

## 滴灌方式对‘赤霞珠’葡萄幼苗根冠功能的调控效应\*

于 坤 郁松林\*\* 刘怀锋 赵宝龙 王文静

(石河子大学农学院新疆兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆石河子 832003)

**摘要** 研究地下穴贮滴灌(自主设计)、膜下滴灌、地表滴灌3种滴灌方式对酿酒葡萄品种‘赤霞珠’幼苗根冠功能的影响。结果表明:膜下滴灌和地下穴贮滴灌较地表滴灌更促进植株生长,其中地下穴贮滴灌主要促进根系的生长,膜下滴灌主要促进地上部的生长;在20~60 cm土层,地下穴贮滴灌处理根表面积、根体积、根系活力和超氧化物歧化酶活性均高于地表滴灌和膜下滴灌处理,表明地下穴贮滴灌可有效促进根系下扎,提高土壤深层根系的生理活性;同一灌水周期后期地表滴灌处理较早受到干旱胁迫的影响,地下穴贮滴灌和膜下滴灌处理叶片净光合速率( $P_n$ )和气孔导度( $g_s$ )均高于地表滴灌处理,灌水7 d后膜下滴灌处理12:00—14:00实际光化学效率( $\Phi_{ps II}$ )、光化学猝灭系数( $q_p$ )低于地下穴贮滴灌处理,表明叶片荧光日进程中膜下滴灌受到的光抑制程度大于地下穴贮滴灌;对植株根冠功能的相关分析表明,有效增加20~40 cm土层根系的根量指标,保持根系生理活性在较高水平,可促进整体植株地上部生物量的增加和总生物量的积累。综合分析表明,地下穴贮滴灌较膜下滴灌、地表滴灌对植株根冠生长及功能调控有一定优势,可作为果树节水灌溉技术的潜在替代技术。

**关键词** 葡萄;滴灌;根冠;调控

文章编号 1001-9332(2015)05-1335-08 中图分类号 S275.6, S562 文献标识码 A

**Effects of drip irrigation methods on the regulation between root and crown function of ‘Cabernet Sauvignon’ seedlings.** YU Kun, YU Song-lin, LIU Huai-feng, ZHAO Bao-long, WANG Wen-jing (Key Laboratory of Oasis Ecological Agriculture, Xinjiang Construction Crops, College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2015, 26(5): 1335-1342.

**Abstract:** The objective of this experiment was to study the effects of three irrigation methods, *i.e.*, subsurface drip irrigation with a tank system (SDI), plastic film mulched-drip irrigation (MDI), and conventional drip irrigation (DI) on the regulation between root and crown function of *Vitis vinifera* ‘Cabernet Sauvignon’ seedlings. The results showed that both the SDI and MDI systems promoted the growth of the grape seedlings compared with DI, with the SDI system promoting the root growth, and MDI system promoting the aboveground growth. Root area, root volume, and root activity and SOD enzyme activity in the SDI treatment were greater than those of MDI or DI treatment in the 20–60 cm soil layer. SDI treatment increased root penetration and physiological activity. Symptoms of drought stress appeared earlier in DI treatment than in either MDI or SDI treatment in the same watering schedule. Net photosynthetic rate ( $P_n$ ) and stomatal conductance ( $g_s$ ) of leaves were higher in SDI and MDI treatments than in DI treatment.  $\Phi_{ps II}$  and  $q_p$  at 12:00–14:00 were lower in the MDI treatment than in SDI treatment at 7 d after irrigation, suggesting that the degree of photoinhibition in the fluorescence process in MDI treatment was more than that in SDI treatment. The high biomass and physiological activity of roots in the 20–40 cm depth could increase both of total plant biomass and aboveground biomass. The regulation between root and crown function was better in SDI treatment than in MDI and DI treatments. Therefore, SDI could be used as an alternative technique of water-saving irrigation practices.

**Key words:** grape; drip irrigation; root-shoot; regulation.

\* 国家自然科学基金项目(31360464)、新疆生产建设兵团资助项目(2013BA003)和新疆研究生创新项目(XJGR12013061)资助。

\*\* 通讯作者。E-mail: songlin8900@sina.com

2014-05-08 收稿, 2015-02-28 接受。

水分是植物生长发育的必要条件之一<sup>[1]</sup>,滴灌与传统灌溉方式的本质区别是改变了水的供给方式,使灌溉由向“土壤供水”转为向“植株供水”,通过滴灌可精准的根据植物的生长确定适宜的水分供给,以最高效的方式获得经济产量<sup>[2]</sup>.地表滴灌、地下滴灌(渗灌)作为目前滴灌节水方式的主要方法<sup>[3]</sup>,其滴灌方式的改变不仅改变了灌溉植物根系的分布、构型,而且改变了植物根系对水分的吸收和利用效率<sup>[4]</sup>,不同空间和时间内土壤含水量和根系分布的不同必然引起植株地上部产生相应的变化<sup>[5-6]</sup>.

