

滴灌量和有机无机肥等氮配施对葡萄产量及品质的影响

常宏达^{1,2}, 吕德生^{1,2}, 王振华^{1,2}, 朱艳^{1,2}, 李海强^{1,2}, 李诗莹^{1,2}

(1. 石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832000; 2. 现代节水灌溉兵团重点实验室, 新疆 石河子 832000)

摘要:为探求新疆吐哈盆地极端干旱区不同灌水量和有机无机肥配施比例对葡萄灌溉水分利用效率(*IWUE*)、作物耗水量(*ET*)、产量及品质的影响,设置 W1、W2、W3 和 W4 四个灌水水平,灌水量分别为 630、675、720、765 mm,以等氮配施为原则设置 4 个有机肥(OF)和无机肥(CF)配比处理,分别为 F1(70%OF+30%CF)、F2(50%OF+50%CF)、F3(30%OF+70%CF)和对照 CK(100%CF),采用完全组合设计,共 16 个处理。结果表明:各水肥处理对无核白葡萄 *IWUE* 有显著性影响,其中 W3F2 处理 *IWUE* 最大;葡萄耗水量随生育期的推进表现为先增后减再增再减,在浆果生长期达到最大;葡萄产量、单串重和百粒重随灌水水平增大呈先增大后减小的趋势,均在 W3F2 达到最大值,较对照处理分别提高 24.25%~50.26%、25.26%~64.65%及 47.76%~162.00%;各处理可溶性固形物、Vc 和还原性糖含量较对照处理分别增加 4.09%~25.95%、3.21%~27.80%及 15.53%~40.59%,可滴定酸含量降低 1.69%~22.96%,其中 W4F2 处理可溶性固形物及 Vc 含量最高,W3F2 处理还原性糖含量最高。研究认为 W3F2 处理(灌溉定额 720 mm、有机肥 50%+无机肥 50%)是较为合理的滴灌葡萄灌溉制度。

关键词:滴灌量;有机无机肥配施;葡萄;产量;品质
中图分类号:S663.1;S275.6;S147.2 **文献标志码:**A

Effects of drip irrigation water amount and equal nitrogen applying organic-inorganic fertilizer ratios on grape yield and quality

CHANG Hongda^{1,2}, LV Desheng^{1,2}, WANG Zhenhua^{1,2},
ZHU Yan^{1,2}, LI Haiqiang^{1,2}, LI Shiyang^{1,2}

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China;
2. Bintuan Key Laboratory of Modern Water-saving Irrigation, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: To explore the effects of different irrigation water amounts and organic-inorganic fertilizer ratios on the irrigation water use efficiency (*IWUE*), water consumption (*ET*), yield, and quality of grapes in the extreme arid area of the Turpan-Hami Basin, Xinjiang, a field experiment with four irrigation levels of W1, W2, W3, and W4 corresponding to 630, 675, 720 mm and 765 mm, respectively was set up. Four organic fertilizer (OF) and inorganic fertilizer (CF) ratio treatments, corresponding to F1 (70% OF+30% CF), F2 (50% OF+50% CF), F3 (30% OF+70% CF) and control CK (100% CF) were used. The experiment adopted a complete combination design, with a total of 16 treatments. The study results showed that all water and fertilizer treatments had significant effects on the *IWUE* of “seedless white” grapes. Among them, the W3F2 treatment had the largest *IWUE*. The water consumption of grapes increased and then decreased, then increased and then decreased with the growth period, reaching the maximum during the berry growth period. The grape yield, single cluster weight, and 100-grain weight showed a trend of first increasing and then decreasing with the increase of irrigation water level. All values reached the maximum in W3F2, which were increased by 24.25%~50.26%, 25.26%~64.65%, and 47.76%~162.00%, respectively when comparing with the control treatment. Compared with the control treatment, the soluble solids, vitamin C, and reducing sugar content of each water and fertilizer treatment were increased by 4.09%~25.95%,

3.21%~27.80%, and 15.53%~40.59%, and the titratable acid content decreased by 1.69%~22.96%. Among them, W4F2 treatment had the highest soluble solids and vitamin C content, and W3F2 treatment had the highest content of reducing sugars. The findings from the study indicated that a reasonable drip irrigation grape irrigation system was the W3F2 treatment (irrigation quota 720 mm, organic fertilizer 50% + inorganic fertilizer 50%).

Keywords: drip irrigation water amounts; organic-inorganic fertilizer application; grape; yield; quality

2014 年至今,我国葡萄种植面积位居世界第二,产量稳据世界第一^[1]。新疆作为我国最大的葡萄种植区,占全国种植面积的 19%,总产量的 24%。吐哈地区光热资源丰富,昼夜温差大,占新疆葡萄种植面积的 28.4%,总产量的 40%^[2],是我国著名的葡萄生产基地^[1]。水肥利用效率低下一直是制约新疆农业发展的重要原因。自 1974 年我国引入滴灌技术,我国滴灌技术理论的发展有巨大的提高,滴灌技术体系也在不断完善^[3]。滴灌技术在节水的同时,将水分均匀地施加在作物根系周围,为作物提供充足的水分与肥料。因此,新疆滴灌葡萄的种植模式,使得葡萄种植在节水的同时获得增产的效果^[4]。

无机肥中含有大量作物生长发育必须的营养元素,能有效提高作物产量^[5],但 20 世纪 80 年代至今,我国无机肥使用量增加 325.8%,而耕地面积仅增加 53.0%^[2]。过度使用无机肥造成的水污染、土壤板结以及土壤酸化等现象日益严重^[6]。有机肥中富含大量有机质,能防止土壤被侵蚀,改良土壤结构,保持土壤温度,增大土壤微生物和酶的活性,降解重金属含量^[7],除了必要的氮磷钾元素外,还富含各种微量元素^[8],对于作物的生长发育、高产优质有良好的效果。但同时,有机肥也存在着养分含量较低,肥效发挥较慢,必须大量施加的缺陷^[9]。因此,结合无机肥高效性和有机肥长效性^[10-11],确定合理配比施用有机肥和无机肥是现代农业发展研究热点。

