

调亏灌溉对干旱区枣树生理特性和果实产量的影响

艾鹏睿, 马英杰*

(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要:【目的】探究调亏灌溉对生理发育的响应机理。【方法】通过大田试验,在果实膨大期设置充分灌溉处理(C1)和轻度(C2)、重度(C3)调亏灌溉处理,分析了作物生理指标变化情况。【结果】水分亏缺显著降低作物生理指标,使果实膨大期叶片净光速率减少10.51%~26.08%;气孔导度减少12.03%~23.43%;蒸腾速率减少9.62%~17.57%。作物耗水量减少13%~38%。与C1处理相比,C3处理减产18%,而C2处理产量变化不明显。枣树经过复水后,C2处理各生理指标均恢复到C1处理水平,甚至部分指标略高于C1处理;C3处理各指标恢复速度较慢,所有指标低于C1处理9%以上。【结论】水分胁迫在不影响枣树果实产量的前提下,可降低枣树叶片生理指标和耗水量,减少枝条夏剪工作量,使作物养分由供给枝条生长转而果实细胞分裂供给。但过度胁迫将会对枣树器官造成不可逆性破坏,即使经过复水处理,植物器官及果实最终产量也难以恢复至充分灌溉水平。

关键词: 枣树; 调亏灌溉; 生理指标; 耗水量

中图分类号: S661.2

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0598

艾鹏睿,马英杰. 调亏灌溉对干旱区枣树生理特性和果实产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2018,37(9):9-15.

0 引言

枣树被誉为“铁杆庄稼”,具有防风、固沙和减轻干热风等作用。其果实又是一种营养丰富的滋补佳品,深受广大人民群众喜爱。在新疆南疆地区,枣树已成为继棉花后种植面积最大的作物,并凸显为农村经济增长的新亮点。然而新疆属于典型干旱区,年均降雨量稀少,仅为74.4 mm左右^[1],水资源严重缺乏,水资源短缺成为影响该地区作物生长的主要因素。针对上述情况,推广具有节水、增产、调质优势的调亏灌溉技术可在一定程度上缓解水资源紧缺问题,促进农业合理的健康发展^[2-4]。

调亏灌溉是一种高效的节水灌溉技术,是在研究作物和水分关系的基础上,针对作物某个生育期或某个生育阶段人为的施加水分胁迫,促使作物改变生理性状或进行水分差异性分配,最终达到节水、提高经济效益等目标^[5-6]。作物在发生水分胁迫后,会根据胁迫程度的不同,产生包括各种生理生化响应在内的适应机制,以应对外界因素对作物生理性状的影响^[7-8]。国内外学者对此进行了大量研究,如Kilili等^[9]对调亏灌溉的果实品质研究发现,水分亏缺可以显著提高果实品质,增加其养分,改善口感。孟兆江等^[10]通过试验研究确定了冬小麦适宜的调亏灌溉时期,并对其作物产量、节水效果进行了评价。王娟等^[11]对果树进行试验研究后发现,调亏灌溉在不影响作物经济效益的前提下可以有效减少枝条生长量。

枣树果实膨大期为新梢生长、果实发育、花芽分化同步进行时期,需要大量的水分以保证植株的正常生长发育。若减少水分补给,则易导致落果裂果现象;若水分补给过多,则会促使枝条发育过盛,营养器官与生殖器官竞争加剧,夏剪工作量增加,同时促使果实产量下降,经济效益受损。因此,在枣树果实膨大期进行调亏灌溉,既有助于缓解水资源紧缺问题,又可以减少修剪量,保证经济效益最大化。通过在阿克苏地区对5 a生枣树果实膨大期进行调亏试验,研究果实膨大期调亏灌溉对枣树叶片生理指标和果实产量的影响,为科学制定枣树灌溉制度提供一定理论依据。

收稿日期:2017-09-27

基金项目:国家自然科学基金项目(51369029);新疆水利科技专项(2017G04)

