

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

孙伊博^{1,2}, 张清涛^{1,2}, 王 焱^{1,2}, 周玉兰^{1,2}, 屈 柘^{1,2}, 王振平³

(1. 中山大学地理科学与规划学院水资源与环境系, 广东 广州 510275;

2. 中山大学华南地区水循环与水安全广东省普通高校重点实验室, 广东 广州 510275;

3. 宁夏大学农学院, 葡萄与葡萄酒教育部工程研究中心, 宁夏 银川 750021)

摘要:“环状毛细芯渗灌”是利用毛细现象的原理,在已有的毛细直芯基础上增加一个毛细环,通过毛细芯浸润方式给植物根部供水的节水渗灌方法。试验在宁夏自治区永宁县玉泉营农场的红地球(*Vitis vinifera* L. cv. red globe)葡萄园内进行,灌溉方式为环状毛细芯渗灌与常规沟灌(CK);毛细芯渗灌的灌水次数分为一次和两次,每次灌满一桶水(100L),水由毛细芯慢慢渗出,常规沟灌的灌水次数为两次;环状毛细芯的埋藏深度分为两种:30cm深和土壤表面(0cm深)。试验结果表明,处理0*1(环状毛细芯表面渗灌、一次灌水)下副稍增长量最大,与常规沟灌存在显著差异($P<0.05$)。在相同灌水量下,处理0*1副稍增长量高于处理30*1(地下30cm深的环状毛细芯渗灌、一次灌水)。处理0*2(表面渗灌、两次灌水)叶中脉长势最好。处理0*2、0*1相比于其它处理果实粒径增长量最大,处理0*1横径增长速度比CK提高了55.6%,这说明环状毛细芯渗灌有效促进了葡萄果实的生长。在相同灌水量下,表面渗灌下葡萄粒径的长势明显好于30cm深的渗灌。处理30*2(地下30cm深的环状毛细芯渗灌、两次灌水)百粒重比相同灌水量下的CK提高了30%。常规沟灌下脯氨酸含量最高,处理30*2脯氨酸含量最低;在相同灌水量下,表面渗灌下脯氨酸含量高于30cm深的渗灌,这说明30cm深的毛细芯渗灌能较好地减轻植物的水分胁迫。处理30*2与30*1的可溶性固形物较高,处理30*1的糖酸比最高;在相同灌水量下,30cm深的渗灌下葡萄糖酸比高于表面渗灌。从最终产量和果实品质的角度看,处理30*2是旱区葡萄着色期~成熟期最好的组合。

关键词:环状毛细芯渗灌;水分胁迫;葡萄;粒径;百粒重;可溶性固形物;脯氨酸含量

中图分类号:S275.9;S663.1 **文献标志码:**A

Influence research on infiltration irrigation by annular capillary wicking to growing development and fruit quality of grape in arid region

SUN Yi-bo^{1,2}, ZHANG Qing-tao^{1,2}, WANG Yao^{1,2}, ZHOU Yu-lan^{1,2}, QU Zhe^{1,2}, WANG Zhen-ping³

(1. Department of Water Resources and Environment, School of geography science and planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China; 2. Guangdong University Key Laboratory of Water Cycle and Security in South China, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China; 3. The Engineering Reearch Center of Grape and Wine of Ministry Education, College of Agriculture, Ning xia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: Developing water-saving irrigation was extremely urgent, due to the water shortage problem was seriously threatened the grape production in arid region. The infiltration irrigation by annular capillary wicking was the water saving infiltration irrigation method by using the principle of capillary phenomenon to add an annular capillary wicking based on the existing capillary straight wicking, and through the infiltration mode by capillary wicking supplied water to crop root zone. The experiment was carried out in vineyard named as *Vitis vinifera* L. cv. red globe, the irrigation methods were infiltration irrigation by annular capillary wicking and the conventional furrow irrigation (CK). The infiltration irrigation times was divided into once and twice, each time filled a bucket of water (100L).

收稿日期:2017-03-02

修回日期:2018-03-06

基金项目:国家自然科学基金面上项目“干旱区土壤吸附水的形成机理与补水效果研究”(31470707);干旱区葡萄“环状毛细芯渗灌”的供水特征与节水效果研究(31270748);深圳市科技项目“深圳城市供水深度处理研究”(JCYJ20150331160617771);国家科技支撑计划“黄河含沙水自流微灌节水技术集成与示范”(2015BAD20B03-03)。

