

滴灌灌水量对枸杞土壤水分及养分迁移特征的影响

尹志荣, 雷金银, 赵 营, 桂林国, 黄建成

(宁夏农林科学院 农业资源与环境研究所, 银川 750002)

摘 要:为探讨不同滴灌条件下枸杞园土壤水分及养分迁移的规律,采用田间试验研究了 5 个滴灌量水平(W_1 为 $5\ 100\ \text{m}^3/\text{hm}^2$, W_2 为 $4\ 350\ \text{m}^3/\text{hm}^2$, W_3 为 $3\ 600\ \text{m}^3/\text{hm}^2$, W_4 为 $2\ 850\ \text{m}^3/\text{hm}^2$, W_5 为 $2\ 100\ \text{m}^3/\text{hm}^2$)对枸杞土壤水分及养分迁移特征的影响。结果表明:枸杞园土壤水分变化主要集中在 20—60 cm 土层,灌水后 1~5 d, 0—20 cm 土层含水量随着灌水量的减少而增加,而 20—40 cm 及 40—60 cm 土层含水量为先减少后增加,当灌水量减少到一定程度时(低于 $2\ 100\ \text{m}^3/\text{hm}^2$),各土层含水量下降。同时,不同处理土壤含水量随土层深度而逐渐增加。土壤养分迁移主要发生在 0—40 cm 土层,灌水后碱解氮向深层土壤的迁移量逐渐减小。灌水后不同处理有效磷在土壤剖面的分布趋势基本一致,主要富集在 0—20 cm 土层,其含量为 90~200 mg/kg。土壤速效钾含量呈波动性变化,随枸杞生育期延长其含量逐渐降低。与常规滴灌量相比, W_4 处理增加了土壤含水量,但 W_2 、 W_5 处理下土壤含水量降低,减缓了土壤速效养分向深层迁移,提高根层养分的吸收利用,有利于枸杞产量和品质的改善。可见,关键生育期调控灌溉可以作为调节土壤水分分布及土壤速效养分迁移转化的有效方式。

关键词:滴灌量;枸杞;土壤水分;土壤速效养分

中图分类号:S157.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)04-0062-08

Effects of Drip Irrigation Amounts on Characteristics of Moisture and Nutrient Transfer in Soil in the *Lycium barbarum* Field

YIN Zhirong, LEI Jinyin, ZHAO Ying, GUI Linguo, HUANG Jiancheng

(Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China)

Abstract: In order to investigate the characteristics of soil moisture and nutrient transfer under different irrigation amounts conditions in the *Lycium barbarum* field, a field experiment was conducted to study the effects of five drip irrigation amounts (W_1 , $5\ 100\ \text{m}^3/\text{hm}^2$; W_2 , $4\ 350\ \text{m}^3/\text{hm}^2$; W_3 , $3\ 600\ \text{m}^3/\text{hm}^2$; W_4 , $2\ 850\ \text{m}^3/\text{hm}^2$; W_5 , $2\ 100\ \text{m}^3/\text{hm}^2$) on soil moisture and nutrient transfer in the *Lycium barbarum* field. The results showed that soil moisture changed dramatically in 20—60 cm soil depth in the *Lycium barbarum* field; soil moisture of 0—20 cm increased with the decrease of irrigation amounts, however, soil moisture decreased first and then increased in soil depth of 20—40 cm and 40—60 cm after drip irrigation from 1~5 d; the soil moisture in each soil depths began to decrease while the irrigation amount was reduced to a certain level ($2\ 100\ \text{m}^3/\text{hm}^2$); meanwhile, the soil moisture in different treatments gradually increased with the soil depth; transfer of soil available nutrients was mainly found in 0—40 cm soil depth, and soil alkali-hydrolyzed nitrogen leaching to the deep soil depth was less after drip irrigation; distribution of soil available phosphorus was very similar in the soil depth in different treatments after drip irrigation, and that was accumulated in soil of 0—20 cm with contents of 90~200 mg/kg; soil available potassium contents fluctuated, and that gradually decreased with the growing stages of *Lycium barbarum*; in contrast to conventional irrigation (W_1), soil moisture increased in treatment of W_4 , but it decreased in treatments of W_2 and W_5 , which retarded soil available nutrient leaching to deep soil depth, improved nutrient uptake and utilization in the root zone, and was beneficial to improve the yield and quality of *Lycium barbarum*. Therefore, regulating

收稿日期:2020-08-13

修回日期:2020-09-11

资助项目:宁夏农林科学院科技创新先导资金项目“枸杞品种耐旱节水响应机理与评价”(NKYQ1501)

第一作者:尹志荣(1982—),女,宁夏吴忠人,硕士,助理研究员,主要从事旱作节水方面研究。E-mail:yinzhirong1982129@126.com

irrigation during key growth periods could be applied to regulate the distribution of soil water and the migration and transfer of soil available nutrients.

Keywords: drip irrigation amount; *Lycium barbarum*; soil moisture; soil available nutrient

水资源短缺是宁夏农业生产发展和生态环境建设的主要限制因子^[1],合理的灌水量不仅会提高作物产量,还能提高水分利用效率。枸杞(*Lycium barbarum*)是宁夏最具潜力的地方优势特色产业和战略性主导产业,已形成中宁为核心区、清水河流域和银北灌区为两翼的“一体两翼”产业带格局,但严重滞后的栽培技术成为制约枸杞产业快速发展的最大障碍。一方面农药、化肥使用较多,严重影响了枸杞品质;另一方面,大水漫灌方式仍然存在,滴灌使用率及精量灌溉存在缺失。同时,枸杞园土壤养分消耗量远高于农田^[2],随着种植年限的延长,土壤养分含量出现下降趋势^[3]。如何在有限水资源减少的情况下高效种植枸杞使其产生更多的社会、经济和生态效益,已备受众多学者的关注。

目前对枸杞的研究较多集中在品种培育^[4-7]、盐分及干旱胁迫^[8-12]、药用价值研发等^[13-15]方面,围绕不同的水分处理方法对枸杞生长、光合及其他生理特性等方面也进行了大量研究^[16-22]。郑国保等^[23]采用不同的水分梯度以习惯灌水量 9 000 m³/hm² 为对照,设置了 2/3,1/2,1/4 共 4 个处理,研究发现,2/3 的处理即可保证枸杞植株的正常生长、达到高产,又可发挥水分生产潜力、实现节水。胥生荣等^[24]为进

