第34卷第2期 水资源与水工程学报 Vol.34 No.2
2023年 4月 Journal of Water Resources & Water Engineering Apr.,2023

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2023.02.27

不同水肥耦合对宁夏枸杞生长、产量及品质的影响研究

于 浩[1]，徐利岗[2]，王怀博[2]

(1.宁夏回族自治区科技特派员创业指导服务中心，宁夏 银川 750001；
2.宁夏回族自治区水利科学研究院，宁夏 银川 750021)

摘 要：为了探讨不同树龄枸杞的生长量、产量及品质对水肥供给差异的响应特征并提出合理的水肥制度，2017—2020年连续开展大田试验，以宁夏中部干旱区宁杞七号枸杞为研究对象，设置灌水量和施肥量2因素3水平试验处理，定位监测各处理枸杞的基径、株高、新梢茎粗与条长等生长指标，以及干果产量、百粒重、粒度等产量指标和营养成分含量的品质指标，分析不同水肥供给对枸杞长势、产量及品质的影响，并提出合理的水肥耦合制度，为干旱区枸杞的田间水肥管理提供科学依据。结果表明：2017—2020年，各处理枸杞基径年均增长量为3.5~5.8 mm/a，BF2处理(中水中肥)基径的4 a累计增量最大，为19.9 mm，较对照组(CK)大31%；株高年均增长量为13.4~26.2 cm/a，CF2处理(高水中肥)的株高年均增幅最大，为30.9 cm/a；新发枝条茎粗增长量平均为2.3 mm/a，BF2处理的新梢条长4 a累积增长量最大，为148.8 cm；枸杞鲜干比为3.89~4.55，平均百粒重为20.77 g，2017—2019年粒度为305~330粒，果品均达到特级；BF2处理枸杞甜菜碱含量最高，为9.0%，CF3处理(高水高肥)枸杞多糖含量最大，为7.4%；蛋白质平均含量为11.09%~12.08%，氨基酸含量平均为7.35%。通过综合分析提出宁夏中部干旱带4~7年龄宁杞七号枸杞最优水肥制度：灌溉定额为3 750 m^3/hm^2(其中春灌为450 m^3/hm^2，生育期灌水为2 700 m^3/hm^2，冬灌为600 m^3/hm^2)，施肥量为720 kg/hm^2(施肥8次，单次施肥量为90 kg/hm^2)。

关键词：宁夏枸杞；水肥耦合；水肥灌溉制度；产量；品质；长势

中图分类号：S567.1+9 **文献标识码**：A **文章编号**：1672-643X(2023)02-0208-08

Effects of different water and fertilizer coupling on the growth, yield and quality of *Lycium barbarum* L. in Ningxia

YU Hao[1], XU Ligang[2], WANG Huaibo[2]

(1. *Guidance and Service Center for Technical Task Forces Enterprise of Ningxia*, *Yinchuan* 750001, *China*;
2. *Ningxia Research Institute of Water Conservancy*, *Yinchuan* 750021, *China*)

Abstract: In order to explore the response characteristics of the growth, yield and quality of *Lycium barbarum* L. with different ages to the differences in water and fertilizer supply, a series of field experiments were carried out continuously from 2017 to 2020 in the arid area of central Ningxia with the cultivar Ningqi 7 as the study object. In the experiments, treatments with two factors of water and three levels of ferlilizer application amounts were set to monitor the growth indicators of base diameter, plant height, new stem diameter and length, yield indicators of dried fruit yield, 100-grain weight and grain size, and quality indicators of nutrient content. Then the effects of different water and fertilizer supply on the growth, yield and quality of *Lycium barbarum* L. were analyzed, and suitable water and fertilizer coupling scheme was put forward to provide some support for the scientific management of water and fertilizer for *Lycium barbarum* L. in arid areas. The results showed that the annual increase of the base diameter of the treatments ranged from 3.5 to 5.8 mm from 2017 to 2020, and the maximum four-year cumulative in-

收稿日期：2022-08-09； **修回日期**：2022-11-26
基金项目：国家重点研发计划项目(2016YFC0400206)；宁夏回族自治区重点研发计划项目(2021BBF02019、2021BBF02012)；宁夏自然科学基金项目(2022AAC02075、2020AAC03481)
作者简介：于 浩(1986—) 男，江苏徐州人，硕士，助理研究员，主要从事节水灌溉及水利工程相关研究。

crease of the base diameter for the treatment BF2 (medium water and fertilizer) was 19.9 mm, which was 31% larger than that of the control (CK). The four-year average increase of plant height was 13.4 – 26.2 cm/a, and treatment CF2 (high water and medium fertilizer) scored the highest increase of 30.9 cm/a. The average stem diameter growth of new branches was 2.3 mm/a, and the highest four-year cumulative growth of new branches was found in treatment BF2, which was 148.8cm. The ratio of fresh-to-dry was 3.89 – 4.55, the average 100-grain weight was 20.77 g, and the grain size ranged from 305 to 330 grains from 2017 to 2019, indicating the fruit all reached the premium grade. Furthermore, the betaine content of treatment BF2 was up to 9.0%, polysaccharide content of treatment CF3 (high water and fertilizer) was up to 7.4%, the average protein content was 11.09% – 12.08% and the average amino acid content was 7.35%. According to the comprehensive analysis, the recommended optimal water and fertilizer scheme for Ningqi 7 in the arid area of central Ningxia is irrigation water amount of 3, 750 m^3/hm^2 (including 450 m^3/hm^2 for spring irrigation, 2, 700 m^3/hm^2 for growth period irrigation and 600 m^3/hm^2 for winter irrigation), fertilizer application amount of 720 kg/hm^2 (eight times of fertilization, 90 kg/hm^2 per application).

