

杏果核物理特性与其主要化学组分的相关性分析

吕春晶,章秋平*,刘 宁,张玉萍,徐 铭,刘 硕,马小雪,张玉君,刘威生*

(辽宁省果树科学研究所,辽宁营口 115007)

摘要:【目的】评价不同杏种质果核的硬度、厚度以及其化学组分含量等性状,为仁用杏育种提供优良种质资源。【方法】调查了45份不同杏种质的果核厚度、硬度、破裂力等性状,并测定了其果核中纤维素、半纤维素和木质素等主要化学成分含量。【结果】通过调查发现,不同种质类型间杏核的厚度、破裂力和硬度均存在显著差异,仁用杏果核的平均厚度和破裂力均高于鲜食杏和山杏,其顺序是仁用杏>鲜食杏>山杏。通过比较果核化学成分组成发现,在不同种质中果核的主要组成为纤维素、半纤维素和木质素,其平均含量依次分别为19.08%、47.55%和28.78%;通过统计分析发现,不同种群间纤维素、半纤维素和木质素的平均含量没有显著差异;与总纤维素含量相比,木质素含量的变异系数较大,这表明不同种质间木质素含量变化较明显。通过相关性分析,发现杏核硬度与果核厚度、木质素含量呈显著正相关,这表明杏核硬度由果核厚度和木质素含量决定。【结论】不同类型间杏核的壳厚度、破裂力和硬度存在着丰富的遗传变异,但是仁用杏的遗传变异系数相对较小。杏核主要由纤维素、半纤维素和木质素等化学成分组成,并且不同类型间果核的组成比例变化较小。杏核硬度由其厚度和木质素含量决定。

关键词:杏;果核;木质素;纤维素;半纤维素

中图分类号:S662.2

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2021)10-1717-08

Correlations between physical properties and major chemical components of shells in apricot

LÜ Chunjing, ZHANG Qiuping*, LIU Ning, ZHANG Yuping, XU Ming, LIU Shuo, MA Xiaoxue, ZHANG Yujun, LIU Weisheng*

(Liaoning Institute of Pomology, Yingkou 115007, Liaoning, China)

Abstract: 【Objective】Kernel-using apricots (*Prunus armeniaca* L.) are unique apricot resources in China, and they are often used as the main economic tree species in arid and semidesert areas in Northern China due to their excellent characteristics of cold and drought resistance and barren tolerance. Difficulty in opening the shells and low kernel-yield-rate are two major concerns both for growers and breeders. The evaluation of the physical properties and the chemical components of the kernel-using apricots would be valuable for speeding up the selection of new variety. 【Methods】The physical characteristics of kernel thickness, hardness, and breaking force were investigated using TMS-Pro physical property analyzer (Food Technology Corporation in USA). The contents of cellulose, hemicellulose, and lignin in the kernel of different germplasm were determined using general detection methods such as Klason lignin method and Kurschner-Hoffer method. 【Results】The order of the mean value of the shell thickness were anju apricot (*P. sibirica* L.) population (1.37 mm) < Fresh-using apricot (*P. armeniaca* L.) (1.74 mm) < Kernel-using apricot (*P. armeniaca* L.) (2.00 mm); the average value of breaking force were anju apricot population (149.57 N) < Fresh-using apricot (149.57 N) < Kernel-using apricot (209.65 N); the average value of kernel hardness were anju apricot population (613.26 N) < Kernel-us-

收稿日期:2021-05-12 接受日期:2021-06-28

基金项目:国家自然科学基金(31972365);农业农村部作物种质资源保护项目(2020NWB003);国家园艺作物种质资源基础平台(NIC-GR2020-056)

作者简介:吕春晶,女,助理研究员,主要从事园艺植物测试分析。Tel:13504179553,E-mail:lvchunjing1@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:13941786260,E-mail:lbzhangqiuping2@163.com;Tel:13941718335,E-mail:wsluilaas@163.com

