

水肥耦合对贺兰山东麓滴灌酿酒葡萄产量和品质的影响

何振嘉¹, 刘全祖²

(1.陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 西安 710075;

2.宁夏东方裕兴酒庄有限公司, 宁夏 吴忠 751900)

摘要:【目的】探究不同水肥耦合处理对滴灌酿酒葡萄产量和品质的影响。【方法】以6a生酿酒葡萄“赤霞珠”为供试材料,在宁夏红寺堡区开展了不同水肥处理田间试验。试验设置3个灌水水平:低水W1(1500 m³/hm²)、中水W2(3000 m³/hm²)以及高水W3(4500 m³/hm²),设置3个施肥水平:低肥F1(450 kg/hm²)、中肥F2(840 kg/hm²)以及高肥F3(1050 kg/hm²),共计9个处理,研究不同水肥模式对酿酒葡萄生长发育、产量和品质的影响。

【结果】水肥耦合能显著促进酿酒葡萄生长发育、光合特性、果实外观以及营养物质的量,W3F3处理显著促进了新梢生长,水肥耦合能显著促进SPAD值的增加,但对NDVI值影响并不显著。施肥处理能促进果实纵径的生长,但对果实横径生长影响不显著。各处理果形指数处于0.99~1.05之间,CIRG的影响均达到了极显著水平。W3F3处理水分利用效率提高最为显著,为41.53%,果实产量最高为7.02 t/hm²。W2F1处理的可溶性固形物最高为22.27%,W1F2处理可滴定酸最高为0.74%。W3F1处理可溶性糖最高为20.32%,W2F2处理糖酸比最大。W3F3处理花色苷量最大为4.66 mg/g。随灌水和施肥量的增大,酿酒葡萄果皮总酚量整体上呈降低趋势,W1F1处理总酚量最大为71.53 mg/g。Vc量与水肥耦合各处理存在显著正相关关系,W3F3处理最高为9.23 mg/g。【结论】在本试验条件下,W3F3处理葡萄植株生长、光合效率提高、葡萄产量和水分利用效率最高,还可显著提高葡萄含糖量,降低果实含酸量,提高果实Vc量,有利于提高糖酸比,葡萄品质最佳。试验可为实际生产提供科学的理论支持和参考。

关键词:水肥耦合;贺兰山东麓;滴灌;酿酒葡萄;品质

中图分类号: S275.6

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2019365

何振嘉,刘全祖.水肥耦合对贺兰山东麓滴灌酿酒葡萄产量和品质的影响[J].灌溉排水学报,2020,39(5):65-74.

HE Zhenjia, LIU Quanzu. The Combined Effects of Water and Fertilizer on Yield and Quality of Wine Grapes under Drip Fertigation in Eastern Foot of Helan Mountain[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(5): 65-74.

0 引言

宁夏贺兰山东麓位于北纬36°—42°之间,处于世界葡萄种植的黄金地带,是国内种植高品质酿酒葡萄和生产高端葡萄酒的主要产区之一^[1-2]。近年来,当地政府将葡萄酒产业发展与促进生态化、城镇化移民建设有机结合,不断推动酿酒葡萄产业集群发展,在国内已开拓了巨大的市场,具有广阔的发展前景^[3-4]。贺兰山东麓光照时间长,昼夜温差较大,气候条件有利于高品质酿酒葡萄的生长,但贺兰山东麓干旱少雨,且降雨分布极为不均,土壤主要为沙壤土和灰钙土,富含砾石,保水保肥能力较差,营养成分不足,尤其是水资源的匮乏,施肥制度的不合理,逐渐成为该区域酿酒葡萄产业发展的极大制约^[5-6]。

良好的水肥条件是葡萄产量和品质保障的关键,水肥过量或不足都会对酿酒葡萄的生长产生不利影响,造成减产或绝收。大量研究结果表明,水肥耦合对葡萄作物生长、产量和品质有显著影响^[7-9]。【研究进展】侯裕生等^[10]对水肥耦合条件下葡萄耗水规律和作物系数进行了研究,结果表明,水肥耦合对葡萄耗水强度的影响达到显著水平,对产量及品质指标的影响均达极显著水平,水肥耦合能显著提高葡萄产量和品质。张兴国等^[11]研究了水肥耦合对温室葡萄品质的影响,结果表明,水肥耦合对可溶性固形物、可溶性糖、固酸比、糖酸比的影响均达到极显著水平,但未对Vc量产生较大影响。朱洁等^[12]研究了不同灌溉定额和施肥量对葡萄生长和品质的影响,结果表明,水肥耦合对单宁影响较为显著,对可溶性固形物、可溶性糖、固酸比、糖酸比等影响不显著。【切入点】在水肥耦合条件下研究贺兰山东麓干旱半干旱区酿酒葡萄生长、产量和品质。

收稿日期: 2019-11-11

作者简介: 何振嘉(1988-),男,陕西西安人。工程师,硕士,主要从事农业水土与土地工程方面研究。E-mail: 471128226@qq.com

滴灌系统由于水肥利用效率高^[13-15]以及显著提高作物产量和改善作物品质^[16-18]等特点,在我国干旱半干旱地区进行了大面积推广。【拟解决的关键问题】水肥耦合调控对贺兰山东麓典型的干旱半干旱地区酿酒葡萄产量、品质的影响。【研究意义】通过田间试验,以6a生“赤霞珠”葡萄为研究对象,研究不同水肥耦合对酿酒葡萄产量和品质的影响,以期为贺兰山东麓酿酒葡萄在滴灌条件下水肥合理调控提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2017年4—10月在宁夏吴忠市红寺堡区

东方裕兴酒庄葡萄种植基地进行。试验区位于东经106.1°,北纬37.3°,海拔高度1494m,属温带大陆性半干旱性气候,多年平均降水量251mm,年平均蒸发量2387mm,多年平均气温8.7℃,昼夜温差13.7℃,全年>10℃积温超过3200℃,4—10月日照时间2900~3050h。试验区土壤为淡灰钙土,土质为沙壤土,0~60cm土层范围内土壤基本理化性质:土壤平均干体积质量为1.41g/cm³,土壤初始含水率为11.60%,土壤田间持水率为24.87%(质量含水率),土壤饱和含水率31.55%,速效氮量15.23mg/kg,速效磷量3.85mg/kg,速效钾量73.16mg/kg,有机质量为3.11g/kg,降雨量数据由红寺堡区气象局气象站观测获取(表1)。

