



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

史星雲¹, 李强¹, 张军¹, 金娜¹, 王鑫¹, 王多文¹, 牟德生¹, 徐珊珊²

(1. 武威市林业科学研究院, 甘肃武威 733000; 2. 武威市林果业管理办公室, 甘肃武威 733000)

摘要 为确定适合酿酒葡萄滴灌施肥的水肥组合及进一步认识葡萄水肥配比关系, 并为指导水肥管理实践提供理论依据, 以酿酒葡萄‘马瑟兰’为材料, 开展田间小区水肥试验, 分别设置 4 个滴灌量和施肥水平, 研究不同滴灌条件下各水肥处理对酿酒葡萄生长发育及品质的影响。结果表明, 滴灌施肥条件下, 水、肥调控对酿酒葡萄新梢生长、果实形态及品质、酚类物质含量影响显著, 而对果皮色泽参数无显著影响; 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。表明合理的水肥管理不但可以促进葡萄新梢生长, 还有利于果实品质改善。由此可见, 滴灌量 $2\ 700\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施肥量 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O} = 160\text{-}120\text{-}210\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理能促进酿酒葡萄新梢生长, 单粒质量和果实纵横径表现较突出, 同时能明显提高果实可溶性固形物、还原糖及果皮中酚类物质质量分数, 是基于试验条件下酿酒葡萄生长、品质调控的较适宜水肥组合。

关键词 酿酒葡萄; 马瑟兰; 滴灌; 水肥; 品质

中图分类号 S275.6; S663.1

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2019)02-0225-12

武威市地处河西走廊东端, 具有种植优质酿酒葡萄得天独厚的地理资源优势 and 气候资源优势, 截至目前, 武威市酿酒葡萄栽培面积达 1.73 万 hm^2 , 分别占全国和甘肃省栽培总面积的 13% 和 84% , 已成为全国酿造葡萄主产区之一。干旱少雨、光照强、蒸发量大、沙性土壤等特性为葡萄酒生产带来优质生产条件, 但传统的大水漫灌和肥料的不当使用, 不仅造成土壤水分和养分的浪费与流失, 也带来农业环境污染等问题^[1], 加之本地区干旱缺水, 合理的水肥管理势在必行。

滴灌施肥技术不仅省时省力^[2-3], 肥、水利用率高^[4-6], 而且提高作物产量, 改善品质^[7-10]。目前, 国内外学者关于葡萄水肥管理方面的研究较多, 但大多研究灌溉(施肥)方式^[11-13]、灌溉(施肥)时间^[14-15]、灌溉(施肥)量^[16-17]等对葡萄生长发育、产量品质、光合特性等方面的影响。近年来, 也有学者相继开展水肥联合调控对葡萄生长、品质及产量的研究。Hani^[18]通过对不同灌溉系统研究发现, 滴灌系统可以提高葡萄产量和水肥利用效率, 促进植株生长, 改善果实品质。目前研究

表明, 设施滴灌条件下, 合理的水肥调控对提高葡萄产量和改善果实品质等方面具有积极作用^[19-21]; 以田间试验为基础, 采用二次通用旋转设计, 建立产量、品质与水肥因素之间的数学模型, 得出对应的滴灌量和施氮、磷、钾量^[22-26]; 膜下滴灌有利于提高水肥利用效率和光合作用效率, 提高产量^[27]。另外, 郭绍杰等^[28]发现, 水肥因素对‘克瑞森无核’葡萄产量形成的贡献不同, 按影响大小顺序依次是磷肥、氮肥、灌水、钾肥; 年灌水量 $6\ 000\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 和氮磷钾施肥量 $367.2\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 葡萄产量最高。而这些研究大多集中在鲜食葡萄方面, 而在酿酒葡萄方面鲜有报道。本研究以酿酒葡萄品种‘马瑟兰’为材料, 采用田间小区作物栽培试验, 重点探讨不同水肥组合对葡萄生长发育和品质的影响, 为确定适合酿酒葡萄滴灌施肥的水肥组合及进一步认识葡萄水肥配比关系、指导水肥管理实践提供理论依据, 并为合理与精确调控水肥、实现葡萄的优质高产提供技术支撑。

收稿日期:2018-08-14 修回日期:2018-10-23

基金项目:国家自然科学基金(31460499); 甘肃省林业科技计划(2015kj023; 2015kj017)。

第一作者:史星雲, 男, 林业工程师, 研究方向为葡萄栽培技术。E-mail: shixingyunlove@163.com

通信作者:徐珊珊, 女, 林业工程师, 研究方向为经济林栽培。E-mail: 0603xss@163.com

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试酿酒葡萄品种:‘马瑟兰’(*Vitis vinifera* L. cv ‘Marselan’),定植于2007年,南北行向,长度88 m,株行距为1 m×2.5 m,单篱架,无主干多主蔓,扇形。供试肥料:尿素[$w(N) = 46\%$]、磷酸钙[$w(P_2O_5) = 16\%$]、硫酸钾[$w(K_2O) = 50\%$]。试验过程中葡萄抹芽、绑缚、

摘心、副梢处理、病虫害防治、除草等工序按照葡萄生产管理日历进行。

2017年4—10月,试验在甘肃省武威市林业科学研究院葡萄种植基地内进行(102°42' E, 38°02' N),海拔1 632 m。该地区属于温带大陆干旱性气候,气象数据来源于武威市气象局(表1)。土壤为砂质壤土,试验开始前土壤的基本理化性质见表2。

表1 试验地气象条件

Table 1 Meteorological conditions for experiment sites

项目 Item	1月 January	2月 February	3月 March	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September	10月 October	11月 November	12月 December
月降雨量/mm Monthly precipitation	0.0	0.1	4.9	18.5	20.1	26.5	49.4	47.1	5.9	14	0.0	0.0
日均温/℃ Mean daily temperature	-5.2	-0.6	3.9	11.7	18.0	21.7	24.4	21.3	18.6	9.6	2.4	-4.1
日照时数/h Sunshine hours	219.6	205.1	244.5	243.8	292.3	256.5	247.8	207.3	223.0	221.0	249.1	226.2
相对湿度/% Relative humidity	54	35	40	40	30	33	40	49	58	43	56	39

表2 供试土壤基本理化性质

Table 2 Basic physical and chemical properties of soil

土层/cm Soil layer	容质量/ (g·cm ⁻³) Bulk density	有机质/ (g·kg ⁻¹) Organic M	全氮/ (g·kg ⁻¹) Total N	有效磷/ (mg·kg ⁻¹) Olsen-P	速效钾/ (mg·kg ⁻¹) Available K	pH	矿质氮/(mg·kg ⁻¹) Mineral N	
							NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N
0~10	1.25	9.45	0.59	3.05	101.58	8.15	11.7	2.7
10~20	1.54	8.91	0.47	2.11	78.22	8.07	11.9	1.8
20~40	1.57	6.89	0.21	1.54	71.55	8.22	8.4	1.6