ing apricot (733.73 N) < Fresh-using apricot (873.62 N). Analysis of variances showed that there were significant differences in the thickness, breaking force, and hardness of the apricot shells among different types of apricot germplasms. There were abundant genetic variations in apricot shells, but the genetic variation of the kernel-using apricot was smaller than other types. In the process of artificial selection, there were some undesirable traits such as the kernel thickness and hardness of shell in the kernel-using apricot, however, some germplasm such as Lve, Luren, You No.1, and Xin No.4, exhibited great utilization potential for improving the kernel yield in apricot. The main components of apricot shell were cellulose, hemicelluloses, and lignin, and their contents were 19.08%, 47.55%, and 28.78%, respectively. The mean content lignin in kernel-using apricots, fresh-using apricots and ansu apricot population were 28.22%, 30.2%, and 28.34%, respectively. Analysis of variances showed that the mean contents of cellulose, hemicellulose, and lignin were not significantly different among different types of apricot germplasms. The variation coefficient of lignin content was larger than that of holocellulose, which indicated that lignin content varied obviously with different accessions. It was found that shell thickness and hardness ($r = 0.544^{**}$), breaking force and hardness ($r = 0.600^{**}$), cellulose and hemicellulose ($r = 0.976^{**}$), acid-insoluble lignin content and the total lignin content ($r = 0.999^{**}$) were extremely significantly and positively correlated. Among the physical properties and chemical composition of the apricot shells, there was only one correlation, that is, the correlation between the shell hardness and the total content of lignin ($r = 0.343^{*}$), and the contents of cellulose and hemicelluloses, which were the cell wall framework materials, were not significantly correlated with shell thickness. It indicated that the lignin content of shell had the greatest impact on the hardness of the apricot stone. 【Conclusion】There were abundant genetic variations in thickness, breaking force, and hardness of the apricot shells among different types of germplasms. The apricot shell was mainly chemically composed of cellulose, hemicelluloses, and lignin; the proportions of these compositions showed no significant difference among different types of germplasms. The hardness of the shell was correlated with thickness and lignin content of the shell in apricot.

Key words: Apricot; Apricot shell; Lignin; Cellulose; Hemicellulose

杏为蔷薇科(Rosaceae)杏属(*Armeniaca*)植物,果实为典型的核果类果实^[1]。从植物学解剖结构上看,柔软多汁的杏肉属于中果皮,可以鲜食、制成果脯、酿酒等,而木质化的坚坚果核则属于内果皮,是包被种胚的外部结构,对种胚起到保护作用^[2]。根据果实的用途,杏可以划分为鲜食杏和仁用杏。仁用杏主要以收获果核、食用种仁为主,与扁桃类似,属于干果。仁用杏是我国特有的果树,据不完全统计,我国仁用杏种植面积约有27.87万hm²^[3]。

仁用杏抗寒旱、耐瘠薄,具有显著的经济、社会、生态效益,是我国“三北”(东北、华北和西北广阔的荒漠化边缘地区)干旱地区的首选树种之一^[4]。近年来,仁用杏在防风固沙生态林中的占比越来越大。但是,在仁用杏的加工处理过程中高度木质化的果核增加了仁用杏加工成本、降低了出仁率。因

此,筛选杏核特异资源,选育易开核、出仁率高的仁用杏品种显得尤为重要。

一般认为,木本植物硬质组织主要由纤维素、半纤维素和木质素等有机物组成,其含量大致范围分别为30%~50%、20%~30%和20%~30%^[5]。汤崑等^[2]综述多种植物认为木质素含量与果核的发育异常、退化相关。在桃果实上,内果皮开裂主要是木质化不完全造成的^[6];内果皮发育异常的裂核杏也主要是木质素沉积障碍造成的^[7];在扁桃上,通过内果皮发育过程的组织学观察发现,果核的硬化与内果皮细胞壁的木质素沉积有关^[8],并且木质素合成相关酶活性在内果皮硬化过程中具有重要影响^[9]。文菁等^[10]也认为核桃硬核发育期内果皮木质素的变化与相关酶活性呈显著相关。前人已经对油橄榄^[11]、核桃^[10]、桃^[6]和杏^[7]等多种植物果核或果壳的木质化组

成成分进行了研究。李夕勃^[12]对多份核桃品种研究后,发现不同核桃果壳的木质素含量在31.09%~51.88%。通过化学工艺测定,废弃的杏果核中纤维素和木质素所占的比例分别为34.31%和31.91%^[13]。但是,有关不同杏品种果核中木质素含量的差异尚无报道,也一直缺乏杏核硬度等物理特征与木质素等化学组成间的相关性研究,这在一定程度上影响了仁用杏育种亲本的选择。

优异种质资源评价是性状遗传改良与利用的基础^[14]。尽管前人已经对部分杏果核的木质化形成进行了报道,但是对于仁用杏与鲜食杏、山杏间的差异以及不同仁用杏品种间的差异仍不清楚,无法较好地利用更多的种质资源对仁用杏进行遗传改良。结合仁用杏育种实际工作,笔者选用常用杂交亲本以及鲜食杏和山杏中的类似材料,分析了仁用杏、鲜食杏和山杏的果核硬度、厚度以及其主要化学组成成分差异,以为仁用杏育种提供优良种质资源与理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

一般认为,仁用杏与鲜食杏均属于普通杏(*Prunus armeniaca* L.)。笔者在本实验中使用45份材料,其中包括21份仁用杏、12份鲜食杏和12份山杏(*Prunus sibirica* L.)(表1)。所有材料均取自国家果树种质资源熊岳李杏圃。选择常规管理的健壮树,于2019年夏季果实自然成熟后从树冠外围随机摘100个有代表性的果实。去掉果肉,将果核洗净、晾干,悬挂于阴凉干燥的样品室待测。