表1 试验地降雨情况
Table 1 Test field rainfall

项目 Item	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
月降雨量 Monthly rainfall/mm	17.6	19.2	25.4	48.3	46.5	4.8	13.2

1.2 试验设计

供试葡萄为当地主栽酿酒葡萄赤霞珠(*Cabernet Sauvignon*),定植于2012年,葡萄架形为“厂”字形,南北行向,株行距为0.6×2.8m。选取4棵葡萄树为一个小区,每个小区的4棵葡萄树除水肥耦合模式不同,其他田间工艺措施均相同。试验灌溉方式为滴灌,滴灌带为单翼迷宫式,直径为16mm,铺设模式为1行1管,设置在距葡萄根部30cm处,葡萄种植行开沟宽度80~100cm,滴头流量为3.2L/h,滴头间距为40cm。灌溉水源为黄河水,首先,将原水经调蓄预沉池加压作砂石过滤处理,再通过管网进行滴灌。供试肥料:尿素($\omega(\text{N})=46\%$)、磷酸钙($\omega(\text{P}_2\text{O}_5)=16\%$)、硫酸钾($\omega(\text{K}_2\text{O})=50\%$),滴灌量与施肥量参考《宁夏酿酒葡萄滴灌种植技术规程》(DB64/T 1293—2016)推荐值,设定灌水量和施肥量2个因素,其中,灌水设3个水平(分别为:低水W1:1500m³/hm²、中水W2:3000m³/hm²、高水W3:4500m³/hm²),自4月下旬—8月下旬共灌

水11次,其中萌芽期灌水2次(第1次为春灌),新梢生长期灌水3次,开花期灌水1次,果实膨大期灌水3次,果实转色期灌水2次,灌水间隔为7~10d,各处理灌水日期和灌水次数相同。施肥方式为水肥一体施肥,肥料选用复合肥,共设置3个水平(分别为:低肥F1:450kg/hm²、中肥F2:840kg/hm²、高肥F3:1050kg/hm²),施肥N、P、K质量比例为1:0.6:1.2,分别在萌芽期、新梢生长期、开花期、果实膨大期和果实着色期进行施肥,其中萌芽期施入N、P₂O₅和K₂O分别占总施肥量的40%、0%和0%;新梢生长期施入N、P₂O₅和K₂O分别占总施肥量的20%、45%和20%;开花期施入N、P₂O₅和K₂O分别占总施肥量的10%、20%和10%;果实膨大期施入N、P₂O₅和K₂O分别占总施肥量的30%、15%和30%;果实着色期施入N、P₂O₅和K₂O分别占总施肥量的0%、20%和40%。各处理均设有单独水表和施肥罐精确控制灌水施肥量,每个处理重复3次。试验各处理灌水量及施肥量设计见表2和表3。

表2 不同生育期灌水量
Table 2 Drip irrigation volumes at different growth stages

处理 Treatments	萌芽期 Germination stage		新梢生长期 Shoot-growth stage			开花期 Flowering stage	果实膨大期 Fruit enlarging stage			果实着色期 Fruit coloring stage		灌水总量 Irrigation amount
W1	125	125	150	150	150	125	125	125	125	150	150	1500
W2	250	250	300	300	300	250	250	250	250	300	300	3000
W3	375	375	450	450	450	375	375	375	375	450	450	4500

表 3 不同生育期施肥量
Table 3 Fertilization in different growth stages

kg/hm²

处理 Treatments	肥料类型 Fertilizer type	萌芽期 Germination stage	新梢生长期 Shoot-growth stage	开花期 Flowering stage	果实膨大期 Fruit enlarging stage	果实着色期 Fruit coloring stage	施肥总量 Fertilization amount
F1	N	64.4	32.2	16.1	48.3	0	161
	P ₂ O ₅	0	43.2	19.2	14.4	19.2	96
	K ₂ O	0	38.6	19.3	57.9	77.2	193
合计		64.4	114	54.6	120.3	96.4	450
F2	N	120	60	30	90	0	300
	P ₂ O ₅	0	81	36	27	36	180
	K ₂ O	0	72	36	108	144	360
合计		120	213	102	225	180	840
F3	N	150	75	37.5	112.5	0	375
	P ₂ O ₅	0	101.25	45	33.75	45	225
	K ₂ O	0	90	45	135	180	450
合计		150	266.25	127.5	281.25	225	1 050

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤含水率测定

土壤含水率采用土钻取土，用烘干法测定。试验区每隔 7 d 测定 1 次土壤含水率，灌水前后及降雨后加测。取土位置为距葡萄树根部东、南、西、北 4 个方向 10 cm 处，取其均值作为测定结果；取土深度 100 cm 作为计划湿润层，分 5 层，每层 20 cm，用加权平均法计算土壤含水率，并利用式（1）计算酿酒葡萄耗水量。

$$ET = 10 \sum r_i H_i (\theta_{i2} - \theta_{i1}) + I + G + P - D, \quad (1)$$

式中： ET 为酿酒葡萄全生育期耗水量（mm）； I 为酿酒葡萄全生育期净灌水量（mm）； P 为酿酒葡萄全生育期内有效降雨量（mm）； r_i 为相应第 i 层的土壤干体积质量（g/cm³）； H_i 为相应第 i 层土壤厚度（cm）； θ_{i1} 、 θ_{i2} 为第 i 层土壤的含水率在时段初、末的值（%）。 G 为地下水补给量（mm）， D 为深层渗漏量（mm）。由于试验地点地下水位处于 10~15 m，因此不考虑地下水补给情况，即 $G=0$ ；试验灌水方式为滴灌，且每次灌水量均较小，不存在深层渗漏情况，故 $D=0$ 。

1.3.2 葡萄生长指标及果实性状测定

在酿酒葡萄全生育期内，用游标卡尺和钢卷尺测定葡萄新梢长度、副梢长度、果实纵径、果实横径、以及株高。采用 CM1000-NDVI 测量仪（北京英驰科技有限公司）测定植被差异指数（NDVI），采用 SPAD-502 叶绿素计（北京合众博普科技发展有限公司）测定叶绿素相对量（SPAD），葡萄果实颜色指数（CIRG）采用二氯靛酚钠滴定法测定^[19]。采用 CI-340 便携式光合作用测定仪（北京商德通科技有限

公司）测定叶片净光合速率（ Pn ）、蒸腾速率（ E ）、气孔导度（ Gs ）及胞间 CO_2 浓度（ Ci ）。在果实收获后，用精度为 0.1 g 的电子秤称量各小区所有葡萄单株产量和总产量。水分利用效率（Water use effective, WUE ）=产量/耗水量。

