

# 黑果枸杞的黑色与白色浆果 内含物含量比较分析

祁银燕<sup>1,2,3,4</sup>, 邓磊<sup>1,2,3,4</sup>, 郝广婧<sup>4,5</sup>, 朱春云<sup>1,2,4\*</sup>

(1 青海大学 农林科学院, 西宁 810016; 2 青海省农林科学院, 西宁 810016; 3 青海大学 三江源生态与高原农牧业国家重点实验室, 西宁 810016; 4 青海省高原林木遗传育种重点实验室, 西宁 810016; 5 青海大学, 西宁 810016)

**摘要:**在 2013~2015 年青海省黑果枸杞资源调查中发现了白色浆果类型材料, 该研究对白果和黑果在成熟后期——3 个发育期(I~III)的果实表型以及使其浆果具有营养和药理价值的重要活性化合物进行了测定分析。结果表明: (1) 黑果枸杞白色和黑色浆果的发育进程相近, 果型一致, 体积、质量差异不明显。 (2) 花青素在黑色浆果中于第 II 时期含量最高(17.18 mg/g), 而在白色浆果中的 3 个测定时期均极低, 花青素的消失是果实颜色呈现白色的根本原因。 (3) 多酚、多糖和维生素 E 在黑、白色浆果中都存在, 且均在成熟后期的 II、III 时期含量达到最高, 但三者在各个时期白色浆果中的含量均显著低于黑色浆果。 (4) 在浆果中检测的 17 种矿物质元素, 其中在白色浆果中有 10 种元素(B、Ca、Li、Mg、Mn、Na、Si、K、Zn 和 Al)的含量较黑色浆果高。该研究为黑果枸杞品种选育、黑果枸杞白色果实营养价值的评价和其适应性研究奠定了基础。

**关键词:**黑果枸杞; 黑色和白色浆果; 内含物; 矿物质元素

**中图分类号:** Q945.6<sup>+</sup>5; Q946.83<sup>+</sup>6 **文献标志码:** A

## Comparison and Analysis on Contents of Black and White Berries from *Lycium ruthenicum* Murr.

QI Yinyan<sup>1,2,3,4</sup>, DENG Lei<sup>1,2,3,4</sup>, HAO Guangjing<sup>4,5</sup>, ZHU Chunyun<sup>1,2,4\*</sup>

(1 Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining 810016, China; 2 Qinghai Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Xining 810016, China; 3 State Key Laboratory of Plateau Ecology and Agriculture, Qinghai University, Xining 810016, China; 4 Qinghai Plateau Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Xining 810016, China; 5 Qinghai University, Xining 810016, China)

**Abstract:** A resource survey from 2013 to 2015 found white berries in Qinghai Province. The phenotype and main active compounds were determined in the two berries at three stages (I~III) to compare the differences. The results showed that: (1) the shape of white fruit and black fruit were the same, and there was no significant difference in volume and mass. (2) Anthocyanin content in black fruit at the second period up to 17.18 mg/g fresh weight and in white fruit was extremely low in all three periods. The lack of anthocyanin caused the appearance of white fruits. (3) The total polyphenol, polysaccharides and vitamin E were found in black and white fruits, and the content all of them reached the highest at stage II, III. Although the content of these active substances in white fruits was considerable, they were significantly low-

收稿日期: 2018-07-02; 修改稿收到日期: 2018-10-11

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目(31660221); 青海省高原作物种质资源创新与利用重点实验室开放课题(2014-03); 青海省基础科学研究计划项目(2018-ZJ-713); 国家重点研发计划(2018YFC0406604)

作者简介: 祁银燕(1985-), 女, 博士, 主要从事黑果枸杞花青素合成机理的研究。E-mail: qiyinyan@126.com

\* 通信作者: 朱春云, 研究员, 主要从事林木遗传育种研究。E-mail: chunyun2007@126.com

er than that of black fruits in all developmental stages. (4) Ten of the seventeen mineral elements (B, Ca, Li, Mg, Mn, Na, Si, K, Zn and Al) are dominant in the white fruit. This study provided basic data for the variety selection, nutrition value evaluation and adaptability of white fruit from *Lycium ruthenicum* Murr.

