

河套灌区调亏畦灌对加工番茄生长发育、产量和果实品质的影响

郑凤杰 杨培岭* 任树梅 蒋光昱 贺新

(中国农业大学 水利与土木工程学院,北京 100083)

摘要 采用大田畦灌试验,研究花期和坐果期分别实施 67%和 33%的灌水量对河套地区加工番茄生长发育、产量和果实品质的影响。结果表明:花期水分亏缺会使土壤电导率显著增大,而坐果期不明显。各调亏处理的硬度均显著增大,储藏性能得到了提高。调亏处理后口感品质指标(可溶性固形物、有机酸与糖酸比)和营养品质指标(维生素 C、可溶性糖与番茄红素)平均值均高于充分灌溉处理,且随亏缺度加深而不同幅度增加,但只有可溶性固形物 TSS 和维生素 C 含量在重度亏缺时达到显著差异;在轻度亏缺下,坐果期处理优于花期,有效产量和水分生产率相对对照分别提高了 10.25%和 7.28%。在加工番茄果期实施 67%灌水量的轻度亏缺,可以得到最高有效产量和水分生产率,且各外观品质、储藏品质、口感品质和营养品质均有所提高。

关键词 调亏灌溉;畦灌;加工番茄;产量;品质

中图分类号 S 274.3; S 652.4

文章编号 1007-4333(2016)05-0083-08

文献标志码 A

Effect of regulated deficit irrigation on the plant growth, yield and quality of processing tomato under border irrigation in Hetao Irrigation District

ZHENG Feng-jie, YANG Pei-ling*, REN Shu-mei, JIANG Guang-yu, HE Xin

(College of Water Resources & Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract Border irrigation experiments were conducted to study the effect of regulated deficit irrigation, which means 33% or 67% of full irrigation water at flowering and fruit-bearing period, on the plant growth, yield and quality of tomato in Hetao Irrigation District. The results showed that: Water deficit at flowering stage increased soil electrical conductivity (EC) significantly, while the increase was not obvious at fruit-bearing period; The firmness of fruit was significantly increased, hence improved its storage performance; The taste quality indicators (total soluble solids, organic acids and sugar acid ratio) and nutritional quality index (vitamin C, soluble sugar and lycopene) were higher than those of CK, and greater with the increase of the deficit degree. However, only SS and VC under severe deficit reached significant difference; Under mild deficit condition, merit at fruit-bearing period is more obvious than that at flowering period, and the yield and water productivity increased by 10.25% and 7.28% than full irrigation, respectively. In conclusion, in order to achieve the highest yield and water productivity and improve the appearance quality, storage quality, taste quality and nutrition quality of fruit, mild deficit at flowering stage was most reasonable for tomato under border irrigation in Hetao Irrigation District.

Keywords regulated deficit irrigation; border irrigation; processing tomato; effective yield; quality

在各行业用水矛盾日益突出且人们关注点从果实数量向质量转变的背景下,调亏灌溉^[1](Regulated deficit irrigation)已然成为加工番茄等

经济作物的首选灌溉方式。加工番茄喜光、喜温,是一种节水半耐性经济作物,具有很高的推广前景和经济价值。王丽娟等^[2]为了提高番茄品质,以不同

收稿日期:2015-05-29

基金项目:水利部公益性行业科研专项经费资助项目(201301094);国家自然科学基金项目(51321001)

第一作者:郑凤杰,硕士研究生,E-mail:Zheng_fj163@163.com

通讯作者:杨培岭,教授,博士生导师,主要从事灌溉理论与技术研究,E-mail:yang-pl@163.com

品种番茄为试材,研究发现水分调亏控制在75%以上为宜。刘明池等^[3]进一步研究表明,为了保证品质有一定提高而产量降低又不太多,以膨大期为最佳亏缺时期。Chen等^[4]在温室条件下定量研究了产量与品质对调亏时期与亏缺度的响应,结果表明:番茄产量在花期和坐果期对水分亏缺较为敏感,而果实品质主要受坐果期水分亏缺的影响。目前,加工番茄调亏试验的研究偏向对亏缺时期或调亏度单一因素的讨论,且主要集中在温室大棚^[3-4]或盆栽试验^[2,5]条件下,未考虑同当前田间生产中普遍应用的畦灌方式相结合。为此,本研究通过田间调亏畦灌试验,探究不同生育期调亏和调亏度对加工番茄生长发育、产量与品质的影响,以期为当地节水高效的田间生产提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验于2014年在内蒙古巴彦淖尔市曙光试验站开展,试验站经纬度坐标为40°10'N,104°48'E,属温带大陆性气候。年均降雨量仅为142 mm,年