1.3.3 酿酒葡萄产量与品质指标测定

果实成熟采摘后，每个处理随机选取 10 串葡萄果穗对其营养成分和品质进行测定。随机选其中 50 粒果粒用振动式葡萄除梗粒选一体机（LX-X5A，新乡市领先轻工机械有限公司）打成匀浆测定品质：可溶性固态物量用手持糖量计（BG-111ATC，天津宝钢光学仪器有限公司）测定，可滴定酸量用 NaOH 滴定法测定^[20]，可溶性糖用蒽酮比色法测定^[21]，以可溶性糖量与可滴定酸量的比值描述糖酸比，果皮总酚量用福林-肖卡法测定^[22]，总花色苷用 pH 示差法进行测定^[23]，果实 Vc 量采用二氯靛酚钠滴定法测定^[19]。

1.3.4 数据分析

采用 Excel 2007 处理试验数据，同时采用 SPSS 11.5 软件进行统计学分析，并对相关指标进行显著性分析，显著性水平为（ $p<0.05$ ），极显著性水平为（ $p<0.01$ ）。

2 结果与分析

2.1 滴灌水肥耦合对酿酒葡萄生长发育的影响

表 4 为不同水肥耦合处理对酿酒葡萄生长发育的影响。由表 4 可以看出，水肥耦合作用对酿酒葡萄株高、新梢长、副梢长均有不同程度的影响。株高随灌水量和施肥量的增加显著增高，其中 W1F1 处理最低，为 154.25 cm，W3F3 处理最高，达到 196.96 cm，较 W1F1 处理提高 27.69%。施肥量一定时，低水和

中水处理条件下,新梢长随施肥量的增加而增加,W2F3 处理对新梢促进效果最为显著,达到 102.98 cm,而当灌水量超过 3 000 m³/hm²时,新梢随着施肥量的增大反而产生了抑制作用。灌水量相同时,施肥能促进副梢生长,但对其生长影响不显著,当灌水量为 4 500 m³/hm²时,高肥处理促进效果最为显著,W3F3 处理达到了 41.12 cm,较 W3F1 处理增加了 47.81%,在施肥量一定的条件下,灌水量对副梢生长促进作用极显著。灌水、施肥和水肥耦合处

理对 NDVI 值影响均不显著,其中 W2F1 处理最低,为 0.77,W3F3 处理最高,为 0.87。水肥耦合能显著促进 SPAD 值的增加,相关灌水处理条件下,SPAD 值与施肥量显著正相关,灌水量为 4 500 m³/hm²时,对 SPAD 值的促进效果明显最显著,W3F3 处理达到最大值 43.88,W1F1 处理最低,仅为 42.01。施肥量相同时,提高灌水能有效增加 SPAD 值,W3F3 处理仍为最大值。

表 4 水肥耦合对酿酒葡萄生长发育的影响

Table 4 Effects of water and fertilizer coupling on growth and development of wine grapes

处理 Treatments	株高/cm Plant height	新梢长/cm New slightly longer	副梢长/cm Secondary tip length	NDVI	SPAD
W1F1	154.25 ±15.41 cd	90.12 ±6.31 ab	32.77 ±1.32 bc	0.84 ±0.04 ab	40.12 ±2.19 c
W1F2	168.17 ±16.33 bc	91.51 ±6.42 ab	35.23 ±1.45 ab	0.78 ±0.03 b	41.26 ± 2.27 b
W1F3	179.64 ±17.18 ab	95.75 ±6.51 ab	39.15 ±1.57 a	0.80 ±0.03 ab	42.65 ± 3.41 a
W2F1	170.55 ±17.02 bc	87.33 ±6.22 b	28.21 ±1.15 c	0.77 ±0.03 b	41.47 ±2.23 bc
W2F2	177.32 ±17.56 bc	94.45 ±6.37 ab	33.16 ±1.32 bc	0.80 ±0.03 b	41.65 ±2.30 bc
W2F3	186.65 ±18.56 ab	102.98 ±6.98 a	40.07 ±1.54 a	0.84 ±0.04 ab	43.35 ±2.38 a
W3F1	179.66 ±17.86 bc	97.71 ±6.88 ab	27.82 ±1.20 c	0.81 ±0.03 ab	42.11 ±2.29 ab
W3F2	195.58 ±19.18 a	96.15 ±6.84 ab	34.41 ±1.41 ab	0.80 ±0.03 ab	42.56 ±2.32 ab
W3F3	196.96 ±19.54 a	96.32 ±6.72 ab	41.12 ±1.71 a	0.87 ±0.04 a	43.88 ±2.41 a
灌水水平 W	**	**	**	NS	*
P 值 施肥水平 F	**	NS	NS	NS	*
W × F	**	**	*	NS	*

注 NS 表示差异不显著,*表示水平上差异显著 ($P<0.05$),**表示水平上差异极显著 ($P<0.01$)。

Note NS indicates that the difference is not significant,* indicates that the difference in level is significant ($P<0.05$),** indicates that the difference in level is extremely significant ($P<0.01$).

2.2 滴灌水肥耦合对酿酒葡萄光合作用的影响

水肥耦合对酿酒葡萄光合性质有直接影响,过多和过少的水肥补给均会影响葡萄光合性能的发挥,对葡萄的生长发育、产量和品质造成影响。由表 5 可知,灌水、施肥以及水肥耦合处理对叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度以及水分利用系数均存在显著的相关关系。净光合速率随灌水和施肥量的增大表现为先增大后降低的趋势,其中 W2F3 处理最高,为 20.15 μmol/(m² s),较最低 W1F1 处理提高 17.29%。蒸腾速率随着灌水和施肥量的增加先增加后降低,相同灌水量条件下,施肥量对蒸腾速率存在显著的促进作用,其中 W3F3 处理蒸腾速率最大为 6.97 mmol/(m² s),较最低 W1F1 处理提高 23.94%。灌水、施肥以及水肥耦合处理对气孔导度的调节影响不显著,其中 W3F2 处理气孔导度最高为 205.52 mmol/(m² s),较最低 W1F2 提高 39.43%。整体来看,胞间 CO₂ 浓度随水肥量的增大而降低,相同灌水条件下,施肥量越大,对胞间 CO₂ 浓度的抑制作用越明显,其中 W1F1 处理胞间 CO₂ 浓度最大为 350.5

mg/kg,较最低 W1F1 处理提高 13.28%。水肥耦合对酿酒葡萄水分利用效率具有显著影响,相同灌水条件下,水分利用效率与施肥量呈现显著的正相关关系;相同施肥条件下,水分利用效率表现为先增大后降低的规律,其中 W3F3 处理水分利用效率提高最为显著为 41.53%,较最低 W1F1 处理提高了 3.44%。