2019 年新疆无机肥使用量高达 254 万吨,而有机肥仅有 59 万吨^[2],一是无机肥施用方便,耗费人力较少,二是缺乏合理的灌溉施肥制度,无法合理施用有机肥。国内对有机肥配施的研究虽多,但针对其对吐哈盆地无核白葡萄生长发育及产量品质的影响鲜有研究,极端干旱地区有机肥使用效果尚不明确。因此本研究以提高新疆吐哈盆地滴灌葡萄的水肥利用效率为目标,通过水肥双因素耦合试验探究适合于吐哈盆地葡萄的有机无机配施比例,旨在为建立高效高产的水肥灌溉制度、促进地区社会经济的可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2020 年 4 月至 2020 年 10 月在新疆生产建设兵团第十三师哈密垦区灌溉试验站(北纬 42°41'57",东经 93°37'22")进行。试验区位于新疆维吾尔自治区的最东端,全年干燥少雨,昼夜温差大,年平均气温 9.8℃,年平均降水量仅 33.8 mm,年蒸发量高达 3 300 mm,年均日照时间 3 358 h,全年太阳总辐射量 6 397.35 MJ·m⁻²,≥10℃ 积温 4 058.3℃,无霜期 182 d,年平均风速 2.3~4.9 m·s⁻¹,盛行偏东风。地下水埋深大于 8.0 m,灌溉水源采用地下井水。试验地各小区长 46.0 m,宽 7 m,株距 1 m,行间距 5 m,滴灌带铺设模式为一行三管。

哈密地处新疆东北部,属极端干旱地区,2020 年全生育期总降水量仅 16.1 mm,主要集中在 6—8 月,故作物生长发育主要依靠灌溉水。由图 1 可知,在全生育期,无核白葡萄的参考作物蒸发蒸腾量表现为先增大后减小的趋势。而在全生育期动态变化过程中,参考作物蒸发蒸腾量在生育期前有较多的峰值,主要在 5 月 10 日—7 月 20 日,这是由于当地在 4 月 10 日—7 月 15 日间有较多的大风天气,峰值的出现并无明显规律。且 4 月 20 日至 8 月 20 日间,当地气温有明显的上升,平均气温为 26.43℃,日平均气温最高达到 32.06℃。

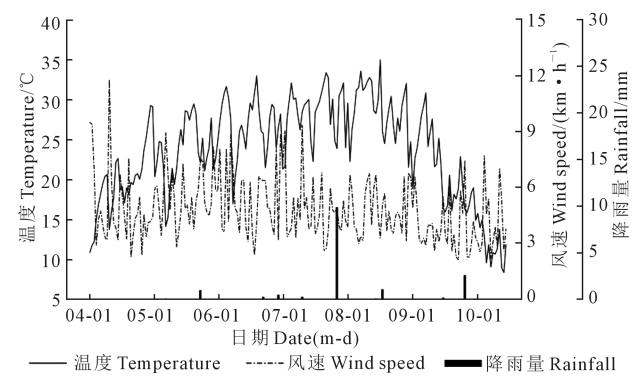


图 1 试验地温度、风速及降雨量
Fig.1 Temperature, wind speed and rainfall in the test area

1.2 试验设计

以新疆生产建设兵团第十三师哈密垦区灌溉试验站内 17 a(2003 年定植)成龄无核白葡萄树为

试验材料,试验设置 630、675、720 mm 和 765 mm 4 个灌水水平。依照等氮替换原则,以 100%CF 为对照(CK),设置 3 种有机化肥(OF)和无机化肥(CF)配施方案:F1(70%OF+30%CF)、F2(50%OF+50%CF)、F3(30%OF+70%CF)。试验采用完全组合设计,共 16 个小区。有机肥选用当地常用水溶性有机肥黄腐酸钾(其中 N=2.32%,P₂O₅=1.10%,K₂O=0.97%,由于磷钾含量过低,故不纳入计算,由无机肥补齐);无机肥分别选用尿素(N=46.4%)、硫酸钾(K₂O=57%)、磷酸氢二铵(P₂O₅=60.5%),各无机肥以 N:K₂O:P₂O₅为 2:1:2 比例施加。灌水及施肥设计方案见表 1。全生育期共计灌水 20 次,施肥 10 次,共计 163 d,具体施肥时间见表 2。

表 1 各处理灌水和施肥情况

Table 1 Water and fertilization of different treatments					
处理 Treatment	灌水量 Irrigation volume /mm	施肥量 Fertilizer rate/(kg·hm ⁻²)			
		有机肥 Organic fertilizer	无机肥 Inorganic fertilizer		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
W1F1	630	9000	90	150	300
W1F2	630	6500	150	150	300
W1F3	630	4000	210	150	300
W1CK	630	0	300	150	300
W2F1	675	9000	90	150	300
W2F2	675	6500	150	150	300
W2F3	675	4000	210	150	300
W2CK	675	0	300	150	300
W3F1	720	9000	90	150	300
W3F2	720	6500	150	150	300
W3F3	720	4000	210	150	300
W3CK	720	0	300	150	300
W4F1	765	9000	90	150	300
W4F2	765	6500	150	150	300
W4F3	765	4000	210	150	300
W4CK	765	0	300	150	300

表 2 灌水及施肥时间

Table 2 Irrigation and fertilization time design			
生育期 Growth period	灌水次数 Irrigation times	灌水间隔 Irrigation interval/d	施肥时间 Fertilizer time(m-d)
萌芽期 Infancy	1	12	04-16
新梢生长期 New shoot growth period	4	9	04-28
			05-16
			06-03
花期 Flowering	1	7	06-17
浆果生长期 Berry growth period	7	7	07-01
			07-15
			07-29
浆果成熟期 Berry maturity	5	7	08-12
			08-26
枝蔓成熟期 Vine maturity	2	12	

