李琳馨,蔡洁,徐梓凯,等.滴灌和渗灌对'美乐'葡萄根系分布、果实品质和产量的影响[J].山西农业大学学报(自然科学版),2025,45(6):89-99.
Li L X, Cai J, Xu Z K, et al. Effects of drip and percolation irrigation on root distribution and fruit quality of Merlot grapes (*Vitis vinifera* L.)[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2025,45(6):89-99.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202502013

滴灌和渗灌对'美乐'葡萄根系分布、果实品质和产量的影响

李琳馨,蔡洁,徐梓凯,辛松青,王振平,李栋梅*

(宁夏大学 葡萄酒与园艺学院,宁夏 银川 750021)

摘　要:[目的]为了给宁夏葡萄产业节水栽培管理提供理论依据,筛选出宁夏产区酿酒葡萄栽培适宜的节水灌溉方式。[方法]连续2年以四年生酿酒葡萄'美乐'为试材,探究相同灌溉量下滴灌和渗灌对'美乐'葡萄的影响。测定葡萄叶片水势、光合特性和根系分布情况,对葡萄果实的总花色苷、总酚、单宁和可滴定酸含量进行测定;通过测定单穗重和单株穗数计算得到相应的产量。[结果]相同灌溉量下,与滴灌相比,2023年(种植第四年)渗灌处理下'美乐'葡萄黎明前叶片水势提高了22.05%,2024年(种植第五年)黎明前叶片水势提高了21.73%。与滴灌相比,渗灌可以增加'美乐'葡萄根系中直径≥6 mm的根的数量且60~80 cm深层土壤根系分布明显增加。2种灌溉方式下葡萄叶片胞间CO_2浓度差别不大,但渗灌条件下净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均显著高于滴灌。花后120 d时,与滴灌相比,2023年渗灌条件下'美乐'葡萄果实总花色苷、总酚和单宁含量分别显著提高了31.15%、41.23%和16.45%;2024年渗灌条件下'美乐'葡萄果实总花色苷、总酚和单宁含量分别显著提高了24.73%、24.16%和33.01%,而可滴定酸含量降低了10.73%。与滴灌相比,2023年渗灌条件下'美乐'葡萄的单穗重、单株产量和生长势分别显著提高了17.11%、17.06%和17.33%;2024年渗灌条件下'美乐'葡萄的单穗重、单株产量和生长势分别显著提高了11.27%、21.03%和21.67%。[结论]渗灌既能促进葡萄根系向深层生长,又可以提高葡萄果实品质,此外,还能增加'美乐'葡萄的单穗重、单株产量和生长势。

关键词:酿酒葡萄;水势;光合特性;根系分布;果实品质;滴灌;渗灌
中图分类号:S663.1　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2025)06-0089-11

Effects of drip and percolation irrigation on root distribution and fruit quality of Merlot grapes (*Vitis vinifera* L.)

Li Linxin, Cai Jie, Xu Zikai, Xin Songqing, Wang Zhenping, Li Dongmei*

(*School of Wine & Horticulture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China*)

Abstract: [Objective] This study aimed to identify suitable water-saving irrigation methods for wine grape cultivation in Ningxia production area, thereby providing a theoretical basis for water-saving cultivation management in the local grape industry. [Methods] Over two consecutive years, four-year-old 'Merlot' wine grapevines were used as test materials to compare the effects of drip irrigation (DI) and infiltrating irrigation (II) under the same total irrigation volume. Leaf water potential, photosynthetic parameters, and root distribution were measured. Berry quality indices, including total anthocyanins, total phenols, tannins and titratable acids, were analyzed. Yield components were assessed by measuring cluster weight and the number of clusters per plant. [Results] Under the same irrigation volume, II significantly increased predawn leaf water potential by 22.05% in 2023 and 21.73% in 2024 compared to DI. II also promoted the development of roots with diameter ≥6 mm and significantly increased root density in the 60~80 cm soil layers. While intercellular CO_2 concentration did not differ significantly

收稿日期:2025-02-16　　**修回日期**:2025-05-10
基金项目:宁夏重点研发项目-引才专项(2023BSB03032);国家自然科学基金项目(U20A2042);国家葡萄产业技术体系水分生理与节水栽培岗位(CARS-29-zp-3)
作者简介:李琳馨(ORCID:0009-0000-7852-3547),硕士研究生,研究方向:葡萄栽培生理与分子生物学
*通信作者:李栋梅(ORCID:0009-0000-1357-4466),博士,副教授,研究生导师,E-mail:ldm2022068@nxu.edu.cn

between the treatments, net photosynthetic rate, stomatal conductance, and transpiration rate were significantly higher under II. At 120 day after anthesis (DAA), compared with DI, II in 2023 significantly increased total anthocyanin, total phenol, and tannin content by 31.15%, 41.23%, and 16.45%, respectively. In 2024, II increased the same metrics by 24.73%, 24.16% and 33.01%, respectively, while reducing titratable acid content by 10.73%. Yield-related traits were also improved under II: in 2023, cluster weight, yield per plant, and growth vigor increased by 17.11%, 17.06% and 17.33%, respectively. In 2024, they increased by 11.27%, 21.03% and 21.67%, respectively. [Conclusion] Infiltrating irrigation promoted deeper root growth, improved berry quality, and enhanced yield components and vine growth vigor in 'Merlot' grapevines, demonstrating its potential as an efficient water-saving irrigation strategy for wine grape production in Ningxia.

Keywords: Wine grapes, Water potential, Photosynthetic characteristics, Root distribution, Fruit quality, Drip irrigation, Percolation irrigation

宁夏地区属于干旱少雨的温带大陆性半干旱气候,年降雨量一般在200～400 mm[1]。随着宁夏酿酒葡萄种植面积的不断扩大,其灌溉主要依赖黄河水,而当地水利开发难度较大。因此,酿酒葡萄对水资源的需求不断增加,导致水资源短缺问题日益突出。在农业发展过程中,高效经济地利用灌溉用水是必然趋势[2]。葡萄园用水效率的提高,果品质量的提升以及丰产,都离不开科学合理的灌溉方式。目前已有研究表明,采用滴灌和渗灌这一类的节水灌溉技术,能够有效缓解水资源短缺的问题。

