溉定额,优化灌溉制度的重要基础。图 4 为本次试验枸

杞耗水量与产量的关系。从图 4 可知,枸杞耗水量与产量的关系呈二次抛物线关系,并且具有很好的线性回归相关性( $R^2 = 0.975$ ),枸杞产量随之耗水量的

增加而增加,当耗水量增加到一定程度时,产量反而降低。 $W_1, W_2$  处理产量和耗水量都低于其他处理,说明过低的耗水量不利于产量的形成。 $W_6$  处理耗水量最大,但产量却不是最高,耗水量为 828.1 mm,产量为 12 420 kg/hm<sup>2</sup>,比产量最高的处理  $W_4$  低 1 780 kg/hm<sup>2</sup>,说明耗水量过高也不利于产量的形成。枸杞的产量与耗水量之间的曲线拟合模型为:

$$y = -0.072 6x^2 + 101x - 21 396 \quad (R^2 = 0.975 1) \quad (1)$$

模型求得:当枸杞耗水量为 663 mm 时,所对应的产量最高,为 13 920 kg/hm<sup>2</sup>。

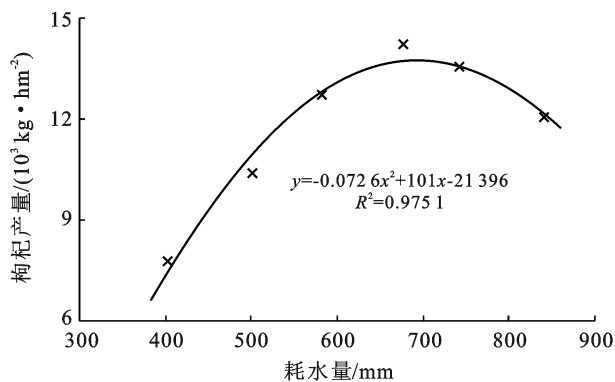


图 4 北疆枸杞滴灌耗水量与产量的关系

水分利用效率 WUE 是指作物消耗单位水分所生产的同化物质的量,提高作物水分利用效率可以降低获得一定产量的需水量,从而达到节水的目的。图 5 为枸杞耗水量与水分利用效率、产量的关系图。从图 5 可以看出,枸杞水分利用效率 WUE 与枸杞生育期内耗水量之间的关系呈二次抛物线关系,并且

也具有很好的线性回归相关性( $R^2 = 0.98$ )。枸杞水分利用效率随之耗水量的增加而增加,当耗水量增加到一定程度时,水分利用效率反而降低。此次试验  $W_3$  处理的水分利用率(WUE)最高,为 1.45 kg/mm,  $W_6$  处理的 WUE 最低,仅为 0.9 kg/mm。枸杞的水分利用效率 WUE 与耗水量之间的曲线拟合模型为:

$$y = -6E-06x^2 + 0.007 3x - 0.619 8 \quad (R^2 = 0.981 2) \quad (2)$$

由模型求得:当枸杞耗水量为 552 mm 时,所对应的水分利用效率最高,达 1.58 kg/mm,对应的枸杞产量为 12 420 kg/hm<sup>2</sup>。

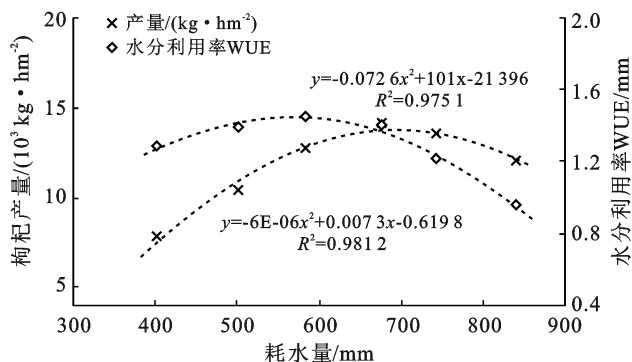


图 5 北疆枸杞滴灌耗水量与水分利用效率、产量的关系

从本次试验结果(表 8)来分析,当耗水量 583 mm 增加到 676 mm 时,枸杞产量从 12 703.5 kg/hm<sup>2</sup> 提高到 14 200.5 kg/hm<sup>2</sup>,枸杞产量提高了 1 497 kg/hm<sup>2</sup>,与此同时,枸杞水分利用效率从 1.45 kg/mm 减少到 1.46 kg/mm,水分利用效率 WUE 并没有发生明显的降低。

表 8 北疆枸杞不同水分处理产量

处理	灌溉定额/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	不同水分处理枸杞产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )				耗水量/ mm	水分利用效率/ (kg·mm <sup>-1</sup> )
		第 1 茬	第 2 茬	第 3 茬	总产量		
$W_1$	3 300	2 185.26	3 121.8	2 497.44	7 804.5	402.9	1.29
$W_2$	4 200	3 545.64	5 065.2	4 052.16	10 413	500.7	1.39
$W_3$	5 100	3 787.98	5 411.4	4 329.12	12 703.5	583.0	1.46
$W_4$	6 000	3 934.14	5 620.2	4 496.16	14 200.5	676.7	1.40
$W_5$	6 900	3 754.38	5 363.4	4 290.72	13 558.5	743.1	1.22
$W_6$	7 800	3 369.66	4 813.8	3 851.04	12 034.5	840.2	0.95
CK	6 000	3 270.12	4 671.6	3 737.28	11 679	677.9	1.15