作者简介:孙伊博(1993-),男,硕士研究生,研究方向为水文水资源。E-mail: 292849729@qq.com。

通信作者:张清涛(1975-),男,硕士生导师,主要从事水资源高效利用研究。E-mail: zhangqt6@mail.sysu.edu.cn。

The furrow irrigation time was twice. The buried depths for the annular capillary wicking was divided into two types as 30cm and 0cm on soil surface. The experimental results showed that: The lateral shoot growth was the maximum by the treatment 0 * 1 (soil surface infiltration irrigation by annular capillary wicking, one time irrigation) and existed a significant difference with the conventional furrow irrigation ($P < 0.05$). Under the same irrigation amount, the lateral shoot growth by the 0 * 1 treatment was higher than the 30 * 1 treatment (infiltration irrigation by annular capillary wicking buried 30cm depth, one time irrigation). The leaf midrib growth was the best by the 0 * 2 treatment (soil surface infiltration irrigation, two times irrigation). The treatments 0 * 1 and 0 * 2 compared with other treatments, the fruit berry diameter growth was the maximum, and the speed of berry transverse diameter for 0 * 1 treatment was increased 55.6% than the CK. This explained the infiltration irrigation by the annular capillary wicking was effectively promoted the grape fruit berry growth. The growth of grape berry diameter by the soil surface infiltration irrigation was significantly better than the irrigation by buried 30cm depth under the same irrigation amount. The 100 berry weight of 30 * 2 treatment (infiltration irrigation by annular capillary wicking buried 30cm depth, two times irrigation) was increased 30% than CK with the same irrigation amount. The proline content by the conventional furrow irrigation was the highest, while the proline content of the 30 * 2 treatment was the lowest. Under the same irrigation amount, the proline content by the surface infiltration irrigation was higher than the infiltration irrigation buried 30cm depth, it explained that infiltration irrigation by annular capillary wicking buried 30cm depth can be effectively reduced the plant water stress. The soluble solids of 30 * 2 and 30 * 1 treatments were higher than other treatments, and the sugar-acid ratio of 30 * 1 treatment was the highest. Under the same irrigation amount, the sugar-acid ratio of the infiltration irrigation by buried 30cm depth was higher than the soil surface infiltration irrigation. In general, from the point of view of final yield and fruit quality, the treatment 30 * 2 was the best combination for the grape color-changed to maturity stage in arid region.

Keywords: infiltration irrigation by annular capillary wicking; water stress; grape; particle diameter; 100-particles weight; soluble solid; proline content

旱区水资源短缺严重影响了葡萄产量,发展节水灌溉迫在眉睫^[1]。我国农业灌溉模式在不断演变,传统的漫灌由于水分利用效率较低,已经部分被滴灌替代^[2]。研究表明,葡萄在滴灌模式下,节水效率为 30% 时能提高 17% 的产量以及 1.9% 的含糖量,大大改善了葡萄口感^[3-4]。但是,滴灌存在滴头易堵塞、初期成本投入较高的问题。渗灌技术一般是将水增压,通过低压管道送达渗水器(毛细渗水管、瓦管、陶管等),慢慢把水分直接输送到植物根部,使植物根部的土壤维持最优含水状况的一种先进的灌溉模式^[5]。但渗灌维修困难,稳定性也不如滴灌,渗灌管微孔易堵塞,灌水均匀度也不高,因此并没有得到很好的推广。

毛细芯渗灌是基于毛细作用,通过毛细芯浸润方式给作物根部供水的节水渗灌方法,较好地减轻了渗灌堵塞问题。毛细芯渗灌不需要额外的灌溉动力即可达到灌溉节能的目的^[6]。然而,已有的毛细直芯引水是在植株根区形成点源局部灌溉^[7],使得植物根系周围的土壤含水量分布很不均衡。为了改善灌水均匀度,我们提出了“环状毛细芯”,在已有的毛细直芯基础上增加了一个毛细环,毛细直

芯与毛细环编织在一起,使毛细环围绕植物主根,以使水分较为均匀地分布在根区。我们前期的实验研究表明,毛细小环处理的供水均匀度比一条毛细直芯和两条毛细直芯分别提高了 59.6% 和 2%,大环处理的供水均匀度比一条毛细直芯提高了 12.2%。因此,环状毛细芯能够改善毛细直芯供水不均匀的问题,可以进一步提高渗水效率^[6]。故研究环状毛细芯渗灌这种新型的节水灌溉方式对葡萄生长生理的影响有着重要的实践意义。

本试验选择在宁夏大学试验基地的大田鲜食葡萄园对环状毛细芯不同埋深以及不同灌水次数(灌水量)进行研究,旨在为干旱区的节水灌溉和旱区葡萄可持续发展提供科技支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2015 年 8-10 月进行。试验基地坐落于国家葡萄酒原产地保护区“宁夏贺兰山东麓”的核心区银川市永安县玉泉营农场,属中温带干旱气候区,大陆性气候特征十分明显,年平均气温 8.7℃,年太阳总辐射 141.7 kcal · cm⁻²,年日照时数达

2 866.7 h, 光能资源丰富, 日照长。土壤为淡灰钙土, 土壤质地为沙壤土, 土壤侵蚀度轻, pH 值 <8.5 , 0~10cm 土壤深度有机质 $3.79\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 田间持水量为 14.26%。气候年较差平均为 31.5°C , 日较差平均 13.6°C , 温度和日照条件可满足葡萄生长发育的需要。但多年年平均降水量为 201.4mm , 降水量年内分配很不均匀, 7、8、9 三个月降水量占全年降水量的 62.2%; 年平均蒸发量 $1\ 470.1\text{mm}$, 为降水量的 8.6 倍。由于降水稀少蒸发强烈, 没有灌溉就没有稳定的农业。这里冬季寒冷, 夏季干旱少雨, 土地疏松, 光照充足, 昼夜温差大, 是国内外专家公认的“中国优质酿酒葡萄第一区”。试验地所在的鲜食葡萄园面积达 $6\ 667\text{m}^2$, 四周绵延的酿酒葡萄园面积超过 $2\text{万}\text{hm}^2$ 。

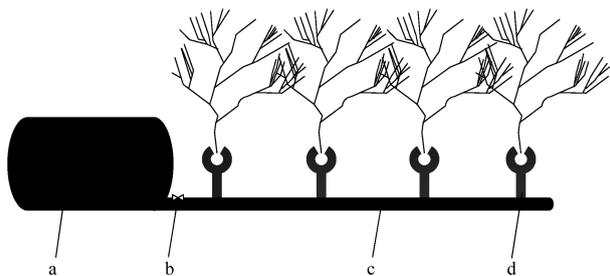
1.2 试验材料与设计

1.2.1 试验材料

试验鲜食葡萄为 6 年生红地球 (*Vitis vinifera* L. cv. red globe), 俗称美国红提、大红球、晚红, 欧亚种。东西行向, 株间距为 50cm。毛细芯选用棉材料, 制成扁平带状, 长、宽、厚度分别约 15 cm、3 cm、2 mm。环状毛细芯是在已有的毛细直芯基础上增加一个毛细环, 将毛细直芯与毛细环编织在一起。

