

极端干旱区垂直线源灌方式对葡萄生长及水分利用效率的影响

王永杰¹, 王全九^{1,2*}, 苏李君¹, 南庆伟¹

(1. 西安理工大学水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2. 黄土高原侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 灌溉方式对根系湿润方式的不同会影响作物生长及其对水分的利用效率。以常规滴灌方式为对照, 通过田间试验研究了垂直线源灌方式对葡萄生长和水分利用效率的影响, 结果表明: 葡萄生育关键期灌水前后垂直线源灌方式根层土壤平均含水率可达到田间持水率的75.1%和82.8%, 常规滴灌方式为田间持水率的60%和72%; 垂直线源灌条件下净光合速率, 蒸腾速率, 气孔导度均较常规滴灌高, 净光合速率均经历了气孔限制和非气孔限制, 其中由水分胁迫引起的非气孔限制, 垂直线源灌晚于常规滴灌出现, 且表现不明显; 垂直线源灌方式在地上生物量生长方面略好于常规滴灌方式, 但两者未表现出明显差异; 垂直线源灌方式较常规滴灌方式在产量上提高了1.2%; 叶片水平上的水分利用效率, 垂直线源灌方式较常规滴灌方式提高了57.4%。

关键词: 垂直线源灌; 土壤水分; 生理指标; 产量; 水分利用效率; 极端干旱区

中图分类号: S275.9; S663.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)03-0063-07

我国是个水资源短缺的国家, 农业用水量占总供水量的64%, 目前农业灌溉水利用系数为46%, 与西方发达国家的70%还有很大的差距^[1]。新疆的吐哈盆地因其独特的光热资源成为世界闻名的葡萄生产基地, 但该地区水资源匮乏成为葡萄优质高产及经济发展的主要制约因素, 而传统的沟灌方式造成了过多的水分无效损耗。因此, 发展葡萄节水灌溉成为缓解该地区水资源供需矛盾的主要途径。

国内外对不同灌溉方式下葡萄的生长发育特征和水分利用效率进行了一些研究^[2-8], 前人的研究主要集中在沟灌方式和滴灌方式(如交替沟灌、根系分区交替滴灌以及覆膜滴灌等模式)对葡萄生长和水分利用效率的影响。尽管杨艳芬等^[9]研究了吐哈盆地滴灌条件下葡萄的生长发育特征, 对该地区滴灌条件下葡萄的生长发育特征有了一定的了解, 但对该地区不同节水灌溉方式对葡萄生长和水分利用效率的研究不够深入。与常规滴灌相比, 垂直线源灌作为一种比较新的灌溉方式, 其对葡萄生长和水分利用效率的影响还不清楚。本文从土壤水分分布、葡萄地上生物量增长、生理指标、产量以及水分利用效率等方面探讨了极端干旱区垂直线源灌方式对葡萄生长和水分利用效率的影响, 为极端干旱区不同节水灌溉方法的优选提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

该试验点位于火焰山以南, 吐鲁番市东南部的葡萄乡铁提尔村, 距吐鲁番市12 km, 地理坐标为北纬42.87°、东经89.20°, 海拔为32.8 m, 年降雨量为16 mm, 年蒸发量为3 600 mm, 全年日照时数为3 200 h, 10℃以上有效积温5 300℃以上, 无霜期达210 d。葡萄品种为无核白, 树龄12 a以上, 小棚架栽培, 株距约1.2~1.5 m, 行距约4.5 m, 定植沟为东西走向。传统的灌溉方式为地面沟灌。

土壤的颗粒组成采用英国马尔文公司生产的MS2000激光分析粒度仪测定, 按照国际制划分标准, 该地区的土壤质地为粘壤土, 结果见表1。土壤平均容重为1.47 g/cm³, 饱和含水率为0.275 g/g, 田间持水率为0.199 g/g。

2008年葡萄的根系分布调查表明: 吐鲁番试验点无核白根系密度在垂直深度上呈单峰分布, 主要分布在20~60 cm之间。直径大于2 mm的根系主要分布在20~40 cm, 并沿深度上下逐渐递减。直径小于2 mm的吸收根以0~20 cm最多, 并随深度的增加逐渐减少。在40 cm高的垄上土壤中, 有少量的细根和极少量的中根分布。

收稿日期: 2011-12-26

基金项目: 国家科技支撑计划(2011BAD29B05)

作者简介: 王永杰(1987-), 男, 山西太原人, 主要从事水资源高效利用方面的研究。E-mail: wyj872701@sina.com。

* 通讯作者: 王全九(1964-), 男, 内蒙古丰镇人, 教授, 主要从事农业水土工程方面研究。E-mail: wquanjiu@163.com。

表 1 土壤颗粒组成分析

Table 1 Analysis of soil particle composition

粒级 Size fraction(mm)	含量 Content (%)
<0.002	17.884
0.002 - 0.05	42.463
0.05 - 2.0	39.653

