

网络出版日期:2018-05-09
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20180509.1609.040.html

不同生育期水分亏缺对‘赤霞珠’耗水及果实品质的影响

李晶¹,李华^{1,2,3},王华^{1,2,3}
(1.西北农林科技大学葡萄酒学院,陕西杨凌712100;2.陕西省葡萄与葡萄酒工程技术中心,陕西杨凌712100;3.西北农林科技大学合阳葡萄实验示范站,陕西渭南715300)

摘要 以设施栽培条件下2008年定植的酿酒葡萄‘赤霞珠’为试材,设置5个处理,分别为充分灌溉和新梢生长期、花期、浆果生长期、果实成熟期亏缺灌溉。通过分析不同处理对新梢生长量、产量和果实品质指标的影响,综合评定获得最优灌溉方案。结果表明,灌溉对土壤含水量的影响程度随着土层深度增加而降低,0~40 cm土层深度含水量波动幅度大。各个处理的耗水规律一致,浆果生长期耗水强度大,新梢生长期和花期小。浆果生长期亏水造成穗质量减少27.0%,产量减少29.6%,还原糖和可溶性固形物分别降低5.1%和2.4%;新梢生长期、花期和转色成熟期水分亏缺对产量影响不显著,果实成熟期亏水可以显著提高还原糖(7.8%)和可溶性固形物(6.4%)的质量分数,可滴定酸降低4.0%,提高水分利用效率(18.57 kg·m⁻³)。综合分析认为,浆果膨大期亏水会造成不良影响,果实成熟期亏水可提升葡萄品质。

关键词 调亏灌溉;葡萄;耗水量;果实品质
中图分类号 S663.1 **文献标志码** A **文章编号** 1004-1389(2018)05-0727-08

水是人类生存和社会发展无可替代的资源,是农业生产的命脉。中国干旱半干旱地区水资源相对匮乏,农业用水难以满足。葡萄是需水较大的植物,在不同生长时期需水量存在差异,只有在适宜的土壤水分供应条件下,才能生产优质葡萄。近年来,随着葡萄种植面积的增大,葡萄水分利用方面的问题逐渐得到重视,了解葡萄需水规律,合理灌溉,不仅能减少水资源的浪费,还能较大提升葡萄品质,因此,研究葡萄需水规律具有重要意义^[1-3]。

亏缺灌溉是指葡萄生长期适当的施加水分胁迫,目前,关于亏缺灌溉对作物生理特性、产量与品质及水分吸收利用情况的研究表明,亏缺灌溉不仅节约水分使用量,提高作物的水分利用效率;同时也刺激植株做出补偿效应,有利于维持或者提高葡萄产量,减少生长冗余,改善产品品质;也有一些研究认为亏水灌溉的节水效果显著,但于增产无益^[2-6]。目前,亏缺灌溉相关研究主要集中在葡萄作物产量形成、养分迁移及吸收利用等方面^[4-6],而关于灌水时间、灌水量多少对葡萄品质

的影响^[7]等方面鲜见报道。本研究以提高干旱地区酿酒葡萄‘赤霞珠’果实品质为出发点,通过回归分析,研究不同生育期亏缺灌溉对‘赤霞珠’耗水特征和果实品质的影响,探讨亏水灌溉的节水效果,以期为宜亏缺灌溉条件下生产高品质葡萄提供依据。从而确定陕西省杨凌区葡萄的生产管理模式,并为其他地区的葡萄产业发展提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2015年3月—10月在陕西省杨凌示范区曹新庄葡萄园防雨拱棚内进行。杨凌地处关中平原中部,海拔403.2~530.1 m,年平均气温12.9℃,日照时数2 196 h·d,年平均降水量660 mm,大陆性暖温带季风气候,积温(≥10℃)不少于4 300~4 500℃·d,无霜期200 d以上。试验区土壤质地为粘土,各层土壤物理性质见表1。灌溉方式为单固定一侧滴灌,滴灌管直径为16 mm,滴头间距为48 cm。

表 1 试验区土壤物理性质

Table 1 Soil physical properties in experimental area

指标 Item		土层 Soil depth				均值 Mean
		0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	
饱和含水率/(cm ³ ·cm ⁻³)	Saturated water capacity	0.44	0.49	0.52	0.52	0.49
田间持水率/(cm ³ ·cm ⁻³)	Field capacity	0.31	0.36	0.41	0.44	0.38

