



张 芮¹, 成自勇¹, 王旺田¹, 等. 水分胁迫对延后栽培葡萄果实生长的影响[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(6): 47-54.

水分胁迫对延后栽培葡萄果实生长的影响

张 芮¹, 成自勇¹, 王旺田¹, 吴玉霞¹, 罗永忠¹, 牛黎莉¹, 张有富²

(1 甘肃农业大学 工学院, 甘肃 兰州 730070; 2 河西学院 农业与生物技术学院, 甘肃 张掖 734000)

摘要:【目的】为设施延后栽培条件下葡萄 *Vitis vinifera* 果实的精准调控提供依据.【方法】以当地主栽葡萄品种红地球为材料,采用当地普通日光温室进行延后栽培.将葡萄生育期划分为萌芽期、抽蔓期、开花期、浆果膨大期和着色成熟期,每个生育期内设置轻度、中度 2 个水分胁迫水平,以全生育期充分供水为对照,研究不同处理对葡萄果实纵横径膨大速率的影响及果实生长与叶片内氮含量、叶绿素含量之间的关系.【结果和结论】延后栽培葡萄果实存在 2 个明显的高峰膨大周期,且第 1 个膨大高峰期葡萄果实膨大速率远大于第 2 个膨大高峰期;葡萄膨大期前 16 d 的横径膨大速率和前 24 d 的纵径膨大速率对葡萄最终粒径的形成具有决定作用.在抽蔓后期至果实膨大初期中度水分胁迫处理果实膨大速率有明显的复水补偿效应,膨大中后期则出现了复水补偿结束后的再减小过程.抽蔓后期至果实膨大初期葡萄叶片 N 和叶绿素含量对果实初期膨大速率有积极影响.

关键词:水分胁迫;葡萄;延后栽培;果实膨大;叶片 N 含量;叶片叶绿素含量;耗水强度
中图分类号:S275.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2015)06-0047-08

Effect of water stress on grape fruit growth under delayed cultivation

ZHANG Rui¹, CHENG Ziyong¹, WANG Wangtian¹,
WU Yuxia¹, LUO Yongzhong¹, NIU Lili¹, ZHANG Youfu²

(1 College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;
2 College of Agriculture and Biotechnology, Hexi University, Zhangye 734000, China)

Abstract:【Objective】To provide a basis for the precise control of grape, *Vitis vinifera*, fruit development under delayed cultivation.【Method】A main local grape cultivar Red Globe was planted in local ordinary sunlight greenhouse. Grape growth was divided into different stages including budding, grapevine extension, flowering, berry expansion, grape coloring and maturing stages. There were mild and moderate water stress at each growth stage, with control of sufficient water supply during the whole growth period. The effects of different treatments on the expansion rates of fruit longitudinal and transverse diameter were studied, and the correlation between fruit growth and leaf nitrogen content or chlorophyll content under different treatments was analyzed.【Result and conclusion】There were two distinct peak expansion periods of grape fruit enlargement and the enlargement rate in the first peak was far higher than that in the second one. The enlargement rate of fruit longitudinal and transverse diameter respectively in the early 24 days and early 16 days of berry expansion stage determined the final fruit size. The moderate water stress from the late grapevine extension to the early berry expansion stage followed with sufficient water supply

收稿日期:2014-11-17 优先出版时间:2015-10-16
优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20151016.1356.006.html>
作者简介:张 芮(1980—),男,副教授,博士, E-mail:zhr_1029@163.com
基金项目:国家自然科学基金(51269001,51569002);甘肃省青年科技基金计划(1208RIYA017)

resulted in distinct water compensation effects on fruit expansion rate during the early expansion stage and the rate reduced again in the mid and late berry expansion stages. Leaf nitrogen and chlorophyll contents had significantly positive effects on initial grape fruit enlargement rate from the late grapevine extension stage to the early berry expansion stage.

Key words: water stress; grape; prolongation cultivation; berry expansion; leaf nitrogen content; leaf chlorophyll content; water consumption intensity

葡萄 *Vitis vinifera* 延后栽培是在甘肃、青海等冷凉地区利用日光温室对葡萄进行春季避光、冬季增温调控,以延迟浆果成熟期为目的,实现果品在元旦至春节期间供应,提高经济效益的一种栽培方式^[1],对实现我国葡萄全年均衡供应具有重要意义.随着人们生活水平的日益提高,消费者对葡萄等水果的品质日益重视,如何在保证相对高产的前提下提升果品品质成为葡萄栽培中亟待解决的课题.