1.2 试验设计

设置水、肥两个因素,试验小区采用两因素完全随机设计。滴灌量与施肥量参考当地水肥一体化推荐值,以滴灌量(W:4 500 m³·hm⁻²)、施肥量(F:N-P₂O₅-K₂O=320-240-420 kg·hm⁻²)为基础,设置4个滴灌量水平(W1:4 500 m³·hm⁻²、W2:3 600 m³·hm⁻²、W3:2 700 m³·hm⁻²、W4:1 800 m³·hm⁻²)和4个施肥水平(F1:N-P₂O₅-K₂O=320-240-420 kg·hm⁻²、F2:N-P₂O₅-K₂O=240-180-315 kg·hm⁻²、F3:N-P₂O₅-K₂O=160-120-210 kg·hm⁻²、F4:N-P₂O₅-K₂O=80-60-105 kg·hm⁻²),共16个处理,即F1W1、F1W2、F1W3、F1W4、F2W1、F2W2、F2W3、F2W4、F3W1、F3W2、F3W3、F3W4、F4W1、F4W2、F4W3、F4W4,每个处理3次重复,共计48个小区,每小区88株树,每行1个小区,即为1次重复。

采用文丘里施肥器进行滴灌施肥,设备主要

有水源、水泵、旋翼式水表、压力阀、施肥灌输配水管道系统等。沿南北行向在葡萄植株两侧20 cm处各布设1根滴灌带。滴灌带为直径16 mm、滴头间距50 cm的内嵌式圆柱形滴灌管,滴头流量3.0 L·h⁻¹,滴灌工作压力为0.15~0.16 MPa。施肥分别在5个时期进行:萌芽期、新梢生长期、开花期、果实膨大期和果实转色期,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%;果实转色期施入N、P₂O₅和K₂O分别占总施肥量的0%、20%和40%;并按酿酒葡萄生育期需肥规律和需肥量追加硼、镁、钙等微量元素。全生育期共滴灌11次,其中萌芽期1次,新梢生长期3次,开花期1次,果实膨大期4次,果实转色期2次。具体滴灌施肥方案如表3和表4所示。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 新梢生长指标 在新梢摘心前,对新梢长度及基径(新梢底部 1 cm 处直径)进行定期测量。每个小区选取长势一致、树体健康的 12 株葡萄,于 2017-05-15 开始,2017-06-05 结束,每隔 7 d 对葡萄新梢长度及基径进行测定,共测量 4 次。其

中,新梢长度用钢卷尺测量,新梢基径用游标卡尺测定。

1.3.2 采样标准及时间 以果实可溶性固形物质量分数不再增加作为成熟期标志。取样时间为 2017-10-08 8:00—10:00,每小区选取结果部位一致的果穗 30 串,采后保鲜立刻带回实验室,待处理。

表 3 不同生育期施肥量

Table 3 Fertilizer application rates at different growth stages **kg · hm⁻²**

施肥处理 Fertilizer treatment	肥料种类 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	果实转色期 Fruit colouring stage	施肥总量 Fertilization amount
F1	N	128	64	32	96	0	320
	P ₂ O ₅	0	108	48	36	48	240
	K ₂ O	0	84	42	126	168	420
F2	N	96	48	24	72	0	240
	P ₂ O ₅	0	81	36	27	36	180
	K ₂ O	0	63.0	31.5	94.5	126.0	315.0
F3	N	64	32	16	48	0	160
	P ₂ O ₅	0	54	24	18	24	120
	K ₂ O	0	42	21	63	84	210
F4	N	32	16	8	24	0	80
	P ₂ O ₅	0	27	12	9	12	60
	K ₂ O	0	21.0	10.5	31.5	42.0	105.0

表 4 不同生育期滴灌量

Table 4 Water rates at different growth stages **m³ · hm⁻²**

灌溉处理 Irrigation treatment	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				果实转色期 Fruit colouring stage	滴灌总量 Irrigation amount	
W1	375	450	450	450	375	375	375	375	375	450	450	4 500
W2	300	360	360	360	300	300	300	300	300	360	360	3 600
W3	225	270	270	270	225	225	225	225	225	270	270	2 700
W4	150	180	180	180	150	150	150	150	150	180	180	1 800

随机选取 10 串果穗,在每串果穗的上、中、下部共采 10 粒果实,总计 100 粒,用于果实单粒质量及纵横径的测量。将 40 粒果实压碎取汁立即进行可溶性固形物和可滴定酸的测定;然后取 20 粒果实液氮速冻, -80 °C 保存,待液氮研磨后,用于还原糖质量分数测定;剩余 40 粒果实去籽及果肉,果皮 -80 °C 保存,待液氮研磨后,用于总酚、单宁和总花色苷测定。随机选取 10 串果穗,在每串果穗的上、中、下部各采摘 10 粒果实,用于果皮色泽的测定。

1.3.3 果实形态指标 每个重复选取 100 粒果实用台秤称质量,计算其单粒质量;然后用游标卡尺测定果实纵、横径,并用果实的纵径与横径之比描述果形指数。

1.3.4 果皮色泽参数 采用 CR-400 色彩色差计(CHROMA METER CR-400, KONICA MINOLTA, INC., Japan)直接测量 L^* 、 a^* 、 b^* 的值,每粒果实 2 次,取平均值作为果实果皮色泽参数值。其中 L^* 值表示亮度,绝对值越大表示亮度越高; a^* 值表示红绿色度,为正代表红色,为负代表绿色,绝对值越大表示颜色越深; b^* 值表示黄蓝色度,为正代表黄色,为负代表蓝色,绝对值越大表示颜色越深^[29]。

1.3.5 果实品质 对可溶性固形物采用手持糖量计法(PAL-福, ATAGO, Japan)进行测定;对还原糖采用斐林试剂比色法^[30]进行测定,以葡萄糖计;对可滴定酸采用 NaOH 滴定法^[31]进行测定,以酒石酸计;糖酸比为还原糖与可滴定酸含量

之比。

1.3.6 果皮酚类物质 对总酚采用福林-肖卡法^[32]进行测定,以没石子酸计;对单宁采用福林-单宁斯法^[33]进行测定,以单宁酸计;对总花色苷采用 pH 示差法^[34]进行测定,以矢车菊素-3-O-葡萄糖苷计。

1.4 数据处理

使用 Excel 2007 和 DPS 7.0 进行数据分析,采用双因素 Duncan's 新复极差法检验各处理间差异的显著性,数据均以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 不同水肥处理对葡萄植株新梢生长的影响

如表 5 所示,不同水肥处理对酿酒葡萄植株

新梢生长量有显著影响。滴灌量对植株新梢生长量影响极显著($P < 0.01$);施肥量对植株新梢生长期 05-15—05-22、05-29—06-05 阶段的新梢长度生长量影响极显著($P < 0.01$),对 05-22—05-29 阶段影响显著($P < 0.05$),而对新梢基径生长量无显著影响;水肥交互作用对植株新梢生长量无显著影响($P > 0.05$)。说明水肥联合条件下酿酒葡萄植株新梢生长对水分的响应极其敏感。原因是在葡萄新梢生长期,新梢生长所需营养可能主要来源于树体储藏的营养物质,同时,水分能及时发挥作用,而肥料发挥作用相对滞后,导致水肥联合条件下,滴灌量对酿酒葡萄植株新梢生长存在极显著影响,施肥量影响显著性不一致;而水肥交互作用无显著影响。