1.2 试验方案

供试酿酒葡萄‘赤霞珠’(Cabernet sauvignon)于 2008 年定植,单臂平均留芽 6 个,平均 10 cm 留 1 个结果枝,整形方式为单干双臂,南北行向,株行距 1 m×3 m。

试验包括 5 种灌溉处理,每处理占一个小区,设 3 个重复,共 15 个小区。根据房玉林等^[8]葡萄生长对土壤含水量的要求,葡萄整个生育期内土壤含水量保持在田间持水量的 60%~80%为充

分灌溉(Full irrigation,FI),即当土壤含水量降低至处理土壤含水量下限时补水至处理上限^[9]。试验组分别对新梢生长期(A)、花期(B)、浆果生长期(C)和果实成熟期(D)进行控水(40%~54%田间持水量),其余时间保持充分灌溉,具体实施方案如表 2 所示,各个处理间除灌水有差异外,田间管理措施均一致。为保证萌芽率,萌芽期进行 20 mm 的灌溉。

表 2 不同生育期调亏灌溉方案

Table 2 Irrigation strategy under different irrigation treatments

%

处理 Treatment	土壤含水量 Soil moisture content			
	新梢生长期 New Shoot growing period	开花期 Blossom period	浆果膨大期 Berry growth period	转色成熟期 Maturity period
FI	60~80	60~80	60~80	60~80
A	40~54	60~80	60~80	60~80
B	60~80	40~54	60~80	60~80
C	60~80	60~80	40~54	60~80
D	60~80	60~80	60~80	40~54

1.3 测定项目和方法

1.3.1 土壤水分监控 采用时域反射仪(Time domain reflectometer,TDR)测定 0~80 cm 深的土壤含水量,每 20 cm 由上至下测 1 次。耗水量采用水量平衡法^[10]计算,设施栽培条件下降水量为 0 mm,地下水层较深的补给量忽略不计,生育期内葡萄耗水量为灌溉水量和土壤水分动态变化量的和。

1.3.2 葡萄产量测定 果实采收后,每处理随机选取 30 穗果测穗质量,计算平均值;从果穗的上、中、下 3 个部位各取 1 粒果实,共计 30 粒,利用游标卡尺测量果粒的纵径和横径,利用电子天平测量果粒、果穗质量,计算平均值;利用刻度尺测量果穗穗长和去除果粒后果梗长度,计算平均值^[2]。统计各个试验区产量,计算单位面积产量。

1.3.3 葡萄品质测定 葡萄采收后,采用手持糖量计测定可溶性固形物的质量浓度。还原糖的测定采用斐林试剂热滴定法^[11];可滴定酸用 NaOH 滴定法测定,并以酒石酸计。葡萄果皮中总酚的

测定采用福林—肖卡法^[12],单宁的测定采用甲基纤维素沉淀法^[13];葡萄果皮中总花色苷用 pH 示差法测定^[14]。

1.3.4 数据处理 数据采用 Excel 2010 及 SPSS 20.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同灌水处理对土壤含水量的影响