Key words: *Lycium barbarum* L. in Ningxia; water and fertilizer coupling; water and fertilizer scheme; yield; quality; growth

1　研究背景

枸杞是多年生茄科枸杞属多枝灌木植物,根系发达,抗旱能力强,广泛种植于我国宁夏回族自治区、甘肃省、青海省、新疆维吾尔自治区等干旱半干旱地区,经济效益较高,宁夏枸杞子(*Lycium barbarum* L.)也被载入《中国药典》。不同水肥供给条件下枸杞的生长、产量及品质的响应特征及其合理的水肥制度被相关学者所关注[1],徐利岗等[2-5]研究了宁夏干旱区枸杞蒸腾耗水变化特征,建立了枸杞水分亏缺多参数诊断模型,提出平水偏丰年型(P = 40%)3 年龄宁杞七号枸杞灌溉定额为 3 750 m^3/hm^2,灌水 14 次,确定了全生育期适宜的土壤含水率下限指标。张继林[6]利用非称重式蒸渗仪研究了 4 年龄枸杞的耗水规律,当耗水量为 600.68 mm 时,畦灌灌水 5 次,5 年龄枸杞最高产量为1 965.47 kg/hm^2,总黄酮含量为 0.87 mg/g[7]。尹亮等[8]认为宁夏枸杞关键期补灌水量为 2 090 m^3/hm^2、施氮量为 342 kg/hm^2、施磷量为 95 kg/hm^2、施钾量为 171 kg/hm^2 时产量及品质较优。新疆北部[9]和陕北[10]沙地 6 年龄枸杞合理的施肥量为:尿素 900 kg/hm^2、磷酸二铵 667.5 kg/hm^2、硫酸钾 540 kg/hm^2,产量达 3 823 kg/hm^2,还可有效提高新梢生长量。由于枸杞是多年生无序花期植物,不同树龄的水肥耦合效应及其产量特征也不同。刘朋召等[11]研究认为,柴达木盆地 2 年生枸杞适宜的水肥模式为:灌水定额 150 ~ 160 m^3/hm^2,施氮量 200 ~ 220 kg/hm^2。刘得俊等[12]研究认为,柴达木巴隆地区 3 年龄的枸杞以灌溉水量 5 010 m^3/hm^2、施肥量 607.50 kg/hm^2 为最佳,产量可达 1 136.85 kg/hm^2。马波等[13]研究优化了宁夏中宁县枸杞灌溉制度,认为 4 年树龄枸杞灌水定额为 225 m^3/hm^2、施氮量为 648.7 kg/hm^2 时最佳;5 年龄枸杞灌水定额为 300 m^3/hm^2、施氮量为 713.6 kg/hm^2 时最佳,产量可达4 113.9 kg/hm^2。朱和等[14]研究认为,6 年龄枸杞灌溉定额为 4 815 m^3/hm^2、施纯氮量为 1 395 kg/hm^2、纯磷量为 360 kg/hm^2、纯钾量为 270 kg/hm^2 时最佳,产量最高可达 9 281.55 kg/hm^2。

目前对枸杞的灌溉制度、水肥耦合效应及其对产量、品质的影响研究较多,但大多是针对某一特定树龄开展的短期研究形成的结论,且地域不同、研究年限不同,得出的结论差异性也较大,而长期持续性地开展连续树龄枸杞水肥耦合研究的报道较少,对不同水肥供给对于不同树龄枸杞植株的长势、产量特征与营养品质的形成以及对水分-养分耦合的响应特征等问题仍然需要深入研究。本文以宁夏中部干旱区宁杞七号枸杞为研究对象,设置不同灌水量和施肥量组合试验处理,在 2017—2020 年连续开展大田试验,监测各处理枸杞生长、产量指标并检测干果营养成分含量,分析不同水肥供给对枸杞长势、产量及品质的影响,并提出相对较优的水肥组合,为干旱区枸杞田间水肥管理提供科学依据。

2　试验区与研究方法

2.1　试验区概况

试验于 2017 年 4 月—2020 年 10 月在宁夏中部

干旱区的同心县河西镇开展。该区域属典型温带大陆性气候，干旱少雨，蒸发强烈。多年平均降水量为 237 mm，且主要集中在 7—9 月，该时段降水量平均占全年的 61.8%。试验区多年平均蒸发量为 2 387 mm，干旱指数为 9.2，多年平均气温为 8.4 ℃，日温差为 13.7 ℃，大于 10 ℃的有效积温为 3 160 ℃，年日照时数为 2 910 h，无霜期为 175 d。试验区土层剖面土壤物理性质和土壤养分及化学性质分别见表 1、2。从表 1 可以看出，试验区 0～100 cm 土层土壤质地为砂壤土，田间持水量平均为 15.57%，土壤容重平均为 1.44 g/cm^3。从表 2 可以看出，试验区0～60 cm 土壤碱解氮和速效磷、钾的含量平均值分别为 25.48、11.00 和 101.25 mg/kg，有机质含量平均为 7.65 g/kg，pH 平均值为 8.66，土壤全盐含量为 4.79‰。试验区 2017—2020 年 4—10 月份的降雨量见表 3。从表 3 可以看出，试验区枸杞生育期内多年平均降水量为 210.1 mm。区域地下水埋深在 6.0 m，灌溉水源为黄河水，矿化度为 0.4 g/L。

表 1　试验区土层剖面土壤物理性质

土层深度/cm	容重/(g·cm^{-3})	孔隙度/%	田间持水量/%	饱和含水量/%
0～20	1.44	46	16.1	31
20～60	1.46	45	15.4	32
60～100	1.43	46	15.2	30

表 2　试验区土层剖面养分及化学性质

土层深度/cm	有机质/(g·kg^{-1})	碱解氮/(mg·kg^{-1})	速效磷/(mg·kg^{-1})	速效钾/(mg·kg^{-1})	pH	全盐含量/‰
0～20	8.63	33.88	10.23	112.0	8.50	4.79
20～60	6.67	17.08	11.77	90.5	8.81	4.79
60～100	5.50	17.78	13.88	85.5	8.43	4.78