一步明确枸杞水分运输特性,提高农业生产潜力,研究发现,枸杞耐旱特性与根系导水能力密切相关。宋仰超等^[25]研究了滴灌水肥一体化条件下灌水量与施氮量耦合对枸杞生长与产量的影响,结果表明实施一定程度的调亏灌溉与减氮施肥可以使枸杞增产、增收。关于不同灌溉水平对土壤养分的影响报道极少,有研究表明高灌溉量会导致硝态氮淋溶,引起减产^[26]。适当施肥、控制灌溉量是防止磷素淋失的有效手段^[27]。针对灌溉对枸杞园土壤水分或养分状况的分析较多是单独分析,较少涉及不同灌溉量对土壤深层水分和养分状况及其对枸杞品质产量影响的综合评价。本研究采用大田滴灌控水试验,探讨不同灌水量对枸杞土壤水分和养分在土壤中运移的影响,为限量灌溉条件下枸杞水分、养分科学管理及优质高产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间与地点

试验于 2017 年 4—10 月在宁夏农科院园林场试验基地进行。供试土壤为淡灰钙土,0—40 cm 耕作层土壤各项理化性质指标见表 1。试验枸杞品种为“宁杞 5 号”,树龄 2 a。

表 1 试验区土壤肥力状况及基本物理参数

土层/ cm	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	容重/ (g·cm ⁻³)	pH 值	全盐/ (g·kg ⁻¹)	田间 持水量/%
0—20	58.2	138.9	454	14.5	0.31	8.37	3.65	20.16
20—40	41.2	84.7	410	10.7	0.32	8.55	3.27	18.92

1.2 试验设计

试验设 5 个水分处理,即常规灌水量处理 W₁ (CK),灌水量为 5 100 m³/hm²;其他处理灌水量依次减少 750 m³/hm²,分别为 W₂ 处理,灌水量为 4 350 m³/hm²;W₃ 处理,灌水量为 3 600 m³/hm²;W₄ 处理,灌水量为 2 850 m³/hm²;W₅ 处理,灌水量为 2 100 m³/hm²;每个处理 3 次重复,共 15 个小区,小区面积为 14 m×3 m。

灌溉方式为滴灌,沿枸杞行每一行设置一个灌水处理,每行距地面 20 cm 铺设滴灌管 1 根,每株枸杞树下安装 4 L/h 流量的管上式滴头 1 个,每根滴灌管前安装开关,整个灌水量有首部水表控制。考虑到枸杞萌芽期需足量底墒水,因此不同处理萌芽期的灌水

量均相同,从 5 月份开始,按试验方案实施灌溉。具体灌水时间及灌水量见表 2。各处理灌水定额及灌水次数可根据降雨等情况进行上下浮动调节。各处理施肥量为同一水平,田间管理与当地大田一致。

1.3 分析项目与方法

1.3.1 产量及品质测定 于枸杞果熟期在标记固定的植株上采集鲜果测定产量,每个处理选取 5 株为一组,重复 3 次,共 15 株,取其平均产量。同时,每组中随机选取 30 粒无破损果实装入自封袋带回实验室,应用滴定法进行枸杞总糖、总酸含量测定,采用分光光度法进行枸杞多糖、甜菜碱含量测定,采用折光仪法进行可溶性固形物含量测定。

1.3.2 土壤水分及养分测定 于试验实施前在每个

灌水处理间布设 TDR 探测管,每次灌水及降雨前后 10 cm 为一层测定 0—80 cm 土壤体积含水量。同时采集 0—100 cm 土层土样,20 cm 为一层测定土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量。碱解氮采用碱解扩散法测定,有效磷采用钼锑抗吸光光度法测定,速效钾采用火焰光度法测定。文中土壤水分及养分图表数据为 7 月 22 日灌水前后采集,取 3 次重复均值。该时期为枸杞全生育期最高耗水时期,此时灌水施肥有助于保证树体营养充足、促进枸杞开花结果、增加果实产量,分析此时段的土壤水分及养分变化可优化枸杞灌水施肥策略。

表 2 2017 年试验期枸杞灌水定额		m ³ /hm ²				
生育期	灌水时间 (月-日)	灌水定额				
		W ₁ (CK)	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅
萌芽期	04-25	600	600	600	600	600
	05-05	300				
春梢生长期	05-15	300	525	450	375	300
	05-25	345				
开花初期	06-05	300	450	375	300	
	06-15	270				
	06-25	270	300	300	225	75
	07-01	255				
果熟期	07-09	255	270	255	150	225
	07-15	255	225			
	07-22	225	450	375	300	150
	07-29	225				
	08-06	225	300	225	150	
秋果期	08-11	300	300	270		
	08-16	225	180			
休眠期(冬灌)	10-25	750	750	750	750	750
合计		5100	4350	3600	2850	2100