蒸发高达2 306 mm。试验地的土壤质地为沙壤土,容重1.58 g/cm³,田间持水率实测值0.22,地下水埋深1.8 m。

试验品种为石屯2号加工番茄。番茄采用覆膜种植,共设置5个小区处理,1组重复。小区面积为32 m²,小区间设置1 m隔离带。小区内布置6行,平均行距0.6 m,株距0.3 m;小区株数约140株,种植密度约4.5株/m²。灌水方式为畦灌。

1.2 试验处理

番茄在温室育苗至6~7片叶时移苗到大田,以田间50%幼苗叶子辗平、50%植株第1穗花开、田间50%植株第1穗果径达1 cm、田间植株有50%果红分别作为苗期、花期、坐果期和红熟期的开端。本试验共设置5个处理,根据Chen等^[4]的研究,苗期亏缺并无明显差异,故苗期不做亏缺处理;同时,据黄春霞^[6]的研究并结合种植经验,红熟期高水分易导致裂果和烂果,故红熟期也不做灌水处理。以全生育期充分灌溉为对照;T1和T2分别在花期和坐果期实施33%的轻度亏缺;T3和T4分别在花期和坐果期实施67%重度亏缺(表1)。

表1 不同调亏处理的试验设计

Table 1 Experimental treatments of regulated deficit irrigation of processing tomato

处理 Treatment	调亏程度 Degree of RDI	苗期(17 d) Seedling stage	花期(24 d) Flowering stage	坐果期(37 d) Flushing stage	红熟期(15 d) Mature stage	灌水量/mm Irrigation amount
CK	无	100%I	100%I	100%I	—	255.00
T1	轻	100%I	67%I	100%I	—	239.16
T2	轻	100%I	100%I	67%I	—	212.43
T3	重	100%I	33%I	100%I	—	222.84
T4	重	100%I	100%I	33%I	—	168.57

注:I为相应生育期充分灌溉处理的灌水量,苗期、花期和坐果期的I分别为78、48和129 mm。

Note: I is full irrigation amount at different growth period; The values are 78, 48 and 129 mm at seedling, flowering and fruitshing period.

1.3 观测项目与方法

调亏试验的指标有:土壤物理参数(土壤电导率EC),番茄生长指标(株高、茎粗),产量(有效产量、水分生产率、烂果质量),外观品质(果形指数),储藏品质(硬度F),口感品质(可溶性固形物、有机酸、糖酸比),营养品质(维生素C、可溶性糖、番茄红素)。土壤电导率EC采用DDS-307W电导率仪,在番茄的不同生育期对0~100 cm不同深度测定。生长指标分别使用卷尺和游标卡尺以7天为周期测定。单

果质量和有效产量用精度为0.01 g的电子秤测量。果形指数是指果实纵径与横径的比值。果实硬度F采用FHR-5硬度计在果实果肩处各测定3次,取平均值。可溶性固形物SS采用日本PR-32 α 手持数字糖量计^[7]测定;有机酸采用NaOH滴定法测定;糖酸比是指食品或食品原料中总糖量(可溶性固形物,一般以糖度折射计的示度表示)与总酸含量的比^[8]。维生素C采用2,6-二氯靛酚溶液滴定法测定;可溶性糖采用硫酸蒽酮比色法测定;番茄红素采

用紫外-可见分光光度法测定^[9]。

1.4 数据处理与分析

利用 Microsoft Excel 2007 处理数据,制作相关图表。采用 SPSS 17.0 对采集的数据进行方差分析,Duncan 检验进行均值的显著性检验。

