

# 亏缺灌溉对枸杞果实糖积累和蔗糖代谢 相关酶活性的影响

张 萍<sup>1</sup>, 郑国琦<sup>1,2\*</sup>, 郑国保<sup>3</sup>, 张源沛<sup>3</sup>, 许 兴<sup>1</sup>

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学生命科学学院, 宁夏 银川 750021)

**摘 要:** 通过控制灌溉量将土壤水分控制在 18.20% (T1), 19.50% (T2), 20.60% (T3), 22.40% (T4), 23.50% (T5) 不同的水平上, 研究亏缺灌溉对枸杞果实糖积累和蔗糖代谢相关酶活性的影响。结果表明: 随水分胁迫的增强, 不同处理枸杞果实百粒重呈下降趋势, 严重亏缺灌溉的 T5 百粒重显著低于其它处理; 在枸杞全生育期果实己糖(葡萄糖、果糖)积累量递增, 蔗糖积累量逐渐下降。且随亏缺灌溉的加重, 红果期各处理果实己糖、蔗糖含量差异显著, 其中 T1、T2 显著高于 T5; 枸杞果实全生育期转化酶活性保持在较高水平, 呈先上升后下降趋势, 红果期其活性下降保证了蔗糖的积累; 蔗糖合成酶和蔗糖磷酸合成酶活性较低, 呈下降趋势。且随水分胁迫的加强, 合成酶活性呈上升趋势, 这与水分胁迫愈重, 愈有利于蔗糖积累相一致。亏缺灌溉提高了果实中己糖积累, 改善了果实品质, 但严重亏缺会降低果实产量。

**关键词:** 亏缺灌溉; 枸杞; 糖积累; 蔗糖代谢相关酶

**中图分类号:** S567.9    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0160-04

水资源不足是世界主要农业产区普遍存在的问题<sup>[1]</sup>, 也是制约我国北方干旱、半干旱地区农业生产和发展的最重要因素。亏缺灌溉, 即通过适度控制土壤水分, 给作物适中的干旱逆境来提高果实品质<sup>[2]</sup>。目前, 国内外已进行了大量有关蜜柑<sup>[3]</sup>、甜樱桃<sup>[4]</sup>、桃<sup>[5]</sup>等果树调亏灌溉的研究, 而有关枸杞调亏灌溉的研究未见报道。因此, 笔者对亏缺灌溉条件下宁夏枸杞果实糖积累和蔗糖代谢相关酶活性关系进行研究, 探讨亏缺灌溉对宁夏枸杞产量和品质的影响, 为制定枸杞节水栽培技术提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试材与处理

试验于 2008 年 3 月在宁夏银川市西夏区水科所遮阳棚内进行, 将长势一致的 3 年生枸杞苗进行移栽。试验采用随机区组设计, 小区面积 3×2.2 m<sup>2</sup>, 共设 5 个处理, 每个处理重复 3 次。各处理间采用 1 cm 厚钢化板隔开。枸杞整个生育期共灌水 5 次, T1、T2、T3、T4、T5 每次灌水量依次为: 0、450、900、1 350、1 800 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。每次灌水前测定土壤含水量, 五次灌水后土壤 30 cm 处的土壤含水量的平均值依次为: 18.20% (T1), 19.50% (T2), 20.60% (T3), 22.40% (T4), 23.50% (T5)。

### 1.2 测定项目及方法

1.2.1 果实外形指标测定 用万分之一电子天平测定果实百粒重。

1.2.2 糖的提取和测定 测定了葡萄糖、果糖、蔗糖的含量, 其提取参见赵智中<sup>[6]</sup>方法, 分别称取不同发育时期多个果的混合样, 液 N<sub>2</sub> 中研磨 3~5 min, 加提取液(乙醇: 氯仿: 水=12: 5: 3), 再匀浆 3~5 min, 5 000 g 离心 15 min, 取上清液, 重复 3 次。合并提取液, 转入分液漏斗, 加水使之分层, 5 000 g 离心 10 min 去除氯仿层, 用 0.1 mol/L NaOH 调 pH 值至 7.0, 在 45℃ 真空中干燥, 蒸馏水定容至 10 mL, 用高效液相色谱(LC-20AT)测定糖含量。色谱条件为: 流动相(乙腈/重蒸水=70/30, V/V), 流速 1.0 mL/min, 氨基柱, 柱温 30℃, RID-10A 示差检测器, LC solution 数据处理系统。

