

不同产地气象因子对宁夏枸杞果实糖分积累的影响

苏雪玲, 齐国亮, 郑国琦*, 杨 涓, 刘建文, 包 晗, 王 俊

(宁夏大学 生命科学学院, 银川 750021)

摘 要:以‘宁杞1号’枸杞为材料,采用高效液相色谱技术,测定不同产地(宁夏银川、甘肃白银和青海德令哈)不同发育时期宁夏枸杞果实中的糖分(果糖、葡萄糖、蔗糖和淀粉)含量,同时对不同产地果实发育期间的气象因子进行监测,探讨主要气象因子对枸杞果实糖分积累的影响。结果表明:(1)在宁夏枸杞果实发育期内,不同产区平均温度和昼夜温差均为银川>白银>德令哈的变化趋势,平均光照强度为银川<白银<德令哈。(2)3个产区‘宁杞1号’枸杞的果实发育过程中均以积累己糖(葡萄糖和果糖)为主,蔗糖和淀粉含量很少;成熟果实中己糖含量为德令哈>银川>白银。(3)影响‘宁杞1号’枸杞果实己糖积累的气象因子在银川产区主要是平均温度、白天均温和平均温差,在白银产区主要是平均温差,白天温度和平均光强也有一定影响,而在德令哈产区主要是平均温差、平均光强和白天均温。研究认为,宁夏枸杞果实发育期间银川产区较高的平均温度和昼夜温差与德令哈产区较强的平均光强和较长的光照时数均有利于枸杞果实己糖积累,而白银产区较大的相对湿度和较弱的光强均成为枸杞果实糖分积累的主要限制因子。

关键词:不同产地;气象因子;宁夏枸杞;糖分积累

中图分类号: Q945.79

文献标志码: A

Effect of Meteorological Factors of Different Regions on Sugar Accumulation in *Lycium barbarum* L. Fruit

SU Xueling, QI Guoliang, ZHENG Guoqi*, YANG Juan, LIU Jianwen, BAO Han, WANG Jun

(College of Life Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: With *Lycium barbarum* L. cv. Ningqi No. 1 as material, using high performance liquid chromatography (HPLC) technology, we determined different development period of *L. barbarum* L. fruit sugar (Fructose, Glucose, Sucrose and Starch) content in different regions (Yinchuan in Ningxia, Baiyin in Gansu and Delingha in Qinghai). At the same time, we monitored the meteorological factors during development of fruit in different regions to discuss the effect of main meteorological factors on sugar accumulation in *L. barbarum* L. fruit. The results showed that: (1) During the fruit development period of *L. barbarum* L., the mean temperature and the temperature difference between day and night of different regions presented the change trend of Yinchuan>Baiyin>Delingha, while the mean light intensity presented Yinchuan<Baiyin<Delingha. (2) During the development, *L. barbarum* L. fruit was given priority to with accumulation of hexose (glucose and fructose), sucrose and starch content rarely. The content of hexose in the ripe fruit was in the order of Delingha>Yinchuan>Baiyin. (3) The meteorological factors that affected sugar content of *L. barbarum* L. fruit in Yinchuan region mainly were mean temperature, daytime mean temperature and mean temperature difference, and in Baiyin region mainly were mean temperature difference, temperature during the day and mean light intensity also had a certain influence, while in Delingha region mainly were mean temperature difference, mean light intensity and daytime mean temperature. This research

收稿日期: 2015-03-03; 修改稿收到日期: 2015-06-04

基金项目: 国家自然科学基金(81360639, 81160517); 国家科技支撑计划(2013BAC02B03-02)

作者简介: 苏雪玲(1990—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事植物资源学研究。E-mail: 14795097792@163.com

* 通信作者: 郑国琦, 博士, 副教授, 主要从事植物生理学和结构植物学研究。E-mail: zhengguoqi1977@163.com

suggested that higher mean temperature and mean temperature difference in Yinchuan and stronger mean light intensity and longer light hours in Delingha were conducive to *L. barbarum* L. fruit hexose accumulation. Meteorological factors limited the sugar accumulation of *L. barbarum* L. fruit mainly were bigger relative humidity and weaker light intensity in Baigin region.

Key words: different regions; meteorological factor; *Lycium barbarum* L.; sugar accumulation

宁夏枸杞(*Lycium barbarum* L.)为茄科(Solanaceae)枸杞属(*Lycium*)植物,是中国重要的药用植物资源^[1],其干燥果实是传统名贵中药材——枸杞子^[2]。果实是宁夏枸杞主要的药用部位和有效药用成分贮藏的器官。果实所积累糖的种类、含量及比例是决定果实品质和商品价值的关键因素^[3]。可溶性糖含量在不同植物果实中差别较大,而且随着果实的发育其含量及比例也会发生变化。宁夏枸杞果实内含有丰富的糖类物质,主要包括单糖(葡萄糖和果糖等)^[4]、寡糖(麦芽糖、蔗糖和低聚四糖)^[5]、多糖(枸杞多糖、果胶、半纤维素、纤维素等)。糖类物质中的枸杞多糖和总糖被公认是枸杞子中最重要的药用成分^[6]。枸杞多糖是一种高分子的糖蛋白,其中糖链含量占到糖蛋白总量的70%以上,主要由葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖、鼠李糖、甘露糖和木糖等小分子糖组成^[7-8]。枸杞总糖主要由葡萄糖、果糖、蔗糖和低聚四糖等组成^[9]。它们与果实内的初级光合产物的积累具有密切的关系。此外,枸杞果实糖分还是枸杞果实内类胡萝卜素、酸及其它营养成分物质合成的基础原料。因此,在宁夏枸杞药用品质形成中糖分代谢合成占有十分重要的地位。