每次灌水前后,在距葡萄根部 20 cm 处选取 3 个样方,使用土钻采集 0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60、60~70、70~80 cm 土层土壤样品,使用烘干法测定土壤含水率。在浆果成熟期末,每个处理随机选取 5 棵植株进行产量测定,同时采取葡萄鲜样进行品质测定。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 葡萄产量与品质 在浆果成熟期末,每个小区随机选定 5 棵葡萄树进行采摘称重,取平均值;每棵随机选取 10 串葡萄称重,取平均值;从每串葡萄上、中、下 3 个部位摘取果实,共计 100 颗,称重后取平均值。

可溶性固形物含量采用日本 ATAGO 公司生产的手持数显折射仪 PAL-1 测定^[12];可滴定酸含量采用酸碱滴定法测定^[13];Vc 含量采用分光光度法测定^[14];还原性糖含量采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[15]。

1.3.2 灌溉水分利用效率 灌溉水分利用效率(IWUE,kg·m⁻³)的计算公式^[16]:

$$IWUE = Y/I \tag{1}$$

式中,Y 为各处理无核白葡萄产量(kg·hm⁻³),I 为各处理全生育期灌水量(m³·hm⁻²)。

1.3.3 作物耗水量 作物耗水量(ET,mm)的计算公式^[17]:

$$ET = P + I + U - D - R - \Delta W \tag{2}$$

式中,ET 为作物生育期内的耗水量(mm),P 为有效降水量(mm),U 为地下水补给量(mm),D 为地下渗漏量(mm),R 为地表径流量(mm),ΔW 为 0~80 cm 土层含水量的变化(mm)。

1.4 数据处理

使用 Microsoft Excel 2017 进行数据统计,SPSS 22.0 进行方差分析,Origin 2017 进行数据绘图。

2 结果与分析

2.1 滴灌量与有机无机肥配施对灌溉水分利用效率(IWUE)及作物耗水量(ET)的影响

由表 3 可以看出,灌水因素(W)、施肥因素(F)及水肥耦合(W×F)均对葡萄 IWUE 的影响达到极显著水平(P<0.01)。在同一施肥水平下,随着灌水水平的增大,IWUE 呈现先增大后减小的规律,在 W3 灌水水平下达到最大,分别比 W1、W2 和 W4 灌水水平提高 5.81%~23.78%、1.51%~6.58% 及 3.87%~11.13%(图 2)。在 W2、W3 和 W4 灌水水平下,相比 CK 施肥水平,配施有机肥处理 IWUE 提高 8.34%~26.37%,且 F2 处理与 F1、F3 和 CK 施肥

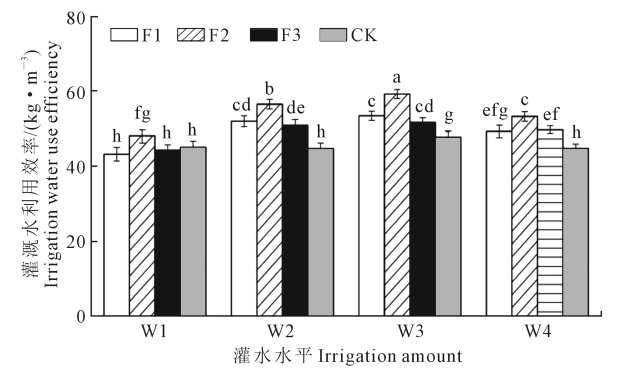
水平间均有显著差异($P<0.05$)。而在 W1 灌水水平下,F1、F3 和 CK 施肥水平间无显著差异($P>0.05$)。

灌水因素对葡萄各生育期耗水量及总耗水量影响均达到极显著水平($P<0.01$),而施肥因素对萌芽期无显著性影响(表 4)。随着生育期的推进,葡萄 ET 呈现先增大后减小、再增大再减小的趋势,并在浆果生长期达到最大值。在同一施肥水平下,同一生育期内,随着灌水量的增加, ET 逐渐增加。以浆果生长期为例,W4 的 ET 分别比 W1、W2 和 W3 提高 13.84%~18.69%,3.52%~6.01%和 1.58%~2.97%。在同一灌水水平下,同一生育期内,随着有机肥含量的增加, ET 逐渐增大。同样以浆果生长期为例,与 CK 相比,F1、F2 和 F3 的 ET 分别提高 6.98%~10.02%,2.20%~8.09%和 1.11%~3.82%。

2.2 滴灌量与有机无机肥配施对葡萄产量的影响

由表 5 可见,灌水因素(W)、施肥因素(F)及水肥耦合($W\times F$)均对葡萄产量的影响达到极显著水平($P<0.01$)。在同一施肥水平下,随着灌水水平的增大,葡萄总产量呈现先增大后减小的趋势,在 W3 灌水水平下达到最大,分别比 W1、W2 和 W4 灌水水

平提高 20.93%~41.48%、8.28%~13.69%及 0.26%~4.60%。在同一灌水水平下,相比单施无机肥,有机肥和无机肥 3 种配施分别提高 10.16%~16.25%、6.71%~26.38%及 8.33%~13.75%。



注:不同字母表示同一灌水水平下施肥处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Different letters in the same irrigation level indicate significant different ($P<0.05$) among fertilization treatments.

图 2 滴灌量与有机无机肥配施对葡萄灌溉水利用效率的影响
Fig.2 Effect of irrigation amount and organic-inorganic fertilizer application on the grape irrigation water use efficiency

表 3 滴灌量与有机无机肥配施对灌溉水利用效率(IWUE)的双因素方差分析(F 值检验)

指标 Index	W1	W2	W3	W4	F1	F2	F3	CK	F_W	F_F	$F_{W\times F}$
$IWUE/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	45.2	51.08	53.06	49.32	49.54	54.34	49.18	45.6	186.99 **	149.19 **	90.28 **

注: * 和 ** 分别表示 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平存在显著性差异,下同。
Note: * and ** indicate significant differences at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively, the same below.