表 3　2017—2020 年试验区枸杞生育期(4—10 月)月降水量　mm

年份	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	合计
2017 年	13.2	16.5	5.3	32.5	72.4	55.8	30.3	226.0
2018 年	15.8	46.1	16.7	34.8	57.0	10.6	19.2	200.2
2019 年	8.6	16.3	29.5	58.3	54.8	16.9	25.8	210.2
2020 年	6.9	23.8	31.0	36.9	76.6	13.4	15.3	203.8
多年平均	11.1	25.7	20.6	40.6	65.2	24.2	22.7	210.1

2.2　试验设计

(1)供试作物：5～8 年龄丰产期枸杞树，品种为宁杞 7 号。

(2)小区布置：每小区尺寸为 12 m×9 m，株行距为 0.70 m×3 m。采用四级管网，主管为 PEΦ63，支干管为 PEΦ40，支管为 PEΦ32，毛管为 PEΦ16 滴灌管，滴头间距为 30 cm，滴头流量为 2 L/h。

(3)处理设置：自 4 月中下旬至 9 月下旬，全生育期共灌水 15 次，分别为萌芽期灌水(春灌)1 次，春梢生长期灌水 1 次、始花期灌水 2 次、夏果期灌水 8 次、秋季生长期灌水 3 次，另外在 10 月中下旬休眠期灌冬水 1 次。设置 3 个水分处理，即低水(A，3 300 m^3/hm^2)、中水(B，3 750 m^3/hm^2)、高水(C，4 350 m^3/hm^2)；设置 3 个施肥处理，即低肥(F1，480 kg/hm^2)、中肥(F2，720 kg/hm^2)、高肥(F3，960 kg/hm^2)，全年施肥 8 次。2 因素 3 水平完全区组设计，全部处理为 AF1、AF2、AF3、BF1、BF2、BF3、CF1、CF2、CF3，设常规水、肥管理为对照(CK)，各处理重复 3 次，试验设计见表 4。

(4)田间管理：各处理小区田间管理完全一致。肥料采用单质肥配施，其中氮素为尿素，磷素为磷酸一铵，钾素为硫酸钾。

2.3　测定项目与方法

(1)枸杞生长量指标：在每个试验处理小区分别选定典型植株，从萌芽期至落叶期利用游标卡尺及钢卷尺分别测定植株基径(枸杞主干地面根颈部位的直径)和株高，在东、西、南、北方向各选 1 条新发枝条进行标记并测定其茎粗与条长，各生长量指标每个生育期测定 1 次。

(2)测产：测定典型样株夏果、秋果产量、总产

量并折算单位面积均产量。每个小区选择 3 株典型植株,夏果成熟后全部采摘(成熟一批,采摘一批)称量鲜果重及百粒重,经处理后晾晒称干果重、百粒重及粒度;秋果成熟后,测产方法相同。百粒重为 100 粒枸杞鲜果(干果)的克数;粒度为 50 g 干果所含枸杞的粒数。

(3)品质测定:从不同水肥处理典型植株的枸杞干果中分别选取 1 000 g,送至第三方检测机构进行多糖、甜菜碱、总糖、粗脂肪、蛋白质、氨基酸总量等营养成分含量的检测。

2.4　试验数据与统计分析方法

本文对 2017 年 4 月—2020 年 10 月在宁夏同心县河西镇开展大田试验获取的枸杞全生育期生长量、经济产量和品质等监测数据,采用 Excel 2020 和 DPS9.5 等软件进行处理、统计分析及绘图。

3　结果与分析

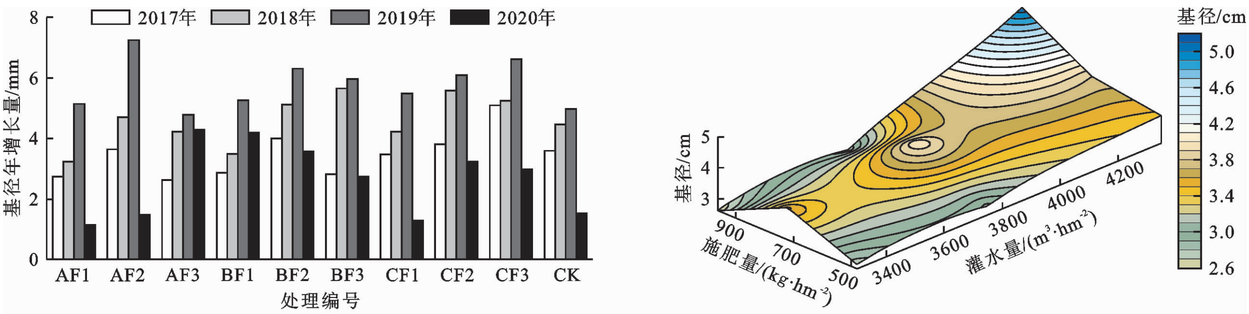
3.1　不同水肥处理枸杞生长量变化特征分析

3.1.1　不同水肥处理枸杞基径与株高变化特征　2017—2020 年对不同水肥处理典型枸杞样株的基径和株高进行连续监测,绘制各年度不同试验处理枸杞基径变化及其三维趋势图和枸杞株高变化及其三维趋势图,分别如图 1、2 所示。