果树滴灌节水研究已进行了多年,但多集中于地表滴灌<sup>[7-9]</sup>或灌溉模式<sup>[10-11]</sup>研究,目前国内关于地下滴灌(渗灌)对果树方面的应用研究较少.果树作为多年生作物,地下滴灌一次铺设多年使用的特点保证了其在果树生产中应用的广阔前景<sup>[2]</sup>.国外研究表明,地下滴灌较地表滴灌具有更加节水<sup>[12]</sup>、提高水分利用效率<sup>[2]</sup>、增产<sup>[13]</sup>、提高品质<sup>[4]</sup>的特点,在美国<sup>[14]</sup>、西班牙<sup>[15]</sup>等已进入大面积推广阶段.在我国由于地下滴灌(渗灌)系统造价较高、易堵塞、管理维护难度大、出水孔间距固定或较均匀无法根据果树株距进行适应性调整等因素而没有大面积推广<sup>[16]</sup>.目前,我国西北干旱半干旱区推广的果树节水方法主要以地表滴灌、涌泉灌等为主<sup>[17]</sup>,生产中发现地表滴灌较传统漫灌节水效率大幅度提高,但由于灌水量减少,根系分布范围变浅,对干旱、低温逆境的抵御能力降低.我国西北地区冬季冻土层较厚,根系上浮导致果树冻害严重,造成果实品质下降和产量降低,影响果树产业的可持续发展<sup>[16,18]</sup>.

地下穴贮滴灌技术<sup>[19]</sup>是为解决果树根系上浮问题和将地下滴灌技术实际应用于我国干旱半干旱区果树生产而自主研发的新型果树节水灌溉技术,在生产中表现出一定的应用推广前景.但目前关于地下穴贮滴灌技术与现有的地表滴灌、膜下滴灌技术的比较,尤其是不同滴灌方式对葡萄根冠功能的调控效应研究尚未见报道.本研究在管栽试验条件下以酿酒葡萄品种‘赤霞珠’为试材,研究地下穴贮滴灌、膜下滴灌、地表滴灌3种滴灌方式对植株生长和根冠功能的影响,以为生产中筛选出适合果树生产的滴灌节水技术提供科学支持.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于2013年4—10月在石河子大学农学院

实验站进行(45°19' N, 86°03' E),本区多年平均气温为6.5~7.2℃,无霜期为168~171 d,年日照时数为2721~2818 h.防雨栽培,供试材料为1年生扦插酿酒葡萄品种‘赤霞珠’(*Vitis vinifera* ‘Cabernet Sauvignon’),设地表滴灌、膜下滴灌、地下穴贮滴灌3种处理.试验采用管栽法,根管为直径30 cm、管壁厚1 cm、长40 cm的硬质PVC管,每两管纵向连接成一个总长为80 cm的整体管(图1),连接处用防水胶带密封.定植前PVC管置于深为80 cm的土坑中,土坑底部铺设黑色防水布,每柱间距15 cm,试验土壤质地为灰漠土,土壤有机质含量17.9 g·kg<sup>-1</sup>,全氮含量1.2 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮含量53.7 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷含量18.9 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾含量199 mg·kg<sup>-1</sup>,土壤容重1.40 g·cm<sup>-3</sup>.

地下穴贮滴灌处理参照文献<sup>[19]</sup>,主要由贮水容器、进水支管、稳流器组成(图2),其中,贮水容器由进水孔、透水小桶、贮水底盘组成,使用过程中按照种植要求,贮水容器、进水支管和稳流器均埋入地下25 cm处.稳流器接入输水主管后与进水支管相接,进水支管通过进水孔深入透水小桶,贮水底盘置于透水小桶底部.透水小桶为圆柱型容器,上面和四周密闭,内部中空,下部无底,周围开有微孔,上部微孔较少,直径为0.3 cm,下部微孔较多,直径为0.5 cm.贮水底盘为一次性纸袋,内部装有牛粪、秸秆或其他腐化物制成的有机肥和抗蒸腾剂.其中,稳流器的作用为稳定水流,使各进水支管的进水压力和水量一致,贮水底盘的作用为贮存部分水分,起到缓释的目的.

地下穴贮滴灌采用新疆惠利节水工程公司生产的Φ20 mm PE管做主管、Φ4/7毛管做进水支管,毛管与进水支管连接稳流器(压力补偿式滴头,

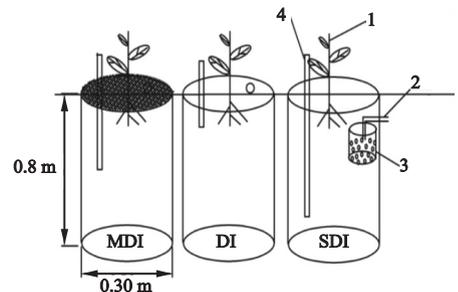


图1 不同滴灌方式示意图

Fig.1 Schematic diagram of different drip irrigations.

1) 植株 Plant; 2) 进水支管 Water inlet; 3) 穴贮容器 Container of reserving fertilizer and water; 4) 水势探头 Measurement of water potential probe. SDI: 地下穴贮滴灌 Subsurface drip irrigation with a tank system; MDI: 膜下滴灌 Plastic film mulched-drip irrigation; DI: 地表滴灌 Conventional drip irrigation. 下同 The same below.

4 L·h<sup>-1</sup>)以稳定水流.地下穴贮滴灌透水小桶为直径5 cm、高10 cm的PVC管,PVC管上部密封只有进水孔,管上均匀分布直径0.3 cm的微孔,贮水底盘为长4 cm、宽4 cm的一次性纸袋,内部装有10 g的牛粪、秸秆腐化物制成的有机肥,0.6 g的抗蒸腾剂(聚丙烯酰胺,山东东营),透水小桶与植株距离5 cm,埋深25 cm;膜下滴灌与地表滴灌所用主管和滴头与地下穴贮滴灌一致,每株一个滴头,滴头与植株距离5 cm,用别针固定.一次灌水量根据前期研究确定为每株21 mm(约3 mm·d<sup>-1</sup>),各处理灌水量一致,电阻式水分张力感应器实时测定值作为灌水参考.为防止水分下渗过快采用间隔灌水,为灌水当日的10:00、18:00分别滴水15、6 mm·plant<sup>-1</sup>,灌水量通过水表和球阀控制.滴水频次为:5月6日—7月1日每9 d一次;7月2日—9月1日每7 d一次;从9月2日开始每9 d一次,直到9月10日取根为止.于5月6日定植预培养的1年生‘赤霞珠’葡萄扦插苗,栽培前每株施入硝酸铵3.5 g,硫酸钾0.84 g,过磷酸钙2.28 g,与过2 mm网筛的土壤混匀后施入,做基肥,生长过程中不施肥,田间管理同当地栽培模式一致,每次处理15株,3次重复,共45个土柱.