1.2 方法

每个样品随机取20粒杏核,利用TMS-PRO物性分析仪(美国Food Technology Corporation公司生产)中的TPA模块测定不同果核的破裂力和硬度。将果核放置于测试探头的正下方,采用2500 N探头(直径35 mm),参数设置为:预压速度 $2.0 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$,下压速度 $1.0 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$,压后上行速度 $2.0 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$,2次压缩中间停留5 s,样品受压变形为30%,触发力为1.0 N。

将杏核敲开后,用游标卡尺测量果核中部最薄处的厚度。每样品测量20个杏核。

将杏的果核敲开去除杏仁后,用磨样机粉碎成细微的粉末,过60目的网筛,装入塑料自封袋内保存,用于测定木质素、综纤维素和纤维素。酸不溶性

表1 供试杏品种列表

Table 1 list of the tested apricot accessions

种群 Population	种质材料 Accessions
仁用杏 Kernel-using apricot	新四号 Xin No.4
	黄尖嘴 Huangjianzui
	克拉拉 Kelala
	C11-2-6
	79C13
	三杆旗 Sanganqi
	串铃扁 Chuanlingbian
	优一 Youyi
	国仁 Guoren
	龙王帽 Longwangmao
	白玉扁 Baiyubian
	80A03
	九道眉 Jiudaomei
	丰仁 Fengren
	涿鹿木瓜杏 Zhuolu muguaxing
	超仁 Chaoren
	一窝蜂 Yiwofeng
	80B05
	长城1号 Changcheng No.1
	围选1号 Weixuan No.1
	B0D05
鲜食杏 Fresh-using apricot	赛买提 Saimaiti
	龙垦8号 Longken No.8
	扁杏 Bianxing
	野生甜仁 Yesheng tianren
	B2-1-2-3
	串枝红 Chuanzhihong
	新疆野杏 Xinjiang yexing
	凯特 Kaite
	红玉 Hongyu
	华县大接杏 Huaxian dajixing
锦西大红杏 Jinxi dahongxing	
山杏 <i>Prunus sibirica</i>	露仁 Louren
	垂枝杏 Chuizhixing
	山杏15 Shanxing No.15
	大山杏 Dashanxing
	B1-10-2-1
	苏联山杏 Sulian shanxing
	甜仁山杏 Tianren shanxing
	大山后 Dashanhou
	辽梅 Liaomei
	熊岳山杏 Xiongyue shanxing
B3-14-3-1	
绿萼 Lü'e	
B3-14-4-1	

木质素含量测定,参照Klason法进行^[15];酸溶性木质素含量测定,按GB/T 35818—2018行业标准^[16]采用UV-2550紫外分光光度仪于320 nm波长处测定吸光值,并进行计算;综纤维素含量采用GB/T 2677.10—1995国家标准^[17]进行测定;纤维素含量测

定按李合生等^[18]的方法进行;半纤维素含量由综纤维素减去纤维素含量得出。每样品的木质素和综纤维素含量测定3次重复,纤维素含量测定5次重复。

1.3 数据处理

将数据导入或录入EXCEL表格后,计算各样品的平均值,然后将所用数据导入Orgin9.0进行相关统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同种质类型间杏核硬度相关性状的变化

从表2可以看出,不同种质类型间的果核厚度差异显著,其中山杏的果核厚度平均值最薄,仅为1.37 mm;其次为鲜食杏;仁用杏的果核厚度平均值最厚为2.00 mm,且显著高于山杏与鲜食杏。从果

表2 不同种质类型间杏核物理性状的变异分析

Table 2 Variation analysis of physical characters of the apricot shells among different germplasm types

种质类型 Germplasm types	M/n	X1/mm	X1S	X1C/%	X2/N	X2S	X2C/%	X3/N	X3S	X3C/%
仁用杏 Kernel apricot	21	2.00	0.23	11.60	209.65	72.88	34.76	733.73	185.29	25.25
鲜食杏 Fresh apricot	12	1.74	0.41	23.71	195.13	79.15	40.56	873.62	335.47	38.40
山杏 <i>Prunus sibirica</i>	12	1.37	0.28	20.46	149.57	44.05	29.45	613.26	198.78	32.41
总计 Total	45	1.76	0.39	22.41	189.64	71.24	37.57	738.91	250.77	33.94

注:M. 样品量;X1. 杏核厚度平均值;S. 标准差;C. 变异系数;X2. 杏核破裂力平均值;X3. 杏核硬度平均值。

Note: M. Number of samples; X1. Average thickness of apricot kernel; S. Standard deviation; C. Coefficient of variation; X2. Average breaking force of apricot nucleus; X3. Average hardness of apricot kernel.