2.3 滴灌水肥耦合对酿酒葡萄果实外观品质的影响

由表 6 可知,水肥耦合对酿酒葡萄果实外观品质具有极显著影响。W3F2 处理果实纵径最大,为 25.16 mm,W3F1 最小为 22.82 mm,二者之间差异显著。不同灌水处理条件下,均以中肥处理最大,说明施肥处理更加能促进果实纵径的生长。W2F2 处理果实横径最大,为 24.16 mm,W1F1 处理最小,为 22.46 mm。果实横径受水分影响程度高于施肥,水肥耦合处理对果实横径的影响达到极显著水平。就果形指数而言,W1F1 和 W3F2 处理最高,均达到 1.05,W3F1 最低,仅为 0.99,灌水处理对果形指数影响不显著,而施肥和水肥耦合处理对果形指数的影响均达到了极显著水平。果实颜色指数(CIRG)变化范围在 4.85~6.13

之间,随灌水量和施肥量的增加先增大后降低,相同灌水处理下,均以中肥处理最高,而相同施肥处理下,以中水处理最高,灌水、施肥和水肥耦合处理对 *CIRG* 的影响均达到了极显著水平。在低水处理下,酿酒葡萄单粒质量均与施肥量呈显著的正相关关系,而中水、高水处理,单粒质量随施肥量的增加表现为先增

加后降低的趋势,最高 W2F2 处理为 7.61 g,最低 W3F1 处理为 6.29 g。而果实产量 W1F1 处理最低,为 4.95 t/hm², W3F3 处理最高为 7.02 t/hm²,表现为随灌水量和施肥量的增大而增大,且灌水、施肥和水肥耦合处理对产量的影响均达到了极显著水平。

表 5 水肥耦合对酿酒葡萄光合性质的影响

Table 5 Effects of water and fertilizer coupling on photosynthetic properties of wine grapes

处理 Treatments	净光合速率 <i>Pn</i> / ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) Net photosynthetic rate <i>Pn</i>	蒸腾速率 <i>E</i> / ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) Transpiration rate <i>E</i>	气孔导度 <i>Gs</i> / ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) Stomatal conductance <i>Gs</i>	胞间 CO ₂ 浓度 <i>Ci</i> / (mg kg ⁻¹) Intercellular CO ₂ concentration <i>Ci</i>	水分利用效率 <i>WUE</i> / (%) Water use efficiency
W1F1	17.18±0.86 d	5.43±0.51 d	156.35±9.41 d	350.50±25.38 a	40.15±4.45 d
W1F2	18.32±0.90 bc	5.67±0.53 cd	147.40±8.86 e	346.68±24.34 ab	40.56±4.48 c
W1F3	19.84±0.10 b	5.98±0.54 c	168.66±10.03 cd	328.64±22.87 b	41.03±4.41 b
W2F1	17.89±0.87 c	6.33±0.58 bc	179.63±10.76 c	325.17±22.56 b	40.39±4.52 a
W2F2	19.42±0.96 ab	6.56±0.59 bc	195.31±8.18 b	322.82±22.44 bc	40.75±4.37 bc
W2F3	20.15±0.11 a	6.86±0.61 ab	217.69±11.57 a	315.47±22.36 cd	41.38±4.45 ab
W3F1	17.65±0.89 cd	5.56±0.49 cd	172.66±10.25 cd	318.53±22.74 c	40.44±4.31 cd
W3F2	19.41±0.97 ab	6.73±0.61 b	205.52±13.07 ab	321.35±22.44 bc	40.97±4.38 b
W3F3	19.75±0.99 b	6.97±0.61 a	186.35±11.26 bc	309.41±21.47 d	41.53±4.45 a
显著性 <i>P</i> 值 Significant <i>P</i> value	灌水水平 W Irrigation level W	*	*	NS	*
	施肥水平 F Fertilization level F	**	**	NS	*
	W × F	*	**	NS	*

注 NS 表示差异不显著, *表示水平上差异显著 ($P<0.05$); **表示水平上差异极显著 ($P<0.01$)。

Note NS indicates that the difference is not significant,* indicates that the difference in level is significant ($P<0.05$); ** indicates that the difference in level is extremely significant ($P<0.01$).

表 6 水肥耦合对酿酒葡萄果实外观品质的影响

Table 6 Effects of water and fertilizer coupling on appearance quality of wine grape fruits

处理 Treatments	果实纵径/mm Fruit longitudinal diameter	果实横径/mm Fruit cross diameter	果形指数 Fruit shape index	<i>CIRG</i>	单粒质量/g Single weight	产量/(t hm ⁻²) Yield
W1F1	23.87±1.72 bc	22.63±2.29 bcd	1.05±0.01 cde	5.35±0.17 d	6.63±0.55 cd	4.95±0.47 e
W1F2	24.28±1.74 bc	23.80±2.26 ab	1.02±0.02 bcd	6.13±0.21 a	6.74±0.61 cd	5.07±0.45 e
W1F3	23.83±1.70 b	23.62±2.38 abc	1.01±0.01 cde	5.79±0.19 ab	7.25±0.62 bc	5.63±0.51 de
W2F1	24.86±1.76 ab	24.08±2.36 a	1.03±0.03 abc	5.82±0.24 bc	7.50±0.63 ab	5.77±0.54 de
W2F2	25.03±1.74 a	24.16±2.37 a	1.04±0.02 ab	5.91±0.23 ab	7.61±0.65 a	6.05±0.55 cd
W2F3	23.32±1.68 bc	23.16±2.27 abcd	1.01±0.01 de	5.62±0.21 cd	6.92±0.62 bcd	6.11±0.57 bc
W3F1	22.82±1.66 c	22.85±2.24 d	0.99±0.01 e	5.06±0.18 d	6.29±0.51 d	6.08±0.55 bc
W3F2	25.16±1.77 a	23.91±2.43 ab	1.05±0.02 a	5.27±0.16 d	7.56±0.61 ab	6.45±0.58 b
W3F3	23.21±1.69 b	22.78±2.29 d	1.02±0.01 bcd	4.85±0.17 e	6.64±0.56 cd	7.02±0.61 a
<i>P</i> 值 <i>P</i> value	灌水水平 W Irrigation level W	**	*	NS	**	*
	施肥水平 F Fertilization level F	**	NS	**	**	*
	W × F	**	**	**	**	**