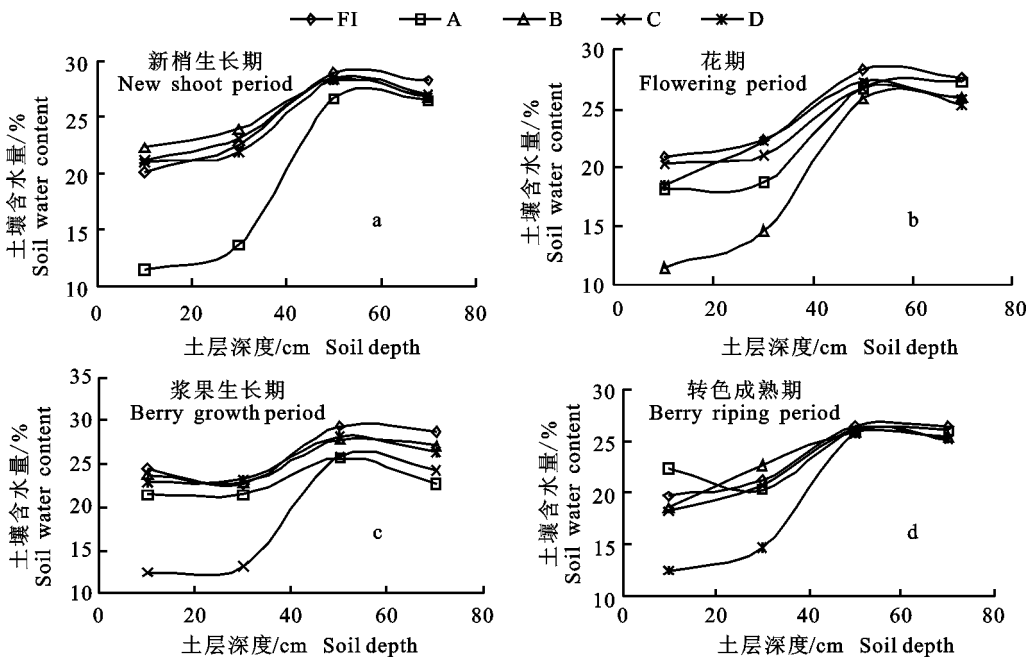
不同灌溉处理土壤含水量与土层深度变化规律趋于一致。新梢生长期土壤含水量如图 1-a 所示,处理 A 土壤含水量在 0~40 cm 土层显著低于其他处理,40~80 cm 差异逐渐减小,土壤含水量变化曲线趋于平缓。花期如图 1-b 所示,由于处理 A 进行生育期早期水分亏缺处理,因此 0~80 cm 土壤含水量仍低于其他处理,且 40~60 cm 与处理 B 无显著差异;‘赤霞珠’快速生长,对土壤水分消耗较大,导致处理 A 和 B 在 0~40 cm 的含水量显著低于其他处理,处理 A 高于处理 B,说明前一阶段水分亏缺对后面生育期的土壤

含水量有影响。浆果膨大期土壤含水量如图 1-c 所示,处理 C 土壤含水量低于其他处理。该时期内,植株叶片面积增大,阻挡了阳光对地表的直射,棵间蒸发为辅、作物耗水为主。着色成熟期土壤水分动态变化如图 1-d 所示,生育期前期作物耗水导致该生育期内土壤含水量低于其他时期,但仅显著影响 0~40 cm 的土壤,而对 40~80 cm 土壤影响不显著。从变化趋势可以看出,随着土壤深度的增加,灌溉对土壤含水量的影响变小,

40~80 cm 深度的土壤含水量变化差异不显著。

2.2 不同灌水处理对‘赤霞珠’耗水的影响

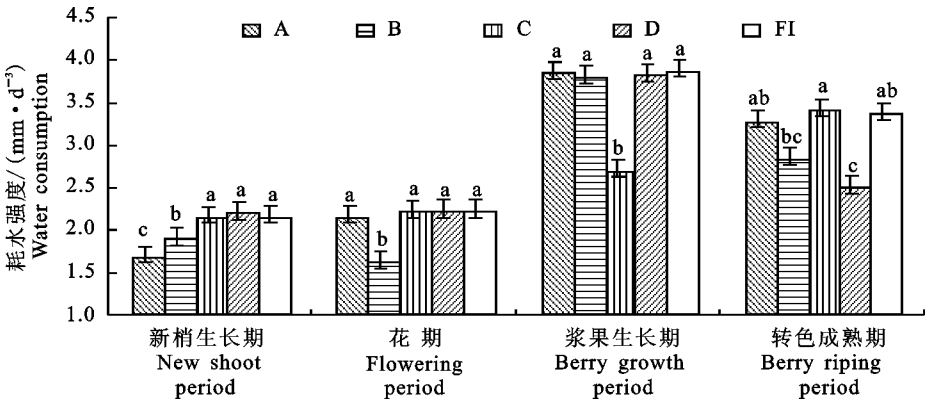
2.2.1 耗水强度变化规律 耗水强度受‘赤霞珠’各个生长发育时期外界环境对其水分消耗的影响,包括气象条件、灌溉制度、田间管理等,代表单位时间、单位面积的作物耗水量。由图 2 可以看出,果实膨大期耗水强度最大,新梢生长期和花期耗水强度小。新梢生长期至浆果收获的耗水强度近似为一条单峰曲线,新梢生长期耗水强度