**Key words:** *Lycium ruthenicum* Murr.; black and white berries; fruit inclusion; mineral elements

青海省柴达木盆地是中国枸杞的原生地之一。盆地独特的自然环境和高原气候孕育出珍稀的植物资源——黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum* Murr.)。它是茄科枸杞属多年生灌木,生长在严重盐渍化的荒漠地区,是特有且稀有的缓解土壤盐碱度和防止土壤荒漠化的多棘刺灌木,对青海偏远地区的生态系统稳定意义重大<sup>[1-2]</sup>。同时,其黑色浆果在中国和其他亚洲国家已被多年用作传统中药材,能提高视力、抗突变、预防心血管疾病<sup>[1,3]</sup>等,其营养和药理价值的发挥,主要依靠黑果内丰富的花青素,其次为维生素、微量元素、多糖和油类物质<sup>[1-5]</sup>等化合物的活性。

但是,在2013~2015年对青海全省黑果枸杞野生资源进行清查时,发现了整株都是白色浆果的植株。白色果实在颜色表型消失的基础上,其他使黑果枸杞果实具有营养和药理价值的活性化合物的含量是否也发生了变化?因此,本研究以成熟后期3个时期的黑果枸杞白色和黑色浆果为材料,对其表型、花青素、多糖、多酚、矿质元素以及维生素E的含量进行了测定和对比分析,为黑果枸杞品种选育、白果的营养价值评判及其适应性研究提供理论依据。

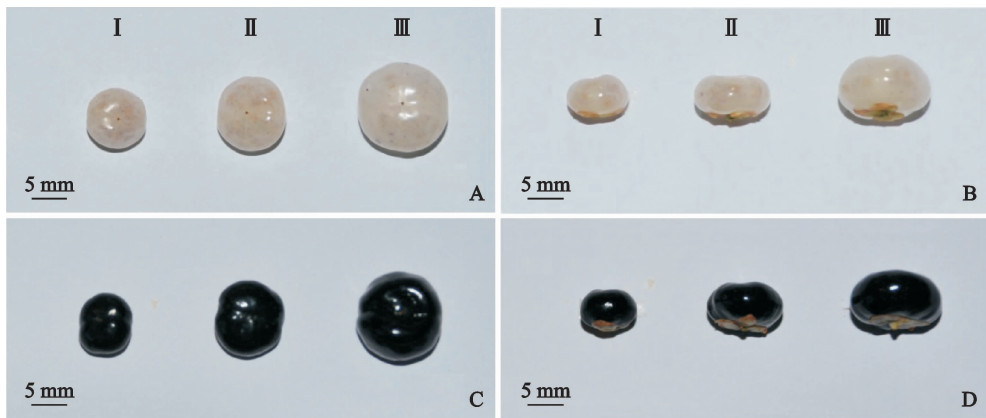
## 1 材料和方法

### 1.1 材料

黑果枸杞果实成熟后期的3个发育期是果实迅速膨大、花青素等内含物大量累积的时期。其中,时期I:果实完全着紫色,开始膨大,硬度变小;时期II:果实紫黑色,迅速膨大;时期III:果实黑色,完全膨大(图1)。本研究中,于2016年8月在青海省柴达木盆地格尔木市(36°42'N,95°29'E)500 m<sup>2</sup>人工黑果枸杞种植地中随机选取黑果和白果健康植株各20株,一次性取3个不同时期的浆果样品。每个发育期用剪刀随机采集15包样品,每包大约20~50颗果实,进行后期5个生理指标的检测,每个指标重复3次。样品采集后迅速用锡箔纸包好液氮速冻,储藏于-80℃冰柜备用。

### 1.2 测定指标及方法

**1.2.1 花青素含量** 花青素的测定采用Zeng等<sup>[3]</sup>的方法。取约2g左右的新鲜果实在液氮中充分研磨。取其中500mg加入5mL 1% HCl/CH<sub>3</sub>OH(v/v)。4℃黑暗浸提24h。将混合液在4℃、10 000 r/min离心30min,将上清液转移一个新的10 mL离心管中。向剩余沉淀中加入2 mL 1%