2 结果与分析

2.1 调亏灌溉对土壤盐分时空变化的影响

调亏灌溉减少了灌水量,促进了土壤中的盐分积累。为了更好地了解水分亏缺对植株生境的影响,对土壤电导率 EC 进行测定。

整体上,移栽前番茄各处理的 EC 初始值(图 1(a))在同一埋深上差异并不显著;20 cm 处比 10 cm 处略大,平均值高 4.4%;20 cm 以下随深

度增加而有所降低,并趋于稳定。花期(图 1(b))各层土壤的 EC 值相对初始值均有一定幅度增大;T1 和 T3 在 20~30 cm 处大幅增加,20 cm 处达到峰值,比平均值分别高出 75%和 153%;50~70 cm,EC 值逐渐趋于均值,且变化率减小,说明 50 cm 以下土层受水分亏缺的影响较小,EC 值的扰动也变小。坐果期末(图 1(c))T1~T4 的 EC 值均大于 CK,即调亏处理使土壤电导率不同程度的增大;20~30 cm 处 T1 和 T3 的 EC 值回落,而 50~70 cm 有所增加,这应该是恢复正常灌水后,花期积累的盐分得到淋洗迁移的结果;而 T2 和 T4 的 EC 值略大于 T1 与 T3,表明坐果期调亏处理也会引起土壤电导率的变化,但是没有花期影响显著。

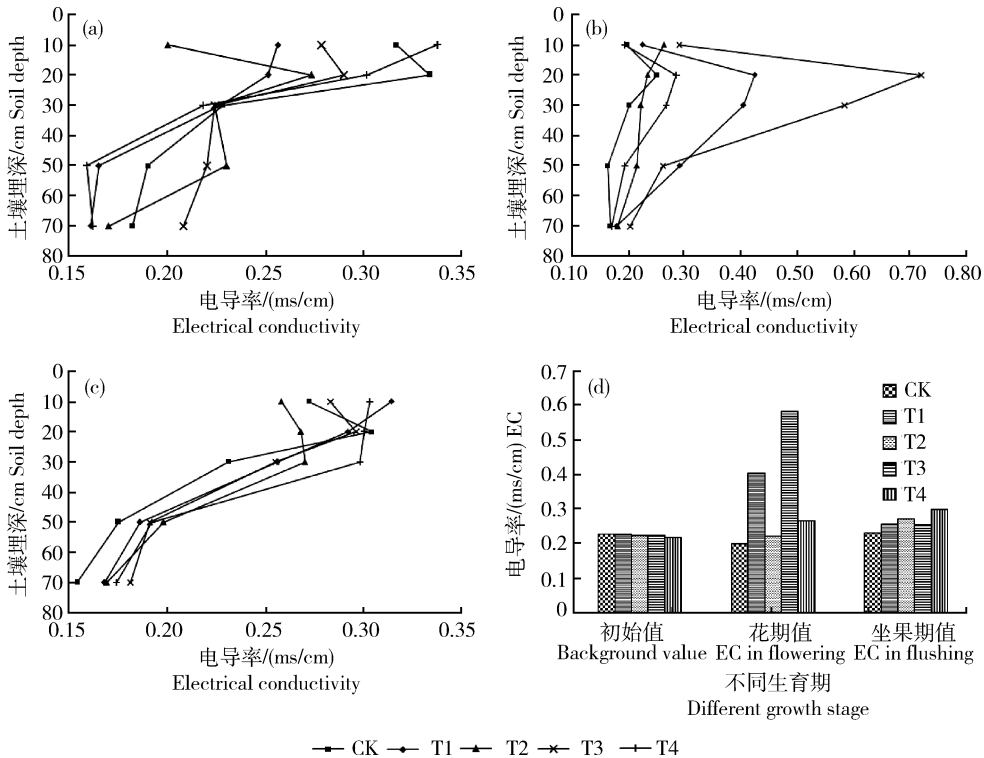


图 1 加工番茄各处理苗期末(a)、花期末(b)和坐果期末(c)及 30 cm 处(d)电导率分布
Fig. 1 EC value distribution of treatments at seedling period (a), flowering period (b), fruit-bearing period (c) and 30 cm (d)

分析图 1(a)~(c)可以看出,调亏灌溉对土壤电导率的影响主要集中在耕作层 10~30 cm;同时,经过对番茄根重的测定,其根主要分布在 15~30 cm。因此,着重分析各处理土壤在 30 cm 处的 EC 变化情况(图 1(d))。在种植期内,电导率总体趋势是逐渐增加的。在苗期末,初始值基本相同,平

均值为 0.224 ms/cm。花期差异较大,尤其是该阶段实施水分调亏处理的 T1 和 T3,分别较平均值 0.23 ms/cm 增加了 75%和 153%,达到了 0.404 和 0.583 ms/cm,这可能是灌水量减少、盐分得不到有效淋洗、在土壤中富集的结果。罗璇等^[10]的研究表明:土壤中一定浓度的盐分会使作物开花受到明显抑