1.2 试验设计

试验区内设两种灌水处理,处理 1 为垂直线源灌(VLSI),处理 2 为常规滴灌(CDI),每个处理设 3 个重复,具体布置见图 1,其中①②③为垂直线源灌水方式,④⑤⑥为常规滴灌灌水方式。

表 2 为 2010 年葡萄整个生育期内的灌水周期安排,两种处理灌水周期一致,从 2010 年 4 月 6 日至 2010 年 9 月 9 日生育期内共灌水 17 次。

常规滴灌为地表三管布置方式,栽培沟内葡萄

植株主干旁各布设一条,分别距主根 40 cm 和 20 cm,靠近茎侧的斜坡上布设一条,距主根 50 cm,见图 2。滴头流量为 2.7 L/h,滴头间距为 40 cm,灌水定额为 52.5 mm,全生育期灌溉定额为 892.5 mm,灌水量由输水管上的水表控制。灌水定额依据往年灌水制度确定。

表 2 灌水周期

Table 2 Irrigation cycle

生育期 Growth period	灌水周期(d) Irrigation cycle
新梢生长期 - 花期 Shoot growth stage to florescence	9
果实膨大期 Fruit expanding stage	4.5
果实成熟期 Fruit maturation period	9
枝蔓成熟期 Branches and tendril mature stage	20

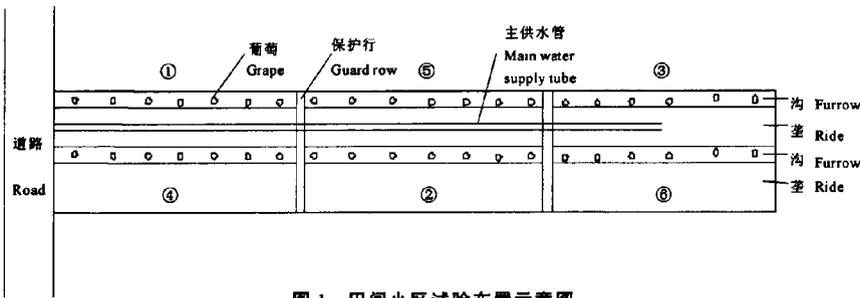


图 1 田间小区试验布置示意图
Fig.1 Schematic layout of field experiment

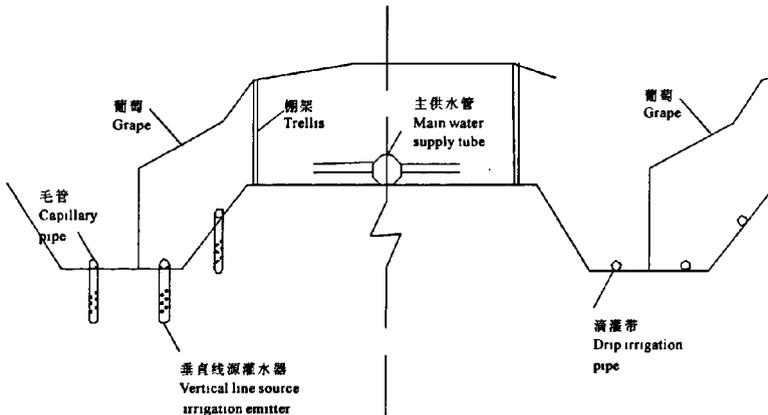


图 2 垂直线源灌(左)和滴灌(右)田间管带布置示意图
Fig.2 Schematic layout of vertical line source irrigation (left) and drip irrigation (right) in the field

垂直线源灌的灌水器为直径 2 cm,长度 40 cm 的 PE 塑料管,线源长度为 20 cm,设在灌水器中下部。灌水器垂直于滴灌带布设,靠近茎侧布设两列,分别距主根 20 cm 和 50 cm,另一侧布设一列,距主

根 40 cm,见图 2。以 1 棵葡萄植株计,每列埋 2 个灌水器,间距 40 cm,灌水定额为 52.5 mm,全生育期灌溉定额为 892.5 mm,灌水量由输水管上的水表控制。

在除草、施肥、修剪等田间管理措施方面,两种处理保持一致。

1.3 测试指标与方法

选取土壤平均含水率、叶片生理指标、地上生物量生长以及产量指标来反应灌溉方式对葡萄生长和水分利用效率的影响。

土壤含水率测定:假定栽培沟方向土壤含水率均匀分布,测定沟垄方向土壤含水率分布情况。每个重复沿沟垄方向埋设5根TRIM管,间距40cm,采用TRIM-TDR测定灌水前后土体内20,40,60,80cm和100cm深度上土壤含水率。