1.2.2 试验设计

在葡萄行间放置供水 PVC 管, PVC 管一端联接供水箱, 另一端堵上。PVC 管上部开出细缝, 供毛细芯穿入 (图 1); 毛细芯的另一端 (毛细环) 放进土壤, 试验共设 2 种放置深度 (土壤深度 0 cm 和 30 cm) (有研究表明, 7a 树龄的红地球根系主要分布在 40cm 以上的土层, 占总根量的 86.7%^[8], 红地球的吸收根系集中分布于地面以下 30cm 范围内, 距主干越近, 根系分布越密集^[9])。



a. 100L 水桶; b. 水阀; c. PVC 管; d. 环状毛细芯
a. 100L bucket; b. Water valve; c. PVC pipe;
d. Annular capillary wicking

图 1 环状毛细芯渗灌

Fig. 1 The infiltration irrigation by annular capillary pipes

试验设计: 两次灌溉和一次灌溉 (每次灌溉一桶水 (100L)); 以常规沟灌 (两次供水共 200L、在 PVC 管上面开出一条长裂缝) 为对照, 共 5 种处理, 每个处理设置 4 个重复 (每次灌水用 100L 水灌溉 4 颗葡萄树。有研究报道, 常规灌溉下每株葡萄灌水

量设置为 $26\text{L}/\text{次}^{[21]}$)。

葡萄在着色成熟期轻度水分亏缺可使总糖含量提高 22.4%, 酸含量降低 9.3%^[2]。为了分析各个处理之间的差异性, 本研究根据物候期, 选择在着色成熟期开始灌水试验。

灌水情况: 第一次灌水于试验开始后的 8 月 28 日上午 7:00 打开各个处理水桶开关, 常规沟灌下渗水很快, 当天即渗完; 至 9 月 4 日上午 8:40 左右其它各处理基本渗完, 整个渗水过程大约历时 4 天多。第二次灌水在 9 月 17 日 (9 月 14 日取样后测得的脯氨酸含量反映出葡萄树已经受到了一定程度的水分胁迫, 需要补充水分), 上午 7:00 打开各个处理水桶开关, 至 9 月 24 日上午各处理基本渗完。

1.2.3 测定项目与方法

叶中脉与副梢长的观测: 分别用标签标记需要测量的每棵树上的副梢和叶中脉, 用卷尺测量各个处理 4 颗葡萄的副梢和叶中脉长度。测定时间分别为 9 月 2 日、9 月 15 日、9 月 25 日, 计算每个时间段的增长量, 求得各个处理的生长平均值。

红地球果实粒径的测定: 使用标签标记需要测量的果实, 每个处理随机选 30 个果粒 (不摘下, 在树上测量), 每隔 10d 用游标卡尺测量葡萄果实直径 (包括横径与纵径), 计算每个时间段的粒径增长量, 并求得各个处理平均值。

可溶性固形物测量: 可溶性固形物的测定是在果实成熟时由数字折射仪 (Atago PR-101, 0 - 45% Brix \pm 0.1% at 5 - 40 $^{\circ}\text{C}$; Atago Company Ltd., Japan) 测定。

百粒重的测定: 每个处理取两袋 80~120 粒, 用电子秤测定其重量, 以此来计算百粒重。测定周期为 10d 左右, 测定果粒鲜重后将其放于冰箱, 用于测量其它生理指标。

果实脯氨酸含量的测定: 采用茚三酮比色法^[10]。所使用的仪器为 725n 分光光度计, 采用标准脯氨酸做标准曲线。

果实可滴定酸 (果酸) 含量的测定: 采用酸碱滴定法, 采样后用 NaOH 滴定法测定, 以酒石酸计。

花色苷含量的测定: 在最大吸收波长处用分光光度计测定吸光值。

土壤体积含水量观测: 采用手持 ADR 水分仪来测量土壤根区体积含水量, 测定深度为 0~10cm (对处理 30×1 与 30×2 根区体积含水量测量时进行挖坑, 测量深度为 30~40cm)。在每株葡萄树周边选 3 个点, 把手持 ADR 水分仪插入土壤表层, 记录读数。土壤含水量测定在每天同一个时间段完成 (上午 8:00

~9:00),测定时间选择在灌水前以及渗水期间。

果形指数:浆果纵径与横径的比值。

数据制图、统计分析与方法:用 OriginPro 9.0 进行数据分析以及绘图,用 Spss 19.0 统计分析软件以 LSD 法进行各个处理之间的比较。

2 结果分析

2.1 不同灌溉方式对红地球葡萄生长情况的影响

2.1.1 不同灌溉方式下的土壤含水量 如表 1 所

表 1 不同灌溉方式下的土壤体积含水量

Table 1 Soil volumetric moisture content of different irrigation modes

处理 Treatment	测量深度 Depth of measurement/cm	土壤体积含水量 θ Soil volumetric water content $\theta/\%$				
		08-26	08-28	08-31	09-21	09-26
CK	0~5	2.07	9.11	2.60	3.75	2.80
	5~10	-	-	7.30	6.50	-
0*1	0~5	2.96	12.12	6.25	2.53	2.30
	5~10	-	-	7.50	3.93	-
0*2	0~5	1.85	12.11	6.67	5.29	4.40
	5~10	-	-	8.50	5.33	-
30*1	30~35	2.87	11.83	3.83	3.63	-
	35~40	-	-	6.84	3.81	-
30*2	30~35	3.92	10.52	4.0	3.85	3.72
	35~40	-	-	5.1	5.82	-

注:-表示没有测量土壤体积含水量。Note:- indicates no measurement of soil volumetric water content.