制,坐果率降低,这在一定程度上解释了花期产量降低的事实。坐果期数值较为均一,平均值 0.263 ms/cm 。花期 EC 值增大的 T1 和 T3,此时回落到正常水平,其盐分应该是在坐果期水分恢复后,得到淋洗进入下层土壤的结果。由上可以看出,土壤电导率随水分亏缺度增加而增大,且花期的作用远大于坐果期。

2.2 调亏灌溉对加工番茄生长指标的影响

株高和茎粗是作物很重要的生理指标,是作物在生境下自身物质分配的体现,同时也是作物抗倒伏能力强弱的反映,在很大程度上反映了作物的营养生长和生殖生长之间的关系。

2.2.1 调亏灌溉对加工番茄株高的影响

由图 2(a)可见,加工番茄的株高 H 呈随着

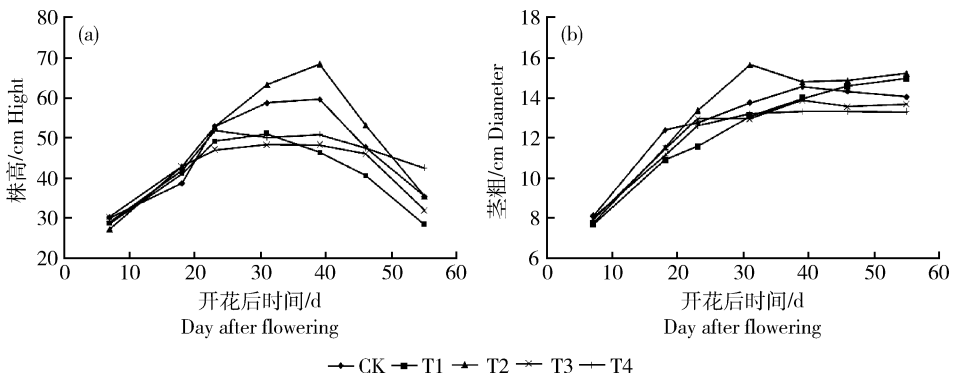


图 2 生育期内各处理株高(a)和茎粗(b)的变化

Fig. 2 The plant height (a) and stem diameter (b) change of treatments at reproductive period

2.2.2 调亏灌溉对加工番茄茎粗的影响

从图 2(b)看出,在不同的灌水量亏缺处理中,加工番茄的茎粗 D 总体上呈现随着作物的生长日渐粗壮的趋势,花期平均茎粗 12.63 mm ,坐果期平均 13.99 mm 。在花期和坐果前期增长较快,后期渐趋稳定。这可能和番茄生长逐渐从营养生长转向生殖生长,从而茎粗增长减弱有关。在花期末,茎粗 $D_{T2} > D_{CK} \approx D_{T4} > D_{T3} > D_{T1}$;生育期末, $D_{T2} > D_{T1} > D_{CK} > D_{T3} > D_{T4}$,分别为 15.21 、 14.97 、 14.05 、 13.69 和 13.12 mm 。特别指出:花期受 33% 水分胁迫的 T1,在进入坐果期后,茎粗增长迅速,表现出一定的补偿效应,增强了其抗倒伏的能力;而 T2 和 T4 尽管此时受到水分胁迫,但前期营养生长基本定型,故茎粗比较稳定。

2.3 调亏灌溉对加工番茄产量和水分生产率的影响

不同生育期、不同水平的灌水量亏缺条件下的加工番茄有效产量 Y 和水分生产率见图 3。已有研

究^[11]表明:作物在某一水平下的减产程度,取决于亏缺持续时间和程度。不同处理间的 Y 表现为 $Y_{T2} > Y_{CK} > Y_{T1} > Y_{T4} > Y_{T3}$,水分生产率与其规律相同。表现最优的为坐果期轻度亏缺的 T2, Y 和水分生产率分别为 64.82 t/hm^2 和 34.46 kg/m^3 ;最差为花期重度亏缺的 T3,其值分别为 34.25 t/hm^2 和

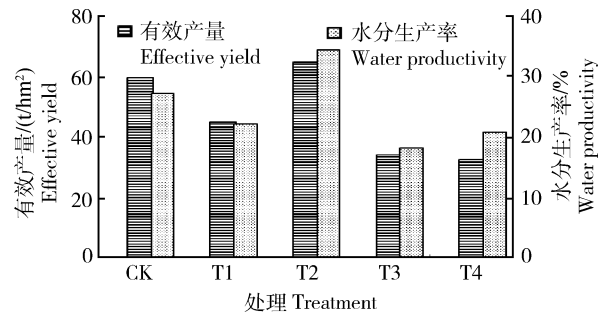


图 3 各处理的有效产量与水分生产率

Fig. 3 Effective yield and irrigation water use efficiency analysis for treatments

