

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.03.021

防堵塞地下滴灌系统设计与性能试验分析*

于坤¹ 郁松林¹ 符小发² 许雯博¹ 王青凤¹

(1. 石河子大学农学院, 石河子 832003; 2. 新疆农业科学院, 乌鲁木齐 830091)

摘要: 为解决滴灌过程中地下滴灌系统的堵塞问题, 设计了新型防堵塞地下滴灌系统并阐述了其工作原理、设计要求, 分析并确定地下滴灌系统水压为 15 ~ 25 kPa, 出水孔间距为 300 mm, 防护管内壁与毛管的外壁距离为 40 mm 时, 灌水均匀度可达到 85% 以上; 通过该系统对酿酒葡萄赤霞珠生长的影响试验结果表明, 防堵塞地下滴灌与膜下滴灌、普通滴灌相比能保持 20 ~ 60 cm 深度土壤含水率的稳定性, 明显提高植株根冠比, 增加有效根表面积, 加快根系周转与更新, 进而增强植株根系对水分和养分的吸收能力。

关键词: 地下滴灌 防堵塞 设计 性能试验

中图分类号: S275.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)03-0124-05

引言

地下滴灌是滴灌的一种重要形式, 根据美国 ASABE 标准 S526.3 “土壤与水基本概念” 中地下滴灌的定义为“地下滴灌是指地表之下利用微灌水器进行流量小于 7.5 L/h 的一种灌溉方式”^[1]。与现有的地上滴灌相比地下滴灌具有节水、节能、高效的优势, 已成为国内外许多农业科技机构的重点研究方向之一^[2]。尽管地下滴灌具有诸多优点, 但有些技术问题一直难以解决, 由于毛管或滴头直接埋在土壤中, 其出水孔容易堵塞是地下滴灌最致命的弱点, 植物根系的向水性生长会使根系侵入毛管的出水孔造成堵塞, 在灌溉过程中回水时土壤的颗粒也会造成出水孔的堵塞^[3-5]。为解决地下滴灌存在的堵塞问题, 本文提出新型防堵塞地下滴灌系统并通过在酿酒葡萄上的试验验证该系统在果树设施种植中应用的可行性。

1 系统设计

本地下滴灌系统如图 1 所示, 由水泵、输水主管、施肥罐、过滤器、水表、开关、防护管、毛管、出水孔组成^[6]。

1.1 材料的选择

试验所用的毛管为新疆惠利节水工程公司生产的普通毛管, 试验所用的防护管为自制的半圆形防护管。

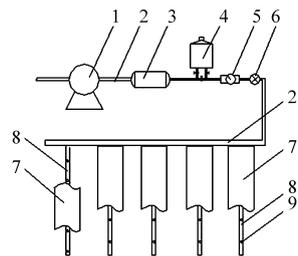


图 1 防堵塞地下滴灌系统原理图

Fig. 1 Subsurface drip irrigation system of preventing plugging

1. 水泵 2. 输水主管 3. 施肥罐 4. 过滤器 5. 水表 6. 开关
7. 防护管 8. 毛管 9. 出水孔

1.2 防堵塞地下管路设计

如图 2 所示, 防护管为半圆形, 防护管开口向下, 倒扣在毛管上, 防护管的内壁与毛管的外壁距离 20 ~ 50 mm, 防护管的一端有放大的搭接头, 搭接头处的内径和没有搭接头处防护管 3 的外径相匹配。毛管上端打孔, 制成出水孔, 出水孔直径为 0.8 mm, 4 个为一组, 出水孔延毛管延长方向排列, 组内两出

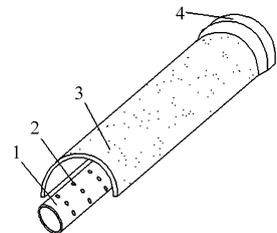


图 2 防堵塞地下滴灌管路图

Fig. 2 Subsurface drip irrigation line of preventing plugging

1. 毛管 2. 出水孔 3. 防护管 4. 搭接头

收稿日期: 2013-04-03 修回日期: 2013-05-11

* 国家自然科学基金资助项目(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)