果实粒径是葡萄重要的品质指标之一,关系到消费者对果品的认可度和市场价格.灌溉是葡萄栽培中最为频繁的管理措施之一,以水调质也被认为是目前提高葡萄品质最安全的措施之一.有研究认为适度的水分胁迫会抑制植株的营养生长,降低枝梢生长量,提升果实生长速率^[2-5],促进光合作用的产物向生殖体部分转移,从而提高作物的经济产量^[6-11]. Cuevas 等^[12]研究得出在萌芽至抽蔓期亏水能使枇杷树提前进入开花期,而且对花质量没有影响.在果实膨大期充足的灌水能使果实生长发育速率变快,而适度的水分亏缺会提高果实的品质^[5,13-18].在葡萄萌芽期亏水可提高果穗质量和果粒质量^[19],有利于提高产量^[20];而果实膨大期亏水导致果穗和果粒质量显著减小^[19].另外,葡萄在果实膨大期之前重度亏水受到的影响可以通过果实膨大期复水后的快速生长得到弥补,还使得单果质量有增加的趋势^[21-23],张修宇等^[24]也认为作物在短期水分亏缺后复水会加快作物的生长速率.

上述研究表明可通过灌溉措施调控葡萄果实生长速率,但目前针对设施延后栽培特殊条件下果实膨大过程与水分调控的响应关系报道较少,水分调控-植物营养-果实膨大等环节的关联性及其中的协同作用机理尚不清楚.为此,本文通过开展不同生育期水分胁迫条件下葡萄果实纵横径膨大速率、叶片内氮含量、叶绿素含量及耗水强度之间的关系研究,寻求适宜葡萄果实生长的水分调控范围,为设施

延后栽培葡萄优质高产及水分的科学管理提供理论依据.

1 材料与方法

试验于 2013 年 4—12 月在甘肃省张掖市水务局国家重点灌溉试验中心进行.试验中心地理坐标为 100°26'E、38°56'N,海拔 1 482.7 m,多年平均降水量 125 mm,多年平均蒸发量 2 047.9 mm.供试土壤主要为中壤土, pH 7.8,土壤干密度 1.47 g·cm⁻³,田间持水率(θ_f)22.8%,葡萄主要根系分布层(0~40 cm)土壤含有机物质 13.7 g·kg⁻¹,碱解氮 32.04 mg·kg⁻¹,速效磷 27.8 mg·kg⁻¹,速效钾 1 137.4 mg·kg⁻¹.

1.1 材料

供试作物为 6 年生葡萄,选用当地主栽品种红地球,种植株间距 0.8 m、行间距 2.0 m.葡萄栽培设施采用当地普遍采用的日光温室,建筑面积为 8 m×80 m.

1.2 方法

1.2.1 试验设计 将延后栽培葡萄生育期划分为萌芽期(5月6日—5月29日)、抽蔓期(5月30日—6月18日)、开花期(6月19日—6月29日)、浆果膨大期(6月30日—9月9日)和着色成熟期(9月10日—12月17日).采用单因素完全随机试验,每个生育期设轻度和中度 2 个水分胁迫水平(土壤含水率下限分别为 θ_f 的 65%、55%),以全生育期充分供水(土壤含水率下限为 75% θ_f)为对照(CK),为细化葡萄浆果膨大期至聚糖着色期研究,增设 1 个高水分水平(土壤含水率下限为 85% θ_f),共 12 个水分调控处理,每个处理设 3 次重复,共 36 个小区,具体设计见表 1.试验采用小管出流灌溉,1 管 1 行控制模式,水表量水.用土钻取土(取土深度依次为 10、20、40、60、80、100 cm)烘干法测定土壤含水率,当小区实测土壤含水量占田间持水量的百分比达到试验设计对应

的下限值(表1)时灌水,灌水定额为 $270\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, 上限分别达到 $100\%\theta_f$ 、 $90\%\theta_f$ 、 $80\%\theta_f$. 所有小区施肥、修剪等农艺措施均相同.

表 1 试验设计方案
Tab.1 Experimental design

处理	各阶段土壤含水率下限(占 θ_f 的百分数)/%				
	萌芽期	抽蔓期	开花期	果实膨大期	着色成熟期
萌芽期轻度水分胁迫	65	75	75	75	75
抽蔓期轻度水分胁迫	75	65	75	75	75
开花期轻度水分胁迫	75	75	65	75	75
果实膨大期轻度水分胁迫	75	75	75	65	75
着色成熟期轻度水分胁迫	75	75	75	75	65
萌芽期中度水分胁迫	55	75	75	75	75
抽蔓期中度水分胁迫	75	55	75	75	75
开花期中度水分胁迫	75	75	55	75	75
果实膨大期中度水分胁迫	75	75	75	55	75
着色成熟期中度水分胁迫	75	75	75	75	55
果实膨大期高水分水平	75	75	75	85	75
充分供水(对照)	75	75	75	75	75

1.2.2 葡萄纵、横径的测定 利用游标卡尺对葡萄浆果纵、横径进行测量. 每个小区选定5穗,每穗选取上、中、下3粒并标记,测定周期为7~10 d.