18.32 kg/m³。Y_{T2}比Y_{CK}增加了10.25%，水分生产率提高了7.28%；Y_{T1}、Y_{T3}和Y_{T4}分别比Y_{CK}降低了24.25%、42.56%和45.03%，水分生产率降低了4.98%、8.89%和6.31%。这和刘明池等^[3,12]的研究结果较为一致，即番茄产量随着在2个生育期内水量的减少而减少，且亏缺开始时间越靠后，负面影响越小。这是因为若在坐果期开始后再实施调亏处理，果实中细胞的数量等已基本确定，故产量降低幅度相对较小。

各处理的烂果质量与有效产量Y呈现此消彼长的趋势(图4)，两者相关度R²达90%以上。T3的烂果质量最高，为0.255 t/hm²，T2最小，为0.060 t/hm²。同时，烂果质量占有效产量的比重分

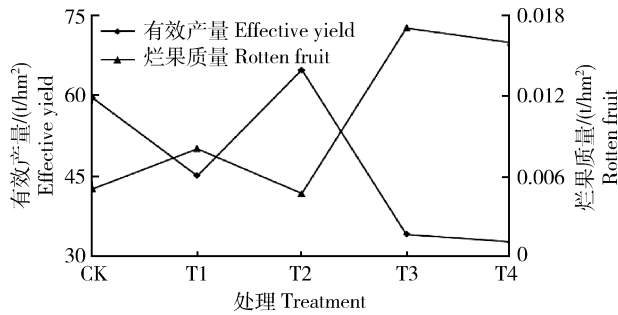


图 4 各处理的有效产量与烂果质量

Fig. 4 Effective yield and rotten fruit quantity analysis for treatments

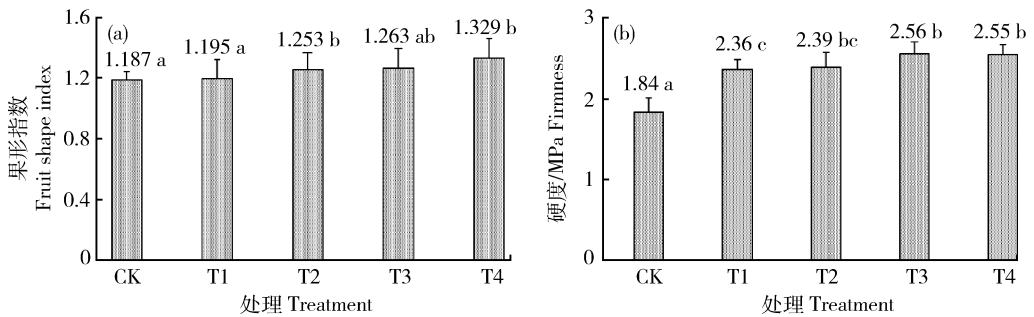


图 5 各处理果形指数 (a)和果实硬度 (b)显著性分析

Fig. 5 The significance analysis for the fruit shape index (a) and fruit hardness (b) of different treatments

2.4.3 调亏灌溉对加工番茄口感品质指标的影响

表 2 示出在不同水平亏缺下调亏灌溉对加工番茄口感品质指标的影响。

1)可溶性固形物 TSS。可溶性固形物的含量与亏缺度呈正相关，且在重度亏缺时增加显著(表 2)。轻度亏缺处理 T1 与 T2 的 TSS 含量在 CK 的基础上提高了 4.1%和 26.8%，但均未通过显著

性检验；重度处理 T3 与 T4 的 TSS 含量相对于 CK、T1 和 T2 均显著增加，其值比 CK 分别提高了 44.1%和 32.3%。以上结果的出现，一方面是因为亏缺后果实吸收的水分减少，从而降低对 TSS 浓度的稀释；另一方面，水分胁迫在一定程度上增强了可溶性酸性转化酶的活性，进而促进了可溶性固形物的合成，提高了其含量^[14]。