叶片生理指标测定:采用CIRAS-2型光合仪测定葡萄叶片生理指标。在晴朗无云日,每个重复选取9片长势均匀、无病虫害且角度一致的新成熟叶片进行测定。测定指标包括:净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和胞间 CO_2 浓度(C_i)。

地上生物量测定:每个重复选择3个蔓,在每个蔓的上、中、下部各选择一个枝条标记,测定每个蔓的新生枝条数、测定标记枝条的枝条长、叶片数及叶片的主脉长,取3个重复的平均值作为该处理的实测值。果实膨大期内,在每个蔓的上、中、下部随机选择1串果穗,在每个果穗的上、中、下处随机选3颗果粒,进行标记,每隔5d测量其横径,取其平均值作为实测值。

葡萄产量测定:每个处理随机选择18串果穗,称取每串果穗鲜重,求取各处理单串果穗的重量平均值,数出田间每个处理的果穗串数,用单串果穗的重量平均值乘以每个处理的实际串数即为每个处理对应面积下的产量,最后转化为以公顷为单位的产量。

2 结论与分析

2.1 土壤含水率变化特征

选取2010年6月5日,6月20日,7月5日,7月15日灌水前后的实测资料确定土壤含水率剖面。图3为两种处理不同深度处土壤平均含水率的变化情况。相关性分析表明两种处理灌前与灌后土壤含水率在各个深度上均呈显著相关($P < 0.01$)。灌水前后垂直线源灌各深度土壤平均含水率均明显大于常规滴灌。灌水后,两种处理土壤平均含水率在不同深度均有所增加;常规滴灌在20~60cm深度范围内增加幅度较大,在80~100cm深度范围内增加

较小;垂直线源灌在40~100cm深度范围增加幅度较大,20~40cm深度范围内增加幅度较小。结合葡萄根系分布特征,从根层土壤含水率增加幅度的角度讲,常规滴灌要优于垂直线源灌,其在根系所在深度(0~60cm)范围内土壤含水率增加较多;从根层土壤平均含水率高低的角讲,除表层土壤含水率外,垂直线源灌在根系分布层土壤含水率均明显高于常规滴灌。灌水前后,0~100cm深度范围常规滴灌的土壤平均含水率为田间持水率的65.8%和76.0%,垂直线源灌为79.1%和87.5%;20~60cm主根范围常规滴灌土壤平均含水率为田间持水率的60%和72%,垂直线源灌为75.1%和82.8%。相关文献表明葡萄在不同生育期需要的适宜土壤含水率为田间持水量的65%~85%^[10],因此垂直线源灌可较好地满足葡萄需水要求,常规滴灌则基本满足葡萄需水要求。

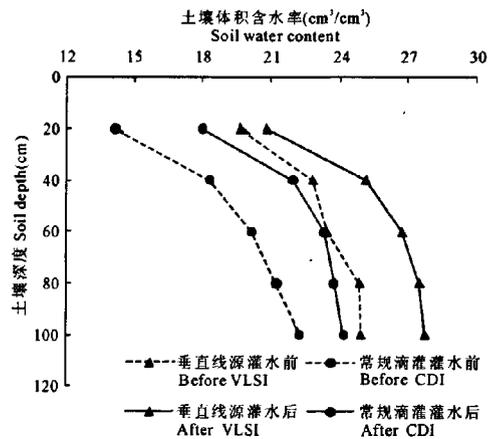


图3 灌水前后100cm范围内不同深度土壤平均含水率
Fig.3 Soil moisture in different depth within 100 cm before irrigation and after irrigation

2.2 葡萄叶片生理指标分析

取7月5日和7月15日两次灌水后的测量平均值作为实测数据进行分析,图4显示了两种处理葡萄叶片生理指标的日变化过程。

从图4(a)中可看出,垂直线源灌的净光合速率(P_n)日变化过程呈单峰分布,峰现时间为12:00,在16:00~18:00时段, P_n 无明显变化;常规滴灌的 P_n 日变化过程呈明显双峰分布,峰现时间为12:00和16:00,峰值1与峰值2的比值为0.939,基本持平。净光合速率的大小表现为:垂直线源灌>常规滴灌,日累计光合速率分别为57.393,34.638 $\mu\text{mol}/(\text{m}\cdot\text{s})$ 。