A, B. 黑果枸杞白色浆果的3个发育时期(正面和立面); C, D. 黑果枸杞黑色浆果的3个发育时期(正面和立面)

图1 不同发育时期(I~III)的黑果枸杞白色及黑色浆果

A, B. The coloration phenotype of white fruit plan and elevation views at different development stages;

C, D. The coloration phenotype of black fruit plan and elevation views at different development stages

Fig. 1 Berries of *L. ruthenicum* Murr. at different developmental stages(I-III)

HCl/CH<sub>3</sub>OH(v/v)。重悬后 4 ℃ 黑暗浸提 24 h 并离心。合并上清液,定容至 10 mL。利用 0.22 μm 微孔过滤膜过滤上清液。用紫外可见光光度计在 530 nm 处测定。试验重复 3 次。

**1.2.2 多酚含量** 采用 Folin-Ciocalteu 法进行多酚含量的测定。取约 2 g 左右的鲜果,在电热鼓风干燥箱中 65 ℃ 干燥 48 h。将烘干的果实充分研磨至粉末状。取其中 500 mg 左右的粉末于 50 mL 离心管中。加入 25 mL 50% CH<sub>3</sub>OH 溶液,震荡提取 30 min。用超声波提取 40 min,4 ℃、9 000 r/min 离心 15 min。滤渣用相同提取工艺提取至滤液无色。合并滤液定容至 50 mL 容量瓶中,经 0.22 μm 微孔过滤膜过滤。取 1 mL 过滤提取液定容至 10 mL。取 1 mL 稀释样品置于 25 mL 试管中。依次加入 5.0 mL 蒸馏水、2.5 mL 10% FC 试剂。充分震荡后静置 3 min 后,加入 4.0 mL 12% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液摇匀。35 ℃ 下恒温水浴 1.5 h。显色后利用紫外可见光光度计在 620 nm 处测定并计算。试验重复 3 次。

**1.2.3 多糖含量** 采用蒽酮-硫酸法进行多糖含量的测定。取约 2 g 左右的黑果枸杞鲜果,在电热鼓风干燥箱中 65 ℃ 干燥 48 h。将烘干的果实充分研磨至粉末状,取 500 mg 粉末于 10 mL 离心管中。加入 5~6 mL 80% 乙醇溶液,80 ℃ 下水浴 30 min,期间对其进行震荡,混合液冷却后在 4 ℃、3 500 r/min 离心 10 min。将上清液转移到 25 mL 离心管中,滤渣用相同提取工艺提取至滤液无色,重复浸提 2 次。合并滤液用 80% 乙醇溶液定容至 25 mL 离心管中。吸取 2 mL 置于 10 mL 离心管在沸水浴中蒸干,准确加入 10 mL 蒸馏水,充分搅拌使糖溶解。4 ℃、3 500 r/min 离心 5 min,取 1 mL 上清液稀释 30 倍。取 2 mL 稀释液置于 10 mL 试管中,将

已加入稀释液的试管放入冰水浴中。将 5 mL 蒽酮-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 试剂沿试管管壁缓慢加入,待全部加完后混匀冷却。混合液试管放入 100 ℃ 水浴锅中准确加热 10 min。取出后用自来水冷却至室温。紫外可见光光度计在 620 nm 处测定并计算。试验重复 3 次。

**1.2.4 矿质元素含量** 采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)进行元素含量的测定。将干燥处理的黑果枸杞研磨成细粉末。称取 0.2 g 干燥样品置于聚四氟乙烯消解罐。加 10 mL 浓 HNO<sub>3</sub> 进行消化。在将聚四氟乙烯消解罐密封前静置约 2 h。在微波消解系统中进行样品的溶解。待样品完全溶解后进行脱酸并用双蒸馏水进行稀释后用于测量。样品溶液通过 7500ce 电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)系统进行分析。试验重复 3 次。