2.4 调亏灌溉对加工番茄品质的影响

2.4.1 调亏灌溉对加工番茄外观品质指标的影响

果形指数 I 是衡量外观品质的有效指标，品种特性和环境条件都影响果形指数。果形指数总体表现为 I_{T4} > I_{T3} > I_{T2} > I_{T1} > I_{CK}，即随着亏缺程度的加深果形指数变大(图 5(a))，其最大值为 1.33 (I_{T4})，最小值为 1.19 (I_{CK})。只有 T4 通过了置信检验，表现出显著的差异，其值比 I_{CK} 增大了 11.7%。同时，在同一亏缺度下，坐果期亏缺处理的果形指数大于花期：I_{T2} 相较于 I_{T1}、I_{T4} 相较于 I_{T3} 分别提高了 5.6%和 6.1%。

2.4.2 调亏灌溉对加工番茄储藏品质的影响

番茄硬度 (F) 是储藏品质的重要指标之一，增强果实硬度可以有效减少机械损伤，从而延长储存期限。诸多研究表明，亏缺能提高番茄果实的硬度，且亏水时间不同，硬度不同^[13]。试验中各处理加工番茄的硬度值分别为 1.84、2.36、2.39、2.56 和 2.55 MPa，即 F_{T3} > F_{T4} > F_{T2} > F_{T1} > F_{CK} (图 5(b))。同时，与 CK 相比，各水平处理加工番茄的硬度值分别提高了 28.3%、29.9%、39.1%和 38.6%，且差异显著，说明不同的调亏处理均显著提高了番茄的硬度值，且其随着亏缺度的加深而增大。

2)有机酸 OA。各处理 OA 含量的总体趋势为 $w(OA)_{T4} > w(OA)_{T3} > w(OA)_{T1} > w(OA)_{T2} > w(OA)_{CK}$ 。各处理的 OA 值相对充分灌溉 CK 均有所提高,分别为 8.1%、4.3%、11.7%和 29%,但各处理间的差异均未通过显著性检验。

3)糖酸质量比。糖酸质量比与可溶性固形物的

变化情况相似,即与灌水量呈负相关趋势。其最大值出现在花期重度亏缺的 T3,最小值则出现在 CK,T3 相对 CK 增加了 24.5%,但同有机酸一样并未通过显著性检验。此外,轻度亏缺时,坐果期调亏处理的果实的糖酸质量比高于花期,而重度亏缺度时则相反(表 2)。

表 2 调亏灌溉对加工番茄口感品质的影响

Table 2 The effect of RDI on tasting quality of processing tomato

灌水处理 Treatment	$w(TSS)/\%$ Total soluble solids	$w(OA)/\%$ Organic acids	糖酸质量比 Ratio of OA and TSS
CK	4.58 a	8.41 a	0.57 a
T1	4.77 a	9.10 a	0.59 a
T2	5.81 a	8.78 a	0.61 a
T3	6.61 b	9.40 a	0.71 a
T4	6.06 b	10.89 a	0.65 a

注:TSS为可溶性固形物,OA为有机酸。同一列数据不同字母表示 $P < 0.05$ 水平差异显著。

Note:TSS, Total soluble solids; OA, Organic acids. Different letters within the same column denote significant difference at 0.05 level.

2.4.4 调亏灌溉对加工番茄营养品质指标的影响

表 3 示出不同水平亏缺下调亏灌溉对加工番茄营养品质指标的影响。

1)维生素 C (VC)。各处理 VC 质量分数的最大值为 11.70 mg/100 g,最小值仅 5.58 mg/100 g。轻度亏缺时 $w(VC)_{T1}$ 和 $w(VC)_{T2}$ 相对 $w(VC)_{CK}$ 并未达到显著水平;重度亏缺处理 T3 和 T4 的 VC 值则显著增加了 39.4%和 55.5%。相同水平亏缺时,坐果期的 $w(VC)$ 分别高于开花期 15.8%和 16.1%。Patane 等^[15]的研究表明,亏缺有利于 VC 含量的增加。VC 的合成路径还很难解释,但是水分亏缺会降低叶面积指数^[16],从而增强果实的光照强度,并延长日照时间,这有利于 VC 的积累^[17]。

2)可溶性糖 SS。各处理的可溶性糖含量相比对照均有所增加,T1~T4 增幅分别为 3.54%、3.61%、3.80%、3.75%和 3.97%。生育期内,可溶性糖均随亏缺度增加而增加,且在坐果期处理的增长幅度大于花期,但都没有达到显著差异。相同水平的亏缺时,坐果期比花期高 0.20%和 0.22%。