宁夏是宁夏枸杞的道地产区。近年来种植已遍及宁夏、新疆、内蒙、青海、甘肃等12个省市自治区,随着种植面积的扩大,枸杞优良品质成为人们关注的焦点。研究表明,环境条件影响中药材的分布、生长发育、产量及品质,只有适宜的生态环境才能生产出优质高产的道地药材^[10-11]。关于环境因子对宁夏枸杞药用品质的影响研究主要集中在不同产地土壤和气象因子对枸杞有效成分多糖和总糖^[12-13]、甜菜碱^[14]、类胡萝卜素^[15]的影响等方面,而对于与多糖和总糖含量积累影响较大的初级光合产物果糖、葡萄糖和蔗糖含量的积累以及它们与气象因子的关系研究尚未见报道。本研究对不同产地宁夏枸杞果实中糖分积累规律及其与产地气象因子的关系分析,以揭示不同产地宁夏枸杞果实药用品质差异形成的原因。

1 材料和方法

1.1 试验材料

以北方普遍种植的5年生‘宁杞1号’枸杞品种

为材料,于2014年5月末至7月中旬进行实验。

1.2 试验方法

分别在宁夏银川(南梁农场)、甘肃白银(王家山镇)和青海德令哈(怀头他拉镇)枸杞种植地设立3个实验样点,各样地土壤状况良好,灌溉及排水设施方便,管理由各样地主人按常规方式操作。银川、白银、德令哈3个地理生态区的海拔分别为1 110、1 806和2 988 m,年均降水量分别为186.7、193.5和181.8 mm。

先确定各样点枸杞七寸枝开花盛期(银川为6月2日,白银为6月12日,德令哈为6月21日),再采用定点定株法,分别在各样点选取30株枸杞,于各样点七寸枝开花之日,用毛线标记同一天盛开的花朵(花瓣紫堇色,花药坚挺,白色,未开裂),各样点分别标记5 000朵^[16]。从枸杞开花后至枸杞果实成熟,银川和白银两样地每4 d采集1次果实进行室内测定,采样时间分别为6月2日~7月6日和6月11日~7月20日;由于德令哈地区枸杞果实生长速度慢,生长周期长,每8 d采集1次果实进行室内测定,其采样日期为6月21日~8月11日。即宁夏枸杞果实的发育期在银川最短(34 d),白银次之(40 d),德令哈最长(52 d)。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 可溶性糖含量 (1)HPLC测定条件:参见赵智中^[17]的方法,采用AGILENT 1100高效液相色谱仪(美国安捷伦科技公司),RID-10A示差检测器,LC Solution数据处理系统;流动相(乙睛/重蒸水=70/30, v/v),流速1.0 mL/min, CAPCELL PAK NH2 UG80 氨基柱(资生堂(中国)投资有限公司),柱温30℃。(2)标准曲线的绘制:精确称取葡萄糖、果糖和蔗糖标准品100 mg,加蒸馏水溶解制成100 mg/mL的标准品溶液,稀释后分别配成浓度为1、2、3、4、5 mg/mL的溶液,以峰面积的平均值为横坐标,各对照品浓度为纵坐标,分别计算得到各个糖分的线性回归方程和相关系数(表1)。标准品葡萄糖、果糖和蔗糖的高效液相色谱见图1,A。(3)样品溶液的制备:分别称取各个产地不同发育时期多个果的混合样,在液氮中研磨3~5 min,加提取液(乙醇:氯仿:水=12:5:3)再匀浆3~5 min,

表 1 可溶性糖在选定色谱条件下的标准曲线方程

Table 1 Calibration curves of the standards of soluble sugar under chosen HPLC condition

可溶性糖 Soluble sugar	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient
果糖 Fructose	$y=9\times10^{-6}x+0.570\ 5$	0.999 4
葡萄糖 Glucose	$y=9\times10^{-6}x+0.173\ 5$	0.999 9
蔗糖 Sucrose	$y=1\times10^{-5}x+0.080\ 7$	0.999 9

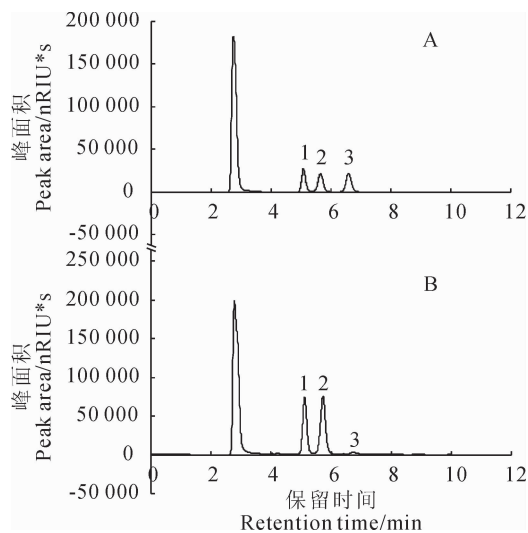


图 1 葡萄糖、果糖和蔗糖标准品(A)和样品(B)色谱图
1. 果糖;2. 葡萄糖;3. 蔗糖

Fig.1 Chromatogram of standards(A) and sample(B) of glucose,fructose and sucrose
1. Fructose;2. Glucose;3. Sucrose

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 至 7.0,在 45 ℃真空中干燥,蒸馏水定容至 10 mL,用高效液相色谱测定糖的含量。色谱条件同上。银川‘宁杞 1 号’样品中葡萄糖、果糖和蔗糖各物质的高效液相色谱见图 1,B。