由图 1 可以看出,随着树龄的增加,枸杞吸收利

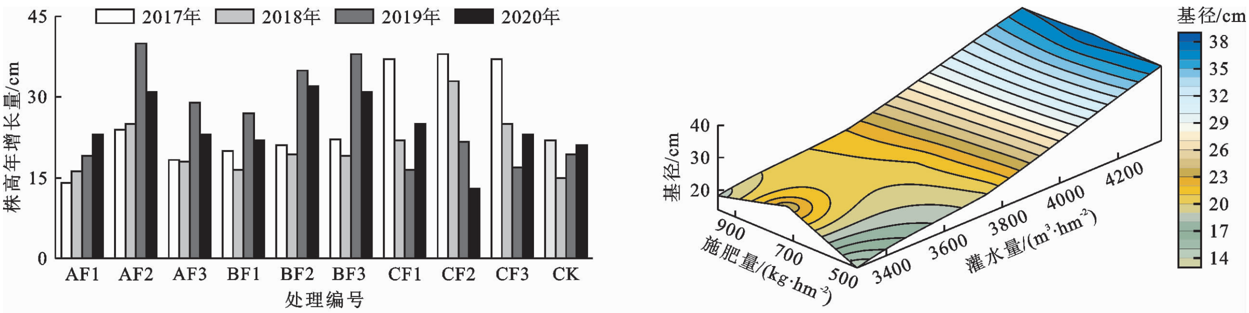
表 4　枸杞滴灌水肥耦合灌溉试验设计表

生育期	灌溉时间	灌水次数	灌水量/($m^3 \cdot hm^{-2}$)			施肥次数	施肥量/($kg \cdot hm^{-2}$)			
			A	B	C		F1	F2	F3	养分配比(氮:磷:钾)
萌芽期	4 月中下旬(春灌)	1	450	450	450	0	0	0	0	
春梢生长期	4 月下旬—5 月上旬	1	150	180	225	1	60	90	120	1:0.26:0.33
始花期	5 月中旬—下旬	2	300	360	450	2	120	180	240	1:0.26:0.33
夏果期	6 月上旬—7 月下旬	8	1500	1800	2175	4	240	360	480	1:1.27:1.02
秋季生长期	8 月上旬—9 月下旬	3	300	360	450	1	60	90	120	1:1.27: 1.02
休眠期	10 月中下旬(冬灌)	1	600	600	600	0	0	0	0	
合计		16	3300	3750	4350	8	480	720	960	



(a) 不同水肥处理枸杞基径年增长量　　(b) 不同水肥处理枸杞基径年增长三维趋势图

图 1　试验期不同水肥处理枸杞基径年增长量及其三维趋势图



(a) 不同水肥处理枸杞株高年增长量　　(b) 不同水肥处理枸杞株高年增长三维趋势图

图 2　试验期不同水肥处理枸杞株高年增长量及其三维趋势图

用水分和养分的能力增强，基径不断增加（图1(a)）。不同水肥处理枸杞的基径年平均增长量从2017年的3.5 mm增加至2019年的5.8 mm，其中BF2（中水中肥）基径总增加量最大，为19.9 mm，平均每年增长量为4.98 mm，其次为CF3（高水高肥），基径总增量为19.0 mm，较CK（对照组）增加30%，AF1（低水低肥）的基径总增加量最小，平均每年增长量为3.08 mm，较CK小15.7%。从灌水量、施肥量和基径3参数的曲面趋势（图1(b)）可以看出，在灌水水量为3 700~3 900 m^3/hm^2区间、施肥量为650~750 kg/hm^2区间出现了基径的峰值区，表明对应的中水中肥试验处理的基径最大。由图2可知，2019年各处理枸杞株高平均增幅最大，为26.2 cm，较CK高25.6%，2017年次之，为25.4 cm，2020年最小，为13.4 cm；各处理中株高年均增长量最大的是CF2（高水中肥），为30.9 cm，其次是AF2（低水中肥），为29.7 cm，AF1（低水低肥）最小，为16.4 cm（图2(a)）。从灌水量、施肥量和株高3参数曲面趋势（图2(b)）可以看出，在灌水量为4 100 m^3/hm^2以上区间、施肥量为650~750 kg/hm^2区间出现了株高的峰值区，表明对应的高水中肥试验处理的株高最大。

总体来看，各处理中BF2（中水中肥）的基径增量和CF2（高水中肥）的株高增量最大，合理的水肥匹配可以实现枸杞植株的快速生长，虽然试验期内枸杞植株基径与株高各年度增幅有所差异，但均逐年增大。

3.1.2 *不同水肥处理枸杞新发枝条生长情况* 对各试验处理典型样株2017—2020年典型新发枝条（新梢）的茎粗（表5）和长度（表6）进行统计，分析新梢对不同水肥供给的响应特征。从表5可以看出，各处理新梢茎粗平均增量最大的年份是2018年，为2.29 mm，处理AF1、BF3和CF1之间以及处理AF2、BF1和CF3之间的新梢长度变化量差异不显著，其他各试验处理之间差异显著（$P=0.05$）；其次为2020年，新梢茎粗平均增量为1.92 mm。试验期各处理新梢茎粗平均累计增加7.94 mm。在各处理中，新梢条茎粗累积增量最大的是AF2（低水中肥），为8.75 mm；其次是BF1（中水低肥），为8.64 mm；CK最小，为6.83 mm。总体而言，中水变肥试验处理（BF）的新梢茎粗大于低水、高水变肥处理；中肥变水试验处理（A/B/CF2）的新梢茎粗大于低肥、高肥变水的处理。从表6可以看出，试验期各处理新梢条长度平均增量最大的年份是2017年，为43.15 cm，仅有AF1、BF2和CK与各处理之间差异显著，其他各处理之间差异不显著。2020年各处理的新梢长度增量均较小，平均为23.47 cm，其中AF1新梢长度增量最小，为20.10cm。各处理新梢条长度累积增长量最大的是BF2，为148.75 cm；其次是BF3，为140.58 cm；AF2最小，为87.50 cm。总体而言，中水变肥试验处理（BF）的新梢长度增量大于低水、高水变肥处理；高肥变水试验处理（A/B/CF3）的新梢长度增量高于低肥、中肥变水的处理。综上可知，中水中肥条件下新梢茎粗和长度生长均优于其他水肥处理。

3.2 不同水肥处理枸杞产量特征分析

2017—2020年试验期间对各试验区进行测产，并绘制不同年份各处理枸杞产量特征变化图（见图3），分析干果产量、果实鲜干比、百粒重及50 g粒数等产量特征对不同水肥供给的响应。