多糖的提取参照张自萍<sup>[7]</sup>的方法。

1.2.3 蔗糖代谢相关酶的提取与测定 测定了转化酶(NI 和 AI)、蔗糖合成酶(SS)以及蔗糖磷酸合成酶(PPS)活性, 参照 Nielsen T H 等<sup>[8,9]</sup>方法, 稍作改进提取酶。

### 1.3 数据处理

用 SAS8.2 软件对所得数据进行统计分析。

收稿日期: 2009-06-08

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(30500653); 宁夏科技攻关项目资助

作者简介: 张 萍(1984—), 女, 在读研究生, 研究方向为作物生理生态。

\* 通讯作者: 郑国琦(1977—), 男, 讲师, 在读博士生, 主要从事植物学及植物生理学教研工作。

2 结果与分析

2.1 亏缺灌溉对枸杞果实百粒重的影响

由图 1 可知,不同处理枸杞果实百粒重随生育期的变化而呈递增趋势,青果期至转色期果实百粒重缓慢增加,而后迅速增加,至红果期达最大值。随水分胁迫的增强,不同处理之间的果实百粒重呈下降的趋势,而且水分胁迫越严重,下降越明显。红果期 5 个处理果实百粒重由高到低依次为 T5>T4>T3>T2>T1,同时方差分析表明,红果期 T5 和 T4 的百粒重极显著高于 T1( $P<0.01$ ),T3 的百粒重显著高于 T1( $P<0.05$ ),T2 与 T1 差异不显著。水分胁迫严重影响到枸杞果实的百粒重,成为枸杞产量的限制因子。因此,生产中合理灌溉对保证果实产量具有重要意义。

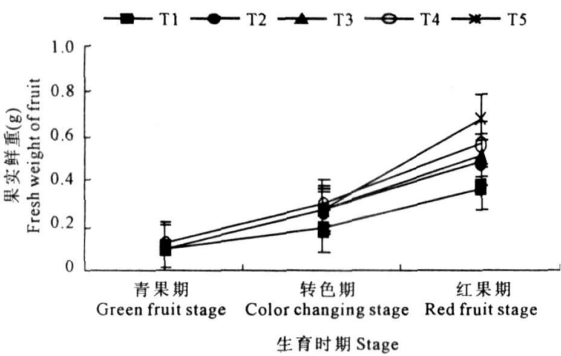


图 1 亏缺灌溉对果实鲜重的影响

Fig.1 Effects of irrigation on fresh weight of fruit under water deficit

2.2 亏缺灌溉对枸杞果实蔗糖代谢相关糖含量的影响

2.2.1 亏缺灌溉对枸杞果实蔗糖代谢相关糖含量的影响 蔗糖、葡萄糖、果糖是枸杞果实中主要的可溶性糖,其含量多少对果实品质起着重要的作用。对亏缺灌溉下枸杞果实糖含量进行测定,结果表明:不同处理果实中葡萄糖和果糖随时期的变化而呈逐渐上升趋势,在红果期两种糖(己糖)含量均达到最大,且各处理己糖含量占可溶性糖的比例均在 92.75%以上。可见,枸杞果实糖积累为己糖积累型,这与郑国琦<sup>[10]</sup>的研究相一致。而蔗糖含量变化趋势恰恰相反,整个生育期枸杞果实蔗糖含量不断递减,至红果期各处理均递减至 7.65 mg/g(鲜重)以下。

图 2 表明:随水分胁迫的加重,不同处理间枸杞果实中己糖、蔗糖含量呈递增趋势,各时期 T1 三种糖含量均最高。方差分析表明:青果期,T1,T2 果实中己糖含量显著高于 T5,而 T3,T4 差异不显著。转

色期,T1,T2 果实中己糖含量显著高于其它各处理。红果期,T1,T2,T3,果实中己糖含量显著高于 T5( $P<0.01$ )。由此可见,随胁迫时间延长,胁迫程度的加重,各处理间枸杞果实中己糖积累差异越来越明显,这与葡萄糖、果糖小分子糖作为渗调物质,维持细胞膨压<sup>[11]</sup>,防止细胞脱水有关。同时,整个生育期内,T1,T2 蔗糖含量高于其它各处理,至红果期,T1,T2 果实内的蔗糖含量与其它处理差异显著,含量由高到低为 T1>T2>T3>T4>T5。可见,随水分胁迫的加重,蔗糖分解受抑制,糖分积累增多。

