# 水分胁迫对河西荒漠绿洲区酿酒葡萄水分利用及产量的跨年度影响

汪精海[1,2], 张 芮[1], 李 广[2], 戴文渊[3]

(1. 甘肃农业大学 水利水电工程学院, 甘肃 兰州 730070;
2. 甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃农业大学 资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘 要**: [目的] 研究滴灌条件下水分胁迫对酿酒葡萄耗水及产量的影响,为河西荒漠绿洲区酿酒葡萄节水高效灌溉模式的制定提供依据。[方法] 在酿酒葡萄 5 个生育期分别设置轻度〔土壤含水率下限 65% FC(田间持水率)〕和中度(土壤含水率下限 55 % FC)2 种水分胁迫水平,以充分供水(下限 75 % FC)为对照;通过连续 2 a(2015—2016 年)定点大田试验,研究水分胁迫对酿酒葡萄耗水规律、产量、水分利用的影响规律。[结果] ①酿酒葡萄 5 个生育期水分胁迫都会显著影响(减小)葡萄日耗水强度,且萌芽、新梢、开花期等短生育期胁迫对葡萄耗水的影响在复水后会自动消除,但果实膨大、着色成熟等 2 个长生育期水分胁迫的影响具有跨年度持续性,复水后难以短期内恢复。②萌芽期轻度水分胁迫处理的产量在 2 个试验年均达到最大,依次为 14 868 kg/hm$^2$ 和 15 306 kg/hm$^2$,该处理水分利用效率也同时达到最高,为 2.77 kg/m$^3$ 和 2.96 kg/m$^3$;着色成熟期轻度胁迫在不显著减产的基础上能提高水分利用效率;新梢生长期—果实膨大期中度水分胁迫都会显著降低酿酒葡萄产量,其中果实膨大期胁迫减产幅度最大,减幅可达 39%～49%。[结论] 水分胁迫时期和胁迫时长对酿酒葡萄耗水强度都有重要影响,生育后期长时间水分胁迫对酿酒葡萄耗水具有跨年度持续影响力;萌芽期或着色成熟期轻度胁迫,其他生育期充分供水是河西荒漠绿洲区酿酒葡萄较合理的节水高效灌溉模式。

**关键词**: 水分胁迫; 酿酒葡萄; 日耗水强度; 水分利用效率; 产量; 河西荒漠绿洲区

**文献标识码**: A **文章编号**: 1000-288X(2019)03-0080-07 **中图分类号**: S152.7$^+$5

**文献参数**: 汪精海, 张芮, 李广, 等. 水分胁迫对河西荒漠绿洲区酿酒葡萄水分利用及产量的跨年度影响[J]. 水土保持通报, 2019, 39(3): 80-86. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.03.014; Wang Jinghai, Zhang Rui, Li Guang, et al. Effects of water deficit in different growth periods on water consumption and yield of wine grapes in Hexi desert oasis region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(3): 80-86.

# Effects of Water Deficit in Different Growth Periods on Water Consumption and Yield of Wine Grapes in Hexi Desert Oasis Region

Wang Jinghai[1,2], Zhang Rui[1], Li Guang[2], Dai Wenyuan[3]

(1. *College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*; 2. *College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*; 3. *College of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*)

**Abstract**: [Objective] The effects of water stress on water consumption and yield of wine grapes were studied in order to provide a scientific basis for water-saving and efficient irrigation of wine grapes in Hexi desert oasis region. [Methods] Two water stress levels of mild (65% field capacity, FC) and moderate (55% FC) were set in the five growth stages of wine grapes (germination, shoot growth, flowering, fruit enlargement and coloring mature stage), respectively, with the lowest limit of 75% FC as a control. The effects of water stress on water consumption intensity, yield and water use efficiency of wine grapes were studied from 2015

**收稿日期**: 2018-01-03 **修回日期**: 2019-01-13

**资助项目**: 国家自然科学基金项目"水分调控对延迟栽培葡萄土壤碳源代谢及果实品质的协同作用机理"(51569002),"延迟栽培葡萄根际促生菌与土壤氮素转化对水分调控的协同响应机制"(51769001); 甘肃科技计划重大专项资助项目"河西灌区酿酒葡萄水肥调质滴灌关键技术研究与示范"(1502NKDF023)

**第一作者**: 汪精海(1981—),男(汉族),甘肃省景泰县人,讲师,在读博士,主要从事节水灌溉与水资源利用研究。E-mail: wangjh@gsau.edu.cn。

**通讯作者**: 张芮(1980—),男(汉族),甘肃省凉州区人,教授,博士,主要从事节水灌溉与水资源利用研究。E-mail: zhr_1029@163.com。

to 2016. [Results] ① Water stress at every growth stage of wine grapes significantly affected (reduced) the daily water consumption intensity of grapes, and the effect of water stress in short growth stage (such as germination, shoot growth, flowering stage) could be automatically eliminated after rehydration, while the effect of water stress in long growth period (fruit enlargement and coloring mature stage) was persistent across the year, and it was difficult to recover in a short time after rehydration. ② The yield of mild water stress at germination stage reached the maximum in the two experimental years, it was up to 14 868, 15 306 kg/hm$^2$, respectively, and the water use efficiency also reached the highest (2.77, 2.96 kg/m$^3$). The water use efficiency of mild water stress at coloring maturity stage could be improved without no obvious yield reduction. The moderate water stress at shoot growth, flowering and fruit expansion stage could significantly reduce grapes yield, and the reduction rate reached to 39%～49% under water stress at fruit expansion stage. [Conclusion] The growth period and duration of water stress have important effects on water consumption intensity of grapes. Long-term water stress have a continuous effect on water consumption of wine grapes across the year. Mild water stress at germination or coloring maturity stage, and adequate water supply at other growth stages are the efficient irrigation modes for wine grapes in Hexi desert oasis region.