表 5 不同水肥处理对酿酒葡萄植株新梢生长量的影响及方差分析

Table 5 Effect and variance analysis of different irrigation and fertilization treatments on shoot growth of wine grape

处理 Treatment	05-15—05-22		05-22—05-29		05-29—06-05			
	长度/cm Length	基径/mm Basal diameter	长度/cm Length	基径/mm Basal diameter	长度/cm Length	基径/mm Basal diameter		
W1F1	22.82±2.35 cdeBC	1.70±0.12 bcAB	24.36±0.79 cdBCD	1.67±0.14 bcdAB	17.48±2.16 cdCDEF	0.95±0.09 cdABC		
W1F2	23.57±2.99 bcdeBC	1.78±0.16 abcAB	25.14±1.67 bedBCD	1.75±0.07 abcdAB	18.31±0.75 bcdABCDE	0.99±0.01 abcdABC		
W1F3	21.96±1.36 deBC	1.69±0.04 bcAB	23.94±1.51cdeBCD	1.65±0.01 bcdAB	17.33±0.98 cdCDEF	0.94±0.08 cdBC		
W1F4	21.92±0.36 deBC	1.67±0.13 bcAB	23.32±1.71 cdeCD	1.61±0.16 bcdB	16.07±2.18 deDEF	0.94±0.04 cdBC		
W2F1	23.49±0.48 bcdeBC	1.80±0.13 abcAB	26.68±2.81 bedABC	1.77±0.01 abcAB	19.68±2.00 abcABCD	1.04±0.01 abcABC		
W2F2	26.08±1.98 abcAB	1.83±0.10 abcAB	26.85±2.04 abcABC	1.79±0.06 abcAB	21.13±1.09 abABC	1.08±0.02 abAB		
W2F3	28.28±4.20 aA	1.80±0.02 abcAB	30.61±3.86 aA	1.82±0.07 abAB	22.17±2.28 aA	1.03±0.04 abcABC		
W2F4	24.94±2.32 bcdABC	1.77±0.07 abcAB	26.38±4.56 bedABC	1.75±0.16 abcdAB	18.39±2.43 bcdABCDE	0.99±0.09 abcdABC		
W3F1	23.46±3.01 bcdeBC	1.69±0.19 bcAB	24.73±2.33 cdBCD	1.69±0.06 abcdAB	17.95±1.73 cdCDEF	0.97±0.03 bcdABC		
W3F2	26.24±1.58 abcAB	1.86±0.12 abAB	25.90±1.33 bedABC	1.75±0.08 abcdAB	18.58±0.26 bcdABCDE	1.08±0.11 abAB		
W3F3	27.01±2.45 abAB	1.95±0.24 aA	29.14±2.10 abAB	1.89±0.22 aA	22.01±1.18 aAB	1.10±0.05 aA		
W3F4	23.56±3.18 bcdeBC	1.76±0.07 abcAB	24.89±2.78 cdBCD	1.69±0.19 abcdAB	18.10±2.38 cdBCDEF	0.98±0.07 bcdABC		
W4F1	20.28±1.98 eC	1.65±0.15 bcB	22.57±1.08 deCD	1.60±0.06 cdB	15.47±2.26 deEF	0.93±0.05 cdBC		
W4F2	23.45±2.84 bcdeBC	1.77±0.13 abcAB	24.86±3.82 cdBCD	1.72±0.21 abcdAB	18.04±1.80 cdBCDEF	0.98±0.12 bcdABC		
W4F3	21.92±1.56 deBC	1.68±0.04 bcAB	23.35±1.17 cdeCD	1.63±0.08 bcdAB	16.91±1.82 cdeDEF	0.94±0.06 cdBC		
W4F4	20.60±1.79 eC	1.61±0.13 cB	20.11±2.58 eD	1.55±0.12 dB	14.18±2.33 eF	0.90±0.08 dC		
显著性检验 P 值 P value of significance testing								
滴灌 Irrigation			0.000 1	0.008 4	0.000 1	0.003 2	0.000 1	0.000 2
施肥 Fertilization			0.001 2	0.087 8	0.010 5	0.066 9	0.000 2	0.025 4
滴灌×施肥 Irrigation×Fertilization			0.830 8	0.536 4	0.265 5	0.675 0	0.319 7	0.712 4

注:同列不同字母表示差异显著,小写字母表示差异显著($P < 0.05$),大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)。下表同。

Note: Different letters in the same columns indicate significant difference, lowercasse letters mean significant difference($P < 0.05$), upper-case letters means extremely significant difference($P < 0.01$). The same below.

由表 5 可以看出,水肥联合条件下,酿酒葡萄植株新梢长度生长量在植株新梢生长期呈现先升高后降低的趋势;而新梢基径生长量呈现逐渐递减的趋势。在滴灌量(施肥量)一定的条件下,随着施肥量(滴灌量)的增加,葡萄植株新梢生长量

总体表现为先增加后降低的趋势。当施肥量一定时,新梢生长量最低的为 W4F4 处理,与其他处理差异极显著($P < 0.01$),说明滴灌量、施肥量都低时,根部土壤含水量低且养分有限,新梢生长严重受到限制。当施肥量为 F1 和 F2 水平时,葡萄

植株新梢生长量由大到小依次为 W2、W3、W1、W4；当滴灌量在 W1 和 W4 水平时，新梢生长量最大值和最小值分别出现在 F2 和 F4 水平。3 个时间段新梢长度生长量最大值均出现在 W2F3 处理，说明此水肥组合有利于新梢长度的生长，并且与 W3F3 处理差异不显著；而新梢基径生长量最大值均出现在 W3F3 处理，说明此处理更有利于新梢粗度的增加，能够为植株输送充足的水分和营养物质，促进植株生长。综合以上分析可知，W3F3 处理更有利于酿酒葡萄新梢的生长。

2.2 不同水肥处理对葡萄果实物理指标的影响

由表 6 可知，不同水肥处理对果实形态指标产生较大影响。在滴灌量（施肥量）一定的情况下，随着施肥量（滴灌量）的增加，单粒质量呈现先增加后减少的趋势。其中，单粒质量最大处理为 W3F2，达 (1.116 ± 0.111) g，与 W3F3 无显著差异；W4F4 处理最小，仅为 0.881 g，两者之间存在显著性差异。比较不同处理果实纵径可以看出，

果实纵径变幅为 $(11.44 \pm 0.47) \sim (12.65 \pm 0.15)$ mm，其中 W2F3 处理最大，与 W3F2、W1F1、W3F1、W1F2 和 W1F3 处理差异不显著；最小处理为 W4F4，与其他处理存在显著性差异。在滴灌量不变的情况下，随着施肥量的增加，果实纵径呈现先增加后减少的趋势（W4 水平除外）。果实横径除 W2F3 处理外，所有处理均在 12 mm 以下，且 W2F3 处理显著高于其他处理。不同处理果实果形指数变幅为 $(1.0167 \pm 0.0245) \sim (1.1140 \pm 0.0744)$ ，其中 W3F1 处理最高，与 W1F2 处理差异不显著。W4F4 处理最小，在 $P=0.05$ 水平上，与除 W1F1、W1F2 和 W3F1 3 个处理之外的其他处理无显著性差异。