柱形图内不同小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different lowercase letters in the bar chart mean significant difference($P<0.05$)

图 1 不同灌溉处理下的土壤含水量

Fig. 1 Soil water content under different irrigation treatments



A、B、C、D、FI 分别代表新梢生长期、花期、浆果膨大期、转色成熟期亏缺灌溉和充分灌溉 A、B、C、D、FI represent deficient irrigation at the shoot growth period, flowering period, berry chlargement, bery maturity period and full irrigation; 下同 The same bellow

图 2 酿酒葡萄生育期的耗水强度

Fig. 2 Water consumption intensity of vine grape at different stages

为 1.66~2.17 mm·d⁻¹,处理 A 由于此时期灌水量有限,耗水强度显著小于其他处理;花期时间较短,耗水强度略有提升,可能由于这一阶段气温升高幅度较快,光合作用、蒸腾作用增强,葡萄营养生长、生殖生长同时进行所致;浆果生长期历时最长,此时期气温较高、植株枝叶生长最茂盛,耗水量、耗水强度最大,为 2.67~3.84 mm·d⁻¹;转色成熟期耗水强度减小。总体看来,灌溉量多少直接决定耗水强度高低,各处理随着灌溉量增加,日耗水强度也随之增大。

2.2.2 耗水特征 充分灌溉、新梢生长期、花期、果实膨大期和转色成熟期水分亏缺处理下,葡萄

植株全生育期的耗水量分别为 462.16、444.05、420.86、399.75、413.57 mm,其中 FI 耗水量最大,处理 C 耗水量最小,前者比后者高 15.61%。耗水模数反映葡萄各个生育期耗水量在总耗水量中的比重,表明不同生育阶段对水分的敏感程度和灌溉的重要性,从表 3 可以看出,设施葡萄花期耗水模数最小,仅为 4.6%~6.7%;除处理 C,其他处理均为浆果生长期耗水模数最大,处理 A、B、D、FI 的耗水模数依次为 46.64%、48.62%、49.72%和45.06%。生育期耗水模数大小规律为浆果膨大期>转色成熟期>新梢生长期>花期。

表 3 ‘赤霞珠’各生育期的耗水特征

Table 3 Water consumption characteristics of ‘Cabernet Sauvignon’ in different growing periods

处理 Treatment	耗水参数 Water consumption parameter		生育期 Growth period			
			新梢生长期 New shoot (19 d)	花期 Flowering period (12 d)	浆果膨大期 Berry growth period(53 d)	转色成熟期 Berry maturity (51 d)
A	耗水量/mm	Water consumption	35.34	25.60	202.46	160.65
	耗水模数/%	Water consumption modulus	8.14	5.90	46.64	37.01
B	耗水量/mm	Water consumption	43.95	19.16	199.81	138.04
	耗水模数/%	Water consumption modulus	10.70	4.66	48.62	33.59
C	耗水量/mm	Water consumption	44.65	26.32	141.34	167.45
	耗水模数/%	Water consumption modulus	11.46	6.75	36.26	42.96
D	耗水量/mm	Water consumption	45.03	26.40	200.70	121.55
	耗水模数/%	Water consumption modulus	11.16	6.54	49.72	30.11
FI	耗水量/mm	Water consumption	46.80	26.36	203.69	165.24
	耗水模数/%	Water consumption modulus	10.35	5.83	45.06	36.55

2.3 不同灌水处理对‘赤霞珠’产量及水分利用效率的影响

如表 4 所示,不同处理对‘赤霞珠’果实外观品质的影响主要体现在横径、果梗和穗质量上,均为 FI 最大,显著高于水分亏缺处理 A、B、C,达到极显著水平,处理 C 除粒质量与其他处理无显著差异外,其他外观品质指标均显著小于其他处理。与 FI 相比,处理 D 除横径和穗质量显著减小外,其他指标均差异不显著。处理 A、B、C、D 穗质量分别比 FI 减少 7.65%、14.04%、26.99% 和 13.42%,表明生育期水分亏缺对穗质量有消极影响,如果是浆果膨大期干旱胁迫,极显著降低穗质量。亏水处理对果穗长度有抑制作用,处理 C 的穗长显著降低,说明浆果生长期水分胁迫作用达极显著水平,表明干旱处理的时机和时间与产量形成因素密切相关。