**Keywords: water deficit; wine grapes; daily water consumption rate; water use efficiency; yield; Hexi desert oasis region**

近年来，随着人们生活水平的不断提升，对于葡萄酒的需求逐年稳步提升，而酿酒葡萄种植作为葡萄酒产业的基础性支柱，其健康发展对于酿酒葡萄产业至关重要[1-2]。甘肃省河西地区昼夜温差大，是种植酿酒葡萄的“黄金地带”(北纬 30°—50°)[3]，然而该地区属于干旱荒漠绿洲区，其酿酒葡萄主产区武威市凉州区多年平均降雨量仅为 160 mm，而年均蒸发量是降水量的 15.8 倍，水资源严重短缺的现状制约了区域葡萄酒产业的发展[4]。因此，在该类区域上进行高效节水灌溉技术(滴灌等)和不同灌水水平条件下酿酒葡萄耗水规律、产量和水分利用效率研究，对于制定科学合理的节水高效灌溉制度(模式)和实现酿酒葡萄产业的可持续发展具有重要科学意义。国内外学者对酿酒葡萄耗水规律及产量研究方面已有大量报道，郑睿等[4]研究表明土壤含水率是影响葡萄植株液流的最主要环境因素，灌水前后葡萄液流差别很大，对葡萄日耗水强度(DWC)影响显著；其他学者也证实不同水分处理对酿酒葡萄 DWC 影响很大，且 DWC 与生育期总体规律表现为果实膨大期 DWC＞着色成熟期 DWC＞开花期 DWC＞新梢生长期 DWC＞萌芽期 DWC[1-3,5-6]。但也有研究表明不同生育期水分胁迫会导致葡萄日耗水强度最大时段出现的时期不一致，转色前水分亏缺的灌溉处理的 DWC 最大时段为果实着色成熟期，而其他生育期胁迫处理的 DWC 最大时段为果实膨大期[7]。在产量研究方面，水分胁迫并不一定会导致产量下降，在早期适时、适度的水分亏缺能够使作物有一定的增产效果[7-8]，同时提高水分利用效率[9-10]。孔维萍等[11]研究表明萌芽期适度亏水有利于提高延后栽培葡萄产量和水分利用效率，Permanhani M 等[12]和许健等[13]表明适度亏水能提高葡萄水分利用效率。房玉林等[14-15]，惠竹梅等[16]在花后 30 d 至成熟期结束对酿酒葡萄进行调亏灌溉，对葡萄的粒径及产量没有显著性影响。苏学德等[17]进行不同灌水处理对葡萄(克瑞森)产量等影响的研究，表明随灌溉水量的增加，葡萄产量会有所增加；张芮等[18-19]研究表明，在果实膨大期对设施延后栽培葡萄进行水分胁迫，会显著降低葡萄产量及水分利用效率。

综上所述，不同时段进行水分亏缺灌溉对葡萄耗水和产量的影响是不同的[20]，已有研究结论也并不完全一致，产生差异的原因是所设置的水分胁迫程度和胁迫时间不一致，且其研究成果大部分都是一个年度水分胁迫试验的结果，缺少跨年度的持续跟踪研究，不能全面反映酿酒葡萄水分消耗和对产量的影响规律。而葡萄是多年生的木本植物，对其持续进行水分胁迫，对产量及耗水规律的影响会产生叠加效应，而这正是目前研究的重点和难点问题。因此，本文从 2015—2016 年间连续 2 a 对酿酒葡萄梅鹿辄进行滴灌灌溉技术条件下不同生育期水分胁迫处理，研究其对酿酒葡萄的日耗水强度、产量和水分利用效率的影响，以期揭示水分胁迫对酿酒葡萄耗水规律及产量的跨年度持续影响效应，为河西荒漠绿洲区的酿酒葡萄节水高效灌溉制度和滴灌灌溉模式的制定提供理论依据。

## 1　材料与方法

### 1.1　试验地概况

试验于 2015—2016 年在甘肃省河西走廊东中部

武威市凉州区威龙葡萄 2 号基地(102°51′E, 37°512′N,海拔 1 581 m)开展。该试验区属典型的大陆性干旱气候,多年平均降水量仅为 164.4 mm,日照充足,年平均日照时间 3 000 h 以上,昼夜温差大。供试土壤质地为沙质壤土,土壤肥力均匀,地下水位埋深较深,为 25～30 m。

### 1.2 供试材料

选用试验区当地主栽酿酒葡萄品种梅鹿辄(Merlot),树龄 5～6 a,南北行向,行距 3.2 m,株距 1.0 m,葡萄架式选择单臂篱架,沿葡萄行每隔 7.5 m 竖立水泥支柱,其上拉 3 道镀锌铁丝,葡萄架的高度约为 1.6 m。

### 1.3 试验设计

采用单因素完全随机试验设计,将酿酒葡萄的生育时期划分为:萌芽期、新梢生长期、开花期、果实膨大期、着色成熟期这 5 个时期[8-9]。2 个试验年度生育期起止日期及降水和气温情况如表 1 所示。每个生育期设 2 种水分胁迫水平,即土壤含水量下限为田间持水量的 65%(轻度胁迫)和 55%(中度胁迫),以土壤含水量下限为田间持水量的 75%为对照(充分供水),所有水分胁迫处理只进行单生育期胁迫,即胁迫期之前或胁迫期结束后恢复正常供水(充分供水);共设 11 个处理(表 1),每个处理 3 次重复,共 33 个试验小区,每个小区面积为 15.0 m×9.6 m,定植葡萄 45 株(3 行葡萄)。土壤质地为沙质壤土,0—100 cm 土层内的平均田间持水率和凋萎系数分别为 36%(体积百分比)和 12.6%,干容重 1.35 g/cm$^3$,土壤孔隙度为 45%。试验区灌水采用滴灌技术,一行两管控制模式,滴头流量 2.5 L/h,滴头间距 25 cm。灌水定额为 270 m$^3$/hm$^2$,当试验小区土壤含水量达到设定的土壤水分下限时,即进行灌水,用水表严格控制水量。