核厚度上看,鲜食杏和山杏的变异系数分别为23.71%和20.46%,而仁用杏仅为11.60%,这表明在核厚度方面仁用杏的变异小于其他杏资源。在山杏种质中的绿萼果核厚度仅为1.01 mm,而B3-14-3-1的厚度为1.89 mm;鲜食杏种质中的露仁果核的平均厚度几乎为0 mm,而红玉厚度为2.28 mm;仁用杏品种群中优一的核最薄为1.59 mm,而白玉扁的核最厚为2.36 mm。

在果核破裂力方面,仁用杏与鲜食杏种群之间差异不显著,山杏种质的破裂力显著低于仁用杏与鲜食杏,仅为149.57 N;其次为鲜食杏;仁用杏种群果核的破裂力最高为209.65 N。从变异系数来看,山杏、仁用杏和鲜食杏的分别为29.45%、34.76%、40.56%,这表明不同杏核在抗压破核方面变异非常丰富。在鲜食杏中,露仁杏果核破裂力为0 N,锦西大红杏的破裂力为353.64 N;仁用杏种质中的新4号果核破裂力为111.31 N,而80D05的破裂力为338.62 N。

由表2可以看出,不同杏种质间的果核硬度变异极为丰富,果核硬度由小到大依次为山杏(613.26 N)<仁用杏(733.73 N)<鲜食杏(873.62 N),变异系数由小到大依次为仁用杏(25.25%)<山杏(32.41%)<鲜食杏(38.4%)。在鲜食杏中,锦西大红杏的核硬度最大为1 305.42 N,而露仁杏的果核硬度最小仅为167.65 N,并且果核破裂力几乎为0。

2.2 不同种质类型间杏核成分的变化

从整体来看,不同类型的杏果核主要化学成分均由纤维素、半纤维素和木质素组成,其平均含量分别为19.08%、47.55%和28.78%,变化范围分别为11.2%~31.9%、33.9%~55.8%和22.9%~33.2%。

纤维素作为细胞壁的主要成分,是杏核中含量最高的化学成分。由表3可以看出,仁用杏、鲜食杏和山杏种质的综纤维素含量在66%左右,其中大多数种质的半纤维素含量远高于纤维素含量。不同种质类型的综纤维素含量变异不大,变异系数仅1.29%~2.09%,而纤维素和半纤维素含量的变异系数分别在32.31%~36.29%和11.97%~15.28%。这表明,在不同种质类型的杏核中综纤维素含量较稳定,但是纤维素和半纤维含量变化较大。其中,仁用杏的纤维素含量平均值稍高于其他类型的种质,而鲜食杏的平均半纤维素含量略高于其他2种类型。

木质素主要存在于木质化的次生细胞壁中,其与纤维素、半纤维素相互交联在一起,能够提高植物体的硬度和机械强度^[19]。从表3可以看出,杏果核中木质素主要由不溶性木质素组成(约占28%左右),可溶性木质素含量较低、且变异不大。仁用杏、鲜食杏和山杏的木质素平均含量分别是28.22%、30.2%和28.34%。通过统计分析认为,鲜食杏的木质素含量略高于仁用杏、山杏,但三者之间差异未达

表3 不同种质类型间杏果核组成成分及变异性分析
Table 3 Composition and variability of apricot shell among different populations

种质类型 Germplasm types		X4/%	X5/%	X6/%	X7/%	X8/%	X9/%
仁用杏 Kernel-using apricot	平均值 Average	20.07	46.57	66.63	1.16	27.06	28.22
	标准差 Standard deviation	6.48	6.38	1.40	0.13	2.90	2.89
	变异系数 Coefficient of variation	32.31	13.69	2.09	10.77	10.71	10.24
鲜食杏 Fresh-using apricot	平均值 Average	17.12	49.34	66.54	1.07	29.13	30.20
	标准差 Standard deviation	5.99	5.90	0.86	0.11	2.28	2.27
	变异系数 Coefficient of variation	35.01	11.97	1.29	9.95	7.82	7.52
山杏 <i>Prunus sibirica</i>	平均值 Average	19.18	47.63	66.76	1.06	27.28	28.34
	标准差 Standard deviation	6.96	7.28	1.14	0.14	2.60	2.49
	变异系数 Coefficient of variation	36.29	15.28	1.71	13.49	9.54	8.77
整体 Total	平均值 Average of total	19.08	47.55	66.64	1.11	27.67	28.78
	标准差 Standard deviation	6.45	6.45	1.18	0.13	2.76	2.72
	变异系数 Coefficient of variation	33.79	13.56	1.78	11.87	9.97	9.44

注: X4. 纤维素含量; X5. 半纤维素含量; X6. 综纤维素含量; X7. 酸溶性木质素含量; X8. 酸不溶性木质素含量; X9. 木质素总量

Note: X4. Cellulose content; X5. Hemicellulose content; X6. Holocellulose content; X7. Acid soluble lignin content; X8. Acid insoluble lignin content; X9. Total lignin content.