1.4 数据分析及处理方法

采用 Microsoft Excel 2007 处理数据和制图,采用 DPS 7.5 软件对数据进行方差分析和多重比较。

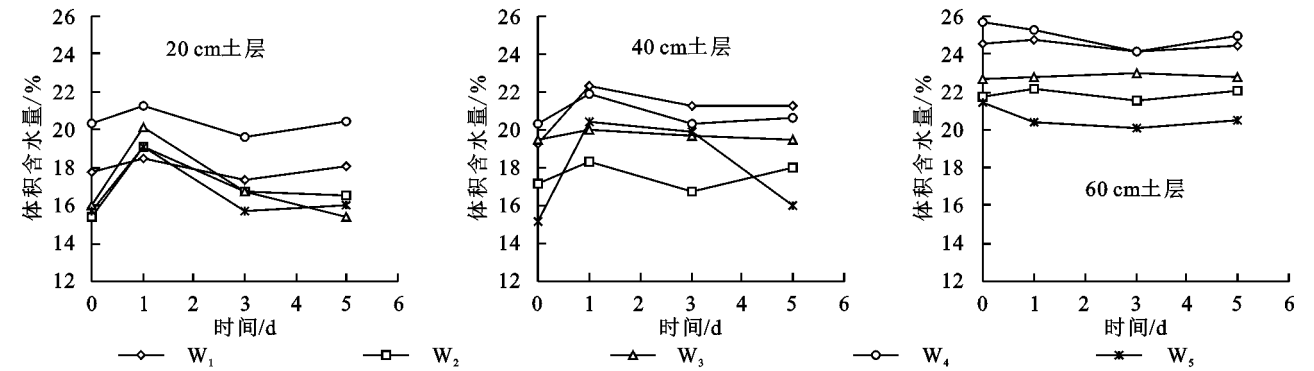


图 1 同层次不同灌水量下土壤含水量变化

2.2 不同灌水量对土壤剖面碱解氮的影响

水分与养分的迁移有着密切的关系,碱解氮在土壤中具有不稳定性,易受土壤水热条件影响。由图 2 可知,各处理剖面碱解氮变化主要集中在 0—40 cm

2 结果与分析

2.1 不同灌水条件下土壤水分变化特征

枸杞土壤水分变化主要集中在 20—60 cm 土层。由图 1 可知,在 20 cm 土层灌水前 10 d 时各处理的土壤含水量分别是 17.8%,15.36%,15.99%,20.3%,15.71%,灌水 1 d 后土壤含水量明显增加,从灌水后 1~3 d 开始降低,随后趋于平稳。W₄ 处理土壤含水量最高,平均为 20.41%,方差分析显示(表 3)与其他处理差异极显著($p<0.01$);W₁ 处理变化最平稳,灌水前后含水量仅差 0.18%;W₂,W₃,W₅ 处理趋势基本一致。40 cm 土层在灌水 1 d 后含水量也是逐渐增加,从灌水后 1~3 d 缓慢下降,随着时间的推移至灌水后 5 d 时 W₁,W₃,W₅ 处理继续下降,而 W₂,W₄ 处理含水量增加,并且水分下移明显,不同处理 40 cm 土层含水量较 20 cm 土层分别增加 17.17%,3.72%,15.24%,1.81%,7.40%,W₁,W₄ 处理与 W₂,W₅ 处理差异极显著($p<0.01$),与 W₃ 处理差异显著($p<0.05$)。60 cm 土层土壤含水量稳定在 20.0%~26.0%,各处理随灌水后时间的推移变化逐渐平缓,处理间差异极显著($p<0.01$)。总的来看,不同处理土壤含水量随着深度的增加而增加,不同土层含水量随着灌水后时间的推移呈先降低再增加的趋势,W₄,W₁ 处理含水量最高,W₃ 处理变化最平缓,W₂,W₅ 处理波动性变化含水量最低。原因是 7 月 22 日 W₄,W₁ 处理灌水定额分别为 300,225 m³/hm²,灌水后除植株吸收部分水分后土壤含水量表现充足,而 W₂ 处理单次灌水定额为 450 m³/hm²,灌水后土壤含水量降低的原因可能是蒸发损失所致,由此可见灌水量太大或太小均会影响土壤含水量的高低,适度的灌水量有利于植物吸收及土壤蓄水。

耕作层。灌水前,20 cm 土层 W₄ 处理碱解氮含量最高,W₁ 处理次之,与灌前含水量变化特征一致,其他处理随灌水量的减少而降低。灌水后 1 d,各处理 20 cm 土层碱解氮相比灌前有所增加,增幅分别为 1.21%,16.87%,

6.26%,7.85%,383.06%, W_5 处理增加最明显,究其原因可能是 7 月中下旬枸杞长势已经稳定,高灌水量容易造成养分向深层移动,导致淋失,而低灌水量在灌后短时间内土壤养分受水分的影响在作物根层达到集聚状态。这与史宏志等^[28]研究不同灌水量定额对烟株圆顶时期 0—20 cm 土层碱解氮含量的变化结果有相似之处。灌水后 3 d,各处理的变化趋势逐渐趋于平稳且差异较小。灌水后 5 d, W_5 处理碱解氮在土壤剖面波动性较大,呈“M”形趋势, W_1,W_2,W_3 处理缓慢下降, W_4 处理以 40 cm 土层为拐点抛物线形下降。整体而言,随着灌水量的减少,0—20 cm 土层碱解氮呈先增加后降低再增加的“N”形趋势,40—100 cm 土层恰好相反,表明随着灌水量的减少土壤中碱解氮向深层迁移的量相应

减少,这就有利于降低氮素向土壤深层迁移进入地下水对水环境带来潜在的威胁。灌水前后 W_1 处理碱解氮 20 cm 土层无明显变化,灌水后 1~5 d 的均值为 66.3 mg/kg 与灌前数值相等,40—60 cm 土层逐渐减少,下移至 80 cm 出现累积; W_2,W_3 处理除灌水后 20 cm 碱解氮平均增加 29.35%,6.26%外,40—80 cm 土层随时间的推移而降低; W_4,W_5 处理不同土层碱解氮在灌水后 1~5 d 呈“V”形趋势, W_4 处理 60—100 cm 累积量低于灌前。方差分析表明,不同灌水量下各处理间不同土层碱解氮含量没有显著性差异(表 3), W_2 处理 20 cm 土层碱解氮含量最高,达 71.6 mg/kg, W_4,W_5 处理 40—100 cm 剖面均值最高,分别为 38.8,28.9 mg/kg。