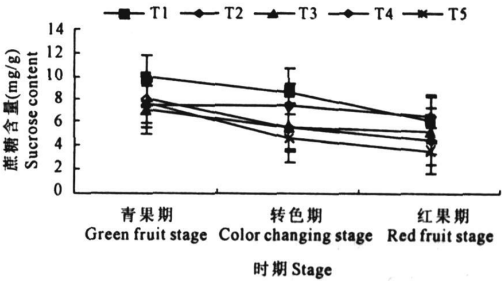


图 2 亏缺灌溉对果实蔗糖含量的影响

Fig.2 Effects of irrigation on sucrose content of fruit under water deficit

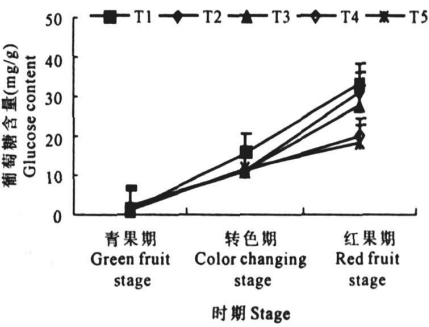


图 3 亏缺灌溉对果实葡萄糖含量的影响

Fig.3 Effects of irrigation on glucose content of fruit under water deficit

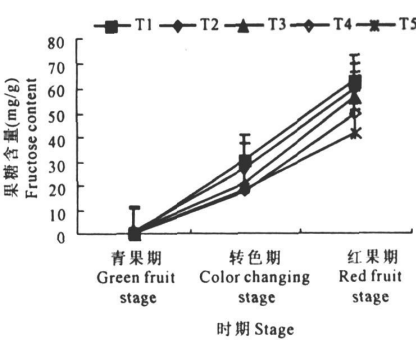


图 4 亏缺灌溉对果实果糖含量的影响

Fig.4 Effects of irrigation on fructose content of fruit under water deficit

2.2.2 亏缺灌溉对枸杞果实多糖含量的影响 多糖是枸杞中最主要的有效成分和生物活性物质,结

构主要以—O—连接的糖和蛋白质结合的糖蛋白高分子构成,其中糖占糖蛋白总量的 70%,主要含有木糖、半乳糖、甘露糖、葡萄糖、阿拉伯糖和鼠李糖 6 种单糖<sup>[12]</sup>。由图 5 可知:随着时间的变化,各处理多糖含量呈递增的趋势,红果期增至最大。随水分胁迫程度的加强,红果期,各处理间多糖含量差异显著,其中 T1,T2 多糖含量极显著高于 T5( $P<0.01$ )。

低,这与蔗糖变化趋势相一致。方差分析表明:青果期和转色期,不同水分胁迫的蔗糖合成酶和蔗糖磷酸合成酶活性差异不显著,而至红果期,各处理合成酶活性由高到低依次为:T1>T2>T3>T4>T5,其中 T1,T2,T3 与 T5 差异显著( $P<0.05$ )。由此可见:随水分胁迫的加强,合成酶活性呈上升趋势,这与水分胁迫愈重,愈有利于蔗糖积累相一致。

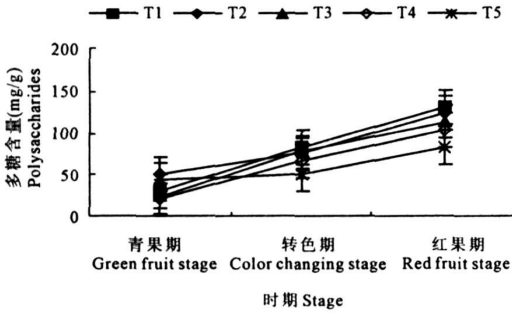


图 5 亏缺灌溉对枸杞果实多糖含量的影响

Fig.5 Effects of irrigation on the contents of polysaccharides under water deficit