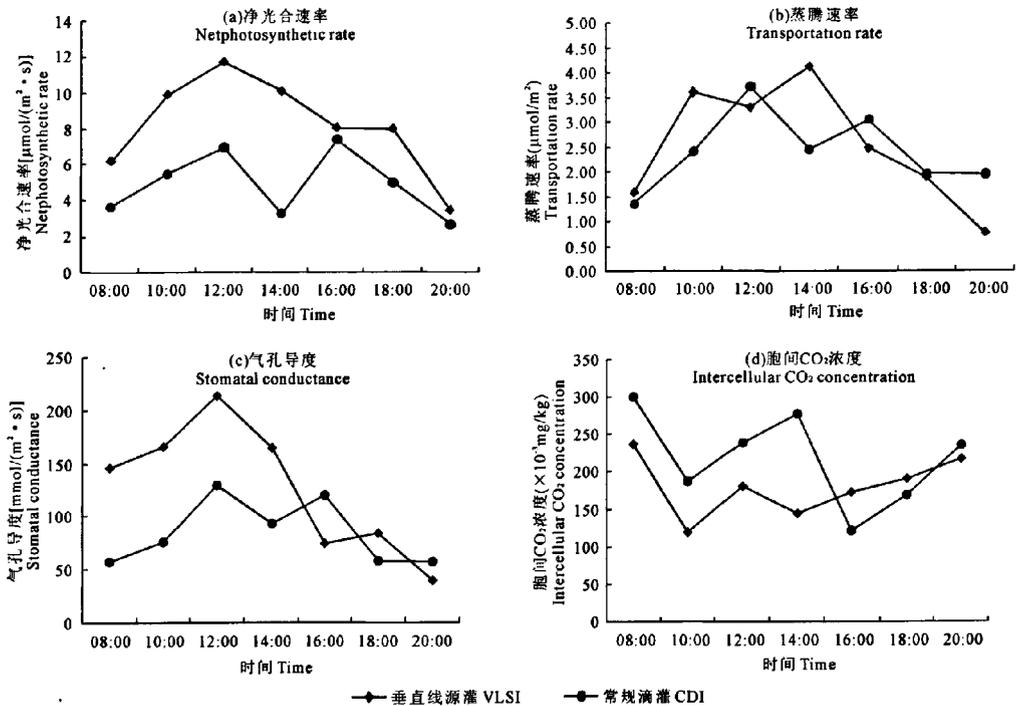


图 4 净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度日变化

Fig. 4 Daily variations of net photosynthetic rate, evapotranspire rate, stomatal open degree and CO_2 concentration between cells

蒸腾速率 (T_r) 的日变化过程表明,垂直线源灌与常规滴灌的 T_r 交替上升,故采用日累积值进行比较分析,垂直线源灌的日累积 T_r 值为 $17.807 \mu\text{mol}/\text{m}^2$;常规滴灌的日累积 T_r 值为 $16.917 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ 。 T_r 的大小取决于大气蒸腾能力和土壤水分含量,在气象条件相近的情况下,两种处理的日蒸腾速率大小与土壤含水率大小保持一致。

叶片水平上的瞬时水分利用效率可用净光合速率除以蒸腾速率获得,两处理叶片水平上的水分利用效率表现为:垂直线源灌 > 常规滴灌,值分别为 3.223 和 2.048(无量纲)。

气孔导度 (G_s) 是表征气孔开放程度的指标,两处理 G_s 的大小关系为:垂直线源灌 > 常规滴灌。 G_s 的日变化呈“M”型,且与 P_n 的日变化表现出较好的相关性,垂直线源灌 P_n 与 G_s 的相关系数为 0.82 ($P < 0.05$),常规滴灌 P_n 与 G_s 相关系数为 0.76 ($P < 0.05$)。根冠通讯理论表明 G_s 会受到土壤含水率的控制,土壤含水率降低会导致气孔部分关闭^[11],一定程度给出了垂直线源灌 G_s 大于常规滴灌 G_s 的理论解释。鉴于植株蒸腾速率也会受到土壤含水率的影响,对两种处理下的 G_s 与 T_r 进行相关性分析,结果显示垂直线源灌的 G_s 与 T_r 无显著

相关性,而常规滴灌的 G_s 与 T_r 的相关系数为 0.944 ($P < 0.01$),表明常规滴灌条件下,植株 T_r 的变化更容易受到 G_s 变化的影响。

水分胁迫对光合作用的影响包括气孔限制和非气孔限制,胞间 CO_2 浓度 (C_i) 的变化是分析植物气孔与非气孔限制的基础。作为光合过程中 CO_2 的中介, C_i 一方面受到作为源的外界 CO_2 浓度和气孔导度的影响,另一方面又受到叶片光合消耗的影响。根据气孔限制与非气孔限制的判断原则^[12],结合两种处理的 P_n 、 G_s 和 C_i 的日变化过程,表 3 给出了两种处理一天内不同时段 P_n 受到的气孔限制类型。