2.1.2 对副梢增长量的影响 在 9 月 2 日至 15 日期间,处理 0*1 的副梢增长量最大(图 2),与常规沟灌存在显著差异 ($P < 0.05$),比常规沟灌提高了 66.7%左右,其余处理之间差异不显著,但都比常规沟灌有一定提高。在 9 月 15 日至 25 日期间,处理 0*1 的副梢增长量最大,与常规沟灌存在显著差异 ($P < 0.05$),比常规沟灌提高了大约 1 倍。在相同灌水量下,处理 0*1 副梢增长量高于处理 30*1(图 2),可能是由于在葡萄果粒转色期将毛细芯埋藏于地表下 30cm 深伤及了葡萄树根部;随着灌水量的增加,毛细芯副梢长势有所减弱。不论是表面渗灌还是 30cm 深的渗灌,毛细芯渗灌副梢长势均好于常规沟灌,这表明毛细芯渗灌有利于葡萄的生长发育。

2.1.3 对叶中脉增长量的影响 在 9 月 2 日至 15 日期间,处理 0*2 的叶中脉长势最好(图 3),与处理 0*1、30*2、常规沟灌相比均有极显著提高 ($P < 0.01$)。处理 0*2 叶中脉增长量比常规沟灌提高了将近 1 倍,这说明在相同灌水量条件下,毛细芯渗灌由于延长了供水时间、缩短了水分胁迫的时间,从而促进了葡萄叶片生长。由于第二次灌水是在 9 月 17 日,故在 9 月 15 日至 25 日期间,各个处理之间叶中脉增长量差异不显著,这一时段各个处理叶中脉增长量比上一时段均有一定程度下降,可能是因为成熟期,葡萄将营养物质更多转移到果实。

示,各处理土壤含水量前期很低,第一次灌水后大大升高;第一次灌水后渗水时段(09-21)有所降低;第二次灌水 9d 后降到较低的值。环状毛细芯渗灌土壤含水量比常规沟灌高,这是因为灌水时常规沟灌的水很快就渗到土壤下面。因此,在灌水量一致的情况下,与常规沟灌相比,环状毛细芯渗灌有利于在较长时间内维持根区较好的土壤水分状况,减少了土壤深层渗漏的损失。

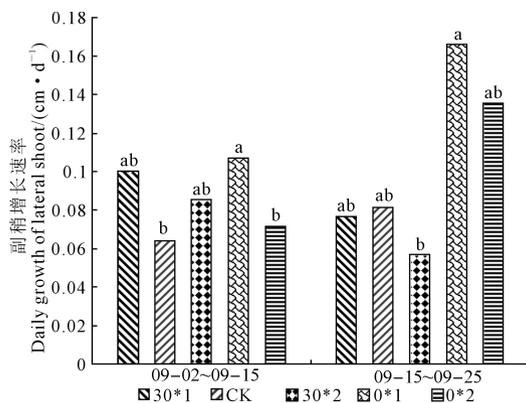


图 2 不同灌溉方式对每日副梢增长量的影响
Fig. 2 Effects of different irrigation modes to the daily growth of the sublateral shoot

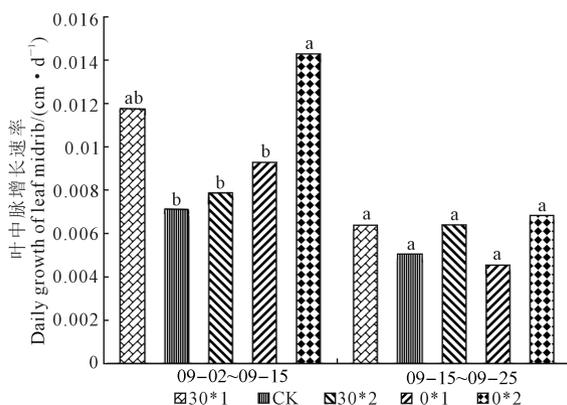


图 3 不同灌溉方式对每日叶中脉增长量的影响
Fig. 3 Effects of different irrigation modes to the daily growth of leaf midrib

2.2 不同灌溉方式对红地球果实品质的影响

2.2.1 对红地球果实粒径的影响 整体来说,常规沟灌的果实生长最慢,处理 0 * 2 与 0 * 1 果实横径日均增长量最大(图 4A)。8 月 25 日至 9 月 1 日期间,0 * 2 横径增长速度最快,比常规沟灌提高了 55.6%。其余处理横径增长量比常规沟灌也有所提高。9 月 1 日至 13 日期间,0 * 2 与 0 * 1 的横径日均增长量最大,0 * 2 横径日均增长量达到 0.07mm · d⁻¹;常规沟灌与 30 * 2 横径日均增长量最低,常规沟灌下仅有 0.02mm · d⁻¹;0 * 2 横径增长速度比常规沟灌提高了将近 2.02 倍。9 月 13 日至 23 日期间处理 0 * 2 与 0 * 1 横径增长速度比前一个时段略有下降。9 月 23 日至 10 月 3 日期间各处理横径增长速度整体下降,这一方面是由于土壤逐渐变干引起水分胁迫,另一方面是由于成熟期果实生长变缓。后面阶段各处理增长速度有所下降,这是由于红地球已经完全转色,进入成熟期。