由表 4 可知,浆果膨大期亏水处理的产量最

低,较 FI 处理减少 29.6%,与其他处理间差异显著,FI 处理的产量最高,其次是新梢生长期、转色成熟期和花期进行干旱处理的 3 个试验组,产量居中,组间差异不显著,基本能维持产量。和充分灌溉相比,转色前干旱处理产量显著降低,转色后水分亏缺造成的减产不显著,原因可能是在植株重要的营养器官形成时期,限制水分供应会抑制植物的营养器官生长发育,直接造成光合产物减少。转色前由于‘赤霞珠’葡萄的生理特性,果实生长期较长,此时进行水分亏缺的程度过大,植株缺水时间过长,即使复水也不能弥补干旱造成的危害,故而影响最终的果实产量。

水分利用效率(WUE)是产量与耗水量的比值,用以反映单位水的生产能力,WUE 越大,说明植株节水能力越强^[15]。结合耗水量数据分析发现,处理 C 的 WUE 显著小于其他处理,其中比充分灌溉低 18.27%,其他处理间差异不显著;处

理 D 的 WUE 大于 FI,表明转色后进行干旱胁迫 处理能提高水分利用效率。

表 4 不同灌溉处理下果实的外观品质

Table 4 Fruit appearance quality under different irrigation treatments

处理 Treatment	横径/cm Berry length	纵径/cm Berry width	粒质量/g Berry mass	果梗/cm Length of berry stem	穗长/cm Length of cluster	穗质量/kg Cluster mass	产量/ (kg·hm ⁻²) Yield	耗水量/ (m ³ ·hm ⁻²) Water consumption	WUE/ (kg·m ⁻³)
FI	1.39 aA	1.46 a	1.51 a	10.56 aA	14.92 aA	0.21 aA	8 043.98 aA	452.10	17.79 aA
A	1.32 bB	1.43 ab	1.49 a	9.77 bB	14.29 aA	0.18 bB	7 462.96 aAB	434.05	17.60 aAB
B	1.26 cC	1.40 ab	1.47 a	10.01 bAB	13.94 aAB	0.18 bB	7 232.41 aAB	410.96	17.6 aAB
C	1.23 dD	1.31 b	1.45 a	8.86 cC	12.71 bB	0.16 cC	5 666.67 bB	389.75	14.54 bB
D	1.326 bB	1.43 ab	1.52 a	10.30 cAB	14.42 aA	0.19 bB	7 495.83 aAB	403.67	18.57 aAB

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。下同。
Note:Different letters in the same column mean significant difference($P<0.05$),upercase letters represent extremely significant difference($P<0.01$). The same below.

2.4 不同灌水处理对果实理化特性的影响

由表 5 可知,处理 C 含糖量最低,比充分灌溉(185.51 g·L⁻¹)降低 5.1%,其他处理间差异不显著,处理 D 较 FI 增加 7.8%,说明处理 D 有利于提高葡萄的总糖质量浓度。处理 A 的总酸(以酒石酸计)质量浓度最高,较 FI 增加 11.1%,差异显著,可能与‘赤霞珠’前期水分亏缺限制植株营养生长有关;处理 D 比 FI 低 4.0%,说明着色成熟期进行水分亏缺处理能降低葡萄酸度。处理 C 可溶性固形物的质量分数最小,与 FI 相比降低 2.4%;处理 D 最大,比 FI 增加 6.4%。