## 1.2 测定项目与方法

**1.2.1 根量指标的测定** 落叶前(9月10日)每处理选取3根土柱,分次取出茎、叶,自来水冲洗除去杂质后放于冰盒中带回实验室,80℃下烘干至恒量后称量获得各部分质量.以土柱10 cm为一层(0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60 cm),分层

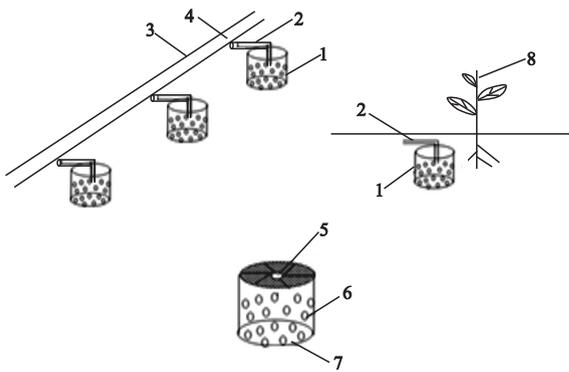


图2 地下穴贮滴灌组件示意图

**Fig.2** Schematic diagram of subsurface drip irrigation with a tank system.

1) 贮水容器 Container of reserving fertilizer and water; 2) 进水管 Water inlet; 3) 主管 Main pipe; 4) 稳流器 Stabilizer; 5) 进水小孔 Ostium; 6) 透水小桶 Permeable keg; 7) 贮水底盘 Saved water chassis.

挖出每层全部土体土,迅速收集、检出根系、洗净.用根系扫描仪扫描根系,利用图像分析软件(WinRHIZO, Canada)对扫描根系图像进行分析,获得根系有效根表面积(cm<sup>2</sup>)、有效根体积(cm<sup>3</sup>),扫描后根系于80℃下烘干至恒量后称根系质量和地上部质量.

**1.2.2 根系活性的测定** 于9月7日选取3根土柱,每20 cm为一层,分层取出直径0<d(直径)<5 mm根系,用自来水冲洗后迅速放入冰盒带回实验室,液氮速冻后放入超低温冰箱-70℃保存,参照林植芳等<sup>[20]</sup>的方法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;取根当日鲜样,采用TTC法测定根系活力.

**1.2.3 同一灌水周期内叶片光合指标的测定** 8月15日至8月23日,即灌水后1、3、5、7、9 d测定同一灌水周期内不同滴灌方式处理的叶片光合参数,每处理分别选取长势一致的功能叶片,叶片取样为植株新梢向下第3~8片叶上中下取5片,每处理选取生长一致的植株5株(重复5次),叶片光合性能的测定采用Li-6400光合测定系统,在10:00—12:00测定气体交换参数,借助人工光源,光强稳定在(1500±50) μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>每处理选取生长一致的植株5株(重复5次),测定叶片净光合速率(P<sub>n</sub>)、气孔导度(g<sub>s</sub>)等,取平均值.

**1.2.4 叶片叶绿素荧光参数日进程的测定** 于灌水后1、7 d测定植株8:00—20:00叶片荧光参数,采用PAM2100荧光仪和2030-B光适应叶夹(Walz, Germany)测定叶片的叶绿素荧光参数,与气体交换参数同时进行测定(同一标记叶片).每处理采用气体交换参数测量的叶片,在凌晨太阳未升起前测量叶片初始荧光(F<sub>0</sub>)和最大荧光(F<sub>m</sub>),然后打开光化光,强度为1800 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>左右,待荧光信号达到稳态后打开饱和脉冲光,每间隔2 h测定叶片实际荧光产量(F<sub>I</sub>)和光适应下的最大荧光产量(F<sub>m'</sub>),计算实际光化学效率(Φ<sub>PSII</sub>)、光化学猝灭系数(q<sub>p</sub>)、叶绿素荧光参数,叶片取样与光合参数测定叶片一致,取平均值.

## 1.3 数据处理

采用Excel 2003和SPSS 13.0软件进行数据统计分析.通过单因素方差分析(one-way ANOVA)和LSD法进行差异显著性检验(α=0.05).

## 2 结果与分析

### 2.1 滴灌方式对葡萄幼苗生物量和根冠比的影响

由图3可以看出,同一灌水条件下,不同灌溉方式葡萄根干质量表现为:地表滴灌<膜下滴灌<地下

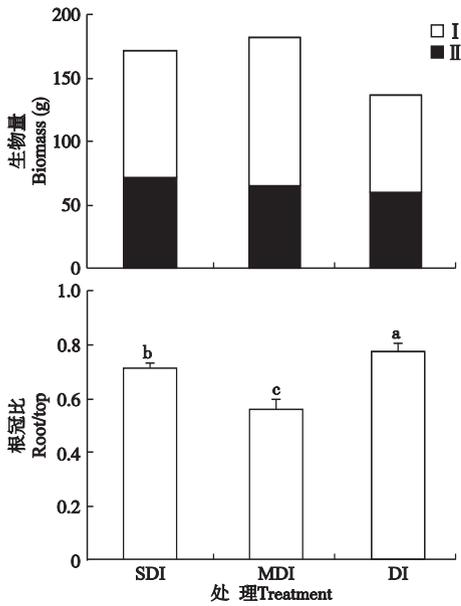


图3 滴灌方式对葡萄幼苗生物量和根冠比的影响

Fig.3 Effects of different drip irrigation methods on the plant biomass and root/top ratio of *Vitis vinifera* seedlings.