作者简介:艾鹏睿(1992-),男。硕士研究生,主要从事灌溉节水理论研究。E-mail: a5124659@163.com

通信作者:马英杰(1969-),男。教授,博士生导师,主要从事节水灌溉生态教学和科研工作。E-mail: xj-myj@163.com

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2016年4—11月在新疆阿克苏地区新疆农业大学实验基地进行(东经80°14′,北纬41°16′)。该区域属于典型大陆性温带干旱沙漠气候,昼夜温差悬殊。多年平均太阳总辐射量为544.115~590.156 kJ/cm²,多年平均年日照时间为2 855~2 967 h,无霜期达205~219 d,多年平均降水量为74.4 mm,多年平均气温11.2℃,多年平均有效积温为3 950℃。土壤质地上层(0~50 cm)以粉砂壤土为主,下层(50~100 cm)以细沙土为主,平均干体积质量为1.39 g/cm³,田间持水率为27%(体积含水率)。地下水埋深大于10 m。

1.2 试验设计

供试材料为5 a生灰枣,行株距为4 m×1 m,计划湿润层深度为80 cm。试验田灌水方式采用南北双向沿枣树行向进行滴灌带铺设,距树30 cm。滴灌带滴头间距为20 cm,滴头流量为1.38 L/h。试验小区长10 m,宽16 m,面积480 m²,试验处理为充分灌溉(C1)、轻度水分亏缺(C2)、重度水分亏缺(C3),每个处理3次重复。为防止各处理间水分发生交互作用,在不同小区之间设置4 m缓冲带,同时挖掘20 cm宽、100 cm深的防侧渗沟,防侧渗沟内部埋设双层防侧渗塑料膜。水分亏缺程度依灌水定额占充分灌溉(C1)的比例确定,轻度亏缺设为75%,重度亏缺设为50%。

现有研究表明,土壤含水率为田间持水率的60%~90%时适宜果树生长发育^[12-13]。枣树属于耐旱型果树,因此试验将充分灌溉(C1)设定为土壤含水率始终大于田间持水率的60%,当土壤含水率低于60%田间持水率时,即视为发生了水分亏缺。所有处理灌水时间以充分灌溉为标准进行,当C1处理的土壤含水率接近田间持水率的60%时,各处理同时灌水,其中C1处理灌溉到土壤含水率为田间持水率的90%,C2处理灌溉量为C1处理的75%,C3处理灌溉量为C1处理的50%,各生育期灌水处理如表1所示。

表1 各处理枣树灌溉制度

mm

生育阶段	开花坐果期(0605—0723)	果实膨大期(0724—0915)	成熟期(0916—1020)	合计
充分灌溉(C1)	140	140	35	315
轻度调亏(C2)	140	105	35	280
重度调亏(C3)	140	70	35	245

1.3 测定项目与方法

1.3.1 作物耗水量

土壤含水率测定:每次灌水前、后采用TRIME-IPH土壤水分测定系统测量土壤含水率,降雨后、生育期始末需加测。每个处理埋设4组Trime探测管,测定深度为80 cm,每隔10 cm深度测1次。Trime探测管布设位置为:株间距离树干30、50 cm处和行间距离树干30、50 cm处。

采用水量平衡法计算枣树根区作物耗水量,即:

$$ET_c = I + P - \Delta S - R - D \quad (1)$$

式中:ET_c为作物耗水量(mm);I为灌溉量(mm);P为降雨量(mm);ΔS为土体贮水的变化量(mm);R为地表径流量(mm);D为深层渗漏量(mm)。

在干旱区采用滴灌,地表径流量假设为0。地下水埋深超过10 m,深层渗漏量设为0。土体贮水的变化量计算方式采用n+1次测定的土壤储水量减去n次测定的土壤储水量求得。

1.3.2 枣树叶片光合速率

采用CIRAS-3光合测定系统测定枣树叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度。每次均选取正南方向3片叶子进行测定。先在前1日12:00利用光合仪测定光响应曲线,选取最适宜光照强度。后在当日利用光合测定系统自带光源设定叶片最适宜光照强度进行测定,系统自带光源设定红光90%、蓝光5%、白光5%,测定时间为7月17日、8月1日、8月19日、9月15日、10月5日。

1.3.3 枣树叶片SPAD及枝条长度

采用SONY公司生产的SPAD-502叶绿素仪测定枣树叶片SPAD。每个重复在东、南、西、北方向各随机选取10片叶子取其均值作为测定值。每隔7 d测定1次。枝条长度采用皮尺进行测定,每个重复在南向选择枣吊3个,每隔10 d测定1次。