单粒质量、果形指数受单因素（滴灌量、施肥量）影响显著 ($P < 0.05$)。施肥量对单粒质量有极显著影响 ($P < 0.01$)，而对果实纵径和横径无显著性影响。

表 6 不同水肥处理对酿酒葡萄果实基本物理指标的影响及方差分析

Table 6 Effect and variance analysis of different irrigation and fertilization treatments on physical index of wine grape

处理 Treatment	单粒质量/g Single mass	纵径/mm Longitudinal diameter	横径/mm Transverse diameter	果形指数 Index of fruit shape	
W1F1	1.031 ± 0.017 abcABC	12.38 ± 0.35 abAB	11.57 ± 0.32 abcAB	1.0699 ± 0.0119 abcABC	
W1F2	1.069 ± 0.013 abAB	12.47 ± 0.38 abAB	11.36 ± 0.53 bcAB	1.0986 ± 0.0504 abAB	
W1F3	1.062 ± 0.043 abAB	12.32 ± 0.06 abAB	11.62 ± 0.23 abcAB	1.0601 ± 0.0175 bcABC	
W1F4	0.954 ± 0.044 bcdeABC	12.03 ± 0.08 abcAB	11.62 ± 0.10 abcAB	1.0352 ± 0.0021 cBC	
W2F1	1.042 ± 0.032 abcABC	11.68 ± 0.41 bcAB	11.43 ± 0.28 abcAB	1.0217 ± 0.0127 cBC	
W2F2	1.078 ± 0.012 abAB	11.92 ± 0.73 abcAB	11.56 ± 0.57 abcAB	1.0306 ± 0.0137 cBC	
W2F3	1.034 ± 0.079 abcABC	12.65 ± 0.15 aA	12.16 ± 0.22 aA	1.0402 ± 0.0175 cABC	
W2F4	0.993 ± 0.029 abcdeABC	12.09 ± 0.22 abcAB	11.72 ± 0.04 abcAB	1.0317 ± 0.0222 cBC	
W3F1	1.005 ± 0.070 abcdABC	12.33 ± 0.55 abAB	11.10 ± 0.69 cB	1.1140 ± 0.0744 aA	
W3F2	1.116 ± 0.111 aA	12.36 ± 0.41 abAB	11.75 ± 0.13 abcAB	1.0518 ± 0.0232 bcABC	
W3F3	1.110 ± 0.046 aA	12.22 ± 0.44 abcAB	11.91 ± 0.30 abAB	1.0255 ± 0.0194 cBC	
W3F4	0.932 ± 0.020 cdeBC	11.66 ± 0.91 bcAB	11.38 ± 0.63 bcAB	1.0239 ± 0.0284 cBC	
W4F1	0.877 ± 0.096 eC	12.28 ± 0.31 abcAB	11.67 ± 0.37 abcAB	1.0524 ± 0.0072 bcABC	
W4F2	0.986 ± 0.102 abcdeABC	12.10 ± 0.33 abcAB	11.79 ± 0.37 abcAB	1.0271 ± 0.0323 cBC	
W4F3	1.088 ± 0.094 aAB	11.88 ± 0.32 abcAB	11.52 ± 0.32 abcAB	1.0314 ± 0.0198 cBC	
W4F4	0.881 ± 0.098 deC	11.44 ± 0.47 cB	11.25 ± 0.24 bcAB	1.0167 ± 0.0245 cC	
显著性检验 P 值 P value of significance testing					
滴灌 Irrigation		0.015 4	0.259 5	0.622 1	0.015 9
施肥 Fertilization		0.000 1	0.070 3	0.120 9	0.024 4
滴灌×施肥 Irrigation×Fertilization		0.262 0	0.259 4	0.244 9	0.084 5

2.3 不同水肥处理对葡萄果皮色泽的影响

由表 7 可以看出，不同水肥处理对果皮色泽

参数 L^* 、 b^* 值无显著性影响，而对 a^* 值有显著性影响。其中 W3F4 组合 a^* 最高，显著高于

W1F2、W3F1、W3F2 和 W4F4, 而与其他处理差异不显著。两因素方差分析表明: 滴灌量、施肥量

及水肥交互都对酿酒葡萄果皮色泽 3 个参数无显著影响($P>0.05$)。

表 7 不同水肥处理对酿酒葡萄果皮色泽的影响及方差分析

Table 7 Effect and variance analysis of different irrigation and fertilization treatments on colour of wine grape skin

处理 Treatment	L^*	a^*	b^*
W1F1	32.75±2.76	-0.62±0.11 ab	-4.60±0.60
W1F2	34.39±1.55	-0.69±0.09 b	-4.82±0.91
W1F3	33.35±1.58	-0.53±0.14 ab	-4.15±0.70
W1F4	33.75±0.63	-0.61±0.04 ab	-4.76±0.38
W2F1	34.74±3.42	-0.48±0.40 ab	-4.05±0.95
W2F2	33.86±1.27	-0.49±0.22 ab	-4.10±0.74
W2F3	33.72±1.44	-0.54±0.01 ab	-4.19±0.15
W2F4	34.67±1.35	-0.56±0.12 ab	-4.44±0.47
W3F1	34.83±0.89	-0.64±0.07 b	-4.39±0.31
W3F2	35.23±2.38	-0.72±0.21b	-5.12±0.62
W3F3	33.36±1.04	-0.40±0.14 ab	-3.99±0.22
W3F4	34.22±2.35	-0.23±0.50 a	-4.3±0.95
W4F1	34.04±0.46	-0.55±0.04 ab	-4.33±0.34
W4F2	33.55±1.72	-0.48±0.15 ab	-4.34±0.97
W4F3	34.48±1.78	-0.49±0.20 ab	-4.76±0.66
W4F4	35.11±1.63	-0.70±0.25 b	-4.69±0.31
显著性检验 P 值 P value of significance testing			
滴灌 Irrigation	0.364 8	0.534 8	0.491 4
施肥 Fertilization	0.556 8	0.614 6	0.569 8
滴灌×施肥 Irrigation×Fertilization	0.908 1	0.239 3	0.700 9

2.4 不同水肥处理对葡萄果实品质的影响

由表 8 可以看出, 滴灌水肥条件下, 酿酒葡萄果实各品质指标受滴灌量和施肥量影响极显著($P<0.01$); 水肥交互作用对可滴定酸影响极显著($P<0.01$), 对可溶性固形物、还原糖、糖酸比 3 个指标影响显著($P<0.05$); 由此可见, 水肥对酿酒葡萄果实品质有显著性影响。

可溶性固形物质量分数是衡量酿酒葡萄品质好坏的重要指标之一, 同时也直接决定葡萄酒的质量。如表 8 所示, 可溶性固形物质量分数变幅为(19.50±0.35)%~(25.63±1.89)%。相同滴灌条件下(除 W1 水平), 随着施肥量的增加, 可溶性固形物质量分数呈先增加后减少的趋势; 滴灌量为 W1 水平时, 各处理之间无显著性差异。在相同施肥量条件下, 随着滴灌量的增加, 可溶性固形物质量分数呈先增加后减少的趋势, 滴灌量过高或过低都不利于可溶性固形物质量分数的提高。