2.3 亏缺灌溉对枸杞果实蔗糖代谢相关酶活性的影响

2.3.1 亏缺灌溉对枸杞果实转化酶的影响 由图 6 和图 7 可知:枸杞果实整个生育期内,中性转化酶和酸性转化酶变化趋势一致,呈先上升后下降趋势。从青果期至转色期,两种酶活性迅速增加,且至转色期均增至最大,而后两酶活性均下降,酸性转化酶降幅大于中性转化酶。且在整个生育期,酸性转化酶活性高于中性转化酶。可见,转色期较高的转化酶活性,促进了果实内蔗糖的分解,为红果期已糖的积累奠定基础。

不同亏缺灌溉下,枸杞果实发育过程中转化酶活性变化不同。整个生育期内,T1,T2 转化酶活性处于较高水平,高于其它处理。方差分析表明:青果期,T1 和 T2 与其它各处理转化酶活性差异显著( $P<0.05$ );转色期,T1,T2,T4 中性转化酶活性与 T5 差异显著( $P<0.05$ )。而此期各处理酸性转化酶活性差异极显著( $P<0.01$ ),且酶活性由高到低为 T3>T1>T2>T4>T5。红果期,各处理转化酶活性均下降,说明水分胁迫通过降低成熟期转化酶的活性,减少蔗糖的分解。

2.3.2 亏缺灌溉对枸杞果实蔗糖代谢酶的影响 由图 7、图 8 可知:在枸杞果实整个生育时期,蔗糖合成酶和蔗糖磷酸合成酶活性处于较低水平,且变化趋势一致,呈逐渐下降的趋势,至红果期降至最

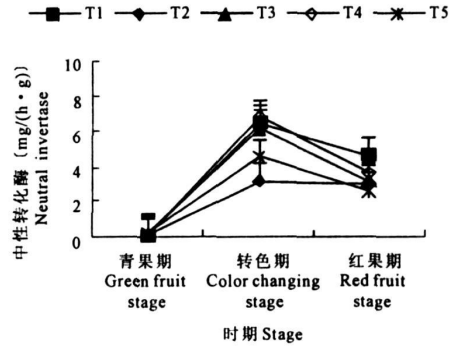


图 6 亏缺灌溉对果实中性转化酶的影响

Fig.6 Effects of irrigation on the neutral invertase activity under water deficit

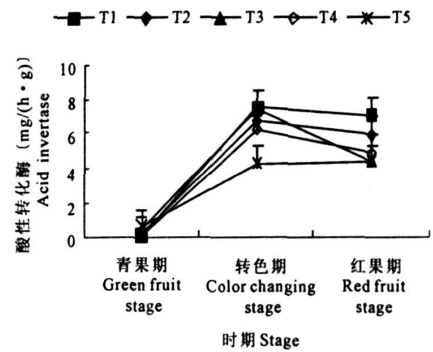


图 7 亏缺灌溉对果实酸性转化酶的影响

Fig.7 Effects of irrigation on acid invertase activity under water deficit

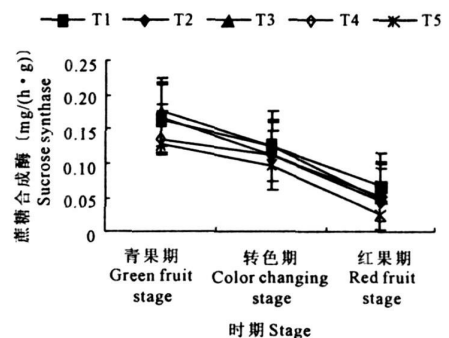


图 8 亏缺灌溉对果实蔗糖合成酶的影响

Fig.8 Effects of irrigation on the sucrose synthase under water deficit

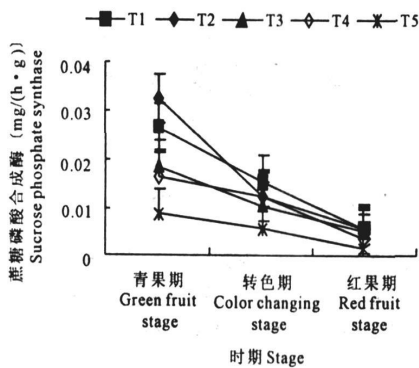


图 9 亏缺灌溉对果实蔗糖磷酸合成酶的影响

Fig.9 Effects of irrigation on the sucrose phosphate synthase under water deficit