1.3.4 产量及其构成因素的测定

在果实成熟期:①每个重复随机选取3株果树测定单产,折算成产量,以代表该重复总产量;②从不同重复随机选取鲜果20个,分别测定果实纵横径及其单果鲜质量;③果实体积采用 $4/3 \times \pi \times \text{纵径} \times \text{横径}^2$ 求得,果形指数由果实的纵径/横径求得。

1.3.5 气象数据

使用 Watchdog 小型自动气象站观测气温、辐射、降雨等常用气象数据,每隔30 min自动记录1次数据,定期下载记录数据。

1.3.6 数据处理及分析

采用 office2010、DPS 软件对数据信息处理、方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 枣树各生育期耗水量

表2为不同处理条件下各生育期枣树耗水量。由表2可以看出,由于花期没有进行亏缺灌溉,各处理日均耗水量无显著差异,均为4.57~4.76 mm。当果实膨大期进行调亏灌溉后,日均耗水量出现显著差异,相比C1处理,C2处理下降13%,C3处理下降38%。成熟期复水后,C2处理耗水量出现回升,且高于C1处理12%,但C3处理仍较C1处理低9%。这是由于复水处理后,枣树内部响应机制针对由水分亏缺所造成破坏的器官进行“自我修复”,促使耗水量呈现回升,并达到与充分灌溉耗水量相似程度,甚至可能出现大于充分灌溉的情况。而重度水分亏缺由于对果树叶片等植物器官造成破坏程度较大,内部响应机制虽然会“自我修复”,但难以修复到充分灌溉水平。

表2 不同处理条件下枣树各生育期耗水量和 ET_0

			mm			
生育期	生育时间	时间/d	耗水类别	C1	C2	C3
开花坐果期	0605—0723	49	DT	4.76±0.31a	4.57±0.29a	4.73±0.29a
			ST	233.24±15.20a	223.93±14.16a	231.77±14.11a
果实膨大期	0724—0915	54	DT	3.83±0.14a	3.33±0.27b	2.37±0.33c
			ST	206.82±7.56a	179.02±13.11b	127.58±16.28c
成熟期	0916—1006	21	DT	1.81±0.21ab	2.03±0.19a	1.64±0.21b
			ST	38.01±10.17ab	42.63±9.37a	34.44±10.24b
合计	0605—1006	124	DT	3.79±0.27a	3.69±0.34a	3.15±0.25b
			ST	478.07±32.93a	445.58±33.61a	393.79±26.47b

注 DT为日均耗水量(mm)、ST为阶段总耗水量。同列相同类别不同小写字母表示处理间在5%水平差异显著。

2.2 枣树叶片光合生理特性

2.2.1 叶片净光合速率

图1为不同亏缺条件下枣树叶片净光合速率、蒸腾速率和气孔导度变化情况。从图1(a)可以看出,在枣树花期(7月17日),各处理均为充分灌溉,净光合速率基本一致,在 $18.74 \sim 20.32 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间波动。而后进入果实膨大期,枣树开始逐渐受到水分亏缺的影响。但作物本身具有自适应性调节机制,可以延缓或衰减水分亏缺对自身的损伤^[4],故在调亏初期(7月31日),C2处理净光合速率与C1处理差异不显著。而C3处理由于亏缺程度较大,且该时段为枣树需水关键期,叶片净光合速率相比C1处理显著减小20.68%。随着亏缺时间的增加,由轻度亏缺对叶片造成的损伤逐渐显露出来,至8月19日,C2、C3处理净光合速率继续下降,其中C2处理较C1处理减小幅度的扩大至18.68%,C3处理较C1处理减小幅度的扩大至30.52%,说明水分亏缺对作物净光合速率持续影响。故在调亏阶段,与C1处理相比,C2处理果实膨大期叶片净光合速率减少10.51%,C3处理减少26.08%。至成熟期恢复充分灌溉后,C2、C3处理净光合速率均出现回升。至10月5日时,虽然C2处理仍比C1处理净光合速率小2.61%,但二者差异不显著,这与前人研究结论^[15-16]相似。但C3处理比C1处理净光合速率仍同比减少25.91%,差异显著。这可能是因为长时间的重度水分胁迫导致枣树叶片光合系统受到的损伤较大,作物本身的“自我修复”体系难以完全修复。