1.2.3 叶片内氮含量和叶绿素含量的测定 采用浙江托普仪器有限公司生产的TYS-3N型植物营养测定仪测定,每个小区选择3株葡萄9片叶片定株测量,周期为7~10 d,选择天气晴朗的早晨测定.

1.3 数据处理

葡萄膨大速率的计算依据公式:

$$v=(D_2-D_1)/T,$$

式中, v 为葡萄膨大速率($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$); D_1 为时段初纵径或横径(mm); D_2 时段末纵径或横径(mm); T 为时间(d).

耗水强度公式^[19]为:

$$e_i=E_i/T_i,$$

式中, e_i 为葡萄第*i*时段的耗水强度($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$); E_i 为第*i*时段耗水量(mm); T_i 为第*i*时段时间(d).

数据采用 Excel 2003 和 Spass13.0 进行数据处理.

2 结果与分析

2.1 水分胁迫处理对葡萄果实横径生长的影响

本试验中延后栽培葡萄果实膨大期开始于6月

30日,由表2可以看出,葡萄果实横径总体表现为初期(膨大期前16 d)膨大很快,达 $0.711\sim0.795\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$;随后膨大速率逐渐降低,膨大期第30天后跌入第1个低谷,其膨大速率仅有 $0.050\sim0.093\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$;之后膨大速率再次加快,45 d左右(8月12日—8月20日)达到第2个高峰,膨大速率提升到 $0.148\sim0.248\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$;之后又逐渐降低,70 d左右降至最低点,仅为 $0.048\sim0.134\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$.

在第1个膨大高峰期中所有处理间葡萄果实膨大速率均不存在显著性差异,而随后时段开花期中度水分胁迫膨大速率最大,达 $0.370\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$,与CK间差异达到显著水平($P<0.05$),其余处理与CK差异不显著,这可能是开花期水分胁迫之后膨大期复水补偿效应所引起的.8月20日—8月27日(即第2个膨大高峰后的第1时段),抽蔓期中度水分胁迫横径膨大率($0.218\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$)比CK提高65%,且两者差异达到显著水平($P<0.05$),其余时段内葡萄果实横径膨大速率差异不显著.整个膨大期果实横向平均膨大速率为 $0.199\sim0.223\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$,处理间差异不显著(表2);但就葡萄果实最终横径而言,开花期中度水分胁迫处理达23.67 mm,显著高于果实膨大期高水分水平和轻度水分胁迫处理.

表 2 不同水分胁迫处理的葡萄果实横径膨大速率¹⁾

Tab.2 Grape diameter enlargement rates of different water stress treatments at different growth stages $v/(\text{mm} \cdot \text{d}^{-1})$

日期	CK	CM	CS	EA	EM	ES	FM	FS	GM	GS	VM	VS
0708—0715	0.751a	0.775a	0.718a	0.756a	0.715a	0.756a	0.711a	0.769a	0.795a	0.776a	0.716a	0.730a
0715—0723	0.293cd	0.222e	0.291cd	0.305bcd	0.262de	0.351abc	0.291cd	0.370a	0.260de	0.296cd	0.278de	0.298bcd
0723—0730	0.179a	0.183a	0.177a	0.181a	0.205a	0.188a	0.185a	0.206a	0.176a	0.199a	0.179a	0.223a
0730—0807	0.076a	0.080a	0.071a	0.058a	0.050a	0.078a	0.088a	0.059a	0.082a	0.079a	0.051a	0.093a
0807—0812	0.147a	0.128a	0.197a	0.093a	0.151a	0.128a	0.173a	0.107a	0.116a	0.101a	0.170a	0.089a
0812—0820	0.211a	0.223a	0.166a	0.183a	0.248a	0.228a	0.241a	0.201a	0.177a	0.148a	0.195a	0.148a
0820—0827	0.132b	0.140b	0.153b	0.159ab	0.156b	0.160ab	0.131b	0.193ab	0.132b	0.154b	0.153b	0.218a
0827—0905	0.082a	0.085a	0.090a	0.069a	0.081a	0.082a	0.104a	0.078a	0.082a	0.083a	0.078a	0.068a
0905—0914	0.103a	0.056a	0.070a	0.048a	0.052a	0.072a	0.056a	0.084a	0.070a	0.134a	0.052a	0.099a
均值	0.213a	0.203a	0.205a	0.199a	0.205a	0.221a	0.212a	0.223a	0.203a	0.214a	0.199a	0.213a

1) 同行数据后凡具有一个相同小写字母者表示差异不显著($P>0.05$, LSD 法); CK: 对照, CM、CS 分别表示着色成熟期轻度、中度水分胁迫, EA、EM、ES 分别表示果实膨大期高水分水平、轻度水分胁迫和中度水分胁迫, FM、FS 分别表示开花期轻度、中度水分胁迫, GM、GS 分别表示萌芽期轻度、中度水分胁迫, VM、VS 分别表示抽蔓期轻度、中度水分胁迫。

