

酿酒葡萄水肥一体化灌溉定额与 灌溉布局成本效益分析

陈娟¹, 马忠明², 牛小霞¹, 边金霞¹, 王平³

(1. 甘肃省农业科学院经济作物与啤酒原料研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070;

3. 兰州市农业科技研究推广中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要:为探究河西灌区酿酒葡萄适宜的灌溉定额和灌溉布局,于 2019—2021 年进行了连续 3 年田间试验。以‘赤霞珠’酿酒葡萄为供试材料,采取裂区设计,灌溉定额为主区,设置 3 个灌水水平,即 $1\ 800\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (低水 WL)、 $2\ 700\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (中水, WM) 和 $3\ 600\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (高水, WH); 灌溉布局为副区,设置 3 种方式,即 1 管 1 行 (C-S)、2 管 1 行 (C-D) 及 2 管 1 行分根区灌溉 (PRD),探究不同灌溉定额与灌溉布局对酿酒葡萄生长、产量、果实品质及经济效益的影响。结果表明:灌溉定额对酿酒葡萄修剪量、产量、果实品质及葡萄园可变成本具有显著影响, WL 处理葡萄果实品质最佳,平均可溶性固形物、多酚及花色苷分别达 27.37°Brix 、 $30.69\ \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 及 $6.74\ \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$; WM 处理葡萄产量最高,为 $10\ 163.2\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; WH 处理葡萄修剪量最大,为 $1.53\ \text{kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 。灌溉布局对酿酒葡萄修剪量、产量及果实品质无显著影响, C-D 及 PRD 灌溉布局增加了葡萄园固定成本,与 C-S 灌溉布局相比,固定成本均增加了 $481\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。较其他处理, C-S (WM) 处理投资效益费用比、成本利润率最大,增幅分别为 $0.94\% \sim 10.27\%$ 、 $0.6\% \sim 36.57\%$,而生产成本最低,降幅达 $0.01 \sim 0.57\ \text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$,盈亏平衡点的产量与价格分别降低了 $176.90 \sim 3\ 818.07\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $0.02 \sim 0.6\ \text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$,当水费高达 $0.67\ \text{元} \cdot \text{m}^{-3}$ 时, C-S (WM) 处理净利润仍然在 $7\ 500\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上。综合酿酒葡萄生长、产量、品质及成本效益分析, C-S (WM) 处理可平衡营养生长与生殖生长,提高葡萄果实品质与产量,降低安装成本与生产成本,净利润大于 $7\ 500\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$,经济可行,回报率高。

关键词:酿酒葡萄; 水肥一体化; 灌溉定额; 灌溉布局; 成本效益分析

中图分类号: S663.1; S604⁺.6 文献标志码: A

Cost-benefit analysis of irrigation quota and irrigation layout under water and fertilizer integration cultivation for wine grapes

CHEN Juan¹, MA Zhongming², NIU Xiaoxia¹, BIAN Jinxia¹, Wang Ping³

(1. Institute of Economic Crops and Malting Barley Material, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou,

Gansu 730070, China; 2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. Lanzhou Agricultural Science technology Research and Extension Center, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: The overall aim of this study was to identify the optimum irrigation methods and irrigation rates to simultaneously improve the growth, fruit yield, quality and economic benefit of wine grape. A three-year (2019—2021) field experiment in the Hexi Corridor of Gansu Province was used to assess the effects of irrigation methods and irrigation rates on growth, yield, fruit quality and economic benefit in wine grape under fertilization management. The experiment followed a completely randomized split-plot design with three irrigation amounts of $1\ 800\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (WL), $2\ 700\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (WM), and $3\ 600\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (WH) as the main-plot treatments, and three irrigation methods of one pipeline per vine row (C-S), two pipelines per vine row (C-D) and partial root-zone drying (PRD) as the sub-plot treatments. The results showed that, the irrigation rate had a remarkable effect on the pruning amount, yield, fruit quality and variable cost of wine grape. The WL treatment produced the best fruit quality,

收稿日期: 2022-10-26

修回日期: 2023-02-06

基金项目: 甘肃省农业科学院重点研发项目 (2021GAAS22); 甘肃省重点研发计划项目 (22YF7NA039); 国家重点研发计划项目 (2017YFD0201508)

作者简介: 陈娟 (1983—), 女, 甘肃环县人, 副研究员, 主要从事作物水肥高效调控研究。E-mail: 827391183@qq.com

通信作者: 马忠明 (1963—), 男, 甘肃民勤人, 研究员, 主要从事作物水肥高效调控研究。E-mail: mazhming@163.com

the content of soluble solid, polyphenol and anthocyanin were 27.37°Brix , $30.69\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ and $6.74\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively. The WM treatment produced the highest yield ($10\,163.2\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), and the WH treatment produced maximum pruning amount of grape ($1.53\text{ kg}\cdot\text{plant}^{-1}$). The irrigation method had an insignificant effect on the pruning amount, yield and fruit quality. Compared with C-S treatments, C-D and PRD treatments both increased the fixed cost of the vineyard by $481\text{ Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$. Compared with other treatments, the C-S (WM) treatment increased Net Margin/Investment and Net Margin/Cost by $0.94\%\sim 10.27\%$, $0.6\%\sim 36.57\%$, respectively, while C-S (WM) treatment decreased production cost by $0.01\sim 0.57\text{ Yuan}\cdot\text{kg}^{-1}$. At break-even point, the yield and price of grape under the C-S(WM) treatment decreased by $176.90\sim 3\,818.07\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $0.02\sim 0.6\text{ Yuan}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. The threshold price of water indicated that only the C-S (WM) treatment remains net profit was more than $7500\text{ Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$ with higher water prices of up to $0.67\text{ Yuan}\cdot\text{m}^{-3}$. The comprehensive consideration of growth, yield, quality and cost-benefit indicated that one pipeline per vine row and $2\,700\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (C-S (WM)) treatment, C-S (WM) increased extra berry quality and yield of wine grape. The C-S (WM) was more economically profitable (lower installation cost and production cost), net profit was more than $7\,500\text{ Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$, which was economically viable and achieved high returns.