到显著水平。从不同种质类型木质素的变异系数可以看出,木质素含量在不同类型的种质间存在一定的差异。

2.3 杏核硬度性状与化学成分间的相关性

通过不同杏种质果核硬度以及化学成分之间的相关性分析(表4)表明,杏核各指标间均存在一定的相关性。其中壳厚度与硬度($r = 0.544^{**}$)、破裂力

与硬度($r = 0.600^{**}$)、纤维素与半纤维素($r = 0.976^{**}$)、酸不溶性木质素含量与总量($r = 0.999^{**}$)呈极显著性相关。在杏核物质物理性状与化学组成含量间,仅果核硬度与木质素总量之间存在一定的相关性($r = 0.343^{*}$),而细胞壁构架物质纤维素含量等与杏核硬度、破裂力和核厚度之间并无显著相关性。这表明,在杏核各种化学组成成分中木质素含

表4 杏核硬度与化学成分组成之间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between hardness and chemical composition of apricot shell

项目 Item	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
X1	---	0.00	0.00	0.252	0.673	0.354	0.020	0.337	0.387
X2	0.600**	---	0.015	0.195	0.425	0.176	0.214	0.647	0.686
X3	0.544**	0.359*	---	0.687	0.564	0.493	0.391	0.126	0.111
X4	0.175	0.197	-0.062	---	0.005	0.725	0.267	0.517	0.544
X5	0.065	-0.122	0.088	0.976**	---	0.937	0.997	0.646	0.641
X6	0.142	0.205	0.105	0.054	0.012	---	0.016	0.167	0.198
X7	0.346*	0.189	0.131	0.169	0.001	0.356*	---	0.021	0.046
X8	0.147	-0.070	0.231	-0.099	0.070	-0.210	-0.343*	---	0.000
X9	0.132	-0.062	0.241	-0.093	0.072	-0.195	0.300*	0.999**	---

注:表左下角为性状间的相关系数;右上角为显著水平,性状缩写同表2和表3。**表示在0.01水平上相关性显著;*表示在0.05水平上相关性显著。

Note: The lower left corner of the table is the correlation coefficient between characters; The upper right corner is the significant level. The abbreviations of characters are the same as those in Table 2 and table 3. **. The correlation is significant at 0.01 level; *. The correlation is significant at 0.05 level.

量对果核硬度影响最大。

3 讨论

杏起源于我国,种质资源极为丰富,栽培种类很

多^[20]。仁用杏是一类以食用果仁为主的栽培品种,生产中主要栽培品种遗传多样性差、血统来源单一^[21],这在一定程度上限制了仁用杏遗传改良的进程。章秋平等^[22]根据仁用杏的核外观特征变异,认

为大多数仁用杏是普通杏(*P. armeniaca*)和山杏(*P. sibirica*)自然杂交后通过有性或无性繁殖形成的,部分种质有可能起源于甜仁的普通杏或山杏。通过本研究发现,仁用杏果核在厚度、果核硬度与纤维素含量等方面的变异幅度均低于鲜食杏和山杏,这也表明仁用杏遗传多样性低于鲜食杏和山杏。

种质资源是自然选择或人工驯化的结果,不同类型的杏种质材料在果核性状方面会产生丰富的遗传变异。笔者通过对不同种质的杏核性状和组成成分进行分析,发现仁用杏、鲜食杏和山杏在果核厚度、硬度、破裂力和纤维素含量等方面的遗传变异系数均较大,这表明无论是自然选择(鲜食杏、山杏)还是人工驯化(仁用杏)的杏种质都存在着丰富的遗传变异。在3种不同类型杏种质资源之间,仁用杏果核最大、且平均厚度显著大于鲜食杏和山杏;山杏果核小且平均硬度显著低于普通杏,而仁用杏的平均硬度则居鲜食杏与山杏之间。这表明,在人工选择大个仁用杏品种的同时杏核的厚度和硬度也存在不同程度的连带选择。因此,要想改变这些不良性状(厚核、硬核性状),筛选与利用鲜食杏、山杏中特异变异资源是提高仁用杏遗传育种效率的重要途径。在本研究中,露仁杏的果核厚度与破裂力几乎为0、山杏绿萼的果核厚度仅为1.01 mm、仁用杏优一的核厚为1.59 mm等,这些优异种质资源均将是仁用杏新品种选育的首选材料。