### 3 讨论

枸杞的株高、茎粗和冠幅等指标是衡量枸杞植株生长发育的重要指标,在枸杞的生育期内株高、茎粗和冠幅大小可以说明枸杞植株的营养好坏,枸杞生长状况良好是保证枸杞产量的前提。本文通过不同灌

水量对枸杞生长的影响研究表明,不同灌水量处理枸杞长势表现不同,随着灌溉量的增加,枸杞株高、幅宽和茎粗表现为增加趋势。枸杞耗水量与产量、耗水量与水分利用效率 WUE 的关系均呈二次抛物线关系。从节水和高产的角度考虑,认为枸杞最优耗水量在 580~670 mm 间时,枸杞达到最高产量。

试验中枸杞只考虑了灌溉定额对枸杞生理生长和产量的影响,没有考滴灌条件下土壤养分对枸杞生长量与产量的影响。同时,关于枸杞生长指标与产量之间具体存在哪种确切的关系等目前研究的还不够清晰,需在接下来的研究工作中深入研究。

## 4 结论

(1) 枸杞株高随着滴灌灌水量的增加而增加,枸杞株高年生长量表现为: $W_6 > W_5 > W_4 > W_3 > W_2 > W_1$ ,随着灌水量的增加而增加。

(2) 枸杞茎粗年净增长量,随着滴灌灌水量的增加而增加,当灌水量增大到一定程度时茎粗增幅变小。

(3) 滴灌方式下枸杞各生育阶段耗水强度表现为:结果期>开花期>春梢生长期>秋梢生长期>萌芽—展叶期;枸杞耗水量与产量、耗水量与水分利用效率 WUE 的关系均呈二次抛物线关系。

(4) 从节水和高产的角度考虑,认为枸杞最优耗水量在 580 ~ 670 mm 间,即灌溉定额 360 ~ 400 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>时,产量和水分利用效率达到最优组合。因此,本文推荐新疆地区枸杞适宜灌溉制度为:枸杞全生育期滴灌定额为 5 700 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,每次灌水定额为 570 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,灌水次数为 10 次,萌芽期—展叶期灌水 1 次,春梢生长期灌水 2 次,现蕾—开花期灌水 1 次,结果期灌水 4 次,秋梢生长期灌水 2 次。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 白寿宁.宁夏枸杞研究[M].银川:宁夏人民出版社,1999.
- [2] 赵世华,杜相革,唐慧锋,等.无公害枸杞生产实用技术[M].银川:宁夏人民出版社,2003.
- [3] 武蕾.不同土壤肥力下氮磷钾配施对枸杞生长、产量及品质的影响[D].甘肃 兰州:兰州大学,2015.
- [4] 戈德堡.滴灌原理与应用[M].北京:中国农业出版社,1983.
- [5] 张志新,等.滴灌工程规划设计原理与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2007:5-8.
- [6] 山仑,徐萌.节水农业及其生理生态基础[J].应用生态学报,1991,2(1):70-76.
- [7] 陈亚新,康绍忠.非充分灌溉原理[M].北京:水利电力出版社,1995.
- [8] 杨文钰,屠乃美.作物栽培学各论[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [9] 加孜拉,白云岗.不同土壤肥力条件下水肥运筹对滴灌冬小麦生长发育与产量品质的影响[J].节水灌溉,2016(9):30-35.
- [10] 赵琴.气温升高与干旱胁迫对宁夏枸杞生长与果实品质的影响[D].宁夏 银川:宁夏大学,2015.
- [11] 马旭,郑艳军,李文证,等.不同灌溉定额对枸杞生长和产量的影响[J].节水灌溉,2016(10):6-9,14.
- [12] 郑艳军,尹娟,尹亮,等.不同灌水处理对枸杞产量和品质的影响[J].节水灌溉,2017(9):28-32.
- [13] 赵彦波,尹娟,程良,等.不同种植模式灌溉定额对枸杞生长指标与产量的影响[J].节水灌溉,2018(6):35-40.
- [14] 杜宇旭,王建东,鲍子云,等.覆膜滴灌下枸杞耗水规律研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2015,6(13):166-170.
- [15] 徐利岗,杜历,鲍子云,等.干旱区枸杞滴灌灌溉制度试验研究[J].节水灌溉,2016(4):1-6.
- [16] 张继林.亏缺灌溉对枸杞水分利用效率和果实品质的影响[J].农业科学研究,2015,36(3):29-34.
- [17] 吴秀玲,李智,尹娟.水分调控对宁夏枸杞光合特性及产量的影响[J].节水灌溉,2017(4):47-49.
- [18] 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.
- [19] 常少刚,王锐,孙权,等.不同灌溉量对枸杞生长发育及产量和品质的影响分析[J].南方农业,2018,12(18):11-12.
- [20] 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.
- [21] 郑国保,张彦红,张源沛,等.不同灌水量对干旱区枸杞水分利用效率及产量和品质的影响[J].新疆农业科学,2018,55(12):2212-2219.