**表 1 酿酒葡萄生育期划分及其试验起止时间**

| 生育期 | 水分胁迫处理及编号 | 起止时间 | 降水量/mm | 平均气温/℃ |
|---|---|---|---|---|
| 萌芽期 | $T_1$(轻度胁迫),$T_6$(中度胁迫) | 20150508—20150517 | 16.5 | 17.45 |
| | | 20160508—20160518 | 1.2 | 16.39 |
| 新梢生长期 | $T_2$(轻度胁迫),$T_7$(中度胁迫) | 20150518—20150610 | 22.1 | 19.08 |
| | | 20160519—20160611 | 17.0 | 18.13 |
| 开花期 | $T_3$(轻度胁迫),$T_8$(中度胁迫) | 20150611—20150620 | 19.4 | 20.60 |
| | | 20160612—20160621 | 0 | 21.39 |
| 果实膨大期 | $T_4$(轻度胁迫),$T_9$(中度胁迫) | 20150621—20150825 | 52.9 | 20.00 |
| | | 20160622—20160825 | 67.0 | 22.45 |
| 着色成熟期 | $T_5$(轻度胁迫),$T_{10}$(中度胁迫) | 20150826—20150929 | 46.8 | 17.31 |
| | | 20160826—20160926 | 16.2 | 17.45 |
| 全生育期 | CK(充分供水) | 20150508—20150929 | 157.7 | 18.89 |
| | | 20160508—20160926 | 101.4 | 19.16 |

### 1.4 测定项目和测定方法

(1) 土壤含水率测定。采用 RYGCM3000S 型节灌数据采集系统(土壤水分传感器)进行定点土壤水分监测,同时采用土钻取土烘干法进行土壤含水率测定和校对。3 个重复中每个小区都随机选择 2 个测定点,测定点位于葡萄定植行轴线外 10 cm,并与相邻 2 株葡萄等距位置;测定深度为 100 cm,每隔 20 cm 为 1 层,最后计算平均值。在酿酒葡萄整个生育期内,每隔 7 d 测定 1 次,萌芽期前、生育期节点、灌水前后及葡萄采收后加测。

(2) 日耗水强度(DWC)计算。用水量平衡公式[21]计算得葡萄各生育期耗水量,再用某一生育期耗水量除以该生育阶段持续的天数,计算得日耗水强度[20];

(3) 葡萄产量的测定 葡萄成熟采摘季节,按各小区单独收获,用电子秤称量各小区所有葡萄树果穗的质量,最后将其换算为标准产量。

(4) 水分利用效率(WUE)。计算 用葡萄产量(kg/hm$^2$)除以全生育期总耗水量(m$^3$/hm$^2$)来计算。

### 1.5 田间管理

试验期间除人工补给灌水外,各处理的修剪、锄草、喷药等田间管理措施均保持一致;2015—2016 年各处理的施肥量和施肥时间也相同,即每年度在酿酒葡萄萌芽期施尿素 400 kg/hm$^2$,果实膨大期尿素 700 kg/hm$^2$,复合肥 1150 kg/hm$^2$,果实采收后施钙镁磷肥 1 750 kg/hm$^2$。

### 1.6 数据分析处理

采用 Excel 2008 软件对数据进行处理,采用 SPSS 19.0 统计分析软件对数据进行差异显著性检验。

## 2　结果与分析

### 2.1　水分胁迫对酿酒葡萄日耗水强度的影响

从图 1 可以看出，2015 年（第 1 个试验年）葡萄萌芽期各处理日耗水强度（DWC）与全年其他生育期相较而言最低，该时期日耗水强度值在 0.13～0.33 mm/d 之间；另外，处理 $T_6$（萌芽期中度胁迫）的 DWC（0.13 mm/d）＜$T_1$（萌芽期轻度胁迫）的 DWC（0.18 mm/d）＜其他处理的 DWC，且 $T_6$ 和 $T_1$ 处理均显著低于 CK（$p<0.05$）。2016 年萌芽期 $T_6$ 的 DWC（0.65 mm/d）和 $T_1$ 的 DWC（0.79 mm/d）也明显低于其他处理，并显著低于 CK（1.23 mm/d，$p<0.05$）。进入新梢生长期，2 个试验年的 DWC 值比萌芽期明显提升，2015 年表现更为突出，各处理 DWC 值迅速提升到了 1.40～2.29 mm/d 之间（图 1），比萌芽期提高了近 10 倍；另外，2015 和 2016 年新梢生长期水分胁迫处理 $T_7$ 的 DWC＜$T_2$ 的 DWC＜其他处理的 DWC，并显著低于 CK，表明新梢生长期进行水分胁迫同样会显著降低酿酒葡萄的耗水强度，并且胁迫越严重，日耗水强度下降越明显。

与前两个生育期胁迫规律相同，在开花期水分胁迫的 2 个处理（$T_3$ 和 $T_8$）的 DWC 值也都小于该阶段其他处理，且 2015 年开花期胁迫处理 $T_8$（DWC＝1.57 mm/d）和 $T_3$（1.68 mm/d）显著低于 CK（2.37 mm/d）；2016 年 $T_8$（DWC＝1.80 mm/d）和 $T_3$（1.83 mm/d）也显著低于 CK（2.38 mm/d），说明开花期水分胁迫也能显著降低葡萄日耗水强度。

进入果实膨大期日耗水强度达到最大，2 个试验年度各处理 DWC 在 2.27～4.42 mm/d 之间，比开花期明显提高。2015—2016 年 $T_9$（果实膨大期中度胁迫）的 DWC＜$T_4$（果实膨大期轻度胁迫）的 DWC＜其他处理 DWC，且这种差异达到显著水平（$p<0.05$）。着色成熟期，葡萄日耗水强度出现了不同程度的降低，尤其是 2016 年各处理 DWC 值降至1.74～3.00 mm/d 之间；着色成熟期水分胁迫处理（$T_5$ 和 $T_{10}$）的日耗水强度下降最为剧烈，显著低于 CK 和其他处理（图 1 和图 2）。