1.3.2 淀粉的提取和测定 淀粉含量的测定参照高俊凤^[18]的方法,并加以改进。取待测样品提取液 1.0 mL 于试管中,将试管放在冰水浴中,沿试管壁缓缓加入蒽酮试剂 5 mL,快速摇匀,然后在沸水浴中煮 10 min,冷却后测定 620 nm 处的吸光度值 A_{620} ,然后计算淀粉含量。

1.3.3 气象因子数据的采集 在分期采集不同产地枸杞果实的同时,利用 JL-18 空气温、湿、光照记录仪(河北邯郸清胜电子有限公司生产)按日对不同产地枸杞果实发育时期的气温、光照和空气湿度进行监测,每 2 h 记录 1 次。以每天 7:00~19:00 为白天,20:00 至次日 6:00 为晚间。将数据进一步细

化,从枸杞开花后至果实成熟,每隔 4 d 统计枸杞果实各生长时期的平均气温、白日均温、夜晚均温、平均温差、平均空气相对湿度、平均光照强度和光照时数。考虑到这 3 个地区的年均降雨量均在 200 mm 左右,加之枸杞主要实行人工灌溉栽培,故气象因子中的降雨量未列入考察范围。

1.4 数据处理

数据用 Excel、SPSS19.0 软件进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 不同产地宁夏枸杞果实发育期气象因子的变化趋势

不同产地宁夏枸杞果实发育期主要气象因子的变化趋势见图 2。其中,在宁夏枸杞果实发育期内,银川、白银和德令哈产区日平均气温(图 2,A)、白天平均气温(图 2,B)和夜晚平均气温(图 2,C)基本相同,均呈现出波动式缓慢上升的趋势,只是白天气温比夜晚气温上升幅度更大;其间三地日平均气温分别上升 4.06 ℃、3.24 ℃和 6.58 ℃,白天平均温度分别升高 3.16 ℃、4.98 ℃和 11.85 ℃,夜晚气温分别升高 5.33 ℃、1.59 ℃和 7.39 ℃,而日平均温度以银川最高(23.38 ℃),白银次之(19.53 ℃),德令哈最低(17.34 ℃)。在整个宁夏枸杞生长过程中,银川、白银和德令哈平均温差分别为 8.81 ℃、7.34 ℃和 6.59 ℃(图 2,D),而三地的变化趋势不同,银川产区呈现出缓慢下降的趋势(降幅为 2.17 ℃),而白银和德令哈呈现缓慢上升的趋势(升幅分别为 3.39 ℃和 4.46 ℃)。

枸杞果实发育期内,银川、白银和德令哈地区平均空气相对湿度均呈现出逐渐降低的趋势,降幅分别为 14.11%、11.00%和 35.39%,而其平均空气相对湿度则以银川最高(63.46%)、白银次之(57.63%),德令哈最低(53.83%),但三者差别不大(图 2,E)。在整个枸杞果实生长过程中,银川、白银和德令哈平均光强均呈逐渐增加的趋势,其间平均光强分别为 19.12、19.94 和 24.56 klx,平均光强增幅分别为 2.26、8.89 和 7.86 klx,白银和银川平均光强基本相同,且二者均低于德令哈(图 2,F)。在枸杞开花到果实发育成熟过程中,三产地平均光照时数均波动不大,基本在 1.00 h 以内;三地平均光照时数分别为 13.83、12.81 和 14.31 h,即德令哈平均光照时数最长,银川次之,白银最短(图 2,G)。可见,枸杞果实发育期间各地气象条件特征是银川温度较高、德令哈光照最强、各地相对湿度差异不大。