一般认为,果核硬壳是由纤维素、半纤维素和木质素等主要成分组成的^[23]。郑志锋等^[24]认为核桃内果皮的主要成分为木质素和纤维素,不同核桃品种的硬质果核中木质素和纤维素含量分别为31.09%~51.88%和10.97%~16.00%^[12]。Rodríguez等^[25]报道橄榄果核中的木质素和纤维素含量分别为39%和33.7%;Venugopal等^[23]报道,桃果核中的木质素含量为41.6%;Tsubaki等^[26]认为梅果核中的木质素含量为30.6%、综纤维素含量为65.1%;Cañellas等^[27]报道,Canino杏核中的纤维素、半纤维素和木质素含量分别为33.6%、33.5%和23.4%。笔者在本研究中发现,无论是仁用杏还是鲜食杏和山杏种质果核的主要化学组成成分间并没有明显差异,但是不同种质间纤维素、半纤维素和木质素含量的变异仍是丰富的,其变异范围分别为11.2%~31.9%、33.9%~55.8%和22.9%~33.2%。

木质素作为生物高分子在细胞壁中的含量仅次

于纤维素和半纤维素的总和^[28]。在观察杨树木质部组织的木质化过程时发现,木质素开始沉积顺序依次是细胞角隅处、细胞间隙、胞间层、初生壁和次生壁,又将相邻的细胞粘连,形成了硬核骨架^[29]。在核果类果实发育过程中,内果皮组织逐渐增厚变硬是薄壁细胞向石细胞分化的过程,其次生细胞壁增厚、木质素开始沉积并不断木质化;在内果皮的发育后期木质素、纤维素和半纤维素继续填充细胞空隙,使得内果皮的硬度不断增加^[10]。在本研究中,不同种质杏核综纤维素和木质素的比例变化不大,但是,不同种质材料间纤维素和半纤维素构成比例却存在着较大变异;同时,发现木质素含量在不同类型间存在着一定的差异。研究认为,桃^[6]、扁桃^[8]、核桃^[10]等果树内果皮的硬核发育过程与其木质素酶活性显著相关。在杏果核方面,认为裂核杏的内果皮发育不完全是由于木质素沉积障碍造成的^[7]。在本文中,通过不同性状间的相关性分析,发现杏核的果实硬度与厚度、破裂力、木质素含量存在着显著的相关性,这表明杏果核的硬度主要由其厚度和木质素含量决定。尽管不同杏种质果核中纤维素、半纤维素和木质素等组分差异不是很大,但是木质素含量的微小差别却影响着果核的硬度变化。

仁用杏是我国特有的一类种质资源,大力发展仁用杏经济林对我国干旱、半干旱地区生态效益和经济效益的提升具有重要意义。有关仁用杏的基础研究一直很薄弱。虽然笔者对仁用杏出仁率和核硬度等进行了初步探索,但是有关木质素与杏果核硬度的相关性,还需要更大群体的遗传学分析才能得到更为可靠的结论;本文中筛选的露仁、优一等特异资源也需要进一步在基因表达水平上深入研究其调控机制。

4 结 论

通过比较分析不同种质类型的果核性状,发现仁用杏、鲜食杏和山杏在果核厚度、硬度、破裂力和纤维素含量等方面均存在着丰富的遗传变异,但是,仁用杏的遗传变异系数相对较小。仁用杏在人工选择过程中产生了果核的厚度和硬度增加等不良性状,其中绿萼、露仁等种质对仁用杏育种性状改良具有较大的利用潜力。不同类型杏种质的果核化学成分差别不大,但是杏果核中的木质素含量对杏核硬度的形成影响较大。

参考文献 References:

- [1] 张加延,张钊. 中国果树志·杏卷[M]. 北京:中国林业出版社, 2003.
ZHANG Jiayan, ZHANG Zhao. Chinese fruit trees·Apricot[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2003.
- [2] 汤巍,王洁,张文颖,崔梦杰,朱旭东,张超博,房经贵,王晨. 木质素在果树果核退化的作用[J]. 分子植物育种, 2018, 16(11):3752-3762.
TANG Wei, WANG Jie, ZHANG Wenying, CUI Mengjie, ZHU Xudong, ZHANG Chaobo, FANG Jinggui, WANG Chen. The effect of lignin in the degeneration of fruit core[J]. Molecular Plant Breeding, 2018, 16(11):3752-3762.
- [3] LIU W, LIU N, ZHANG Y, YU X, SUN M, XU M, ZHANG Q, LIU S. Kernel-using apricot resources and its utilization[J]. Acta Horticulturae, 2012, 864: 189-191.
- [4] 张加延,何跃. 我国“三北”杏树产业带的发展现状[J]. 北方果树, 2007(1):33-35.
ZHANG Jiayan, HE Yue. The development status of the "Three North" apricot industrial belt in China[J]. Northern Fruits, 2007(1):33-35.
- [5] RUBEN V, BRECHT D, KRIS M, JOHN R, WOUT B. Lignin biosynthesis and structure[J]. Plant Physiology, 2010, 153(3): 895-905.
- [6] 史梦雅,李阳,张巍,余佳,刘悦萍. 桃果实内果皮木质素沉积的动态变化[J]. 北京农学院学报, 2013, 28(2):25-28.
SHI Mengya, LI Yang, ZHANG Wei, YU Jia, LIU Yueping. Dynamic changes of lignin deposition in the endocarp of peach fruit[J]. Journal of Beijing Agriculture of University, 2013, 28(2):25-28.
- [7] 张泉. 裂核杏内果皮的形态特征及形成机理研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2017.
ZHANG Xiao. Study on the morphological characteristics and the forming mechanism of liehe apricot endocarp[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017.
- [8] 杨波,郭春苗,木巴热克·阿尤普,肖丽,许娟,龚鹏,徐叶挺. 扁桃果实发育过程内果皮中糖及木质素含量变化规律[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(2):23-29.
YANG Bo, GUO Chunmiao, Mubarak·Ayupu, XIAO Li, XU Juan, GONG Peng, XU Yeting. The change of sugar and lignin content in the endocarp of almond during fruit development[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2021, 58(2):23-29.
- [9] 朱秋萍,郭春苗,木巴热克·阿尤普,龚鹏,苏热娅,杨波,廖康. 扁桃内果皮木质化过程中相关酶活性的变化[J]. 果树学报, 2018, 35(9):1079-1086.
ZHU Qiuping, GUO Chunmiao, Mubarak·Ayupu, GONG Peng, SU Reya, YANG Bo, LIAO Kang. Changes in relative enzyme activities during the lignification in the almond endocarp[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(9):1079-1086.
- [10] 文菁,赵书岗,王红霞,张志华,李夕勃. 核桃硬壳发育期内果皮木质素与相关酶活性的变化[J]. 园艺学报, 2015, 42(11): 2144-2152.
WEN Jing, ZHAO Shugang, WANG Hongxia, ZHANG Zhihua, LI Xibo. Changes of lignin content and its related enzyme activities in endocarp during walnut shell development period[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2015, 42(11):2144-2152.
- [11] 丁莎莎. 油橄榄果渣膳食纤维的制备、特性及改性研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2017.
DING Shasha. Preparation properties and modification of dietary fiber from olive pomace[D]. Beijing: China Academy of Forestry Sciences, 2017.
- [12] 李夕勃. 核桃坚果硬壳发育与木质素代谢关系的研究[D]. 保定:河北农业大学, 2012.
LI Xibo. Studies on relationship between lignin metabolism and shell development of the walnut nuts[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2012.
- [13] CORBETT D B, KOHAN N, MACHADO G, JING C, NAGAR-DEOLEKAR A, BUJANOVIC B M. Chemical composition of apricot pit shells and effect of hot-water extraction[J]. Energies, 2015, 8(9):9640-9654.
- [14] 孙浩元,张俊环,杨丽,姜凤超,张美玲,王玉柱. 新中国果树科学研究70年:杏[J]. 果树学报, 2019, 36(10):1302-1319.
SUN Haoyuan, ZHANG Junhuan, YANG Li, JIANG Fengchao, ZHANG Meiling, WANG Yuzhu. Fruit scientific research in New China in the past 70 years: Apricot[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(10):1302-1319.
- [15] ALBA C M, FORCHETTI S M D, TIGIER H A. Phenoloxidase of peach (*Prunus persica*) endocarp: Its relationship with peroxidases and lignification[J]. Physiologia Plantarum, 2000, 109(4): 382-387.
- [16] 东北林业大学. 林业生物质原料分析方法多糖及木质素含量的测定:GB/T 35818-2018[S]. 北京:全国林业生物质材料标准化技术委员会, 2018.
Northeast Forestry University. Standard method for analysis of forestry biomass- determination of structural polysaccharides and lignin: GB/T 35818-2018[S]. Beijing: National Technical Committee for standardization of forestry biomass aterials, 2018.
- [17] 中国制浆造纸工业研究所. 造纸原料综纤维素含量的测定:GBT 2677.10-1995[S]. 北京:全国造纸标准化技术委员会, 1995.
China National Pulp and Paper Research Institute CO, LTD. Determination of holocellulose content in papermaking raw materials: GBT 2677.10-1995[S]. Beijing: National paper Standardization Technical Committee, 1995.
- [18] 李合生,孙群,赵世杰,章文华. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2000.
LI Hesheng, SUN Qun, ZHAO Shijie, ZHANG Wenhua. Principles and techniques of plant physiological and biochemical ex-