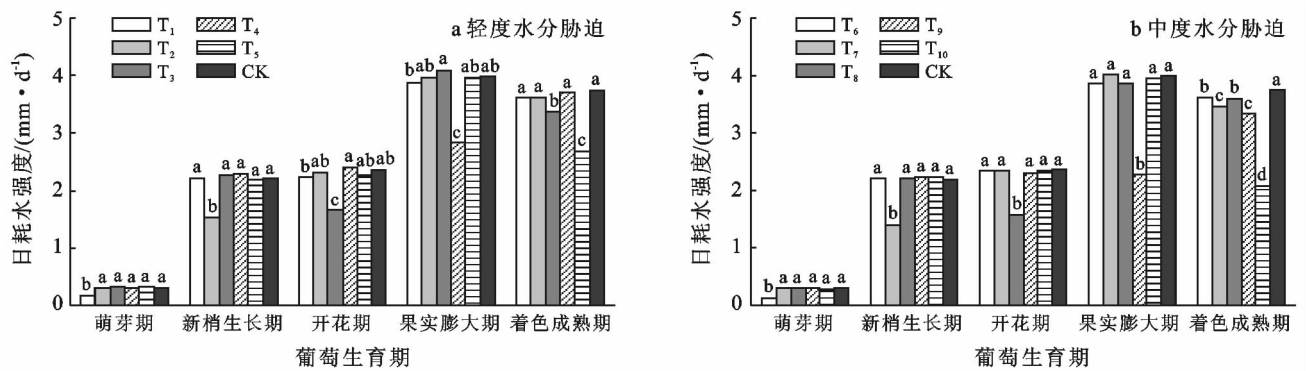



**图 1　2015 试验年酿酒葡萄各处理日耗水强度**

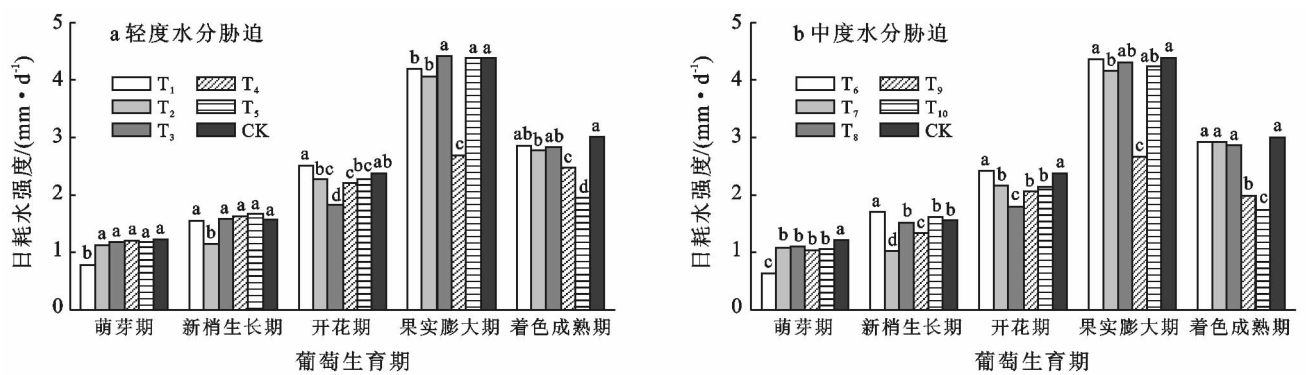



**图 2　2016 试验年酿酒葡萄各处理日耗水强度**

从单生育期水分胁迫结束后复水效果分析，2015 年萌芽期水分胁迫处理 $T_1$ 和 $T_6$ 在新梢生长期恢复充分供水后，其耗水强度由胁迫期的 0.18 mm/d 和 0.13mm/d 依次迅速恢复至 2.22 mm/d 和 2.21mm/d（图 1），略高于 CK（2.20 mm/d）；新梢生长期胁迫处理 $T_2$ 和 $T_7$ 在开花期复水后，其耗水强度也升至 2.31 mm/d 和 2.35 mm/d，与 CK（2.37 mm/d）基本持平。同样，开花期胁迫处理 $T_3$ 和 $T_8$ 在下一生育期

(果实膨大期)复水后,其耗水强度也由胁迫期的1.68 mm/d 和 1.57 mm/d 迅速增加至 4.10 mm/d 和3.86 mm/d,与 CK(3.99 mm/d)持平(图 1)。与之不同的是,果实膨大期中度胁迫处理 $T_{10}$ 在着色成熟期恢复正常供水后,其耗水强度依旧显著低于 CK 处理(图 1);2016 年,$T_{10}$ 和 $T_4$ 处理在下一生育期复水后耗水强度依旧不高,也显著低于 CK(图 2)。

从水分胁迫跨年度影响效果分析,在葡萄萌芽时期,2015 年只有水分胁迫处理 $T_6$ 和 $T_1$ 的 DWC 显著低于 CK,其他非胁迫处理与 CK 之间差异不显著(图 1);但 2016 年(第 2 年定点试验)除了 $T_6$ 和 $T_1$ 的 DWC 显著低于 CK 外,$T_7$,$T_8$,$T_9$,$T_{10}$ 等中度水分胁迫处理的 DWC 也均显著低于 CK($P<0.05$)。另外,2016 年新梢生长期除该时段水分胁迫处理($T_2$,$T_7$)耗水强度显著降低外,$T_9$ 处理也显著低于 CK;开花期 $T_7$,$T_9$,$T_{10}$ 等处理耗水强度也都显著低于 CK(图 2),这与上一年有所不同。