Keywords: wine grape; integration of water and fertilizer; irrigation rate; irrigation method;cost-benefit analysis

甘肃河西走廊因其气候干燥、降水量少、光照强度及昼夜温差大等条件非常适合种植优质酿酒葡萄,业界称之为“葡萄酒风土产区”^[1]。随着国家对酿酒葡萄种植业优惠政策的不断出台,加之新架形与水肥一体化技术的广泛使用^[2]和机械化修剪技术的不断革新^[3],酿酒葡萄在河西地区种植面积不断增加。为获得高产和高收益,过量施肥与灌水现象突出^[4],而不合理的管理措施使酿酒葡萄产量与品质只降不增^[5];酿酒葡萄种植成本不断增加,而其收购价停滞增长,葡农收入下降,致使葡农种植酿酒葡萄的积极性受挫。传统酿酒葡萄的价格仅以酿酒葡萄的可溶性固形物与产量为考核指标^[4],这显然对栽培葡萄产量较高的葡农有利,但对产量相对较低而追求高品质的葡农不利,也不利于地域品牌战略发展。

河西灌区水资源匮乏,需采用各种节水灌溉技术来提高水分利用率^[6]。目前,亏缺灌溉(RDI)与根区分区灌溉(PRD)是两种行之有效的灌溉技术,均能限制酿酒葡萄营养生长,改善葡萄水分利用率与果实品质^[7-8]。研究证实,采用RDI技术能显著改善葡萄水分利用率与果实品质^[9],Permanhani等^[10]研究表明RDI技术最终效果与酿酒葡萄的物候期与水分胁迫程度有关。PRD是利用交替灌溉技术,使作物根部形成水分空间异质性,一部分根系处于水分干旱胁迫状态,另一部分根系处于湿润区域;干旱胁迫诱导根系产生激素ABA,传输至木质部,减缓气孔导度与植株蒸腾作用,从而降低作物营养生长与水分利用率,而处在湿润的根系能为作物生长提供充足的水分,保证作物正常生长^[11]。目前,PRD技术

对酿酒葡萄栽培效果的研究结论尚未统一。杜太生等^[8]研究表明应用PRD技术能减少水分散失、提高灌水效率,改善鲜食葡萄与酿酒葡萄品质,提高产量。De La Hera等^[12]研究表明,与传统滴灌相比,在相同灌溉定额下,PRD技术不能显著改善葡萄生长、水分利用效率、产量及品质。以往的研究大多集中于传统滴灌与PRD技术对酿酒葡萄产量与品质的研究,有关2种灌溉模式经济效益的研究有限。鉴于此,本研究拟采用成本函数分析与实证、收支平衡分析法,以民勤大漠明珠葡萄种植园为例,分析该葡萄园采用不同灌溉布局的平均成本、收支平衡点下的净利润,以期为葡萄园经营者选择灌溉方式提供经济学的解决方案。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于2019—2021连续3年在甘肃省民勤县大漠明珠葡萄种植园($38^{\circ}30'\text{N}$, $103^{\circ}30'\text{E}$,海拔 $1\,340\text{ m}$)进行。种植园所在地区属温带大陆性干旱气候,多年平均降水量 113.2 mm ,且多为无效降雨($<5\text{ mm}$),60%的降雨集中在7—9月;年均蒸发量为 $2\,675.6\text{ mm}$,无霜期 183 d ,日照时数 $>3\,013\text{ h}$, $>10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温约 $3\,152.4^{\circ}\text{C}$ 。供试材料为7年生赤霞珠,采用单壁篱架栽培,种植株距 0.7 m ,行距 3 m ,南北行向; $0\sim 60\text{ cm}$ 为沙壤土,平均土壤容重 $1.52\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,有机质含量 0.79% ,全氮含量 0.054% ,速效磷含量 $169\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾含量 $160\sim 190\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

设置灌溉定额和灌溉布局2个因素,采取裂区设计,灌溉定额为主区,灌溉布局为副区。灌溉定

额设置 3 个水平,分别为 2 400 m³ · hm⁻² (低水, WL)、3 600 m³ · hm⁻² (中水, WM) 和 4 800 m³ · hm⁻² (高水, WH);灌溉布局分别设置为 1 管 1 行 (C-S)、2 管 1 行 (C-D) 及 2 管分 1 行根区灌溉 (PRD)。试验包含 9 个处理,各处理设 3 个重复,共计 27 个小区,每小区 60 株葡萄。在灌溉管理方面, C-D (WH) 处理采用当地普遍使用的灌溉定额与灌溉模式,为 1 行葡萄铺 2 条滴灌带,且均灌水, C-S 处理为 1 行葡萄铺 1 条滴灌带,固定在葡萄行一侧灌溉, PRD 处理为 2 管 1 行分根区灌溉,即本次灌这一侧,下次灌另一侧,具体灌溉定额、滴灌布局、灌水定额及灌水时间列于表 1 和表 2。灌溉施肥采取少量多次原则实施,采用耐特菲姆公司内嵌式压力补偿滴灌管供水,滴头间距 0.5 m,采用比例施肥器进行施肥。施肥时先将肥料完全溶解于施肥罐中,滴灌开始 30 min 后开始滴肥,施肥结束后再用清水滴灌 30 min。施肥量为 580 kg · hm⁻² (全生育期 N : P₂O₅ : KO₂ = 1.0 : 0.6 : 1.2),其中,萌芽期施肥量 145 kg · hm⁻² (N : P₂O₅ : KO₂ = 16 : 4 : 5),开花期与初果期施肥量各为 72.5 kg · hm⁻² (N : P₂O₅ : KO₂ = 3 : 4 : 3),果实膨大期与转色期施肥量各为 145 kg · hm⁻² (N : P₂O₅ : KO₂ = 1 : 1 : 3)。葡萄园的日常田间管理参照当地高产优质葡萄园的管理模式进行。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 单株修剪量 酿酒葡萄生育期内各处理单株修剪量 (kg · 株⁻¹) = 修剪枝叶总质量/总株数

1.3.2 产量 人工采摘各处理小区所有的果穗,分小区称取质量,各处理 3 个重复的平均值即为该处理的实际产量,并换算为标准产量 (kg · hm⁻²)。

1.3.3 品质 各重复选取 10 株长势相同的植株,于

树体上、中、下 3 个部位各取 1 穗葡萄果实,用于测定果实品质。可溶性固形物 (°Brix) 采用 WZB-45 数显折光仪测定;多酚含量 (mg · g⁻¹) 采用 Folin-Ciocalteu 法测定;花色苷含量 (mg · g⁻¹) 采用 pH 示差法测定^[4]。

1.3.4 经济效益分析 固定资产年折旧额 = (原价 - 预计净残值)/预计使用年限;净收益 = 收入 - 固定成本 - 可变成本;投资效益费用比 = 净利润/总投资额 × 100%;成本利润率 = 净利润/总成本 × 100%;收支平衡点 = 收入 - 固定成本 - 可变成本 = 0;灌水生产力 (kg · m⁻³) = 酿酒葡萄产量 (kg)/灌溉定额 (m³);

表 1 各灌水处理下灌溉定额及灌溉布局 (2019—2021)

Table 1 Irrigation volume and drip irrigation layout for each irrigation treatment during the experimental period (2019—2021)