表 3 不同灌水量下 20—60 cm 土壤含水量及有效养分统计分析情况

处理	土壤含水量/%			碱解氮/(mg·kg ⁻¹)			速效磷/(mg·kg ⁻¹)			速效钾/(mg·kg ⁻¹)		
	20 cm	40 cm	60 cm	20 cm	40 cm	60 cm	20 cm	40 cm	60 cm	20 cm	40 cm	60 cm
W_1	17.9±0.23bB	21.0±0.4aA	24.5±0.1bB	66.3±1.8a	43.6±4.7a	17.3±1.9a	86.7±26.8a	46.0±4.8a	9.1±2.9a	350.2±34.8a	302.2±49.0ab	332.2±59.4abAB
W_2	16.9±0.95bB	17.6±0.3cB	21.9±0.4cC	71.6±5.7a	36.8±4.8a	16.6±1.7a	162.6±56.7a	30.2±10.2a	7.8±1.2a	357.6±117.4a	399.4±56.2a	530.0±52.3aA
W_3	17.1±1.17bB	19.7±0.2bAB	22.8±0.1cC	51.9±1.5a	39.1±4.3a	22.4±6.6a	124.3±30.6a	37.8±14.3a	7.3±1.7a	278.9±39.3a	247.7±42.7b	346.3±21.7bCB
W_4	20.4±0.83aA	20.8±0.7aA	25.0±0.2aA	64.6±5.3a	53.9±8.9a	30.2±9.4a	91.2±15.5a	43.6±16.3a	22.8±15.8a	309.5±44.3a	315.4±77.7ab	367.9±71.5bCB
W_5	16.6±0.84bB	17.9±1.3cB	20.0±0.3dD	62.7±14.8a	46.9±7.9a	16.4±2.4a	157.1±48.7a	84.9±44.7a	9.3±2.9a	319.2±61.6a	322.0±56.3ab	447.0±78.7abAB

注:同列不同小写字母为差异显著($p<0.05$),同行不同大写字母为差异显著($p<0.01$),下表同。

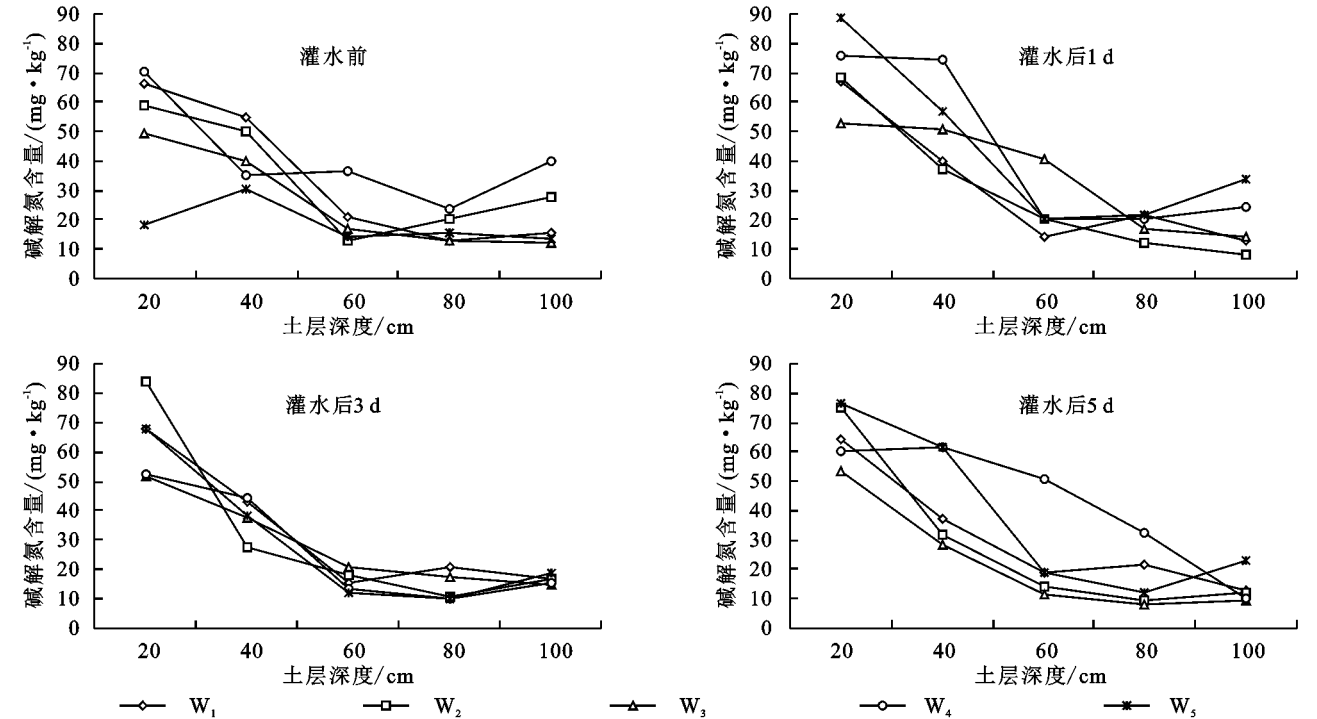


图 2 不同灌水量下土壤碱解氮含量变化

2.3 不同灌水量对土壤剖面有效磷的影响

由图 3 可知,灌水前后各处理有效磷的变化同样分布在 40 cm 以上土层,其中 20 cm 土层含量最富集,60—100 cm 土层基本无变化。灌水前,20 cm 土层有效磷随着灌水量的减少逐渐增加, W_5 处理土壤有效磷含量最高,相比 W_1,W_2,W_3,W_4 处理依次高

出 4.34,1.84,1.17,1.10 倍。灌水后 1 d,各处理土壤有效磷明显增加,平均增幅为 1.22~6.12 倍。灌水后 3 d,各处理有效磷逐渐下降,至灌水后 5 d 时, W_1 处理继续保持下降趋势,而其他处理又出现增加的趋势,增幅为 2.24~3.74 倍。随着灌水量的减少,各处理 0—20 cm 土层有效磷呈先增加后下降再增加的

“N”形趋势,40—100 cm 土层基本上先降后增。随着灌水后时间的推移,W₅ 处理有效磷最高,在灌后 5 d,0—100 cm 土层平均含量为 103.1 mg/kg,其次是 W₂ 处理,而 W₁ 处理有效磷最低,平均含量仅 29.9 mg/kg。可见,过量灌水有可能造成磷在土壤中的亏缺范围和亏缺强度加大,相反控制灌水量可使土壤磷

的扩散受到抑制,在土体中的移动性下降,积累量反而增多。这与谷秋荣等^[29]的研究结果一致。方差分析表明(表 3),不同处理有效磷无显著差异,W₂,W₅ 处理 20 cm 土层有效磷含量最高,分别为 162.6,157.1 mg/kg,W₄,W₅ 处理 40—100 cm 剖面均值最高,分别为 46.5,59.1 mg/kg。