注 NS 表示差异不显著, *表示水平上差异显著 ($P<0.05$), **表示水平上差异极显著 ($P<0.01$)。

Note NS indicates that the difference is not significant,* indicates that the difference in level is significant ($P<0.05$),** indicates that the difference in level is extremely significant ($P<0.01$)

2.4 滴灌水肥耦合对酿酒葡萄营养品质的影响

表 7 为不同水肥耦合处理对酿酒葡萄营养品质的影响。由表 7 可知,水肥耦合处理对酿酒葡萄中各营养品质均存在显著的相关关系。整体而言,可溶性固形物随灌水量和施肥量的增大呈先增大后减小趋势,W2F1 处理最高为 22.27%,较最低 W3F1 处理高 12.7%,但受灌水处理单一影响不显著。可滴定酸平均量为 0.65%,随水肥单一变动时,可滴定酸量变化不明显,灌水量一定时,施肥量的增加对糖酸比的影响也不规律,W1F2 处理最高为 0.74%。可溶性糖量与水肥耦合处理显著正相关,相同灌水处理条件下,可溶性糖量随着施肥量的增加而降低,低水处理对可溶性糖量的促进作用最显著,其中,W1F3 处理最低为 10.44%,W3F1 处理最高为 20.32%。适宜的水肥耦合处理不仅可以提高葡萄含糖量,还能一定程度上降低果实含酸量,有利于提

高糖酸比,显著提高葡萄品质。在各水肥耦合处理下,糖酸比在 27.74~40.09 之间变化,整体上呈先增大后降低的变化规律,W2F2 处理最大,W1F2 处理最小,二者之间差异显著。总体上看,水肥耦合能显著提高花色苷量,W3F3 处理达到最大值为 4.66 mg/g,而灌水量在 1 500 m³/hm² 时,各处理对花色苷量的影响均不显著,当灌水量超过 3 000 m³/hm² 时,低肥和高肥处理均能提高花色苷量。酚类物可显著提高果实芳香味,酿酒葡萄果皮总酚量整体上呈降低趋势,其中 W1F1 处理总酚量最大为 71.53 mg/g,较最低 W3F1 处理高 86.47%,水分处理对总含酚量的影响要高于施肥处理。水肥耦合能显著促进葡萄果实 Vc 量,Vc 与灌水和施肥量呈显著正相关,相同灌水处理下,施肥量越大,果实 Vc 量越高,其中 W1F1 处理最低为 8.35 mg/g,W3F3 处理最高为 9.23 mg/g,较 W1F1 处理提高 10.54%。

表 7 水肥耦合对酿酒葡萄营养品质的影响

Table 7 Effects of water and fertilizer coupling on nutritional quality of wine grapes

处理 Treatments	可溶性固形物 /%Soluble solids	可滴定酸/% Titrate acid	可溶性糖/% Soluble sugar	糖酸比 Sugar to acid ratio	花色苷/(mg g ⁻¹) Anthocyanin	总酚/(mg g ⁻¹) Total phenol	Vc/(mg g ⁻¹)
W1F1	21.15 ±1.49 ab	0.72 ±0.04 a	15.45±0.11 d	29.37±3.45 c	1.98 ±0.08 d	71.53 ±2.83 a	8.35±0.41 e
W1F2	20.53 ±1.42 c	0.74 ±0.03 a	12.11 ±0.78 e	27.74±3.38 d	1.69 ±0.07 d	49.53 ±2.05 bc	8.65±0.45 d
W1F3	20.94 ±1.48 bc	0.68 ±0.04 b	10.44 ±0.63 e	30.79±4.02 bc	1.58 ±0.06 d	66.31 ±2.62 ab	8.96±0.50 b
W2F1	22.27 ±1.49 a	0.62 ±0.03 c	19.44 ±1.12 ab	35.92±4.48 b	1.82 ±0.07 d	53.24 ±2.16 bc	8.41±0.43 e
W2F2	22.05 ±1.58 a	0.55 ±0.03 d	17.95 ±1.03 cd	40.09±4.59 a	4.52 ±0.18 a	42.36 ±1.59 c	8.82±0.44 c
W2F3	20.88±1.48 bc	0.58±0.03 cd	15.63±0.93 d	36.00±4.27 b	2.57±0.11 c	40.67±1.71 c	8.91±0.43 b
W3F1	19.76±1.37 d	0.67 ±0.04 b	20.32±1.22 a	29.49±3.63 c	3.96±0.18 ab	38.36±1.54 c	8.75±0.42 cd
W3F2	20.55 ±1.48 bc	0.60 ±0.03 c	18.38±1.07 bc	34.25±4.15 b	3.75±0.14 bc	39.98±1.62 c	9.05±0.45 ab
W3F3	21.08 ±1.47 ab	0.67±0.04 b	16.18±0.99 d	31.46±4.02 bc	4.66±0.20 a	67.63±2.66 ab	9.23±0.47 a
灌水水平 W Irrigation level	NS	NS	**	*	**	**	**
显著性 P 值 Significant P value	W						
施肥水平 F Fertilization level F	*	NS	**	NS	*	*	**
W × F	*	NS	**	*	**	**	**

注 NS 表示差异不显著,**表示水平上差异极显著 ($P<0.01$)。

Note NS indicates that the difference is not significant,* indicates that the difference in level is significant ($P<0.05$),** indicates that the difference in level is extremely significant ($P<0.01$)

3 讨论

水和肥对葡萄的生长发育具有显著影响。已有研究表明,灌水量对株高的生长具有显著影响^[24-26],水肥耦合处理对葡萄株高影响十分显著,灌水单一因素对葡萄新梢长、副梢长均有极显著影响^[27],而灌水量一定时,施肥量对新梢和副梢生长影响不显著,因为在葡萄新梢和副梢生长期,主要由葡萄树体提供其生长所需的营养物质,施肥所发挥的作用

具有一定滞后性,这与史星雲等^[28]研究结果一致。本研究发现,灌水量为 3 000 m³/hm² 时,施肥量为 1 050 kg/hm² 时,显著促进了新梢生长,当灌水量为 4 500 m³/hm² 时,高施肥量对副梢长促进最为显著,有利于提高光合作用效率,促进植株营养生长,为下一步葡萄生殖生长提供更多的养分与水分。水肥耦合能显著促进 SPAD 值的增加,但对 NDVI 值影响并不显著,均为 W3F3 处理为最大值,这与陈天祥等^[29]研究一致。