在不同生育阶段根据作物需水规律进行灌溉量的调整,滴灌比大田漫灌节约50%左右的水资源,具有节水、节肥等优点。滴灌对土壤温湿度也能起到一定的控制作用,达到滴孔小、流速慢、土壤含水量变化幅度减小的效果[3],实现高频灌溉。但由于滴灌表层水分蒸发,导致水资源无效损耗,因此,渗灌逐渐被开发应用。与滴灌相比,渗灌具有水肥利用效率高,化肥可直接输送到作物根部,防止养分流失等优势;对土壤环境的改善、作物的生长、作物种质的提高、产量的增加等有显著效果;还具有节约水资源,减少水分蒸发等优势[4]。渗灌在果树栽培方面广泛应用,能够显著提高果实体积、产量和水分利用率等。周锦川等[5]发现南丰蜜桔在透水混凝土渗灌下增产1.58%～2.49%,水分利用效率提高4.84%～5.23%,果实体积较不同发育期滴灌均有所增加。蔡耀辉[6]的研究结果显示,微孔陶瓷渗灌对苹果树发芽长度、产量、水分利用效率等均有显著改善。马孝义等[7]的试验结果表明,与滴灌相比,在埋设渗灌带间距为2～3 m的黄土高原地区,果树的生长状况更好。与滴灌相比,渗灌在蔬菜栽培方面能够更加有效的增产并提高水分利用效率。张娜等[8]研究发现,在灌水量相同的前提下,0.1～0.2 m的渗灌管埋对番茄与黄瓜的生长发育、产量提高以及水分利用效率的提高更加有利。高洪香等[9]研究发现,在宁夏干旱地区,地下渗灌管埋深为10 cm、灌溉定额为2475 m^3/hm^2能够有效提高黄花菜的产量和水分利用效率。这些研究均表明渗灌在生产栽培应用中起到了重要作用,不仅能够有效提高产量,还能改善水分利用效率。

尽管前人对滴灌和渗灌技术已开展了大量研究,但多集中于滴灌管和渗灌管最佳埋深、间距和长度及地下渗灌制度等方面,而关于滴灌和渗灌在果树应用上的对比研究相对较少,尤其是在宁夏地区,还未对酿酒葡萄的节水灌溉方式进行具体比较。因此本研究在相同灌溉量下,对滴灌和渗灌进行比较。通过探究2种灌溉方式对酿酒葡萄'美乐'的根系分布、光合特性、果实品质和产量的影响,筛选出更加适宜宁夏酿酒葡萄栽培的节水灌溉方式,为宁夏地区酿酒葡萄产业的可持续发展提供科学指导。

1 材料和方法

1.1 试验材料

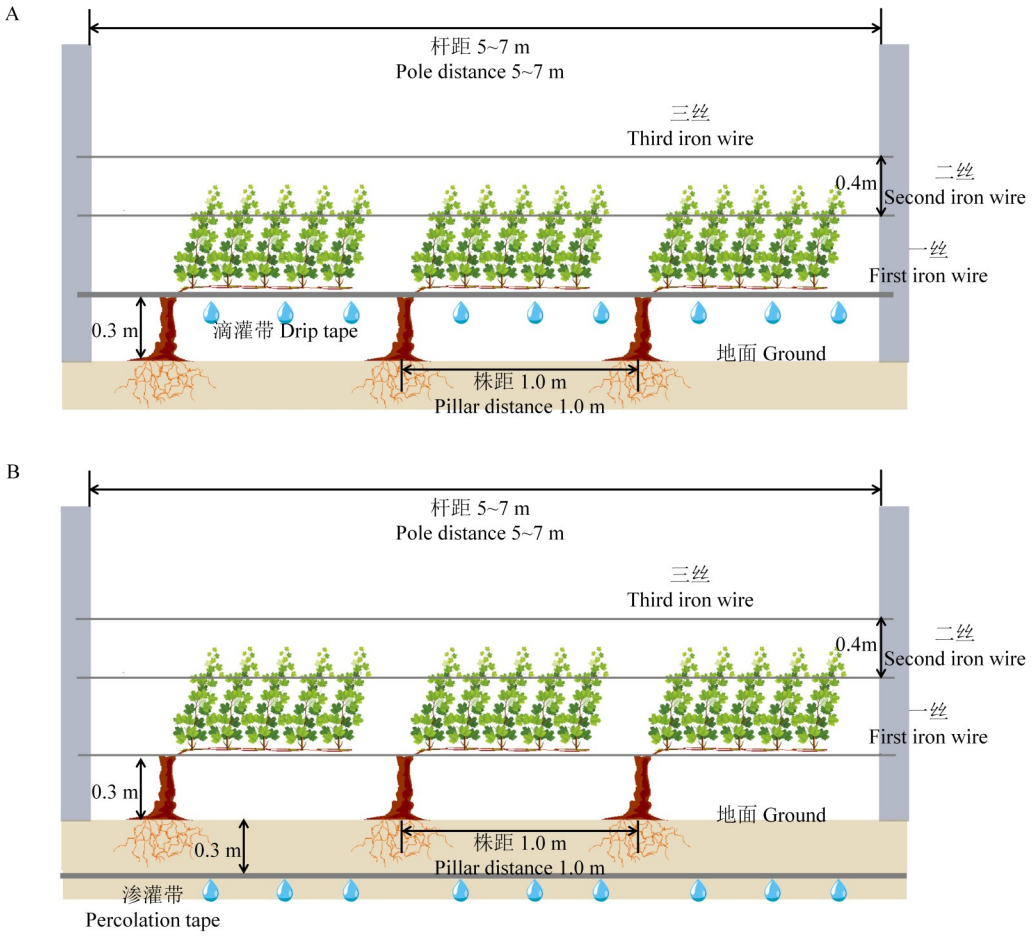
选取长势基本一致且无病虫害的四年生自根苗'美乐'葡萄(*Vitis vinifera* L. *cv.* 'Merlot')为试验材料,南北行向定植,行距3.0 m,株距1.0 m,采用'厂字型'整形方式,除灌水方式不同外,其它田间管理措施均一致。

试验于2023年5月至9月,2024年5月至9月连续2年在宁夏玉泉营农场国家葡萄产业技术体系水分生理与节水栽培岗位(CARS-29-zp-3)试验基地(38.28°N,106.24°E)进行,该地属于温带大陆性气候,供试土壤为砂壤土,pH值约为8.36,

含水量约32.75%。

1.2　试验方法

'美乐'葡萄分别进行滴灌(Drip irrigation, DI)和渗灌(Infiltrating irrigtaion, II)处理,各处理重复3次,每个重复18株。滴灌系统为地面上方30 cm处安装的滴灌管(图1A)。而渗灌系统则在植株两侧距离主干30 cm,地面下30 cm处安装渗灌管(DN16)(图1B)。



A:滴灌模型图;B:渗灌模型图

A: Model diagram of drip irrigation; B: Model diagram of percolation irrigation

图1　试验设计模型

Fig.1　The design of testing model

'美乐'葡萄灌水时间分别为:花后37 d、花后54 d和花后70 d,每隔16 d为1个灌水周期,具体灌水量见表1。为了避免降雨对试验结果的影响,在每2行中间1 m处挖设1条排水沟,并在第1道铁丝处覆盖1层宽为3.0 m的塑料薄膜。在晴天时将薄膜掀开,避免膜内温度过高;当降雨时,将塑料薄膜扣上,避免降雨对试验结果的干扰。