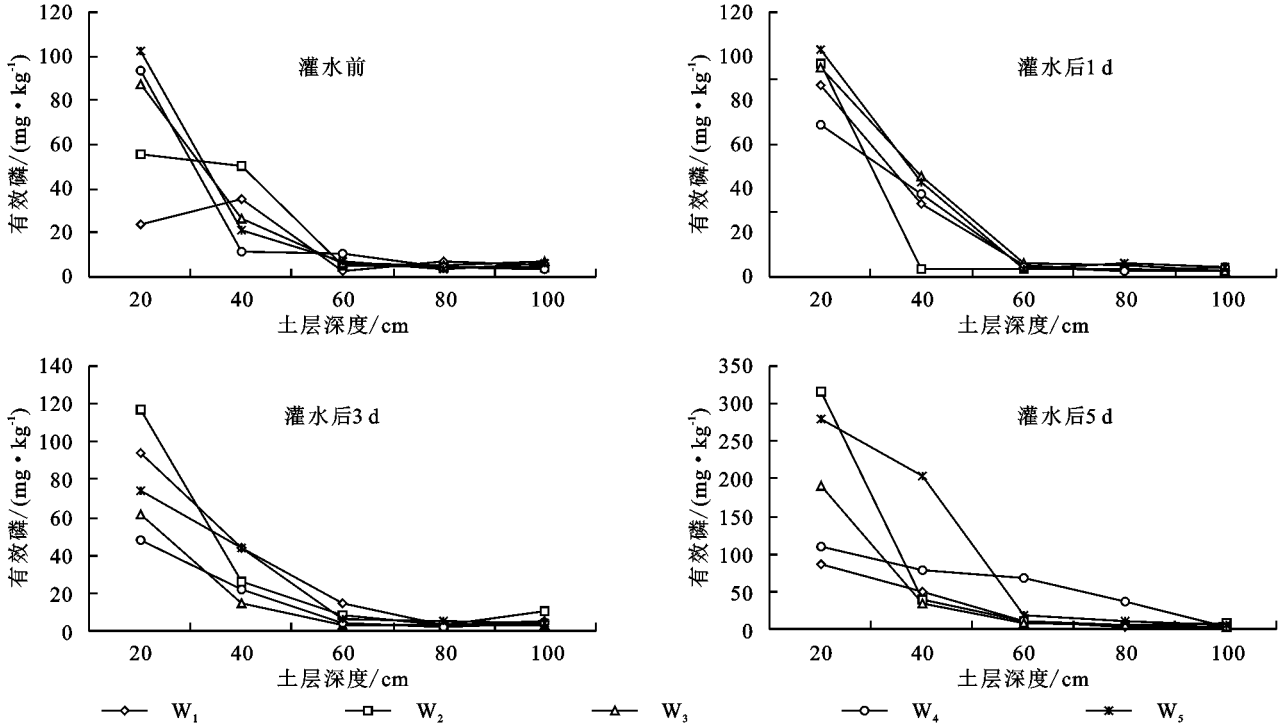


图 3 不同灌水量下土壤有效磷含量变化

2.4 不同灌水量对土壤剖面速效钾的影响

由图 4 可知,灌水对速效钾在土壤剖面分布的影响较复杂,主要运移范围不同于土壤碱解氮和有效磷,其随土层的加深呈波动性变化,峰值拐点不同。灌水前,W₄,W₅ 处理 0—100 cm 土层速效钾含量最高,均值达到 453,431 mg/kg,较其他处理高出 12.83%~38.11%。灌水后 1 d,W₁,W₂,W₃,W₅ 处理各土层速效钾含量均增加,只有 W₄ 处理 20—60 cm 土层速效钾下降。随着土层深度的增加 W₁,W₂,W₄ 处理趋势相同,以 40 cm 和 80 cm 土层为拐点呈先减少后增加再减少的趋势,而 W₃,W₅ 处理同样以 80 cm 土层为拐点先增加后减少,表明不同灌水量滴灌后土壤中的速效钾从 80 cm 土层向下深度开始降低。灌水后 3 d,不同处理速效钾出现下降趋势,尽管 W₁ 处理 0—40 cm 土层和 W₃ 处理 0—20 cm 土层速效钾略有增加,但幅度较小基本与灌水后 1 d 持平。灌水后 5 d,各处理不同土层速效钾继续保持下降趋势,W₄,W₅ 处理变化平稳、差异较小,W₁ 处理与 W₃ 处理除 20 cm 土层速效钾相差 104 mg/kg 外,其他土层趋势相同,W₂ 处理随土层加深以 80 cm 为拐点缓慢增加后逐渐下降,呈抛物线形。随着灌水后时

间的推移,各处理速效钾逐渐降低;随着灌水量的减少,各处理以“W₂”,“W₄”为拐点呈先增加后降低再增加“N”形趋势。方差分析表明(表 3),40 cm 土层速效钾含量中 W₂ 处理与 W₃ 处理差异显著($p<0.05$),60 cm 土层速效钾含量中 W₂ 处理与 W₃,W₄ 处理差异均显著($p<0.05$)。W₂ 处理速效钾最高,W₄,W₅ 处理速效钾最低,与碱解氮和有效磷的变化存在差异。

2.5 不同灌水量对枸杞产量及品质的影响

由表 4 可知,不同灌水量对枸杞产量和品质有显著差异。产量方面,W₂,W₅ 处理与 W₃ 处理差异显著且产量最高,相比 W₁ 处理分别增产 21.57%,18.6%。品质方面,各处理间多糖质量分数与总酸质量分数及可溶性固形物无显著差异,但总糖质量分数中 W₄ 处理与 W₂,W₃,W₅ 处理差异显著,W₂,W₅ 处理总糖质量分数最高,相比 W₁ 处理分别增加 6.82%,5.68%,甜菜碱含量中 W₁,W₂ 处理与其他处理无显著差异,但两处理间差异显著,可见调控灌水对枸杞品质的影响程度不同,本文研究结果表明枸杞生育期内调控灌水量可促成枸杞总糖、多糖质量分数的提高,增加产量,这与苏雪玲等^[30]对宁夏南梁农场的枸杞研究结果相一致。