整体来说,果实纵径增长速度整体呈下滑的趋势(图 4B)。8 月 25 日至 9 月 1 日期间,处理 0 * 1 纵径日均增长量最大,为 0.10mm · d⁻¹,比最小的常规沟灌提高了 50.9%。其余处理纵径日均增长量比常规沟灌也有不同程度提高。9 月 1 日至 13 日期间,处理 0 * 2 纵径日均增长量最大,0 * 2 纵径日均增长量达到 0.07mm · d⁻¹;常规沟灌纵径日均增长量最低,仅有 0.04mm · d⁻¹,0 * 2 纵径增长速度比常规沟灌提高了将近 85.2%。

表 2 不同灌溉方式对葡萄平均果形指数的影响

Table 2 Effects of different irrigation methods on grape average fruit shape

处理 Treatment	果形指数 Index of fruit shape				
	08-25	09-01	09-13	09-23	10-03
CK	1.057±0.069a	1.064±0.063a	1.094±0.069a	1.072±0.063a	1.087±0.067c
0 * 1	1.067±0.043a	1.068±0.053a	1.096±0.054a	1.083±0.058a	1.093±0.062ac
0 * 2	1.055±0.041a	1.071±0.043a	1.096±0.064a	1.081±0.044a	1.104±0.046c
30 * 1	1.048±0.038a	1.052±0.055a	1.064±0.132b	1.066±0.060a	1.072±0.063ac
30 * 2	1.064±0.061a	1.066±0.061a	1.087±0.075a	1.091±0.077a	1.097±0.075b

注:表中数据为平均值±标准差,同列数据后不同小写字母表示在 P<0.05 水平上差异显著,下同。

Note: The data in the table were the mean values ± standard deviation, different small letters in the same column means significant difference at P<0.05 levels. The same as below.

2.2.2 对红地球百粒重的影响 整体来看,处理 30 * 2 下百粒重最大,常规沟灌下百粒重最小,并明显小于其它各处理(图 5)。在 9 月 14 日,处理 30 * 2 百粒重达到 996g,处理 30 * 1 达到 960g,常规沟灌只有 810g,30 * 2 比常规沟灌提高了 30%,处理 30 * 1 比常规沟灌提高了 18.5%。这说明与常规沟灌相比,毛细芯渗灌有效提高了葡萄的百粒重。处理 0 * 2 的百粒重略高于处理 0 * 1,是由于处理 0 * 2

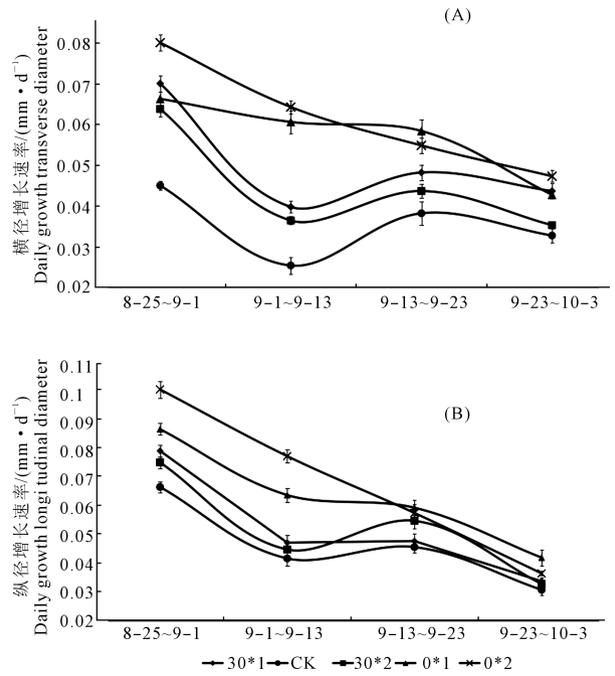


图 4 不同灌溉方式对果实粒径的影响

Fig. 4 Effects of different irrigation modes to the fruit berry diameter

表 2 反映了从 8 月 25 日至 10 月 3 日期间不同灌溉方式下的果形指数,各处理之间不存在显著性差异。8 月 25 日 30 * 1 处理的果形指数最小,只有 1.048,果形指数最接近于 1,这说明该处理下葡萄的外形接近于圆形。10 月 3 日 0 * 2 处理的葡萄果形指数最大,达到 1.104。

的灌水量高于处理 0 * 1。

2.2.3 对红地球果实脯氨酸含量的影响 图 6 反映了从 9 月 3 日到 9 月 24 日期间不同处理下脯氨酸含量的变化情况。常规沟灌下脯氨酸含量最高,处理 30 * 2 和 0 * 2 脯氨酸含量较低。常规沟灌下脯氨酸含量大约是 30 * 2 处理的 3 倍,常规沟灌下脯氨酸含量比 30 * 1、0 * 1、0 * 2 高大约 25%、47%、42%。这说明相较于常规沟灌,环状毛细芯渗灌缓

解了葡萄的水分胁迫,降低了这一时段葡萄受到的干旱伤害。从9月3日到9月14日,各处理脯氨酸含量均呈现不同程度增长趋势。这是由于在这一时段第一次灌水期已经基本结束,红地球进入水分胁迫阶段,这使得脯氨酸含量不断积累。从9月17日开始进入第二次灌水阶段,处理30*2以及0*2脯氨酸含量均呈现不同程度下降趋势,其中处理0*2脯氨酸含量下降趋势很明显,这说明此时水分胁迫在一定程度上得到缓解。此外,处理0*1脯氨酸含量略有下降,其它处理脯氨酸含量上升趋势较前一时期有所下降,这与红地球完全进入成熟期有关。