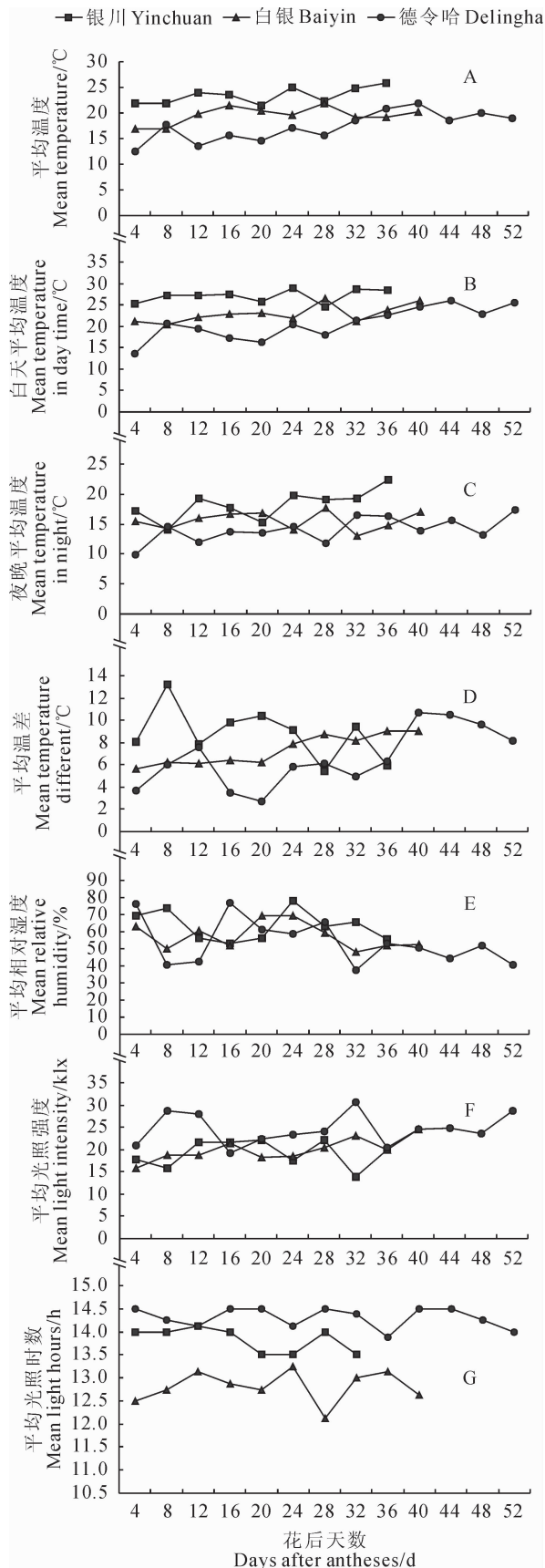


图2 不同产地宁夏枸杞果实发育期气象因子的变化

Fig. 2 Changes of main climatic factors during fruit developing process of *L. barbarum* L.

2.2 不同产地宁夏枸杞果实发育期内糖分含量的动态变化

不同产地枸杞果实果糖含量在宁夏枸杞果实发育前期较低且差异不大,花后 22 d 左右以后开始迅速上升(图 3,A)。其中,银川果实上升最快,花后 26~30 d 果糖积累速率为 $6.52 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,花后 30 d 果糖含量达到 $36.404 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$;白银枸杞果实花后 28~36 d 迅速积累果糖($3.24 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$),花后 36 d 果糖含量达到最大($29.429 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$);德令哈枸杞果实花后 30~50 d 迅速积累果糖($1.28 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$),花后 50 d 果糖含量达到最大($41.353 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。不同产地成熟果实中果糖含量表现出德令哈>银川>白银的变化趋势。

不同产地枸杞果实葡萄糖含量变化趋势与果糖相同,在宁夏枸杞果实发育前期含量较低且差异不大,花后 22 d 左右以后开始迅速上升(图 3,B)。其中,银川果实花后 26~30 d 迅速积累葡萄糖(积累速率 $7.41 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$),花后 30 d 葡萄糖含量达到 $39.355 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$;白银枸杞果实花后 28~36 d 迅速积累葡萄糖(积累速率 $3.58 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$),花后 36 d 葡萄糖含量达到最大($30.871 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$);德令哈枸杞果实花后 30~50 d 迅速积累葡萄糖($1.62 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$),花后 50 d 果实中葡萄糖含量达到最大($48.403 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。不同产地成熟果实中葡萄糖含量呈现德令哈>银川>白银的趋势。

不同产地果实蔗糖含量在宁夏枸杞果实发育期内整体上呈下降趋势(图 3,C)。其中,银川果实中蔗糖含量在花后 4~22 d 保持平稳趋势,平均为 $3.749 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,花后 22~30 d 迅速下降,至花后 30 d 降至 $0.591 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$;白银果实中蔗糖含量在花后 8~20 d 保持平稳趋势,平均为 $4.497 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,花后 20~40 d 曲折下降,至花后 36 d 降至最低($1.056 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$);德令哈果实中蔗糖含量在花后 10 d 最高($3.961 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),花后 20~50 d 缓慢下降,至花后 40 d 降至最低($1.102 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。不同产地枸杞果实中蔗糖含量呈现发育早期白银>银川>德令哈,成熟期德令哈>白银>银川的变化趋势。

另外,不同产地宁夏枸杞果实淀粉含量在发育期内整体上随发育时间呈下降趋势(图 3,D)。其中,银川果实中淀粉含量在花后 4~20 d 迅速下降,花后 20~28 d 保持平稳(平均为 $6.211 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),于花后 32 d 降至最低($3.923 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$);白银果实中淀粉含量在花后 8~16 d 缓慢上升,至花后 16 d