作者简介: 于坤, 博士生, 主要从事果树逆境生理和果树节水滴灌研究, E-mail: yukun409@163.com

通讯作者: 郁松林, 教授, 博士生导师, 主要从事果树逆境生理和节水研究, E-mail: songlin8900@sina.com

水孔的中心点距离 10 mm,两组间中心点距离设计为 200、250、300、350、400 mm 5 种规格^[7]。

1.3 防堵塞地下管路的填埋设计

根据葡萄根系活动层深度和田间管理的要求,将防护管埋于 25 cm 以下。埋设时先将毛管平铺并与主管连接,滴灌处理前进行连接与滴灌情况检验,检验正常后将防护管倒扣于毛管上,覆土。

2 灌水均匀度与灌水效果田间试验

防堵塞地下滴灌系统灌水均匀度、灌水效果的田间试验于 2011 年 3—10 月在石河子大学农学院试验站日光温室内进行,试验小区面积为 8 m²,共 15 个小区,小区之间埋有 60 cm 深的塑料布相隔,以防水分互渗,每个小区两条垄,每条垄下埋控水控肥防堵塞地下滴灌管一根,地下滴管和防护管的埋设在技术上符合试验设计要求,供试土壤类型为灰漠土,土质中土壤有机质质量比 17.9 g/kg,全氮质量比 1.2 g/kg,碱解氮质量比 53.7 mg/kg,速效磷质量比 18.9 mg/kg,速效钾质量比 199 mg/kg,土壤自然风干。

2.1 供水压力与出水孔间距

本试验目的是研究在灌水量恒定的情况下不同灌水水压和出水孔间距对防堵塞地下滴灌系统灌水均匀度的影响。设定 0~60 cm 土层平均土壤含水率为田间持水量 50% 时开始灌水,灌至毛管上下 15 cm 土层土壤平均含水率达到田间持水量 90% 时停止灌水,据此算得每小区一次灌水量为 0.161 5 m³。在灌水量相同的条件下,设置 5、10、15、20 和 25 kPa 共 5 个供水压力,出水孔间距设计为 200、250、300、350、400 mm 5 种规格进行灌水,以研究供水压力与出水孔间距对其灌水均匀程度的影响,进而确定适宜的供水压力和出水孔间距。

试验开始前,试验小区经过多次干旱-复水预处理,使防堵塞地下滴灌系统地下部分与周围土壤紧密接触且土壤含水率趋近于稳定状态。开始测试试验时 0~30 cm 土层土壤含水率均匀,在每条垄上沿地下滴灌管水流方向以等间隔、与地下滴灌管水平距离相等的位置采用电阻式水分张力感应器监测 25~35 cm 土层深度的土壤含水率,每条垄测定 6 个点,每一小区测定 12 个点,然后代入克里斯琴森公式计算灌水均匀度,计算公式为

$$C_U = \left(1 - \frac{\Delta\bar{\omega}}{\bar{\omega}_v}\right) \times 100\%$$

$$\Delta\bar{\omega} = \frac{\sum_{i=1}^n |\omega_i - \bar{\omega}_v|}{n}$$

其中

式中 ω_i ——各测定点的土壤含水率

$\bar{\omega}_v$ ——每小区土壤含水率的平均值

n ——每小区测定点数

毛管出水孔间距 5 种规格在 5 个小区内随机排列,重复 3 次。

2.2 防护管内壁与毛管外壁距离

试验研究在灌水量 0.161 5 m³ 恒定和出水孔间距确定的情况下,防护管内壁与毛管外壁在不同距离、不同供水压力下对防堵塞地下滴灌系统灌水均匀度的影响,进而确定适宜的防护管内壁与毛管外壁距离。防护管内壁与毛管外壁距离设定为 20、30、40、50 mm 4 种规格,供水压力设置 5、10、15、20 和 25 kPa 5 种压力。灌水后土壤含水率测定和灌水均匀度计算方法同上。防护管内壁与毛管外壁不同距离 4 种规格在 4 个小区内随机排列,重复 3 次。