酿酒葡萄可滴定酸质量分数最高为 W1F4 处理, 高达(1.01±0.03)%, 此处理滴灌量多且施

肥少, 与其他处理存在极显著差异; 最低的为 W4F3 处理, 仅为(0.64±0.04)%, 与 W4F1、W1F3 处理差异不显著。当施肥水平为 F2、F3 时, 随着滴灌量的减少, 可滴定酸质量分数呈先升高后降低的趋势, 且除 W4F3 处理外, 所有可滴定酸质量分数都处在中等水平。当施肥水平为 F1、F4 时, 随着滴灌量的增加, 可滴定酸质量分数逐渐增大, 且施肥水平 F4 整体高于 F1。

从表 8 可以看出, 还原糖质量分数变幅为(18.06±0.17)%~(24.22±0.44)%。W3F3 还原糖质量分数最高, 与 W3F2 处理差异不显著。在施肥量一致的情况下, 还原糖质量分数随着滴灌量的减少呈先升高后降低的趋势。相同滴灌条件下(除 W1 水平), 随着施肥量的增加, 还原糖质量分数呈先增加后减少的趋势。与可溶性固形物质量分数变化趋势相比较得出: 在本试验中, 还原糖质量分数与可溶性固形物有相同的变化趋势。

所有处理中果实糖酸比均为 20 以上, 最高的为 W3F2 处理(32.09±1.47), W4F3 次之(31.70±1.55), 且二者差异不显著; 最小的为 W1F4

(20.80±1.57),与其他处理存在极显著差异,这是因为该处理可滴定酸质量分数过高。糖酸比太高和太低不易酿造出好的葡萄酒,合适的糖酸比应为 32.00 左右^[35]。由此可以得出,糖酸比最好的处理为 W3F2、W3F3 和 W4F3,考虑节水节肥等因素,W4F3 处理最优。

2.5 不同水肥处理对葡萄果皮酚类物质的影响

酚类物质作为葡萄果实的次生代谢物质,其含量和比例对葡萄酒感官品质,尤其对葡萄酒的颜色、收敛性、澄清度和稳定性有重要影响,同时还具有保健功能,能降低人类慢性病和冠心病的概率。由表 9 可以看出,滴灌水肥条件下,滴灌量、施肥量以及二者之间的交互作用对总酚、单

宁、花色苷 3 个指标存在极显著影响($P < 0.01$)。当滴灌量(施肥量)不变的情况下,随着施肥量(滴灌量)的减少,总酚、单宁、花色苷 3 个指标均呈先升高后降低的趋势,说明适当地减少滴灌量或施肥量都可以提高酿酒葡萄果皮中酚类物质的质量分数。其中总酚和单宁质量分数最大为 W3F3 处理,分别为(4.25±0.18) mg·g⁻¹和(3.07±0.02) mg·g⁻¹,W3F2 次之,且二者差异不显著;最小均是 W4F4 处理。总花色苷质量分数变幅为(1.39±0.03) mg·g⁻¹~(2.23±0.11) mg·g⁻¹,最小是 W4F4,最大是 W3F2,与 W2F3 和 W3F3 差异不显著,质量分数均为 2.10 mg·g⁻¹以上。

表 8 不同水肥处理对酿酒葡萄果实品质的影响及方差分析

Table 8 Effect and variance analysis of different irrigation and fertilization treatments on quality of wine grape

处理 Treatment	可溶性固形物质量分数/% Soluble solid mass fraction	可滴定酸质量分数/% Titratable acidity mass fraction	还原糖质量分数/% Reducing sugar mass fraction	糖酸比 Sugar-acid ratio
W1F1	21.70±1.45 cdBCD	0.81±0.06 cdefCDE	20.61±2.14 cdBCDE	26.47±4.07 deBCD
W1F2	22.17±0.45 bcdBCD	0.87±0.02 bcBC	20.93±1.48 bcdBCD	24.98±1.94 eDE
W1F3	21.20±0.66 cdeBCD	0.71±0.03 ghEFG	19.04±0.54 defCDE	28.07±2.01bcde ABCD
W1F4	21.77±0.42 cdBCD	1.01±0.03 aA	20.04±1.14 cdeBCDE	20.80±1.57 fE
W2F1	22.57±0.65 bcdBC	0.79±0.02 defCDE	21.75±1.34 bcABC	28.63±2.08 abcdeABCD
W2F2	23.00±0.20 bcBC	0.93±0.05 baB	22.78±0.31 abAB	25.65±1.41 deDE
W2F3	22.83±1.66 bcdBC	0.86±0.03 bcdeBCD	21.65±2.69 bcABC	26.46±3.91 deBCD
W2F4	22.57±1.14 bcdBC	0.86±0.04 bcdBC	21.69±2.53 bcABC	26.24±2.61 deCD
W3F1	21.50±1.87 cdeBCD	0.75±0.02 fgDEF	20.33±2.81 cdeBCDE	28.31±4.49 abcdeABCD
W3F2	24.57±0.50 abAB	0.78±0.03 efgCDE	24.00±0.31 aA	32.09±1.47 aA
W3F3	25.63±1.89 aA	0.81±0.07 cdefCDE	24.22±0.44 aA	31.38±2.18 abcABC
W3F4	22.10±0.85 bcdBCD	0.87±0.05 bcdBC	20.81±2.06 bcdBCD	25.01±2.01 eDE
W4F1	20.70±0.70 deCD	0.67±0.06 hFG	18.60±0.55 efDE	29.13±2.96 abcdABCD
W4F2	22.67±0.67 bcdBC	0.78±0.02 fgCDE	20.64±0.82 cdBCDE	27.68±0.27 cdeABCD
W4F3	21.27±1.99 cdeBCD	0.64±0.04 hG	19.50±0.18 defCDE	31.70±1.55 abAB
W4F4	19.50±0.35 eD	0.75±0.03 fgDEF	18.06±0.17 fE	25.03±1.26 eDE

显著性检验 P 值 P value of significance testing

滴灌 Irrigation	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 2
施肥 Fertilization	0.003 2	0.000 1	0.000 4	0.000 1
滴灌×施肥 Irrigation×Fertilization	0.022 9	0.000 1	0.012 6	0.036 5

3 讨论与结论

葡萄的生长过程分为前期以枝叶生长为主的营养生长期和后期以果粒生长为主的生殖生长期。在营养生长期采用适宜的灌溉施肥制度,促进新梢生长,提高光合效率,使营养生长达到满足最大产量而又不过多消耗光合产物以及过多蒸腾耗水的最佳灌溉施肥制度和模式^[36]。前人研究发现过高的灌溉量并不能显著提高酿酒葡萄产量,但其产量与品质受到合理肥水灌溉的影响^[37]。本研究发现,水肥联合条件下,W3F3 处

理(滴灌量 2 700 m³·hm⁻²,施肥量 N-P₂O₅-K₂O = 160-120-210 kg·hm⁻²)更有利于酿酒葡萄新梢的生长。此处理条件下,新梢生长旺盛,从而提高光合作用效率,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。而当施肥量一定时,新梢生长量最小均出现在 W4,这是因为滴灌量少,导致土壤含水量低,根系活力低,限制新梢生长,说明水分是限制新梢生长的关键因素。显著性分析表明,水肥联合条件下,滴灌量对酿酒葡萄植株新梢生长影响极显著,施肥量对其影响显著性不一致;而水肥交互作用对其无显著性影