### 2.2 水分胁迫对酿酒葡萄产量的影响

从表 2 可以看出,2015 年果实膨大期轻度胁迫处理($T_4$)和所有中度水分胁迫处理($T_6$,$T_7$,$T_8$,$T_9$,$T_{10}$)的产量显著低于 CK,尤其是果实膨大期胁迫处理产量下降非常明显,其轻度($T_4$)和中度胁迫($T_9$)产量仅为 8 820 kg/hm$^2$ 和 7 461 kg/hm$^2$,比 CK 依次减产 39%,49%($p<0.05$);其他生育期轻度胁迫处理($T_1$,$T_2$,$T_3$,$T_5$)产量与 CK 之间不存在显著性差异。2016 年中度水分胁迫处理($T_7$,$T_8$,$T_9$,$T_{10}$)的产量依旧显著低于 CK;另外,轻度胁迫 $T_4$ 产量也仅有 11 175 kg/hm$^2$,比 CK 减产 24%($p<0.05$);与 2015 年相同,萌芽期轻度胁迫($T_1$)产量也达到最高,为 15 306 kg/hm$^2$,略高于 CK,另外其他轻度胁迫处理($T_2$,$T_3$,$T_5$)比 CK 有小幅减产,但差异不显著。

### 2.3 水分胁迫对酿酒葡萄水分利用效率的影响

从表 2 可以看出,2015—2016 年 $T_1$ 处理水分利用效率均达到最大值,依次为 2.77 kg/m$^3$ 和 2.96 kg/m$^3$,比 CK 依次提高 5.9 %和9.5 %;另外 $T_5$ 处理在 2 个试验年水分利用效率也依次达到 2.62 kg/m$^3$ 和 2.79 kg/m$^3$,略高于 CK。

2 个年度试验结果不同的是 2015 年轻度水分胁迫处理($T_3$,$T_4$)和所有中度水分胁迫处理($T_6$,$T_7$,$T_8$,$T_9$,$T_{10}$)的水分利用效率均显著低于 CK($P<0.05$),而 2016 年只有 $T_8$ 和 $T_{10}$ 处理的水分利用效率显著低于 CK。

**表 2 2015—2016 年不同生育期水分胁迫对葡萄产量及水分利用效率的影响**

| 处理 | 2015 年 | | | | 2016 年 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 产量/(kg·hm$^{-2}$) | 灌溉定额/(m$^3$·hm$^{-2}$) | 耗水量/(m$^3$·hm$^{-2}$) | 水分利用效率/(kg·m$^{-3}$) | 产量/(kg·hm$^{-2}$) | 灌溉定额/(m$^3$·hm$^{-2}$) | 耗水量/(m$^3$·hm$^{-2}$) | 水分利用效率/(kg·m$^{-3}$) |
| $T_1$ | 14 868±763$^{a}$ | 3 510 | 5 366±171$^{ab}$ | 2.77±0.06$^{a}$ | 15 306±882$^{a}$ | 3 780 | 5 161±112$^{bc}$ | 2.96±0.11$^{a}$ |
| $T_2$ | 13 258±640$^{b}$ | 3 240 | 5 300±105$^{bc}$ | 2.50±0.07$^{b}$ | 14 343±713$^{bc}$ | 3 510 | 4 928±149$^{de}$ | 2.91±0.09$^{ab}$ |
| $T_3$ | 11 720±1 256$^{c}$ | 3 510 | 5 455±132$^{ab}$ | 2.15±0.19$^{cd}$ | 14 220±467$^{bc}$ | 3 780 | 5 329±41$^{ab}$ | 2.67±0.08$^{cde}$ |
| $T_4$ | 8 820±680$^{d}$ | 2 700 | 4 553±147$^{e}$ | 1.94±0.09$^{d}$ | 11 175±523$^{f}$ | 2 700 | 3 791±191$^{f}$ | 2.95±0.06$^{a}$ |
| $T_5$ | 13 425±615$^{b}$ | 2 970 | 5 131±111$^{cd}$ | 2.62±0.06$^{ab}$ | 14 220±567$^{bc}$ | 3 510 | 5 087±121$^{cd}$ | 2.79±0.05$^{bc}$ |
| $T_6$ | 11 409±718$^{c}$ | 3 240 | 5 370±235$^{ab}$ | 2.12±0.05$^{cd}$ | 13 892±199$^{bcd}$ | 3 780 | 5 326±139$^{ab}$ | 2.61±0.04$^{def}$ |
| $T_7$ | 10 351±291$^{c}$ | 2 970 | 5 269±26$^{bc}$ | 1.96±0.05$^{d}$ | 13 680±600$^{cd}$ | 3 240 | 5 027±46$^{cde}$ | 2.72±0.11$^{cd}$ |
| $T_8$ | 10 539±1 018$^{c}$ | 2 970 | 5 292±117$^{bc}$ | 1.99±0.15$^{d}$ | 13 238±441$^{d}$ | 3 510 | 5 204±71$^{bc}$ | 2.55±0.09$^{f}$ |
| $T_9$ | 7 461±701$^{d}$ | 2 160 | 3 917±116$^{f}$ | 1.90±0.14$^{d}$ | 9 834±266$^{g}$ | 2 160 | 3 524±123$^{g}$ | 2.79±0.03$^{bc}$ |
| $T_{10}$ | 11 293±1 010$^{c}$ | 2 970 | 4 921±104$^{d}$ | 2.29±0.19$^{c}$ | 12 260±510$^{e}$ | 3 240 | 4 872±145$^{e}$ | 2.52±0.08$^{f}$ |
| CK | 14 495±1 134$^{ab}$ | 3 780 | 5 539±152$^{a}$ | 2.61±0.14$^{ab}$ | 14 632±435$^{ab}$ | 4 050 | 5 407±85$^{a}$ | 2.71±0.04$^{cd}$ |

注:采用 LSD 法,同列数据后不同小写字母表示在 $p<0.05$ 上差异显著,"±数字"为标准差;$T_1$—$T_5$ 为轻度水分协迫处理;$T_6$—$T_{10}$ 为中度水分协迫处理。