2.2.2 叶片气孔导度

由图1(b)可知,在花期各处理叶片气孔导度基本维持在 $313 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 左右。进入果实膨大期,由于受到调亏灌溉的影响,各处理叶片气孔导度开始出现差异,与C1处理相比,C2处理和C3处理分别降低了9%和23%。故随亏缺程度的加剧,叶片气孔导度下降幅度也随之加剧。故在调亏阶段,与C1处理相比,C2

处理果实膨大期叶片气孔导度减少 12.03%, C3 处理减少 23.43%。至成熟期复水后(10月5日)为止, 叶片气孔导度均呈现回升趋势, 其中 C2 处理上升幅度较高, 最高比 C1 处理多 4%。而 C3 处理虽然呈现回升趋势, 但仍低于 C1 处理 10% 左右。

2.2.3 叶片蒸腾速率

由图 1(c)可以看出, 进行调亏灌溉后, C2、C3 处理相比 C1 处理的蒸腾速率均有所下降, 并随生育期的推进下降幅度也逐渐增大。C2 处理由 8 月 1 日下降 6% 逐渐扩大到 9 月 15 日的 11%; C3 处理由 8 月 1 日下降 15% 逐渐扩大到 9 月 15 日的 19%, 下降幅度明显。故在调亏阶段, 与 C1 处理相比, C2 处理果实膨大期叶片气孔导度减少 9.62%, C3 处理减少 17.57%。复水后, C2 处理的叶片蒸腾速率开始恢复, 至 10 月 5 日时甚至超过了 C1 处理 5%。而 C3 处理的叶片蒸腾速率恢复较慢, 至 10 月 5 日时仍低于 C1 处理 10%。这可能是由于前期的水分胁迫显著地影响了叶片的气孔开度^[25], 导致在成熟期时叶片蒸腾速率仍低于对照组, 也有可能是水分亏缺使叶片内部生成相关酶的器官受损, 导致叶片蒸腾速率下降^[17]。