I: 地上部 Shoot; II: 根 Root.

穴贮滴灌,其中,地下穴贮滴灌处理根干质量比膜下滴灌、地表滴灌处理分别高8.8%和20.0%;地上部干质量表现为:地表滴灌<地下穴贮滴灌<膜下滴灌,膜下滴灌处理地上部干质量与地下穴贮滴灌、地表滴灌差异均显著。

不同滴灌方式下根冠比表现为地表滴灌最高,地下穴贮滴灌次之,膜下滴灌最低,各处理间差异均显著。

## 2.2 滴灌方式对葡萄幼苗根系分布和生理特性的影响

在根系垂直分布上,地下穴贮滴灌处理赤霞珠葡萄幼苗根表面积(RA)、根体积(RV)在20~40 cm

土层最高,分别约占总根表面积和根体积的44.1%和47.5%;膜下滴灌处理根表面积、根体积在0~20 cm土层最高,分别约占总根表面积和根体积的52.0%和55.3%。在0~20 cm土层,根表面积、根体积在地下穴贮滴灌处理最小,地表滴灌处理次之,膜下滴灌处理最高;在20~40 cm土层,不同滴灌处理表现为地表滴灌<膜下滴灌<地下穴贮滴灌,地下穴贮滴灌与膜下滴灌及地表滴灌均呈显著差异;在40~60 cm土层,不同滴灌处理表现为膜下滴灌<地表滴灌<地下穴贮滴灌,地下穴贮滴灌处理在20~60 cm土层根系活力和SOD酶活性均高于地表滴灌和膜下滴灌处理;在0~20 cm土层,地下穴贮滴灌处理根系活力和SOD酶活性则显著低于地表滴灌和膜下滴灌处理(表1)。

## 2.3 滴灌方式对葡萄幼苗光合特性的影响

同一滴灌周期内各处理叶片净光合速率( $P_n$ )在灌水初期较低,灌水后3 d达到最大值,而后逐渐降低,呈单峰曲线(图4)。灌水后1 d,地下穴贮滴灌、地表滴灌处理叶片净光合速率高于膜下滴灌;灌水后3 d,膜下滴灌处理叶片净光合速率升高幅度最大;灌水后7、9 d膜下滴灌与地下穴贮滴灌处理叶片净光合速率均显著高于地表滴灌处理,膜下滴灌与地下穴贮滴灌处理间无显著差异。

叶片气孔导度( $g_s$ )变化趋势与叶片净光合速率相似,呈单峰曲线。地表滴灌、膜下滴灌与地下穴贮滴灌处理叶片气孔导度均在灌水后3 d达到最大值。灌水后1 d,地下穴贮滴灌与地表滴灌处理叶片气孔导度高于膜下滴灌处理;灌水后5、7、9 d地下穴贮滴灌处理叶片气孔导度高于膜下滴灌与地表滴灌处理,膜下滴灌、地下穴贮滴灌与地表滴灌处理间

表1 滴灌方式对葡萄幼苗根系分布和生理特性的影响

Table 1 Effects of different drip irrigation methods on the root distribution and physiological of *Vitis vinifera* seedlings

处理 Treatment	土层 Soil layer (cm)	根表面积 Root surface area (cm <sup>2</sup> )	根体积 Root volume (cm <sup>3</sup> )	根系活力 Root activity ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	根系 SOD 活性 Root SOD activity (Unit $\cdot \text{mg}^{-1}$ protein)
地下穴贮滴灌 Subsurface drip irrigation	0~20	216.7 $\pm$ 17.4Bc	20.5 $\pm$ 3.1Bb	118.9 $\pm$ 7.7Bb	6.89 $\pm$ 2.53Bb
	20~40	309.4 $\pm$ 22.3Aa	34.3 $\pm$ 5.7Aa	170.9 $\pm$ 7.9Aa	22.53 $\pm$ 2.91Aa
	40~60	175.5 $\pm$ 15.0Ca	17.4 $\pm$ 2.3Ba	175.1 $\pm$ 10.4Aa	23.78 $\pm$ 3.02Aa
地表滴灌 Drip irrigation	0~20	252.3 $\pm$ 31.7Ab	23.4 $\pm$ 2.0Ab	141.1 $\pm$ 11.8Aa	15.83 $\pm$ 1.18Ba
	20~40	203.2 $\pm$ 25.8Bb	19.7 $\pm$ 2.1Bb	149.6 $\pm$ 8.6Ab	17.66 $\pm$ 1.51ABa
	40~60	112.1 $\pm$ 12.1Cb	10.3 $\pm$ 1.3Cb	156.6 $\pm$ 12.4Aa	20.40 $\pm$ 1.10Aa
膜下滴灌 Mulched drip irrigation	0~20	346.4 $\pm$ 27.5Aa	40.7 $\pm$ 5.4Aa	136.6 $\pm$ 8.4Ba	13.86 $\pm$ 1.09Ba
	20~40	221.2 $\pm$ 11.4Bc	23.3 $\pm$ 1.6Bb	153.3 $\pm$ 10.9Ab	18.18 $\pm$ 2.31Aa
	40~60	98.4 $\pm$ 8.7Cb	9.6 $\pm$ 0.7Cb	164.1 $\pm$ 9.1Aa	21.89 $\pm$ 1.78Aa

不同大写字母表示同一处理不同土层间差异显著,不同小写字母表示同一土层不同处理间差异显著( $P < 0.05$ ) Different capital letters meant significant difference among different soil layers in the same treatment, and different small letters meant significant difference among different treatments at the same soil layer at 0.05 level.