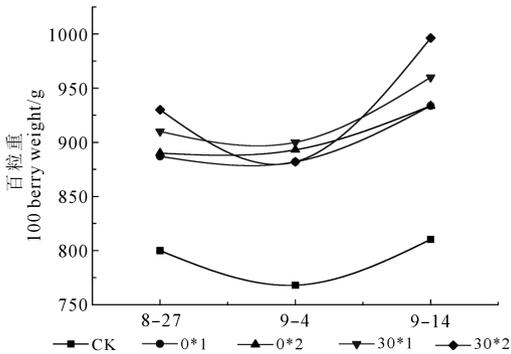


图 5 不同灌溉方式对百粒重的影响

Fig. 5 Effects of different irrigation modes to 100 berry weight

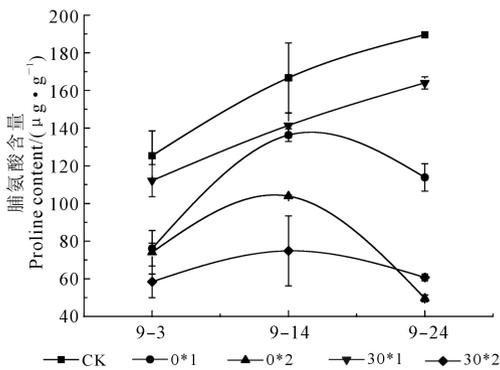


图 6 不同灌溉方式对葡萄果实脯氨酸含量的影响

Fig. 6 Effects of different irrigation modes to the proline content of grape berries

2.2.4 对红地球果实可溶性固形物和酸的影响

处理30*2可溶性固形物含量最高,达到21.07%,常规沟灌下最低,只有18.6%,但各处理之间无显著性差异(表3)。处理0*1可滴定酸含量最高,达到1.12%,处理30*1可滴定酸含量最低,只有0.82%,两者之间存在显著性差异($P < 0.05$),处理0*1比30*1高36.4%。由表3可以看到,糖酸比大小顺序为30*1>常规沟灌>30*2>0*2>0*1。处理30*1糖酸比高达24.48,成熟度最高,口感最好。在相同灌水量下,表面渗灌下葡萄糖酸比低于30cm深的渗灌,这表明30cm深的毛细芯渗灌可能有利

于促进葡萄果实中酸向糖的转化。

表 3 不同灌溉方式对果实可溶性固形物和酸的影响

Table 3 Effects of different irrigation methods on the quality of berry soluble solid and acid

处理 Treatment	可溶性固形物 Soluble solid/%	可滴定酸 Titratable acid/%	糖酸比 Sugar-acid ratio
CK	18.60±2.90a	0.83±0.05b	22.41±3.13ab
30*1	20.20±1.54a	0.82±0.13b	24.48±3.42a
30*2	21.07±0.22a	1.01±0.06ab	20.81±1.29b
0*1	19.30±2.36a	1.12±0.35a	17.16±4.53c
0*2	19.80±0.76a	1.10±0.13a	18.00±1.56c

2.2.5 对红地球花色苷含量的影响 9月14日,在相同灌水量下,30cm深渗灌处理葡萄花色苷含量高于表面渗灌(图7),这表明30cm深渗灌可以有效防止水分流失、减少蒸发,提高水分的利用效率。多数处理的花色苷含量无显著性差异。从9月14日到9月24日,除常规沟灌外,其余各个处理均有增长趋势。从9月24日到10月8日,红地球已经完全进入成熟期,各个处理花色苷含量变化不大。

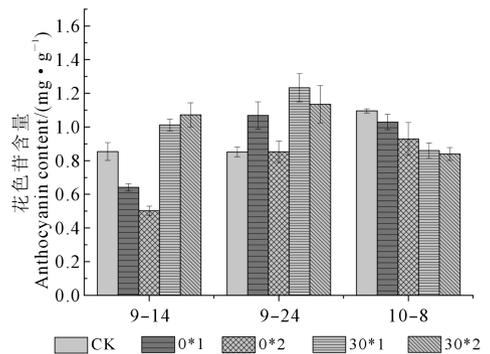


图 7 不同灌溉方式对葡萄花色苷含量的影响

Fig. 7 Effects of different irrigation modes to the anthocyanins content of grape

3 讨论

在满足葡萄生育期需要的养分后,适宜的灌溉方式可以有效改善葡萄的品质,既可以起到节约水资源的效果,又能够保证葡萄的正常发育^[11]。Gray等^[12-13]研究表明,较严重的水分胁迫能够降低植株生长长势。

着色期是葡萄果实膨大的关键时期,红地球色泽以及可溶性固形物等含量迅速增加。我们在着色期的实验研究表明,8月28日常规沟灌下的土壤含水量最低,在第一个观测时段(9月2日~9月15日)常规沟灌下的葡萄副稍长势不如毛细芯渗灌,这说明环状毛细芯渗灌通过缓慢渗水的方式,有效改善了较长时间的土壤水分状况,促进了葡萄生长;也说明了由于常规沟灌的灌水入渗太快,造成

灌水后土壤很快变干,不利于无灌溉时期的植被生长。30cm深的渗灌副稍长势整体不好,可能是由于毛细芯更适宜埋藏于30cm以上某个浅层,以避免大量伤根引起葡萄的长势变差;或者在葡萄幼苗栽植时就将环状毛细芯埋于地下30cm处,这样可避免伤根。