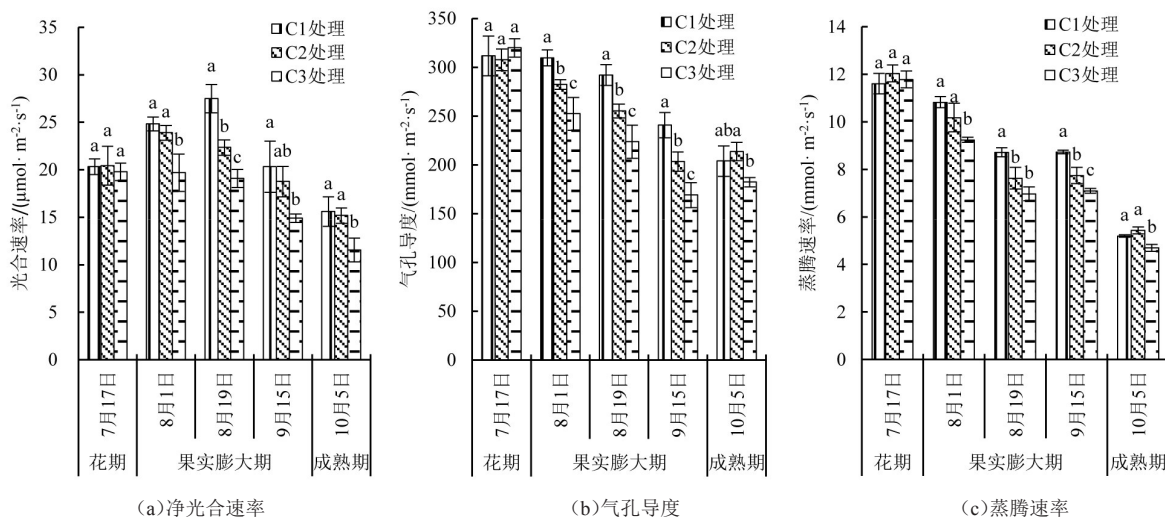


图 1 不同亏缺条件下枣树叶片光合特性变化情况

2.3 枣树叶片 SPAD 及枣树枝条生长量

图 2 为不同亏缺条件下枣树枣吊长度和叶片 SPAD 变化情况。由图 2(a)可知, 所有处理的枣树叶片 SPAD 均随着枣树生育期的延续均呈现出逐渐上升趋势。在生育前期(萌芽期和开花前期)由于叶片不断生长发育, 枣树叶片 SPAD 迅速提高; 生育中期(花期)叶片生长趋于稳定, 并供给果树生殖器官养分, 枣树叶片 SPAD 增长趋于平缓; 生育中后期(果实膨大期)叶片基本停止生长, 并把大量养分输送给果实, 因此 SPAD 变化较小。到后期时(成熟期), 由于叶片的衰老, SPAD 呈现下降趋势。对比各处理变化趋势, 在调亏前, 各处理差异较小, 枣树 SPAD 基本一致。在进行调亏灌溉后, 枣树 SPAD 均值表现为 C1 处理 > C2 处理 > C3 处理, 说明亏缺强度对枣树叶绿素量造成一定影响, 且亏缺强度越大, 叶绿素量受影响的强度越大, 致使枣树叶片内 SPAD 出现不同程度的下降。

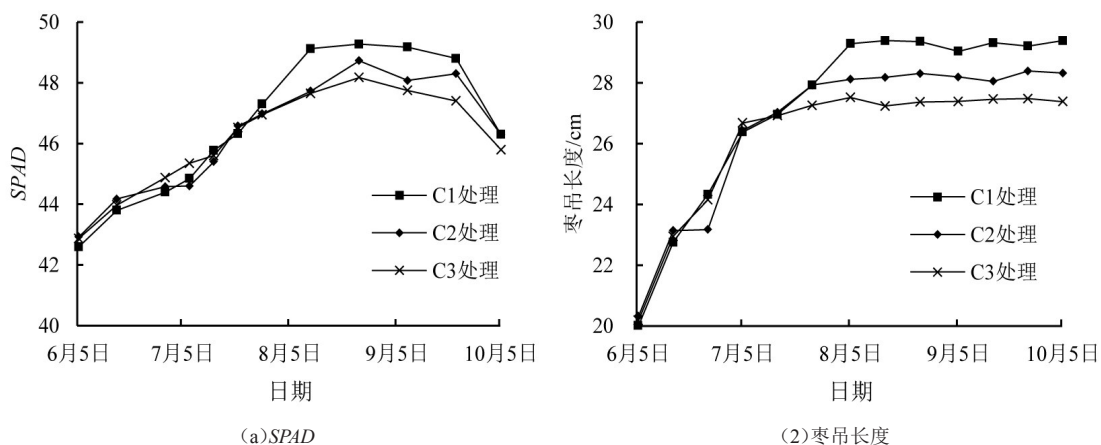


图 2 不同亏缺条件下枣树生理指标变化情况

对比不同调亏程度下枣吊长度变化情况(图2(b))可知,在枣树花期之前,3个处理由于灌水量相同,枝条生长量基本一致。但当果实膨大期进行调亏后,C2处理枝条生长速度相比C1出现明显下降,枝条生长受到轻微抑制;C3处理枝条长度基本无变化。故水分亏缺对枝条生长抑制效果显著。

2.4 调亏灌溉对枣树产量构成要素的影响

由表3可知,调亏灌溉对枣树的果实体积、单果鲜质量及产量均有显著影响,C2处理与C1处理相比,果实体积、单果鲜质量及产量差异不显著。C3处理与C1处理相比,果实体积减小25%,单果鲜质量减少15%,产量减少18%,差异显著。这表明在枣树果实膨大期进行轻度调亏对果实生长发育和产量基本无影响,而重度调亏会显著影响果实的体积、单果鲜质量及产量等,其主要原因是水分亏缺会抑制枣的果肉细胞发育和分裂,使果实体积、产量下降,对经济效益不利。同时,重度亏缺的产量减少比例大于单果鲜质量减少比例,说明重度亏缺不仅会抑制枣的果肉细胞发育和分裂,同时会导致果实数量减少,相对减少果实产量。