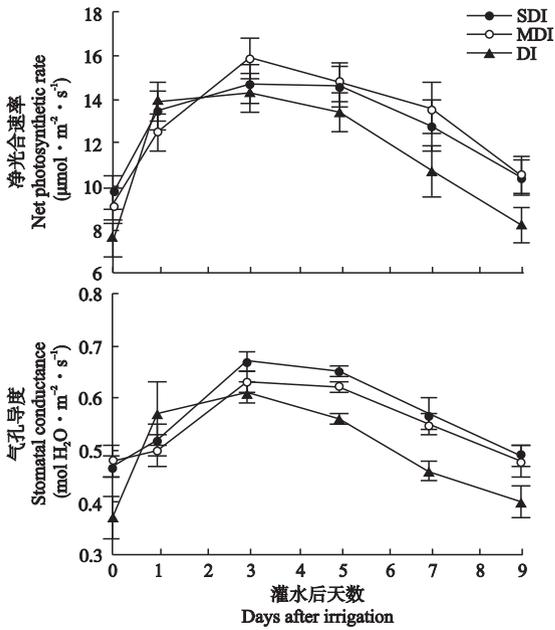


图4 滴灌方式对葡萄幼苗叶片净光合速率和气孔导度的影响

Fig.4 Effects of different drip irrigation methods on the  $P_n$  and  $g_s$  of leaves of *Vitis vinifera* seedlings.

有显著差异,膜下滴灌与地下穴贮滴灌处理差异较小。

## 2.4 滴灌方式对叶片叶绿素荧光参数的影响

**2.4.1 灌水1 d后  $\Phi_{PSII}$  和  $q_p$  的日变化** 灌水1 d后不同滴灌处理  $\Phi_{PSII}$  的日变化随光强的增强而降低(图5)。12:00—14:00 各滴灌处理  $\Phi_{PSII}$  降至最低,随后逐渐恢复,至20:00基本恢复到8:00的初始

值。不同滴灌处理  $\Phi_{PSII}$  的日变化存在显著差异。8:00 不同滴灌处理叶片的  $\Phi_{PSII}$  基本一致;10:00—12:00 膜下滴灌处理  $\Phi_{PSII}$  下降幅度最高,不同滴灌处理间  $\Phi_{PSII}$  表现为地表滴灌>地下穴贮滴灌>膜下滴灌,在10:00各处理间差异不显著,在12:00 地下穴贮滴灌与膜下滴灌和地表滴灌处理间存在显著差异;16:00—18:00不同滴灌处理间  $\Phi_{PSII}$  表现为地下穴贮滴灌>膜下滴灌、地下穴贮滴灌>地表滴灌,膜下滴灌和地表滴灌处理的  $\Phi_{PSII}$  变化基本一致。

$q_p$  代表叶绿素可变荧光的光化学猝灭系数,反映PS II反应中心的开放比例<sup>[21-22]</sup>。不同滴灌条件下, $q_p$ 均随光强的增强而降低,随叶片接受光强的减弱而升高(图5),呈“U”型。地下穴贮滴灌与地表滴灌处理  $q_p$  无显著差异,而膜下滴灌处理  $q_p$  在10:00—12:00低于地表滴灌和地下穴贮滴灌处理,在14:00—20:00,各处理的光化学猝灭系数变化趋势基本一致。

**2.4.2 灌水7 d后  $\Phi_{PSII}$  和  $q_p$  的日变化** 不同滴灌处理灌水7 d后, $\Phi_{PSII}$  随叶片接受光强的增强而降低,当叶片接受的光强达到峰值时, $\Phi_{PSII}$  降至最低,随后逐渐恢复,至20:00 地下穴贮滴灌与膜下滴灌处理基本恢复到8:00的初始值,地表滴灌处理  $\Phi_{PSII}$  未恢复到初始值。不同滴灌处理  $\Phi_{PSII}$  的日变化存在明显差异。8:00 不同滴灌处理叶片的  $\Phi_{PSII}$  基本一致;10:00—18:00 不同滴灌处理间  $\Phi_{PSII}$  表现为地下穴贮滴灌>地表滴灌,地下穴贮滴灌>膜下滴灌。在