## 3 讨 论

日耗水强度反映了作物在不同生育期内受灌溉、气象、农艺措施等各方面因素的综合影响。2015—2016 年 2 个试验年度均表明,萌芽期日耗水强度最低(该期水分胁迫处理 DWC 在 0.13～0.79 mm/d 范围,非胁迫处理在 0.28～1.23 mm/d 之间),这与萌芽期酿酒葡萄刚刚出土不久,气温较低,蒸腾作用及光合作用都比较弱有关;果实膨大期日耗水强度最大(该期水分胁迫处理 DWC 在 2.67～2.84 mm/d,非胁迫处理高达 3.86～4.39 mm/d),该生育期是葡萄生殖生长最为迅速、气温相对最高的时期(表 1),也是葡萄需水临界期;其余生育期日耗水强度变化规律表现为着色成熟期>开花期>新梢生长期,这与孔维萍

等[1]、邓浩亮等[2]、王永平等[5]、曾辰等[22]在酿酒葡萄耗水规律等方面的研究结论一致。

在酿酒葡萄萌芽期、新梢生长期、开花期、果实膨大期、着色成熟期这 5 个生育期进行水分胁迫,都会明显降低胁迫时期葡萄的日耗水强度,并且表现出水分胁迫越严重,日耗水量的下降越明显的规律(图 1 和图 2)。这与纪学伟等[23-24]的研究结果保持一致。另外,在前 3 个短生育期(萌芽期、新梢生长期、开花期)胁迫复水后,酿酒葡萄耗水强度都会迅速恢复;如 2015 年新梢生长期胁迫处理 $T_2$ 和 $T_7$ 处理在开花期复水后,其耗水强度由胁迫期的 1.40 mm/d 和 1.53 mm/d 依次恢复至 2.31 mm/d 和 2.35mm/d,与 CK(2.37 mm/d)基本持平(图 1);2016 年开花期胁迫处理 $T_3$ 和 $T_8$ 在果实膨大期复水后,其耗水强度也由胁迫期的 1.83 mm/d 和 1.80 mm/d 迅速增加至4.42 mm/d 和 4.30mm/d,与 CK(4.38 mm/d)持平(图 2)。但果实膨大期(生育期长达 85 d 左右,属于长生育期)中度胁迫处理 $T_{10}$ 在着色成熟期恢复正常供水后,其耗水强度(2015 年为 3.34 mm/d)依旧显著低于 CK(3.75 mm/d)(图 1);2016 年,$T_{10}$ 和 $T_4$ 处理在着色成熟期复水后耗水强度也仅为 2.47 mm/d 和 1.98 mm/d,仍显著低于 CK(3.00 mm/d)(图 2)。其主要原因是土壤水分胁迫会影响葡萄的光合蒸腾生理及水分代谢机能,中、短时期的轻度和中度干旱胁迫恢复供水后葡萄光合荧光参数、蒸腾速率能基本恢复到正常供水状态[25];另一方面,葡萄萌芽期、新梢生长期、开花期属于营养生长的旺盛时期,胁迫复水后耗水强度可迅速恢复,甚至超过正常供水处理;而果实膨大期水分胁迫后,至着色成熟期恢复充分供水,葡萄耗水强度并没有恢复,其原因是着色成熟期复水后葡萄将进入落叶期,叶面积不再增加(甚至胁迫处理底部叶片较早出现枯萎,减少了有效叶面积指数),因而耗水强度并未出现“复水恢复增长”效应,说明水分胁迫对葡萄耗水强度的影响与葡萄的生长期也紧密相关,即轻度和中度水分胁迫对酿酒葡萄各生育期耗水都有不同程度的抑制作用,且葡萄营养生长期的这种抑制作用在复水后会自动消除;但在葡萄生育后期胁迫复水后其抑制作用难以完全恢复。张芮[21]在 2014—2016 年所开展的设施延迟栽培葡萄耗水规律研究中也表明果实膨大期是鲜食葡萄的需水临界期,该生育阶段亏水显著降低设施鲜食葡萄耗水强度,且这种影响具有明显的后续效应,在着色成熟期复水后其耗水强度并未恢复到正常水平,这与本研究中酿酒葡萄的耗水规律基本一致。

尽管 2 a 连续定点试验均表明水分胁迫都会降低葡萄在胁迫期的耗水强度,但从跨年度分析,第 2 试验年(2016 年)萌芽期 $T_7$,$T_8$,$T_9$,$T_{10}$ 处理和新梢生长期 $T_9$ 处理及开花期 $T_7$,$T_9$,$T_{10}$ 等中度水分胁迫处理耗水强度也都显著低于相应时期 CK 值(图 2),说明上一年度新梢生长期、开花期、果实膨大期、着色成熟期等单个生育期中度水分胁迫都会影响次年度酿酒葡萄生育前期的耗水强度。

2 a 的试验结果表明,萌芽期轻度水分胁迫($T_1$)可提高酿酒葡萄产量和水分利用效率(表 2),但该生育期中度水分胁迫($T_6$)对酿酒葡萄产量和水分利用效率的影响不显著,其研究结果与胡宏远[26]的研究成果一致;Williams 等[27]和 Conesa 等[28-29]研究也表明轻度水分胁迫(60%～80%ETc)对葡萄产量、果穗重量和水分利用效率有利。另外,果实膨大期轻度胁迫($T_4$)和中度水分胁迫($T_8$)显著降低葡萄产量,这与马奇梅[6]、刘静霞等[30]等研究结果保持一致。着色成熟期轻度胁迫处理($T_5$)在不显著降低产量前提下,能达到较高的水分利用效率,这与 Marinho 等[31]、和 Serman 等[32]研究结果一致。