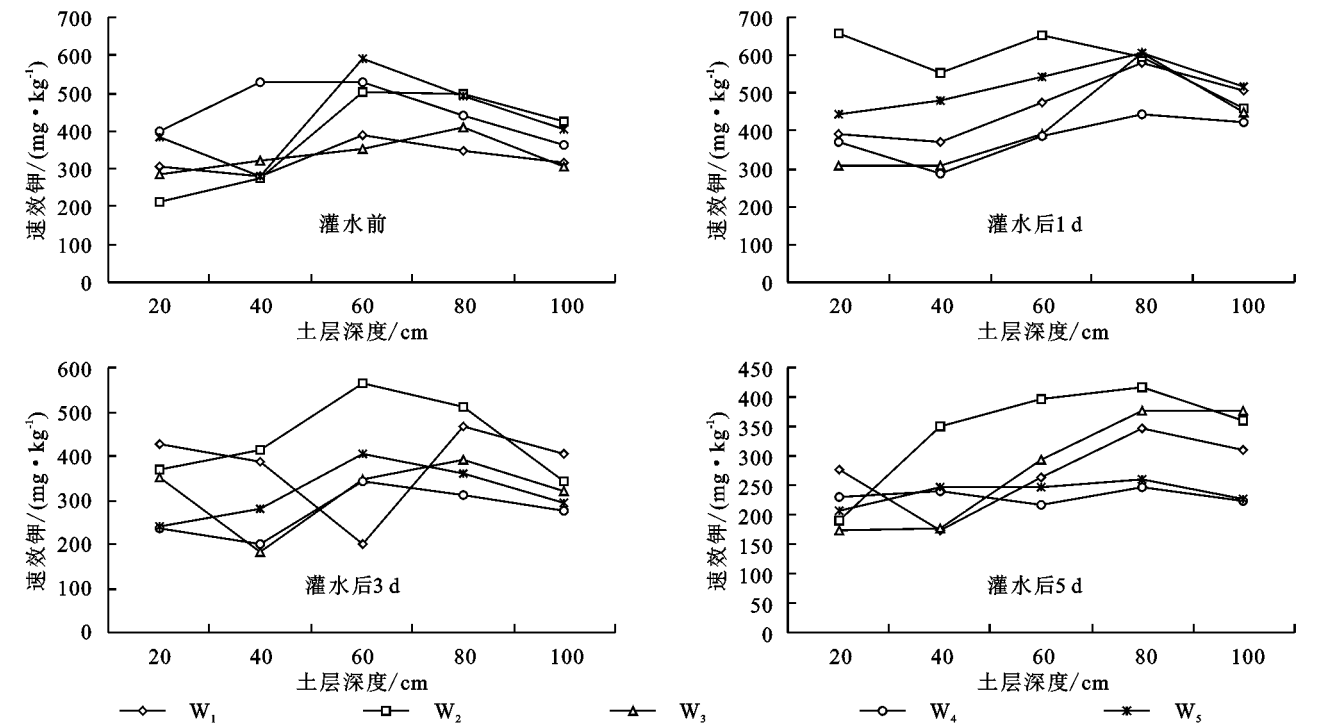


图 4 不同灌水量下土壤速效钾含量变化

表 4 不同灌水量下枸杞产量、品质情况

处理	产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	总糖/ ($\text{g}/100 \text{ g}$)	多糖/ ($\text{g}/100 \text{ g}$)	总酸/ ($\text{g}/100 \text{ g}$)	甜菜碱/ ($\text{g}/100 \text{ g}$)	可溶性 固形物/%
W ₁	1361.85±15.33ab	17.60±0.93ab	1.30±0.21a	5.40±0.20a	0.69±0.11a	23.70±2.43a
W ₂	1655.55±14.75a	18.80±0.67a	1.36±0.25a	5.32±2.28a	0.48±0.07b	22.60±2.61a
W ₃	1018.20±9.31b	18.30±1.09a	1.44±0.10a	5.39±0.42a	0.49±0.02ab	21.40±3.15a
W ₄	1194.45±5.05ab	16.80±0.85b	1.50±0.19a	5.28±0.27a	0.63±0.02ab	23.30±1.31a
W ₅	1615.20±22.06a	18.60±0.91a	1.34±0.33a	5.36±0.04a	0.53±0.03ab	22.20±2.57a

3 讨论

3.1 不同灌水量对土壤水分运移的影响

田间土壤存在很大的变异性,灌溉可以对土壤水分进行有针对性的调控^[31],一定时期的水分亏缺不会造成土壤含水量的降低^[32]。郭全忠^[33]研究表明,大量灌水会增加水分向土壤深层迁移,降低水分利用率,常规灌水量减少 1/2 的节灌处理水分向深层迁移量相对较低,水分利用率高。本研究中灌水前后各土层含水量的分布差异明显,随着灌水量的减少 20, 40, 60 cm 土层各处理土壤水分运移以 W₂, W₄ 为拐点先减少后增加,灌水后 1 d 各处理土壤含水量处于饱和状态,随着灌溉时间的推移水分运移速度逐渐减缓,在灌后 5 d 时基本趋于稳定。随着土层的加深,各处理土壤含水量逐渐下移。有研究表明,过高的灌水量容易造成水分渗漏,严重干旱胁迫会造成土壤中的可利用水减少、枸杞枝叶水分亏缺^[34]。本研究在 7 月中下旬(7 月 22 日)按照设计灌水定额进行调控灌溉,由于各处理单次灌水定额的不同,使得水分运移

分布存在差异,此时 W₄, W₁ 处理灌水量适中(分别为 225, 300 m³/hm²),土壤水分的运移分布均匀且充足。可见,适度控水具有调节水分分布的作用。因土壤水分运移受到气象、作物吸水、土壤孔隙、灌水施肥模式等多方面因素的综合影响,本试验仅根据一次灌水前后的测定结果进行分析,整个生育期及各种影响因子的综合影响究竟如何仍需进一步探究。