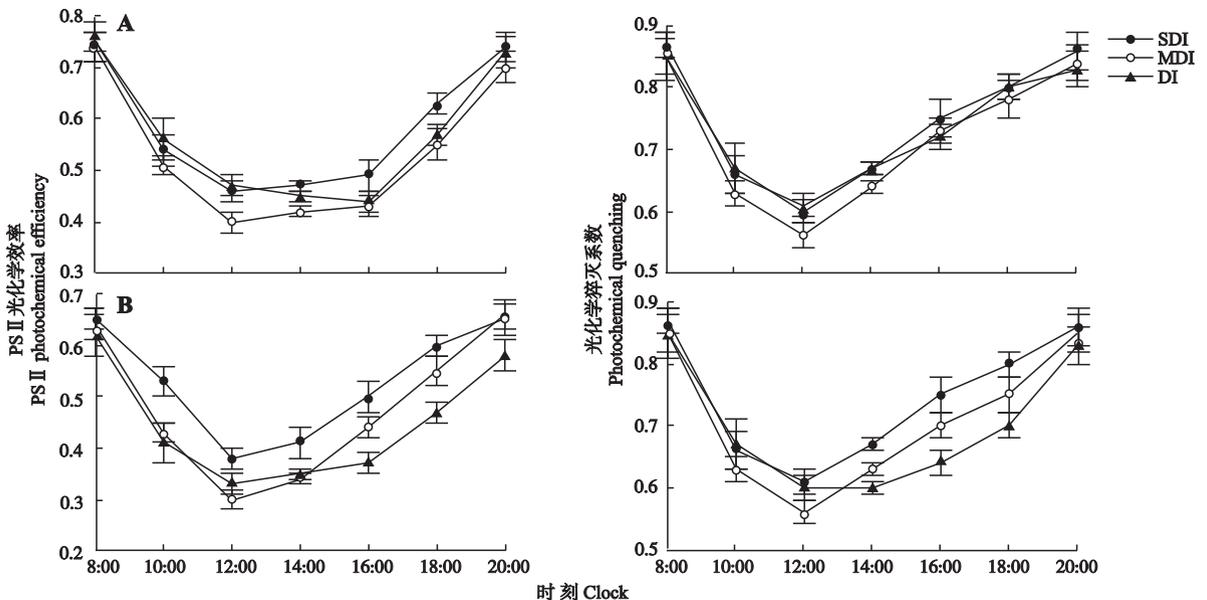


图5 不同滴灌方式下葡萄幼苗叶片  $\Phi_{PSII}$  和  $q_p$  的日变化

Fig.5 Diurnal change of  $\Phi_{PSII}$  and  $q_p$  in leaves of *Vitis vinifera* seedlings under different drip irrigation methods.

A: 灌水后第1天 The first day after irrigation; B: 灌水后第7天 The seventh day after irrigation.

12:00 各滴灌处理间  $\Phi_{psII}$  表现为地下穴贮滴灌>地表滴灌>膜下滴灌,在14:00—20:00各滴灌处理间  $\Phi_{psII}$  表现为地下穴贮滴灌>膜下滴灌>地表滴灌(图5)。

不同滴灌处理下光化学猝灭系数( $q_p$ )均随光照强度的增强而降低,随光照强度的减弱而升高。不同滴灌处理对  $q_p$  的日变化表现为:8:00—12:00,地下穴贮滴灌与地表滴灌处理间变化趋势一致,膜下滴灌处理  $q_p$  下降幅度明显;在12:00各滴灌处理  $q_p$  表现为地下穴贮滴灌>地表滴灌>膜下滴灌;在14:00—18:00,各滴灌处理间  $\Phi_{psII}$  表现为地下穴贮滴灌>膜下滴灌>地表滴灌,地下穴贮滴灌与地表滴灌间差异显著(图5)。

## 2.5 不同滴灌方式根系性状生物量的相关分析

由表2可以看出,0~20 cm 土层,根表面积、根体积与地上部生物量和总生物量呈显著正相关;40~60 cm 土层,根表面积、根体积与地上部生物量和总生物量的相关性不显著;40~60 cm 土层,根系SOD活性与地上部生物量呈显著正相关;20~40 cm 和40~60 cm 土层,根系活力与地上部生物量和总生物量均呈显著正相关。

表2 根系性状与葡萄幼苗地上部性状的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between characteristics of roots and aboveground biomass of *Vitis vinifera* seedlings

根系性状 Root characteristics	土层 Soil layer (cm)	地上部生物量 Aboveground biomass	总生物量 Total biomass
根表面积 Root area index	0~20	0.634 *	0.467 *
	20~40	0.241 *	0.430 *
	40~60	-0.086	0.115
根体积 Root volume density	0~20	0.778 *	0.637 *
	20~40	0.314 *	0.498 *
	40~60	0.005	0.205
根系SOD活性 Root SOD activity	0~20	-0.294	0.476
	20~40	0.183	0.379
	40~60	0.664 *	0.800
根系活力 Root activity	0~20	-0.276	-0.463
	20~40	0.247 *	0.436 **
	40~60	0.427 *	0.599 *

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ .

## 3 讨 论

植株生物量是与植株最终产量密切相关的重要农艺性状<sup>[23]</sup>。植株光合产物在一定的水分亏缺条件下会优先向根系分配,同时根系可通过自身对外界环境的调整在空间和时间上进行调整,从而获得更多的生长空间。较大的根冠比有利于植物抗旱,但较

多的根系冗余也会对地上部的生长和最终的经济产量产生影响<sup>[24]</sup>。因此,通过适宜的水分调控途径培育理想的根冠比是使作物健壮生长和夺取优质高产的重要因素之一<sup>[25]</sup>。本研究中,地下穴贮滴灌处理根质量高于膜下滴灌和地表滴灌,可能是由于植株生长早期地下穴贮滴灌处理表层根系受到干旱胁迫,迫使根系向下拓展生长空间,进而获得较好的生长环境,促进根系的生长;地表滴灌处理根冠比高于膜下滴灌及地下穴贮滴灌则是由于地表滴灌在同一灌水后期,水分散失较快,植株较早受到干旱胁迫,迫使植株较多的产物优先供给根系;对植株总生物量的分析表明,膜下滴灌和地下穴贮滴灌较地表滴灌处理均能显著促进植株的生长,虽然地表滴灌处理由于受到胁迫影响根冠比较大,但强烈抑制了植株整体的正常生长。