处理 0×1 的果实横径增长速度比常规沟灌提高了55.6%,而常规沟灌的灌水量比环状毛细芯表面渗灌多1倍,说明环状毛细芯渗灌不仅比常规沟灌节水,而且还促进了果实生长,提高了产量。林华等^[3]在荒漠地区进行的滴灌试验表明,滴灌比沟灌节水50%以上。何建斌等^[14]的研究表明,滴灌提高了水分利用效率,大幅度减少了沟灌情况下产生的深层渗漏损失。苏培玺等^[15]的研究表明在灌溉水分均匀分布并在适宜葡萄生长的前提下滴灌比沟灌节水70.8%左右。常规沟灌的弊端是一次灌水量较大,尤其是在沙质土壤中,灌水入渗太快,会造成深层渗漏,浪费水资源。

葡萄果实膨大期适宜的灌水能促进果实发育,一定的水分胁迫会提高果实品质^[16-17]。各个处理之间果实粒径的差异比较明显,在相同灌水量下,表面渗灌下葡萄果实粒径的长势明显好于30cm深的渗灌。9月13日至10月3日期间处理 30×1 的果形指数低于处理 30×2 。红地球的果形指数接近于1,果实的形状趋近于圆形,与唐莎莎等^[18]的研究结果相近。与常规沟灌相比,环状毛细芯渗灌显著提高了果实的百粒重,这也说明环状毛细芯渗灌提供了较为持续的适合葡萄生长的土壤水分环境。

有研究表明,渗灌相比于沟灌更有助于葡萄产量和品质的提高^[19]。李善雅等^[20]的研究表明,适度控制灌水量在一定程度上能提高果实可溶性固形物含量^[20]。方玉林和 Yesim Erdem^[21-22]等的研究表明,可溶性固形物在轻度胁迫下表现出增长的趋势;然而本文的两次灌水下葡萄可溶性固形物含量增加,在表1中两次灌水的土壤含水量明显高于一次灌水和常规沟灌的土壤含水量,这种现象说明一次灌水和常规沟灌下的葡萄已经受到了较为严重的水分胁迫。杜军等^[23]研究表明,随着灌水量的增加葡萄酸度也随之增加,这与本文 30×2 处理的可滴定酸含量略高于 30×1 处理是一致的。

糖酸比可以作为不同灌溉模式下评价葡萄成熟度的具体指标,并且适宜的糖酸比有助于改善葡萄的口感^[19]。本研究表明,处理 30×1 的糖酸比最高,成熟度最高,果实品质最佳。在相同灌水量下,表面渗灌下的葡萄糖酸比低于30cm深的渗灌。

葡萄的水分胁迫反应能够反映品种的耐旱性^[24],也能反映植物体内水分状况,可以作为植株缺水的指标^[25]。严重的水分胁迫往往也对葡萄的生长生理造成一定的伤害^[26]。胡宏远^[27]的研究显示,胁迫程度越重,植物体内脯氨酸量会不断地积累,含量持续增加。我们的实验研究表明,进行二次灌水的处理脯氨酸含量明显下降,水分胁迫得到一定的缓解,降低了葡萄受到的伤害。30cm深的渗灌下脯氨酸含量相对最低,这说明在相同的灌水量下,与表面渗灌相比,30cm深的渗灌更能降低水分胁迫对葡萄造成的伤害,这是由于地下渗灌的土壤蒸发较小,更有利于满足植物的水分需求。

花色苷是重要的植物色素,果实中其含量的多少直接影响果实的颜色,进而影响葡萄的品质^[28-29]。花色苷具有降低肝脏及血清中脂肪含量、抗氧化、抗诱变、延迟血小板凝集等多种生理和药用活性功能^[30]。我们的研究表明,在相同灌水量下,9月14日30cm深渗灌的葡萄花色苷含量高于表面渗灌。在本研究中花色苷于葡萄转色期开始增加并随果实成熟不断积累,完全成熟时含量达最大值或呈略有下降趋势,这与前人研究一致^[31-32]。

本文只讨论了1~2次灌水情况下毛细芯渗灌在着色成熟期对葡萄产量和品质的影响,而针对全生育期的情况,还需进一步试验研究。

4 结 论

本研究采用“环状毛细芯”进行葡萄灌溉试验,观测分析了“环状毛细芯渗灌”对土壤含水量以及葡萄生长生理的影响。结果表明,在相同灌水量下,与30cm深的渗灌相比,表面渗灌下葡萄粒径的长势更好,但30cm深的毛细芯渗灌更能降低水分胁迫对葡萄造成的伤害,从而提高了百粒重、可溶性固形物含量、糖酸比和花色苷含量。

从葡萄树的长势角度分析,与常规沟灌相比,环状毛细芯渗灌提高了土壤含水量,而红地球副稍以及叶中脉长势有明显提高;从外观品质角度分析,果实粒径也显著提高;可溶性固形物略有提高,脯氨酸含量明显降低,这说明环状毛细芯降低了葡萄由于水分胁迫所受到的伤害,改善了果实品质;从而表明环状毛细芯渗灌提供了较为持续的适合葡萄生长的土壤水分环境。在灌水量相同的情况下,环状毛细芯的果实百粒重比常规沟灌也有显著提高,从一定程度上也反映了毛细芯渗灌更加节水,葡萄的水分利用效率更高。因此,环状毛细芯渗灌是一种较好的节水灌溉技术。从最终产量和