早 8:00 ~ 10:00, P_n 、 G_s 随着辐射与温度的增加而增加,作物光合使 C_i 降低, G_s 增加使 C_i 增加,而 C_i 实际变化为降低,说明光合作用消耗的 CO_2 大于 G_s 所能提供的 CO_2 ,此时 P_n 受到气孔限制;10:00 ~ 12:00,垂直线源灌和常规滴灌的表现同上一时段, P_n 受到气孔限制;12:00 ~ 14:00,垂直线源灌和常规滴灌的 P_n 和 G_s 皆降低,垂直线源灌 C_i 的实际变化为降低,说明此处理 P_n 受到气孔限制,而常规滴灌的 C_i 实际变化为升高,说明常规滴灌的 P_n 受到非气孔限制;14:00 ~ 16:00,垂直线源灌的 P_n 和 G_s 呈下降趋势, C_i 呈增加趋势,说明 P_n 受到

表 3 不同处理下一天内不同时段净光合速率受到的气孔限制类型

Table 3 The type of photosynthetic stomatal limitation at different time during one day under different treatments

处理 Treatments	Pn 受到的气孔限制类型 The type of stomatal limitation by Pn					
	8:00~10:00	10:00~12:00	12:00~14:00	14:00~16:00	16:00~18:00	18:00~20:00
垂直线源灌 VLSI	气孔限制 Stomatal limitation	气孔限制 Stomatal limitation	气孔限制 Stomatal limitation	非气孔限制 Non-stoma limitation	非气孔限制 Non-stoma limitation	非气孔限制 Non-stoma limitation
常规滴灌 CDI	气孔限制 Stomatal limitation	气孔限制 Stomatal limitation	非气孔限制 Non-stoma limitation	气孔限制 Stomatal limitation	非气孔主导 Dominant by non-stoma	非气孔主导 Dominant by non-stoma

非气孔限制;常规滴灌同 8:00~10:00 的变化, Pn 下降受到气孔限制;16:00~18:00, 两种处理的 Pn 均下降, Ci 均增加, 尽管垂直线源灌的 Gs 增加, 常规滴灌的 Gs 下降, 但两种处理 Pn 均受到非气孔限制, 只是垂直线源灌为单一的非气孔限制, 而常规滴灌为气孔限制和非气孔限制的共同作用, 且非气孔因素占主导;18:00~20:00, 两种处理的 Pn 均呈下

降趋势, Ci 均呈上升趋势, 垂直线源灌的 Gs 基本不发生变化, 常规滴灌的 Gs 继续降低, 垂直线源灌受到单纯的非气孔限制, 常规滴灌受到气孔限制和非气孔限制的共同作用, 非气孔限制占主导。

2.3 葡萄枝叶和果粒生长状况分析

图 5 为两种处理从新梢生长期到果实成熟期葡萄枝条数、枝条长、叶片数和主脉长的变化情况。

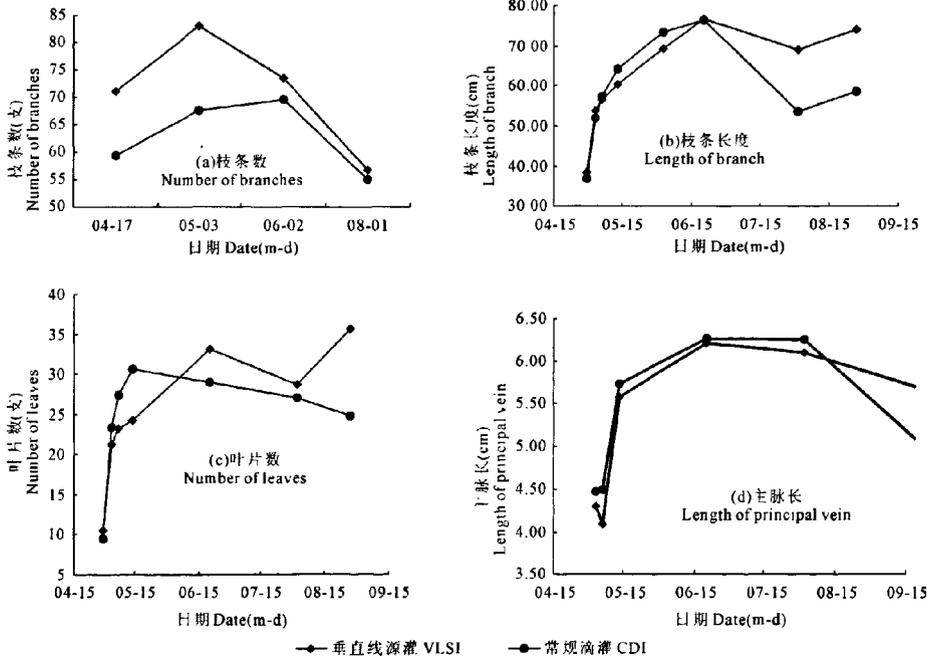


图 5 不同处理下葡萄枝条数、枝条长、叶片数和主脉长的变化情况

Fig.5 The changes of the number of grape branches, shoot length, leaf number and length of main vein under different treatments