处理 Treatment	灌溉定额 Irrigation quota /(m ³ · hm ⁻²)	滴灌布局 Drip irrigation layout	滴头流量 Dripper discharge /(L · h ⁻¹)
C-S (WL)	1800	1 管 1 行 One pipeline per vine row	2
C-D (WL)		2 管 1 行 Two pipelines per vine row	1
PRD (WL)		2 管 1 行分根区灌溉 Partial root-zone drying	2
C-S (WM)	2700	1 管 1 行 One pipeline per vine row	2
C-D (WM)		2 管 1 行 Two pipelines per vine row	1
PRD (WM)		2 管 1 行分根区灌溉 Partial root-zone drying	2
C-S (WH)	3600	1 管 1 行 One pipeline per vine row	2
C-D (WH)		2 管 1 行 Two pipelines per vine row	1
PRD (WH)		2 管 1 行分根区灌溉 Partial root-zone drying	2

表 2 各处理灌水定额与灌水时间 (2019—2021)

Table 2 Irrigation time and irrigation quota for each irrigation treatment during the experimental period (2019—2021)

生育期 Stage	灌水时间 Irrigation time	灌水定额 Irrigation quota/(m ³ · hm ⁻²)			灌水次数 Irrigation frequency
		WL	WM	WH	
出土 Excavation	4 月下旬 Late Apr.	240.00	360.00	480.00	1
萌芽期 Budbreak	5 月上旬、5 月中旬 Early May, Mid-May	142.50	213.75	285.00	2
开花期 Anthesis	6 月上旬、6 月中旬 Early Jun., Mid-Jun.	198.75	298.50	397.50	1
初果期 Primary fruit	6 月下旬、7 月上旬 Late Jun., Early Jul.	183.00	276.00	366.00	2
果实膨大期 Expansion	7 月中旬、7 月下旬 (每 7 天 1 次)	429.75	643.50	859.50	3
	Mid-Jul., Late Jul. (Once a week)				
转色期 Veraison	8 月上旬—8 月中下旬 (每 5 天 1 次) Early Aug. to mid-to-late Aug. (Once every five days)	285.75	429.00	571.50	3
成熟期 Maturation	9 月底 End of Sep.	0.00	0.00	0.00	0
埋土 Burying vines	11 月前 Before Nov.	319.50	479.25	639.00	1
全生育期 Whole growth period		2400.00	3600.00	4800.00	13

单位产出成本(元·kg⁻¹)= 成本(元) / 酿酒葡萄产量(kg)^[5]。

1.4 数据分析

采用 SPSS 19.0 进行差异显著性分析,Microsoft Excel 2010 作图。

2 结果与分析

2.1 灌溉定额与灌溉布局对酿酒葡萄果实品质的影响

如表 3(见 74 页)所示,2019—2021 年,灌溉定额显著影响酿酒葡萄可溶性固形物、多酚及花色苷含量,大小表现为低水(WL)>中水(WM)>高水(WH);灌溉布局对酿酒葡萄可溶性固形物、多酚及花色苷含量影响不显著。与 WL 处理相比,WM 和 WH 处理的可溶性固形物、多酚与花色苷含量在 2019、2020 与 2021 年平均分别降低了 5.90% 和 17.69%、19.35% 和 46.85%、24.88% 和 39.71%。可见减少灌溉定额有助于显著提升酿酒葡萄果实品质。

2.2 灌溉定额与灌溉布局对酿酒葡萄修剪量、产量及价格的影响

从表 4(见 74 页)可以看出,灌溉定额显著影响酿酒葡萄修剪量、产量及价格,灌溉布局对酿酒葡萄修剪量、产量及价格的影响不显著。2019—2021 年,酿酒葡萄产量均随灌溉定额增加呈现出先增加后保持稳定的趋势;酿酒葡萄修剪量随灌溉定额增加而增加;酿酒葡萄价格随灌溉定额增加呈现出先增加后减小的趋势。与 WL 处理相比,WM 与 WH 处理酿酒葡萄平均产量分别提高 46.20% 与 65.84%,平均修剪量分别增加 96.97% 与 248.48%;与 WL 处理相比,WM 和 WH 处理酿酒葡萄价格分别提高 7.22% 和降低 4.69%。

2.3 灌溉定额与灌溉布局对酿酒葡萄园总成本的影响

以甘肃省民勤县大漠明珠葡萄种植园为例,面积为 13.33 hm²(200 亩),葡萄园初始投资与年折旧率不受灌溉定额影响,与灌溉布局密切相关(表 5)。C-S 处理下,投资总额为 75 264 元·hm⁻²,年折旧额为 3 341.73 元,对于 C-D 与 PRD 两种灌溉方式,在建设初期,每一行葡萄铺设了 2 条滴灌带,灌溉管网投资额为 17 850 元·hm⁻²,因此,C-D 与 PRD 处理下,投资总额为 82 614 元·hm⁻²,年折旧额为 3 831.73 元。与 C-D、PRD 处理相比,C-S 处理投资总额降低了 8.9%,年折旧额降低了 12.79%。

总成本等于固定成本与可变成本之和,其中灌溉布局决定固定成本(3 341.73 ~ 3 831.73 元·hm⁻²),可变成本由机耕费、肥料费、电费、修剪费、采摘费、水费与安装维修(维修材料)构成(14 256.00 ~ 22 362.00 元·hm⁻²),占总费用的 78.82% ~ 87.00%(表 6)。灌溉定额对可变成成本影响显著,电费、修剪费、采摘费与水费随着灌溉定额的增加而增加,与 WL 处理相比,WM 和 WH 处理电费分别增加了 66.67% 和 166.67%,修剪费分别增加了 50.00% 和 140.00%,采摘费分别增加了 36.36% 和 72.73%,水费分别增加了 50.00% 和 100.00%。受灌溉布局和灌溉定额的影响,各处理总成本为 17 597.73 ~ 26 193.73 元·hm⁻²。C-S(WL)处理总成本为 17 597.73 元·hm⁻²,C-D(WL)和 PRD(WL)处理总成本均为 18 087.73 元·hm⁻²,C-S(WM)处理总成本为 20 975.73 元·hm⁻²,C-D(WM)和 PRD(WM)处理总成本均为 21 465.73 元·hm⁻²,C-S(WH)处理总成本为 25 703.73 元·hm⁻²,C-D(WH)和 PRD(WH)处理总成本均为 26 193.73 元·hm⁻²。

表 5 葡萄园初始投资与年折旧率

Table 5 Investment and annual depreciation in vineyard trellis system

投资费用 Investment cost	原价/元 Initial value/Yuan	预计净残值/元 Residual value/Yuan	使用年限/年 Useful life/a	年折旧额/(元·a ⁻¹) Depreciation/(Yuan·a ⁻¹)
泵房 Shed for equipment and irrigation control	20000	3200	30	593.33
灌溉设备 Irrigation equipment	22200	2400	20	990.00
灌溉管网 Irrigation network	10500	0	15	700.00
葡萄苗 Planting	20340	0	25	813.60
其他 Various	15000	0	5	244.80
投资总额(元·hm ⁻²) Investment (Yuan·hm ⁻²)	75264			

注:2 管 1 行与 2 管 1 行分根区灌溉有 2 条滴灌带,灌溉管网系统投资金额为 17 850 元·hm⁻²,总投资金额为 82 614 元·hm⁻²。
Note:Investment of irrigation network of two pipelines per vine row and partial root-zone drying treatments is 17 850 Yuan·hm⁻², and investment in two pipelines per vine row and partial root-zone drying treatments is 82 614 Yuan·hm⁻².