表 4 滴灌量与有机无机肥配施对不同生育期滴灌葡萄耗水量(ET)的影响/mm
Table 4 Effect of irrigation amount and organic-inorganic fertilizer application on water consumption of grape at different growth stages

处理 Treatment	萌芽期 Infancy	新梢生长期 New shoot growth period	花期 Flowering	果实生长期 Berry growth period	浆果成熟期 Berry maturity	枝蔓成熟期 Vine maturity	总耗水量 Total water consumption
W1F1	74.50±3.67cd	155.92±7.14de	27.64±1.31d	260.07±15.73cd	165.75±7.67cd	65.47±0.97fg	739.35±21.74f
W1F2	74.21±3.66bcd	152.40±6.08def	27.22±1.38d	252.03±13.95de	157.34±10.53ef	64.71±1.72fg	727.91±6.24fg
W1F3	70.92±4.00d	146.86±6.87ef	26.73±1.62d	245.78±12.47e	153.27±6.74fg	62.31±1.12g	705.87±11.4gh
W1CK	70.99±4.25d	144.39±4.86f	26.30±0.92d	233.09±15.21e	151.53±8.04g	62.00±1.89g	698.30±6.27h
W2F1	79.28±4.06bc	163.90±8.54bcd	30.33±1.02cd	281.05±8.35ab	171.15±8.84bc	67.47±1.81ef	791.52±7.22cd
W2F2	76.19±2.77bc	162.65±8.40bcd	29.42±1.09cd	274.27±9.94bcd	169.62±7.89bc	66.37±1.78ef	777.44±13.43de
W2F3	75.54±3.06bc	159.94±8.13cde	29.31±1.27cd	264.35±9.72bc	161.55±9.92de	65.40±1.79fg	756.10±27.63ef
W2CK	75.12±3.28bc	155.02±9.47de	28.91±2.15d	257.33±11.96de	161.05±7.06cd	64.35±1.65fg	742.78±9.51f
W3F1	83.34±3.09a	179.88±6.12a	33.89±1.36ab	286.72±7.85ab	180.44±7.66ab	77.88±1.67ab	836.54±13.77b
W3F2	81.03±3.81abc	173.32±5.46abc	33.59±1.94ab	282.35±12.56abc	177.90±12.12ab	74.38±1.93bc	800.56±9.72bc
W3F3	79.56±3.80abc	162.29±5.53bcd	32.35±2.55ab	279.86±13.63abc	172.78±13.30bc	71.30±1.11cd	800.13±20.48cd
W3CK	79.90±5.59abc	158.24±10.89de	31.51±3.86bc	273.76±16.46abc	171.41±12.34bc	69.44±1.92de	784.27±26.40de
W4F1	83.34±3.09a	186.80±6.12a	35.20±1.88a	295.49±14.19a	191.70±6.38a	80.81±3.58a	870.33±18.26a
W4F2	81.62±5.69ab	178.20±9.27a	34.41±2.57ab	290.14±11.42ab	187.24±7.05ab	76.67±2.21b	845.28±16.08ab
W4F3	81.99±4.96ab	176.02±7.61ab	35.10±1.42a	282.83±7.93ab	179.41±9.49ab	74.94±2.30b	830.30±14.82b
W4CK	81.12±3.87abc	173.90±5.88abc	35.52±1.62a	279.75±12.41abc	174.07±8.05bc	75.80±2.33b	817.17±12.82bc
双因素方差分析(F 值检验) Two-factor analysis (F value test)							
W	13.163 **	33.081 **	48.31 **	18.68 **	19.11 **	126.92 **	131.40 **
F	0.39	7.10 **	0.44	3.69 *	4.57 **	14.69 **	20.73 **
W×F	0.28	0.49	0.41	0.18	0.12	1.45	0.11

注:不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$); * 和 ** 分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平下差异显著。下同。
Note: Different letters indicate significant difference ($P<0.05$); * and ** indicate significant difference at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively. The same below.

灌水和施肥因素对葡萄单串重和百粒重的影响见表 5。灌水因素、施肥因素及水肥耦合均对葡萄单串重和百粒重的影响均达到极显著水平($P<0.01$)。葡萄单串重和百粒重均在 W3F2 处理达到最大,W1CK 处理均最低。在同一施肥水平下,随着灌水水平的增大,葡萄单串重呈现逐渐增大的趋势,在 W3 灌水水平下达到最大,分别比 W1、W2 和 W4 灌水水平提高 23.43%~37.71%、13.23%~15.01%及 0.35%~0.48%;葡萄百粒重呈现先增大后减小的趋势,在 W3 灌水水平下达到最大,分别比 W1、W2 和 W4 灌水水平提高 90.07%~142.94%、29.46%~60.97%及 1.13%~21.47%。在同一灌水水平下,葡萄单串重和百粒重,F1、F2 和 F3 施肥水平相比单施 CK 施肥水平分别提高 11.44%~25.45%和 18.36%~44.78%,20.31%~33.39%和 15.60%~47.76%,4.69%~18.18%和 13.47%~42.91%。

2.3 滴灌量与有机无机肥配施对葡萄品质的影响

灌水因素对可溶性固形物、可滴定酸和维生素 C 含量的影响均达到显著水平($P<0.05$),施肥因素对可溶性固形物含量的影响达到显著水平($P<0.05$,表 6)。W4F2 处理葡萄可溶性固形物和维生素 C 含量最高;W4CK 处理葡萄可滴定酸含量最高;W3F2 处理葡萄还原性糖含量最高。W1CK 处理葡萄