由图3(a)可知，随着树龄的增大，枸杞干果产量从2017年的639.45 kg/hm^2（AF1）增加到了2020年的1 876.65 kg/hm^2（BF2）。各处理中多年平均干果产量最大的是BF1，为1 304.36 kg/hm^2，较CK高14.29%；其次是BF2，为1 220.76 kg/hm^2，较CK高6.96%；产量最小的是AF2，为1 078.61 kg/hm^2。不同水肥处理的干果产量差异显著。由图3(b)可知，不同年份各处理枸杞果实鲜干比平均值在3.89~4.55范围内，其中，2019年鲜干比平均值最大，为4.55，其他各年份不同试验处理的鲜干比差异较小。说明在试验区所在枸杞产区的气候条件及制干水平下，不同水肥供给条件对枸杞鲜干比影响不大。图3(c)显示，试验期各年份不同水肥处理下枸杞百粒重的变化趋势基本一致。2017年各处理百粒重均大于其他年份，其中CF3处理百粒重最大，为20.35 g；2018—2020年平均百粒重最大的仍是CF3（高水高肥），为17.77 g，其次是BF2（中水中肥），为17.23 g，AF1处理最小，为14.76 g，其他处理均高于CK的16.06 g，综合认为中水变肥处理对百粒重指标影响较大。由图3(d)可知，2017—2020年不同试验处理的平均粒度（50 g枸杞所含颗粒的个数）分别为305、331、308和366，根据《枸杞》（GB/T 18672—2014）中的枸杞等级划分标准，粒度≤280为特优，粒度≤370为特级，粒度≤580为甲级，因而各年份不同水肥处理的枸杞均为特级果，品质较高。从各处理来看，BF1的粒度等级较高，各年份的粒度在281~357范围内；其次为BF2，各年份的粒度在280~382范围内；AF1的粒度等级最差，各年份的

粒度在 315～387 范围内。究其原因认为在低水低肥的供给条件下,枸杞营养生长和生殖生长均受到一定的抑制,导致产量最低、百粒重最小、果粒偏小,因而造成粒度偏大,等级相对较低。

表 5　试验期不同水肥处理枸杞新梢茎粗变化量　　mm

年份	AF1	AF2	AF3	BF1	BF2	BF3	CF1	CF2	CF3	CK	平均值
2017	1.70d	1.92c	1.79a	2.03a	1.53b	2.00d	2.53 ab	1.86b	2.04ac	1.74e	1.91
2018	2.12c	2.35b	2.04a	2.57b	2.17e	2.93c	2.29c	2.85a	1.78bc	1.82d	2.29
2019	1.83c	1.92ab	2.17c	2.22a	1.76d	1.83bc	1.37c	1.95a	1.54ac	1.57de	1.82
2020	2.00a	2.56d	2.04ab	1.82ac	2.66e	1.78ac	1.44a	1.67d	1.49b	1.70d	1.92
累计值	7.65	8.75	8.04	8.64	8.12	8.54	7.63	8.33	6.95	6.83	7.94
平均值	1.91	2.19	2.01	2.16	2.03	2.13	1.91	2.08	1.71	1.71	1.98

注:同行数据中不同小写字母表示不同处理的 5% 水平上的差异,下同。

表 6　试验期不同水肥处理枸杞新梢长度变化量　　cm

年份	AF1	AF2	AF3	BF1	BF2	BF3	CF1	CF2	CF3	CK	平均值
2017	42.75b	40.25a	43.50a	42.50d	48.00c	44.75a	42.75a	43.00ac	40.75ab	43.25e	43.15
2018	22.00a	26.00ab	36.00a	35.00c	40.00d	37.00e	35.00c	29.00e	36.00a	30.00bc	32.60
2019	25.50ab	24.00b	25.00c	29.80ac	39.25e	32.33c	28.00bc	33.67a	35.33d	23.50d	30.26
2020	20.10ac	21.25ab	24.50a	22.20de	21.50d	26.50b	20.25cd	25.50b	28.00a	21.50ab	23.47
累计值	90.25	87.50	129.00	129.50	148.75	140.58	126.00	131.17	140.08	118.25	129.48
平均值	30.08	29.17	32.25	32.38	37.19	35.15	31.50	32.79	35.02	29.56	32.51