表 3 灌溉定额与灌溉布局对酿酒葡萄品质的影响

Table 3 Effects of irrigation quota and drip irrigation layout on quality of wine grape

处理 Treatment	可溶性固形物含量/ TSS			平均可溶性 固形物含量 Mean TSS /°Brix	多酚含量/(mg·g ⁻¹) Polyphenol			平均多酚含量 Mean polyphenol /(mg·g ⁻¹)	花色苷含量/(mg·g ⁻¹) Anthocyanin			平均花色苷含量 Mean anthocyanin /(mg·g ⁻¹)
	2019	2020	2021		2019	2020	2021		2019	2020	2021	
C-S (WL)	28.37 ±1.29a	27.86 ±1.48a	26.98±0.62ab	27.44±0.70a	31.04±1.07a	30.54±1.24a	30.13±0.73a	30.57±0.45a	6.86±0.12a	6.73±0.24a	6.81±0.46a	6.80±0.07a
C-D (WL)	27.00 ±0.87a	27.29 ±0.91a	27.12±1.68a	27.08±0.15a	31.19±0.75a	30.78±0.96a	30.36±1.52a	30.77±0.42a	6.79±0.06a	6.62±0.71a	6.59±0.14a	6.67±0.11b
PRD (WL)	27.40±1.03 a	28.39 ±1.74a	27.53±1.64a	27.49±0.54a	31.13±1.32a	30.29±1.21a	30.78±1.07a	30.73±0.42a	6.75±0.39a	6.84±0.79a	6.67±0.64a	6.75±0.09ab
C-S (WM)	26.13 ±0.97b	25.45±1.63b	25.19±1.53b	25.50±0.49 b	24.47±1.64b	25.12±0.92b	24.10±1.75b	24.56±0.52b	5.12±0.63b	5.04±0.52b	5.01±0.12b	5.06±0.06c
C-D (WM)	25.77±1.04 b	26.01±1.36b	26.10±0.85b	25.99±0.17b	25.52±0.75b	24.68±1.58b	23.92±0.74b	24.71±0.80b	5.06±0.58b	5.11±1.05b	5.05±0.32b	5.07±0.03c
PRD (WM)	25.70±1.13b	25.24±1.47 b	25.67±1.36b	25.68±0.26b	24.68±0.94b	25.40±0.74b	24.54±0.83b	24.87±0.46b	5.08±0.31b	5.07±0.43b	5.03±0.57b	5.06±0.03c
C-S (WH)	23.03 ±1.09c	21.36±1.07c	22.47±1.75c	22.66±0.85c	17.93±0.47c	15.89±1.10c	14.92±1.24c	16.24±1.54c	4.12±0.42c	4.03±0.37c	4.01±0.35c	4.05±0.06d
C-D (WH)	23.40 ±1.13c	21.89±1.78 c	21.57±1.54c	22.18±0.98c	17.16±1.30c	16.82±0.64c	15.09±0.86c	16.36±1.11c	4.07±0.89c	4.05±0.20c	4.09±0.31c	4.07±0.02d
PRD (WH)	23.13±1.46c	22.37±0.95c	22.42±0.63c	22.66±0.43c	16.80±0.74c	16.71±0.90c	15.33±0.88c	16.28±0.82c	4.09±0.30c	4.07±0.48c	4.05±0.64c	4.07±0.02d

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments (P<0.05), the same below.

表 4 灌溉定额与灌溉布局对酿酒葡萄产量、修剪量及价格的影响(2019—2021 年)

Table 4 Effects of irrigation quota and drip irrigation layout on yield, pruning amount and price of wine grape (2019–2021)															
处理 Treatment	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)			平均产量 Mean yield /(kg·hm ⁻²)	单株修剪量 Pruning amount per plant/kg			单株平均修剪量 Mean pruning amount per plant/kg	价格/(元·kg ⁻¹) Price/(Yuan·kg ⁻¹)			均价/(元·kg ⁻¹) Mean price /(Yuan·kg ⁻¹)			
	2019	2020	2021		2019	2020	2021		2019	2020	2021				
C-S(WL)	6751.65±563.08c	7251.61±653.48c	6930.42±290.40c	6977.89±253.34c	0.46±0.17c	0.48±0.22c	0.42±0.13c	0.45±0.03c	2.80	2.70	2.80	2.77			
C-D(WL)	6380.16±352.29c	7080.01±468.51c	6668.21±346.76c	6730.09±351.74c	0.45±0.26c	0.47±0.24c	0.41±0.11c	0.44±0.03c	2.80	2.70	2.80	2.77			
PRD(WL)	6848.40±402.01c	7204.54±432.20c	6719.45±543.57c	7026.47±251.26c	0.44±0.20c	0.46±0.19c	0.39±0.15c	0.43±0.04c	2.80	2.70	2.80	2.77			
C-S(WM)	9795.59±197.12ab	10303.6±326.80ab	10046.69±135.64ab	10049.60±254.01b	0.84±0.16b	0.91±0.22b	0.85±0.21b	0.87±0.25b	2.90	2.80	3.00	2.90			
C-D(WM)	9979.80±290.06ab	10520.8±264.93ab	10024.8±367.32ab	10250.30±300.20b	0.85±0.17b	0.89±0.18b	0.86±0.16b	0.87±0.24b	2.90	2.80	3.00	2.90			
PRD(WM)	9947.25±207.45ab	10432.25±396.89ab	9791.25±365.14ab	10189.75±334.28b	0.83±0.21b	0.92±0.23b	0.84±0.17b	0.86±0.24b	2.90	2.80	3.00	2.90			
C-S(WH)	11008.45±287.42a	11476.45±397.64a	11025.45±246.79a	11242.45±265.43ab	1.51±0.24a	1.61±0.24a	1.45±0.26a	1.52±0.62a	2.60	2.50	2.60	2.57			
C-D(WH)	10983.40±270.34a	11493.4±683.34a	11097.4±473.60a	11238.40±267.68ab	1.54±0.39a	1.64±0.14a	1.39±0.18a	1.52±0.60a	2.60	2.50	2.60	2.57			
PRD(WH)	11559.00±386.24a	12342.21±327.10a	12060.14±574.87a	11950.61±396.68a	1.63±0.32a	1.65±0.25a	1.41±0.19a	1.56±0.61a	2.60	2.50	2.60	2.57			

表 6 各处理总成本(2019—2021 年)

Table 6 Cost accounting for all treatments during the experimental period (2019–2021)