3.2 不同灌水量对土壤养分迁移的影响

由于枸杞的根系主要分布在 40 cm 土层中,肥料随水施入土壤后的运移速率会因为根系的吸收存在较大差异,大田栽植枸杞土壤养分的迁移受灌水量的影响明显。随着灌水后时间的推移以及灌水量的减少,不同处理碱解氮含量以 W₂, W₃ 处理为拐点呈先增加后降低再增加的“N”形趋势,0—100 cm 土层平均累积量先降低再增加,同时随着土层的加深碱解氮向深层迁移的量逐渐减少,表明适度控水有利于降低氮素向土壤深层迁移而进入地下水给水环境带来潜在的威胁。朱靖蓉等^[35]研究表明灌溉明显影响 0—100 cm 土壤碱解氮含量变化,0—40 cm 碱解氮含量

变幅最大,灌水量越大碱解氮被淋溶到下层的量就越大,这与本研究结果基本一致。另外,还有研究表明灌水控制下限能够显著影响不同形态磷素含量在土壤剖面中的分布,其中灌水对土壤速效磷含量的影响主要发生在 0—30 cm 土层^[36]。本研究中不同灌水量对土壤有效磷的影响以 0—20 cm 土层最突出,其他土层变幅则相对较小,主要由于磷素在土壤中易被吸附固定,不易随水向土壤深层迁移,而且灌水后土壤有效磷明显升高,随着灌水量的减少各处理以 W_2 , W_4 为拐点呈先增加后减少再增加的“N”形趋势, W_1 处理在灌后 5 d 有效磷含量降到最低,在土壤剖面的迁移量最小。董业雯等^[37]研究表明随着灌水量的逐渐增大,同一时期同一土层不同灌水量土壤速效磷含量呈现相反的趋势,这与本结果有相似之处。就土壤速效钾而言,有关研究表明,在不同的灌水定额下不同的土壤层次中,速效钾含量都会发生变化,40 cm 土层以下速效钾含量受作物吸收的影响较小,而受运移的影响较大^[38]。在本研究中 W_2 处理速效钾含量最高,表明灌水量的大小会直接带动速效钾的迁移,灌水量越大随水迁移的速率越快,累积量越多。同时,不同处理速效钾随土层深度的增加整体呈递增趋势,这可能是受淋溶作用的影响而不容易在地表聚集,与灌水期碱解氮和有效磷的变化略有差异,但从秋果期最后一次采样测试分析得出根层 20 cm 速效钾随灌水量的增加而降低,说明不同时期枸杞对养分的需求不同,可以通过不同水肥调控措施调节养分在土壤剖面的移动性,为枸杞根层创造合适的水、肥条件,从而为根系的生长提供有利的环境。

4 结论

(1) 不同灌水量下枸杞土壤水分运动主要发生在 0—60 cm 土层。灌水后 1~5 d, 0—20 cm 土层含水量随着灌水量的减少而增加,而 40 cm 及 60 cm 土层含水量随着灌水量的减少先减少后增加,当灌水量减少到一定程度时,各土层含水量均下降。 W_4 处理土壤含水量最高, W_1 处理次之, W_2 , W_5 处理土壤含水量最低,产量和品质的变化则相反。

(2) 不同处理碱解氮集中分布在 0—40 cm 耕作层,此后随土层深度增加逐渐降低,随灌水后时间的延长含量无明显变化,可见在短时间内土壤碱解氮沿着剖面随水淋失的风险较小。

(3) 不同处理有效磷在 0—20 cm 土层最富集,其含量介于 90~200 mg/kg,远高于底层。 W_2 , W_5 处理有效磷含量较高。

(4) 灌水后不同处理速效钾随土层深度呈波动

性变化,随枸杞生育期的延长其含量逐渐降低。 W_2 处理速效钾含量最高。

参考文献:

- [1] 段爱旺,信乃谄,王立祥.西北地区灌溉农业的节水潜力及其开发[J].中国农业科技导报,2002,4(4):50-55.
- [2] 赵营,罗建航,陈晓群,等.宁夏枸杞园土壤养分资源与枸杞根系形态调查[J].干旱地区农业研究,2008,26(1):47-50,57.
- [3] 纳小凡,郑国琦,彭励,等.种植年限对宁夏枸杞园土壤微生物群落特征的影响[J].土壤学报,2016,53(1):238-249.
- [4] 安巍,赵建华,尹跃,等.枸杞种质资源研究现状及发展方向[J].宁夏农林科技,2019,60(9):49-50,99.
- [5] 尹跃,赵建华,安巍,等.利用 SSR 标记构建枸杞品种分子身份证[J].生物技术通报,2018,34(9):195-201.
- [6] 李健,王锦秀,王立英,等.无籽枸杞新品种选育研究[J].西北植物学报,2001,21(3):446-450.
- [7] 王凤宝,董立峰,付金峰,等.枸杞混倍体中草药饲草型新品种天精 1 号选育研究[J].草业学报,2011,20(2):140-146.
- [8] 郑国琦,许兴,徐兆桢,等.盐胁迫对枸杞光合作用的气孔与非气孔限制[J].西北植物学报,2002,22(6):1355-1359.
- [9] 惠红霞,许兴,李守明.宁夏干旱地区盐胁迫下枸杞光合生理特性及耐盐性研究[J].中国农学通报,2002,18(5):29-34.
- [10] 韦素贞,张好强,胡文涛,等. AM 真菌和施钾对宁夏枸杞响应干旱胁迫的交互影响[J].西北林学院学报,2016,31(5):165-170.
- [11] 李捷,崔永涛,柏延文,等.两种枸杞对干旱胁迫的生理响应及干旱性评价[J].甘肃农业大学学报,2019,54(5):79-87.
- [12] 张满效,陈拓,肖雯,等.不同盐碱环境中宁夏枸杞叶生理特征和 RAPD 分析[J].中国沙漠,2005,25(3):391-396.
- [13] 李菁菁,罗琼,严峻,等.枸杞多糖对糖尿病肾病兔肾功能及 MCP-1、ICAM-1 mRNA 表达的影响[J].营养学报,2015,37(1):32-36,40.
- [14] 卢有媛,郭盛,张芳,等.枸杞属药用植物资源系统利用与产业化开发[J].中国现代中药,2019,21(1):29-36.
- [15] 张俊华,张翼,李明.药用植物宁夏枸杞(*Lycium barbarum* L.)土壤细菌群落演替特征[J].植物营养与肥料学报,2017,23(3):686-695.
- [16] 朱金霞,张源沛,郑国保,等.不同灌水量对枸杞光合特性和产量的影响[J].节水灌溉,2012(1):28-30,33.
- [17] 康超,杨柳,王昊,等.滴灌条件下不同氮磷耦合对叶用枸杞产量及其构成的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(11):26-30.
- [18] 张源沛,郑国保,孔德杰,等.不同灌水量对枸杞土壤水分动态及蒸散耗水规律的影响[J].中国农学通报,2011,27(31):64-67.
- [19] 耿生莲.不同土壤水分下黑果枸杞生理特点分析[J].西北林学院学报,2012,27(1):6-10.
- [20] 郑国琦,张磊,郑国保,等.不同灌水量对干旱区枸杞叶片结构、光合生理参数和产量的影响[J].应用生态学