(1)黎明前叶片水势:参考压力室法,利用植物水分测定仪(ZLZ-4型)测定黎明前叶片水势。日出前1~2 h采集基部向上第6~8节位叶片,置于自封袋,立即带回实验室用于测定叶片水势,每

表1　灌水情况

Table 1　The irrigation condition

灌水时间 Irrigation time	花后时间/d Day	灌水处理 Irrigation treatment	灌水定额/(m^3/hm^2) Irrigation quota
第一次灌水 First irrigation	37	滴灌	750
		渗灌	750
第二次灌水 Second irrigation	54	滴灌	750
		渗灌	750
第三次灌水 Third irrigation	70	滴灌	1740
		渗灌	1740

个处理测定3次,每个灌水周期测定4次水势,每次间隔3 d。

(2)根系分布:在主干40 cm左右两侧各挖长100 cm、宽40 cm、深80 cm的土壤剖面,分别统计深度为0~20、20~40、40~60和60~80 cm处的根系数量,并对直径在0~2、2~6、6~10和大于10 mm的根系分布情况进行统计。

(3)光合效率:净光合速率(Pn,μmol/(m^2·s))、蒸腾速率(Tr,mmol/(m^2·s))、气孔导度(Gs,mmol/(m^2·s))、胞间CO_2浓度(CO_2,μmol/m)由德国WALZ公司生产的GFS-3000型便携式光合仪测定。选取基部向上第5节位叶片,每4 d测定1次,均在上午9:00-11:00时进行。

(4)果实品质:采用WYT-32型手持糖量折光仪测定可溶性固形物(TSS)质量分数[10]。采用NaOH滴定法测定可滴定酸含量[11]。采用福林丹尼斯法测定单宁含量[12]。采用福林酚法测定总酚含量[12]。采用pH示差法测定花色苷含量[13]。

(5)产量:于果实成熟期,从每个小区中随机选取三串大小一致且无病虫害的葡萄称量并取平均值,测其单穗重。计算公式:单株产量=单穗重量*单株穗数,取平均值测得单株产量。待冬剪后收集各处理剪下的全部枝条称量,通过公式:生长势[14]=0.5×修剪枝条重+0.2×果实产量,取平均值测得生长势。

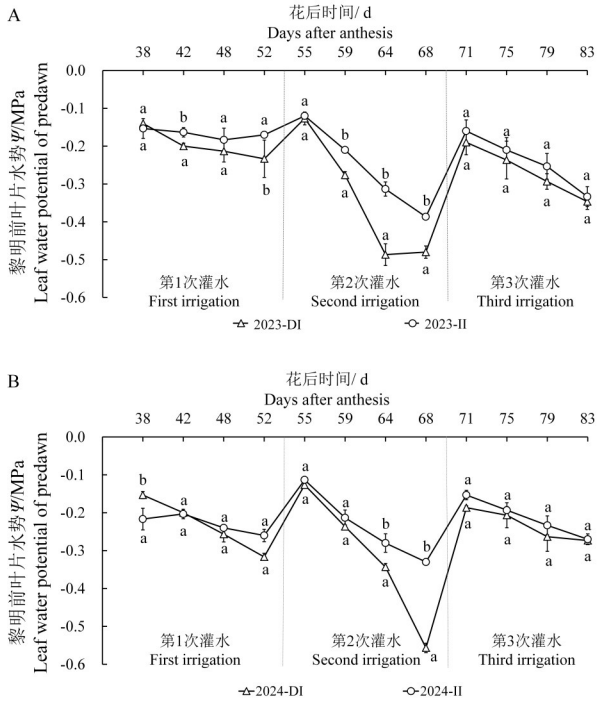
1.3 统计分析

采用Excel 2010进行数据记录和作图,用DPS V9.01进行统计分析,LSD多重比较法检验样本间的差异显著性($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 2种灌溉方式对'美乐'葡萄黎明前叶片水势的影响

由图2可见,3个灌水周期中,2种灌溉方式下,'美乐'葡萄的黎明前叶片水势整体呈下降趋势。渗灌处理下'美乐'葡萄黎明前叶片水势均高于滴灌,且在第2个灌水周期差异最显著。在第2个灌水周期,与滴灌相比,2023年渗灌处理下黎明前叶片水势提高了22.05%(图2A),2024年黎明前叶片水势提高了21.73%(图2B)。说明渗灌处理下,葡萄黎明前叶片水势更高,遭受水分胁迫的可能性越小。



A:2023年葡萄叶片水势图;B:2024年葡萄叶片水势图;DI:滴灌,II:渗灌;不同小写字母表示同一时间不同灌溉处理间的差异显著性($P<0.05$)

A: Water potential of grapevine leaves in 2023; B: Water potential of grapevine leaves in 2024; DI: drip irrigation, II: percolation irrigation; Different lowercase letters indicate significant differences between different irrigation treatments for the same grape line ($P<0.05$)

图2 2种灌溉方式对'美乐'葡萄叶片水势的影响

Fig.2 Effects of two irrigation methods on leaf water potential of 'Merlot' grape

2.2 2种灌溉方式对'美乐'葡萄根系分布的影响

滴灌和渗灌对'美乐'葡萄根系总量和根系分布均有影响(表2)。2023年滴灌后根系总数量为164条,比渗灌处理多34.43%。直径≤2 mm的吸收根在滴灌处理下比渗灌处理显著提高了63.77%;直径2~6 mm的吸收根在滴灌处理后数量比渗灌处理后增加了24.24%;直径6~10 mm的吸收根在渗灌处理后数量比滴灌处理后增加了62.50%;直径>10 mm的吸收根在渗灌处理下的数量是滴灌处理的3.5倍。

滴灌处理后在0~20 cm土层深度下根系数量比渗灌处理显著增加了75.00%;在20~40 cm土层深度,滴灌处理后的根系数量比渗灌处理增加了33.33%;40~60 cm土层深度下,滴灌,渗灌处理后的根系分布数量差异不明显;在60~80 cm的土层深度下,渗灌处理后的根系数量比滴灌增加了22.22%。

表2　2023年2种灌溉方式下的'美乐'葡萄根系分布

Table 2　Root distribution of 'Merlot' grapes under two irrigation methods in 2023　　条

土层深度 Soil depth	根系大小 Root size								总计 Total	
	≤2 mm		2～6 mm		6～10 mm		>10 mm			
	DI	II	DI	II	DI	II	DI	II	DI	II
0～20 cm	44	25	17	9	2	2	0	0	63	36
20～40 cm	41	24	16	8	3	7	0	6	60	45
40～60 cm	20	14	7	12	3	3	2	1	32	30
60～80 cm	8	6	1	4	0	1	0	0	9	11
总计 Total	113	69	41	33	8	13	2	7	164	122