3 地下滴灌系统对不同深度土壤含水率和酿酒葡萄赤霞珠幼苗生长的影响试验

试验于 2012 年 3—10 月在石河子大学农学院试验站温室内进行。试材为 2012 年在直径 40 cm 大盆中预培养的 2 年生扦插植株,品种为酿酒葡萄品种赤霞珠。小区面积和防堵塞地下滴灌系统的铺设同前述灌水均匀度试验。考虑到防堵塞地下滴灌系统为目前农业生产中应用的滴灌的一种,故将对照设置为目前田间滴灌过程中的地上滴灌(DI)和膜下滴灌(SDI)。所用毛管为新疆惠利节水工程公司生产的普通毛管,毛管出水孔设计与地下滴灌系统毛管的设计方法一致。3 种灌水方法各设 3 次重复,试验共 9 个小区。水分控制以土壤田间含水率占田间持水量的百分数表示,灌水上限为田间持水量的 90%,灌水下限为 60%,滴水量的计算方法如下: $A = (W_p - W_a)H$ 。式中, A 为滴水量(mm), W_p 为规定的滴水上限, W_a 为实测 0~60 cm 土层平均土壤含水率(cm³/cm³), H 为滴水土层厚度(mm)。每垄定植葡萄 8 株,施肥、田间管理同当地温室栽培。

不同深度土壤含水率的测定方法为在每条垄上沿毛管水流方向以等间隔、与毛管水平距离相等的位置采用电阻式水分张力感应器测定 0~20 cm、20~40cm、40~60 cm 土层深度的土壤含水率,每小区测定 6 个点,每 2 d 测定一次,每次灌水前和灌水后 12 h 加测一次。酿酒葡萄赤霞珠幼苗生长相关指标的测定参照綦伟等^[8]的方法进行,所得试验数据用 Excel 和 SPSS 17.0 进行处理。

4 试验结果与分析

4.1 供水压力和出水孔间距对灌水均匀度的影响

生产中进行田间灌溉时灌溉用水由输水支管进

入毛管后通过出水孔流出,在此过程中,由于管壁摩擦、水动能逐渐降低,致使滴灌首端与尾端灌水不均,各出水孔水流量不同。生产中解决的方法是在毛管管径、出水孔间距、材质不变的情况下增加供水压力。在一定压力范围内,随着供水压力增高,可使滴灌管首端与尾端出水孔出水量差异变小,各出水孔水流量趋近一致,从而使灌水均匀度相对提高。

灌水量一定,不同供水压力条件下不同出水孔间距对灌水均匀度影响的试验结果如下:土壤灌水均匀度与供水压力、毛管出水孔间距均有关系。由图3可知随着供水压力的增加,灌水均匀度逐渐提高,在供水压力大于15 kPa时,各处理灌水均匀度均达到85%以上。同一灌水水压条件下,出水孔间距与灌水均匀度呈负相关,出水孔间距越大,灌水均匀度越低,综合林果业种植的特点和试验结果,故将出水孔间距设定为300 mm。

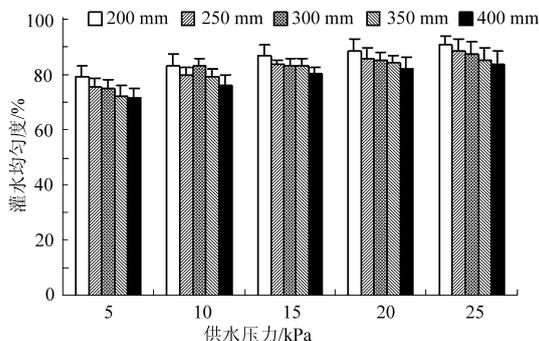


图3 不同供水压力和出水孔间距对灌水均匀度的影响
Fig.3 Effects of different water pressure and plughole on irrigation uniformity