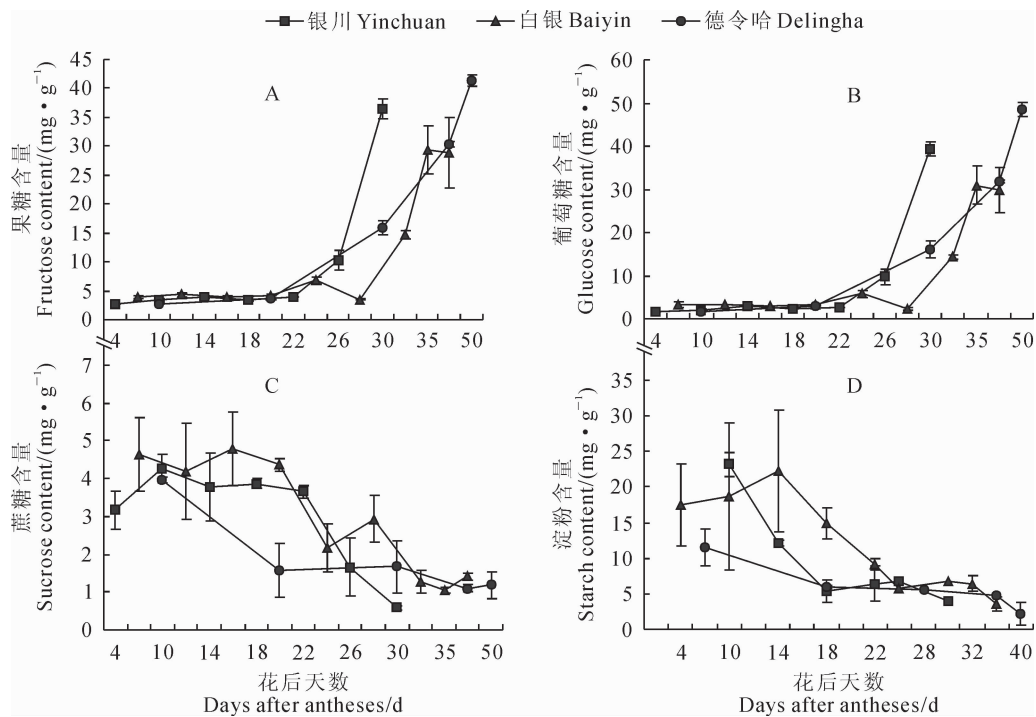


图3 不同产地宁夏枸杞果实发育期内糖分含量的变化

Fig. 3 Changes of sugar content of *L. barbarum* L. fruit at developmental phase in different producing areas

为最大(22.225 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$),花后 16~28 d 迅速下降,在花后 28 d~36 d 变化不大(平均为 6.309 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$),至花后 40 d 降至最低(3.617 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$);德令哈果实中淀粉含量在花后 10 d 最高(11.575 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$),花后 20~40 d 缓慢下降(平均为 5.376 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$),至花后 50 d 降至最低(2.112 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。可见,不同产地果实中淀粉含量整体上呈现发育早期迅速下降(只有白银花后 8~16 d 缓慢上升之后迅速下降),中间保持平稳,成熟时最低的变化趋势;具体表现为发育早期银川>白银>德令哈(银川下降最快,白银次之,德令哈最慢),中间平稳期差异不大,成熟期银川>白银>德令哈。

以上结果说明 3 个产地宁夏枸杞在果实发育后期均大量积累果糖和葡萄糖(己糖),而蔗糖和淀粉含量较低;3 个产地果实发育过程中糖分积累差异明显,在己糖快速积累期,己糖积累速率呈现银川>白银>德令哈的变化趋势;成熟果实中己糖含量呈现德令哈>银川>白银的变化趋势。

2.3 气象因子与枸杞果实糖分含量的关系分析

银川、白银和德令哈 3 个地点‘宁杞 1 号’枸杞果实发育过程中糖分含量与主要气象因子间的相关性分析结果(表 2)表明:银川枸杞果实发育期间果糖、葡萄糖、蔗糖和淀粉含量与各气象因子均无显著相关性,相比较而言,有利于银川产区枸杞果实己糖

积累的气象因子主要是平均温度、白天均温和平均温差。白银枸杞果实发育期间果糖和葡萄糖含量与平均温差呈显著正相关,蔗糖和淀粉含量与平均温差呈极显著负相关,而它们与其余气象因子均无显著相关性,说明影响白银产区枸杞果实糖分含量的气象因子主要是平均温差,白天温度和平均光强也有一定影响。德令哈枸杞果实发育期间果糖和葡萄糖含量与平均温差均呈极显著正相关,与平均光强均呈显著正相关,果糖含量还与白天均温呈显著正相关;蔗糖和淀粉含量与各气象因子均无显著相关性,说明影响德令哈产区枸杞果实糖分含量的气象因子主要是平均温差、平均光强和白天均温。以上结果说明影响各产区宁夏枸杞果实糖分积累的主要气象因子不同:在银川产区主要是平均温度、白天均温和平均温差;在白银产区主要是平均温差,白天温度和平均光强也有一定影响;而在德令哈产区主要是平均温差、平均光强和白天均温。

由表 3 可知,银川枸杞果实中果糖、葡萄糖和蔗糖含量主要受平均湿度和光强影响,淀粉含量受白天均温影响;白银和德令哈枸杞果实中可溶性糖含量主要受平均温差影响。未入选因子并非表示与枸杞糖含量无关,而是研究区域内该因子在时间和空间上能满足枸杞糖分形成的需要。

表 2 不同产地气象因子与果糖、葡萄糖、蔗糖和淀粉含量的相关分析

Table 2 Correlation analysis between climatic factors in different producing areas and contents of fructose,glucose,sucrose and starch

地区 Region	糖分 Sugar	平均温度 Mean temperature	白天均温 Daytime mean temperature	夜晚均温 Mean temperature at night	平均温差 Mean temperature difference	平均湿度 Mean humidity	平均光强 Mean light intensity	光照时数 Light hours
银川 Yinchuan	果糖 Fructose	0.454	0.377	-0.242	0.593	0.056	0.317	0.073
	葡萄糖 Glucose	0.445	0.370	-0.244	0.590	0.045	0.326	0.082
	蔗糖 Sucrose	-0.721	-0.563	0.117	-0.609	-0.304	-0.147	0.208
	淀粉 Starch	-0.508	-0.243	0.360	-0.684	0.278	-0.446	0.374
白银 Baiyin	果糖 Fructose	-0.127	0.379	-0.118	0.744 *	-0.430	0.580	0.158
	葡萄糖 Glucose	-0.137	0.372	-0.121	0.737 *	-0.438	0.573	0.161
	蔗糖 Sucrose	0.053	-0.317	0.329	-0.907 * *	0.237	-0.524	-0.153
	淀粉 Starch	-0.069	-0.545	0.062	-0.937 * *	0.088	-0.478	0.232
德令哈 Delingha	果糖 Fructose	0.855	0.896 *	0.790	0.987 * *	-0.873	0.920 *	-0.584
	葡萄糖 Glucose	0.828	0.872	0.758	0.984 * *	-0.840	0.892 *	-0.547
	蔗糖 Sucrose	-0.823	-0.820	-0.815	-0.689	0.611	-0.622	0.046
	淀粉 Starch	-0.828	-0.844	-0.795	-0.812	0.644	-0.670	0.077