**1.2.5 维生素 E 含量** 采用高效液相色谱法进行维生素 E(V<sub>E</sub>) 活性成分的测定,并以国标 GB/T 5009.82-2003 为参照。试验重复 3 次。

### 1.3 数据处理

利用 SPSS18.0 对黑果枸杞主要活性成分实验数据进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 2 种黑果枸杞果实表型比较

通过对白、黑果成熟后期的果实纵径、横径以及质量的测定发现,枸杞白果、黑果果实纵径随着发育进程而缓慢增加,而果实横径在 I、II 时期缓慢增加,到第 III 时期急剧增加,导致这一时期的果型指数相较于前两个时期的变化不明显到急剧下降,果型呈现明显“蟠桃型”,但白果、黑果各发育时期内两两比较变化不明显;白果、黑果的单果重随着发育进程不断增加,而同期内两两比较差异不大(表 1)。以

表 1 不同发育时期黑果枸杞浆果的表型性状

Table 1 Fruits phenotypic characters of *L. ruthenicum* Murr. at different developmental stages

指标 Index	发育时期 I Developmental stage I		发育时期 II Developmental stage II		发育时期 III Developmental stage III	
	白果 White fruit	黑果 Black fruit	白果 White fruit	黑果 Black fruit	白果 White fruit	黑果 Black fruit
果实纵径 Vertical diameter of fruits/cm	0.372±0.069	0.400±0.039	0.493±0.037	0.494±0.041	0.587±0.075	0.607±0.070
果实横径 Transect diameter of fruits/cm	0.627±0.038	0.680±0.056	0.891±0.010	0.833±0.009	1.796±0.038	1.835±0.047
果型指数 Fruit shape index	0.593±0.062	0.588±0.048	0.553±0.048	0.593±0.051*	0.327±0.021	0.331±0.027
果实质量 Single fruit weight/g	0.087±0.012	0.130±0.020*	0.227±0.031	0.217±0.015	0.337±0.032	0.330±0.010

注:表中数值为 3 个重复的平均值,表示为平均值 ± 标准差;相同时期内 \*\* 和 \* 分别代表 2 种果实间在 0.01 和 0.05 水平存在显著性差异;下同

Note: The figures in table are means of three replicates, and indicated as mean±SD; \*\* and \* within same stage indicated significant differences between white fruit and black fruit as calculated by Duncan statistical analysis at 0.01 and 0.05 level, respectively;The same as below

上结果说明,白果和黑果枸杞果实的发育进程相近,果型一致,体积、质量差异不大,而且果实体积的膨大主要发生在第Ⅲ时期。

## 2.2 2种黑果枸杞果实花青素、多酚和多糖含量的比较

成熟的黑果枸杞黑色浆果中含有丰富的乙酰化的花青素<sup>[1,6]</sup>。通过对色素大量累积时期的白果和黑果中花青素测定发现,二者花青素含量在3个时期均存在极显著性差异( $P < 0.01$ )。同时,黑果中的花青素含量随着果实膨大,从5.50 mg/g迅速增加至17 mg/g,然后有所下降;白果中花青素含量在3个时期均处于很低水平,且基本保持平稳(表2),花青素的大量消失是其果实颜色呈现白色的原因。

同时,酚类化合物是广泛存在于高等植物中的活性化合物<sup>[7]</sup>。作为一类重要的次生代谢物,多酚因为可以保护人体免受氧化危害,比如癌症、心血管问题、衰老<sup>[7-8]</sup>等而受到了高度关注。表2显示,黑果枸杞黑果和白果中的多酚含量随果实发育的变化趋势相似,都明显呈现先增加然后有所回落;整体上,白果中也具有可观的多酚含量,但是黑果中各个时期的多酚含量均明显高于白果,且在第Ⅰ、Ⅲ时期均存在显著性差异。

另外,多糖是细胞的4个基本组成部分之一<sup>[9]</sup>,它被认为是一种主要的抗炎、抗氧化、抗病毒、免疫调节、降血糖、抗肿瘤的活性物质。从表2可知,黑果枸杞白果中虽有多糖的存在,但是其含量在3个时期均显著低于黑果;白果和黑果中的多糖含量都随发育进程而增加,都在第Ⅲ时期达到最大,不同于花青素和多酚含量的表现。