2.2 水分胁迫处理对葡萄果实纵径生长的影响

设施延后栽培葡萄果实纵径膨大情况(表 3)与横径相似,存在 2 个膨大高峰期,第 1 次膨大的高峰、低谷期的时间与横径完全相同;葡萄第 1 个纵径膨大高峰的膨大速率达 $0.886 \sim 1.026 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,随后迅速降

低,到膨大期第 30 天后降至第 1 个低谷,膨大速率仅为 $0.027 \sim 0.091 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$;之后膨大速率再次加快,50 d 左右(8 月 20 日—8 月 27 日)出现第 2 个高峰,速率又提升到 $0.095 \sim 0.175 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$;之后又逐渐降低,70 d 左右降至最低点,仅为 $0.040 \sim 0.113 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

表 3 不同水分胁迫处理的葡萄果实纵径膨大速率¹⁾

Tab.3 Grape longitudinal enlargement rates of different water stress treatments at different growth stages $v/(\text{mm} \cdot \text{d}^{-1})$

日期	CK	CM	CS	EA	EM	ES	FM	FS	GM	GS	VM	VS
0708—0715	0.972ab	0.935ab	0.955ab	0.946ab	0.946ab	1.026a	0.886b	0.992ab	0.976ab	1.019a	0.896b	0.961ab
0715—0723	0.328b	0.324b	0.332b	0.413a	0.331b	0.362ab	0.321b	0.428a	0.287b	0.352ab	0.316b	0.356ab
0723—0730	0.202ab	0.191b	0.228ab	0.200ab	0.201ab	0.216ab	0.213ab	0.247a	0.201ab	0.207ab	0.205ab	0.246a
0730—0807	0.063abc	0.057bc	0.068ab	0.053bc	0.046bc	0.064abc	0.040bc	0.038bc	0.036bc	0.073ab	0.027c	0.091a
0807—0812	0.100a	0.072ab	0.092a	0.077ab	0.064ab	0.095a	0.096a	0.074ab	0.086ab	0.052ab	0.104a	0.026b
0812—0820	0.109a	0.111a	0.076a	0.097a	0.152a	0.113a	0.120a	0.141a	0.097a	0.077a	0.111a	0.060a
0820—0827	0.106bc	0.165ab	0.123abc	0.148abc	0.145abc	0.136abc	0.167ab	0.095c	0.112abc	0.113abc	0.122abc	0.175a
0827—0905	0.051a	0.064a	0.071a	0.068a	0.052a	0.069a	0.064a	0.077a	0.082a	0.077a	0.060a	0.079a
0905—0914	0.109a	0.040a	0.092a	0.056a	0.072a	0.097a	0.063a	0.080a	0.060a	0.113a	0.060a	0.089a
均值	0.219ab	0.210ab	0.219ab	0.222ab	0.217ab	0.234a	0.211ab	0.235a	0.207a	0.226ab	0.203b	0.226ab

1) 同行数据后凡具有一个相同小写字母者表示差异不显著($P>0.05$, LSD 法); CK: 对照, CM、CS 分别表示着色成熟期轻度、中度水分胁迫, EA、EM、ES 分别表示果实膨大期高水分水平、轻度水分胁迫和中度水分胁迫, FM、FS 分别表示开花期轻度、中度水分胁迫; GM、GS 分别表示萌芽期轻度、中度水分胁迫; VM、VS 分别表示抽蔓期轻度、中度水分胁迫。

与横径膨大情况相比,在第 1 个纵径膨大高峰期,膨大期中度水分胁迫和萌芽期中度胁迫的纵径膨大速率均超过 $1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,与轻度水分胁迫处理开花期和抽蔓期存在显著性差异($P<0.05$),但与 CK 间差异不显著(表 3)。随后时段开花期中度水分胁迫膨大速率最大,为 $0.428 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,与 CK 间差异显著($P<0.05$)。第 3 时段(7 月 23 日—7 月 30 日)开花期中度水分胁迫处理膨大速率也为最大值,
<http://xuebao.scau.edu.cn>

抽蔓期中度水分胁迫处理在第 1、2 时段维持较高膨大速率的基础上,第 3、第 4 时段的膨大速率依次位居第 2 和第 1,这可能也与水分胁迫后的复水补偿效应有关。第 5、第 6 时段(8 月 7 日—8 月 12 日、8 月 12 日—8 月 20 日)中抽蔓期中度水分胁迫的膨大速率均最小,第 7 时段开花期中度水分胁迫膨大速率最小,出现了复水补偿结束后的再减小过程。后续时段葡萄纵径膨大速率差异不显著。整个膨大期葡萄

纵向膨大速率为 $0.203 \sim 0.235 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 开花期中度水分胁迫膨大速率最大, 与抽蔓期、萌芽期轻度水平胁迫处理的差异显著 ($P < 0.05$); 从葡萄果实最终纵径分析, 开花期中度水分胁迫处理果实纵径达到最大, 为 25.77 mm , 显著高于抽蔓期轻度水分胁迫处理.