单宁决定酿酒葡萄的风味、结构、质地,主要来源于葡萄皮、葡萄梗和葡萄籽^[14]。亏缺灌溉可以增加果皮及种子中的单宁质量分数,但是果皮

中处理 A 和 C 与 FI 差异不显著,处理 B、D 的单宁分别增加 12.89%和 13.78%,其中处理 D 最高,达到 5.12 mg·g⁻¹。‘赤霞珠’葡萄果皮的 4 个调亏灌溉处理均增加单宁质量分数,具体表现为 D>B>A>C>FI,除处理 C 外,FI 与其他处理差异均显著。花色苷是葡萄的主要显色物质,同时具有一定的生理活性,处理 A、B、C、D 较 FI 分别增加 13.34%、8.77%、12.12%和 30.30%,说明水分亏缺对花色苷影响显著。酚类物质与葡萄及所酿葡萄酒的风味密切相关,如表 5 所示,各个亏水处理的酚类物质质量分数均显著高于 FI,其中处理 D 和 C 最高,B、A 次之,分别较 FI 提高 26.11%、15.28%、8.77%和 7.39%,这对改善葡萄酒的风味有重要意义。

表 5 不同灌水处理下果实的理化特性

Table 5 Influence of different water deficit on fruit quality

处理 Treatment	还原糖/ (g·L ⁻¹) Reducing sugar	总酸/(g·L ⁻¹) Total acid	可溶性 固形物/% Soluble solids	单宁/ (mg·g ⁻¹) Tannin	花色苷/ (mg·kg ⁻¹) Anthocyanin	总酚/ (mg·g ⁻¹) Total phenols
FI	185.51 ab	6.32 bc	17.11 a	4.5 bB	6.27 cC	15.97 bB
A	180.5 ab	7.02 a	17.65 a	4.8 abAB	7.11 bB	17.15 abAB
B	191 ab	6.87 ab	17.15 a	5.08 aA	6.82 bB	17.38 abAB
C	175.98 b	6.3 bc	16.70 b	4.56 bB	7.03 bB	18.41 abAB
D	200.1 a	6.07 c	18.20 a	5.12 aA	8.17 aA	20.14 aA

3 结论与讨论

调亏灌溉的土壤含水量有一定的影响,表现为调亏灌溉在调亏生育期的土壤含水量低于其他处理,尤其在 0~40 cm 差异明显。耗水强度在全生育期表现为先增大、后减小的趋势,说明葡萄在生育期早期(新梢生长期和花期)需水量最小,果

实膨大期需水量最大,与耿琳等^[16]研究结果一致。调亏灌溉对耗水强度影响大,表现为调亏处理的耗水强度都较低,并且对调亏后下一个生育期的日耗水强度也有影响。浆果生长期水分亏缺处理在转色成熟期的耗水强度显著高于其他处理,耗水指标未表现出补偿效应。

亏缺灌溉能提高葡萄的品质,不同时期进行

亏缺灌溉,对品质的影响程度也不同^[17]。浆果生长期是‘赤霞珠’生长的关键时期,耗水强度大(2.67~3.84 mm·d⁻¹),耗水模数接近 50%,该时期亏水导致显著减产,还原糖和可溶性固形物分别降低 5.1%和 2.4%。造成 WUE 明显降低,与刘静霞等^[18]、张振文等^[19]的研究结果相近。处理 A 和处理 B 虽然有一定程度的减产(7.2%、10%),但是 WUE 与 FI 的相比差异不显著。转色成熟期进行水分亏缺,可以在不显著降低产量的条件下改善葡萄品质,提高 WUE,与充分灌溉相比,这种调亏方式能减少产量和植株生长,但能够促进浆果和葡萄酒的品质,与 Santesreban 等^[20]研究结果一致。但也有学者认为调亏灌溉并不会降低产量,主要是在重新灌溉后植株获得补偿效应^[21],复水后同化能力增强,光合产物向经济性状转移,显然,确定调亏灌溉时期及合理的阈值范围才能决定最终的效果。

单粒质量和纵横径均为最小,说明果实膨大期是葡萄的需水临界期,该时期的调亏处理使作物严重减产,与充分灌溉相比有显著差异,即使此时期耗水总量最小也难以改变其 WUE 最低的事实。此外,浆果生长期水分亏缺处理导致‘赤霞珠’含糖量和可溶性固形物降低,可滴定酸质量浓度提高,对葡萄品质产生消极影响,在栽培管理中应引起足够的重视。转色成熟期水分亏缺可使含糖量和可溶性固形物增加,降低含酸量^[22],虽然较充分灌溉减产 6.8%,但是 WUE 提高,综上可知,浆果膨大期亏水会造成不良影响,转色成熟期亏水是较优良的水分调控策略。

参考文献 Reference:

[1] 李 华. 葡萄栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2008:170-176.
LI H. Viticulture[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008:170-176(in Chinese).