表 5 滴灌量与有机无机肥配施对葡萄产量的影响

Table 5 Effect of irrigation amount and organic-inorganic fertilizer application on the grape yield			
处理 Treatment	产量/(kg·hm ⁻²) Yield	单串重/g Single string weight	百粒重/g One hundred grain weight
W1F1	18156±757f	573±16i	172±6h
W1F2	20213±795e	616±15g	163±5h
W1F3	18619±567f	536±15jk	160±5h
W1CK	18942±685f	512±11k	151±4i
W2F1	23421±679d	690±20e	245±5f
W2F2	25462±556c	733±17d	246±7f
W2F3	22918±717d	650±9fg	255±9ef
W2CK	20147±645e	550±18j	207±8g
W3F1	25687±586c	786±17b	388±5ab
W3F2	28463±592a	843±9a	396±7a
W3F3	24816±623c	736±13cd	383±7b
W3CK	22907±858d	632±16gh	268±6d
W4F1	25169±857c	750±13cd	335±9c
W4F2	27211±642b	840±18a	326±10c
W4F3	25384±527c	763±21c	323±8c
W4CK	22847±574d	673±10ef	265±8de

双因素方差分析(F 值检验)
Two-factor analysis (F value test)

W	297.718 **	587.071 **	2238.406 **
F	94.548 **	323.462 **	291.932 **
W×F	6.458 **	10.308 **	33.082 **

可溶性固形物、维生素 C 和还原性糖含量均最低;W1F2 处理葡萄可滴定酸含量最低。

在同一施肥水平下,葡萄可溶性固形物、可滴定酸和维生素 C 呈现逐渐增大的趋势,W4 达到最大含量,分别比 W1、W2 和 W3 增加 14.96%~20.27%、12.34%~26.92%和 15.86%~41.71%,9.05%~18.00%、0.62%~11.76%和 3.73%~23.69%,3.18%~7.77%、1.69%~2.87%和 0.11%~4.89%;葡萄还原性糖含量随着灌溉水平的增大而呈现先增大后减小的趋势。在 W3 灌水水平可溶性固形物含量达到最大,分别比 W1、W2 和 W4 灌水水平提高 15.52%~23.67%、0.57%~13.86%及 0.08%~1.58%。

在同一灌水水平下,相比单施无机肥,F1、F2 和 F3 施肥水平可溶性固形物、维生素 C 和还原性糖含量分别提高 2.25%~8.72%、3.21%~21.58%和 20.49%~32.94%,4.49%~27.80%、18.88%~25.95%和 28.57%~40.59%,10.48%~18.34%、11.06%~18.11%和 15.53%~28.41%;可滴定酸含量分别降低 1.24%~8.84%、2.90%~22.96%及 1.69%~12.19%。

3 讨 论

在新疆蒸发量大且少雨的气候条件下,葡萄作为高耗水作物, $IWUE$ 的测定对于研究葡萄水肥调控的效果有着重要意义^[16,18-19]。本试验得出,从灌水角度,随着灌溉水平增大,葡萄 $IWUE$ 表现为先增

表 6 滴灌量与有机无机肥配施对葡萄品质的影响

Table 6 Effect of irrigation amount and organic-inorganic fertilizer application on the grape quality				
处理 Treatment	可溶性固形物 Total soluble solid/%	可滴定酸 Titratable acid/%	Vc /(mg·100g ⁻¹)	还原性糖/% Reducing sugar
W1F1	17.76±0.493ef	0.4619±0.0224de	6.44±0.346fg	19.4±1.22de
W1F2	20.65±0.589c	0.4071±0.0242f	6.52±0.467fg	20.7±1.48d
W1F3	19.19±0.668d	0.4462±0.0266ef	6.93±0.282ef	18.6±1.17ef
W1CK	17.37±0.553f	0.5006±0.0179cd	6.24±0.573g	16.1±1.07g
W2F1	18.54±0.431de	0.5228±0.0254abc	7.61±0.447de	22.6±1.14c
W2F2	21.77±0.585c	0.4623±0.0307e	7.47±0.232de	23.9±1.04abc
W2F3	20.58±0.561c	0.5084±0.0189bc	8.03±0.328cd	20.2±1.52de
W2CK	17.39±1.096f	0.5293±0.0336abc	6.97±0.133ef	17.0±0.93fg
W3F1	21.36±0.727c	0.5317±0.0127abc	8.38±0.501bc	23.9±1.12abc
W3F2	23.74±0.603ab	0.5117±0.0311bc	9.01±0.346ab	25.6±1.23a
W3F3	22.91±0.917b	0.5404±0.0223abc	8.55±0.441abc	23.0±0.81c
W3CK	20.52±0.737c	0.5562±0.0221ab	7.24±0.308e	18.6±1.24ef
W4F1	20.70±1.042c	0.5326±0.0307abc	8.79±0.626abc	24.1±1.29abc
W4F2	23.98±0.807a	0.5167±0.0273abc	9.24±0.704a	25.2±1.15ab
W4F3	21.64±0.673c	0.5559±0.0105abc	8.54±0.354abc	23.5±1.37bc
W4CK	19.04±0.334d	0.5624±0.0252a	7.23±0.518ef	18.3±1.25ef

双因素方差分析(F 值检验)
Two-factor analysis (F value test)

W	4.240 *	5.708 *	9.101 *	2.627
F	3.594 *	2.765	1.426	3.272
W×F	0.177	0.226	0.304	0.16

大后减小的趋势,过高的灌水导致其降低。从施肥角度,相比 CK 施肥水平,有机肥和无机肥 3 种施肥水平均能显著提高葡萄的 *IWUE*;其中 F2 施肥水平比 F1 和 F3 施肥水平分别提高 8.11%~11.33% 和 7.19%~14.68%。这与刘星等^[20]研究结果不同。可能是由于新疆地区降雨稀少,蒸发量大,且试验区土壤以沙壤土为主,导致低灌水水平下灌溉水被植物利用较少,*IWUE* 较低。