表 9 不同水肥处理对酿酒葡萄果皮酚类物质的影响及方差分析

Table 9 Effect and variance analysis of different irrigation and fertilization treatments on phenols of wine grape skin

处理 Treatment	总酚质量分数/(mg·g ⁻¹) Total phenolic mass fraction	单宁质量分数/ (mg·g ⁻¹) Tannin mass fraction	总花色苷质量分数/ (mg·g ⁻¹) Total anthocyanin mass fraction
W1F1	3.06±0.06 fEF	2.42±0.10 efD	1.69±0.14 fgEF
W1F2	3.42±0.07 deCD	2.69±0.15 dD	1.84±0.09 defCDEF
W1F3	2.84±0.19 gFG	2.38±0.08 efD	2.03±0.06 bcdABCD
W1F4	2.69±0.07 gGH	2.33±0.12 efD	1.94±0.04 cdeBCDE
W2F1	3.65±0.12 cBC	2.94±0.03 abcAB	1.87±0.06 deCDEF
W2F2	3.88±0.08 bB	3.01±0.10 abAB	1.94±0.10 cdeBCDE
W2F3	3.57±0.07 cdCD	2.83±0.02 cdBC	2.20±0.05abA
W2F4	3.61±0.09 cC	2.89±0.01 bcABC	2.09±0.14 abcABC
W3F1	3.31±0.08 eDE	2.42±0.12 efD	1.87±0.05 cdBCDE
W3F2	4.15±0.15 aA	3.05±0.10 aA	2.23±0.11aA
W3F3	4.25±0.18 aA	3.07±0.02 aA	2.12±0.24 abAB
W3F4	3.30±0.10 eDE	2.47±0.05 eD	1.84±0.01defCDEF
W4F1	2.64±0.07 ghGH	2.32±0.02 efD	1.64±0.04 gF
W4F2	3.30±0.07 eDE	2.46±0.11 eD	1.79±0.02 efgDEF
W4F3	2.74±0.09 gG	2.34±0.10 efD	1.65±0.13 gF
W4F4	2.47±0.05 hH	2.29±0.10 fD	1.39±0.03 hG
显著性检验 P 值 P value of significance testing			
滴灌 Irrigation	0.000 1	0.000 1	0.000 1
施肥 Fertilization	0.000 1	0.000 1	0.001 6
滴灌×施肥 Irrigation×Fertilization	0.000 1	0.000 1	0.000 1

响。这是因为在葡萄新梢生长期,新梢生长所需营养可能主要来源于树体储藏的营养物质,同时水分能及时发挥作用,而肥料发挥作用相对滞后,与周罕觅等^[38]在苹果上的研究结果相似。随着葡萄植株的不断生长发育,葡萄新梢基径逐渐增加,生长量却逐渐降低,这是因为植株的生长逐渐从营养生长转变为生殖生长为主,并且施肥对葡萄新梢基径生长量无显著性影响。这与何岸谿等^[21]在葡萄上的研究结果一致。在新梢生长期,保证合理灌溉可以促进新梢生长,从而提高光合效率。

水肥在葡萄整个生育期的生命活动中具有重要作用,同时也是影响作物产量和品质最重要的两个因素^[39]。合理降低肥水施用量可以提高葡萄品质,但同时显著影响其产量与经济价值;而增加肥水施用量可以提高葡萄产量,但会降低肥水使用效率^[12,40]。因此,合理的肥水管理对不同阶段葡萄的生长发育及其品质具有重要作用。滴灌水肥配合能有效提高葡萄产量和品质,灌溉量过

大或施肥量过高,都不利于葡萄产量和品质的提高^[23]。在设施滴灌施肥条件下,‘红地球’葡萄相同滴灌水平下,可溶性固形物含量、花色苷和糖酸比均随施肥量的增加先增加后减小,同一施肥水平下,可滴定酸和花色苷含量随水分亏缺程度的加强先增大后减小;适量施肥和适度缺水可增加花色苷含量,提高糖酸比^[15]。本研究发现,滴灌施肥条件下,水、肥调控对酿酒葡萄果实品质(可溶性固形物、可滴定酸、还原糖和糖酸比)、果皮酚类物质(总酚、单宁和花色苷)影响显著;在一定范围内,酿酒葡萄品质随水肥用量的增加,呈先升高后降低的趋势,合理的水肥有利于酿酒葡萄品质的改善,水、肥过多或过少都会造成酿酒葡萄品质下降。

总酚、单宁和花色苷是葡萄中重要的酚类物质,对果实色泽、风味以及葡萄酒的色泽、澄清度、口感和营养价值等有重要作用^[41]。本研究发现,在滴灌量为 2 700 m³·hm⁻²、施肥量 160-120-210 kg·hm⁻² 水平下,总酚(4.25±0.18)

mg · g⁻¹、单宁(3.07 ± 0.02) mg · g⁻¹、花色苷(2.12 ± 0.24) mg · g⁻¹,显著高于张娟等^[42]研究结果。原因可能是酚类物质受气候条件(温度、光照和降水)、土壤条件、栽培条件及激素水平等因素的影响大^[43-45]。同时,昼夜温差大有利于含糖量的提高,有利于葡萄浆果更好着色^[46],水分亏缺会增加葡萄单宁和花色苷含量^[47-48]。本研究立地条件昼夜温差大,同时该结果也是在水分亏缺条件下得到的。

本研究结果表明,滴灌施肥条件下,水、肥调控对酿酒葡萄新梢生长、果实形态指标及品质、酚类物质影响显著,而对果皮色泽参数无显著性影响;在一定范围内,酿酒葡萄生长及品质随水肥用量的增加,呈先升高后降低的趋势,合理的水肥管理有利于酿酒葡萄新梢生长及品质改善,水肥过多或者过少都会导致酿酒葡萄品质下降。由此可见,滴灌量 2 700 m³ · hm⁻²、施肥量 N-P₂O₅-K₂O = 160-120-210 kg · hm⁻²处理能促进酿酒葡萄新梢生长,单粒质量、果实纵横径表现较突出,同时能明显提高果实可溶性固形物、还原糖及果皮中酚类物质的质量分数,是基于本试验条件下酿酒葡萄生长、品质方面的较适宜水肥组合。

参考文献 Reference:

[1] SHRESTHA R K, LADHA J K. Nitrate in groundwater and integration of nitrogen-catch crop in rice-sweet pepper cropping system[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62(6): 1610-1619.

[2] 杨艳芬,王全九,白云岗,等. 极端干旱地区滴灌条件下葡萄生长发育特征[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 45-50. YANG Y F, WANG Q J, BAI Y G, et al. Characteristics of grape growth under drip irrigation condition in extremely arid regions[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(12): 45-50.

[3] 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 of Agricultural Machinery*, 2016, 47(10): 115-121.

[4] 邢英英,张富仓,张燕,等. 滴灌施肥水肥耦合对温室番茄产量、品质和水氮利用的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(4): 713-726. XING Y Y, ZHANG F C, ZHANG Y, et al. Effect of irrigation and fertilizer coupling on greenhouse tomato yield, quality, water and nitrogen utilization under fertigation[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(4): 713-726.