根系活力和保护酶活性是根系生理特性的显著指标,代表植物根系新陈代谢的强弱。本研究表明,根系活力和SOD酶活性均呈0~20 cm 土层<20~40 cm 土层<40~60 cm 土层,这与管栽小麦<sup>[26]</sup>和棉花<sup>[27]</sup>的研究结果一致。20~60 cm 土层地下穴贮滴灌处理根表面积、根体积、根系活力、SOD酶活性均高于膜下滴灌和地表滴灌处理,这与地下穴贮滴灌能将水分锁定于地下20~40 cm 土层,土壤水分含量相对稳定,使根系获得一个比较适宜的生长环境,诱导较多新根产生有关。

在农业生产中,表土干旱是一种常见的生理逆境之一<sup>[27]</sup>。在灌水量相同的条件下,同一灌水周期后期(5~9 d),地下穴贮滴灌处理净光合速率、叶绿素荧光特性均高于地表滴灌处理,这可能是由于地下穴贮滴灌处理的表土干旱导致浅层根量减少,深层根量增多,0~40 cm 土层根系由于水分供给的条件比较适宜,所产生的胁迫信号较少,植物光合作用没有受到较强的抑制,同时地下穴贮滴灌处理的植株较地表滴灌处理积累了更多的物质,可对逆境产生较好的生理补偿效应;地表滴灌处理虽亦受表土干旱的影响,但由于其土壤表层根量较多,深层根量有限,对干旱进行适应性调整的空间受到限制,逆境产生的胁迫信号较强,抑制了叶片的光合作用。膜下滴灌是将覆膜技术和地表滴灌相结合的灌溉技术,具有“增温保墒”的作用<sup>[28]</sup>。本研究发现,虽然地下穴贮滴灌与膜下滴灌处理在整个灌水周期内叶片净光合速率无明显差异,但在灌水后期,地下穴贮滴灌处理叶片气孔导度高于膜下滴灌处理,这可能与膜下滴灌覆膜阻碍了根系与外界空气交换有关,这需

进一步研究。

不同滴灌方式对葡萄叶片叶绿素荧光参数的影响不同,但在 20:00 均基本恢复,表明在同一灌水额度和灌水周期内,不同滴灌处理对葡萄叶片未发生长期光抑制。本研究中,随着日照光强的增加, $q_p$  逐渐降低,在灌水后 1 d,12:00—20:00 地下穴贮滴灌和地表滴灌处理  $q_p$  变化趋势和大小无明显区别,而在灌水后 7 d,12:00—20:00 地下穴贮滴灌处理  $q_p$  高于地表滴灌处理,表明在同一灌水周期内早期地表滴灌与地下穴贮滴灌处理对 PS II 反应中心开放比例的影响无较大差别,在灌水后期地表滴灌处理 PS II 反应中心开放比例低于地下穴贮滴灌处理。在灌水后 7 d,膜下滴灌处理在 12:00—14:00  $\Phi_{ps II}$ 、 $q_p$  均低于地下穴贮滴灌、地表滴灌处理,表明膜下滴灌在 12:00—14:00 叶片光合处在过激状态,光化学效率降低,PS II 反应中心的开放比例低于地表滴灌和地下穴贮滴灌处理,这可能是由于地下穴贮滴灌处理覆盖塑料薄膜,光反射能力较强,加剧了其光抑制过程。

植物根冠相互关系决定着植物对水分和营养的吸收、利用和分配,从而影响作物的产量和植株的生长,如何有效诱导植株的根冠关系已成为研究热点<sup>[29]</sup>。本研究对植株根冠功能相关分析表明,0~40 cm 土层根量指标(根表面积、根体积)与植株地上部生物量和总生物量呈显著正相关,而 40~60 cm 土层根表面积、根体积与地上部生物量和总生物量的相关性不显著,表明较深土层的根系对植株地上部和总生物量的积累贡献度较低;20~40 cm 土层根系活力与地上部生物量和总生物量呈显著正相关。综合分析表明,如有效增加 20~40 cm 土层根系的根量指标,提高根系活力,保持根系生理活性在较高水平有利于促进植株地上部生物量的增加和总生物量的积累。

由于本研究在管栽条件下进行,方便取根,较精确地对植株根冠功能进行比较分析,但较果树田间实际生产有一定差距。为使本研究结果能切实地应用于生产,在大田试验条件下比较不同滴灌方式对葡萄生长的调控效应是今后的研究重点。

#### 参考文献

[1] Qi Y-L (祁有玲), Zhang F-C (张富仓), Li K-F (李开峰). Effects of water deficit and nitrogen fertilization on winter wheat growth and nitrogen uptake. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2009, **20** (10): 2399-2405 (in Chinese)

[2] Ayars JE, Phene CJ, Hutmacher RB, *et al.* Subsurface drip irrigation of row crops: A review of 15 years of research at the water management research laboratory. *Agricultural Water Management*, 2008, **42**: 1-27

[3] Reyes-Cabrera J, Zotarelli L, Rowland DL, *et al.* Drip as alternative irrigation method for potato in Florida sandy soils. *Journal of Potato Research*, 2014, **91**: 504-516

[4] Machado RMA, do Rosario M, Oliveira G, *et al.* Tomato root distribution, yield and fruit quality under subsurface drip irrigation. *Plant and Soil*, 2003, **255**: 333-341

[5] Yang S-M (杨素苗), Li B-G (李保国), Qi G-H (齐国辉), *et al.* Effects of alternate partial root zone irrigation on roots activity, stem sap flow and fruit of apple. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (农业工程学报)*, 2010, **26**(8): 73-79 (in Chinese)