作物耗水规律是地区水利资源规划、灌排工程规划及设计和农田灌排工程运行管理的基本依据,在地区农业生产实践中占据重要地位^[21]。本研究结果表明,葡萄 *ET* 在浆果生长期达到最大,在花期达到最小。这与侯裕生等^[21]的研究结果相同。这是由于浆果生长期是葡萄发育结果的最关键时期,需要大量的水分和养分。而在同一灌水水平下,葡萄 *ET* 随着有机肥配施比例的增多而逐渐增大。这可能是因为有机肥能够改善土壤结构,改善土壤透气性,增加了土壤水分蒸发^[22-24],使得作物生育期耗水量(*ET*)增大。而由于试验站土壤以沙壤土为主,本身土壤透气性较好,所以 *ET* 变化较小。

现代化的灌溉制度,要求适量的水分和合理的肥料配比及配施^[12,25-26]。本试验中,从灌水角度,随着灌水量的增大,无核白葡萄产量、单串重及百粒重均表现出先增大后降低的趋势,而过多的灌水不利于葡萄产量的提高。这可能是由于过多的灌水抑制作物生长,延长成熟进程。从施肥角度,F1、F2 和 F3 施肥水平总产量、单串重和百粒重均显著高于 CK 施肥水平,表现为 F2>F1>F3>CK。分析原因可能是有机肥和无机肥的配施中,大量的有机质减少氮肥的固定,使得氮肥随水的质流运动效率更高,更容易被吸收,提高了养分的利用率^[27-28];滴灌模式将水分集中在植物周围,为植物根系提供良好的水分环境,促使根系发育,进而促进植物生长发育^[29]。而过多的有机肥反而抑制土壤中有效养分的作用,使其作用较慢,从而对作物的吸收产生一定抑制效果,导致产量降低。

葡萄品质是衡量作物营养、确定其经济价值的重要指标^[30-32],合理的灌溉制度在影响葡萄生长的同时,也能显著提高葡萄各项品质指标,达到营养价值和经济价值的提高^[33-34]。本研究表明,从灌溉角度,随着灌水水平的增加,可溶性固形物、可滴定酸和维生素 C 含量呈现逐渐增加的趋势,而还原性糖表现为先增大后减小。这可能是由于过高的灌水对还原性糖有一定的稀释作用,从而导致葡萄品质下降^[35]。施用有机肥能够显著提高葡萄品

质^[36],而配施有机肥不仅能够影响作物产量构成要素,提升作物质量^[37],还能提高作物品质。本试验表明,从施肥角度而言,F2 施肥水平的可溶性固形物含量比 F1 和 F3 施肥水平分别提高 11.14%~17.42% 和 3.62%~10.81%,还原性糖含量比 F1 和 F3 施肥水平分别提高 4.56%~7.11% 及 7.23%~18.31%,维生素 C 含量比 F1 和 F3 施肥水平分别提高 1.24%~7.51% 及 5.38%~8.19%。这和左达等^[37]研究类似,说明合理的有机肥和无机肥配施改善了土壤环境,提高养分吸收利用^[38],保障植株生理功能的正常运转,对葡萄品质有一定的提高。

4 结 论

本试验研究了不同灌水量和有机无机肥配施对极端干旱区无核白葡萄的产量、灌溉水分利用效率、耗水量及品质的影响,得出以下结论:

1)随着灌水量的增大,灌溉水分利用效率呈现先增大后减小的趋势;不同配比有机肥中,F2 处理的灌溉水分利用效率比 F1、F3 分别提高 9.74% 和 10.38%。不同生育期内葡萄耗水量表现为先增后减再增再减的趋势,其中浆果生长期是葡萄需水最大的生育期。随着灌水量的增大,*ET* 表现为逐渐增大;随着有机肥配比比例的增大,*ET* 逐渐增大。

2)无核白葡萄产量和还原性糖随灌水水平的增大呈现先增大后减小的趋势,可溶性固形物、可滴定酸和维生素 C 呈现逐渐增大的规律;有机肥和无机肥配比 3 种施肥水平较单施无机肥施肥水平均可增加葡萄产量、可溶性固形物、维生素 C 和还原性糖含量,但降低了可滴定酸含量。

3)综合考虑作物产量、灌溉水分利用效率、作物耗水量及品质,研究认为 W3F2 处理,灌溉定额 720 mm,有机肥 50%+无机肥 50% ($N\ 150\ kg \cdot hm^{-2}$, $P_2O_5\ 150\ kg \cdot hm^{-2}$, $KCl\ 300\ kg \cdot hm^{-2}$) 是适合吐哈盆地滴灌无核白葡萄的灌溉施肥制度。

参 考 文 献:

- [1] 杨慧慧,王振华,何新林,等.极端干旱区葡萄滴灌耗水规律试验研究[J].节水灌溉,2011,(2):24-28,32.
YANG H H, WANG Z H, HE X L, et al. Experimental study on water consumption characteristics of grape under drip irrigation condition in extremely arid regions [J]. Water Saving Irrigation, 2011, (2): 24-28, 32.
- [2] 付凌晖,刘爱华.中国统计年鉴—2020[M].北京:中国统计出版社,2021.
FU L H, LIU A H. China statistical yearbook—2020[M]. Bei Jing: China Statistics Press, 2021.
- [3] 单宁,田军仓,闫新房,等.水肥热耦合对滴灌青贮玉米生长、光合及