由表3可见,2024年滴灌后根系总数量为189条,比渗灌处理多83.50%。直径≤2 mm的吸收根在滴灌处理下比渗灌处理显著提高了69.84%;直径2～6 mm的吸收根在滴灌处理下的数量是渗灌处理的2.79倍;直径6～10 mm的吸收根和直径>10 mm的吸收根在渗灌处理下的数量分别是滴灌处理的2.33倍和5.00倍。2年的结果共同说明了渗灌可以增加'美乐'葡萄根系中直径≥6 mm的根的数量,滴灌主要增加了'美乐'葡萄根系中直径≤2 mm和2～6 mm的根数量。

经滴灌处理后在0～20 cm土层深度下的根系数量是渗灌处理的2.31倍;在20～40 cm土层深度,滴灌处理后的根系数量是渗灌处理的2.67倍;40～60 cm土层深度下,滴灌、渗灌处理后的根系分布数量差异不明显;在60～80 cm的土层深度下,渗灌处理后的根系数量是滴灌的3.25倍。2年的结果共同说明了渗灌能够显著提高'美乐'葡萄深层土壤中的根系分布数量,有利于葡萄根系向下生长;滴灌则明显增加了表层土壤根系数量。

表3　2024年2种灌溉方式下的'美乐'葡萄根系分布

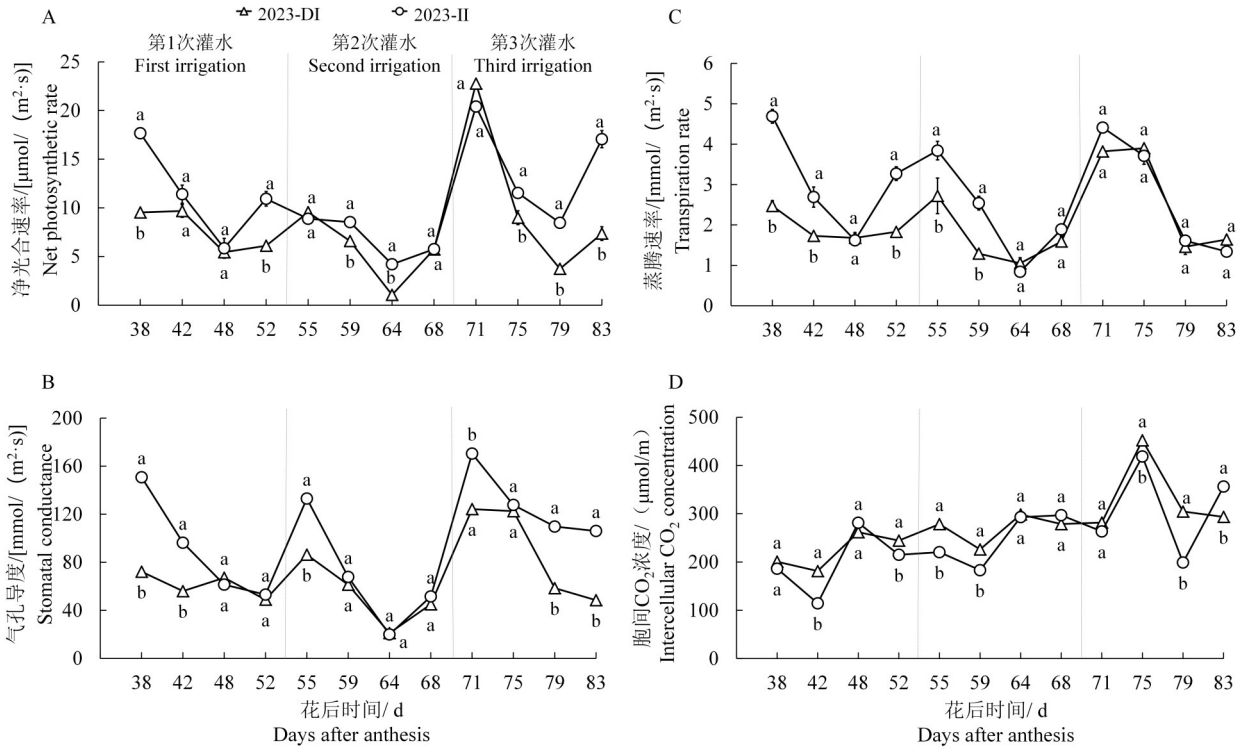
Table 3　Root distribution of 'Merlot' grapes under two irrigation methods in 2024　　条

土层深度 Soil depth	根系大小 Root size								总计 Total	
	≤2 mm		2～6 mm		6～10 mm		>10 mm			
	DI	II	DI	II	DI	II	DI	II	DI	II
0～20 cm	46	22	21	4	0	3	0	0	67	29
20～40 cm	36	17	48	9	3	2	1	5	88	33
40～60 cm	22	16	8	11	0	1	0	0	30	28
60～80 cm	3	8	1	4	0	1	0	0	4	13
总计 Total	107	63	78	28	3	7	1	5	189	103

2.3　2种灌溉方式对'美乐'光合特性的影响

如图3所示,2种灌溉方式下'美乐'葡萄叶片净光合速率、气孔导度和蒸腾速率在3个灌水周期中均呈先下降后上升的趋势(图3A～图3C),'美乐'葡萄胞间CO_2浓度均呈上升趋势(图3D)。对于净光合速率而言,除花后55、68和71 d外,其它时期均为渗灌显著高于滴灌,主要分布在5～15 μmol/(m^2·s)内。对于气孔导度来说,除花后48、52、59、64、68和75 d外,其它时期渗灌显著高于滴灌。对于蒸腾速率而言,除花后48、64、68、71、75和79 d外,其它时期均为渗灌显著高于滴灌,主要在1～5 mmol/(m^2·s)内变化。而胞间CO_2浓度则与上述3个指标呈相反趋势,且以滴灌浓度较高。

2024年2种灌溉方式对'美乐'葡萄光合特性的影响如图4所示。2种灌溉方式下'美乐'葡萄叶片净光合速率、气孔导度和蒸腾速率在3个灌水周期中均呈下降趋势(图3A～图3C),'美乐'葡萄胞间CO_2浓度均呈上升趋势(图3D)。对于净光合速率而言,除花后48、64和68 d外,其它时期均为渗灌显著高于滴灌,主要在5～15 μmol/(m^2·s)内。对于气孔导度来说,除花后64、68、75和79 d外,其它时期均为渗灌显著高于滴灌。对于蒸腾速率而言,除花后42、64、68、71、75和79 d外,其它时期均为渗灌显著高于滴灌,主要在1～5 mmol/(m^2·s)



A:净光合速率;B:气孔导度;C:蒸腾速率;D:胞间CO_2浓度;小写字母表示不同灌溉处理间的差异显著性($P<0.05$)