## 2.3 2种黑果枸杞果实中矿质元素含量的比较

矿质元素对于人体的发育必不可少<sup>[10]</sup>。利用ICP-MS测定了2种黑果枸杞果实中17种矿质元素

(B, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, P, Si, Ti, V, Zn, Al)的含量。表3结果显示,K、Na、P、Ca、Mg是2种黑果枸杞浆果中含量最高的5种元素,尤其是K的含量非常高,是Na含量的5倍之多,其属于高钾低钠的植物。2种浆果间比较,白果中的B、Ca、Li、Mg、Mn、Na、Si含量在3个时期均显著高于同期的黑果,而其Cu、Fe、Ti的含量在3个时期均低于黑果,且其间Cu、Fe含量存在显著性差异;浆果中的Co、Cr、P、V4种元素的含量在黑果和白果中不存在显著性差异;浆果中的K、Zn和Al含量在黑、白果的发育过程中一直在波动变化,但是它们在第Ⅲ时期表现为白果含量高于黑果,且两者间的K含量存在显著性差异,Zn和Al含量存在极显著性差异(表3)。

## 2.4 2种黑果枸杞果实中维生素E含量的比较

维生素E( $V_E$ )作为一类人体不能合成、需从外界摄入补充的微量营养元素,在增强人体免疫系统功能方面起着重要作用<sup>[11]</sup>。维生素E由一组复合物组成,包括 $\alpha$ -( $\alpha$ -Toc)、 $\beta$ -( $\beta$ -Toc)、 $\gamma$ -( $\gamma$ -Toc)和 $\delta$ -( $\delta$ -Toc)生育酚和4个相应的不饱和衍生物<sup>[12]</sup>。其中的 $\alpha$ -Toc的生理活性最强,是人体最易吸收的生育酚,而 $\gamma$ -Toc的抗氧化能力最强<sup>[13]</sup>,所以,本研究对黑果枸杞黑、白2种浆果 $V_E$ 中的这2类进行了含量的测定。结果(表4)表明,黑果枸杞黑、白2种浆果中都有 $\alpha$ -Toc、 $\gamma$ -Toc这2类物质存在,且 $\alpha$ -Toc的含量明显较于 $\gamma$ -Toc含量丰富。 $\alpha$ -Toc的含量在黑、白果中都于第Ⅱ时期比较高,后随着浆果发育反而有所下降;黑果中的 $\alpha$ -Toc含量在第Ⅱ、Ⅲ时期均显著高于白果,而在第Ⅰ时期显著低于白果。 $\gamma$ -Toc的含量整体上处在较低水平,在黑、白果的各发育时期虽有差异,但差异仅在第Ⅲ时期达到显著水平,并表现为白果高于黑果。

表2 不同发育时期2种黑果枸杞浆果中的花青素、多酚、多糖含量

Table 2 Concentration of anthocyanin, total polyphenol and polysaccharides in two types of fruit of *L. ruthenicum* Murr. at different developmental stages/(mg/g)

指标 Index	果实类型 Type of fruit	发育时期 Developmental stage		
		I	II	III
花青素 Anthocyanin	白果 White fruits	0.026±0.013	0.025±0.005	0.041±0.022
	黑果 Black fruits	5.501±1.004**	17.182±0.469**	9.374±0.409**
多酚 Total polyphenol	白果 White fruits	33.068±6.334	40.012±4.758	38.570±1.622
	黑果 Black fruits	38.155±1.753**	43.667±2.323	40.242±3.651*
多糖 Polysaccharides	白果 White fruits	21.762±1.645	29.644±1.393	44.369±2.505
	黑果 Black fruits	49.021±9.598**	66.514±4.425**	71.509±2.816**

表 3 不同发育时期 2 种黑果枸杞浆果中的矿物质元素含量  
Table 3 Concentration of mineral elements in two types of fruit of *L. ruthenicum* Murr.  
at different developmental stages/(mg/100 g)