[5] RAMNIWAS, KAUSHIK R A, PAREEK S, et al. Effect of

drip fertigation scheduling on fertilizer use efficiency, leaf nutrient status, yield and quality of 'Shweta' Guava (*Psidium guajava* L.) under meadow orcharding[J]. *National Academy Science Letters*, 2013, 36(5): 483-488.

[6] GUPTA A J, AHMAD M F, BHAT F N. Studies on yield, quality, water and fertilizer use efficiency of capsicum under drip irrigation and fertigation. [J]. *Indian Journal of Horticulture*, 2010, 67(2): 213-218.

[7] PARVIZI H, SEPASKHAH A R, AHMADI S H. Effect of drip irrigation and fertilizer regimes on fruit yields and water productivity of a pomegranate (*Punica granatum* (L.) cv. 'Rabab') orchard [J]. *Agricultural Water Management*, 2014, 146(12): 45-56.

[8] 彭良志, 淳长品, 江才伦, 等. 滴灌施肥对'特罗维它'甜橙生长结果的影响[J]. 园艺学报, 2011, 38(1): 1-6. PENG L ZH, CHUN CH P, JIANG C L, et al. The effects of drip fertigation on tree growth and fruiting of Trovita sweet orange (*Citrus sinensis* Osbeck) in calcareous purple soil in Chongqing of China [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, 38(1): 1-6.

[9] 杨小振, 张显, 马建祥, 等. 滴灌施肥对大棚西瓜生长、产量及品质的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(7): 109-118. YANG X ZH, ZHANG X, MA J X, et al. Effects of drip fertigation on growth, yield and quality of watermelon in plastic greenhouse [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(7): 109-118.

[10] 黄丽华, 沈根祥, 钱晓雍, 等. 滴灌施肥对农田土壤氮素利用和流失的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 49-53. HUANG L H, SHEN G X, QIAN X Y, et al. Impacts of drip fertilizer irrigation on nitrogen use efficiency and total nitrogen loss load [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(7): 49-53.

[11] SANTOS T P, LOPES C M, RODRIGUES M L, et al. Partial rootzone drying: effects on growth and fruit quality of field Grown grapevines (*Vitis vinifera*) [J]. *Functional Plant Biology*, 2003, 30(6): 663-671.

[12] 王锐, 孙权, 郭洁, 等. 不同灌溉及施肥方式对酿酒葡萄生长发育及产量品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 35(5): 123-127. WANG R, SUN Q, GUO J, et al. Influence of irrigation and fertilization on the wine grape growth, yield and quality [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2012, 35(5): 123-127.

[13] 钟帅, 郭春会, 鲁春燕, 等. 不同施肥方式对'红地球'葡萄产量和品质的影响[J]. 西北农业学报, 2014, 23(11): 104-109. ZHONG SH, GUO CH Y, LU CH Y, et al. Effects of different fertilizer on yield and quality of 'Red Globe' grape [J]. *Acta Agricultural Boreali-occidentalis Sinica*, 2014, 23(11): 104-109.

[14] 史祥宾, 杨阳, 翟衡, 等. 不同时期施用氮肥对巨峰葡萄氮素吸收、分配及利用的影响[J]. 植物营养与肥料学

- 报,2011,17(6):1444-1450.
- SHI X B, YANG Y, ZHAI H, *et al.* Effects of N fertilization on nitrogen absorption, distribution and utilization of Kyoho grape[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(6):1444-1450.
- [15] 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.
- ZHANG R, CHENG Z Y, WANG W T, *et al.* Effect of water stress in different growth stages on grape yield and fruit quality under delayed cultivation facility[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(24):105-113.
- [16] NJOVU A M, MAHOO H F, MSOGOYA T J, *et al.* Effect of irrigation regimes on yield and quality of grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. 'Makutopora red' in dodoma tanzania [J]. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 2017, 7(4):87-99.
- [17] STROEHLEIN J L, JANAT M M, PESSARAKLI M. Response of grape cultivars to nitrogen and phosphorus grown with water harvesting[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 1990, 13(10):1319-1334.
- [18] HANI A M. The response of grapefruits to application of water and fertilizers under different localized irrigation systems[D]. Egypt: Ain Shams University, 2005.
- [19] 王连君,王程翰,乔建磊,等.膜下滴灌水肥耦合对葡萄生长发育、产量和品质的影响[J].*农业机械学报*,2016,47(6):113-119.
- WANG L J, WANG CH H, QIAO J L, *et al.* Effects of water and fertilizer coupling on growth, yield and quality of grape under drip irrigation with film mulching[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(6):113-119.
- [20] 黄 英,安进强,张 芮,等.水肥调控对设施延后栽培葡萄产量和品质的影响[J].*干旱地区农业研究*,2015,33(2):191-195.
- HUANG Y, AN J Q, ZHANG R, *et al.* Effects of fertilizer-water regulation on quality and yield of greenhouse grape under delayed cultivation[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015, 33(2):191-195.
- [21] 何岸谿,张 芮,安进强,等.水肥调控对设施延后栽培葡萄生长特性的影响[J].*节水灌溉*,2016(12):27-31.
- HE A R, ZHANG R, AN J Q, *et al.* Effects of fertigation treatment on growth character of greenhouse under delayed phenological period[J]. *Water Saving Irrigation*, 2016(12):27-31.
- [22] 冯耀祖.滴灌施肥条件下'全球红'葡萄水肥耦合效应研究[D].北京:中国农业大学,2006.
- FENG Y Z. Research report for coupling effects of water and fertilizer on yield and quality of 'Red Globe' grape under fertigation[D]. Beijing: China Agricultural University, 2006.
- [23] 赵春艳.滴灌葡萄水肥耦合效应研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2005.
- ZHAO CH Y. Response of interaction for water and fertilizer of grape with drip irrigation[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2005.
- [24] GONG P, LIU H, HE X. Study on effect of water-fertilizer coupling on water consumption and growth of young grape [C] // International Conference on Civil, Transportation and Environment. France: Atlantis Press, 2016: 389-400.
- [25] 罗 顺.膜下滴灌水肥对酿酒葡萄生长和产量的影响[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2009.
- LUO SH. The influence of fertilizer and underfilm drip irrigation to growth and production to cultivation of grape making wine [D]. Yangling Shaanxi: Northwest A&F University, 2009.
- [26] 何建斌.极端干旱区滴灌葡萄水肥耦合效应研究[D].新疆石河子:石河子大学,2013.
- HE J B. Research on coupling effect of water and fertilizer of grape under drip irrigation condition in extremely arid regions[D]. Shihezi Xinjiang: Shihezi University, 2013.
- [27] 李昭楠,李 唯,刘七军,等.戈壁荒漠区膜下滴灌对酿酒葡萄生理特性的影响[J].*干旱地区农业研究*,2014,32(1):177-182.
- LI ZH N, LI W, LIU Q J, *et al.* The physiological characteristic impacts of drip irrigation under film mulch to wine grape in Gobi Desert Region[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2014, 32(1):177-182.
- [28] 郭绍杰,吴新宏,李 铭,等.水肥耦合对新疆'克瑞森无核'葡萄产量的影响[J].*江苏农业科学*,2013,41(10):125-126.
- GUO SH J, WU X H, LI M, *et al.* Effects of water and fertilizer coupling on yield of 'Crimson Seedless' in Xinjiang [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(10):125-126.
- [29] 孟 蕊,王亚杰,张伯虎,等.'澳洲青苹'果实解袋后果皮总花色苷合成的变化[J].*食品科学*,2015,36(22):216-221.
- MENG R, WANG Y J, ZHANG B H, *et al.* Anthocyanin biosynthesis in the apple skin of 'Granny Smith' after bag removal[J]. *Food Science*, 2015, 36(22):216-221.
- [30] 李合生,孙 群,赵世杰,等.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:201-202.
- LI H SH, SUN Q, ZHAO SH J, *et al.* The Experiment Principle and Technique on Plant Physiology and Biochemistry[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000:201-202.
- [31] 曹健康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007:28-30.
- CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Experimental Guidance for Physiology and Biochemistry on Postharvest Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007:28-30.
- [32] JAYAPRAKASHA G K, SINGH R P, SAKARIAH K K.