从水分胁迫对葡萄产量和水分利用效率跨年度影响分析,2015 年开花期、果实膨大期轻度水分胁迫处理($T_3$,$T_4$)和所有中度水分胁迫处理($T_6$,$T_7$,$T_8$,$T_9$,$T_{10}$)的产量都显著低于 CK,而 2016 年度开花期轻度胁迫($T_4$)和萌芽期中度胁迫($T_6$)对葡萄减产的影响不显著(表 2)。另外,2015 年轻度水分胁迫处理($T_3$,$T_4$)和所有中度水分胁迫处理($T_6$,$T_7$,$T_8$,$T_9$,$T_{10}$)的水分利用效率均显著低于 CK,而 2016 年只有 $T_8$ 和 $T_{10}$ 处理显著低于 CK,表明酿酒葡萄经历上一年(2015 年)水分胁迫后,对其产生了明显的抗逆调节适应能力,在第 2 年进行轻度胁迫或短期的中度胁迫时其抗水分胁迫适应性增强,对葡萄产量和水分利用效率的影响逐渐削弱。

## 4　结 论

葡萄耗水强度与生育进程紧密相关。酿酒葡萄在萌芽期日耗水强度最低,新梢生长期—开花期逐步升高,到果实膨大期达到了峰值,2015—2016 年日耗水强度达到了 2.53～3.67 mm/d 之间,是酿酒葡萄需水临界期。同时,在酿酒葡萄的所有生育阶段进行水分胁迫,都会降低葡萄日耗水强度,且胁迫程度越重、胁迫时间越长对耗水强度的影响越显著。

水分胁迫会对产量造成较大影响,应引起高度重视。萌芽期轻度水分胁迫能够提升酿酒葡萄的产量,同时也有利于提高水分利用效率;但果实膨大期轻度和中度水分胁迫会显著降低葡萄产量,在生产实践中

该期应保持充分供水;着色成熟期轻度水分胁迫可在不降低产量的前提下小幅提高水分利用效率。因此,考虑产量和水分利用效率等综合因素,河西荒漠绿洲区最佳的灌水模式是萌芽期轻度水分胁迫(土壤含水量下限为田间持水率 FC 的 65%),其他生育期充分供水(土壤含水量下限为 75% FC);较合理的模式是着色成熟期轻度水分胁迫(土壤含水量下限为 65% FC),其余生育期充分供水(土壤含水量下限为 75% FC),上述 2 种模式均采用滴灌(2 管 1 行)技术,灌水定额 270 $m^3/hm^2$。

酿酒葡萄属于多年生植物,上一年度中度水分胁迫都会影响第二年生育前期(萌芽期—开花期)的耗水强度;同时,酿酒葡萄对水分胁迫具有一定的自我调节适应能力,水分胁迫对产量和水分利用效率产生的不利影响都会随着胁迫年度的推进而有所减弱。

## [ 参 考 文 献 ]


[1] 孔维萍,鱼生智,王海峰,等. 调亏灌溉下酿酒葡萄耗水特性及水分生产函数研究[J]. 灌溉排水学报,2017,36(2):93-100.

[2] 邓浩亮,孔维萍,张恒嘉,等. 不同生育期调亏灌溉对酿酒葡萄耗水及果实品质的影响[J]. 中国生态农业学报,2016,24(9):1196-1205.

[3] 李邵楠,李维,姜有虎,等. 西北干旱区戈壁葡萄膜下滴灌需水量和灌溉制度[J]. 水土保持学报,2011,25(5):247-251.

[4] 郑睿,康绍忠,佟玲,等. 不同天气条件下荒漠绿洲区酿酒葡萄植株耗水规律[J]. 农业工程学报,2012,28(20):99-107.

[5] 王永平,刘学军,周立华,等. 宁夏贺兰山东麓滴灌酿酒葡萄耗水规律及水分生产函数模型研究[J]. 水电能源科学,2016,34(11):27-30.

[6] 马奇梅,张芮,成自勇,等. 不同生育期亏缺灌溉对酿酒葡萄生长及耗水特性的影响[J]. 灌溉排水学报,2017,36(4):21-25,71.

[7] 李雅善. 滴灌葡萄不同灌水处理对其耗水规律及品质和产量的影响[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学, 2014.

[8] 彭世彰,蔡敏,孔伟丽,等. 不同生育阶段水分亏缺对水稻干物质与产量的影响[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(1):10-13.

[9] 刘浩,段爱旺,孙景生,等. 温室滴灌条件下土壤水分亏缺对番茄产量及其形成过程的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(11):2699-2704.

[10] 雷艳,张富仓,寇雯萍,等. 不同生育期水分亏缺和施氮对冬小麦产量及水分利用效率的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2010,38(5):167-174.

[11] 孔维萍,成自勇,张芮,等. 不同亏水时期对日光温室葡萄产量和品质的影响[J]. 广东农业科学,2014,41(17):33-37.

[12] Permanhani M. Miguel Costa J. Conceicao M A F. Deficit irrigation in table grape: Eco-physiological basis and potential use to save water and improve quality[J]. Plant Physiol, 2016,28(1):85-108.

[13] 许健,张芮,黄彩霞,等. 设施葡萄不同生育期水分胁迫对产量和水分利用效率的影响[J]. 中国农业大学学报,2019,24(4):43-51.

[14] 房玉林,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,2013,46(13):2730-2738.

[15] 房玉林,惠竹梅,陈洁,等. 水分胁迫对葡萄光合特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(2):135-138.

[16] 惠竹梅,房玉林,郭玉枝,等. 水分胁迫对葡萄幼苗 4 种主要生理指标的影响[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(3):146-149.

[17] 苏学德,李铭,郭绍杰,等. 不同灌水处理对克瑞森无核葡萄光合特性及果实品质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2011,39(30):18649-18652.

[18] 张芮,成自勇,王旺田,等. 水分胁迫对延后栽培葡萄果实生长的影响[J]. 华南农业大学学报,2015,36(6):47-54.

[19] 张芮,成自勇,王旺田,等. 不同生育期水分胁迫对延后栽培葡萄产量与品质的影响[J]. 农业工程学报,2014,30(24):105-113.

[20] 张芮,王旺田,吴玉霞,等. 水分胁迫度及时期对设施延迟栽培葡萄耗水和产量的影响[J]. 农业工程学报,2017,33(1):155-161.

[21] 张芮, 成自勇,李毅,等. 小管出流亏缺灌溉对设施延后栽培葡萄产量与品质的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(20):108-113.