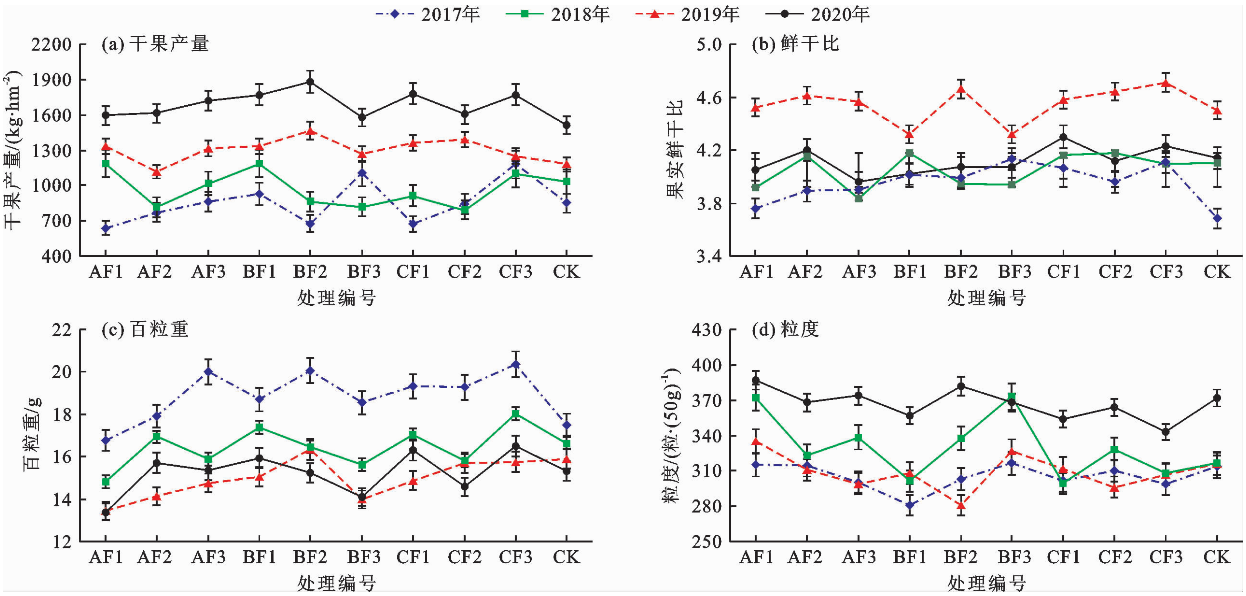


图 3　试验期各年份不同水肥处理枸杞产量特征变化图

综合上述枸杞干果产量构成因素的试验结果与分析认为,BF2(中水中肥)或 BF3(中水高肥)处理的枸杞产量相对较高、百粒重较大、粒度小,果品等级较高。

3.3　不同水肥处理宁夏枸杞品质分析

枸杞子是一味名贵中药材,含有多种氨基酸,并含有甜菜碱、枸杞多糖等特殊营养成分,使其具有较高的药用价值和保健功效,而不同水肥供给条件对枸杞营养成分含量也有显著影响作用[1]。2017—2020 年试验期间,检测了各年份不同水肥处理下枸杞干果的甜菜碱、多糖、蛋白质、氨基酸总量等营养成分含量以分析其品质变化,检测结果如图 4 所示。

由图 4(a)可以看出,2018—2020 年各处理甜菜碱含量的变化相似,低水和中水试验处理的甜菜

碱含量要高于高水处理试验,中肥处理的要高于低肥处理的。AF2和BF2甜菜碱含量均较高,2019年含量最高,分别为0.89%和0.90%,较CK分别高41.27%和42.85%。中肥处理BF2的甜菜碱含量比相应的低肥处理BF1高38.9%,比相应的高肥处理BF3高43.2%。由图4(b)可以看出,2017—2020年各水肥处理的枸杞多糖含量变化规律相似,2017年各处理多糖平均含量较高,为7.27%,较2019年平均含量(5.29%)高37.4%,较2020年平均含量(6.21%)高17.1%,其中BF1处理多糖含量最高,为8.13%,其次为AF2处理的8.08%。分析认为中水低肥或低水中肥处理有利于枸杞多糖的形成。由图4(c)可以看出,各年份的枸杞蛋白质含量变化规律不同,2017—2020年枸杞蛋白质平均含量分别为11.53%、11.09%、12.08%和11.46%。2017、2019—2020年,CF1处理的蛋白质含量均较高,表现比较明显,较CK分别高5.51%、5.33%和1.98%,其次为BF2处理。由图4(d)可以看出,不同水肥处理枸杞干果氨基酸含量差异不大,但各年份不同处理变化的规律性较差,各处理多年平均含量为6.87%~7.62%。2018—2020年,BF3处理的氨基酸含量均较高,为7.33%~8.20%。综合分析认为中肥处理条件下的BF2和AF2的枸杞干果品质指标表现较优。