灌水量一定,出水孔间距设定为300 mm时不同供水压力对防堵塞地下滴灌系统灌水均匀度的影响试验结果为:随着灌水时供水压力增加,PVC管地下滴灌系统灌水均匀度呈现出增高的趋势,二者之间的关系为: $C_u = (0.008\ 36P + 0.715\ 4) \times 100\%$, P 为供水压力。由上式计算可得,在本试验设定的灌水量条件下,当供水压力大于等于15 kPa时,其灌水均匀度可达到中国农田水利标准规定的

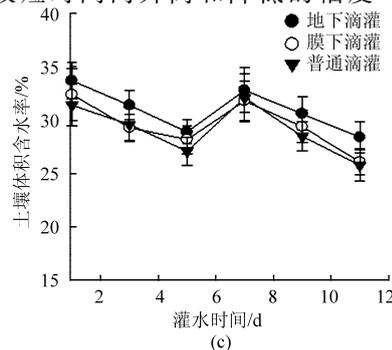
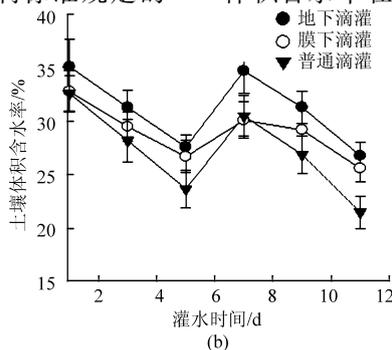
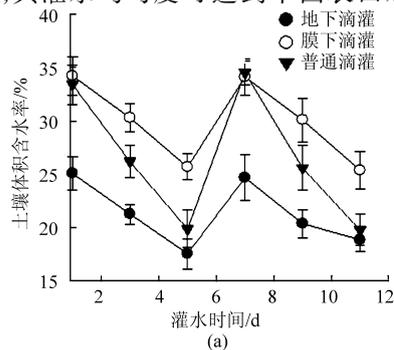


图5 两个灌水周期内不同深度土壤体积含水率变化曲线

Fig.5 Soil moisture curves in different depth in two irrigation periods

(a) 0~20 cm 土层 (b) 20~40 cm 土层 (c) 40~60 cm 土层

85%,这与田义等^[8]的研究结果一致。

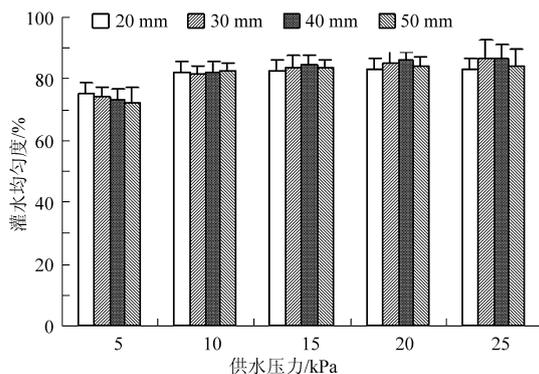


图4 防护管内壁与毛管外壁距离在不同供水压力下对灌水均匀度的影响

Fig.4 Effects of the distance between inner wall of Protective tube and out wall of capillary on irrigation uniformity under different water supply pressure

4.2 防护管的内壁与毛管外壁距离对灌水均匀度影响

由于本研究主要目的为解决地下滴灌的堵塞问题,需在毛管上方设置防护管,防护管的存在限制了水分在土壤中的流动,进而影响灌水均匀度。试验结果表明防护管内壁与毛管外壁的距离影响地下滴灌系统的灌水均匀度,由图4可知随供水压力的增加,不同处理的灌水均匀度均有所提高,5 kPa提高到10 kPa变化显著。以防护管内壁与毛管外壁距离为40 mm为例,灌水均匀度由5 kPa的71.3%上升到10 kPa的82.1%,由图4可知,在灌水压力达到15 kPa时,防护管内壁与毛管外壁距离为30、40、50 mm的灌水均匀度均达到85%以上。其中防护管内壁与毛管外壁距离为40 mm,灌水压力为15、20、25 kPa时,灌水均匀度均较稳定。