注: * 和 * * 分别表示在 0.05 和 0.01 水平(双侧)上显著相关

Note: * and * * stand for significant correlation at the 0.05 and 0.01 level (Two-tailed), respectively

表 3 不同产地气象因子与果糖、葡萄糖、果糖和淀粉含量的回归分析

Table 3 Regression analysis between climatic factors in different producing areas and contents of fructose,glucose,sucrose and starch

地区 Region	糖分 Sugar	回归方程 Regression equation	R ²	F	Sig.
银川 Yinchuan	果糖 Fructose	$Y_1 = -263.511 + 1.92X_5 + 7.555X_6$	0.608	3.102	0.154
	葡萄糖 Glucose	$Y_2 = -296.408 + 2.14X_5 + 8.481 X_6$	0.605	3.069	0.156
	蔗糖 Sucrose	$Y_3 = 39.405 - 0.275X_5 - 0.949X_6$	0.875	13.981	0.016
	淀粉 Starch	$Y_4 = 150.103 - 5.424X_2$	0.865	25.709	0.007
白银 Baiyin	果糖 Fructose	$Y_1 = -35.899 + 6.237X_4$	0.553	8.666	0.022
	葡萄糖 Glucose	$Y_2 = -39.957 + 6.72X_4$	0.542	8.299	0.024
	蔗糖 Sucrose	$Y_3 = 6.373 + 0.305 X_3 - 1.083X_4$	0.922	35.633	0.000
	淀粉 Starch	$Y_4 = 48.543 - 4.897X_4$	0.879	50.787	0.000
德令哈 Delingha	果糖 Fructose	$Y_1 = -73.831 + 16.871X_4$	0.975	115.278	0.002
	葡萄糖 Glucose	$Y_2 = -89.148 + 19.912X_4$	0.968	89.624	0.002
	蔗糖 Sucrose	$Y_3 = 6.412 - 0.822X_4$	0.475	2.712	0.198
	淀粉 Starch	$Y_4 = 21.618 - 2.851X_4$	0.659	5.787	0.095

注: Y₁. 果糖含量; Y₂. 葡萄糖含量; Y₃. 蔗糖含量; Y₄. 淀粉含量; X₁. 平均温度; X₂. 白天均温; X₃. 夜晚均温; X₄. 平均温差; X₅. 平均湿度; X₆. 平均光照; X₇. 平均光照时数

Note: Y₁. Fructose content; Y₂. Glucose content; Y₃. Sucrose content; Y₄. Starch content; X₁. Mean temperature; X₂. Daytime mean temperature; X₃. Mean temperature at night; X₄. Mean temperature difference; X₅. Mean humidity; X₆. Mean light intensity; X₇. Mean light hours

3 讨 论

3.1 不同宁夏枸杞产地气象因子的差异

银川、白银、德令哈 3 个地理生态区的海拔分别为 1 110 m、1 806 m 和 2 988 m。海拔是一个重要的地形因子,温度受其影响最大。一般地,温度会随着海拔升高而降低,海拔高度每上升 100 m,温度降低约 0.6 ℃,而且随着海拔增加,日温差变大、光照强度增加^[19-21]。本研究通过对银川、白银和德令哈 3 个不同产地的气象因子进行统计分析可知,在整个宁夏枸杞果实发育期内,随着海拔的升高(银川<

白银<德令哈),平均温度降低(银川>白银>德令哈)、平均光强增强(银川<白银<德令哈),符合气象因子随海拔高度变化的一般规律。而昼夜温差随着海拔升高而降低(银川>白银>德令哈),与一般规律相反,这是因为宁夏枸杞果实发育期是在 5~8 月份,正是温度普遍升高的时期,白天、夜晚温度均升高,海拔高的地区白天温度升高得也越快,因此昼夜温差较小。

3.2 不同产地枸杞果实糖分含量的差异

糖是果实品质成分和风味物质(色素、维生素及芳香物质等)合成的基础原料。因此,糖积累是果实

品质形成的关键^[22]。一般果实内主要含葡萄糖、果糖、蔗糖,根据果实成熟时所积累的主要糖组分,可将果实分为淀粉转化型、蔗糖积累型、己糖积累型^[23]。对枸杞果实内糖分的测定表明,枸杞果实内果糖量最高,葡萄糖量其次,蔗糖量最低,而且葡萄糖和果糖量均占到枸杞总糖的 60% 以上,说明枸杞果实主要以积累己糖为主,属于己糖积累型果实^[24]。对不同发育时期枸杞果实内蔗糖、果糖、葡萄糖测定表明,果实成熟期葡萄糖和果糖含量总和占 3 种糖含量总和的 97.26%,而蔗糖仅占到 2.73%,进一步说明枸杞果实主要以积累己糖为主^[25]。本研究表明,不同产地宁夏枸杞在果实发育后期均大量积累果糖和葡萄糖,蔗糖和淀粉含量较低,表明枸杞果实发育第二次快速生长期是己糖积累的关键时期,也是影响枸杞产量和品质的关键时期。

银川枸杞果实发育期最短、己糖积累速率最大;德令哈与之相反。郭建平等^[26]指出,高温使农作物生育进程加快,生育期缩短。在本试验中,温度越高的地区(银川,22.69℃),宁夏枸杞果实的发育期也越短(银川,34 d),这与郭建平等的研究结果一致。3 个产区宁夏枸杞果实发育过程中糖分积累差异明显,在己糖快速积累期,己糖积累速率呈现银川>白银>德令哈的变化趋势;成熟果实中己糖含量呈现德令哈>银川>白银的变化趋势。