成本构成 Cost component	C–S(WL)			C–D(WL)			PRD(WL)			C–S(WM)			C–D(WM)			PRD(WM)			C–S(WH)			C–D(WH)			PRD(WH)		
	C	P		C	P		C	P		C	P		C	P		C	P		C	P		C	P		C	P	
井泵房 Shed	593.33	3.28		593.33	3.28		593.33	2.83		593.33	2.83		593.33	2.76		593.33	2.76		593.33	2.31		593.3	2.27		593.33	2.27	
灌溉设备 Irrigation equipment	990	5.47		990	5.47		990	4.72		990	4.72		990	4.61		990	4.61		990	3.85		990	3.78		990	3.78	
灌溉管网 Irrigation network	700	6.58		1190	6.58		1190	3.34		700	3.34		1190	5.54		1190	5.54		700	2.72		1190	4.54		1190	4.54	
种苗 Planting	813.6	4.50		813.6	4.50		813.6	3.88		813.6	3.88		813.6	3.79		813.6	3.79		813.6	3.17		813.6	3.11		813.6	3.11	
其他 Various	244.8	1.35		244.8	1.35		244.8	1.17		244.8	1.17		244.8	1.14		244.8	1.14		244.8	0.95		244.8	0.93		244.8	0.93	
固定成本 Fixed costs	3341.73	21.18		3831.73	21.18		3831.73	15.93		3341.73	15.93		3831.73	17.85		3831.73	17.85		3341.73	13.00		3831.73	14.63		3831.73	14.63	
机耕费 Machinery	1500	8.29		1500	8.29		1500	7.15		1500	7.15		1500	6.99		1500	6.99		1500	5.84		1500	5.73		1500	5.73	
肥料 Fertilizers	4500	24.88		4500	24.88		4500	21.45		4500	21.45		4500	20.96		4500	20.96		4500	17.51		4500	17.18		4500	17.18	
用电 Electricity	450	2.49		450	2.49		450	3.58		750	3.58		750	3.49		750	3.49		1200	4.67		1200	4.58		1200	4.58	
修剪 Pruning	3000	16.59		3000	16.59		3000	21.45		4500	21.45		4500	20.96		4500	20.96		7200	28.01		7200	27.49		7200	27.49	
收获 Harvesting	3300	18.24		3300	18.24		3300	21.45		4500	21.45		4500	20.96		4500	20.96		5700	22.18		5700	21.76		5700	21.76	
灌水 Irrigation	756	4.18		756	4.18		756	5.41		1134	5.41		1134	5.28		1134	5.28		1512	5.88		1512	5.77		1512	5.77	
维修 Maintenance	750	4.15		750	4.15		750	3.58		750	3.58		750	3.49		750	3.49		750	2.92		750	2.86		750	2.86	
可变成本 Variable cost	14256	78.82		14256	78.82		14256	84.07		17634	84.07		17634	82.15		17634	82.15		22362	87.00		22362	85.37		22362	85.37	
总成本 Total cost	17597.73	100.00		18087.73	100.00		18087.73	100.00		20975.73	100.00		21465.73	100.00		21465.73	100.00		25703.73	100.00		26193.73	100.00		26193.73	100.00	

注: C:成本(元); P:占总成本的比例(%).

Note: C: Cost (Yuan); P: Proportion to total cost (%).

2.4 灌溉定额与灌溉布局对葡萄园经济效益的影响

灌溉定额与灌溉布局对酿酒葡萄园经济效益具有显著影响(表 7)。净利润(NM)、投资效益费用比(NM/I)与成本利润率(NM/C)均随灌溉定额的增加先增加后减小,并在 WM 处理达到峰值;C-S 处理 NM 、 NM/I 及 NM/C 值大于 C-D 与 PRD 处理。灌水效率(IE)随灌溉定额的增加而减小,并分别在 WL 和 WH 处理达到最大值和最小值,灌溉布局对 IE 则无明显影响;单位产出成本(PC)随灌溉定额的增加先降低再增加,并在 WM 处理下最低,灌溉布局对 PC 则无明显影响,这主要是由于灌溉布局对酿酒葡萄产量没有显著影响,而灌溉定额显著影响酿酒葡萄产量与总成本,不同灌溉定额下,总成本表现为 $WH>WM>WL$,产量表现为 WH 、 $WM>WL$,故在 WM 处理下单位产出酿酒葡萄的成本最低。

净利润由酿酒葡萄产量、价格、固定成本及可变成本共同决定,C-S(WL)、C-D(WL)、PRD(WL)处理葡萄产量分别为 6 082.21、6 259.11、6 259.11 $kg \cdot hm^{-2}$,葡萄园可达到收支平衡;C-S(WM)、C-D

(WM)、PRD(WM)处理葡萄产量分别为 6 974.39、7 143.36、7 143.36 $kg \cdot hm^{-2}$,葡萄园可达到收支平衡;C-S(WH)、C-D(WH)、PRD(WH)处理 9 709.62、9 900.28、9 900.28 $kg \cdot hm^{-2}$,葡萄园可达到收支平衡。

在产量处于收支平衡点时,净利润要大于 7 500 元 $\cdot hm^{-2}$,C-S(WL)、C-D(WL)与 PRD(WL)处理下,每 1 m^3 水政府需要分别补贴 2.78 元、3.44 元及 2.98元;C-S(WM)、C-D(WM)和 PRD(WM)处理下,水价可以高达 0.67 元 $\cdot m^{-3}$ 、0.70 元 $\cdot m^{-3}$ 及 0.64元 $\cdot m^{-3}$;C-S(WH)、C-D(WH)与 PRD(WH)处理下,每 1 m^3 水政府需要分别补贴 0.78 元、0.92 元及 0.41 元。

在此现状下,要使净利润大于 7 500 元 $\cdot hm^{-2}$,各处理预计产量随灌溉定额的增加而增加,C-S(WL)、C-D(WL)、PRD(WL)处理下,预计产量分别为 9 060.55、9 237.45、9 237.45 $kg \cdot hm^{-2}$;C-S(WM)、C-D(WM)、PRD(WM)处理下,预计产量分别为 9 819.22、9 988.18、9 988.18 $kg \cdot hm^{-2}$;C-S(WH)、C-D(WH)、PRD(WH)处理下,预计产量分别为 12 919.74、13 110.40、13 110.40 $kg \cdot hm^{-2}$ 。

表 7 灌溉定额与灌溉布局对酿酒葡萄园经济效益的影响
Table 7 Effects of irrigation quota and drip irrigation layout on economic benefit of vineyard