报,2010,21(11):2806-2813.

[21] 曾晓春,李维华,强生才,等.秸秆覆盖和灌水量对枸杞生长和水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):61-65.

[22] 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.

[23] 郑国保,张彦红,张源沛,等.不同灌水量对于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.

[24] 胥生荣,张思和,马瑞丽,等.干旱胁迫及复水对耐旱枸杞水力学特性的影响[J].中国生态农业学报,2017,25(8):1190-1197.

[25] 宋仰超,陈小莉,任小龙,等.调亏灌溉与减氮施肥对枸杞生长及产量的影响[J].西北农业学报,2019,28(10):1666-1673.

[26] 张树兰,同延安,梁东丽,等.氮肥用量及施用时间对土壤中硝态氮移动的影响[J].土壤学报,2004,41(2):270-277.

[27] 项大力,杨学云,孙本华,等.灌溉水平对壤土磷素淋失的影响[J].植物营养与肥料学报,2016,16(1):112-117.

[28] 史宏志,高卫锴,常思敏,等.微喷灌水定额对烟田土壤物理性质和养分迁移的影响[J].河南农业大学学报,2009,43(5):485-490.

[29] 谷秋荣,杨占平,王秋杰,等.不同灌水量对土壤氮磷钾养分移动的影响[J].干旱地区农业研究,2002,20(4):30-33.

[30] 苏雪玲,郑国琦,刘根红,等.盐碱地采果期土壤水分对宁夏枸杞品质的影响[J].西北农业学报,2015,24(11):126-132.

[31] 王超,李援农.地下滴灌土壤水分运移分布规律试验研究[J].灌溉排水学报,2011,30(1):136-138.

[32] 安焕霞,王占林,贺康宁.不同土壤水分条件下北方枸杞抗旱性分析[J].北方园艺,2015(11):149-151.

[33] 郭全忠.不同灌水量对设施番茄土壤养分和水分在土壤剖面中迁移的影响[J].西北农业学报,2013,22(4):153-158.

[34] 宋丽华,高彬.持续干旱胁迫对中宁枸杞水分生理的影响[J].西北林学院学报,2010,25(3):15-19.

[35] 朱靖蓉,杨涛,王斌,等.干旱区不同灌溉量下棉田土壤碱解氮剖面分布[J].新疆农业科学,2011,48(4):696-701.

[36] 王耀生,张玉龙,虞娜,等.渗灌灌水控制下限对保护地土壤剖面磷素分布的影响[J].农业工程学报,2009,25(6):66-70.

[37] 董业雯,田晓燕,裴帅,等.不同灌水量对风沙土葡萄园土壤全磷、速效磷淋洗作用的影响[J].北方园艺,2017(13):63-68.

[38] 冯小明,樊贵盛.引洪灌溉对土壤中速效钾的影响[J].太原理工大学学报,2006,37(2):209-212.

(上接第 53 页)

[22] 冷曼曼,张志强,于洋,等.昕水河流域径流变化及其对气候和人类活动的响应[J].水土保持学报,2020,34(3):113-119,128.

[23] 张凯,鲁克新,李鹏,等.近 60 年汾河中上游水沙变化趋势及其驱动因素[J].水土保持研究,2020,27(4):54-59.

[24] 杨大文,张树磊,徐翔宇.基于水热耦合平衡方程的黄河流域径流变化归因分析[J].中国科学:技术科学,2015,45(10):1024-1034.

[25] 党素珍,董国涛,蒋晓辉,等.气候变化和人类活动对泾河上游径流的影响[J].南水北调与水利科技,2014,12(4):30-34.

[26] 郑培龙,李云霞,赵阳,等.黄土高原泾河流域气候和土地利用变化对径流产沙的影响[J].水土保持研究,2015,22(5):20-24.

[27] 焦阳,雷慧闽,杨大文,等.基于生态水文模型的无定河流域径流变化归因[J].水力发电学报,2017,36(7):34-44.

(上接第 61 页)

[33] 罗雅曦,刘任涛.宁夏风沙区不同人工固沙灌丛土壤质量评价[J].水土保持研究,2019,26(5):60-67.

[34] 牛西午,张强,杨治平,等.柠条人工林对晋西北土壤理化性质变化的影响研究[J].西北植物学报,2003,23(4):628-632.

[35] 雷泽勇,白津宁,周凤艳,等.辽宁章古台地区不同年龄樟子松固沙林对土壤 pH 值的影响[J].生态学杂志,2019,38(11):3264-3272.

[36] 刘佳楠,刘任涛,赵娟,等.沙地柠条灌丛枯落叶输入特征及对土壤理化性质的影响[J].干旱区资源与环境,2018,32(11):169-175.

[37] 樊恒文,贾晓红,张景光,等.干旱区土地退化与荒漠化对土壤碳循环的影响[J].中国沙漠,2002,22(6):3-11.

[38] 高英志,汪诗平,韩兴国,等.退化草地恢复过程中土壤氮素状况以及与植被地上绿色生物量形成关系的研究[J].植物生态学报,2004,28(3):285-293.

[39] 桑巴叶,朱玉伟,刘康,等.伊犁河谷不同森林模式下土壤的养分特征和粒径组成[J].水土保持通报,2017,37(5):328-332.