3.3 不同产地气象因子与宁夏枸杞果实糖分积累的关系

特定的生态环境条件是道地药材形成的最重要的外在水因素。生态环境对药材的影响主要通过两个途径来实现,一是药用植物因环境适应产生的种内遗传变异;二是环境直接影响药用植物有效成分的代谢^[27]。糖分含量关系着果品的口感、风味。宁夏枸杞果实糖分积累过程受气温、光照、降水、土壤和空气湿度等气象因子的影响很大^[28]。

本研究表明银川枸杞果实发育期间果糖、葡萄糖、蔗糖和淀粉含量与各气象因子均无显著相关性,相比较而言,有利于银川产区枸杞果实己糖积累的气象因子主要是平均温度、白天均温和平均温差。而在枸杞果实发育期间银川平均温度和平均温差均较高。温度主要通过影响光合作用的效率而影响果实碳水化合物的积累,热量较高比热量较低的地区

果实含糖量高。而昼夜温差大,光合作用的产物—碳水化合物积累的多、消耗的少,故果实中糖分含量较高。李纪明等^[29]对陕西丹凤地区酿酒葡萄的研究结果显示,较大的昼夜温差有利于酿酒葡萄糖分的积累。周青等^[30]研究表明温差同酥梨糖分积累呈显著正相关。因此,银川地区较高的平均温度和较大的温差有利于该区枸杞果实糖分的积累。

同时本研究也表明德令哈产区温度(17.34℃)和温差(6.59℃)都较低,而成熟果实中果糖、葡萄糖和蔗糖的含量在三产区中都是最高的,这可能与该产区较强的光照强度(24.56 klx)和较长的日照时数(14.31 h)有关。张晓煜等^[31]研究表明,较高日照时数有利于枸杞总糖的形成。赵玉萍等^[32]报道,在同一适宜的温度条件下,温室番茄果实中可溶性糖含量随光照强度的增加而增加。白鹏威等^[33]指出,在番茄果实品质糖的形成过程中,适当的增强光照对番茄果实蔗糖、果糖、可溶性糖的积累有显著增加效果,从而可以提高番茄品质。德令哈枸杞果实发育期内,高光强、长日照时数加之发育期较长,因此果实成熟时己糖积累量较大。

另外,研究表明白银地区平均温度在 3 个产区中并不低,但成熟果实中己糖积累量却是最低的,这可能与白银产区枸杞果实中蔗糖和淀粉积累量较大,转化成果糖和葡萄糖的量有关,因此造成白银产区枸杞成熟果实己糖含量低。其原因可能为白银产区相对湿度较大(57.63%)、光强较弱(19.94 klx):相对湿度大说明降水多、晴天少,光合作用较弱,因而枸杞果实己糖积累得少;光强弱直接影响光合作用效率,导致光合作用产物积累减少。

综上所述,本研究认为影响 3 个产区枸杞果实糖分积累的主要气象因子不同:影响银川产区枸杞果实己糖积累的气象因子主要是平均温度、白天均温和平均温差;影响白银产区枸杞果实糖分含量的气象因子主要是平均温差,白天温度和平均光强也有一定影响;影响德令哈产区枸杞果实糖分含量的气象因子主要是平均温差、平均光强和白天均温。宁夏枸杞果实发育期间银川较高的平均温度和昼夜温差与德令哈较强的平均光强和较长的光照时数均有利于枸杞果实己糖积累,而限制白银产区枸杞果实糖分积累的主要因子是相对湿度较大、光强较弱。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国药典委员会. 中华人民共和国药典(第 1 部)[M]. 北京:中国医药科技出版社,2010:232—233.
- [2] Olivier Potterat. Goji (*Lycium barbarum* and *L. chinense*): Phytochemistry, pharmacology and safety in the perspective of traditional uses