A: The net photosynthetic rate; B: Stomatal conductance; C: Transpiration rate; D: Intercellular CO2 concentration; Lowercase letters indicate significant differences between different irrigation treatments for the same grape line ($P<0.05$)

图3 2023年2种灌溉方式对'美乐'葡萄光合特性的影响

Fig.3 Effects of two irrigation methods on photosynthetic characteristics of 'Merlot' grape in 2023

内变化。而胞间CO_2浓度则与上述3个指标呈相反趋势,且以滴灌浓度较高。

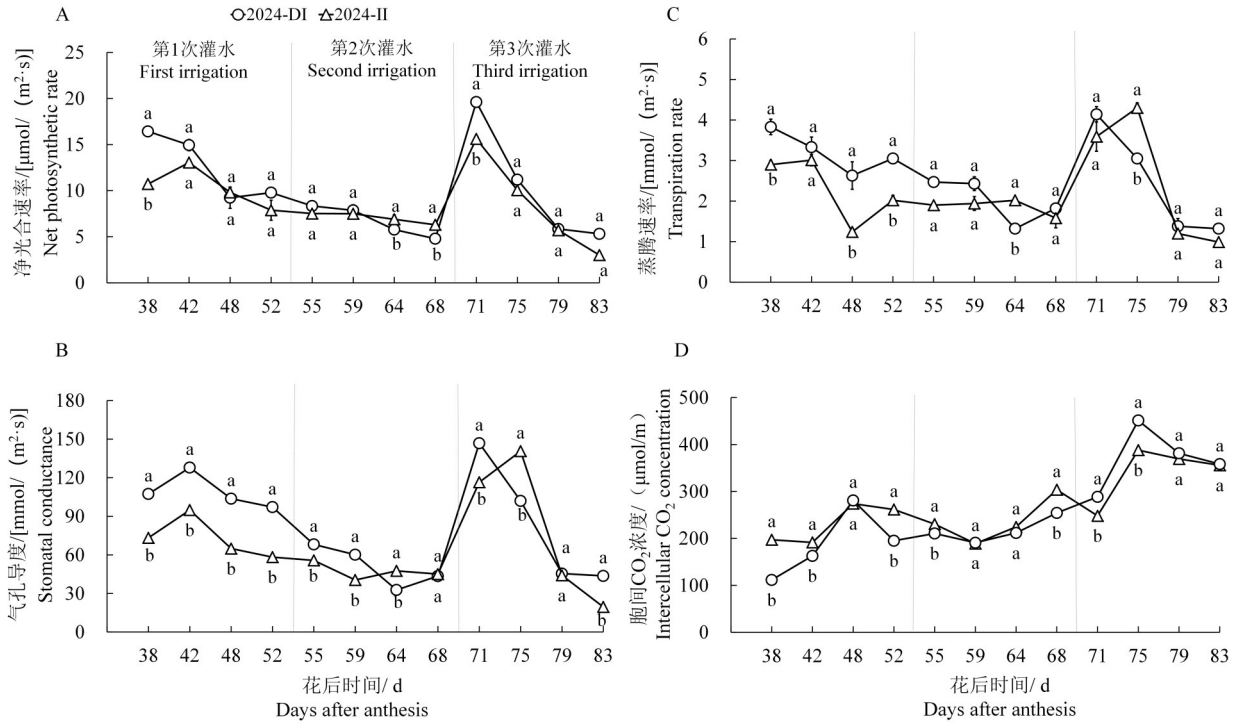
2.4 2种灌溉方式对'美乐'葡萄果实品质的影响

2023年2种灌溉对'美乐'葡萄果实品质的影响如图5所示。在花后40～60 d,滴灌条件下百粒重显著高于渗灌,而花后80～120 d时,滴灌和渗灌处理下百粒重无显著差异(图5A)。于可滴定酸含量而言,在花后40～60 d,可滴定酸含量迅速下降,随后趋于平缓。在采收期,2023年滴灌条件下可滴定酸含量比渗灌高5.13%,但无显著差异(图5B)。渗灌条件下可溶性固形物含量比滴灌高1.88%(图5C)。渗灌条件下总花色苷含量比滴灌高31.15%(图5D)。渗灌条件下总酚含量比滴灌显著提高41.23%(图5E)。渗灌条件下单宁含量比滴灌显著提高16.45%(图5F)。

2024年2种灌溉对'美乐'葡萄果实品质的影响如图6所示。渗灌条件下百粒重均显著低于滴灌,采收期时滴灌处理的百粒重比渗灌处理高31.23%(图6A)。于可滴定酸含量而言,在花后40～60 d,可滴定酸含量迅速下降,随后趋于平缓。在采收期,滴灌处理的可滴定酸含量比渗灌高12.02%(图6B)。渗灌条件下可溶性固形物含量比滴灌高0.55%(图6C)。渗灌条件下总花色苷含量比滴灌高24.73%(图6D)。渗灌条件下总酚含量比滴灌显著提高24.16%(图6E)。渗灌条件下单宁含量比滴灌显著提高33.01%(图6F)。综合2年的结果而言,渗灌处理有利于葡萄果实品质的提升。

2.5 2种灌溉对'美乐'产量的影响

由表4可见,于成熟采收期,2023年渗灌条件下单穗重为145.93 g,单株产量为3.50 kg,分别比滴灌显著提高了17.11%、17.06%。通过分析生长势,发现渗灌条件下'美乐'葡萄的生长势为0.88 kg/株,而滴灌仅为0.75 kg/株。2024年渗灌处理下的单穗重为131.30 g,单株产量为3.28 kg,分别比滴灌显著提高了11.27%、21.03%。2024年渗灌条件下的生长势为0.73 kg/株,比滴灌显著增加了21.67%。说明渗灌处理能增加'美乐'葡萄的单穗重、单株产量和生长势。