- Antioxidant activity of grape seed(*Vitis vinifera*) extracts on peroxidation models in vitro[J]. *Food Chemistry*, 2001, 73(3):285-290.
- [33] 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 H. Experimental Specification of Grape and Wine [M]. Xi'an:Xi'an Cartographic Press, 1999:180-181.
- [34] 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.
- [35] 艾丽丽,张振文. 沙城产区主栽酿酒葡萄品质的研究[J]. *西北农业学报*, 2011, 20(8):116-120.
AI L L, ZHANG ZH W. The research on the quality of main wine grapes in Shacheng region[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2011, 20(8):116-120.
- [36] 龚 萍. 北疆滴灌葡萄水肥耦合效应研究[D]. 新疆石河子:石河子大学, 2014.
GONG P. Study on the coupling effect of water and fertilizer in drip irrigation grape[D]. Shihezi Xinjiang, Shihezi University, 2014.
- [37] JUNQUERA P, LISSARRAGUE J R, JIMENEZ L, et al. Long-term effects of different irrigation strategies on yield component, vine vigour, and grape composition in cv. 'Cabernet Sauvignon' (*Vitis vinifera* L.) [J]. *Irrigation Science*, 2012, 30(5):351-361.
- [38] 周罕觅,张富仓, ROGER K, 等. 水肥耦合对苹果幼树产量、品质和水肥利用的效应[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(12):173-183.
ZHOU H M, ZHANG F C, ROGER K, et al. Effects of water coupling on yield, fruit quality and water and fertilizer use efficiency of young apple tree[J]. *Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(12):173-183.
- [39] 周兴本. 水肥比对葡萄生长发育、氮代谢及水肥耦合效应的研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2015.
ZHOU X B. Studies on the grown and development, nitrogen metabolism and coupling effects under water-fertilizer ratio in grape[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2015.
- [40] 罗永华. 滴灌条件下设施葡萄生长特性及灌溉制度研究 [D]. 兰州:甘肃农业大学, 2012.
- LUO Y H. Growth characteristic and irrigation system research on protected grapes under drip irrigation [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2012.
- [41] ANNA P, BELN S, LUIS G, et al. Changes in phenolic contents during sparkling apple winemaking [J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2000, 51(2): 144-149.
- [42] 张 娟, 王晓宇, 田呈瑞, 等. 基于酚类物质的酿酒红葡萄品种特性分析 [J]. *中国农业科学*, 2015, 48(7): 1370-1382.
ZHANG J, WANG X Y, TIAN CH R, et al. Analysis of phenolic compounds in red grape varieties [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(7):1370-1382.
- [43] MATTHEWS M A, NUZZO V. Berry size and yield paradigms on grapes and wines quality [J]. *Acta Horticulturae*, 2007, 754(56):423-436.
- [44] KENNEDY J A, SAUCIER C, GLORIES Y. Grape and wine phenolics: history and perspective [J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2006, 57(3): 239-248.
- [45] LUAN L Y, ZHANG ZH W, XI ZH M, et al. Brassinosteroids regulate anthocyanin biosynthesis in the ripening of grape berries [J]. *South African Journal of Enology & Viticulture*, 2013, 34(2):196-203.
- [46] 刘树文, 何 玲, 任玉华. 葡萄果实中花色素合成及其影响因素 [J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 1999(2):79-81.
LIU SH W, HE L, REN Y H. Progress in anthocyanin biosynthesis and influence factors in grape berries [J]. *Sino-overseas Grapevine and Wine*, 1999(2):79-81.
- [47] DRY P R, LOVEYS B R, ILAND P G, et al. Vine manipulation to meet fruit specifications [C] // Proceedings of the 10th Australian Wine Industry Technical Conference. Urrbrae: Australian Wine Research Institute, 1999: 208-214.
- [48] NADAL M, AROLA L. Effects of limited irrigation on the composition of must and wine of Cabernet Sauvignon under semi-arid conditions [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 91(21):10148-10152.

Effects of Water and Fertilizer Coupling on Growth and Quality of Wine Grape under Drip Irrigation

SHI Xingyun¹, LI Qiang¹, ZHANG Jun¹, JIN Na¹, WANG Xin¹,
WANG Duowen¹, MU Desheng¹ and XU Shanshan²

(1. Wuwei Academy of Forestry, Wuwei Gansu 733000, China; 2. Wuwei Management
Office for Forestry and Fruit Industry, Wuwei Gansu 733000, China)

Abstract In order to understand and provide the basic theory for the effects of different water and fertilization combination on growth and quality of wine grape under drip irrigation, the renowned wine grape 'Marselan' as the material, we conducted the field experiment with the four different dose applications of water and fertilizer treatments, which aimed to elucidate the optimal combination of water and fertilization for proper wine grape development. The results showed that the proper irrigation and fertilization could significantly affect shoot growth, fruit size index and phenolic compounds, but had no influence on color parameter; furthermore, under certain conditions, the growing development and quality of wine grape increased firstly and decreased later with the increment of fertilization. Thus, proper irrigation and fertilization could improve shoot growth and fruit quality, either too much or too little will reduce the quality of wine grape. All the results indicated that the $2\ 700\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ water and $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=160\text{-}120\text{-}210\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ fertilizer combining application could significantly promote the shoot growth with highly fresh weight and large length and transverse diameter of grape berries, meanwhile this treatment could also improve the total mass fraction of soluble solid, reduce sugar and the phenolic compounds, which the optimal communication of irrigation and fertilization could affect the growth, development and quality of wine grape.

Key words Wine grape; Marselan; Drip irrigation; Water and fertilizer; Quality

Received 2018-08-14 **Returned** 2018-10-23

Foundation item The National Natural Science Foundation of China (No. 31460499); the Forestry Science & Technology Project of Gansu Province, China (No. 2015kj023, No. 2015kj017).

First author SHI Xingyun, male, forestry engineer. Research area: grape cultivation techniques. E-mail: shixingyunlove@163.com

Corresponding author XU Shanshan, female, forestry engineer. Research area: economic forest cultivation. E-mail: 0603xss@163.com

(责任编辑: 顾玉兰 Responsible editor: GU Yulan)