矿物质元素 Mineral element	时期 I Developmental stage I		时期 II Developmental stage II		时期 III Developmental stage III	
	白色浆果 White fruit	黑色浆果 Black fruit	白色浆果 White fruit	黑色浆果 Black fruit	白色浆果 White fruit	黑色浆果 Black fruit
B	4.423±0.120**	2.166±0.223	3.731±0.0841**	1.523±0.096	3.482±0.219*	2.233±0.165
Ca	270.956±3.053**	260.613±0.855	238.487±0.755**	198.339±0.857	189.217±5.002**	174.601±0.678
Co	0.499±0.033	0.515±0.017	0.504±0.045	0.487±0.031	0.519±0.033	0.507±0.023
Cr	0.393±0.009	0.405±0.020	0.378±0.015	0.387±0.011	0.378±0.010	0.375±0.006
Cu	3.046±0.238	7.647±0.096**	1.271±0.078	6.654±0.107**	2.045±0.572	6.328±0.151**
Fe	8.768±0.037	14.625±0.075**	6.957±0.034	9.828±0.040**	6.078±0.307	7.641±0.031*
K	2 179.614±4.680	2 268.656±3.163**	1 784.136±6.726	2 060.499±8.380**	1 765.082±9.003*	1 703.808±4.522
Li	2.646±0.008**	1.347±0.002	2.213±0.012**	1.365±0.005	2.222±0.017**	1.258±0.0002
Mg	224.107±1.390**	174.035±0.7625	164.276±0.920**	148.756±0.896	166.048±1.169**	144.305±0.491
Mn	0.553±0.006**	0.465±0.010	0.275±0.002**	0.120±0.003	0.357±0.011**	0.106±0.007
Na	398.918±1.061**	308.4125±0.411	316.718±1.365**	245.412±1.076	370.733±7.885**	233.403±1.005
P	273.895±0.001	272.640±0.038	264.885±0.206	269.298±0.190	268.781±0.101	268.697±0.037
Si	3.007±0.019**	1.772±0.003	2.276±0.009**	1.333±0.003	1.999±0.006**	1.285±0.001
Ti	0.709±0.005	0.909±0.010**	0.676±0.018	0.735±0.005*	0.636±0.037	0.667±0.009
V	0.500±0.007	0.499±0.013	0.479±0.010	0.487±0.015	0.477±0.015	0.491±0.015
Zn	1.030±0.044*	1.198±0.020	0.852±0.007	0.876±0.015	1.597±0.094**	0.847±0.022
Al	12.390±0.571	16.753±1.038**	20.157±2.221**	11.930±0.953	19.360±3.551**	13.323±2.734

表 4 不同发育时期 2 种黑果枸杞浆果中的维生素 E 含量

Table 4 Concentration of vitamin E in two types of fruit of *L. ruthenicum* Murr. at different developmental stages/(mg/100 g)

维生素 E V <sub>E</sub>	果实类型 Type of fruit	发育时期 Developmental stage		
		I	II	III
α-Toc	白果 White fruits	4.470±0.226**	4.307±0.275	2.453±0.214
	黑果 Black fruits	2.940±0.250	7.170±0.050**	3.330±0.030*
γ-Toc	白果 White fruits	0.163±0.029	0.099±0.004	0.104±0.009*
	黑果 Black fruits	0.176±0.021	0.192±0.027*	0.069±0.006

### 3 讨 论

黑果枸杞广泛地分布于青藏高原的盐化荒漠,它特殊的抗旱、抗盐生理特性对于青海地区柴达木盆地生态系统的稳定非常重要。强烈紫外线和恶劣土壤环境诱导黑果枸杞的浆果内特异性地积累了大量花青素<sup>[4,14]</sup>,这种类黄酮物质不仅能增强植株自身抗逆性,使其在逆境中正常生长发育而得以在青海存活<sup>[15-19]</sup>,还对人体有重要的医疗保健作用。因此,黑果枸杞是柴达木盆地重要的生态、经济型树种,但到目前为止,依旧以野生种为主,优良品种缺乏。在品种选育、资源清查过程中,我们发现了浆果全是白色的黑果枸杞植株。对两种颜色果实表型的对比分析发现,二者除了果色不同外,没有差异。