4.3 滴灌方式对土壤体积含水率的影响

根据不同土层土壤水分的动态变化,0~20 cm土层为土壤水分活跃层,20~40 cm、40~60 cm为土壤渐变层^[9]。受灌水和蒸发的影响,0~20 cm土壤体积含水率在较短时间内升高和降低的幅度均最

大,由图 5a 可知,在两个灌水周期内,0~20 cm 土壤体积含水率膜下滴灌处理的变化幅度较小,保持在一个较稳定的状态,地下滴灌和普通滴灌变化幅度均较大。由图 5b 可知,在 20~40 cm 深度地下滴灌的土壤含水率保持在较高水平,普通滴灌变化幅度较大。由图 5c 可知,在 40~60 cm 深度地下滴灌土壤体积含水率较高,各处理在两个灌水周期内土壤体积含水率变化幅度较小。

4.4 不同滴灌方式对赤霞珠葡萄生长的影响

4.4.1 赤霞珠葡萄植株生物量

当年生根质量、当年生枝质量、总生物量和根冠比是研究植物长势的重要指标,植株长势的变化既受植株自身遗传特性的影响,还受到水分、营养状

况、温度等外界因子的影响^[10]。从表 1 中可以看出,防堵塞地下滴灌与膜下滴灌、普通滴灌相比促进了根系的生长,差异显著,地下滴灌与膜下滴灌相比当年生枝质量较低,但差异不显著。对于多年生根系和枝干,3 种滴灌方式差异不显著;地下滴灌比膜下滴灌总生物量提高 3.15%,差异不显著,与普通滴灌相比总生物量提高 12.38%,差异显著。根冠比是指植物地下部分与地上部分质量的比值,它的大小反映了植物地下部分与地上部分的相关性^[11]。从表 1 可知,地下滴灌的植株根冠比为 1.19,膜下滴灌和普通滴灌的根冠比在 1 左右,差异显著。表明地下滴灌促进了植株根系的生长,根冠比增加。

表 1 不同滴灌方式对赤霞珠葡萄植株生物量的影响

Tab.1 Effects of different drip irrigation ways on biomass of Cabernet Sauvignon grapes

处理	当年生根质量/g	当年生枝质量/g	多年生枝质量/g	多年生根质量/g	总生物量/g	根冠比
地下滴灌	291.5 ± 6.54 ^a	142.09 ± 5.32 ^a	118.33 ± 3.46 ^a	17.80 ± 1.98 ^a	569.43 ± 7.23 ^a	1.19 ^a
膜下滴灌	259.6 ± 5.43 ^b	159.57 ± 7.96 ^a	117.45 ± 4.97 ^a	18.43 ± 2.00 ^a	552.05 ± 11.45 ^a	1.01 ^b
普通滴灌	239.3 ± 3.78 ^b	127.42 ± 4.34 ^b	121.67 ± 7.84 ^a	18.31 ± 3.36 ^a	506.70 ± 3.94 ^b	1.03 ^b

注:a、b 表示不同处理在 0.05 水平下差异显著,下同。

4.4.2 赤霞珠葡萄根系性能

根系是土壤水肥资源的直接利用者,又是土壤物理环境、微生物环境的改造者,它与其赖以生存的土壤环境及其密切联系的水、肥、气、热、微生物等至关重要的生态因子构成根土系统,并且通过根土系统的构型、容积、生长动态及其内涵的数量、质量及生理代谢活动直接影响地上部叶光系统的建成、同化产物的分配与产量的形