[22] 曾辰,王全九,樊军. 初始含水率对土壤垂直线源入渗特征的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(1):26-30.

[23] 纪学伟,成自勇,赵霞,等. 调亏灌溉对荒漠绿洲区滴灌酿酒葡萄产量及品质的影响[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(4):184-188.

[24] 纪学伟,成自勇,张芮,等. 干旱荒漠绿洲区酿酒葡萄滴灌控水灌溉试验研究[J]. 干旱地区农业研究,2015,33(2):135-140.

[25] 朱雨晴,杨再强. 不同品种葡萄叶片光合特性对干旱胁迫的响应及旱后恢复过程[J]. 中国农业气象,2018,39(11):739-750.

[26] 胡宏远. 水分胁迫对赤霞珠葡萄生长、生理及品质的影响[D]. 银川:宁夏大学,2016.

[27] Williams L E, Grimes D W, Phene C J. The effects of applied water at various fractions of measured evapotranspiration on reproductive growth and water productivity of Thompson Seedless grapevines[J]. Irrigation Science, 2010,28(3):233-243.


(下转第 92 页)

长率也相对越大，根土复合体试样的黏聚力值与植物根系总的抗拉强度呈正相关关系，根土复合体黏聚力、黏聚力增长率均与根土面积积比、根土体积比均存在正相关关系。其相较于无根素土黏聚力均有不同程度的增长，增长率达到了 17.25%～94.76%，根系的加入对边坡土体内摩擦角的影响不显著，对黏聚力 $C$ 值起到显著增强作用，在一定程度上提高了边坡土体的稳定性。

[ 参 考 文 献 ]


[1] 余芹芹，胡夏嵩，李国荣，等. 寒旱环境灌木植物根土复合体强度模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报，2013，32(5)：1020-1031.

[2] 杨悦舒，夏振尧，肖海，等. 多花木蓝根土复合体抗剪强度试验研究[J]. 长江科学院院报，2014，31(4)：72-76.

[3] 惠尚，张云伟，刘晶，等. 丛生竹根系抗拉拔力学特性[J]. 山地学报，2013，31(1)：65-70.

[4] 赵亮. 根土复合体抗剪强度试验研究[D]. 长沙：中南林业科技大学，2014.

[5] 李华坦，李国荣，赵玉娇，等. 模拟自然降雨条件下植物根系增强边坡土体抗剪强度特征[J]. 农业工程学报，2016，32(4)：142-149.

[6] 李国荣，胡夏嵩，毛小青，等. 青藏高原东北部黄土区灌木植物根系护坡效应的数值模拟[J]. 岩石力学与工程学报，2010，29(9)：1877-1884.

[7] 王帅. 不同配比深、浅根系植物对边坡抗冲、抗剪性能影响试验[J]. 公路交通科技，2013，30(12)：39-43.

[8] 胡敏，李为萍，史海滨，等. 布根方式及根系径级对根土复合体抗剪性能的影响[J]. 水土保持通报，2012，32(1)：42-44.

[9] 周涛，刘枭宏，谌芸，等. 狗牙根和三叶草的根系特征及对荒坡紫色土抗剪性能的影响[J]. 草业科学，2018，35(3)：463-471.

[10] 李为萍，胡敏，史海滨. 沙地柏根系径级对根土复合体抗剪强度的影响[J]. 土壤通报，2012，43(4)：935-937.

[11] 杨苑君. 华北典型乔木根系抗拉及土壤抗剪性能研究[D]. 北京：北京林业大学，2016.

[12] 蒋必凤. 牛筋草根土复合体抗剪性能研究[J]. 山西建筑，2016，35(1)：63-65.

[13] 万娟. 草灌生态护坡力学性能研究[D]. 武汉：华中科技大学，2015.

[14] Ghestem M，Veylon G，Bernard A，et al. Influence of plant root system morphology and architectural traits on soil shear resistance[J]. Plant and Soil，2014，377(1)：43-61.

[15] 赵玉娇，胡夏嵩，李华坦，等. 寒旱环境灌木根系增强边坡土体抗剪强度特征[J]. 农业工程学报，2016，32(11)：174-180.

[16] 张翔宇，杨平，王磊，等. 植被根系对土体抗剪强度影响的试验研究[J]. 武汉理工大学学报，2012，34(4)：113-117.

[17] 格日乐，刘艳琦，左志严，等. 根系固土主要力学因子的主成分分析[J]. 内蒙古农业大学学报：自然科学版，2015，36(6)：39-47.

[18] 邓佳. 南方红壤区常见草本根土复合体生物力学抗蚀机理研究[D]. 武汉：华中农业大学，2015.

[19] 刘福全. 植物枝叶与根系固土抗蚀差异性研究[D]. 呼和浩特：内蒙古农业大学，2015.

[20] 李云鹏，张会兰，王玉杰，等. 针叶与阔叶树根系对土壤抗剪强度及坡体稳定性的影响[J]. 水土保持通报，2014，34(1)：40-45.


(上接第 86 页)


[28] Conesa M R，de la Rosa J M，Artes-Hernandez F，et al. Long-term impact of deficit irrigation on the physical quality of berries in “Crimson Seedless” table grapes[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture，2015，95(12)：2510-2520.

[29] Conesa M R，Falagan N，de la Rosa J M，et al. Post-veraison deficit irrigation regimes enhance berry coloration and health-promoting bioactive compounds in “Crimson Seedless” table grapes[J]. Agriculture Water Management，2016，163：9-18.

[30] 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)：78-83.

[31] Marinho L B，Rodrigues J J V，Soares J M. et al. Production and quality of “Superior Seedless” grapes under irrigation restrictions during berry maturation[J]. Pesquisa Agropecuária Brasileira，2009，44：1682-1691.

[32] Serman F V，Liotta M，Parera C. Effects of irrigation deficit on table grape cv. superior seedless production[J]. Acta Horticulturae，2004(646)：183-186.