处理 Treatment	净利润/(元 $\cdot hm^{-2}$) NM /(Yuan $\cdot hm^{-2}$)	NM/I /%	NM/C /%	灌水效率 IE /($kg \cdot m^{-3}$)	PC /(Yuan $\cdot kg^{-1}$)	收支平衡点产量 Yield at the breakeven point/($kg \cdot hm^{-2}$)	WP	WY
C-S(WL)	1731.03	3.30	14.73	3.88	2.41	6082.21	-2.78	9060.55
C-D(WL)	554.62	1.58	7.52	3.78	2.58	6259.11	-3.44	9237.45
PRD(WL)	1375.59	2.57	12.26	3.85	2.47	6259.11	-2.98	9237.45
C-S(WM)	8168.11	11.85	44.09	3.68	2.01	6974.39	0.67	9819.22
C-D(WM)	8260.14	10.91	43.49	3.77	2.02	7143.36	0.70	9988.18
PRD(WM)	8084.55	10.69	42.65	3.72	2.03	7143.36	0.64	9988.18
C-S(WH)	3189.37	5.23	15.79	3.10	2.22	9709.62	-0.78	12919.74
C-D(WH)	2688.96	4.16	13.52	3.11	2.26	9900.28	-0.92	13110.40
PRD(WH)	4519.34	6.38	20.71	3.33	2.13	9900.28	-0.41	13110.40

注: NM/I :投资效益费用比; NM/C :成本利润率; PC :单位产出成本;WP:净利润>7 500 元 $\cdot hm^{-2}$ 的水价;WY:净利润>7 500 元 $\cdot hm^{-2}$ 的酿酒葡萄产量。

Noe: NM/I : Net Margin/ Investment; NM/C : Net Margin/ Cost; PC : Production cost; WP: Price of water when net margin was more than 7 500 Yuan $\cdot hm^{-2}$ (Yuan $\cdot m^{-3}$); WY: Yield of wine grape when net margin was more than 7 500 Yuan $\cdot hm^{-2}$ ($kg \cdot hm^{-2}$).

收支平衡点与成本利润率(NM/C)>40%时,即净利润大于7 500元 $\cdot hm^{-2}$,酿酒葡萄价格如图 1 所示。C-S(WL)、C-D(WL)与 PRD(WL)处理下,当酿酒葡萄价格分别为 2.52 元 $\cdot kg^{-1}$ 、2.69 元 $\cdot kg^{-1}$ 、2.52 元 $\cdot kg^{-1}$ 时,可达收支平衡;C-S(WM)、C-D(WM)和 PRD(WM)处理下,酿酒葡萄价格分别为 2.09 元 $\cdot kg^{-1}$ 、2.09 元 $\cdot kg^{-1}$ 、2.11 元 $\cdot kg^{-1}$,可达收支平衡;C-S(WH)、C-D(WH)与 PRD(WH)处理下,酿酒葡萄价格分别为 2.29 元 $\cdot kg^{-1}$ 、2.33 元 $\cdot kg^{-1}$ 、2.19 元 $\cdot kg^{-1}$,可达收支平衡。

C-S(WL)、C-D(WL)与 PRD(WL)处理下,当酿酒葡萄价格分别为 3.53 元 $\cdot kg^{-1}$ 、3.76 元 $\cdot kg^{-1}$ 、3.60 元 $\cdot kg^{-1}$, NM/C >40%,净利润大于 7500 元 $\cdot hm^{-2}$;C-S(WM)、C-D(WM)和 PRD(WM)处理下,当酿酒葡萄价格分别为 2.92 元 $\cdot kg^{-1}$ 、2.93 元 $\cdot kg^{-1}$ 、2.95 元 $\cdot kg^{-1}$, NM/C >40%,净利润大于 7 500 元 $\cdot hm^{-2}$;C-S(WH)、C-D(WH)与 PRD(WH)处理下,当酿酒葡萄价格分别为 3.20 元 $\cdot kg^{-1}$ 、3.26 元 $\cdot kg^{-1}$ 、3.07 元 $\cdot kg^{-1}$, NM/C >40%,净利润大于 7 500元 $\cdot hm^{-2}$ 。

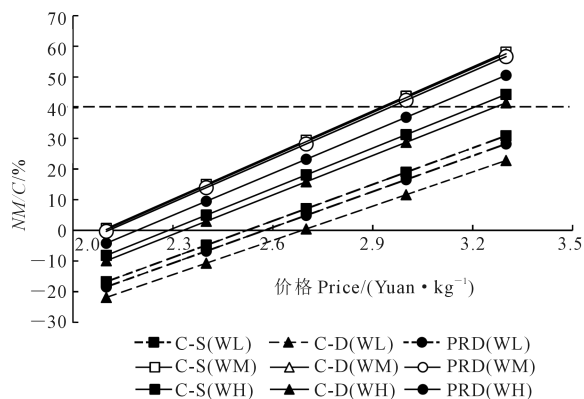


图1 酿酒葡萄价格对 NM/C 的影响

Fig.1 Effect of wine grape on Net Margin/Cost of vineyard

处于收支平衡与 $NM/C > 40\%$, 净利润大于 $7\,500\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 酿酒葡萄的价格大小为 $WL > WH > WM$, 主要因为酿酒葡萄在 WM 处理下, 灌溉定额较低, 产量较高, 即使价格显著低于 WL 和 WH 处理, 也能达到收支平衡点或 $NM/C > 40\%$, 净利润大于 $7\,500\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

3 讨论

3.1 灌溉定额与灌溉布局对酿酒葡萄生长的影响

葡萄生长过程中受到干旱胁迫时, 其生理代谢与生长状况均会随之变化。本研究表明, 灌溉布局对葡萄修剪量与产量的影响不显著, 灌溉定额显著影响葡萄修剪量与产量, 产量随灌溉定额的增加呈先增加再趋于稳定的趋势, 修剪量随着灌溉定额的增加而增加, 灌溉定额为 $2\,700\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 其产量最高, 与常规灌溉定额相比, 滴灌量降低 25% , 可显著提高葡萄产量, 降低修剪量。温越等^[13]研究表明, 适宜的灌水量可以在降低灌溉定额的前提下提高葡萄生理活性, 为产量提升奠定基础。张超等^[14]研究表明, 葡萄产量随着灌溉定额的增加呈先增后减趋势, 灌溉定额过高或过低均会影响土壤养分的有效性, 使得产量达不到预期目标, 与本研究的产量随灌溉定额的增加呈先增加后稳定的趋势不一致, 这可能是高水处理下灌溉定额量不一致造成的。綦伟等^[15]研究表明, 适度干旱胁迫能减少葡萄营养生长, 提高生殖生长, 与本研究结果一致, 灌溉定额的增加会增加营养生长, 进而增加酿酒葡萄修剪量。Reynolds 等^[16]研究水分胁迫可以减少‘雷司令’与‘黑比诺’的侧蔓长度、叶面积与果实大小。本研究结果表明, 低水 ($1\,800\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) 处理下, 酿酒葡萄产量较低, 可能是由于严重水分亏缺, 会造成葡萄植株落花落果, 且随着亏缺程度的加大, 葡