3)番茄红素 L。各处理番茄红素含量相比对照均有所提高,T1~T4 增幅分别为 36.6%、70.4%、65.5%和 56.6%,但未达到显著性差异。其最大值 $w(L)_{T2}$ 与最小值 $w(L)_{CK}$ 的极差达到了 7.43 mg/100 g。在轻度亏缺时,坐果期的增长幅度高于花期 33.8%。

表 3 调亏灌溉对加工番茄营养品质的影响

Table 3 The effect of RDI on nutrition quality of processing tomato

灌水处理 Treatment	$w(VC)/(mg/100 g)$ Vitamin C	$w(SS)/\%$ Soluble sugar	$w(L)/(mg/100 g)$ Lycopene
CK	5.58 a	3.54 a	13.11 a
T1	6.77 a	3.61 a	17.91 a
T2	7.52 a	3.80 a	22.34 a
T3	10.49 b	3.75 a	21.67 a
T4	11.70 b	3.97 a	20.54 a

注:VC为维生素 C,SS为可溶性糖,L为番茄红素。

Note:VC,SS and L represent vitamin C,soluble sugar and lycopene,respectively.

3 结论与讨论

花期水分亏缺导致 10~30 cm 土层内的土壤含盐量显著升高,这可能是造成减产的原因之一;但在生育末期,各处理间 EC 并无差异。调亏灌溉使植株的株高茎粗降低,限制了其营养生长^[18]。坐果期减少 33% 的灌水量,可使有效产量和水分生产率相对提高 10.25% 和 7.28%,而花期处理和过度的水分亏缺则会带来产量损失。值得注意的是,亏缺状态下容易出现早红早熟^[19]烂果现象,且烂果质量呈现与有效产量此消彼长的趋势,说明其为减产的另一个因素。

调亏灌溉可以改善果实品质,且坐果期优于开花期,重度优于轻度。其中,番茄的储藏品质(硬度 F)最为显著, $F_{T4} > F_{T3} > F_{T2} > F_{T1} > F_{CK}$;而对于番茄的口感品质指标和营养品质指标,只有可溶性固形物 SS 和维生素 C 在重度亏缺时达到差异水平,其含量显著提高。

综上,在兼顾产量和品质的条件下,在坐果期实施 67% 的灌水量或许为最适宜当地的灌溉处理,此时,番茄的产量得到一定提高,品质也得到一定改善。这与 Chen 等^[4]、陈秀香等^[20]的研究结果较为一致。

参 考 文 献

[1] 郭松年,丁林,王福霞.作物调亏灌溉理论与技术研究进展及发展趋势[J].中国农村水利水电,2009(8):12-16
Guo S N, Ding L, Wang F X. Theoretical and technology research advancement and development trend prospect of regulated deficit irrigation on crops[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2009(8):12-16 (in Chinese)

[2] 王丽娟,马刚,张岚翠.水分亏缺处理对番茄果实品质及产量的影响[J].安徽农业科学,2010,38(9):4499-4500
Wang L J, Ma G, Zhang L C. Effect of water deficit on fruit quality and production of tomato [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010,38(9):4499-4500 (in Chinese)

[3] 刘明池,张慎好,刘向莉.亏缺灌溉时期对番茄果实品质和产量的影响[J].农业工程学报,2005,21(S):92-95
Liu M C, Zhang S H, Liu X L. Effects of different deficit irrigation periods on yield and fruit quality of tomato [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005,21(S):92-95 (in Chinese)

[4] Chen J L, Kang S X, Du T S, Qiu R J, Guo P, Chen R Q. Quantitative response of greenhouse tomato yield and quality to water deficit at different growth stages [J]. *Agricultural*

Water Management, 2013,129:152-162

[5] 刘海涛,齐红岩,刘洋,石广鑫.不同水分亏缺程度对番茄生长发育、产量和果实品质的影响[J].沈阳农业大学学报,2006,37(3):414-418
Liu H T, Qi H Y, Liu Y, Shi G X. Effects of different water deficit levels on the growth and development, yield and quality of tomato [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2006,37(3):414-418 (in Chinese)

[6] 黄春霞.果实成熟生理和致病菌对加工番茄果实腐烂影响的研究[D].石河子:石河子大学,2006
Huang C X. Research on physiological characters in fruit ripening period and effects of pathogen to rot of processing tomato [D]. Shihezi: Shihezi University, 2006 (in Chinese)