合理的水肥耦合处理有利于酿酒葡萄植株生长发

育、促进光合作用、提高水分利用效率,同时能提高葡萄产量和保障品质。本研究中水肥耦合处理与叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度以及水分利用系数均存在显著的相关关系。有研究表明,水肥耦合对光合特性有一定影响^[30-32],气孔导度和胞间 CO_2 浓度与净光合速率呈负相关关系^[33-34],本研究中胞间 CO_2 浓度变化情况对净光合速率的影响与上述研究一致,而气孔导度对净光合速率的影响随灌水量和施肥量的增加呈波浪形变化。由于灌水初期葡萄根系存在较高的养分浓度,对水分吸收具有一定的阻碍作用,叶片含水率较低,导致气孔导度较低,进而减弱了叶片净光合速率。随灌水量的增加,提高了养分吸收能力,降低了根系细胞水势,因此对水分的吸收具有促进作用,增大了气孔导度,进一步提高了净光合速率。可见,水肥耦合交互变化可引起土壤养分浓度的变化,而根系吸水能力也受到相应影响,所以净光合速率表现出波浪形变化^[29]。

水肥耦合对酿酒葡萄果实外观品质具有极显著影响,施肥处理更加能促进果实纵径的生长,但对果实横径生长影响不显著。就果形指数而言,W3F2处理最高,且各处理对 CIRG 的影响均达到了极显著水平。不同的灌水量条件下,施肥量与作物产量的响应关系也有所不同,相同灌水条件下,酿酒葡萄水分利用效率和产量均与施肥量呈现显著的正相关关系,W3F3 处理水分利用效率提高最为显著为 41.53%,果实产量最高为 7.02 t/hm²,这与张兴国等^[35]在灌水量为 2 280 m³/hm² 条件下不同施肥量研究结果一致。

水肥耦合对葡萄营养物质具有重要影响,本研究中,W2F1 处理的可溶性固形物最高为 22.27%,W1F2 处理可滴定酸最高为 0.74%。可溶性糖量与水肥耦合呈显著的正相关关系,相同灌水处理条件下,可溶性糖量随着施肥量的增加而降低,W3F1 处理最高为 20.32%,W2F2 处理糖酸比最大。总体上看,水肥耦合能显著提高花色苷量,W3F3 处理达到最大值为 4.66 mg/g。酚类物可显著提高果实芳香味,酿酒葡萄果皮总酚量整体上呈降低趋势,其中 W1F1 处理总酚量最大为 71.53 mg/g,Vc 量与水肥耦合各处理存在显著正相关关系,W3F3 处理最高为 9.23 mg/g。有研究表明,在一定范围内,随水肥用量的增加,葡萄生长及品质指标呈先升高后降低的趋势^[10, 28, 35],文中设定了 1 500、3 000 和 4 500 m³/hm² 灌水水平以及 450、840 和 1 050 kg/hm² 施肥水平,但在本试验条件下,表现为水肥浓度越高葡萄生长及品质指标越高,这可能与试验设置的灌水定额或

与所在的地理位置以及气候条件不同有关,在本区域内,水肥用量继续增加是否会对酿酒葡萄生长和品质产生影响尚需进一步试验验证。

4 结 论

滴灌量为 4 500 m³/hm² 时、施肥量为 1 050 g/hm² 时的葡萄植株生长、光合效率提高、葡萄产量和水分利用效率最高,能显著提高葡萄含糖量,降低果实含酸量,提高果实 Vc 量,有利于提高糖酸比,葡萄品质最佳。

参考文献:

- [1] 雷筱,周立华,刘学军,等.宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄耗水规律及灌溉制度优化研究[J].节水灌溉,2017(4): 41-46.
LEI Xiao, ZHOU Lihua, LIU Xuejun, et al. A study on water consumption rule and irrigation schedule of wine grape in the eastern foot of Helan mountain of ningxia[J]. Water Saving Irrigation, 2017(4): 41-46.
- [2] 王锐,孙权,郭洁,等.贺兰山东麓砂质酿酒葡萄园土壤水分分布研究[J].灌溉排水学报,2013,32(1): 69-73.
WANG Rui, SUN Quan, GUO Jie, et al. Sandy wine vineyards soil moisture distribution in the east of Helan mountain[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2013, 32(1): 69-73.
- [3] 葛志军,黑亚青,王琳瑛.宁夏贺兰山东麓葡萄产业集群发展研究[J].北方园艺,2015(9): 163-167.
GE Zhijun, HEI Yaqing, WANG Linying. Study on the development of the grape's industrial cluster in the eastern region of Helan mountain[J]. Northern Horticulture, 2015(9): 163-167.
- [4] 张红梅,宋莉,沈杨.中国葡萄酒文化旅游发展战略研究:以宁夏贺兰山东麓为例[J].干旱区资源与环境,2014,28(5): 197-202.
ZHANG Hongmei, SONG Li, SHEN Yang. Research on the strategic development of Chinese ' wine-culture-based tourism—a case of east piedmont area of Helan Mountain, Ningxia[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(5): 197-202.
- [5] 张筠筠,王竞,孙权,等.化肥减施对贺兰山东麓土壤肥力及酿酒葡萄品质的影响[J].西南农业学报,2019,32(7): 1 601-1 606.
ZHANG Junjun, WANG Jing, SUN Quan, et al. Effect of chemical fertilizer reduction on soil fertility and wine grape quality in east piedmont area of Helan mountain, ningxia[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2019, 32(7): 1 601-1 606.
- [6] 王志秀,贺婧,陈锋.贺兰山东麓葡萄产地不同种植年限土壤养分特征研究[J].中国土壤与肥料,2019(3): 15-21.
WANG Zhixiu, HE Jing, CHEN Feng. Soil nutrient characteristics after different grape planting years at the eastern piedmont of Helan Mountains[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2019(3): 15-21.
- [7] 刘洪波,白云岗,张江辉,等.极端干旱地区滴灌条件下葡萄生长发