2.3 叶片叶绿素含量、N 含量对葡萄果实横径膨大速率的影响

将葡萄果实横径膨大速率与叶片内氮含量相关分析表明(表4), 葡萄第1时段(7月8日—7月15日)横径膨大速率与6月1日叶片N含量极显著正相关($P < 0.01$), 与前期其他时段叶片N含量也存在一定正相关关系. 第2时段横径膨大速率与6月8日、6月30日叶片N含量极显著正相关($P < 0.01$), 与7月

10日叶片N含量显著正相关($P < 0.05$). 第3时段横径膨大速率与近前期(6月30日—7月24日)横径膨大速率与7月31日叶片N含量存在一定正相关关系, 但都不显著; 随后时段(7月25日—7月30日)叶片N含量呈极显著负相关($P < 0.01$), 说明第3时段葡萄膨大速率越快, 致使植物养分消耗过多, 叶片N含量随之显著下降. 第6时段(8月12日—8月20日)横径膨大速率与7月24日叶片N含量显著正相关($P < 0.05$); 随后阶段的横径膨大速率也分别与6月30日、7月10日叶片N含量显著正相关($P < 0.05$)和极显著正相关($P < 0.01$). 由上分析可知, 葡萄横径膨大速率与之前15~50 d的叶片内N含量有密切的正相关关系, 另外叶片内N含量会由于果实膨大消耗而降低, 且膨大速率越快, 降低越多.

表4 葡萄果实横径膨大速率与叶片内氮含量和叶绿素的相关分析¹⁾

Tab.4 Correlation analyses between grape diameter enlargement rate and leaf nitrogen content or leaf chlorophyll content

指标	采样日期	不同时段横径膨大速率							
		0708—0715	0715—0723	0723—0730	0730—0807	0807—0812	0812—0820	0820—0827	0827—0905
氮含量	0601	0.47 **	-0.01	-0.20	-0.04	-0.12	0.07	-0.10	0.11
	0608	0.08	0.45 **	0.12	0.13	-0.25	-0.26	0.29	-0.04
	0623	0.19	0.07	-0.13	-0.17	0.07	-0.05	0.14	-0.02
	0630	0.06	0.48 **	0.25	0.13	-0.26	-0.15	0.38 *	0.11
	0710	0.31	0.35 *	0.17	0.13	-0.15	0.05	0.43 **	0.23
	0717	-0.11	-0.03	0.12	0.08	0.19	0.13	0.07	0.04
	0724	0.26	-0.28	0.03	-0.11	0.20	0.33 *	-0.16	0.05
	0731	0.15	-0.12	-0.43 **	-0.24	0.08	-0.02	0.03	-0.29
	1015	-0.13	0.09	0.01	-0.07	0.19	0.12	-0.05	0.09
叶绿素含量	0601	0.12	0.16	0.10	0.13	0.03	0.23	0.12	0.25
	0608	0.01	0.49 **	0.09	0.12	-0.14	-0.21	0.39 *	-0.10
	0623	-0.09	0.03	-0.18	-0.09	0.13	0.03	0.18	-0.13
	0630	-0.03	0.45 **	0.23	0.13	-0.21	-0.11	0.31	0.09
	0710	0.28	0.38 *	0.17	0.13	-0.17	0.02	0.45 **	0.22
	0717	0.10	0.08	-0.03	-0.14	0.08	0.20	0.20	0.05
	0724	0.13	-0.18	-0.08	-0.11	0.06	0.21	-0.12	-0.07
	0731	0.10	0.30	-0.01	0.04	-0.09	-0.11	0.31	-0.05
	1015	-0.09	0.17	0.12	0.04	0.20	0.17	0.03	0.18

1) “*”和“**”分别表示0.05和0.01显著水平(两尾测验).

葡萄横径膨大速率与叶片叶绿素含量相关分析表明(表4), 第2时段(7月15日—7月23日)葡萄横径膨大速率分别与6月8日、6月30日叶片叶绿素含量极显著正相关($P < 0.01$), 与7月10日叶绿素含量显著正相关($P < 0.05$); 8月22日—8月27日横径膨大速率与6月8日叶片叶绿素含量显著正相关($P < 0.05$), 与7月10日叶绿素含量极显著正

相关($P < 0.01$); 其他时段横径膨大速率与叶片叶绿素含量关系不明显(表4).