[7] 谷婧玥,李景富,许向阳,姜景彬.番茄不同果穗间品质性状差异性研究[J].北方园艺,2014(12):26-28
Gu J Y, Li J F, Xu X Y, Jiang J B. Study on tomato's quality and traits at different tassel [J]. *Northern Horticulture*, 2014(12):26-28 (in Chinese)

[8] 杨中,张静,汤兆星.新疆酿酒葡萄加工品质评价指标体系的建立[J].广东农业科学,2011(6):119-123
Yang Z, Zhang J, Tang Z X. Selection of indexes for evaluating fruit table quality on wine grape in Xinjiang [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011(6):119-123 (in Chinese)

[9] 摆玉芬,刘玉梅.番茄红素分析方法的研究进展[J].食品科学,2014,35(3):264-268
Bai Y F, Liu Y M. Research advances in analytical methods for lycopene [J]. *Food Science*, 2014,35(3):264-268 (in Chinese)

[10] 罗璇,陈小娇,李取生,石雷,王立立,赖营.盐胁迫下番茄盐离子和重金属的分布特征[J].农业环境科学学报,2012,31(4):654-660
Luo X, Chen X J, Li Q S, Shi L, Wang L L, Lai Y. Distribution characteristics of salt ions and heavy metals in tomato under salinity stress [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012,31(4):654-660 (in Chinese)

[11] 付凌,彭世彰,李道西.作物调亏灌溉效应影响因素之研究进展[J].中国农学通报,2006,22(1):380-383
Fu L, Peng S Z, Li D X. Research advance of influences of regulated deficit irrigation effects of crops [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(1):380-383 (in Chinese)

[12] 刘明池,刘向莉.亏缺灌溉对番茄果实品质和产量的影响[J].中国蔬菜,2005(S1):46-48
Liu M C, Liu X L. Effect of deficit irrigation on yield and fruit properties of tomato [J]. *China Vegetables*, 2005(S1):46-48 (in Chinese)

[13] 王峰,杜太生,邱让建.基于品质主成分分析的温室番茄亏缺灌溉制度[J].农业工程学报,2011,27(1):75-80
Wang F, Du T S, Qiu R J. Deficit irrigation scheduling of greenhouse tomato based on quality principle component analysis [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011,27(1):75-80 (in Chinese)

- [14] 徐明磊. 番茄高可溶性固形物种质的创造及相关基因的差异表达研究[D]. 重庆:西南大学,2006
- Xu M L. Establishment of new tomato breeding germplasm of increasing soluble solids content and differential expression of genes related soluble solids content in tomato[D]. Chongqing: Southwest University,2006 (in Chinese)
- [15] Patane C,Tringali S,Sortino O. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions[J]. *Scientia Horticulturae*,2011,129(4):590-596
- [16] Wang F,Kang S Z,Du T S,Li F S,Qiu R J. Determination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments [J]. *Agricultural Water Management* ,2011,98(8):1228-1238
- [17] Dumas Y ,Dadomo M ,Di Lucca G ,Grolier P . Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture* ,2003,83(5):369-382
- [18] 王学文,付秋实,王玉珏,张京红,路河,郭仰东. 水分胁迫对番茄生长及光合系统结构性能的影响[J]. 中国农业大学学报,2010,15(1):7-13
- Wang X W,Fu Q S,Wang Y J,Zhang J H,Lu H,Guo Y D. Effects of water stress on growth and photosynthetic system characters of *Lycopersicon esculentum* L[J]. *Journal of China Agricultural University* ,2010,15(1):7-13 (in Chinese)
- [19] 姚磊,杨阿明. 不同水分胁迫对番茄生长的影响[J]. 华北农学报,1997,12(2):103-107
- Yao L, Yang A M. Influences of different water stress on tomato growth[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* ,1997,12(2):103-107 (in Chinese)
- [20] 陈秀香,马富裕,方志刚,褚贵新,杨建荣,薛琳,李燕,王建江. 土壤水分含量对加工番茄产量和品质影响的研究[J]. 节水灌溉,2006(4):1-4
- Chen X X, Ma F Y, Fang Z G, Chu G X, Yang J R, Xue L, Li Y, Wang J J. Preliminary study on the influence of soil moisture on yield and quality of processed tomato[J]. *Water Saving Irrigation* ,2006(4):1-4 (in Chinese)

责任编辑:刘迎春