果实品质的角度看,处理 30 * 2 是旱区红地球着色期~成熟期较好的毛细芯渗灌组合。

参考文献:

- [1] 李予霞,崔百明,董新平,等. 水分胁迫下葡萄叶片脯氨酸和可溶性总糖积累与叶龄的关系[J]. 果树学报,2004, 21(2):170-172.
- [2] 刘静霞,张芮,成自勇等. 不同生育期水分亏缺对酿酒葡萄产量及品质的效应研究[J]. 干旱地区农业研究,2016, 34(3):78-79.
- [3] 林华,李疆.干旱荒漠地区葡萄滴灌试验[J]. 新疆农业大学学报,2003, 26(4):62-64.
- [4] 杜太生,康绍忠,张霁,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, 17(5):805-810.
- [5] 巴特尔·巴克,郑大玮,宋秉彝,等. 渗灌节水技术及其经济效益浅析[J]. 节水灌溉, 2005(2):8-10.
- [6] 谭圣林,张清涛,邱国玉,等. 渗灌技术助力水资源节约[J]. 高科技与产业化,2014,10(5):66-69.
- [7] 左宇,李绍才,2005. 毛细束自适应灌溉初探[J]. 节水灌溉, 2005(5):48-49.
- [8] 马文娟,同延安. 葡萄树体生长动态与根系分布研究[J]. 西北农业学报,2013,2(8):133-137.
- [9] 管仲新. 红地球葡萄浆果生长发育和品质形成规律的研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2005.
- [10] 赵明星,李秀菊. 脯氨酸测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯,2005,41(3):355-356.
- [11] 王琨,纪立东,李磊,等. 不同灌水次数对红地球葡萄生长发育及果实品质的影响[J]. 安徽农学通报,2016,22(10):68-70.
- [12] Gary B K, Kathju S, Burman U. Influence of water stress on relations, photosynthetic parameters and nitrogen metabolism of bean [J]. Biol Plant,2001. 44(2): 289-292.
- [13] Mitchell P D, Jerie P H, Chalmers D J. The effects of regulated water deficits on pear growth, flowering, fruit growth and yield [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1984,109(5): 604-606.
- [14] 何建斌,王振华,何新林等. 极端干旱区不同灌水量对滴灌葡萄生长及产量的影响[J]. 农学学报,2013,3(2):65-69.
- [15] 苏培玺,施来成. 塑料薄膜滴灌带在沙地葡萄节水中的应用研究[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(4):94-98.
- [16] Ojeda H, Andary C, Kraeva, E, et al. Influence of pre-and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv Shiraz. [J]. Enol Vitic. 2002,53: 261-267.
- [17] Ginestar C, Easthan J, Gray S, et al. Use of sap-flow sensor to schedule vineyard irrigation II: Effect of post-veraison water deficits on composition of Shiraz grapevines Am [J]. Enol Vitic, 1998,49(4):421-428.
- [18] 唐莎莎,傅力,吴越,等. 不同产区无核白葡萄果实外观品质差异及相关性分析[J]. 新疆农业科学,2012,49(11):1990-1996.
- [19] 杜太生,康绍忠,闫博远,等. 干旱荒漠绿洲区葡萄根系分区交替灌溉试验研究[J]. 农业工程学报,2007,23(11):52-53.
- [20] 李善雅,赵现华,王华,等. 不同灌溉条件下葡萄叶片光合特性研究[J]. 北方园艺,2015(14):1-6.
- [21] 方玉林,孙伟,万力,等. 调亏灌溉对酿酒葡萄生长及果实品质的影响[J]. 中国农业科学,2016,46(13):2030-2038.
- [22] Yesim Erdem, A Nedim Yuksel. Yield response of watermelon to irrigation shortage [J].Scientia Horticulturae,2003,98(4): 365-383.
- [23] 杜军,沈润泽,马术梅,等. 宁夏贺兰山东麓葡萄滴灌灌溉水肥一体化技术研究[J]. 中国农村水利水电,2013(8):65-69.
- [24] 王云中,韩奚彦,张建成,等. 水分胁迫下葡萄叶片中几种物质含量的变化[J]. 华北农学报,2013,18(4):72-75.
- [25] 齐建波,荣新民,陈虎,等. 不同水分胁迫水平对葡萄叶水势及生理指标的影响[J]. 石河子大学学报,2011,29(4):437-439.
- [26] Ray E A.Molecular response to water deficit[J]. Plant Physiol, 1993, 103(4):1035-1040.
- [27] 胡宏远,马丹阳,李双岑,等. 水分胁迫对赤霞珠葡萄主要抗旱生理指标及品质的影响[J]. 灌溉排水学报,2016,35(5):79-81.
- [28] Moreno J J, Cerpa-Calderón F, Cohen S D, et al. Effect of post-harvest dehydration on the composition of pinot noir grapes (*Vitis vinifera* L.) and wine[J]. American Journal of Enology of Viticulture, 2006, 109(4): 755-762.
- [29] Gawel R.Red wine astringency: A review[J]. Aust J Grape Wine R, 1998,4(1):74-95.
- [30] 吴斌,张玉丽,程琳琳,等. 鲜食葡萄花色苷的研究进展[J]. 现代食品科技,2012,28(4):441-442.
- [31] 段长青,贺普超,康靖全. 中国葡萄野生种花色苷双糖苷的研究[J]. 西北农业大学学报(自然科学版),1997, 25(5):23-28.
- [32] José-María R, Eugenio R. Anthocyanin composition of Cabernet Sauvignon and Tempranillo grapes at different stages of ripening [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2003,51(11): 3372-3378.