[2] 李雅善,李 华,王 华,等. 设施栽培下不同灌溉处理对希姆劳特植株生长及果实的影响[J]. 中国农业科学,2014,47(9):1784-1792.
LI Y SH,LI H,WANG H,*et al.* Effects of different irrigation treatments on the growth and fruit quality of Himrod in protected cultivation[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014,47(9):1784-1792.

[3] 李雅善,赵现华,王 华,等. 葡萄调亏灌溉技术的研究现状与展望[J]. 干旱地区农业研究,2013(1):236-241.
LI Y SH,ZHAO X H,WANG H,*et al.* Research advance and prospect of regulated deficit irrigation oil grapevines

[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*,2013(1):236-241.

[4] DELUC L G,QUILICI D R,DECENDIT A,*et al.* Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in grape berries of Cabernet Sauvignon and Chardonnay [J]. *BMC Genomics*, 2009,10(1):212.

[5] 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.

[6] 纪学伟,成自勇,赵 霞,等. 调亏灌溉对荒漠绿洲区滴灌酿酒葡萄产量及品质的影响[J]. 干旱区资源与环境,2015(4):184-188.
JI X W,CH Z Y,ZHAO X,*et al.* Effect of regulated deficit drip irrigation on yield and quality of wine grape in desert oasis[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*,2015(4):184-188.

[7] 邢小宁,姚宝林,孙三民. 不同灌溉制度对南疆绿洲区膜下滴灌棉花生长及产量的影响[J]. 西北农业学报,2016,25(2):227-236.
XING X N,YAO B L,SUN S M. Effects of different irrigation regimes on cotton growth and yield with drip irrigation under plastic film in oasis region of south Xinjiang[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*,2016,25(2):227-236.

[8] 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.

[9] 邓浩亮,孔维萍,张恒嘉,等. 不同生育期调亏灌溉对酿酒葡萄耗水及果实品质的影响[J]. 中国生态农业学报,2016(9):1196-1205.
DENG H L,KONG W P,ZHANG H J,*et al.* Effect of regulated deficit irrigation at different growth stages on water consumption and fruit quality of wine grape[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*,2016(9):1196-1205.

[10] ALLEN R G,PEREIRA L S,RAES D,*et al.* Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-FAO irrigation and drainage paper 56[J]. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 1998,300(9):D05109.

[11] 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.
WANG H. Grape and Wine Experimental Techniques Practice[M]. Xi'an:Xi'an Map Publishing House,1999.

[12] 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.

[13] SARNECKIS C J, DAMBERGS R G, JONES P, *et al.* Quantification of condensed tannins by precipitation with methyl cellulose; development and validation of an optimised tool for grape and wine analysis[J]. *Australian Journal of Grape and wine Research*, 2006, 12(1):39-49.

[14] 翦 伟,韩舜愈,张 波,等.单一 pH 法示差法和减法快速测定干红葡萄酒中花色苷含量的比较[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 33(23):323-325, 423.

JIAN Y, HAN SH Y, ZHANG B, *et al.* Comparison of single pH method, pH differential method and subtraction method for determining content of anthocyanins from red wine[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(23):323-325, 423.

[15] 杨晓慧,黄修桥,王景雷,等.基于 DSSAT 模拟的不同水分利用效率指标区域评价差异研究[J]. *节水灌溉*, 2016(12):8-14.

YANG X H, HUANG X Q, WANG J L, *et al.* The differences of variety water use efficiency indices in regional evaluation based on DSSAT simulation[J]. *Water Saving Irrigation*, 2016(12):8-14.

[16] 耿 琳,王 甫,崔宁博,等.温室苦瓜耗水规律及作物系数研究[J]. *西北农业学报*, 2014, 23(12):154-160.

GEN L, WANG F, CUI N B, *et al.* Study on water consumption and crop coefficient of balsam pear in greenhouse [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2014, 23(12):154-160.

[17] CIFRE J, BOTA J, ESCALONA J M, *et al.* Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine(*Vitis vinifera* L.); An open gate to improve water-use efficiency[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 106: 159-170.