从图 5(a) 可看出, 枝条数增加主要在新梢生长期, 果实膨大前期由于对葡萄进行了疏枝管理, 枝条数减少。两个处理中, 垂直线源灌的枝条数要明显多于常规滴灌的枝条数, 第一次疏枝管理后, 两种处理的枝条数基本维持在 70 条/蔓, 后期两次疏枝管理后, 至果实成熟前葡萄枝条数维持在 50~60 条/蔓。

图 5(b) 为枝条长度随时间的变化情况, 枝条长度的增加主要在新梢生长期, 此阶段枝条生长速度较快。第一次剪枝时, 因未对标记枝条进行疏枝管理, 故枝条长度未出现下降过程; 果粒膨大阶段由于对枝条进行了修剪, 故其长度均出现明显下降过程, 后期垂直线源灌枝条长度大于常规滴灌枝条长度的原因在于垂直线源灌的枝条生长速度大于常规滴灌

的枝条生长速度。因未对修剪后的枝条长度进行统计分析,故未能给出合理的枝条参考修剪长度。

图 5(c)表明叶片数与枝条长度有着类似变化规律,在未对标记枝条进行第一次剪枝的前提下,垂直线源灌叶片数略微减少,可能为试验过程中人为因素对标记枝条造成损害的结果。

由图 5(d)可知,主脉的生长也主要在新梢生长期,后期生长减缓,变化较小,统计性分析表明两种处理的主脉长变化无显著差异。

葡萄果粒横径和纵径的变化可反应其大小的变化情况。由前两年的结果可知,葡萄果粒的横径和纵径变化有着类似的变化规律,均表现为随着时间的延续,呈现出快~慢~快的增长趋势;在田间测量果粒纵径时,往往会导致果粒掉落,造成不必要的损失,因此在 2010 年葡萄生育期内只监测了葡萄果粒横径的变化情况,果实膨大期选择了 6 月 3 日,6 月 7 日,6 月 19 日,6 月 24 日,6 月 29 日,7 月 12 日进行了监测;进入果实成熟期,果实大小变化不大,只选择了 7 月 27 日与 8 月 4 日进行了监测。图 6 显示了两种处理,从果实膨大期到果实成熟期,葡萄果粒横径的生长变化情况,两种处理果粒横径的大小关系为:常规滴灌 \approx 垂直线源灌。

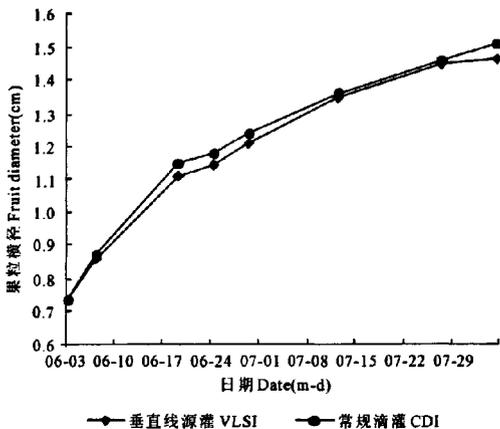


图 6 不同处理下葡萄果粒横径的生长变化情况

Fig. 6 The changes of grape berry in diameter under different treatments

地上净生物量的增长主要包括新生枝条和果实。因此,综合葡萄的枝叶和果粒生长情况来看,在地上生物量生长方面,两种处理的表现:垂直线源灌 \geq 常规滴灌。

2.4 葡萄产量对比分析

在 2010 年 8 月 18 日进行了产量测定,垂直线源灌和常规滴灌实测产量分别为 33 728 kg/hm² 和 33 340 kg/hm²。

若不考虑萌芽期前和越冬前灌的两次大水与深层渗漏损失,则生育期内的灌溉定额可认为是葡萄的总耗水量,垂直线源灌和常规滴灌在生育期内的灌溉定额为 8 925 m³/hm²,则垂直线源灌和常规滴灌产量水平上的水分利用效率分别为 3.78 kg/m³ 和 3.74 kg/m³。

两种处理在产量方面的表现为:垂直线源灌 > 常规滴灌。

3 讨论

垂直线源灌根层土壤含水率较高的原因在于其可直接向植物根系所在深层土壤供水,有效减少土面蒸发,从而使土壤中储存更多水分^[13];试验中表层土壤含水率增加较小的原因在于线源埋深较大,可通过改变线源位置和埋深来解决。灌水定额相同,垂直线源灌较常规滴灌土壤平均含水率高,若达到同滴灌相同的土壤水分条件,则垂直线源灌可通过减少灌水定额来实现节水。