果色是果实品质的重要指标,花青素是决定果色的主要色素,也是果实成熟的主要标志。对于水果、蔬菜和粮食作物来说,传统品种多为淡色。花青素虽然因其抗氧化性对人类具有保健功能,但它们会使口感偏涩<sup>[20-21]</sup>。近年来,随着人类心血管疾病、糖尿病、肥胖和癌症的频发,花青素的保健功能已经引起了人们的重视。这种类黄酮物质,对于植株本身而言,能增强自身抗逆性,能使其在逆境中正常生长发育<sup>[17-19]</sup>。因此,花青素是黑果枸杞浆果内最重要和最具有生态价值和经济价值的内含物<sup>[1]</sup>。本研究中黑色鲜浆果内花青素的含量在发育第 II 时期高达 17.18 mg/g,远高于已报道的其他深色果实,其花青素含量是越桔属(*Vaccinium*) 30 个基因型的 1.8~27.6 倍,是悬钩子属(*Rubus*) 37 种和栽培种的 1.5~18 倍,是虎耳草科(*Ribes*) 40 个基因型的 2.3~66.9 倍<sup>[22]</sup>。这在可食用浆果中非常罕见<sup>[23]</sup>。但是,黑果枸杞白色果实中花青素含量在 3

个时期均极低,且趋于平稳,说明花青素的大量消失是果实颜色呈现白色的根本原因。花青素积累的完全阻断很可能会降低植株抗逆性,使其适应柴达木盆地恶劣环境的能力受限,对浆果品质的影响也是致命的。众多研究已表明,从无色向红紫色品种转变常由花青素调控因子 MYB 或 b HLH 的表达上调引起,而红紫色向淡色转变可由多种机制引起,如任意一个花青素合成途径结构基因或相关调控因子的突变。自然界相同环境条件下形成的淡色突变品种中,调控基因 MYB 和结构基因 *F3'H* 与 *F3'5'H* 的突变出现频率较高<sup>[21]</sup>。下一步我们将会利用转录组深度测序对黑果枸杞颜色代谢机理进行系统研究,结合适应性的长期监测,以期从分子水平揭开黑果枸杞黑色浆果花青素累积与白色浆果颜色缺失的机理,并阐明花青素的多寡对其适应性的影响。同时,多酚、多糖、元素和维生素 E 也是黑果枸杞浆果发挥保健功能的重要内含物<sup>[1-2]</sup>。通过对比发现这些活性物质在黑、白果中都存在、都有各自的优势值,且都在果实发育的第 II、III 时期中含量达到最高,而多酚、多糖和 V<sub>E</sub> 的含量在白果中虽然也很可观,但在各个时期均显著低于黑色果实;但值得关注的是,多种矿质元素含量则在白果中表现比较佳。

在今天,消费者追求多功能食物和果实品质。黑果枸杞白色果实相较于黑色果实,逊色于健康促进(花青素、多糖、多酚)和营养价值(维生素 E),但是天然存在的白色形式具有极高的科研价值,它为深刻理解苛刻的高原环境下复杂的代谢网络和特定的生化特性,尤其为花青素高效累积下的深色颜色的形成以及花青素与适应性之间的关系提供了珍贵材料。