3 讨 论

不同生育期枸杞果实中己糖含量逐渐升高,至红果期增至最大,且随水分胁迫程度的加强,己糖的积累呈上升趋势。而整个生育期,蔗糖含量维持在较低水平,且含量变化呈递减趋势。可见,水分胁迫下己糖可作为植物细胞内的渗透调节物质,参与维持渗透平衡。同时己糖作为能量来源,可以提供合成其他有机溶质的碳架,在水分亏缺程度较强时缓解酶类<sup>[14,15]</sup>损伤,使植物抵御伤害,维持植株的正常代谢。随亏缺灌溉程度的增强转化酶活性明显增加,而合成酶活性变化甚微,可见转化酶是枸杞果实适应水分胁迫逆境下的主导酶。同时当胁迫强度达到一定强度时,转化酶活性下降,减少了成熟期蔗糖的分解。

亏缺灌溉提高了果实可溶性固形物、有机酸、VC 等可溶物的含量,但普遍伴随着一定程度产量的降低<sup>[13]</sup>。本研究进一步证明了这一点,随水分亏缺程度的增强,枸杞果实中己糖、多糖含量显著增加,枸杞品质得到改善。但随水分胁迫的增强,枸杞果实发育受到影响,百粒重下降明显,严重限制枸杞果实产量的增加。研究中,严重亏缺灌溉处理的 T1,己糖含量虽显著高于其它处理,但百粒重处于较低水平,不宜在生产中应用。因此,生产中需要找到合适的亏缺灌溉程度,即可根据需要确定兼顾产量与品质的水分管理的平衡点;同时辅以适宜的栽培措施才能实现作物高产、优质的双赢。

以往的枸杞抗旱机理相关研究结果表明,宁夏枸杞的抗旱性是以抗氧化保护机制为主,渗透调节和光合调节共同参与的结果。因此,在原有研究的基础上,结合宁夏枸杞特有的抗旱生理学调控机制,进行宁夏枸杞的节水栽培途径研究,充分发挥其抗旱潜能,对于改变当前黄灌区水资源紧张、农业灌溉水分利用效率低的现状以及加速宁夏枸杞的进一步发展具有重要的现实意义。

参 考 文 献:

[1] Boyer J S. Plant productivity and environment [J]. Science, 1982, 218, 443—448.

[2] Mitchell J P, Shennan C, et al. Tomato yields and quality under water deficit and salinity [J]. J Amer Soc Hort Sci, 1991, 116, 215—221.

[3] Yakushiji H, Morinaga K, Nonami H. Sugar accumulation and partitioning in satsuma mandarin tree tissues and fruit in response to drought stress [J]. J Amer Soc Hort Sci, 1998, 123(4), 719—726.

[4] Wayre H L, McCamant T, Keller J D. Carbohydrate reserves, translocation and storage in woody plant roots [J]. Hort Sci, 1990, 25(3), 274—281.

[5] Steinberg S L, Miller J C, Mcfarland M J. Dry matter partitioning and vegetative growth of young peach trees under water stress [J]. Aust J Plant Physiol, 1990, 17, 23—26.

[6] 赵智中, 张上隆, 徐昌杰, 等. 蔗糖代谢相关酶在温州蜜柑果实糖积累中的作用 [J]. 园艺学报, 2001, 28(2), 118—122.

[7] 张自萍. 枸杞总黄酮和多糖的超声提取及含量测定 [J]. 农业科学研究, 2006, 27(1), 22—25.

[8] 王惠聪, 黄辉白, 黄旭明. 荔枝果实的糖积累与相关酶活性 [J]. 园艺学报, 2003, 30(1), 1—5.

[9] Nielsen T H, Skiarbek H C, Karlens P. Carbohydrate metabolism during fruit development in sweet pepper (*Capsicum annuum*) plants [J]. Physiol Plant, 1991, 82, 311—319.

[10] 郑国琦, 罗 霄, 郑紫燕, 等. 宁夏枸杞果实糖积累和蔗糖代谢相关酶活性的关系 [J]. 西北植物学报, 2008, 28(6), 1172—1178.

[11] Castrillo M. Sucrose metabolism in bean plants under water deficit [J]. Journal of Experimental Botany, 1992, 43(257), 1557—1561.