一般而言,在快速和轻度水分胁迫时,气孔限制是光合速率下降的主要原因,而中度和重度水分胁迫下,非气孔限制是主要原因,随着水分胁迫程度的增加,光合速率下降的原因逐渐由气孔限制转变为非气孔限制^[14-15]。两种处理在灌水周期内,根层土壤平均含水率基本可满足作物需水要求,作物不会遭受中度或者重度的水分胁迫。而叶片净光合速率之所以受到非气孔限制可能是因为一天中随着光强和温度升高,必然在一段时间内作物消耗的土壤水分要大于土壤本身的供水能力,从而使作物经受的水分胁迫加重。土壤含水率的大小和分布会影响土壤供水能力,进而影响两处理遭受非气孔限制的时间顺序。常规滴灌先于垂直线源灌遭受非气孔限制,此时的非气孔限制由水分胁迫引起,午后和傍晚的非气孔限制主要是由光强和气温下降引起。

叶片水平和垂直线源灌的水分利用效率远高于常规滴灌;产量水平,两者的水分利用效率则基本持平,这可能是生物量分配的结果。理论上讲,叶片水平水分利用效率高,消耗单位水分产生的生物量就多,然后生物量向根、茎、叶和果实进行分配,生物量若过多地向茎叶分配,就可能出现试验中的结果。而试验资料也表明,垂直线源灌的枝条数、叶片数要明显多于常规滴灌,说明这个灌水定额下的垂直线源灌枝条生长出现了冗余,不是最佳的灌水定额。

垂直线源灌作为一种新的灌水技术,其适用范围还不明确,制造技术还不完善,相关研究表明垂直线源灌技术^[16]适用于偏砂性土壤中根系较深的作

物,质地较细的土壤中根系较浅的作物,本文的结果表明,在土壤容重不是很大的粉粘壤土中,垂直线源灌仍适用,至于其余土壤质地中的适用性则需要进一步研究。

4 结论

葡萄生育关键期灌水前后垂直线源灌方式根层土壤平均含水率可达到田间持水率的75.1%和82.8%,常规滴灌方式则为田间持水率的60%和72%;垂直线源灌方式对表层土壤含水率增加不足的缺点可通过调整线源埋深来解决。

垂直线源灌方式的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度均较常规滴灌高;两种灌水方式的净光合速率均经历了气孔限制和非气孔限制。造成非气孔限制的原因有两种:一是短暂的水分胁迫,二是光强和温度的降低。其中由水分胁迫引起的非气孔限制,垂直线源灌方式要晚于常规滴灌出现,且表现不明显。

垂直线源灌方式在地上生物量生长方面略好于常规滴灌方式,两者未表现出显著差异。

垂直线源灌方式和常规滴灌方式的产量分别为33 728 kg/hm²和33 340 kg/hm²,前者产量比后者提高了1.2%,说明垂直线源灌可达到常规滴灌的产量水平甚至更高。

垂直线源灌方式和常规滴灌方式叶片水平上的水分利用效率分别为3.223和2.048(无量纲),对应产量水平上的水分利用效率为3.78 kg/m³和3.74 kg/m³。

参考文献:

[1] 汪恕诚.中国水资源安全问题及对策[J].电网与清洁能源,

2010,(9):1-3.

[2] 杜太生,康绍忠,夏桂敏,等.滴灌条件下不同根区交替湿润对葡萄生长和水分利用的影响[J].农业工程学报,2005,21(11):43-48.

[3] 杜太生,康绍忠,张 弄,等.不同沟灌模式对沙漠绿洲区葡萄生长和水分利用的效应[J].应用生态学报,2006,(5):805-810.

[4] 王利军,陈伯鸿,曹建东,等.不同节水灌溉方式对赤霞珠生长与果实品质的影响[J].中外葡萄与葡萄酒,2010,(5):31-34.

[5] 张海军,王振平,王世平,等.灌溉方式对沙荒地土壤水分、葡萄树生长和果实品质的影响[J].中国南方果树,2008,(5):56-58.

[6] Araujo F, Williams L, Matthews M. A comparative study of young 'Thompson Seedless' grapevines (*Vitis vinifera* L.) under drip and furrow irrigation. II. Growth, water use efficiency and nitrogen partitioning[J]. Scientia Horticulturae, 1995, 60: 251-265.

[7] Dos Santos T P, Lopes C M, Rodrigues M L, et al. Partial rootzone drying: effects on growth and fruit quality of field-grown grapevines (*Vitis vinifera*)[J]. Functional Plant Biology, 2003, 30(6): 663-671.

[8] Du T, Kang S, Zhang J, et al. Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation[J]. Agricultural Water Management, 2008, 95(6): 659-668.

[9] 杨艳芬,王全九,白云岗,等.极端干旱地区滴灌条件下葡萄生长发育特征[J].农业工程学报,2009,(12):45-50.