成^[12]。有效根是具有吸收养分功能和生长功能的新根总称,綦伟等^[13]研究表明有效根表面积越大根系吸收水分和养分的能力就越强,吸收范围越广,同时也有利于新根的发生和生长。由表 2 可知,地下滴灌有效根表面积比膜下滴灌和地下滴灌分别高出 13.4% 和 36.2%,差异显著。有效根体积地下滴灌与膜下滴灌差异不显著,与普通滴灌差异显著。

表 2 不同滴灌方式对赤霞珠葡萄根系性能的影响

Tab.2 Effects of different drip irrigation ways on root performance of Cabernet Sauvignon grapes

处理	有效根	有效根	根尖	根长	根量/条		
	表面积/cm ²	体积/cm ³			数/个	/cm	< 2 mm
地下滴灌	13 545.6 ± 570.2 ^a	9 030.5 ± 429.1 ^a	834 ± 15.7 ^a	237 ± 6.55 ^a	81 ± 2.3 ^a	10 ± 0.8 ^a	2 ^a
膜下滴灌	11 941.2 ± 481.3 ^b	8 751.7 ± 342.3 ^a	710 ± 16.8 ^b	221 ± 5.20 ^a	87 ± 3.1 ^a	12 ± 0.7 ^a	2 ^a
普通滴灌	9 945.3 ± 464.5 ^c	6 944.5 ± 350.2 ^b	631 ± 17.1 ^c	182 ± 7.43 ^b	68 ± 1.9 ^b	11 ± 1.0 ^a	3 ^a

根尖数反映了新根数量,试验结果表明,地下滴灌的新根数量与膜下滴灌和普通滴灌相比均有显著增加,表明地下滴灌明显提高了根系的周转和更新。3 种滴灌模式对于葡萄根系中粗根系数量的影响无明显差异,但对于直径小于 2 mm 的根系数量的影响有明显影响,其中地下滴灌的葡萄根系直径小于 2 mm 的数量比普通滴灌多 19.1%,差异显著(见表 2)。

5 结论

(1) 当供水压力 15 kPa 以上,出水孔间距

300 mm,防护管内壁与毛管外壁距离为 40 mm 时,防堵塞地下滴灌系统可以获得较好的灌水效果,灌水均匀度可达到 85% 以上,符合中国农田水利标准规定的标准。

(2) 通过酿酒葡萄的试验表明,防堵塞地下滴灌与现有的膜下滴灌和地上滴灌相比,能保持 20~60 cm 深度土壤含水率的稳定,可明显提高植株根冠比,增加有效根表面积,促进植株根系生长和发育,加快根系的周转和更新,进而增强植株根系对水分和养分的吸收能力。