- periments[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [19] BOERJAN W, RALPH J, BAUCHER M. Lignin biosynthesis [J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2003, 54(1): 519-546.
- [20] 章秋平, 刘威生. 杏种质资源收集、评价与创新利用进展[J]. *园艺学报*, 2018, 45(9): 1642-1660.
- ZHANG Qiuping, LIU Weisheng. Advances of the apricot resources collection, evaluation and germplasm enhancement[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2018, 45(9): 1642-1660.
- [21] 章秋平, 刘冬成, 刘威生, 刘硕, 张爱民, 刘宁, 张玉萍. 华北生态群普通杏遗传多样性与群体结构分析[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(1): 89-98.
- ZHANG Qiuping, LIU Dongcheng, LIU Weisheng, LIU Shuo, ZHANG Aimin, LIU Ning, ZHANG Yuping. Genetic diversity and population structure of the North China populations of apricot (*Prunus armeniaca* L.) [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(1): 89-98.
- [22] 章秋平, 刘威生, 刘宁, 张玉萍, 徐铭, 刘硕. 基于形态性状的仁用杏种质资源分类研究[J]. *果树学报*, 2015, 32(3): 385-392.
- ZHANG Qiuping, LIU Weisheng, LIU Ning, ZHANG Yuping, XU Ming, LIU Shuo. Classification of kernel-using germplasm based on morphology in apricot[J]. *Journal of Fruit Science*, 2015, 32(3): 385-392.
- [23] VENUGOPAL M, HARMAN-WARE A E, MARK C, JUNGHO J, JOZSEF S, SAMUEL M, ANDREW P, GEORGE H, SETH D. Identification and thermochemical analysis of high-lignin feedstocks for biofuel and biochemical production[J]. *Biotechnology for Biofuels*, 2011, 4: 43.
- [24] 郑志峰, 邹局春, 花勃, 张宏健, 汪蓉. 核桃壳化学组分的研究[J]. *西南林学院学报*, 2006, 26(2): 33-36.
- ZHENG Zhifeng, ZOU Juchun, HUA Bo, ZHANG Hongjian, WANG Rong. Research on chemical components of walnut shell[J]. *Journal of Southwest Forestry College*, 2006, 26(2): 33-36.
- [25] RODRIGUEZ G, LAMA A, RODRIGUEZ R, JIMENEZ A, GUILLEN R, FERNANDEZ-BOLANOS J. Olive stone an attractive source of bioactive and valuable compounds[J]. *Biore-source Technology*, 2008, 99(13): 5261-5269.
- [26] TSUBAKI S, OZAKI Y, AZUMA J. Microwave - assisted auto-hydrolysis of *Prunus mume* stone for extraction of polysaccharides and phenolic compounds[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 75(2): 152-159.
- [27] CANELLAS J, FEMENIA A, ROSSELLO C, SOLER L. Chemical composition of the shell of apricot seeds[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1992, 59(2): 269-271.
- [28] 秦士飞. 杨树 PtoLAC14 在木质素合成及其单体聚合过程中的功能研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- QIN Shifei. PtoLAC14 promotes cell wall lignification and alters monolignol content in poplar[D]. Chongqing: Southwest University, 2020.
- [29] 殷亚方, 姜笑梅, 瞿超. 人工林毛白杨次生木质部细胞分化过程中木质素沉积的动态变化[J]. *电子显微镜学报*, 2004, 23(6): 663-669.
- YIN Yafang, JIANG Xiaomei, QU Chao. Dynamic changes of lignin deposition in secondary xylem cell wall during secondary xylem differentiation in *Populus tomentosa* Carr[J]. *Journal of Chinese Electron Microscopy Society*, 2004, 23(6): 663-669.

欢迎订阅2022年《果树学报》

《果树学报》是中国农业科学院郑州果树研究所主办的国家级学术期刊, 分别被有关权威期刊评价机构评为中国精品科技期刊、中国农林水产类权威学术期刊、北大中文核心期刊、中国科技核心期刊, 已被中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊(核心库)、中国知网、中国知网双语出版、Scopus数据库等国内外重要数据库收录。2020年《中国科技期刊引证报告》(核心版)中, 本刊总被引频次2824, 影响因子为1.350; 中国学术期刊影响因子年报中, 本刊复合影响因子为1.976, 期刊综合影响因子为1.504。已成为国内外有影响的学术期刊之一。《果树学报》着重选发紧密结合我国果树科研、教学、生产实际, 反映学科学术水平和发展动向的优秀稿件, 及时报道重大科研成果、阶段性成果和科研进展情况。栏目设置有种质资源·遗传育种·分子生物学、栽培·生理·生态、植物

保护·果品质量与安全、贮藏·加工、专论与综述、技术与方法、新品种选育报告等。读者对象为果树学科的科研人员、高等农业院校师生及基层果树管理技术人员。月刊, 每期148页码, 定价20元, 全年12期共240元。邮发代号: 36-93, 国际代号BM/1107。欢迎投稿, 欢迎订阅。

编辑部地址: 河南省郑州市未来路南端 中国农业科学院郑州果树研究所

邮编: 450009

电话: 0371-63387308

E-mail: guoshuxuebao@caas.cn

网址: www.fruitsci.cn

在线投稿: <http://gskk.cbpt.cnki.net>