- 育特征[J]. 排灌机械工程学报, 2018, 36(9): 892-896.
- LIU Hongbo, BAI Yungang, ZHANG Jianghui, et al. Chlorophyll content and fluorescence parameters of grape under micro spray conditions[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2018, 36(9): 892-896.
- [8] 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 Rui, SUN Quan. 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.
- [9] 邢立文, 崔宁博, 董娟, 等. 基于熵权-模糊层次分析法的痕灌草莓水肥效应评价[J]. 排灌机械工程学报, 2019, 37(9): 815-821.
- XING Liwen, CUI Ningbo, DONG Juan, et al. Evaluation of water and fertilizer coupling effect of trace irrigation strawberry based on entropy weight and fuzzy analytic hierarchy process[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2019, 37(9): 815-821.
- [10] 侯裕生, 王振华, 李文昊, 等. 水肥耦合对极端干旱区滴灌葡萄耗水规律及作物系数影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(2): 279-286, 330.
- HOU Yusheng, WANG Zhenhua, LI Wenhao, et al. Effects of water and fertilizer coupling on water consumption and crop coefficient of drip irrigated grape in extreme arid area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2019, 33(2): 279-286, 330.
- [11] 张兴国, 胡笑涛, 冉辉, 等. 不同水肥处理对温室葡萄品质的影响与综合评价[J]. 节水灌溉, 2018(5): 30-34, 38.
- ZHANG Xingguo, HU Xiaotao, RAN Hui, et al. Effect and comprehensive evaluation of different water and fertilizer treatments on grape quality in greenhouse[J]. Water Saving Irrigation, 2018(5): 30-34, 38.
- [12] 朱洁, 刘学军, 陆立国, 等. 宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄滴灌水肥一体化试验研究[J]. 节水灌溉, 2016(8): 76-81, 85.
- ZHU Jie, LIU Xuejun, LU Ligu, et al. Wine grapes at the eastern foot of Helan mountain of ningxia experimental study on integration of water and fertilizer of drip irrigation[J]. Water Saving Irrigation, 2016(8): 76-81, 85.
- [13] 张守都, 栗岩峰, 李久生. 滴灌条件下揭膜时间对土壤酶活性及玉米吸氮量的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2019, 37(5): 454-460.
- ZHANG Shoudu, LI Yanfeng, LI Jiusheng. Effects of film-uncovering time on soil enzyme activity and maize nitrogen uptake under drip irrigation[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2019, 37(5): 454-460.
- [14] 李欢欢, 刘浩, 孙景生, 等. 水肥耦合对温室番茄产量、水分利用效率和品质的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2018, 36(9): 886-891.
- LI Huanhuan, LIU Hao, SUN Jingsheng, et al. Effects of water and fertilizer coupling on yield, water use efficiency and quality of tomato in greenhouse[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2018, 36(9): 886-891.
- [15] 王军, 李久生, 栗岩峰, 等. 滴灌玉米根系生长动态对灌水量响应的试验研究[J]. 排灌机械工程学报, 2018, 36(10): 925-930.
- WANG Jun, LI Jiusheng, LI Yanfeng, et al. Response of maize root growth dynamics to drip irrigation amount[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2018, 36(10): 925-930.
- [16] 冯亚阳, 史海滨, 李瑞平, 等. 膜下滴灌水氮耦合效应对玉米干物质与产量的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2018, 36(8): 750-755.
- FENG Yayang, SHI Haibin, LI Ruiping, et al. Water-nitrogen coupling effect by mulched drip irrigation on dry matter and yield of maize[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2018, 36(8): 750-755.
- [17] 李荣, 夏雷, 王艳丽, 等. 滴灌下施用保水剂对土壤水肥及玉米收益的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2018, 36(12): 1 337-1 344.
- LI Rong, XIA Lei, WANG Yanli, et al. Effects of water-retaining agent dose on soil water and nutrient contents, maize yield and economic benefit under drip irrigation[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2018, 36(12): 1 337-1 344.
- [18] 焦婉如, 张富仓, 高月, 等. 滴灌施肥生育期比例分配对榆林市马铃薯生长和水分利用的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2018, 36(3): 257-266.
- JIAO Wanru, ZHANG Fucang, GAO Yue, et al. Effects of fertilizer application rate of drip irrigation fertilization in various growing stages on growth and water use efficiency of potato in Yulin City[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2018, 36(3): 257-266.
- [19] 盖琼辉, 王春林. 深色果蔬维生素 C 检测方法的优化与比较[J]. 中国食物与营养, 2017, 23(4): 38-42.
- GAI Qionghui, WANG Chunlin. Optimization and comparison of detection methods of vitamin C in dark fruits and vegetables[J]. Food and Nutrition in China, 2017, 23(4): 38-42.
- [20] 冯璞玉, 陈思, 周振江, 等. 基于旋转设计的番茄果实可滴定酸含量对土壤水分的响应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(11): 67-75, 84.
- FENG Puyu, CHEN Si, ZHOU Zhenjiang, et al. Effect of soil water content on titratable acid content in tomato fruits based on rotatable design[J]. Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition), 2017, 45(11): 67-75, 84.
- [21] 施明, 朱英, 司海丽, 等. 灌溉对贺兰山东麓酿酒葡萄生长、产量及品质的影响[J]. 节水灌溉, 2013(10): 1-3.
- SHI Ming, ZHU Ying, SI Haili, et al. Effect of irrigation on growth, yield and quality of wine grape in eastern foot of Helan mountain[J]. Water Saving Irrigation, 2013(10): 1-3.
- [22] 王华. 葡萄与葡萄酒实验技术操作规范[M]. 西安:西安地图出版社, 1999: 180-181.
- WANG Hua. Experimental Specification of Grape and Wine[M]. Xi'an:Cartographic Press, 1999: 180-181.