[12] 杨小萍, 张声华. 枸杞子糖类的研究 [J]. 林业化学与工业, 1998, 18(2), 65—68.

[13] 刘明池, 陈殿奎. 亏缺灌溉对樱桃番茄产量和品质的影响 [J]. 中国蔬菜, 2002, (6), 4—6.

[14] 赵玉蓉, 王维中. 植物在盐害下的渗透调节 [J]. 徐州师范学院学报, 1995, 13(4), 59—62.

[15] 张海燕, 赵可夫. 盐分和水胁迫对盐地碱蓬幼苗渗透调节效应的研究 [J]. 植物学报, 1998, 40(1), 56—61.

## Effect of strain Rs<sup>-5</sup> containing ACC deaminase on growth and salt-tolerance of cotton seedling under salt stress

LIU Ying<sup>1</sup>, LI Yan-ju<sup>1</sup>, SHI Zai-qiang<sup>2</sup>, YAO Li-xia<sup>2</sup>, LOU Chao<sup>1</sup>, LI Chun<sup>1,2\*</sup>

(1. School of Life Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Laboratory of Green Processing of Chemical Engineering/ College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

**Abstract:** In order to elucidate the effect of strain Rs<sup>-5</sup> containing ACC deaminase on growth and salt-tolerance of cotton seedling under salt stress, the growth biomass of cotton and four physiological indices (MDA, proline, soluble sugar and soluble protein content) of the cotton seedling were studied by pot experiment under different salt concentrations, different Rs<sup>-5</sup> bacteria suspension concentrations and in different treatment methods respectively. The results showed that cotton growth and its salt-tolerance under salt stress were promoted by strain Rs<sup>-5</sup>, and this effect was more obviously as salt stress increased. When salt concentration is above 0.4‰, the influence of Rs<sup>-5</sup> to both cotton growth and salt-tolerance reached a significant level ( $P < 0.05$ ), and reached a very significant level ( $P < 0.01$ ) at a salt concentration 0.8‰. Compared with control, the average plant height, root length, dry weight of cotton seedlings increased by 8.9%, 10.1% and 17.5%, and proline, soluble sugar and soluble protein content increased by 17.9%, 0.8% and 151.4% respectively, while MDA content decreased by 42.8%, and the stress relief and growth promotion of Rs<sup>-5</sup> efficacy is the best, when the bacteria suspension concentration reached OD=0.3 (about  $10^8$  U/ml).

**Keywords:** salt stress; strain Rs<sup>-5</sup>; cotton; growth; salt-tolerance

(上接第 163 页)

## Effects of deficit irrigation on accumulation of sugar and activity of sugar metabolism-related enzymes of *Lycium barbarum* L.

ZHANG Ping<sup>1</sup>, ZHENG Guo-qi<sup>1,2\*</sup>, ZHENG Guo-bao<sup>3</sup>, ZHANG Yuan-pei<sup>3</sup>, XU Xing<sup>1</sup>

(1. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

2. College of Life Science, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

**Abstract:** A study was conducted on the effects of water deficit on accumulation of sugar and activity of sugar metabolism-related enzymes of *Lycium barbarum* through controlling irrigation amount to keep the soil water at different levels (T1, 18.20%; T2, 19.50%; T3, 20.60%; T4, 22.40%; T5, 23.50%). The results showed that the 100-grain weight presented a descending trend with the intension of water stress, and it was significantly lower in T<sup>5</sup> than that in other treatments. The hexose content (glucose and fructose) of *Lycium barbarum* L. presented a trend of escalation through the whole fruit development, and the sucrose accumulation declined gradually. The content of hexose and sucrose in each treatment had significant difference in mature stage, and it was significantly higher in T<sup>1</sup> and T<sup>2</sup> than in T<sup>5</sup>. The invertase activity sustained at a high level, and showed a trend of rise first, then fall. The decreased invertase enzyme activity is beneficial to sugar accumulation. The activity of sucrose synthase and sucrose phosphate synthase was low and showed a decreased trend. Synthase activity showed an uptrend along with the intension of water stress, which was consistent with sucrose accumulation trend. Water deficit increased hexose content and improved fruit quality, however, serious water deficit decreased fruit yield.

**Keywords:** deficit irrigation; *Lycium barbarum* L.; sugar accumulation; sucrose metabolism-related enzymes