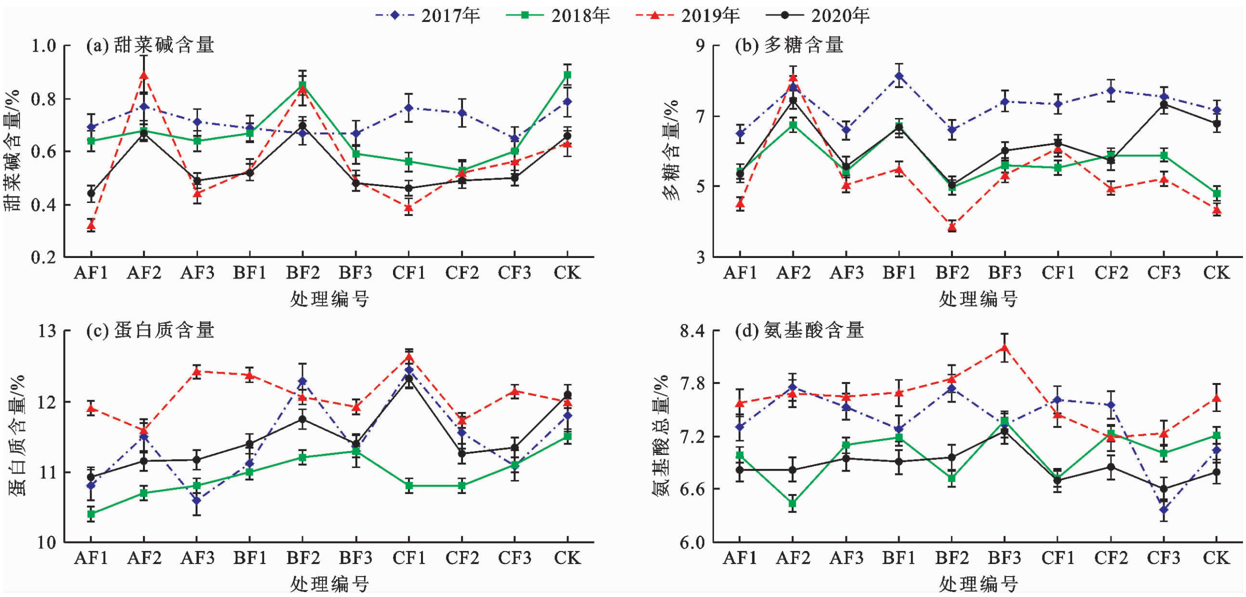


图4 试验期各年份不同水肥处理枸杞干果品质变化图

4 讨 论

枸杞是药食同源植物,其产量和品质除了受地域、气候和气象条件等因素的影响外,水分和养分供给也起到了重要的作用[15]。本文以目前宁夏、青海和新疆等地主栽的"宁杞七号"枸杞为研究对象,连续4年在宁夏中部干旱区同心县开展定位试验研究,得出不同水肥处理下5~8年龄枸杞树随着树龄的增加,其基径和株高不断增加。研究期内基径年均增长量为3.5~5.8 mm,累计最大增长量为19.9 mm,在灌溉水量为3 700~3 900 m^3/hm^2、施肥量为650~750 kg/hm^2的区间出现基径的峰值;研究期内株高年均增长量为13.4~26.2 cm,在灌溉水量为4 100~4 350 m^3/hm^2、施肥量为650~750 kg/hm^2的区间出现株高峰值,合理的水肥匹配可以实现枸杞植株的快速生长。刘宇朝等[16]在同心地区对4年龄宁杞七号研究得出,灌水量为3 825 m^3/hm^2、施肥量为689 kg/hm^2时,基径年增长量为4.2~7.3 mm,株高在开花初期(5月20日)至果熟期(6月20日)平均增幅为0.62 cm/d,全年增长量为18.6 cm,本文的试验研究结果与该文献的结论基本一致。另外,马波等[13]对宁夏中宁县4年龄枸杞树的研究以及韩宏伟等[9]对新疆沙地6年龄枸杞树的研究也有相似结论。本研究通过连续4年的试验数据分析认为,灌溉定额为3 750 m^3/hm^2、灌水次数为16次(含冬灌)、施肥量为720 kg/hm^2时,枸杞产量最高,果品达到特级;枸杞甜菜碱含量为9.0%、多糖含量为8.13%,优于其他水肥处理的表现,中水低肥或低水中肥处理有利于枸杞甜菜碱和多糖的形成。上述结论与"宁夏中部干旱带4年龄枸杞[17]滴灌生育期最优灌溉定额为3 375 m^3/hm^2(不含冬灌),灌溉定额达到3 450 m^3/hm^2时,枸杞产量不随灌水定额的增

加而显著提高,50 g 粒数也没有显著降低[18],灌水过多也会影响枸杞多糖和甜菜碱含量[19]”等结论基本一致。但郑艳军等[20]通过研究认为灌溉定额达到 4 800 m^3/hm^2 时产量最高;尹志荣等[21]研究得出宁杞 7 号在 4 350 m^3/hm^2 灌水量时,其甜菜碱及总糖质量分数量最高,分别达到 1.29% 和 15.7%,这些结论之间或与本文结论均有不同之处,究其原因可能是枸杞是无序花期多年生的经济林木,不同树龄枸杞的需肥、需水规律有所区别,其长势、产量及品质对不同水肥供给的响应特征存在一定的差异性。同时,多数学者主要针对某一确定树龄的枸杞树进行了 1 ~2 a 的监测与研究,而本文则连续开展了 4 a 的监测,对 5 ~8 年龄枸杞进行了持续研究,因而本文研究结果可能与部分文献的结论有所差异。随着全球气候变化的发生与发展[22],作物的需水特征和耗水规律将受到深刻影响,因此对作物水肥耦合互促及适宜的灌溉制度进行研究仍将是一个持续不断的过程。

5 结　论

以宁夏中部干旱区宁杞 7 号枸杞为研究对象,设置不同水肥处理,于 2017 年 4 月—2020 年 10 月对 5 ~8 年龄枸杞树生长量、经济产量、果实品质进行连续监测,分析了枸杞对不同水肥供给的响应特征,并提出较优的水肥耦合制度,为干旱区枸杞合理水肥管理提供科学依据。得出的主要结论如下:

(1)2017—2020 年,不同水肥处理下枸杞基径的年均增幅为 3.5 ~5.8 mm/a,累计增长量为 12.3 ~19.9 mm,其中 BF2 处理(中水中肥)增长量最大,为 19.9 mm,平均增速为 4.98 mm/a,较 CK 增加 31.00%。株高年均增幅为 13.4 ~26.2 cm/a,年均增长量最大的是 CF2(高水中肥),为 26.2 cm/a。新梢茎粗 4 a 累计平均增加 7.94 mm;BF2 处理新梢条长增长量最大,平均为 37.19 cm/a,累积增长量也最大,为 148.75cm。中水中肥和高水中肥处理相对较优,可以实现枸杞植株的快速生长。

(2)2017—2020 年,枸杞干果产量从 639.45 kg/hm^2 增加到 1 876.65 kg/hm^2,BF1 处理(中水低肥)平均产量最大,为 1 304.36 kg/hm^2,较 CK 高 14.29%,处理间产量差异显著。各处理枸杞果实鲜干比在 3.89 ~4.55 范围内,百粒重平均为 20.77 g,BF3 处理(中水高肥)最大为 23.35 g,其次为 BF2 处理为 17.23 g。各年份不同试验处理的粒度平均为305 ~366,均为特级果,品质较高。BF1 处理各年份的粒度普遍较小,粒度等级较高,为 281 ~357 粒;其次为 BF2,各年份的粒度在 280 ~382 范围内。中水中肥或中水高肥处理的枸杞产量相对较高、百粒重较大、粒度小,果品等级较高。

(3)2018—2020 年,低水和中水处理的甜菜碱含量高于高水处理,中肥处理的高于低肥处理的。BF2 处理含量最高,为 0.90%,较 CK 高 42.85%,比低肥处理 BF1 高 38.9%。2017 年各处理枸杞多糖平均含量较高,为 7.27%,比 2020 年平均含量高 17.1%,其中 BF1 处理枸杞多糖含量最高,为 8.13%,中水低肥或低水中肥处理有利于枸杞多糖的形成。2019 年枸杞蛋白质平均含量最高,为 12.08%,各年份 CF1 处理(高水低肥)的枸杞蛋白质平均含量普遍为最高。不同水肥处理下枸杞干果氨基酸含量多年平均值为 6.87% ~7.62%,各年份 BF3 处理的氨基酸含量普遍较高,为 7.33% ~8.20%。综合分析认为 BF2 和 AF2 处理的枸杞干果品质指标表现较优。

(4)综合分析各处理枸杞的生长指标、产量指标和品质指标得出较优的水肥耦合灌溉制度:灌溉定额为 3 750 m^3/hm^2,全生育期灌水次数为 16 次,分别为萌芽期灌水 1 次 450 m^3/hm^2、春梢生长期灌水 1 次 180 m^3/hm^2、始花期灌水 2 次共 360 m^3/hm^2、夏果期灌水 8 次共 1 800 m^3/hm^2、秋季生长期灌水 3 次共 360 m^3/hm^2、休眠期(冬灌)灌水 1 次 600 m^3/hm^2,施肥量为 720 kg/hm^2(施肥 8 次,单次施肥量为 90 kg/hm^2),该灌溉制度可为宁夏中部干旱区枸杞种植中水肥管理提供有益参考。

参考文献:

[1] 马 波,田军仓. 枸杞产量和品质水肥效应研究进展[J]. 节水灌溉,2020(11):6 -11.