- [23] BOSS P K, DAVIES C, ROBINSON S P. Expression of anthocyanin biosynthesis pathway genes in red and white grapes[J]. *Plant Molecular Biology*, 1996, 32(3): 565-569.
- [24] 李磊, 王锐, 纪立东, 等. 贺兰山东麓酿酒葡萄“赤霞珠”合理灌水量的研究[J]. *北方园艺*, 2016(19): 17-21.
- LI Lei, WANG Rui, JI Lidong, et al. Study on Reasonable Irrigation Water Amount on Wine Grape ‘Cabernet Sauvignon’ at Eastern Foot of Helan Mountain[J]. *Northern Horticulture*, 2016(19): 17-21.
- [25] 邱新强, 王艳平, 和刚, 等. 调亏模式下灌水定额对夏玉米生长及产量的影响[J]. *排灌机械工程学报*, 2018, 36(8): 673-678.
- QIU Xinqiang, WANG Yanping, HE Gang, et al. Effects of irrigating water quotas on growth and grain yield of summer maize under deficit irrigation[J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2018, 36(8): 673-678.
- [26] 王泉, 杨培岭, 苏艳平. 温室番茄对微小流量滴灌埋深与灌水量的响应[J]. *排灌机械工程学报*, 2018, 36(10): 937-942.
- WANG Xiao, YANG Peiling, SU Yanping. Response of greenhouse tomatoes to buried depth and low irrigation limit of small flow drip irrigation[J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2018, 36(10): 937-942.
- [27] 李昭楠, 李唯, 刘继亮, 等. 不同滴灌水量对干旱荒漠区酿酒葡萄光合及产量的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(6): 1 324-1 329.
- LI Zhaonan, LI Wei, LIU Jiliang, et al. Effect of drip irrigation pattern on wine grape growth, yield, photosynthesis and water use efficiency in arid desert regions[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(6): 1 324-1 329.
- [28] 史星雲, 李强, 张军, 等. 滴灌条件下水肥耦合对酿酒葡萄生长发育及果实品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2019, 28(2): 225-236.
- SHI Xingyun, LI Qiang, ZHANG Jun, et al. Effects of water and fertilizer coupling on growth and quality of wine grape under drip irrigation[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2019, 28(2): 225-236.
- [29] 陈天祥, 王锐, 纪立东, 等. 水肥耦合在贺兰山东麓酿酒葡萄上的应用效果研究[J]. *节水灌溉*, 2016(6): 19-23.
- CHEN Tianxiang, WANG Rui, JI Lidong, et al. Application effect of water and fertilizer coupling on wine grapes in eastern foot of Helan mountain[J]. *Water Saving Irrigation*, 2016(6): 19-23.
- [30] 侯裕生, 王振华, 李文昊, 等. 水肥耦合对南疆沙区滴灌红枣光合特性及叶绿素相对含量的影响[J]. *排灌机械工程学报*, 2018, 36(9): 914-919, 924.
- HOU Yusheng, WANG Zhenhua, LI Wenhao, et al. Effects of water and fertilizer coupling on photosynthetic characteristics and chlorophyll relative contents of jujube under drip irrigation in southern Xinjiang sandy area[J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2018, 36(9): 914-919, 924.
- [31] 扁青永, 王振华, 胡家帅, 等. 滴灌施肥对红枣土壤水盐动态及光合的影响[J]. *排灌机械工程学报*, 2018, 36(6): 536-543.
- BIAN Qingyong, WANG Zhenhua, HU Jiashuai, et al. Effects of water and fertilizer on water-salt movement and photosynthetic characteristics of drip-irrigation[J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2018, 36(6): 536-543.
- [32] 殷常青, 费良军, 刘利华, 等. 水肥耦合效应对设施豇豆生理特性的影响[J]. *排灌机械工程学报*, 2018, 36(3): 267-276.
- YIN Changqing, FEI Liangjun, LIU Lihua, et al. Effects of water-fertilizer coupling on physiological characteristics of facility planting cowpea[J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2018, 36(3): 267-276.
- [33] CORNISH K, RADIN J W, TURCOTTE E L, et al. Enhanced photosynthesis and stomatal conductance of Pima cotton (*Gossypium barbadense* L.) bred for increased yield[J]. *Plant Physiology*, 1991, 97(2): 484-489.
- [34] 陈根云, 陈娟, 许大全. 关于净光合速率和胞间 CO₂ 浓度关系的思考[J]. *植物生理学通讯*, 2010, 46(1): 64-66.
- CHEN Genyun, CHEN Juan, XU Daquan. Thinking about the relationship between net photosynthetic rate and intercellular CO₂ concentration[J]. *Plant Physiology Communications*, 2010, 46(1): 64-66.
- [35] 张兴国, 胡笑涛, 冉辉, 等. 水肥耦合对温室葡萄产量和水肥利用的影响[J]. *中国农村水利水电*, 2019(1): 1-5.
- ZHANG Xingguo, HU Xiaotao, RAN Hui, et al. The response of grape yield and water fertilizer utilization to water and fertilizer coupling in greenhouse and its simulation[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2019(1): 1-5.

The Combined Effects of Water and Fertilizer on Yield and Quality of Wine Grapes under Drip Fertigation in Eastern Foot of Helan Mountain

HE Zhenjia¹, LIU Quanzu²

(1. Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an 710075, China;

2. Ningxia Dongfang Yuxing Winery Co., Ltd., Wuzhong 751900, China)

Abstract: 【Background】 The eastern foot of Helan Mountain has a long sunshine duration and large diurnal temperature variation, a climate suitable for growing high-quality wine grape. However, insufficient nutritional elements in soil and lacking of water resources, confounded by inappropriate fertilization, has been a constraint limiting the development of wine-grape industry in this region. Previous studies on influence of drip irrigation on physiological growth and quality of wine grape had recommended suitable irrigation schedule, but there is limited study on how the coupling of irrigation and fertilization impacts on yield and quality of wine grapes in this region.

【Objective】 This paper is to experimentally investigate the effect of different couplings of water and fertilizer on yield and quality of wine grapes under drip fertigation. **【Method】** Six-year wine grape "Cabernet Sauvignon" was used as the model plant. The field experiment was conducted at the Hongsibao District in Ningxia, with three irrigation levels: 1 500 m³/hm² (M1), 3 000 m³/hm² (M2) and 4 500 m³/hm² (M3), and three fertilization levels: 450 kg/hm² (F1), 840 kg/hm² (F2) and 1 050 kg/hm² (F3). There were nine treatments and in each treatment, we measured growth, yield and quality of the grapes. **【Result】** Coupling water and fertilizer significantly promoted growth, photosynthesis, fruit appearance and nutrient content of the grapes, especially W3F3 that increased SPAD at significant level but had limited effect on NDVI. Fertilization promoted fruit growth in the longitudinal direction but not in the transverse direction, and the fruit shape index in all treatments varied between 0.99 and 1.05. Coupling water and fertilizer also affected CIRG at significant level. Both water use efficiency and yield maximized in W3F3, being 41.53% and 7.02 t/hm² respectively. Compared to the control, W2F1 increased the soluble solids by 22.27% and W1F2 had the highest titratable acid at 0.74%. W3F1 gave the highest soluble sugar content at 20.32% and W2F2 had the largest sugar-to-acid ratio. The maximum anthocyanin content was 4.66 mg/g and in W3F3. With the increase in irrigation and fertilization, the average total phenolic content in the grape peel decreased, and its value in W1F1 was 71.53 mg/g. Vc content and the coupled water and fertilizer were positively correlated at significant level, and its highest value was 9.23 mg/g in W3F3. **【Conclusion】** W3F3 increased sugar content and Vc content, while reduced fruit acid content. These improved the sugar-acid ratio and grape quality. Our experimental results have wide implications for improving fertigation to increase grape production in similar regions.

Key words: water and fertilizer coupling; eastern foot of Helan Mountain; drip irrigation; wine grapes; fruit quality

责任编辑: 赵宇龙