表3 不同处理条件下枣树产量及其构成因素

处理	果实横径/mm	果实纵径/mm	果实体积/cm ³	果形指数/(mm·mm ⁻¹)	单果鲜质量/g	产量/(kg·hm ⁻²)
C1	19.11±0.20b	30.78±0.08a	8.93±0.13a	1.61±0.40a	28.64±1.71a	2850.89±73.31a
C2	19.63±0.13a	30.01±0.04a	9.08±0.08a	1.53±0.31a	27.83±1.41a	2783.46±69.72a
C3	17.35±0.33c	28.13±0.13b	6.65±0.55b	1.62±0.39a	24.27±2.31b	2332.66±101.42b

注 同列不同小写字母表示处理间在5%水平差异显著。

3 讨论

植株在应对水分胁迫时,主要分为2个阶段。第一阶段为自我预警阶段:当土壤水分在减少时,植物叶片水分状况虽然无任何变化,但其根系已经感应到土壤水分减少,并以一定方式将信息传递至地上部并分泌化学物质,从而调节生长发育的机制,使地上部做出各种反应^[22]。第二阶段为水分生理胁迫阶段:当土壤水分减少到已经不能完全供给作物所需水分时,作物开始进行有选择的水分分配,以保证作物正常的生理发育。调亏灌溉是进行生理性水分胁迫,通过水分胁迫使作物对器官进行有选择性的水分分配,因此主要作用于第二阶段。韩占江等^[23]、黄海霞等^[24]对调亏灌溉进行研究后,发现水分亏缺可以显著降低耗水强度,提高水分利用效率,这与本文对枣树进行调亏灌溉研究结论一致。本文研究发现,枣树耗水量在调亏期间,轻度调亏(C2)下降13%;重度调亏(C3)下降38%,作物耗水量与调亏程度密切相关。但二者不是简单的线性关系,作物耗水量也与其植物本身特性、气象因素有关。当对作物进行复水处理后,调亏处理作物耗水量出现了明显的上升趋势,产生了补偿效应,如本研究中对成熟期进行复水处理后,C2处理出现回升,耗水量高于对照组12%;C3处理仍比C1处理低9%。这是由于作物本身的调节机制对其叶片、根系等植物器官进行了优化,补偿了水分逆境对植物的伤害^[22]。

在植株受水分胁迫时,可由根系产生一种信号物质(脱落酸ABA)并输送到地上部使其蒸腾速率下降,光合速率下降,叶绿素量减少^[25]。孟兆江等^[26]研究发现复水处理后作物会出现超补偿效应,有利于光合产物的分配和积累。Tognetti等^[27]研究发现,当出现水分生理胁迫时,叶片气孔导度先开始下降,而后蒸腾速率、光合速率开始下降。本研究表明,水分亏缺促使枣树叶片的的光合速率、气孔导度、蒸腾速率呈下降趋势,但其下降幅度较小并微低于其他植物。如本研究中净光合速率在亏缺条件下降幅仅为10%~20%,而其他学者研究多为20%~30%^[28]。这可能是由于枣树叶片二面均有防止水分散失的蜡质层,从而下降幅度相对较低^[29]。水分亏缺对植物叶片叶绿素和枝条生长情况均有显著影响,但对比叶绿素和枝条生长量开始受水分亏缺影响的日期后发现,在植物受水分胁迫时,首先对植物枝条的生长产生抑制作用,而后再对植物叶绿素量进行适应性调整,以减弱光合强度,水分损耗等。植物在受到水分亏缺时进行的生理性调整是存在一定顺序的,而非同时对所有器官进行生理适应性调整。因此,当施加轻微的水分限制时,由于植物本身的适应性协调,抑制枝条生长,保证果实的发育;但过度的水分亏缺,会使植物本身受到损害,这种损害会持续地积累,对果实体积和质量造成显著影响,使产量出现下降。

4 结论

1)果实膨大期进行调亏灌溉可显著影响枣树耗水量,与对照相比(C1)轻度水分亏缺(C2)使耗水量同比

下降13%,重度水分亏缺(C3)使耗水量下降38%。经过复水处理后,C2处理枣树耗水量开始回升,甚至由于作物本身自适应机制,日均耗水量出现微高于C1处理的情况。而C3处理由于营养器官在亏缺中受损严重,难以恢复至C1处理水平。