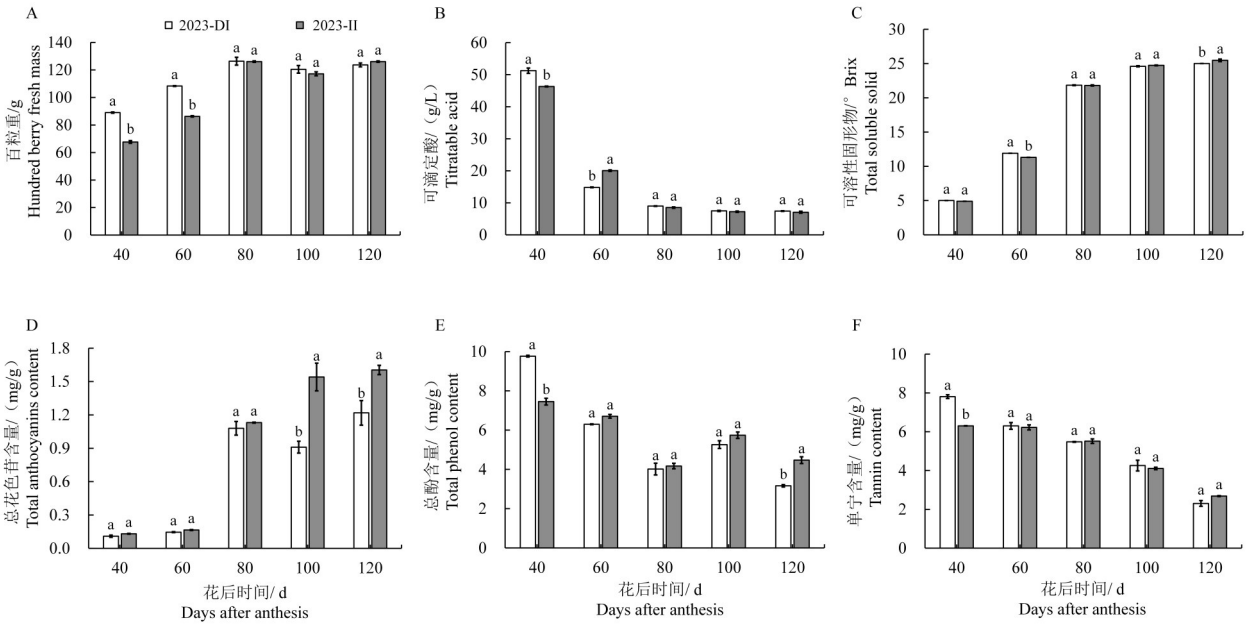


A:净光合速率;B:气孔导度;C:蒸腾速率;D:胞间CO_2浓度;小写字母表示不同灌溉处理间的差异显著性($P<0.05$)

A: The net photosynthetic rate; B: Stomatal conductance; C: Transpiration rate; D: Intercellular CO2 concentration; Lowercase letters indicate significant differences between different irrigation treatments for the same grape line ($P<0.05$)

图4　2024年2种灌溉方式对'美乐'葡萄光合特性的影响

Fig.4　Effects of two irrigation methods on photosynthetic characteristics of 'Merlot' grape in 2024

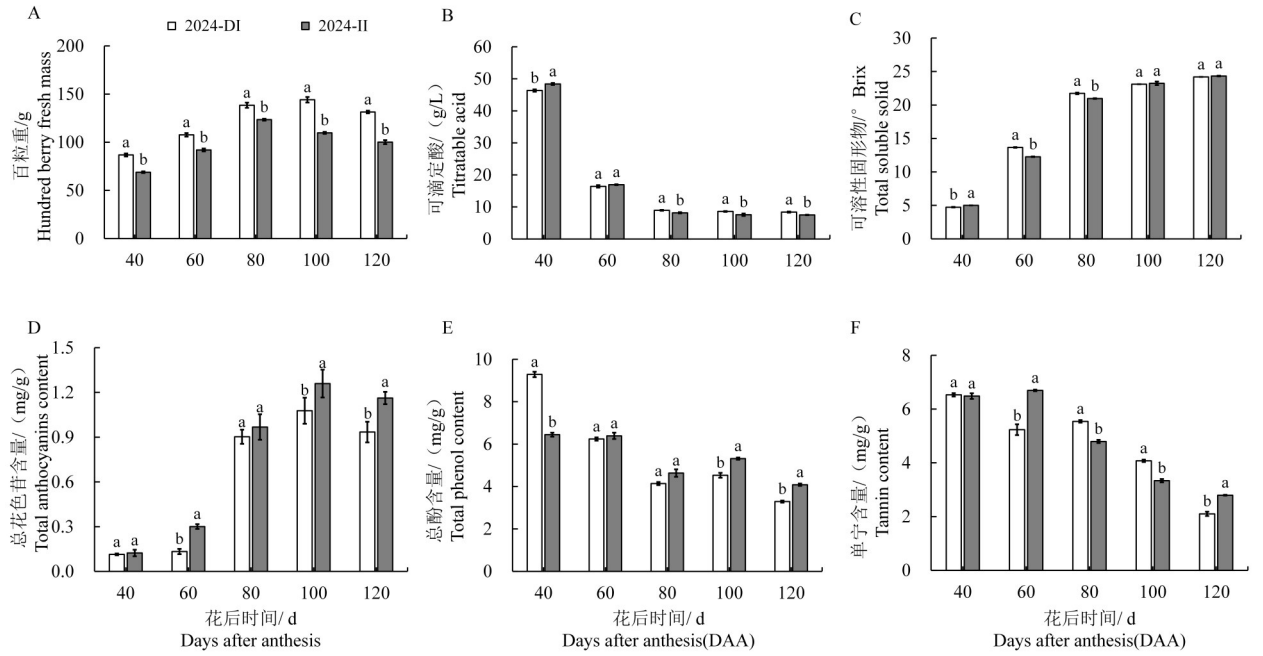


A:百粒重;B:可滴定酸;C:可溶性固形物;D:总花色苷含量;E:总酚含量;F:单宁含量;小写字母表示不同灌溉处理间的差异显著($P<0.05$)

A: Hundred berry fresh mass; B: Titratable acid; C: Total soluble solids; D: Total anthocyanin content; E: Total phenol content; F: Tannin content; Lowercase letters indicate significant differences between different irrigation treatments for the same grape line ($P<0.05$)

图5　2023年2种灌溉方式对'美乐'葡萄果实品质的影响

Fig.5　Effects of two irrigation methods on fruit quality of 'Merlot' grape berries in 2023



A:百粒重;B:可滴定酸;C:可溶性固形物;D:总花色苷含量;E:总酚含量;F:单宁含量;小写字母表示不同灌溉处理间的差异显著($P<0.05$)

A: Hundred berry fresh mass; B: Titratable acid; C: Total soluble solids; D: Total anthocyanin content; E: Total phenol content; F: Tannin content; Lowercase letters indicate significant differences between different irrigation treatments for the same grape line ($P<0.05$)

图6 2024年2种灌溉方式对'美乐'葡萄果实品质的影响

Fig.6 Effects of two irrigation methods on fruit quality of 'Merlot' grape berries in 2024

表4 两种灌溉方式对'美乐'葡萄产量的影响

Table 4 Effects of two irrigation methods on yield of 'Merlot' grape

处理 Treatments	单穗重/g Weight per spike	单株产量/kg Yield per plant	生长势/(kg/株) Growth potential
2023－DI	124.60±4.35 b	2.99±0.18 b	0.75±0.04 b
2023－II	145.93±0.98 a	3.50±0.04 a	0.88±0.01 a
2024－DI	118.00±3.29 b	2.71±0.19 b	0.60±0.11 b
2024－II	131.30±2.80 a	3.28±0.12 a	0.73±0.14 a

注:小写字母表示不同灌溉处理间的差异显著($P<0.05$)。

Note: Lowercase letters indicate significant differences between different irrigation treatments for the same grape line ($P<0.05$).