## 参考文献:

- [1] ZHENG J, DING C, WANG L, *et al.* Anthocyanins composition and antioxidant activity of wild *Lycium ruthenicum* Murr. from Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Food Chemistry*, 2011, **126**(3): 859-865.
- [2] PENG Q, LV X, XU Q, *et al.* Isolation and structural characterization of the polysaccharide LRGP1 from *Lycium ruthenicum*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012, **90**(1): 95-101.
- [3] ZENG S, WU M, ZOU C, *et al.* Comparative analysis of anthocyanin biosynthesis during fruit development in two *Lycium* species[J]. *Physiologia Plantarum*, 2014, **150**(4): 505-516.
- [4] ALTINTAS A, KOSAR M, KIRIMER N, *et al.* Composition of the essential oils of *Lycium barbarum* and *L. ruthenicum* fruits[J]. *Chemistry of Natural Compounds*, 2006, **42**(1): 24-25.
- [5] POTTERAT O. Goji (*Lycium barbarum* and *L. chinense*): Phytochemistry, pharmacology and safety in the perspective of traditional uses and recent popularity[J]. *Planta Medica*, 2010, **76**(1): 7-19.
- [6] LI J, ZHAO H Y, YUAN H, *et al.* Study on the pigment of *Lycium ruthenicum* Murr. [J]. *Food Sciences*, 2006, **27**(10): 146-151.
- [7] LIU L, SUN Y, LAURA T, *et al.* Determination of polyphenolic content and antioxidant activity of Kudingcha made from *Ilex kudingcha*, C. J. Tseng[J]. *Food Chemistry*, 2009, **112**(1): 35-41.
- [8] ROBARDS K, PRENZLER P, TUCKER G, *et al.* Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits[J]. *Food Chemistry*, 1999, **66**(4): 401-436.
- [9] LOWE J, MARTH J. A genetic approach to Mammalian glycan function[J]. *Annual Review of Biochemistry*, 2003, **72**(1): 643-691.
- [10] TOKALIOĞLU Ş. Determination of trace elements in commonly consumed medicinal herbs by ICP-MS and multivariate analysis[J]. *Food Chemistry*, 2012, **134**(4): 2 504-2 508.
- [11] ADACHI N, MIGITA M, OHTA T, *et al.* Depressed natural killer cell activity due to decreased natural killer cell population in a vitamin E-deficient patient with Shwachman syndrome: reversible natural killer cell abnormality by  $\alpha$ -tocopherol supplementation[J]. *European Journal of Pediatrics*, 1997, **156**(6): 444-448.
- [12] VAN EENENNAAM A, LINCOLN K, DURRETT T, *et al.* Engineering vitamin E content: from *Arabidopsis* mutant to soy oil[J]. *Plant Cell*, 2003, **15**(12): 3 007-3 019.
- [13] 吕培军,薛蕾,伍晓明,等. HPLC法分析油菜种子油中维生素E的组成与含量[J]. *植物遗传资源学报*, 2011, **12**(4): 634-639+645.
- [14] LÜ P J, XUE L, WU X M, *et al.* Vitamin E component of oilseed rape by HPLC method [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011, **12**(4): 634-639+645.
- [15] MILLER R, OWENS S J, RORSLETT B. Plants and color: flowers and pollination [J]. *Optics & Laser Technology*, 2011, **43**(2): 282-294.
- [16] HODGES S A, DERIEG N J. Adaptive radiations: from field to genomic studies[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, **106**(supplement. 1): 9 947-9 954.
- [17] PETRONI K, TONELLI C. Recent advances on the regulation of anthocyanin synthesis in reproductive organs [J]. *Plant Science*, 2011, **181**(3): 219-229.
- [18] GRUNEWALD W, DE SMET I, LEWIS DR, *et al.* Transcription factor WRKY23 assists auxin distribution patterns during Arabidopsis root development through local control on flavonol biosynthesis[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, **109**(5): 1 554-1 559.
- [19] XU W, GRAIN D, GOURRIEREC J, *et al.* Regulation of flavonoid biosynthesis involves an unexpected complex transcriptional regulation of TT8 expression, in *Arabidopsis*[J]. *New Phytologist*, 2013, **198**(1): 59-70.
- [20] SWEENEY M T, THOMSON M J, PFEIL B E, *et al.* Caught red-handed: Rc encodes a basic helix-loop-helix protein conditioning red pericarp in rice[J]. *Plant Cell*, 2006, **18**(2): 283-294.
- [21] 祝志欣,鲁迎青. 花青素代谢途径与植物颜色变异[J]. *植物学报*, 2016, **51**(1): 107-119.
- [22] ZHU Z X, LU Y Q. Plant color mutants and the anthocyanin pathway[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2016, **51**(1): 107-119.
- [23] MOYER R A, HUMMER K E, FINN C E, *et al.* Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: *vaccinium*, *rubus*, and *ribes*[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2002, **50**(3): 519-25.
- [24] WU X, BEECHER G, HOLDEN J, *et al.* Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, **54**(11): 4 069-4 075.

(编辑:裴阿卫)