- 产量的影响[J].节水灌溉,2021,(9):12-17.
- SHAN N, TIAN J C, YAN X F, et al. Effects of water, fertilizer and heat coupling on growth, photosynthesis and yield of silage maize under drip irrigation[J]. Water Saving Irrigation, 2021,(9): 12-17.
- [4] 刘洪波,张江辉,白云岗,等.极端干旱区成龄葡萄耗水特征分析[J].节水灌溉,2012,(11):5-8.
- LIU H B, ZHANG J H, BAI Y G, et al. Water consumption characteristics of mature grape in extreme arid region[J]. Water Saving Irrigation, 2012,(11): 5-8.
- [5] 刘钦普,濮励杰.中国粮食主产区化肥施用时空特征及生态经济合理性分析[J].农业工程学报,2019,35(23):119-127.
- LIU Q P, PU L J. Spatiotemporal variation of fertilizer utilization and its eco-economic rationality in major grain production areas of China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(23): 119-127.
- [6] 王志康,徐子恒,陈紫云,等.有机肥和解磷固氮菌配施对缺碳黄棕壤养分特性的协同效应[J].应用生态学报,2020,31(10):3413-3423.
- WANG Z K, XU Z H, CHEN Z Y, et al. Synergistic effects of organic fertilizer coupled with phosphate-solubilizing and nitrogen-fixing bacteria on nutrient characteristics of yellow-brown soil under carbon deficiency[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(10): 3413-3423.
- [7] 李小萌,陈效民,曲成闯,等.生物有机肥与减量配施化肥对连作黄爪瓜养分利用率及产量的影响[J].水土保持学报,2020,34(2):309-317.
- LI X M, CHEN X M, QU C C, et al. Effects of bio-organic fertilizer combined with reduced fertilizer on nutrient utilization and yield of continuous cropping cucumber[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(2): 309-317.
- [8] 宁川川,王建武,蔡昆争.有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展[J].生态环境学报,2016,25(1):175-181.
- NING C C, WANG J W, CAI K Z. The effects of organic fertilizers on soil fertility and soil environmental quality: a review[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2016, 25(1): 175-181.
- [9] 聂佳如.有机肥与化肥配施对土壤养分的影响研究[J].环境科学与管理,2016,41(9):52-55.
- NIE J R. Influence of organic manure and chemical fertilizer on soil nutrients[J]. Environmental Science and Management, 2016, 41(9): 52-55.
- [10] 周喜荣,张丽萍,孙权,等.有机肥与化肥配施对果园土壤肥力及鲜食葡萄产量与品质的影响[J].河南农业大学学报,2019,53(6):861-868.
- ZHOU X R, ZHANG L P, SUN Q, et al. Effects of combined organic fertilizer with chemical fertilizer on soil fertility in orchard and yield and quality of table grape[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2019, 53(6): 861-868.
- [11] 张璐,黄晶,高菊生,等.长期绿肥与氮肥减量配施对水稻产量和土壤养分含量的影响[J].农业工程学报,2020,36(5):106-112.
- ZHANG L, HUANG J, GAO J S, et al. Effects of long-term green manure and reducing nitrogen applications on rice yield and soil nutrient content[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(5): 106-112.
- [12] 侯裕生,王振华,李文昊,等.极端干旱区滴灌葡萄水肥适宜用量主成分分析法[J].排灌机械工程学报,2021,39(1):89-95.
- HOU Y S, WANG Z H, LI W H, et al. Principal component analysis method for suitable water and fertilizer doses of drip irrigation grape in an extreme arid area[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2021, 39(1): 89-95.
- [13] 叶群丽,李小梅,梁大伟.分光光度法测定黄果柑中维生素 C 的含量[J].四川化工,2019,22(6):24-27.
- YE Q L, LI X M, LIANG D W. Determination of vitamin C content in Huangguogan by spectrophotometry [J]. Sichuan Chemical Industry, 2019, 22(6): 24-27.
- [14] 陈屏昭,杜红波,秦燕芬,等.果蔬品含酸量测定方法的改进及其应用[J].浙江农业科学,2013(4):451-453, 456.
- CHEN B Z, DU H B, QIN Y F, et al. Improvement and application of determination method of acid content in fruits and vegetables[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2013(4): 451-453, 456.
- [15] 赵凯,许鹏举,谷广焯.3,5-二硝基水杨酸比色法测定还原糖含量的研究[J].食品科学,2008,29(8):534-536.
- ZHAO K, XU P J, GU G Y. Study on determination of reducing sugar content using 3, 5-dinitrosalicylic acid method [J]. Food Science, 2008, 29(8): 534-536.
- [16] 周进,门雪杰,吴杨焕.不同水分处理对设施葡萄产量及品质的影响[J].灌溉排水学报,2020,39(S2):140-144.
- ZHOU J, MEN X J, WU Y H. Effects of different water regulation on yield and fruit quality of greenhouse grape[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(S2): 140-144.
- [17] LI H H, LIU H, GONG X W, et al. Optimizing irrigation and nitrogen management strategy to trade off yield, crop water productivity, nitrogen use efficiency and fruit quality of greenhouse grown tomato [J]. Agricultural Water Management, 2021, 245: 106570.
- [18] 陈志君,朱振闯,孙仕军,等.Stacking 集成模型模拟膜下滴灌玉米逐日蒸散量和作物系数[J].农业工程学报,2021,37(5):95-104.
- CHEN Z J, ZHU Z C, SUN S J, et al. Estimation of daily evapotranspiration and crop coefficient of maize under mulched drip irrigation by Stacking ensemble learning model [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(5): 95-104.
- [19] 王振华,杨彬林,谢香文,等.灌溉制度对膜下滴灌甜菜产量及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2019,35(8):158-166.
- WANG Z H, YANG B L, XIE X W, et al. Effects of different irrigation regimes of drip irrigation under plastic film on sugar beet yield and water use efficiency[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(8): 158-166.
- [20] 刘星,曹红霞,廖阳,等.滴灌模式对苹果光合特性、产量及灌溉水利用的影响[J].中国农业科学,2021,54(15):3264-3278.
- LIU X, CAO H X, LIAO Y, et al. Effects of drip irrigation methods on photosynthetic characteristics, yield and irrigation water use of apple[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(15): 3264-3278.
- [21] 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 Y S, WANG Z H, LI W H, 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.
- [22] 唐继伟,徐久凯,温延臣,等.长期单施有机肥和化肥对土壤养分和