3 讨论

由于日出前1～2 h植株水分状况最稳定,且该阶段叶片水势与根际土壤含水量密切关联,因此,黎明前叶片水势被广泛用于制定精准灌溉策略和特定品种匹配灌溉量。1998年,Carbonneau[15]长期研究获得了黎明前叶片水势阈值,且评估了不同阈值对葡萄树营养、生殖生长的影响效应。植物的叶片水势能够直接反映作物受到的水分胁迫程度。本试验通过控制灌水量一致的前提下,比较了滴灌和渗灌对'美乐'葡萄的影响。渗灌处理下叶片的水势比滴灌的高,说明渗灌灌溉方式下酿酒葡萄的受水分胁迫程度较小,水分利用效率高,可节约灌溉用水。这与孙新忠等[16]研究结果相一致,其发现渗灌的总耗水量比地面灌溉的耗水量要低,而且节水作用明显。灌水方式的不同影响了葡萄根区的水分分布情况,灌溉部位水分入土方式不同,造成根区土壤水分环境差异,进而影响了根系的吸水和运输效率,导致滴灌和渗灌条件下葡萄叶片水势出现差异。受供水深度的影响,作物根系生长发育和分布有所不同。在同样的灌溉时间下,滴灌与渗灌相比,主要是使表层土壤湿润,下部的根系得不到充足的水分供应,长期

处于水分不足的状态,进而抑制根系向深层次生长。渗灌可同时向上下部运输水分,使根系均匀分布,总长度、总重量明显增加,但下渗作用大于上浸作用,减少了表层土壤的根数[17]。本研究结果表明滴灌与渗灌均能促进'美乐'葡萄根系生长,滴灌有利于直径≤2 mm和2~6 mm的根系数量的增加,而60~80 cm土层根系在渗灌条件下分布较多。毛娟等[18]研究发现,覆草滴灌显著提高了'赤霞珠'葡萄的根系数量,提高了根系的水平分布范围,这与本研究结果一致。韦艳葵等[19]研究发现地下滴灌条件下,杨树直径<10 mm的根系数量显著增加。Ma等[20]研究表明直接根区灌溉能促进深层根系发育,这些研究结果均与本研究中渗灌条件下深层土壤根系分布更广泛的结果相一致。这可能是由于土壤含水量在不同灌溉方式下土壤水分蒸发强度不同,从而导致不同土层的土壤湿度有所差别,进一步影响了葡萄根系数量和生长特征。渗灌条件下,深层土壤湿度较滴灌条件下更大,因此根系分布数量较多。

植物光合特性亦被灌溉方式显著影响[21]。本研究结果表明,2种灌溉方式下'美乐'葡萄叶片净光合速率、气孔导度和蒸腾速率在3个灌水周期中均呈先下降后上升的趋势,胞间CO_2浓度均呈上升趋势。'美乐'葡萄在2种灌溉方式下,由于测定周期较短,其光合作用的变化趋势并不稳定,没有明显的区别。不同的灌溉方式下,由于土壤水分在水平方向上的不同而发生运移,从而造成树冠层空气的微小气候之间也存在着差异,进而导致植物叶片气孔的气体交换和光合同化能力的不同,从而造成了土壤水分在横向上的运输不同[22]。

作为植物体内的一种天然色素,花色苷的含量与灌水量和植物含水量有密切关系,其含量直接影响葡萄果实品质和葡萄酒的质量。陈拓等[23]发现,在环状渗灌条件下,'摩尔多瓦'葡萄果实的花色苷含量较常规沟灌显著增加14.3%,而可溶性固形物和可滴定酸的含量则相差不大。孙伊博等[24]研究结果表明同样的灌水量,在地下30 cm深的毛细芯渗灌条件下,减少了水分胁迫对鲜食葡萄的伤害,进而增加了果实的百粒重、糖酸比、可溶性固形物含量和花色苷含量,这与本研究中渗灌可以提高'美乐'葡萄可溶性固形物和总花色苷含量结果相一致。此外,本研究还发现渗灌对'美乐'葡萄的总酚和单宁含量都有改善作用。

Zotarelli[25]和Al-Ghobari等[26]研究发现,地下渗灌更有利于提高番茄产量,巩振兴[27]在葡萄上的研究也得到了类似结果。Yeşim Bozkurt等[28]研究表明,地上滴灌、地下滴灌条件下的茄子产量均显著高于亏缺灌溉,且灌水量相同的条件下,地上滴灌50%处理的产量均显著高于部分根区干燥50%处理。而本研究发现,相同灌水量下,渗灌比滴灌更能显著提高'美乐'葡萄的单穗重、单株产量和生长势。

4　结论

综合2种灌溉方式对'美乐'葡萄的影响来看,渗灌处理既可提高60~80 cm处根系分布数量,促使根系向深层土壤生长,提高水分利用效率,又能增加葡萄果实花色苷、总酚和单宁的含量,降低可滴定酸含量,提高葡萄果实品质。因此,渗灌可作为一种节水灌溉方式在葡萄生产中推广使用。

参　考　文　献

[1]姜光清,刘学军. 宁夏高效节水灌溉运行机制研究[J]. 宁夏工程技术,2016,15(1):54-57.
Jiang G Q, Liu X J. Research on the operation mechanism of efficient water-saving irrigation in Ningxia [J]. Ningxia engineering technology, 2016, 15(1): 54-57.

[2]Zubelzu S, Rodriguez-Sinobas L, Saa-Requejo A, et al. Assessing soil water content variability through active heat distributed fiber optic temperature sensing [J]. Agricultural Water Management, 2019, 212: 193-202.

[3]高秀英. 果树微滴灌技术应用存在的问题及对策[J]. 现代农业科技,2020(21):189-190.
Gao X Y. Problems and countermeasures in the application of micro-drip irrigation technology for fruit trees [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020(21): 189-190.

[4]沈海斌,李珍珍,张瑞明,等. 基于渗灌系统的水肥一体化技术应用现状及发展趋势[J]. 上海农业学报,2014,30(4):126-130.
Shen H B, Li Z Z, Zhang R M, et al. Current status and development trend of water and fertilizer integration technology based on percolation system [J]. Shanghai Journal of Agriculture, 2014, 30(4): 126-130.

[5]周锦川,孔琼菊,胡优等. 透水混凝土渗灌对南丰蜜橘产量品质及水分利用效率的影响[J]. 节水灌溉,2024(4):70-77.
Zhou J C, Kong Q J, Hu Y, et al. The effect of permeable concrete infiltration on the yield, quality, and water use efficiency of Nanfeng clementines[J]. Water Saving Irrigation, 2024(4): 70-77.