[10] 贺普超.葡萄学[M].北京:中国农业出版社,1999.

[11] 康绍忠,杜太生,孙景生,等.基于生命需水信息的作物高效节水调控理论与技术[J].水利学报,2007,(6):661-667.

[12] 许大全.光合作气孔限制分析中的一些问题[J].植物生理学通讯,1997,33(4):241-244.

[13] 程慧娟,王全九,白云岗,等.垂直线源灌线源长度对湿润体特性的影响[J].农业工程学报,2010,(6):32-37.

[14] 柯世省,杨敏文.水分胁迫对云锦杜鹃光合生理和光温响应的的影响[J].园艺学报,2007,(4):959-964.

[15] 山 仑,陈培元.旱地农业生态基础[M].北京:科学出版社,1998.

[16] 李淑芹.极端干旱区垂直线源灌条件下葡萄耗水特征与数值模拟[D].西安:西安理工大学,2011.

(英文摘要下转第77页)

《干旱地区农业研究》常用参考文献标识符

参考文献类型	标识	电子文献类型	电子文献标识	电子文献载体	载体标识
专著	M	数据库	DB	联机网络	OL
论文集	C	计算机程序	CP	光盘	CD
期刊文章	J	电子公告	EB	磁带	MT
学位论文	D			磁盘	DK
报告	R				
标准	S				
专利	P				
报纸	N				

with fresh water, Simplified infiltration irrigation with saline water). The results show that: (1) To compare the two irrigation methods, the plant dry matter is significantly less in simplified infiltration irrigation than in furrow irrigation when fresh water is used, but there is not much difference between the two methods when saline water is used. In furrow irrigation, the plant dry matter is 7.06% less with saline water than with fresh water, but there is not much difference between two kinds of water in simplified infiltration irrigation. (2) In two irrigation methods, irrigation with saline water reduces tomato yield, but not significantly. Compared with furrow irrigation, simplified infiltration irrigation increases fruit yield by 3.3%, and the fruit quality is better in this method when saline water is used. (3) When fresh water is used, there is not significant difference in leaf water potential and chlorophyll content between the two methods. When saline water is used, leaf water potential decreases by 0.07 ~ 0.15 MPa, chlorophyll content drops by 1.65% ~ 21.8%, and the decrease amplitude in simplified infiltration irrigation is much less than that in furrow irrigation. (4) In furrow irrigation, leaf photosynthesis rate, transpiration rate and stomatal conductance decrease by 14.29%, 19.74% and 33.46% with saline water compared to fresh water, reaching significant level, but there is not much variation in these indexes and the transpiration efficiency is greatly improved in simplified infiltration irrigation. (5) The salt accumulation in 0 ~ 40 cm soil layer in simplified infiltration irrigation is less than that in furrow irrigation when saline water is used. It is preliminarily concluded that simplified infiltration irrigation with saline water for greenhouse tomato keeps the salt accumulation in root layer in low level, leaf water in good state, leaf photosynthesis rate and transpiration efficiency in high level, thus increasing fruit yield and improving its quality.

Keywords: tomato; saline water; simplified infiltration irrigation; yield; quality; leaf water potential; photosynthetic characteristic; soil salt

(上接第 69 页)

Effect of vertical line source irrigation method on grape growth and water use efficiency in extremely arid regions

WANG Yong-jie¹, WANG Quan-jiu^{1,2*}, SU Li-jun¹, NAN Qing-wei¹

(1. Institute of Water Resource, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry Land Farming on the Loess Plateau, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The effects of irrigation methods on the manner and scope of soil moisture may influence the crop root water uptake, thereby affecting crop growth and water use efficiency. With conventional drip irrigation method as the control treatment, a field experiment was carried out to study the characteristics of grape growth and water use efficiency under vertical line source irrigation method. The results show that during the key stages of grape growth, under pre and post irrigation, the average moisture content of the soil root layer can be up to 75.1% and 82.8% of field capacity respectively, while under conventional drip irrigation the field water-holding ratio is 60% and 72%; and the net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance under vertical line source irrigation are higher than those under conventional drip irrigation, the net photosynthetic rate experiences both stomatal limitation and non-stomatal limitation, the non-stomatal limitation caused by water stress under vertical line source irrigation occurs later than under conventional drip irrigation, and the performance is not obvious; Vertical line source irrigation method in terms of aboveground biomass growth is slightly better than conventional drip irrigation method, but does not show significant differences between the two; Vertical line source drip irrigation method increases the yield by 1.2% compared to the conventional way; And it can also increase the water use efficiency in the leaf level by 68.8%.

Keywords: vertical line source irrigation method; soil moisture; physiological indexes; yield; water use efficiency; extremely arid region