- 小麦产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2019,25(11):1827-1834.
- TANG J W, XU J K, WEN Y C, et al. Effects of organic fertilizer and inorganic fertilizer on the wheat yields and soil nutrients under long-term fertilization[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2019, 25(11): 1827-1834.
- [23] 宋春雨,张兴义.不同施肥措施对黑土土壤水分及保水性的影响[J].农业系统科学与综合研究,2007,23(2):161-165,171.
- SONG C Y, ZHANG X Y. Impact of fertilization methods on soil water and soil water retention [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2007, 23(2): 161-165, 171.
- [24] 喻华,秦鱼生,陈琨,等.有机肥料与化肥配施在黄瓜上减氮增效效应[J].江苏农业科学,2020,48(14):158-162.
- YU H, QIN Y S, CHEN K, et al. Nitrogen-reducing and increasing effect of combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer on cucumber[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(14): 158-162.
- [25] 霍铁珍,王文达,韩翠莲,等.河套灌区灌溉定额对膜下滴灌玉米生产性状及水分利用效率的影响[J].水土保持研究,2020,27(5):182-187.
- HUO Y Z, WANG W D, HAN C L, et al. Effects of irrigation quota on maize yield traits and water use efficiency under mulched drip irrigation in Hetao irrigation district[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27(5): 182-187.
- [26] 王艳丽,吴鹏年,王西娜,等.宁夏扬黄灌区有机肥配施氮肥对滴灌春玉米生长和产量的影响[J].玉米科学,2020,28(1):151-159.
- WANG Y L, WU P N, WANG X N, et al. Effect of combined application with nitrogen fertilizers and organic fertilizers on growth and yield of spring maize with drip irrigation in Ningxia pumping irrigation area[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(1): 151-159.
- [27] 韩建,尹兴,郭景丽,等.有机肥施用对红地球葡萄产量、品质及土壤环境的影响[J].植物营养与肥料学报,2020,26(1):131-142.
- HAN J, YIN X, GUO J L, et al. Effects of manure application on yield and quality of red globe grape and soil environment[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2020, 26(1): 131-142.
- [28] 杨依凡,涂攀峰,邓兰生,等.滴灌下根区交替灌溉在葡萄上的应用研究进展[J].安徽农学通报,2020,26(20):52-54.
- YANG Y F, TU P F, DENG L S, et al. Research progress of alternate partial root-zone irrigation on grape under drip irrigation[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2020, 26(20): 52-54.
- [29] 牛锐敏,许泽华,黄小晶,等.砧木对‘赤霞珠’葡萄生长和果实品质的影响[J].西北林学院学报,2020,35(1):124-129.
- NIU R M, XU Z H, HUANG X J, et al. Effects of rootstocks on the growth and fruit quality of ‘cabernet sauvignon’ grape[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(1): 124-129.
- [30] 涂海华,周坚,毛宇,等.天然海藻肥对“夏黑”葡萄植株生长及果实品质的影响[J].中国土壤与肥料,2019,(4):213-217.
- TU H H, ZHOU J, MAO Y, et al. Effect of natural seaweed fertilizer on plant growth and fruit quality of “summer black” grape[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2019,(4): 213-217.
- [31] 李坤,李建查,史亮涛,等.干热河谷不同灌水处理对葡萄生长及果实品质的影响[J].灌溉排水学报,2019,38(S1):28-31.
- LI K, LI J C, SHI L T, et al. Effects of different irrigation treatment on grape growth and fruit quality in a dry-hot valley[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(S1): 28-31.
- [32] 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.
- [33] 曹毅,钟永红,张庚,等.水肥耦合对设施葡萄产量、品质和水肥利用的影响[J].农机化研究,2021,43(9):186-193.
- CAO Y, ZHONG Y H, ZHANG G, et al. Effects of water and fertilizer coupling on yield, quality and utilization of protected grape[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2021, 43(9): 186-193.
- [34] 朱会调.黄腐酸对葡萄养分、品质和产量的影响[D].石河子:石河子大学,2020.
- ZHU H T. The effect of fulvic acid on nutrients, quality and yield of grapes[D]. Shihezi: Shihezi University, 2020.
- [35] 陈青英,耿芳,何风杰,等.不同有机肥对土壤特性及红地球葡萄生长和品质的影响[J].中国农学通报,2021,37(16):82-88.
- CHEN Q Y, GENG F, HE F J, et al. Effects of different organic fertilizers on soil properties, growth and quality of ‘red globe’ grape[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(16): 82-88.
- [36] 孙海高,王海波,史祥宾,等.有机无机肥配施对巨峰葡萄果实品质的影响[J].中国果树,2020,(5):65-70.
- SUN H G, WANG H B, SHI X B, et al. Effect of combined application of organic and inorganic fertilizers on fruit quality of ‘Kyoho’ grape[J]. China Fruits, 2020,(5): 65-70.
- [37] 左达,郭鹏飞,孙权.有机肥施用量对酿酒葡萄产量品质及经济效益的影响[J].江苏农业科学,2020,48(20):137-141.
- ZUO D, GUO P F, SUN Q. Impacts of application rate of organic fertilizer on quality, yield and economic benefit of wine grape[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(20): 137-141.
- [38] 胡小璇,江尚焘,安祥瑞,等.有机无机肥配施对芒果产量与品质及经济效益的影响[J].南京农业大学学报,2020,43(6):1107-1115.
- HU X X, JIANG S T, AN X R, et al. Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on mango yield, quality and economic benefit[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2020, 43(6): 1107-1115.