萄直径会减少, 果粒变小、皱缩, 致使产量降低^[17]。

3.2 灌溉定额与灌溉布局对酿酒葡萄品质的影响

灌溉定额显著影响葡萄品质的形成。花色苷和多酚化合物具有清除自由基和预防心血管疾病的作用^[18], 是影响葡萄颜色与香气形成的重要物质^[17], 与葡萄果实和葡萄酒的品质息息相关, 决定着葡萄酒的感官与价格^[19]。因此本研究除采用传统的仅用葡萄果实糖酸含量来评估酿酒葡萄品质的方法, 还测定了多酚和花色苷含量。研究结果表明, 灌溉布局 (1 管 1 行、2 管 1 行及 2 管 1 行分根区灌溉) 对酿酒葡萄的品质影响不显著。而 Castellarn 等^[20]研究表明灌溉方式能显著提高酿酒葡萄产量与品质, 这与本研究结果不一致, 其原因可能是在本试验处理中, 2 管 1 行与 2 管 1 行分根区灌溉, 2 个滴灌带的间距为 1m , 而 Bouzas-cid 等^[21]研究表明, 2 个滴灌带之间的距离对酿酒葡萄产量与品质起决定性作用, 两个滴灌带的间距大于 1.5m , 分根区灌溉的作用方能体现。灌溉定额显著影响酿酒葡萄品质, 这与房玉林等^[17]研究结果一致, 其研究表明降低灌溉定额使葡萄果实变小, 进而增加了葡萄表面积与体积之比, 增加了葡萄含糖量、酚类、花色苷浓度。Bucchetti 等^[22]研究表明降低灌溉定额可增加葡萄酚类与花色苷等物质的生物合成; Castellarn^[20]研究证实葡萄受到生物或者非生物胁迫时, 合成酚类与花色苷等物质的基因会发生上调, 然而, 随着灌溉定额的减少, 酿酒葡萄果实中可溶性固形物、多酚及花色苷含量均呈增大趋势; Casassa 等^[23]也研究证明水分亏缺改善了赤霞珠葡萄的品质, 而房玉林等^[17]研究表明适度的灌溉定额有利于增加果实着色度与甜度, 灌溉定额对酿酒葡萄的品质影响不一致, 其原因可能是水分亏缺时期及调亏时间的长短不一引起的。

3.3 灌溉定额与灌溉布局对酿酒葡萄经济效益的影响

酿酒葡萄价格需根据酿酒葡萄生产成本和合理利润进行测算, 合理的价格是市场供求平衡的前提与基础, 更是保护农户积极性, 实现酿酒葡萄产业健康可持续发展的关键^[24]。本研究表明, 灌溉布局对酿酒葡萄价格影响不显著, 灌溉定额对酿酒葡萄价格影响显著, 价格随着灌溉定额的增加呈先增后减的趋势, 且在 $2\,700\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理下达到最高, $1\,800\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理酿酒葡萄即使品质上乘, 但其果粒变小、皱缩, 严重影响其外观品质, 因此其价格会下降。王锐、翟英剑等^[24-25]研究表明, 当赤霞珠葡萄产量达到一定水平后, 产量继续增加葡萄果实

品质会降低,这与本研究结果一致。

通过灌溉定额与灌溉布局对酿酒葡萄园的总成本和净利润进行定量评估,优选出最适合该区域的灌水制度,降低资金投入风险,有利于实现综合效益的最大化。本研究表明,灌溉定额与灌溉布局均显著影响葡萄园的总成本。对于 C-D 与 PRD 处理,前期增加了 1 条滴管带,其固定成本增加了 $7\,350\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$;灌溉定额显著影响葡萄园的可变成本,水费、修剪费、电费及采摘费随着灌溉定额的增加而增加,因此,在 WH 处理下,其可变成本最大。总成本在 C-D(WH)和 PRD(WH)处理最大(均为 $26\,193.73\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$)、在 C-S(WL)处理下最小($17\,597.73\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$),这与 García 等^[5]研究结果一致,规范葡萄的灌水制度,可以减少水资源浪费,节约成本,提质增效,实现水资源的可持续利用。

适宜的灌溉布局与灌溉定额均能增加葡萄产量,以此达到较高的水分利用效益与经济效益^[5]。本研究证明,灌溉定额对酿酒葡萄园经济效益的影响显著大于灌溉方式,在 WM 处理下,净利润、投资效益费用比、成本利润率与灌水效率最高,且生产 1 kg 葡萄的费用最低(2.03 元)。葡萄园收支平衡点产量随着灌溉定额的增加而增加,WM 处理下,收支平衡点产量远远小于实际产量,WM 处理下,净利润大于 $7\,500\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$,WL 与 WH 处理下,净利润均小于 $7\,500\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。在净利润大于 $7\,500\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,WM 处理下,水费可高达 $0.67\text{元}\cdot\text{m}^{-3}$,WL 与 WH 处理下,每 1m^3 水政府需要分别补贴 3.06 元和 0.67 元。

甘肃河西水资源在短缺的同时,水资源低效利用和浪费等问题进一步加剧了水资源的供需矛盾^[26]。本研究表明,适宜的灌水定额较传统灌水定额相比,每公顷种植地水费减少了 1 200 元。农业节水技术应用主体是农民,但由于灌溉水价低,作物节水仅可降低少量水费成本,其经济效益有限,而在实际生产中并未体现出多节水多补偿,因此葡萄农缺乏自觉节水的内在动力。故应从政治制度、运行机制入手,通过创新管理体制,应用政策手段,建立农业节水长效经济补偿和激励机制,调动农民自觉节水的内在动力,促进农业节水发展。此外,国内绝大部分酒庄与葡萄收购商未制定按质论价的规则,仅按照可溶性固形物大于 20°Brix 收购酿酒葡萄,挫伤了葡农种植高质量酿酒葡萄和节约用水的积极性。为确保酿酒葡萄品质,在生产中应该严格控产,“限产优质、优质优价”是今后酿酒葡萄生产的发展方向。

4 结 论

与当地传统灌溉方式与灌水定额(2 管 1 行与灌溉定额 $3\,600\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)相比,1 管 1 行与灌溉定额 $2\,700\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 的组合模式,可在保证赤霞珠酿酒葡萄获得较高产量的同时,提高果实可溶性固形物、酚类、花色苷浓度,从而改善了果实品质,提高了酿酒葡萄的水分利用效率与经济效益,净利润要大于 $7\,500\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。综上所述,适宜的灌溉布局与灌溉定额(灌溉定额 $2\,700\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 与 1 管 1 行)具有较大的节水增产提质增效潜力,适宜在西北旱区酿酒葡萄种植区进行推广应用。

参 考 文 献:

- [1] 刘霞,李彩霞,焦扬.河西走廊张掖地区土壤、葡萄及葡萄酒矿物质元素特征分析[J].中国酿造,2019,38(1):179-182.
LIU X, LI C X, JIAO Y. Characteristics analysis of mineral elements in soil, grapes and wine from Zhangye region of Hexi Corridor[J]. China Brewing, 2019, 38(1): 179-182.
- [2] 陈娟,马忠明,罗双龙.河西灌区酿酒葡萄水肥一体化的水肥适宜用量[J].经济林研究,2019,37(4):81-87.
CHEN J, MA Z M, LUO S L. Suitable irrigation and fertilization amount for wine grape under integration of water and fertilizer in Hexi irrigation region[J]. Non-Wood Forest Research, 2019, 37(4): 81-87.
- [3] 周艳,韩会敏,蔡文龙,等.葡萄修剪机研究现状分析[J].湖北农业科学,2018,57(21):5-8,15.
ZHOU Y, HAN H M, CAI W L, et al. Research status of grape pruning machine[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2018, 57(21): 5-8, 15.
- [4] 马忠明,陈娟,牛小霞,等.减施化肥和配施有机肥对酿酒葡萄梅鹿辄产量和品质的影响[J].水土保持通报,2021,41(2):188-193,200.
MA Z M, CHEN J, NIU X X, et al. Effects of chemical fertilizer reduction and chemical fertilizer applied with organic fertilizer on yield and quality of *Vitis vinifera* Merlot[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(2): 188-193, 200.
- [5] GARCÍA GARCÍA J, MARTÍNEZ-CUTILLAS A, ROMERO P. Financial analysis of wine grape production using regulated deficit irrigation and partial-root zone drying strategies[J]. Irrigation Science, 2012, 30(3): 179-188.
- [6] 贾芳,魏奋子.河西走廊地区水土资源危机及可持续发展研究[J].中国水利,2011(15):21-23.
JIA F, WEI F Z. Crisis with water and land resources in Hexi Corridor and studies on sustainable development[J]. China Water Resources, 2011(15): 21-23.
- [7] 张钥,王呈阳,周嘉玲,等.不同水分调亏处理对葡萄果皮酚类物质的影响[J].果树学报,2021,38(8):1296-1307.
ZHANG Y, WANG C Y, ZHOU J L, et al. Effects of different regulated deficit irrigation treatments on phenols in grape berries[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(8): 1296-1307.
- [8] 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.

DU T S, KANG S Z, XIA G M, et al. Response of grapevine growth and water use to different partial root-zone drying patterns under drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(11): 43-48.

[9] 温越, 王振华, 李文昊, 等. 调亏灌溉与施肥配比对滴灌葡萄生长、产量及品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(11): 38-46.

WEN Y, WANG Z H, LI W H, et al. The effects of regulated deficit drip irrigation coupled with different fertilizations on growth, yield and quality of grape[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(11): 38-46.

[10] PERMANHANI M, COSTA J M, CONCEIÇÃO M A F, et al. Deficit irrigation in table grape: eco-physiological basis and potential use to save water and improve quality [J]. Theoretical and Experimental Plant Physiology, 2016, 28(1): 85-108.

[11] SLAMINI M, SBAA M, ARABI M, et al. Review on partial root-zone drying irrigation: impact on crop yield, soil and water pollution[J]. Agricultural Water Management, 2022, 271: 107807.

[12] DE LA HERA M L, ROMERO P, GÓMEZ-PLAZA E, et al. Is partial root-zone drying an effective irrigation technique to improve water use efficiency and fruit quality in field-grown wine grapes under semiarid conditions? [J]. Agricultural Water Management, 2007, 87(3): 261-274.

[13] 温越, 王振华. 极端干旱区滴灌葡萄耗水特征及水肥制度寻优[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(1): 1-8.

WEN Y, WANG Z H. Water consumption and fertigation optimization of drip-irrigated grape in arid regions [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(1): 1-8.

[14] 张超, 白云岗, 柴仲平, 等. 水肥协同对葡萄果粒生长、产量及品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(7): 44-50.

ZHANG C, BAI Y G, CHAI Z P, et al. Effects of fertigation on growth and fruit yield and quality of grape[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(7): 44-50.

[15] 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 W, LI E M, ZHAI H, 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.

[16] REYNOLDS A G, NAYLOR A P. Pinot noir and Riesling grapevines respond to water stress duration and soil water-holding capacity [J]. HortScience, 1994, 29(12): 1505-1510.

[17] 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.

FANG Y L, SUN W, WAN L, et al. Effects of regulated deficit irrigation (RDI) on wine grape growth and fruit quality[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(13): 2730-2738.

[18] SOLIZ-RUEDA J R, LÓPEZ-FERNÁNDEZ-SOBRINO R, BRAVO F I, et al. Grapeseed proanthocyanidins mitigate the disturbances caused by an abrupt photoperiod change in healthy and obese rats[J]. Nutrients, 2022, 14(9): 1834.

[19] KUANG Y F, REN C, WANG Y, et al. Characterization of the berry quality traits and metabolites of ‘Beimei’ interspecific hybrid wine grapes during berry development and winemaking[J]. Horticulturae, 2022, 8(6): 516.

[20] CASTELLARIN S D, MATTHEWS M A, DI GASPERO G, et al. Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries [J]. Planta, 2007, 227(1): 101-112.

[21] BOUZAS-CID Y, FALQUÉ E, ORRIOLS I, et al. Effects of irrigation over three years on the amino acid composition of Treixadura (*Vitis vinifera* L.) musts and wines, and on the aromatic composition and sensory profiles of its wines [J]. Food Chemistry, 2018, 240: 707-716.

[22] BUCCHETTI B, MATTHEWS M A, FALGINELLA L, et al. Effect of water deficit on Merlot grape tannins and anthocyanins across four seasons[J]. Scientia Horticulturae, 2011, 128(3): 297-305.

[23] CASASSA L F, KELLER M, HARBERTSON J F. Regulated deficit irrigation alters anthocyanins, tannins and sensory properties of Cabernet Sauvignon grapes and wines[J]. Molecules, 2015, 20(5): 7820-7844.

[24] 王锐, 孙权. 基于水肥一体化的酿酒葡萄高效栽培与效益分析[J]. 农业机械学报, 2016, 47(10): 115-121.

WANG R, SUN Q. High-efficiency cultivation and benefit analysis of wine grape based on fertigation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(10): 115-121.

[25] 翟英剑, 吴文勇, 王振华, 等. 黄河水滴灌对葡萄生长发育及产量品质的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2022, 40(8): 834-841.

ZHAI Y J, WU W Y, WANG Z H, et al. Effect of Yellow River drip irrigation on growth and development, yield and quality of grapes[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2022, 40(8): 834-841.

[26] 宋子奕, 鲁程鹏, 吴成城, 等. 2009—2019 年河西走廊地下水位时空分布及演变趋势[J]. 水资源保护, 2023, 39(2): 160-167.

SONG Z Y, LU C P, WU C C, et al. Spatiotemporal distribution and evolution trend of groundwater level in Hexi Corridor from 2009 to 2019 [J]. Water Resources Protection, 2023, 39(2): 160-167.