[6] Mu Z-X (慕自新), Zhang S-Q (张岁岐), Hao W-F (郝文芳), *et al.* The effect of root morphological traits and spatial distribution on WUE in maize. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, 2005, **25**(12): 2895-2900 (in Chinese)

[7] Chen R-N (陈若男), Wang Q-J (王全九), Yang Y-F (杨艳芬), *et al.* Numerical analysis of layout parameters and reasonable design of grape drip irrigation system for stony soil in Xinjiang Uighur Autonomous Region. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (农业工程学报)*, 2010, **26**(12): 151-156 (in Chinese)

[8] Du T-S (杜太生), Kang S-Z (康绍忠), Xia G-M (夏桂敏), *et al.* Response of grapevine growth and water use to different partial root-zone drying patterns under drip irrigation. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (农业工程学报)*, 2005, **21** (11): 43-47 (in Chinese)

[9] Du T-S (杜太生), Kang S-Z (康绍忠), Yan B-Y (闫博远), *et al.* Experimental research of high-quality efficient irrigation on grape in the oasis region. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (农业工程学报)*, 2007, **23**(11): 67-72 (in Chinese)

[10] Kang SZ, Li ZJ, Hu XT, *et al.* An improved water use efficiency for hot pepper grown under controlled alternate drip irrigation on partial roots. *Scientia Horticulture*, 2001, **89**: 257-267

[11] Kang SZ, Zhang JH. Controlled alternate partial root zone irrigation: Its physiological consequences and impact on water use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 2004, **55**: 2437-2446

[12] Phene CJ. Subsurface drip irrigation: Why and how. *Irrigation*, 1999, **4**: 8-10

[13] Thorburn PJ, Cook FJ, Bristow BL. Soil-dependent wetting from trickle emitters: Implications for system design and management. *Irrigation Science*, 2003, **22**: 121-127

[14] USDA-NASS. Farm and Ranch Irrigation Survey. Vol. 3: Special Studies. Washington DC: USDA, 2009

- [15] Pascual R, Pablo B, Francisco G. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on vegetative development and yield of mature almond trees. *Plant and Soil*, 2004, **260**: 169–181
- [16] Yu K (于坤), Yu S-L (郁松林). Anti-clogging sustainable utilization subsurface drip irrigation tube. China, 201210419575.8. 2012-10-13 (in Chinese)
- [17] Hong M (洪明), Zhao J-H (赵经华), Le K-Y (勒开颜), et al. Investigation of red jujube trees irrigation status in Tarim basin. *Water-saving Irrigation* (节水灌溉), 2013(2): 66–70 (in Chinese)
- [18] Mao J (毛娟), Chen B-H (陈佰鸿), Cao J-D (曹建东), et al. Effects of different drip irrigation modes on root distribution of wine grape ‘Cabernet Sauvignon’ in desert area of northwest China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2013, **24**(11): 3084–3090 (in Chinese)
- [19] Yu K (于坤), Yu S-L (郁松林), Zhao F-Y (赵丰云). System of hole storing irrigation under low presser. China, 201320102541.6. 2013-12-04 (in Chinese)
- [20] Lin Z-F (林植芳), Li S-S (李双顺), Lin G-Z (林桂珠), et al. Superoxide dismutase activity and lipid peroxidation in relation to senescence of rice leaves. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 1984, **26**(6): 605–615 (in Chinese)
- [21] Krause GH, Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Annual Review of Plant Biology*, 1991, **42**: 301–313
- [22] Schreiber U, Bilger W, Neubauer C. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis// Schulze ED, Caldwell MM, eds. *Ecophysiology of Photosynthesis*. Berlin: Springer-Verlag, 1994: 49–70
- [23] Yang Q-L (杨启良), Zhang F-C (张富仓), Liu X-G (刘小刚), et al. Effects of different furrow irrigation patterns, water and nitrogen supply levels on hydraulic conductivity and yield of maize. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 2011, **27**(2): 302–307 (in Chinese)
- [24] Li H (李话), Zhang D-Y (张大勇). Morphological characteristics and growth redundancy of spring wheat root system in semi-arid regions. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 1999, **10**(1): 26–30 (in Chinese)
- [25] Gedroc JJ, Mcconnaughay KDM, Coleman JS. Plasticity in root/shoot partition: Optimal, ontogenetic, or both? *Functional Ecology*, 1996, **10**: 44–50
- [26] Pan Q-M (潘庆民), Yu Z-W (于振文), Wang Y-F (王月福), et al. Changes of two senescence index and iPAS and ABA in wheat root at different soil layer after anthesis. *Plant Physiology Communications* (植物生理学通讯), 1999, **35**(6): 449–451 (in Chinese)
- [27] Tao X-P (陶先萍). Effect of Water and Nitrogen Application Control on Root Growth and Yield of Cotton (*Gossypium* spp.). PhD Thesis. Xinjiang: Shihezi University, 2013 (in Chinese)
- [28] Ma F-Y (马富裕), Yan Y-S (严以绥). The Theories and Practices of Cotton with Film Drip Irrigation. Urumqi: Xinjiang University Press, 2002: 74–81 (in Chinese)
- [29] Ma SC, Li FM, Xu BC, et al. Effect of lowering the root/shoot ratio by pruning roots on water use efficiency and grain yield of winter wheat. *Field Crops Research*, 2010, **115**: 158–164

---

作者简介 于坤,男,1985年生,博士。主要从事果树生理生态和节水灌溉研究。E-mail: yukun409@163.com

责任编辑 孙菊

---