总体来看, 6月8日—7月10日(抽蔓后期至果实膨大初期)叶片N含量和叶绿素含量对葡萄横径膨大有重要影响, 在该时段提高叶片N和叶绿素含量对提高葡萄果实横向膨大速率具有重要意义.

2.4 叶片叶绿素含量、N 含量对葡萄果实纵径膨大速率的影响

葡萄纵径膨大速率与叶片内氮含量相关分析表明(表 5),葡萄第 1 时段(7 月 8 日—7 月 15 日)纵径膨大速率与 6 月 1 日、6 月 30 日、7 月 10 日叶片 N 含量显著正相关($P<0.05$);与 6 月 8 日叶片 N 含量极显著正相关($P<0.01$);而 7 月 17 日—10 月 15 日叶片 N 含量却都与第 1 时段葡萄纵径膨大速率呈负相关,7 月 31 日更是达到显著负相关水平($P<0.05$),说明前期叶片 N 的积累对葡萄初期膨大具有积极作用,而极大的膨大速率会导致后期叶片内 N 含量下降,且该时期膨大速率越快,叶片 N 下降越多.7 月 15 日—7 月 23 日、7 月 23 日—7 月 30 日 2 个时段纵径膨大速率都分别与 6 月 30 日、7 月 10 日叶片 N 含量显著或极显著正相关;随后时段纵径膨大速率与 6 月 30 日叶片 N 含量显著正相关($P<0.05$),而与 7 月 31 日叶片 N 含量显著负相关($P<0.05$),可能原因是 7 月 30 日—8 月 7 日葡萄纵径膨

大速率很小(表 3),葡萄根系吸收的 N 超过了树体自身 N 的消耗量,且膨大速率相对越快,叶片 N 含量增加反而越多.果实膨大中后期(8 月 7 日之后),葡萄纵径膨大速率与叶片 N 含量关系不明显,只有 8 月 27 日—9 月 5 日纵径膨大速率与 7 月 10 日叶片 N 呈显著正相关($P<0.05$).

果实纵径膨大速率与叶绿素相关分析表明(表 5),在果实膨大初、早期(7 月 8 日—8 月 7 日),纵径膨大速率分别与 6 月 8 日、6 月 30 日、7 月 10 日叶绿素含量存在显著或极显著正相关关系;果实膨大中后期,除 8 月 27 日—9 月 5 日纵径膨大速率与 7 月 10 日叶片叶绿素含量显著正相关($P<0.05$),其他时段纵径膨大速率与叶片叶绿素含量关系不明显.

综上所述可知,6 月 8 日—7 月 10 日(抽蔓后期至果实膨大初期)叶片 N 含量和叶绿素含量对葡萄纵径膨大至关重要,在该时段提高植物营养对增大葡萄果实纵径具有重要意义.

表 5 葡萄果实纵径膨大速率与叶片内氮含量和叶绿素的相关分析¹⁾
Tab.5 Correlation analyses between grape longitudinal enlargement rate and leaf nitrogen content or leaf chlorophyll content

指标	采样日期	不同时段纵径膨大速率							
		0708—0715	0715—0723	0723—0730	0730—0807	0807—0812	0812—0820	0820—0827	0827—0905
氮含量	0601	0.33 *	-0.14	-0.05	-0.20	0.08	0.01	-0.19	0.03
	0608	0.52 **	0.31	0.19	0.33	-0.20	-0.14	-0.19	0.05
	0623	0.25	0.17	-0.09	0.11	0.06	-0.05	-0.12	0.22
	0630	0.37 *	0.49 **	0.33 *	0.34 *	-0.24	-0.13	0.17	0.25
	0710	0.38 *	0.36 *	0.22	0.30	0.04	-0.06	0.15	0.39 *
	0717	-0.18	0.23	0.21	0.15	0.02	0.00	0.32	0.11
	0724	-0.19	-0.02	-0.24	-0.15	0.14	0.25	0.29	-0.01
	0731	-0.34 *	-0.21	-0.09	-0.38 *	0.04	-0.04	-0.08	0.01
	1015	-0.16	0.00	0.21	-0.18	0.20	0.09	0.21	0.16
叶绿素含量	0601	0.30	0.17	0.19	0.07	0.14	0.25	0.23	0.20
	0608	0.43 **	0.35	0.17	0.37 *	-0.09	-0.12	-0.09	0.12
	0623	-0.09	0.10	0.07	-0.06	0.09	0.10	0.01	0.10
	0630	0.32	0.46 **	0.33 *	0.29	-0.19	-0.06	0.17	0.18
	0710	0.40 *	0.36 *	0.26	0.31	0.03	-0.09	0.17	0.41 *
	0717	-0.18	0.16	0.06	-0.15	0.00	0.09	0.31	0.13
	0724	-0.31	-0.10	-0.09	-0.27	0.02	0.11	0.23	-0.16
	0731	0.16	0.25	0.21	0.01	-0.03	-0.01	0.07	0.28
	1015	-0.05	0.13	0.19	-0.04	0.25	0.17	0.25	0.23

1) “*”和“**”分别表示 0.05 和 0.01 显著水平(两尾测验).