- and recent popularity [J]. *Planta Med.*, 2010, 76: 7—19.
- [3] GONG R G(龚荣高), ZHANG G L(张光伦). Advances in research on sugar metabolism in citrus fruit[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University* (四川农业大学学报), 2003, 21(4): 343—346(in Chinese).
- [4] ZHOU P(周 萍), GUO R(郭 荣), ZHANG Z P(张自萍). Progress of the variations in nutritional components and influencing factors during the fruit development of *Lycium barbarum* L. [J]. *Journal of Agricultural Sciences* (农业科学研究), 2007, 28(3): 59—62(in Chinese).
- [5] OUYANG H X(欧阳华学), LI Y Q(黎源倩), XIAO Q W(肖全伟). Simultaneous determination of monosaccharides and oligosaccharides in *Lycium barbarum* L. by high performance liquid chromatography[J]. *J. Sichuan Univ. (Med. Sci. Ed.)* (四川大学学报·医学版), 2007, 38(6): 1 040—1 042(in Chinese).
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 GB/T18672—2014. 中华人名共和国国家标准枸杞(枸杞子)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [7] TIAN G Y(田庚元). The study of structure and biological activity of *Fructus lycii* sugar conjugated content[J]. *Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-World Science and Technology* (世界科学技术·中医药现代化), 2003, 5(4): 22—30(in Chinese).
- [8] WANG C C, CHANG S C, CHEN B H. Chromatographic determination of polysaccharides in *Lycium barbarum* Linnaeus[J]. *Food chemistry*, 2009, 116: 595—603.
- [9] YANG X P(杨晓萍), ZHANG SH H(张声华). Research of *Fructus lycii* sugar[J]. *Chemistry and Industry of Forest Products* (林产化学与工业), 1998, 18(2): 65—68(in Chinese).
- [10] 温美佳. 基于气候特征的不同产地枸杞品质及生态适宜性区划研究[D]. 太原: 山西大学, 2013.
- [11] XIE C X(谢彩香), SUO F M(索风梅), JIA G L(贾光林), et al. Correlation between ecological factors and ginsenosides[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2011, 31(24): 7551—7563(in Chinese).
- [12] ZHANG X Y(张晓煜), LIU J(刘 静), WANG L X(王连喜). A synthetic system established for assessing the quality of *Lycium barbarum* L. [J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2004, 37(3): 416—421(in Chinese).
- [13] XU X(许 兴), ZHENG G Q(郑国琦), YANG J(杨 娟), et al. Relationships of polysaccharide and total sugar in *Lycium barbarum* with soil chemical and physical properties in different regions of Ningxia[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2005, 25(7): 1 340—1 344(in Chinese).
- [14] ZHANG Z P(张自萍), SHI X W(史晓文), CAO L H(曹丽华), et al. Quality in fruits of *Lycium barbarum* and its relationship with soil fertility factors[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs* (中草药), 2008, 39(8): 1 238—1 242(in Chinese).
- [15] NIU Y(牛 艳), XU X(许 兴), WEI Y Q(魏玉清), et al. Study on relationships between soil factors and carotenoid of *Lycium barbarum* in different regions of Ningxia[J]. *Journal of Agricultural Sciences* (农业科学研究), 2005, 26(2): 21—24(in Chinese).
- [16] 郑国琦. 宁夏枸杞果实结构、发育与糖分积累关系研究[D]. 西安: 西北大学, 2011.
- [17] ZHAO ZH ZH(赵智中), ZHANG SH L(张上隆), XU CH J(徐昌杰), et al. The role of sucrose metabolism related enzymes in the accumulation of sugar of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2001, 28(2): 112—118(in Chinese).
- [18] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 144—148.
- [19] TRANQUILLINI W. Physiological Ecology of the Alpine Timberline: Tree Existence at High Altitude with Special Reference to the European Alps, Ecological Studies[M]. New York: Springer Berlin Heidelberg, 1979.
- [20] KÖRNER C. Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems(2nd ed)[M]. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2003.
- [21] BARRY R G. Mountain Weather and Climate[M]. Methuen: London and New York, 1981.
- [22] TAO H(陶 红), CUI J F(崔纪芳), NIE L CH(卞兰春). Research process on sugar accumulation in fruits[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* (安徽农业科学), 2010, 38(1): 42—44(in Chinese).
- [23] CHEN J W(陈俊伟), ZHANG SH L(张上隆), et al. Characteristics of photosynthate transportation and partitioning and sugar accumulation in developing satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit[J]. *Plant Physiology Journal* (植物生理学报), 2001, 27(2): 186—192(in Chinese).
- [24] ZHENG G Q(郑国琦), LUO J(罗 杰), et al. Research of sugar associated with sucrose metabolism and LBP and amount of total sugar accumulation in *Lycium barbarum* L. fruit[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs* (中草药), 2008, 39(7): 1 092—1 096(in Chinese).
- [25] ZHENG G Q(郑国琦), LUO X(罗 霄), ZHENG Z Y(郑紫燕), et al. Relationship between sugar accumulation and its metabolizing enzymes in *Lycium barbarum* L. [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2008, 28(6): 1 172—1 178(in Chinese).
- [26] GUO J P(郭建平), GAO SH H(高世红). The experimental study in impacts of high temperature and high CO₂ concentration on crops [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2002, 10(1): 17—20(in Chinese).
- [27] ZHOU CH ZH(周长征), YANG ZH L(杨祯禄), LI Y(李 银), et al. Systematic study on the authentic and superior medicinal herba and GAP of herba asari[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica* (中国中药杂志), 2001, 26(5): 343—345(in Chinese).
- [28] WU X F(吴显峰). The relationship between sugar accumulation and meteorological factors in *Vitis vinifera* L. [J]. *Meteorology* (气象), 1988, 14(10): 56(in Chinese).
- [29] LI J M(李纪明), LI H C(李 华). Change of sugar and acid content of wine grape and its influence factors[J]. *Deciduous Fruits* (落叶果树), 1992, (3): 24—26(in Chinese).
- [30] ZHOU Q(周 青), XIN CH W(辛昌旺). Research on the effects of meteorological conditions on sugar accumulation of crisp pear[J]. *Meteorology* (气象), 1991, 17(1): 47—49(in Chinese).
- [31] ZHANG X Y(张晓煜), LIU J(刘 静), YUAN H Y(袁海燕). A quantificational study on the relationship between saccharide content of medlar and surrounding factors[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2005, 13(3): 101—103(in Chinese).
- [32] ZHAO Y P(赵玉萍), ZOU ZH R(邹志荣), et al. Effect of temperature and light to tomato photosynthesis and quality in greenhouse[J]. *Journal of Northwest A&F University* (Nat. Sci. Ed.) (西北农林科技大学学报·自然科学版), 2010, 38(5): 125—130(in Chinese).
- [33] BAI P W(白鹏威), ZOU ZH R(邹志荣), YANG ZH CH(杨振超), et al. Effect of temperature and light on sugar content in different parts of tomato[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica* (西北农业学报), 2010, 19(3): 184—187(in Chinese).

(编辑: 裴阿卫)