参 考 文 献

- 1 ASABE, S526.3. Soil and water terminology[S]. ASABE, 2007.
- 2 黄兴法, 李光永. 地下滴灌技术的研究现状与发展[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 176-181.
Huang Xingfa, Li Guangyong. Present situation and development of subsurface drip irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(2): 176-181. (in Chinese)
- 3 仵峰, 范永申, 李辉, 等. 地下滴灌灌水器堵塞研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 80-83.
Wu Feng, Fan Yongshen, Li Hui, et al. Clogging of emitter in subsurface drip irrigation system[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1): 80-83. (in Chinese)
- 4 王新坤, 李俊红, 单彬, 等. 三角绕流滴灌灌水器结构设计和优化[J]. 农业机械学报, 2010, 41(增刊1): 43-46.
Wang Xinkun, Li Junhong, Shan Bin, et al. Structural design and optimization of triangle circulation drip irrigation emitters[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(Supp. 1): 43-46. (in Chinese)
- 5 马晓鹏, 龚时宏, 王建东, 等. 额定压力及低压下内镶片式滴头抗堵塞性能试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(7): 86-90.
Ma Xiaopeng, Gong Shihong, Wang Jiandong, et al. Anti-clogging performance of dental labyrinth emitters under rated pressure and low operating pressure[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(7): 86-90. (in Chinese)
- 6 于坤, 郁松林, 赵丰云. 控水控肥防堵塞地下滴灌系统: 中国, 201220456848. 1[P] 2013-01-30.
Yu Kun, Yu Songlin, Zhao Fengyun. Control of water and fertilizer anti-clogging of subsurface drip irrigation system: China, 201220456848. 1[P]. 2013-01-30. (in Chinese)
- 7 于坤, 郁松林, 赵丰云. 防堵塞可持续利用的地下滴灌管路: 中国, 201220313948. 9[P] 2012-12-27.
Yu Kun, Yu Songlin, Zhao Fengyun. Anti-clogging sustainable utilization subsurface drip irrigation tube: China, 201220313948. 9[P]. 2012-12-27. (in Chinese)
- 8 田义, 张玉龙, 虞娜, 等. PVC管地下滴灌系统在温室番茄灌溉中的应用研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(3): 180-183.
Tian Yi, Zhang Yulong, Yu Na, et al. Application of subsurface drip irrigation with PVC tube to tomatoes in greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(3): 180-183. (in Chinese)
- 9 邹慧, 黄兴法, 龚时宏. 水分亏亏对地下滴灌夏玉米田水热动态的影响[J]. 农业机械学报, 2012, 43(9): 72-77.
Zou Hui, Huang Xingfa, Gong Shihong. Effects of water deficit on soil moisture and temperature regimes in subsurface drip irrigated summer corn field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(9): 72-77. (in Chinese)
- 10 周青云, 王仰仁, 孙书洪. 根系分区交替滴灌条件下葡萄根系分布特征及生长动态[J]. 农业机械学报, 2011, 42(9): 59-63.
Zhou Qingyun, Wang Yangren, Sun Shuhong. Distribution characteristic and growing dynamic of grape vine roots under alternate partial root zone drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(9): 59-63. (in Chinese)
- 11 刘洪升, 李凤民, 徐昊. 不同水分条件下春小麦根系耗碳及其与产量形成的关系[J]. 植物生态学报, 2004, 28(2): 191-197.
Liu Hongsheng, Li Fengmin, Xu Hao. Carbon consumption of roots and its relationship to yield formation in spring wheat as affected by soil moisture[J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2004, 28(2): 191-197. (in Chinese)
- 12 Save R, Sabaté S, de Herralde F, et al. Could be the root systems of cultured plants an important carbon sink under global change conditions? [C] // Proceedings of the 8th International Carbon Dioxide Conference, 2009.
- 13 綦伟, 厉恩茂, 翟衡, 等. 部分根区干旱对不同砧木嫁接玛瓦斯亚葡萄生长的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(4): 794-799.
Qi Wei, Li Enmao, Zhai Heng, et al. Effects of partial rootzone drying on the growth of *Vitis vinifera* cv. Malvasia grafted on varied rootstocks [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(4): 794-799. (in Chinese)

Design and Performance Experiment of Anti-clogging of Subsurface Drip Irrigation System

Yu Kun¹ Yu Songlin¹ Fu Xiaofa² Xu Wenbo¹ Wang Qingfeng¹

(1. College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi 832003, China

2. Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: In order to solve the problem of congestion in subsurface drip irrigation and to promote application of subsurface drip irrigation to forest or fruit industry, the design principle and the design requirements of model anti-clogging of subsurface drip irrigation system were proposed. These data of the system were obtained that the system pressure was 15 ~ 25 kPa and the plughole spacing was 300 mm, and that the distance between inner wall of protective tube and out wall of capillary was 40 mm and the irrigation uniformity is more than 85% through experiment. Effects on the growth of Cabernet Sauvignon by the system show that anti-clogging subsurface drip irrigation (SDI) and drip irrigation under plastic film (MDI) compared with conventional drip irrigation (DI) can maintain the stability of soil moisture content in 20 ~ 60 cm, and increase ratio of root to shoot and the effective root surface area, so as to accelerate root turnover and renewal, and enhance the absorptive capacity of plant roots to soil moisture and nutrient.

Key words: Subsurface drip irrigation Anti-dogging Design Performance experiment