2)与C1处理相比,调亏灌溉期间枣树叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶绿素量等均受到明显抑制。其中C2处理影响程度较小,净光合速率、蒸腾速率及气孔导度分别减少了10.51%、12.03%、9.62%;C3处理影响程度较大,净光合速率、蒸腾速率及气孔导度分别减少了26.08%、23.43%、17.57%。复水后,C2处理相关指标均有回升趋势,与C1处理相接近。但C3处理经复水处理后仍与C1处理还存在差距。

3)调亏灌溉对叶绿素、枝条生长情况和果实产量均有显著影响。当植物经调亏灌溉时,植物为适应水分胁迫以减少水分耗散时,枝条生长会受到明显的抑制作用,甚至出现停止生长的情况。对于果实产量,C2处理对果实产量基本无影响,但C3处理显著减少果实体积25%,单果鲜质量15%,产量18%。故在果实膨大期施加轻度调亏,可以减少工作量,但对果树产量基本无影响。而在果实膨大期施加重度调亏将会导致产量下降,对经济效益不利。

参考文献:

- [1] 李振华. 阿克苏地区灰枣滴灌灌溉制度试验研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2013:7-8.
- [2] LI S H, HUGUET J G, SCHOCH P G, et al. Response of peach tree growth and cropping to soil water deficit at various phenological stages of fruit development[J]. *Journal of Horticultural Science*, 2015, 64(5):541-552.
- [3] M E N, SULOEMAN S, SCHULZE J, et al. Mechanisms of physiological adjustment of N₂ fixation in *Cicer arietinum* L. (chickpea) during early stages of water deficit: single or multi-factor controls[J]. *Plant Journal for Cell & Molecular Biology*, 2015, 79(6):964-980.
- [4] MARTÍNEZ-LÜSCHER J, MORALES F, DELROT S, et al. Characterization of the adaptive response of grapevine (cv. tempranillo) to uv-b radiation under water deficit conditions[J]. *Plant Science*, 2014, 232(4):13.
- [5] MATSUO N, MOCHIZUKI T. Growth and Yield of Six Rice Cultivars under Three Water-saving Cultivations[J]. *Plant Production Science*, 2015, 12(4): 514-525.
- [6] 蔡焕杰, 康绍忠, 张振华, 等. 作物调亏灌溉的适宜时间与调亏程度的研究[J]. *农业工程学报*, 2000, 16(3):24-27.
- [7] 张卿亚, 原保忠, 别之龙. 调亏灌溉对大棚甜瓜生长、产量及水分利用效率的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2014, 33(Z1):90-93, 111.
- [8] 李文尧, 张岁岐, 山仑. 苜蓿叶片及根系对水分亏缺的生理生化响应[J]. *草地学报*, 2007, 15(4):299-305.
- [9] KILILI A W, BEHBOUDIAN M H, MILLS T M. Composition and quality of 'braeburn' apples under reduced irrigation[J]. *Scientia Horticulturae* (Amsterdam), 1996, 67(1/2):1-11.
- [10] 孟兆江, 贾大林, 刘安能, 等. 调亏灌溉对冬小麦生理机制及水分利用效率的影响[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(4):66-69.
- [11] 王娟, 马英杰, 洪明, 等. 调亏灌溉对滴灌红枣生长与品质的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2014, 33(3):126-129.
- [12] 康绍忠, 蔡焕杰. *农业水管理学*[M]. 北京:中国农业出版社, 1996: 1-12.
- [13] 王中英. *果树抗旱生理*[M]. 北京:中国农业出版社, 2000: 5-20.
- [14] 张敏, 李静媛, 张占彪, 等. 干旱胁迫对'夕阳红'幼苗生长和生理生化指标的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2015, 34(9):99-104.
- [15] DEJENE K, MENGISTU. The influence of soil water deficit imposed during various developmental phases on physiological processes of tef (*eragrostis tef*) [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2009, 132(3/4):283-289.
- [16] ZHAO K, WU Y. Effects of Zn Deficiency and Bicarbonate on the Growth and Photosynthetic Characteristics of Four Plant Species[J]. *Plos One*, 2017, 12(1):e0169812.
- [17] 武阳, 王伟, 赵智, 等. 调亏灌溉对香梨叶片光合速率及水分利用效率的影响[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(11):80-86.
- [18] 吴泳辰, 韩国君, 陈年来. 调亏灌溉对加工番茄产量、品质及水分利用效率的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2016, 35(7):104-107.
- [19] BALLESTER, CASTEL, INTRIGLIOLO, et al. Response of Navel Lane Late citrus trees to regulated deficit irrigation: yield components and fruit composition[J]. *Irrigation Science*, 2013, 31(3):333-341.
- [20] KIFLE M, GEBRETSADIKAN T G. Yield and water use efficiency of furrow irrigated potato under regulated deficit irrigation, Atsibi-Wemberta, North Ethiopia[J]. *Agricultural Water Management*, 2016, 170(8):133-139.
- [21] 熊建, 王忠波, 张忠学, 等. 保墒措施和调亏灌溉对寒区春玉米生长生理及产量和水分利用的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2018, 37(2):6-15.
- [22] 颜君丽, 张恒嘉, 李有先, 等. 膜下滴灌调亏对加工番茄产量和水分利用效率的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2012, 31(1):78-81.
- [23] 韩占江, 于振文, 王东, 等. 调亏灌溉对冬小麦耗水特性和水分利用效率的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 11:2 671-2 677.
- [24] 黄海霞, 韩国君, 陈年来, 等. 荒漠绿洲调亏灌溉条件下辣椒耗水规律研究[J]. *自然资源学报*, 2012(5):747-756.
- [25] BOLAND A M, MITCHELL P D, JERIE P H, et al. The effect of regulated deficit irrigation on tree water use and growth of peach[J]. *Journal of Horticultural Science*, 2015, 68(2):261-274.
- [26] 孟兆江, 刘安能, 庞鸿宾, 等. 夏玉米调亏灌溉的生理机制与指标研究[J]. *农业工程学报*, 1998, 14(4):88-92.
- [27] TOGNETTI R, LONGOBUCCO A, MIGLIETTA F, et al. Water relations, stomatal response and transpiration of *quercus pubescens* trees during summer in a mediterranean carbon dioxide spring[J]. *Tree Physiology*, 1999, 19(4/5):261-270.