[6]蔡耀辉. 微孔陶瓷灌水器开发与应用基础研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2019.
Cai Y H. Basic research on development and application of microporous ceramic emitter[D]. Yangling: Northwest A & F University,2019.

[7]马孝义,谢建波,康银红. 重力式地下滴灌土壤水分运动规律的模拟研究[J]. 灌溉排水学报,2006,25(6):5-10.
Ma X Y, Xie J B, Kang Y H. Finite element simulation study on soil water movement under gravity subsurface drip irrigation [J]. Journal of Irrigation and Drainage,2006,25(6):5-10.

[8]张娜,郑雅莲,赵艳. 不同渗灌埋深对温室黄瓜、番茄水分生产效率及土壤氮素的影响[J]. 北京农业,2011,(30):31-34.
Zhang N, Zheng Y L, Zhao Y. Effects of different percolation depths on water production efficiency and soil nitrogen of greenhouse cucumber and tomato [J]. Beijing Agriculture, 2011,(30):31-34.

[9]高洪香,焦炳忠,贾帅. 适宜的渗灌灌溉方式提高灌区水分利用效率及黄花菜产量[J]. 节水灌溉,2023(9):32-37.
Gao H X, Jiao B Z, Jia S. Suitable infiltration irrigation methods to improve water use efficiency and yield of daylily in irrigation area[J]. Water Saving Irrigation,2023(9):32-37.

[10]王华. 葡萄与葡萄酒实验技术操作规范[M]. 西安:西安地图出版社,1999:100-105.
Wang H. Code of practice for experimental techniques on grapes and wine[M]. Xi′an: Xi′an Map Press,1999:100-105.

[11]白宝璋. 植物生理生化(下)[M]. 北京:中国农业科技出版社,2003:330-348.
Bai B Z. Plant Physiology and Biochemistry (Next) [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2003:330-348.

[12]Wilson M F. Comparison of tannin levels in developing fruit buds of two orchard pear varieties using two techniques, Folin-Denis and protein precipitation assays[J]. Journal of Chemical Ecology,1984,10(3):493-498.

[13]吕丹桂,谢岳,徐伟荣,等. 水分胁迫对赤霞珠葡萄果实花色苷生物合成的影响[J]. 西北农业学报,2019,28(8):1274-1281.
Lü D G, Xie Y, Xu W R, et al. Effect of water stress on anthocyanin biosynthesis of grape berries [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2019, 28(8): 1274-1281.

[14]Wang Z, Deloire A, Carbonneau A, et al. Study of sugar phloem unloading in ripening grape berries under water stress conditions[J]. OENO One,2016,37(4):213.

[15]Carbonneau A. Vignoble méditerranéens: des malentendus à rectifier[J]. Le Progrès agricole et viticole, 1998, 115(21): 456-458.

[16]孙新忠. 葡萄渗灌节水增产效果试验研究[J]. 人民黄河,2005,27(8):44-45,64.
Sun X Z. Test and study on effects of water saving and yield increase of grapes through filtration irrigation [J]. Yellow River,2005,27(8):44-45,64.

[17]王文静,郁松林,于坤,等. 根区交替滴灌方式对葡萄根系形态特征与根系活力的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2014,32(4):414-421.
Wang W J, Yu S L, Yu K, et al. Effects of alternating drip irrigation in root zone on morphological characteristics and root vigor of grapevine roots [J]. Journal of Shihezi University (Natural Science Edition),2014,32(4):414-421.

[18]毛娟,陈佰鸿,曹建东,等. 不同滴灌方式对荒漠区'赤霞珠'葡萄根系分布的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(11):3084-3090.
Mao J, Chen B H, Cao J D, et al. Effects of different drip irrigation modes on root distribution of wine grape 'Cabernet Sauvignon' in desert area of Northwest China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2013,24(11):3084-3090.

[19]韦艳葵,贾黎明,王玲,等. 地下滴灌条件下杨树速生丰产林林木根系生长特性[J]. 北京林业大学学报,2007,29(2):34-40.
Wei Y K, Jia L M, Wang L. Characteristics of root growth in fast-growing and high-yield poplar plantations under subsurface drip irrigation [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2007,29(2):34-40.

[20]Ma X C, Sanguinet K A, Jacoby P W. Direct root-zone irrigation outperforms surface drip irrigation for grape yield and crop water use efficiency while restricting root growth [J]. Agricultural Water Management,2020,231:105993.

[21]刘雅楠,刘洋,兰再平,等. 不同灌溉方式对樟子松生长、光合特性及土壤水分运移的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版). 2022,46(4):135-143.
Liu Y N, Liu Y, Lan Z P, et al. Effects of different irrigation methods on growth, photosynthetic characteristics and soil water transport of camphor pine [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2022, 46(4): 135-143.

[22]范严伟,王延祥,史金红,等. 竖管地表滴灌与普通地表滴灌土壤水分运移特性对比试验研究[J]. 水土保持学报,2022,36(6):163-170. Fan Y W, Wang Y X, Shi J H, et al. Comparative experimental study on soil water transport characteristics between vertiacl pipe surface drip irrigation and common surface drip irrigation[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2022,36(6):163-170.

[23]陈拓,张清涛,陈郁,等."超纤渗灌"对摩尔多瓦葡萄生长与果实品质的影响研究[J]. 干旱地区农业研究,2021,39(6):79-86,104.
Chen T, Zhang Q T, Chen Y, et al. Effects of microfiber wicking infiltration irrigation on grape growth and fruit quality of *Vitis vinifera* L. cv. Moldova in arid region [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(6): 79-86,104.

[24]孙伊博,张清涛,王垚,等. 旱区"环状毛细芯渗灌"对葡萄生长发育和果实品质的影响研究[J]. 干旱地区农业研究,

2018,36(3):1-8.
Sun Y B, Zhang Q T, Wang Y, et al. Effects of "circular capillary core percolation irrigation" on grape growth and development and fruit quality in arid areas[J]. Arid Zone Agricultural Research,2018,36(3):1-8.

[25]Zotarelli L, Scholberg J M, Dukes M D, et al. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling[J]. Agricultural Water Management, 2009,96(1):23-34.

[26]Al-Ghobari H M, Dewidar A Z. Integrating deficit irrigation into surface and subsurface drip irrigation as a strategy to save water in arid regions[J]. Agricultural Water Management, 2018,209:55-61.

[27]巩振兴. 葡萄地下滴灌包气带水分特征分析[J]. 地下水, 2014,36(4):38-39.
Gong Z X. Analysis of water characteristics in vadose zone of grape subsurface drip irrigation[J]. Ground Water, 2014, 36(4):38-39.

[28]Yeşim Bozkurt Ç, Yazar A, Gönen E, et al. Yield and quality response of surface and subsurface drip-irrigated eggplant and comparison of net returns[J]. Agricultural Water Management,2018,206:165-175.

(编辑:韩志强)