3 讨论与结论

设施延后栽培葡萄果实横径和纵径膨大速率存在2个高、低峰周期,纵、横径的第1个膨大的高峰期均出现在膨大期第16天,低谷出现在第31—38天;纵径的第2次膨大高峰出现在膨大期第52—59天,比横径推迟1周。从膨大速率而言,葡萄果实的第1个快速膨大高峰中横径膨大速率是第2个高峰的3.79倍,而纵径达7.17倍。这与张大鹏等^[25]对葡萄果实膨大的研究规律基本一致。

在葡萄果实膨大初期,抽蔓期、开花期中度水分胁迫处理的葡萄果实纵径和横径膨大速率比CK有所提高,其中开花期中度胁迫处理在膨大期第16~24天纵横径膨大速率显著高于CK($P < 0.05$),表现出了明显的水分胁迫后的复水补偿效应。抽蔓期中度胁迫处理在果实膨大中期,开花期中度胁迫处理在果实膨大后期其膨大速率又出现了下降,尤其是纵径膨大速率,表现出复水补偿结束后的再减小过程。

葡萄膨大速率与叶片内N含量的相关分析得出,葡萄横径和纵径膨大速率与之前15~50 d的叶片内N含量显著或极显著正相关,即前期叶片N含量愈高,后期果实膨大速率越大。另外,7月31日葡萄叶片内N含量与前期果实膨大速率呈负显著相关,说明该时期葡萄叶片N含量因之前果实膨大消耗而降低,且膨大速率越快,降低越多。葡萄横、纵径膨大速率与同期或前期叶绿素含量呈显著或极显著正相关性,说明葡萄叶片叶绿素增加有利于提高果实膨大速率。目前,已研究证实叶片氮含量与叶片光合能力间存在显著的正相关关系^[26-27]。由于大量的叶片氮存在于叶绿体中,而叶绿体中绝大部分氮都存在于光合器中,叶片氮含量的变化,可通过调节可溶性蛋白和叶片叶绿素含量而直接影响叶片的光合作用能力。随着叶片氮含量的提高,叶片向可溶性蛋白分配的氮量会有所增加。此外,随着叶片氮含量的提高,类胡萝卜素含量显著提高^[28],从而提高了叶片的光合能力,有利于光和产物在果树中的积累,从而加速果实的膨大。

设施延后栽培葡萄膨大期结束时果实粒径与各时段膨大速率相关分析表明,果实最终横径与膨大期第一时段和期末时段膨大速率极显著正相关($P < 0.01$);纵径与膨大第1、2时段、期末及膨大期第35天的膨大速率极显著正相关($P < 0.01$)。而葡萄粒径在初期膨大速率远远大于末期证明葡萄膨大期前16 d(7月15日之前)的横径膨大速率和前24 d(7月

23日之前)的纵径膨大速率对葡萄最终粒径的形成至关重要。张有富等^[29]研究证实葡萄果实膨大呈现出“快—慢—快—慢”的“S”型发育过程,但对果实发育而言,果粒膨大初期是决定细胞数量的关键时期,这与本文研究结论基本一致。

从植物营养角度提高葡萄果实粒径分析,抽蔓后期至果实膨大初期(6月8日—7月10日)叶片N含量和叶绿素含量与葡萄膨大初期和末期膨大速率显著或极显著正相关,在该时段增加叶片N和叶绿素含量对保证葡萄果实膨大速率、形成大的果粒具有重要意义。因此,以抽蔓后期至果实膨大初期为主要研究阶段,通过水分、肥料等措施提高叶片内N和叶绿素含量,将是今后设施延后栽培葡萄果实生长过程调控研究的重点。

参考文献:

- [1] 张芮,成自勇,杨阿利,等.小管出流不同亏水时期对延后栽培葡萄耗水及品质的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(2):164-168.
- [2] MITCHELL P D, JERIE P H, CHALMERS D J. The effects of regulated water deficits on pear growth, flowering, fruit growth and yield[J]. J Am Soc Hortic Sci, 1984, 109(5):604-606
- [3] 蔡大鑫,沈能展,崔振才.调亏灌溉对作物生理生态特征影响的研究进展[J].东北农业大学学报,2004,35(2):139.
- [4] 何华,耿增超,康绍忠.调亏灌溉及其在果树栽培上的应用[J].西北林学院学报,1999,14(2):83-87.
- [5] 王开荣,李世诚,杨天仪,等.调亏灌溉对大棚葡萄生长与结实的影响[J].江苏农业科学,2008,36(4):140-143.
- [6] 张芮,成自勇.调亏对膜下滴灌制种玉米产量及水分利用效率的影响[J].华南农业大学学报,2009,30(4):98-101.
- [7] 王密侠,康绍忠,蔡焕杰.玉米调亏灌溉节水调控机理研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2004,32(12):87-90.
- [8] 孟兆江,卞新民,刘安能,等.调亏灌溉对棉花生长发育及其产量和品质的影响[J].棉花学报,2008,20(1):39-44.
- [9] 曾德超,彼得·杰里.果树调亏灌溉密植节水增产技术的研究与开发[M].北京:北京农业大学出版社,1994:5-14.
- [10] 申孝军,陈红梅,孙景生,等.调亏灌溉对膜下滴灌棉花生长、产量及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2010,29(1):40-43.
- [11] CHALMERS D J, BVANDEN E. Productivity of peach <http://xuebao.scau.edu.cn>

- trees; Factors affecting dry-weight distribution during tree growth [J]. *Ann Bot-London*, 1975, 39(161): 423-432.
- [12] CUEVAS J, CAÑETE M L, PINILLOS V, et al. Optimal dates for regulated deficit irrigation in ‘Algerie’ loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cultivated in Southeast Spain [J]. *Agr Water Manage*, 2007, 89(1/2): 131-136.
- [13] HIFGEMAN R H, SHARP F O. Response of ‘Valencia’ orange trees to four soil water schedules during 20 years [J]. *Am Soc Hort Sci*, 1970, 95: 739-741.
- [14] OJEDA H, ANDARY C, KRAEVA E, et al. Influence of pre-and post veraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz [J]. *Am J Enol Vitic*, 2002, 53(4): 261-267.
- [15] GINESTAR C, EASTHAN J, GRAY S, et al. Use of sap-flow sensors to schedule vineyard irrigation: II: Effect of post-veraison water deficits on composition of Shiraz grapes [J]. *Am J Enol Vitic*, 1998, 49(4): 421-428.
- [16] LEEUWEN VAN C, FRIANT P, CHONE X, et al. The influence of climate, soil and cultivar on terroir [J]. *Am J Enol Vitic*, 2004, 55(3): 207-217.
- [17] IRVING D E, DROST J H. Effects of water deficit on vegetative growth, fruit growth and fruit quality in Cox’s Orange Pippin apple [J]. *Hortic Sci*, 1987, 62(4): 427-432.
- [18] LÖTTER J DE V, BEUKES D J, WEBER H W. Growth and quality of apples as affected by different irrigation treatments [J]. *Hortic Sci*, 1985, 60(2): 181-192.
- [19] 张芮, 成自勇, 李毅, 等. 小管出流亏缺灌溉对设施延后栽培葡萄产量与品质的影响 [J]. *农业工程学报*, 2012, 28(20): 108-113.
- [20] 刘洪光, 何新林, 王雅琴, 等. 调亏灌溉对滴灌葡萄耗水规律及产量的影响研究 [J]. *灌溉排水学报*, 2010, 29(6): 109-111.
- [21] 程福厚, 李绍华, 孟昭清. 调亏灌溉条件下鸭梨营养生长、产量和果实品质反应的研究 [J]. *果树学报*, 2003, 20(1): 22-26.
- [22] 张海燕, 张林森, 李丙智, 等. 半根灌溉对成龄苹果树光合荧光及果实品质的影响 [J]. *西北农业学报*, 2009, 18(5): 306-311.
- [23] 赵志军, 程福厚, 王庆江, 等. 分区交替灌溉对黄冠梨生长结果和果实品质的影响 [J]. *中国果树*, 2008(6): 13-16.
- [24] 张修宇, 潘建波, 李斌. 调亏灌溉节水增产效应影响因素的研究进展 [J]. *华北水利水电学院学报*, 2006, 27(4): 45-48.
- [25] 张大鹏, 罗国光. 不同时期水分胁迫对葡萄果实生长发育的影响 [J]. *园艺学报*, 1992, 19(4): 296-300.
- [26] REICH P B, WALTERS M B, KLOEPPPEL B D, et al. Different photosynthesis-nitrogen relations in deciduous hardwood and evergreen coniferous tree species [J]. *Oecologia*, 1995, 104(1): 24-30.
- [27] 李红心. 叶片氮素含量对水曲柳幼苗光合作用的影响 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2003.
- [28] 徐程扬. 细根营养对水曲柳叶片光合作用的影响 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2001.
- [29] 张有富, 汪有奎, 张爱萍, 等. 不同水分处理对温室栽培红地球葡萄果实发育及品质的影响 [J]. *中外葡萄及葡萄酒*, 2010(9): 24-26.

【责任编辑 霍 欢】