- [28] 张恒嘉, 李晶. 绿洲膜下滴灌调亏马铃薯光合生理特性与水分利用[J]. 农业机械学报, 2013, 44(10):143-151.
- [29] 马福生, 康绍忠, 王密侠, 等. 调亏灌溉对温室梨枣树水分利用效率与枣品质的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1):37-43.

Effects of Regulated Deficit Irrigation on Physiological Characteristics and Water Consumption of Jujube in Arid Area

AI Pengrui, MA Yingjie*

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: **【Objective】** Plant development depends on soil water and this paper is to investigate how physiological characteristics and water consumption of jujube growing in arid area changed in response to regulated deficit irrigation. **【Method】** The experiment was conducted in a field in which the changes of physiological traits of the jujube were analyzed under three water treatments: sufficient irrigation treatment (C1), moderate water-stress treatment (C2) and severe water-stress treatment (C3) via regulated deficit irrigation during fruit expansion period. **【Result】** Water deficit significantly reduced the physiological characteristics and reduced leaf photosynthetic index by 8%~27% and water consumption by 13%~38% respectively. Compared with C1, C3 treatment reduced the yield by 18%. After re-watering, the physiological indexes at C2 treatment all restored to or higher than the level at C1 treatment. In contrast, the recovery rate of all indexes under C3 treatment was slow, and some were 10% lower than that under C1. **【Conclusion】** Without compromising fruit yield, water stress could reduce the physiological index and water consumption, thereby reducing the workload of cutting in summer. It also diverted the nutrient otherwise used for growth to fruit cell division. However, excessive water stress could lead to irreversible damage to plant organs, and as such, even after re-watering the final yield of plant organs and fruits were unable restored to the levels under sufficient irrigation.

Key words: jujube; regulated deficit irrigation; physiological traits; water consumption

责任编辑:陆红飞