[2] 徐利岗,苗正伟,杜 历,等. 干旱区枸杞树干液流变化特征及其影响因素[J]. 生态学报,2016,36(17):5519 -5527.

[3] 徐利岗,杜 历,汤 英,等. 干旱区枸杞蒸腾耗水变化特征及其影响因子响应分析[J]. 干旱区地理,2016,39(6):1282 -1291.

[4] 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 +10.

[5] 徐利岗,王怀博,鲍子云,等. 基于土壤水分下限的宁夏枸杞滴灌灌溉制度试验研究[J]. 排灌机械工程学报,2020,38(5):523 -529.

[6] 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 -31 +34.

(下转第 224 页)

特征及产量对不同抗旱措施的响应[J]. 玉米科学, 2022,30(5):80－89.

[32] 杨睿,范军亮,赖珍林,等. 河西地区滴灌春玉米对不同灌溉决策方法的响应[J]. 排灌机械工程学报,2022,40(9):966－972.

[33] 王玉凤,李庆,张翼飞,等. 耕作方式对三江平原玉米生长发育及水分利用影响[J]. 玉米科学,2022,30(3):116－125.

[34] 王荣荣,王海琪,蒋桂英,等. 2个不同抗旱性小麦品种耗水特征及根系生理特性对开花期干旱的响应[J]. 水土保持学报,2022,36(4):253－264.

[35] 吴克倩,肖让,赵文举,等. 降解地膜对河西干旱区土壤水热及制种玉米产量的影响[J]. 排灌机械工程学报,2022,40(9):952－958.

[36] 元雪娇. 基于遥感技术的内蒙古东部干旱对玉米物候及产量的影响研究[D]. 呼和浩特:内蒙古师范大学,2022.

[37] 徐剑,赵经华,黄红建,等. 不同灌水定额对膜下滴灌玉米生长指标及产量的影响[J]. 节水灌溉,2017(1):28－32.

[38] 王月. 关中西部小麦－玉米轮作系统水氮周年统筹优化研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2022.

[39] 熊雪,邵玲智,董建新,等. 承德坝上御道口地区不同燕麦品种生产性能及饲用价值[J]. 草业科学,2022,39(7):1412－1418.

[40] 宋建华. 全株玉米青贮的收购价格分析[J]. 中国畜禽种业,2022,18(6):49－50.

[41] 姜春光,郑鑫慧. 基于熵权－TOPSIS模型的电网企业应急能力建设评价[J]. 工业安全与环保,2021,47(12):50－53.

[42] 李若帆,马娟娟,孙西欢,等. 不同水肥管理模式下糯玉米水氮利用及熵权TOPSIS综合评价[J]. 干旱地区农业研究,2020,38(4):111－120.

(上接第215页)

[7] 邓箴,尹娟,尹亮. 不同水肥处理对宁夏枸杞产量及水肥利用效率的影响[J]. 节水灌溉,2021(3):25－30.

[8] 尹亮,尹娟,赵彦波,等. 旱区水肥耦合对枸杞果实糖类和类胡萝卜素的影响[J]. 灌溉排水学报,2018,37(8):27－31.

[9] 韩宏伟,王建友,李勇,等. 沙壤土条件下不同施肥水平对成龄枸杞生长及产量的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2015,35(4):46－50.

[10] 刘晓丽,马理辉,李娟娟,等. 滴灌水肥一体化对陕北沙地枸杞产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报,2020,39(S1):13－16＋25.

[11] 刘朋召,李孟浩,宋仰超,等. 滴灌水肥一体化对枸杞产量、水氮利用及经济效益的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2021,27(10):1820－1828.

[12] 刘得俊,李润杰. 柴达木巴隆地区枸杞滴灌水肥耦合效应研究[J]. 安徽农业科学,2016,44(32):117－118＋199.

[13] 马波,田军仓. 基于水氮耦合的枸杞灌溉制度优化[J]. 水土保持学报,2020,34(6):235－243.

[14] 朱和,田军仓,杨凡,等. 水肥气热耦合对枸杞光合作用和产量的影响[J]. 排灌机械工程学报,2022,40(5):511－518.

[15] 张自刚. 枸杞生长水分和养分需求规律研究进展[J]. 中国农业信息,2016(24):75－77.

[16] 刘宇朝,尹娟,耿浩杰,等. 水肥耦合对枸杞生长特性及光合作用的影响[J]. 节水灌溉,2019(3):34－37＋42.

[17] 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,2015,13(3):166－170.

[18] 李金泽,杜历,唐瑞,等. 不同灌溉定额对枸杞产量和品质的影响[J]. 黑龙江水利,2017,3(11):1－5.

[19] 陈爽,田军仓,马波. 滴灌灌溉定额对贺兰山东麓枸杞生长和产量的影响[J]. 宁夏工程技术,2019,18(4):367－370＋374.

[20] 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.

[21] 尹志荣,雷金银,桂林国,等. 不同滴灌量对不同品种枸杞生长、产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报,2018,37(10):28－34.

[22] 周波涛. 全球气候变暖:浅谈从AR5到AR6的认知进展[J]. 大气科学学报,2021,44(5):667－671.