[18] 刘静霞,张 芮,成自勇,等.不同生育期水分亏缺对酿酒葡萄产量及品质的效应研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2016, 34(3):78-83.

LIU J X, ZHANG R, CHENG Z Y, *et al.* Effect research of water deficit in different growth stage on wine grape yield and quality[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2016, 34(3):78-83.

[19] 张振文,李 华,宋长冰.节水灌溉对葡萄及葡萄酒质量的影响[J]. *园艺学报*, 2002, 29(6):515-518.

ZHANG ZH W, LI H, SONG CH B. Effects of irrigation on grape and wine[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2002, 29(6):515-518.

[20] SANTESTEBAN L G, MIRANDA C, ROYO J B. Regulated deficit irrigation effects on growth, yield, grape quality and individual anthocyanins composition in *Vitis vinifera* L. cv. ‘Tempranillo’ [J]. *Agricultural Water Management*, 2011, 98:1171-1179.

[21] 周 磊,甘 毅,欧晓彬,等.作物缺水补偿节水的分子生理机制研究进展[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(1):217-225.

ZHOU L, GAN Y, OU X B, *et al.* Progress in molecular and physiological mechanisms of water-saving by compensation for water deficit of crop and how they relate to crop production[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(1):217-225.

[22] 徐 斌,张 芮,成自勇,等.不同生育期调亏灌溉对设施延后栽培葡萄生长发育及品质的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2015, 34(6):86-89.

XU B, ZHANG R, CHENG Z Y, *et al.* Effects of deficit irrigation on growth and quality of greenhouse grape under delayed cultivation in different stages[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2015, 34(6):86-89.

Effect of Water Deficit at Different Growth Stage on Water Consumption and Fruit Quality of *Vitis vinifera* cv. ‘Cabernet Sauvignon’

LI Jing¹, LI Hua^{1,2,3} and WANG Hua^{1,2,3}
(1. College of Enology, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China; 2. Shaanxi Engineering Research Center for Viti-Viniculture, Yangling Shaanxi 712100, China; 3. Heyang Viti-Vinoiculture Station of Northwest A&F University, Weinan Shaanxi 715300, China)

Abstract With 9 years Cabernet Sauvignon as material ,we studied the drought stress under facility cultivation. The treatments were as follows: full irrigation and water deficit at shooting stage,flowering period,growth period of berry,ripening growth stage of fruit ,respectively. By analyzing the effect of different treatments on shoot growth,yield and fruit quality index,the optimal irrigation scheme was obtained through comprehensive evaluation. The results showed that the trend in soil water content within 0—80 cm soil layers were similar under different treatments,the influence of drought controlled by deficit irrigation was weakened with increase of soil depth. 0—40 cm depth of soil moisture

content changed greatly. The maximum daily water consumption intensity of wine grape took place during berry enlargement period while the minimum happened at flowering and shooting stages. Berry mass was reduced by 27% and yield was decreased by 29.6%, the titratable acid content raised while sugar and soluble solids content decreased under deficit irrigation at berry enlargement period; regulated deficit irrigation at vine shoot, florescence and berry maturity periods did not significantly decrease in yield. Control irrigation research for the effect of the reducing titratable acid (4.0%) as well as increase of sugar (7.8%) and soluble solids content (6.4%) at maturity, which enhanced water use efficiency by 18.57 kg · m⁻³. Through the comprehensive analysis, deficit irrigation at grape enlargement had harmful effects, but it could increase grape quality at maturity stage.

Key words Regulated deficit irrigation; Grape; Water consumption; Fruit quality

Received 2017-04-28 **Returned** 2017-05-15

Foundation item The National Forestry Foundation (No. [2014] 45); Special Agricultural Finance Fund of Shaanxi Povince.

First author LI Jing, female, master student. Research area: grapevine and wine science. E-mail: lijinglwyx@163.com

Corresponding author LI Hua, male, professor, doctoral supervisor. Research area: grapevine and wine science. E-mail: lihuawine@nwsuaf.edu.cn

WANG Hua, female, professor, doctoral supervisor. Research area: grapewine and wine science. E-mail: wanghua@nwsuaf.edu.cn

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